

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR

Mechatronikai mérnök szak

## Szakedolgozat

# Fényvezető-lapos (LGP) homogén LED háttér fejlesztése

Készítette: *Koncsár Péter*

Ipari konzulens: *Dr. G. Szabó István*

Ügyvezető

OPTIKA Mérnökiroda Kft.

Tanszéki konzulens: *Dr. Antal Ákos*

Egyetemi adjunktus

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

2012

# Nyilatkozat

Alulírott Koncsár Péter a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója kijelentem, hogy ezt a szakdolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és a szakdolgozatban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, amelyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen a forrás megadásával megjelöltem.

.....

Koncsár Péter

# Tartalomjegyzék

|                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tartalmi összefoglaló</i> .....                                           | 7         |
| <i>Abstract</i> .....                                                        | 9         |
| <i>Ábrák jegyzéke</i> .....                                                  | 11        |
| <i>Táblázatok jegyzéke</i> .....                                             | 13        |
| <i>Rövidítések jegyzéke</i> .....                                            | 14        |
| <b>1. Bevezetés</b> .....                                                    | <b>15</b> |
| 1.1. Megvilágítások fontossága .....                                         | 15        |
| 1.2. Célkitűzés .....                                                        | 17        |
| 1.3. Szakdolgozat felépítése .....                                           | 18        |
| <b>2. Az ipari képfeldolgozásban használatos LED háttérvilágítók</b> .....   | <b>19</b> |
| 2.1. Típusok .....                                                           | 19        |
| 2.1.1. Full LED elrendezés .....                                             | 20        |
| 2.1.2. Edge LED elrendezés .....                                             | 21        |
| 2.2. Szerkezeti kialakítás .....                                             | 23        |
| 2.3. Alkalmazott technológiák LGP készítéséhez .....                         | 25        |
| 2.3.1. Mechanikus gravírozás.....                                            | 26        |
| 2.3.2. Lézergravírozás .....                                                 | 27        |
| 2.3.3. Szerigrafia .....                                                     | 28        |
| 2.3.4. Litográfia.....                                                       | 29        |
| 2.4. Építési magasság és a világító felület mérete .....                     | 30        |
| 2.5. Homogenitás- és intenzitásértékek .....                                 | 32        |
| 2.6. LED-es háttérvilágítások összehasonlítása az LCD panelekkel.....        | 34        |
| <b>3. LGP-vel szerelt háttérvilágító tervezésének kezdeti szakasza</b> ..... | <b>37</b> |
| 3.1. A fény belépési szögének változása az LGP-ben .....                     | 37        |
| 3.2. Egymásnak ellentmondó követelmények elemzése.....                       | 38        |
| 3.3. Homogenitás mérése kijelzőkön.....                                      | 41        |
| 3.4. Tervezés kiindulási fázisa.....                                         | 48        |
| 3.5. Mikroszkóp skálájának kalibrálása.....                                  | 50        |
| 3.6. LGP-k mikroszkópos vizsgálata .....                                     | 53        |
| 3.6.1. Lézergravírozással készített mintázat.....                            | 53        |
| 3.6.2. Szitanyomással készített mintázat.....                                | 57        |

|                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4. Saját háttérvilágítás elkészítésének lépései.....</b> | <b>60</b> |
| 4.1. Mintakészítés lézergravírozáshoz.....                  | 60        |
| 4.2. A legyártott LGP mikroszkópos vizsgálata .....         | 61        |
| 4.3. Élesre állítási problémák.....                         | 64        |
| 4.4. Homogenitás mérése.....                                | 66        |
| 4.5. Háttérvilágítás építése.....                           | 70        |
| <br>                                                        |           |
| <b>5. A fejlesztés összefoglalása.....</b>                  | <b>75</b> |
| 5.1. Eredmények összegzése.....                             | 75        |
| 5.2. Tovább lépési lehetőségek.....                         | 76        |
| <br>                                                        |           |
| <i>Köszönetnyilvánítás .....</i>                            | <i>77</i> |
| <i>Irodalomjegyzék .....</i>                                | <i>78</i> |
| <i>CD-ROM tartalma .....</i>                                | <i>84</i> |

# Tartalmi összefoglaló

Az ipari képfeldolgozásban kiemelt szerepük van a megvilágításoknak. A megvilágító eszközök széles köre ismert, ezek egyik fajtája a háttérvilágítás. Ez kiemelten kontrasztos külső határvonalakat biztosít, miközben a tárgy többi, nem kívánatos részét elnyomja. A háttérvilágítás fényforrása manapság közkedvelten a LED (Light Emitting Diode – Fénykibocsátó dióda). Kétféle LED háttérvilágítás típus létezik: Edge LED és a Direct vagy Full LED. A fő különbség a kettő között az, hogy hol helyezük el a fényforrásokat. Full LED esetén a LED-ek egy diffúz felület mögött vannak elhelyezve, ahol a fényforrások külön-külön vezérelhetők. Ilyen elrendezés esetén viszont a szerkezet vastagabb lesz, több LED-re van szükség és több hő is keletkezik. Edge LED elrendezésnél a fényforrásokat egy polimer lap kerülete mentén helyezik el, mely lapot fényvezető lapnak (LGP – Light Guide Panel) nevezik. Ennél a konstrukciónál a szerkezet vékonyabb, kevesebb LED-re van szükség, emiatt olcsóbb lesz, azonban gondok adódhatnak a homogén intenzitás-eloszlás elérésével.

Az OPTIKA Mérnökiroda Kft. (OMI) az év elején egy vékony háttérvilágítás (lapos háttér) fejlesztésébe kezdett, amelybe én is be tudtam kapcsolódni. A lapos háttérnek az építési magasság maximum 10 mm, és a LED-ek az LGP kerülete mentén helyezkednek el (Edge LED típus). Célom, hogy megtervezzek és elkészítsek egy olyan lapos háttérvilágítást, mely világító felületének mérete legalább A5-ös (210 mm x 148 mm) és a tökéletes homogén intenzitás-eloszlástól való eltérés maximum 20%.

A szakirodalom tanulmányozása alapján szakdolgozatomban ismertetem azokat a lehetséges technológiákat (mechanikus gravírozás, lézergravírozás, szerigráfia, litográfia), melyekkel elkészíthető egy LGP. Egy ilyen panel tervezése sok munkát igénylő feladat. A fényvezető lap felületén egy mintázatot kell kialakítani úgy, hogy a fény a háttérvilágítás kívánt felületén lépjen ki, mert ellenkező esetben a totálreflexió miatt csak az LGP másik szélén tudna kilépni. Bemutatom, hogyan működnek az LCD-k (folyadékkristályos kijelzők), majd összehasonlítom a CCFL-es (azaz hidegkatód fénycsöves) és LED-es megvilágítású LCD-k előnyeit és hátrányait is.

Sajnálatos módon a gyártók és a kereskedők nem közölnek semmilyen információt a háttérvilágítók intenzitásértékeiről és homogenitásáról. Éppen ezért elvégeztem négy mérést mindennap használatos kijelzőkön: egy laptopon, egy monitoron, egy televízión (ezek fényforrása CCFL) és egy olyan televízión, melynek háttérvilágítása LED-es. Célom az volt, hogy megtudjam mi az, amit a gyártók és a kereskedők „homogénnek” neveznek.

Megvizsgáltam egy lézergravírozással készített LGP-t (amit az OMI tervezett) egy mikroszkóp alatt. Észrevettem, hogy a fényvezető lapon létrehozott elemi minta (ami egy

négyzet volt) mérete az LGP közepén nagyobb, mint a széleken. Ez azért volt különös, mert a cég egy olyan fényvezető lapot szeretett volna készíteni, ahol a minták szélessége és hossza megegyezik. A probléma forrása gyártási hibára vezethető vissza. Ezután megvizsgáltam mikroszkóp alatt egy másik LGP-t is, mely egy kereskedelmi forgalomban kapható monitorban volt benne. Felhasználva a tapasztalataimat megterveztem egy LGP mintázatát, majd elmentem egy lézergravírozással foglalkozó céghez és legyártattam az általam tervezett fényvezető lapot. A továbbiakban ezt is megvizsgáltam mikroszkóppal, értékeltem és ábrázoltam a kapott eredményeket.

Elemeztem a fényvezető lapok intenzitás-eloszlását, és ezeket összehasonlítottam egymással. Azt tapasztaltam, hogy sikerült létrehoznom egy olyan háttérvilágítást, melynek homogenitása 18,615 %. Ez az érték jó eredménynek számít.

Végül ismertetem, hogy milyen továbblépési lehetőségek léteznek. Az LGP mintázatának megtervezése történhetne egy optikai tervezőprogrammal. Érdeemes lenne legyártani a fényvezető lap mintázatát egy másik technológiával, például szitanyomással. Össze lehetne vetni ezzel az eljárással és a lézergravírozással kapott eredményeket. További lehetőség a minta alakjának változtatása, például négyzet helyett kör minták alkalmazása.

# Abstract

Illuminations have an outstanding function in machine vision. We use many types of lightings, one of these is backlight. It provides high-contrasting boundaries, while holds down the other parts of the object. Nowadays we use LEDs (Light Emitting Diodes) as light sources popularly in backlights. There are two types of LED backlights configurations: Edge LED and Direct or Full LED. The main difference between the two types is where we place the light sources. In Direct lit backlights LEDs are placed across the back of the display and they can be locally dimmed, but this configuration is thicker, uses more power, requires more LEDs and generates more heat. In edge lit backlights the light sources are placed around the perimeter of a polymer plate called as light guide panel or light guide plate (LGP). This configuration is thinner and requires fewer LEDs, making it more cost-effective, but we can have a problem with brightness uniformity (homogeneity).

The OPTICS Engineering Ltd (OMI) has tried to improve thin backlights (usually called flat lights) at the beginning of this year. I could join this improvement of backlights. The building heights of flat lights are maximum 10 mm and the LEDs are placed around the perimeter of an LGP (Edge LED type). My goal is to design and create a flat light which is at least size A5 (210 mm x 148 mm) and its difference from homogeneity is maximum 20%.

After the examination of the theoretical background I write about the possible technologies (mechanical engraving, laser engraving, screen printing, lithography) how we can make LGPs. Designing a perfect panel is a bit difficult. We have to make a special pattern on the surface of a light guide panel so that the light can come out on that surface that we would like to. If we do not create a pattern, the light goes towards the LGP because of total reflection. I explain how LCDs (Liquid Crystal Displays) work and I write about the advantages and disadvantages of using CCFLs (Cold Cathode Fluorescent Lamps) and LEDs as light sources in backlights of LCDs.

Unfortunately the manufacturers and merchants do not let know any information about the homogeneity of their backlights. Therefore, I have made four measurements in everyday use displays (laptop, monitor, television with CCFL lights and a television with LED lights). My goal was to know what the manufacturers and merchant call „homogene” backlight.

I have studied the pattern of an LGP (that OMI designed) which was created by laser engraving under a microscope. I have noticed that the size of an elemental sample (which was a square) is bigger in the middle of the LGP than its borders. That was weird because the company would have liked to create a light guide panel where the samples had same size. The

reason was the failure of manufacture. After that, I studied another LGP from a monitor under the microscope too. Using my gained experience I designed a pattern of LGP and I went to a company that deals with laser engraving and I made my designed LGP manufactured. After I have studied this light guide panel with microscope too and I evaluated and represented the results I had got.

Later I examined the dispersion of intensity of the light guide plates and I compared to each other. I experienced that I have created a flat panel which homogeneity is 18,615 %. This is a very good result.

Finally I write about the possible further improvements. The pattern of an LGP can be designed by an optical designer program. In addition we can manufacture the pattern of the light guide panel using another technology for example screen printing. I could compare the results that I would get in this way. Using other shape of sample for example circle instead of square is another opportunity.



# Ábrák jegyzéke

|          |                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ábra  | Az ipari képfeldolgozásban használt megvilágítások főbb típusai és működésük [8] .....                                                                                                                                          | 16 |
| 2. ábra  | A háttérvilágítás működése [12] .....                                                                                                                                                                                           | 19 |
| 3. ábra  | A LED-ek elrendezési lehetőségei Full LED technika esetén .....                                                                                                                                                                 | 20 |
| 4. ábra  | A LED-ek elrendezési lehetőségei Edge LED technika esetén .....                                                                                                                                                                 | 21 |
| 5. ábra  | A fény becsatolása és teljes visszaverődése a levegőnél magasabb törésmutatójú közegben .....                                                                                                                                   | 22 |
| 6. ábra  | Háttérvilágítás fényvezető lapjának működési elve.....                                                                                                                                                                          | 23 |
| 7. ábra  | A Full LED-es (fent) és az Edge LED-es (lent) elrendezés közötti szerkezeti különbség [26] .....                                                                                                                                | 24 |
| 8. ábra  | PMMA törésmutatójának változása a hullámhossz függvényében [28].....                                                                                                                                                            | 25 |
| 9. ábra  | A minta mélységének változása.....                                                                                                                                                                                              | 26 |
| 10. ábra | A szitanyomás technikája [42].....                                                                                                                                                                                              | 28 |
| 11. ábra | A pozitív és a negatív fotoreziszt közötti különbség [45].....                                                                                                                                                                  | 29 |
| 12. ábra | A szerkezet mérete és a megvilágító felület viszonya .....                                                                                                                                                                      | 30 |
| 13. ábra | Háttérvilágító intenzitás-eloszlása [54].....                                                                                                                                                                                   | 33 |
| 14. ábra | LCD panel felépítése és működése [57] .....                                                                                                                                                                                     | 34 |
| 15. ábra | A CCFL, az Edge LED és Full LED háttérvilágítás különbségének szemléltetése [60].....                                                                                                                                           | 35 |
| 16. ábra | A fény lehetséges útja fényvezető lapban.....                                                                                                                                                                                   | 37 |
| 17. ábra | Az elhelyezhető LED-ek száma a felület területének függvényében .....                                                                                                                                                           | 40 |
| 18. ábra | Távrolról történő fényképezés háttérvilágításoknál .....                                                                                                                                                                        | 42 |
| 19. ábra | Laptop háttérvilágításáról készült kép hisztogramja.....                                                                                                                                                                        | 44 |
| 20. ábra | Monitor háttérvilágításáról készült kép hisztogramja.....                                                                                                                                                                       | 44 |
| 21. ábra | LCD TV háttérvilágításáról készült kép hisztogramja.....                                                                                                                                                                        | 45 |
| 22. ábra | LED TV háttérvilágításáról készült kép hisztogramja.....                                                                                                                                                                        | 45 |
| 23. ábra | Laptop, monitor, LCD televízió és LED televízió háttérvilágításának homogenitása (fentről lefelé); balra a háttérvilágításokról készült kép, jobbra az egyenetlen intenzitás-eloszlások szemléltetése képmanipuláció után ..... | 47 |
| 24. ábra | LGP-k lézergravírozási iránya .....                                                                                                                                                                                             | 48 |
| 25. ábra | Háttérvilágítás intenzitás-eloszlása.....                                                                                                                                                                                       | 49 |

|          |                                                                                              |    |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 26. ábra | Háttérvilágítás hisztogramja .....                                                           | 49 |
| 27. ábra | A mikroszkópról készült kép .....                                                            | 51 |
| 28. ábra | Lézergravírozással készített LGP-hez felvett koordináta rendszer<br>értelmezése.....         | 53 |
| 29. ábra | Lézergravírozással készült LGP mintáinak nagysága.....                                       | 55 |
| 30. ábra | Képek a lézergravírozással készült mintákról; balra 40x-es,<br>jobbra 100x-os nagyítás ..... | 56 |
| 31. ábra | Szitanyomással készített LGP .....                                                           | 57 |
| 32. ábra | Szitanyomással készített LGP minták nagyságainak változása .....                             | 58 |
| 33. ábra | Képek a szitanyomással készült mintákról; balra 40x-es,<br>jobbra 100x-os nagyítás.....      | 59 |
| 34. ábra | A saját háttérvilágításhoz tervezett LGP mintázata .....                                     | 60 |
| 35. ábra | Saját LGP mintáinak nagysága .....                                                           | 62 |
| 36. ábra | A fényvezető lap egyes területeiről készült fényképek.....                                   | 63 |
| 37. ábra | A korábbi (balra) és a jelenlegi (jobbra) négyzetek közötti különbség .....                  | 64 |
| 38. ábra | Élesre állítási problémák a minták mikroszkópos mérése során .....                           | 65 |
| 39. ábra | „A” jelű háttérvilágítás intenzitás-eloszlása .....                                          | 67 |
| 40. ábra | „A” jelű háttérvilágítás hisztogramja.....                                                   | 67 |
| 41. ábra | „B” jelű háttérvilágítás intenzitás-eloszlása .....                                          | 68 |
| 42. ábra | „B” jelű háttérvilágítás hisztogramja.....                                                   | 68 |
| 43. ábra | „C” jelű háttérvilágítás intenzitás-eloszlása .....                                          | 69 |
| 44. ábra | „C” jelű háttérvilágítás hisztogramja.....                                                   | 69 |
| 45. ábra | A LED-ek kapcsolási rajza .....                                                              | 70 |
| 46. ábra | A NYÁK lapokon lévő LED-eken folyó áram növekedése.....                                      | 72 |
| 47. ábra | A háttérvilágítás látványterve .....                                                         | 73 |
| 48. ábra | Az elkészített háttérvilágítás belseje valamint a háttér működés közben ....                 | 73 |
| 49. ábra | Az elkészített háttérvilágítás intenzitás-eloszlása.....                                     | 74 |
| 50. ábra | Az elkészített háttérvilágítás hisztogramja .....                                            | 74 |

## Táblázatok jegyzéke

|              |                                                                                                                             |    |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. táblázat  | Lézer típusának helyes megválasztása különböző anyagok, felületek lézergravírozásakor [37] .....                            | 27 |
| 2. táblázat  | Az ipari képfeldolgozásban használt, kereskedelmi forgalomban kapható háttérvilágítások standard mérete típus szerint ..... | 31 |
| 3. táblázat  | Különböző LED-ek fényűrűsége háttérvilágításoknál .....                                                                     | 33 |
| 4. táblázat  | LCD és LED kijelzők közötti különbségek .....                                                                               | 36 |
| 5. táblázat  | Az elhelyezhető LED-ek száma és a felület kapcsolata Edge LED elrendezés esetén.....                                        | 40 |
| 6. táblázat  | A vizsgált eszközök jellemző adatai és a számított eltérés.....                                                             | 43 |
| 7. táblázat  | Mikroszkóp skálájának kalibrálása során mért és számított eredmények ...                                                    | 51 |
| 8. táblázat  | Mikroszkóp skálájának kalibrálása során feltételezett hiba.....                                                             | 52 |
| 9. táblázat  | Mintavételezés a lézergravírozott LGP-ből .....                                                                             | 54 |
| 10. táblázat | A megfelelő sorban és oszlopban lévő minták leolvasott osztása .....                                                        | 58 |
| 11. táblázat | A megfelelő sorban és oszlopban lévő minták osztása.....                                                                    | 62 |
| 12. táblázat | A háttérvilágítások eltérése a homogén intenzitás-eloszlástól.....                                                          | 66 |
| 13. táblázat | A NYÁK lapokon lévő LED-eken folyó áram növekedésének értékei.....                                                          | 72 |
| 14. táblázat | Az elkészült háttérvilágítás homogenitás értéke.....                                                                        | 73 |

## Rövidítések jegyzéke

Dolgozatomban sok helyen használtam rövidítéseket. Ahol ezeket először említettem, ott megmagyaráztam, hogy az adott mozaikszó minek a rövidítése. Ebben a gyűjteményben ABC sorrendben leírtam őket, így jelentésük angolul és magyarul is megtalálható.

| <b>Mozaikszó</b> | <b>Angol jelentés</b>                  | <b>Magyar jelentés</b>               |
|------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|
| BLU              | Backlight Unit                         | Háttérvilágító egység                |
| CCD              | Charge Coupled Device                  | Töltéscsatolt eszköz                 |
| CCFL             | Cold Cathode Fluorescent Lamp          | Hidegkatódos fénycső                 |
| DCT              | Discrete Cosinus Transformation        | Diszkrét koszinusz<br>transzformáció |
| LCD              | Liquid Crystal Display                 | Folyadékkristályos kijelző           |
| LED              | Light Emitting Diode                   | Fénykibocsátó dióda                  |
| LGP              | Light Guide Plate<br>Light Guide Panel | Fényvezető lap                       |
| NYÁK             | Printed Circuit Board                  | Nyomtatott áramkör                   |
| OLED             | Organic Light Emitting Diode           | Szerves fénykibocsátó dióda          |
| RGB              | Red Green Blue                         | Piros zöld kék                       |
| SMD              | Surface Mount Device                   | Felületszerelt eszköz                |
| TFT              | Thin Film Transistor                   | Vékonyfilm tranzisztor               |
| UV               | Ultraviolet                            | Ultraibolya                          |
| WLED             | White Light Emitting Diode             | Fehér fénykibocsátó dióda            |

# 1. Bevezetés

## 1.1. Megvilágítások fontossága

Az optikai ipar napjainkban hatalmas fejlődésen megy keresztül. Az új eszközök megjelenése újabb berendezések, műszerek létrehozását teszi lehetővé. Az optikai alkalmazások az élet számos területén (például mérés-technika, anyagmegmunkálás, robottechnika) jelentős segítséget jelentenek az embereknek [1].

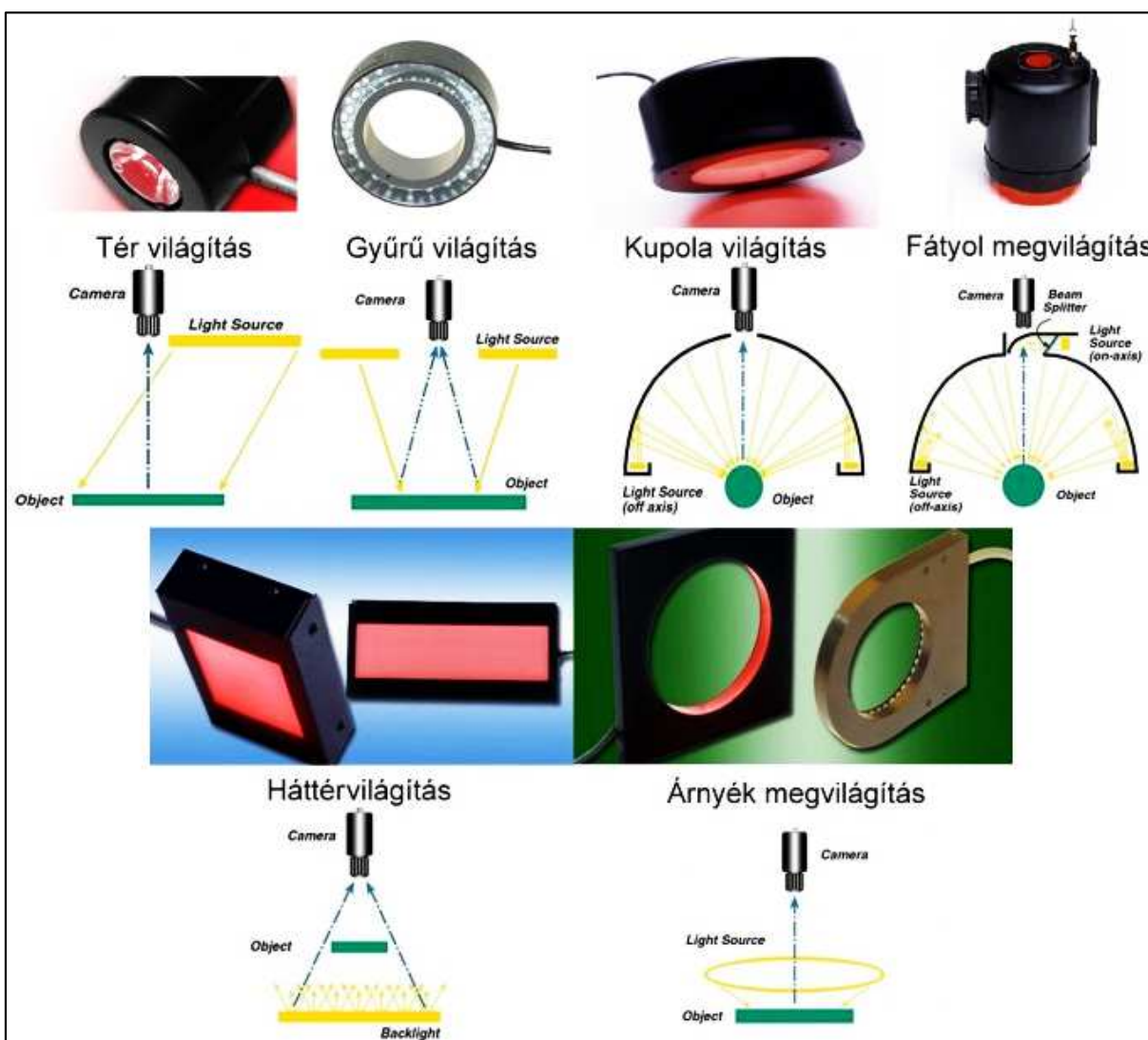
Az optika iparának fejlődésére kevés olyan technológia gyakorolt robbanásszerű hatást, mint a képfeldolgozás. Az analóg szenzorokból kifejlődő miniatűr, intelligens (számítógép nélkül, önállóan működő) kamerák a modern gyártósor szemévé és agyává váltak. Elterjedésük nem a véletlen műve: világszerte számtalan gyártó megoldhatatlannak hitt minőségügyi illetve minőségbiztosítási problémájára jelentettek megoldást. A gyártás során keletkezett veszteségek minimalizálása pedig nem csupán versenyelőnyt, hanem költséghatékonyságot is eredményezett a gyártó számára. A kamerák a gyártási folyamat minden olyan részében alkalmazhatók, ahol vizuális információk alapján kell gyors és pontos döntést hozni. Ezek az eszközök sosem fáradnak el: számolnak, mérnek, szortíroznak, robotokat pozícionálnak, gépsorokat irányítanak, ráadásul nem hibáznak [2]. Alapvető követelmény a beépített képfeldolgozó rendszerekkel szemben, hogy a gyártás folyamatát ne lassítsák, ne akadályozzák.

Az ipari képfeldolgozás (Machine Vision) nélkülözhetetlen kelléke a tökéletes megvilágítás [3,4]. Egy kamerának megfelelő működéséhez szüksége van kellő mennyiségű fényre. Továbbá nagyon fontos, hogy ez a fény a kamerába, annak CCD (Charge Coupled Device, azaz Töltéscsatolt eszköz) detektorára érkezen. Ha ez nem történik meg, akkor hiába úszik fényárban az egész ipari csarnok, a kamera sötétnek fogja látni a gyártósor munkadarabjait, a berendezés által látott kép további feldolgozásra alkalmatlan lesz. Így érthető, hogy a megfelelő megvilágítás nélkülözhetetlen.

Szerte a világban sokféle megvilágító használatos; ezek egyik csoportja a LED-es (Light Emitting Diode, azaz Fénykibocsátó dióda) megvilágítások [5]. Ezek a fényforrások méretüknek, alacsony fogyasztásuknak és (napjainkban már) olcsóságuknak köszönhetően betörték az élet szinte minden területére. További kedvező tulajdonságuk, hogy élettartamuk magas, ráadásul életük során kibocsátott sugárzásuk nem csökken jelentős mértékben (időbeni egyenletesség). Ez az oka annak, hogy előszeretettel alkalmazzák ezeket a fényforrásokat többek között megvilágítási célokra is [6].

Az ipari képfeldolgozásban használatos LED-es megvilágítások főbb típusai [7]:

- Tér világítás
- Gyűrű világítás
- Kupola világítás
- Fátyol megvilágítás
- Háttérvilágítás
- Árnyék megvilágítás



1. ábra Az ipari képfeldolgozásban használt megvilágítások főbb típusai és működésük [8]

Ezeknek a típusoknak a használata alkalmazásfüggő. Ez azt jelenti, hogy más megvilágítás szükséges, ha egy papírpénzen szeretnénk megnézni az UV (ultraviola) fényben előbukkanó képet, és megint más, ha egy furat méretét szeretnénk megmérni egy munkadarabon. A választást a megvilágítandó tárgy tulajdonságai is befolyásolják. Például

tükröző felület esetén jelentős reflexióval kell számolnunk. Szakdolgozatomban a megvilágítások közül a háttérvilágításokkal foglalkozom.

## 1.2. Célkitűzés

Nyári szakmai gyakorlatomat Dr. G. Szabó István cégénél, az OPTIKA Mérnökiroda Kft.-nél (OMI) végeztem. Az itt eltöltött idő nagyon hasznos volt szakmai fejlődésem szempontjából, ezért elhatároztam, hogy szakdolgozatomat az irodánál fogom megírni. Felmerült, hogy a cég szeretne olyan lapos háttérvilágítókat (Flat Lights) gyártani, melyek megvilágítása homogén, viszonylag nagy a megvilágító felület mérete (~A5 vagy ennél nagyobb, vagyis legalább 210 mm x 148 mm) és vastagsága maximum 10 mm. Ezek a követelmények teljesítése csak Edge LED elrendezés esetén lehetséges, melyhez fényvezető lap (Light Guide Panel vagy néhány idegen nyelvű szakirodalomban Light Guide Plate, röviden LGP) szükséges [9,10]. (Az Edge LED típusról a 2.1.2. Edge LED elrendezés című fejezetben írok részletesen.) Egy megfelelő LGP megtervezése és gyártása egyáltalán nem triviális dolog. A cég az év elején már kísérletezett hasonló hátterek elkészítésével. Én egy lapos háttérvilágító fejlesztésébe tudtam bekapcsolódni, melynek folyamatát szakdolgozatomban mutatom be.

Nagy motivációt jelent számomra, hogy egy olyan fejlesztésben vehetek részt, mely rendkívül érdekes. Fontos megjegyezni, hogy nem én vagyok az első, aki lapos háttérvilágítást és annak legfontosabb elemét, LGP-t tervez, hiszen háttérvilágításokat nem csak az ipari képfeldolgozásban, hanem sok egyéb műszaki, elektronikai eszközben (laptop, televízió, monitor) használnak már, tehát ezek a termékek kereskedelmi forgalomban kaphatóak.

Céлом a szakdolgozat keretein belül egy olyan LED-es háttérvilágító megtervezése, melynek világító felülete legalább A5-ös méretű, a szerkezet vastagsága nem nagyobb, mint 10 mm és a tökéletes homogén intenzitás-eloszlástól való eltérés maximum 20%. Nem csupán a tervezést szeretném megvalósítani, céлом az általam tervezett lapos háttérvilágítás legyártása, építése is.

### 1.3. Szakdolgozat felépítése

Szakdolgozatom második fejezetében bemutatom a LED-es háttérvilágítások két típusát (Full LED és Edge LED) és ezek változatait. Ismertetem a szerkezeti kialakításokat, a jellemző építési magasságokat, a befoglaló méreteket, a megvilágító felületek méreteit és az alkalmazott gyártási eljárásokat. Több módszer lehetséges fényvezető panel mintázatának létrehozására. Ezek közül négyről fogok részletesen írni (mechanikus gravírozás, lézergravírozás, szitanyomás, litográfia). Bemutatom a háttérvilágítások intenzitásértékeit és homogenitásukat, majd összehasonlítom ezeket a megvilágításokat az LCD (Liquid Crystal Display, magyarul Folyadékkristályos kijelző) panelek háttérvilágításában használt technológiákkal. Ez a fejezet fedi le a témával kapcsolatos irodalomkutatásomat.

A harmadik fejezettől kezdve saját munkám beszámolója olvasható. Először megvizsgálom, hogy milyen szög esetén fog fellépni a totálreflexió egy fényvezető lapban, majd elemzem a háttérvilágítókkal szemben támasztott ellentmondó követelményeket (nagy fényerősség, nagyfokú homogenitás, nagy megvilágító felület, kis építési magasság). Ezután ismertetem mérési eredményeimet a háttérvilágításoknál kapott homogenitás értékekre vonatkozóan. A továbbiakban leírom, hogy a fejlesztés melyik szakaszába kapcsolódtam be. Ismertetem a fényvezető lapok mikroszkóppal történő méréseit, és ezek értékelését is. Utána összefoglalom tapasztalataimat.

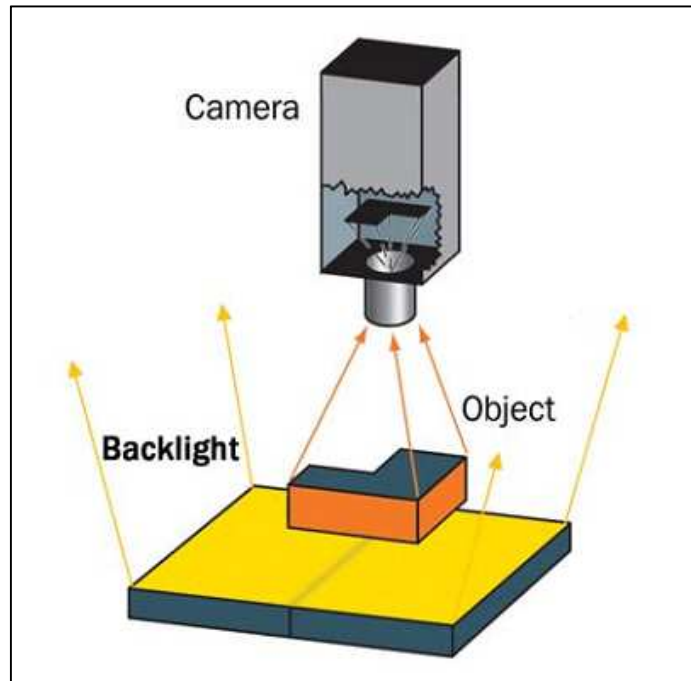
A negyedik fejezetben leírom egy LGP létrehozásának lépéseit. Megtervezem, legyártatom, majd az elkészült fényvezető lapról történő mikroszkópos méréseimet és ezek eredményeit mutatom be. Az elkészített LGP homogenitásának elemzése után további LGP-k mérési eredményeit ismertetem, melyeket összehasonlítok egymással. Ezután megépítem saját háttérvilágításomat.

Az ötödik fejezetben összefoglalom eredményeimet, levonom a következtetéseket, majd továbblépési, továbbfejlesztési javaslatokat teszek.



## 2. Az ipari képfeldolgozásban használatos LED háttérvilágítók

A háttérvilágítás általában a külső élek megjelenítésére használatos. Ez kiemelten kontrasztos külső határvonalakat biztosít, miközben a tárgy többi, nem kívánatos részét elnyomja [11]. Működését a 2. ábra mutatja.



2. ábra A háttérvilágítás működése [12]

A háttérvilágítás legfőbb felhasználási területei az ipari képfeldolgozásban [13]:

- külső méretek mérése
- átmenő furatok mérése
- anyag vastagságának meghatározása
- átlátszóság meghatározása különböző anyagoknál stb.

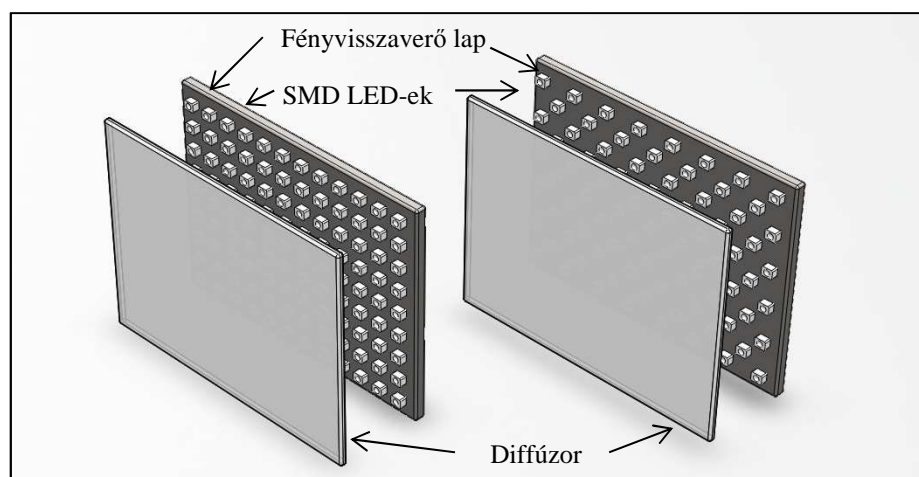
### 2.1. Típusok

A háttérvilágítás két típusa és ennek változatai használatosak az iparban, melyek a következők: Full LED és Edge LED háttérvilágítás. A lényegi különbség a kettő között, hogy a fényforrásokat (LED-eket) a szerkezetben máshova helyezik el.

### 2.1.1. Full LED elrendezés

Full LED vagy Direct LED (hátsó vagy közvetlen) elrendezésű háttérvilágítás esetében egy diffúz felület (diffúzor) mögé mátrixszerűen helyezik el az egyes LED-eket [14]. A diffúzorra jellemző, hogy a beérkezett fényt a féltér minden irányába többé-kevésbé egyenletesen szórja szét [15]. A 3. ábrán a fényforrások elrendezési lehetőségei láthatóak. Az első esetben a LED-ek egy képzeletbeli négyzetrácsos háló csomópontjaiban helyezkednek el. Ilyenkor a háló vonalai párhuzamosak a háttérvilágítás széleivel. Ha a négyzetrácsos hálónak soronként csak minden második csomópontjába helyezünk fényforrást, ráadásul ezeket egymástól egy fél egységgel elcsúsztatjuk, akkor egy másik elrendezéshez jutunk az ábrának megfelelően [16]. A LED-ek egyik típusa, az SMD (Surface Mount Device, azaz Felületszerelt eszköz) LED-ek használatosak a háttérvilágításokban.

Elméletileg bármekkora felület megvilágítása létrehozható ilyen módon. Mivel a fényforrások egymástól egyenlő távolságra helyezkednek el (mind a két esetben), ezért nagyfokú homogenitás érhető el. A tervezésnél mérlegelni kell, hogy milyen sűrűn helyezzük el a fényforrásokat. Igaz, hogy a LED-ek nagy fényerőt biztosítanak, ráadásul a sűrűség növelésével magasabb fényerősség érhető el, azonban nem szabad elfelejteni, hogy ezek a fényforrások jelentős mennyiségű hőt termelnek. Ha ezeket egymáshoz nagyon közel helyezzük el, akkor a hőfejlődés a LED-ek tönkremenetelét eredményezheti, károkat okozva a berendezésben. Látható, hogy Full LED elrendezés esetében sok LED-re van szükség. Habár ezeknek a fényforrásoknak az ára manapság már nem magas – ha tetszik, filléres terméknek számítanak –, azonban rengeteg darabra van szükség belőlük, így a háttérvilágítás ára már jelentős lehet. Szükséges mennyiségük a felülettel arányos, mely négyzetesen növekszik. Tehát ha megkétszerezünk egy felület két méretét (hosszát és szélességét), akkor nem kétszer annyi, hanem négyszer annyi fényforrásra lesz szükségünk.



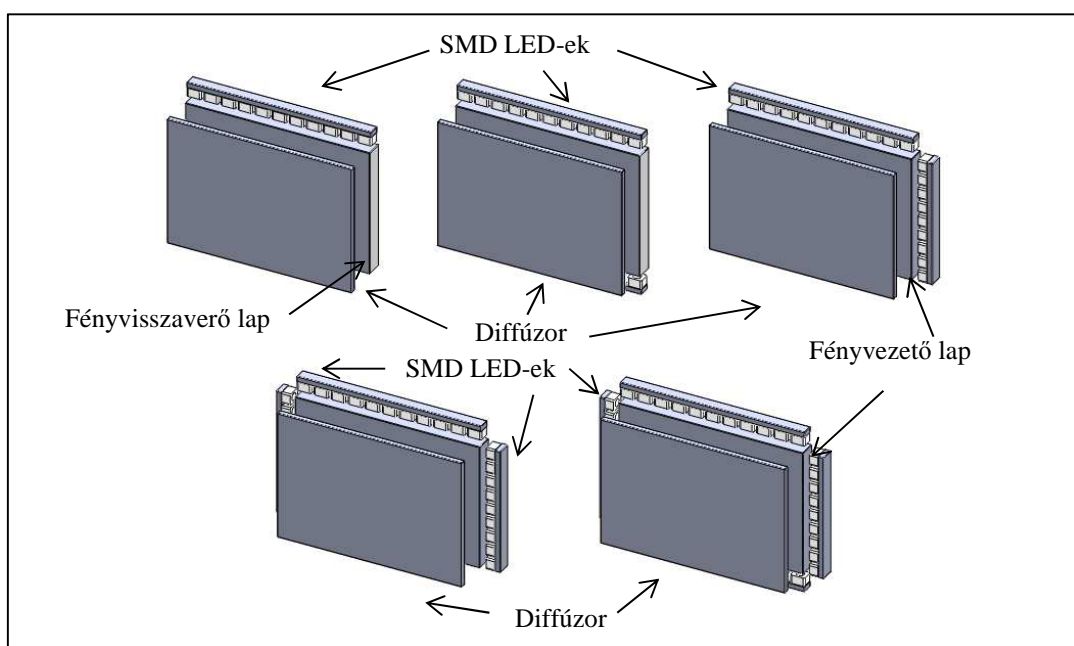
3. ábra A LED-ek elrendezési lehetőségei Full LED technika esetén

Előnye ennek a kialakításnak, hogy az egyes LED-eket – ha szeretnénk – külön szabályozhatjuk (local dimming), azaz fényerősségük vezérelhető, ennek segítségével nőhet a kontraszt illetve a háttérvilágítás fényerőssége [17]. Viszont Full LED elrendezésnél a konstrukció miatt nagy vastagság adódhat. Ez hátrányt jelent akkor, ha minimális a megvilágításhoz rendelkezésre álló hely. Ha ilyen probléma merül fel, akkor erre az Edge LED elrendezés jelent megoldást.

### 2.1.2. Edge LED elrendezés

Ennél a konstrukciónál kevesebb LED-re van szükség és kisebb a szerkezet mérete (építési magassága) is, de ez nagyobb felületeknél a fényerősség nagyságának illetve a homogenitásnak egyáltalán nem kedvez. Ez sokkal magasabb szintű tervezést igényel, mint a Full LED technikájú háttérvilágítás [18]. Itt is SMD LED-et használnak, hiszen ennek a mérete kicsi, NYÁK-ra (Nyomtatott áramkörre) szerelhető.

Az Edge LED (oldalsó, szélső vagy perem) típusú kialakításnál a fényforrásokat egy polimer lap szélei mentén helyezik el úgy, hogy ezek ebbe az anyagba, a plexilapba világítsanak [19]. Ezt a plexilapot nevezik fényvezető lapnak vagy panelnek (Light Guide Plate vagy Light Guide Panel, rövidítve LGP). A 4. ábrán szemléltetem a LED-ek különböző elhelyezési lehetőségeit az LGP szélei mentén. Ezek egymástól abban térnek el, hogy a fényvezető lap hány oldalára teszünk világításokat. Ezek alapján megkülönböztetünk egy, kettő, három és négy oldalról történő megvilágítást.



4. ábra A LED-ek elrendezési lehetőségei Edge LED technika esetén

Amelyik oldalon nincsenek fényforrások, oda egy olyan reflexiós réteget tesznek, mely visszaveri a fényt a fényvezető lapba. Az ábrán az is látható, hogy ha csak két oldalra helyezünk LED-eket, akkor nem feltétlenül kell ezeket egymással szemben lévő oldalakhoz tenni, egymás melletti oldalakhoz is rakhatjuk őket.

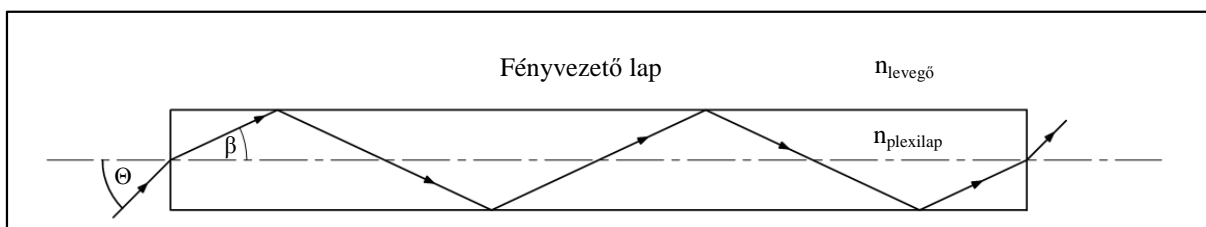
Egy LGP működési elve a következő: a fényvezető panelbe fényt csatolunk be. Fontos, hogy a fényforrás által kibocsátott sugárzás nagy részét (lehetőség szerint az egészet) becsatoljuk a fényvezető lapba. Ha ez nem valósul meg, akkor ez fényvesztést okoz. A fény becsatolására ugyanazok az alapelvek érvényesek, mint bármilyen más fénytörés esetén. A fény optikailag sűrűbb (magasabb törésmutatójú) közeghez érve megtörik, ezt a Snellius-Descartes törvény írja le [20]:

$$n_{\text{levegő}} \cdot \sin\Theta = n_{\text{plexilap}} \cdot \sin\beta \quad (2.1.)$$

Ha a képletet átrendezzük, megkapjuk, hogy mekkora az a maximális szög, mellyel még be tudjuk csatolni a fényt:

$$\Theta = \arcsin\left(\frac{n_{\text{plexilap}}}{n_{\text{levegő}}} \cdot \sin\beta\right) \quad (2.2.)$$

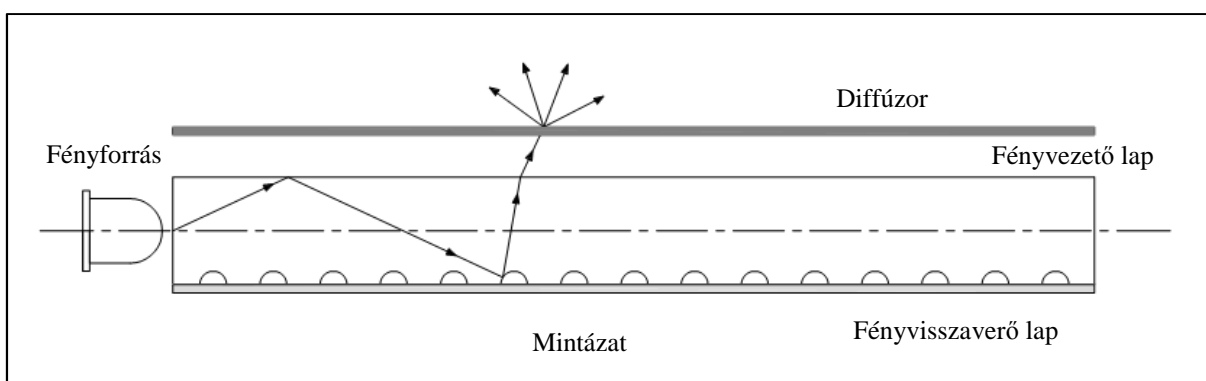
Tegyük fel, hogy a polimer lapunk mind a két oldala tökéletesen sík. Csatoljunk be fényt a fényvezető lapba. Ekkor az LGP-ben a fény a teljes visszaverődés (totálreflexió) miatt nem lép ki az anyagból, mert ennek a törésmutatója nagyobb, mint a levegőé. A plexilapban a fény tovaterjed egészen a lap széléig, ahol már képes kilépni. A 3.1. A fény útja című fejezetben megvizsgálom, hogy mekkora az a minimális belépési szög, mellynél az LGP belsejében a fény nem fog teljesen visszaverődni. Számunkra a cél az lenne, hogy a fényvezető lap másik felületén lépjen ki a fény, lehetőleg erre merőlegesen [21].



5. ábra A fény becsatolása és teljes visszaverődése a levegőnél magasabb törésmutatójú közegben

Ennek érdekében a felület síkját „el kell rontani”. A fényt úgy kell irányítani, hogy amikor a fényvezető lap határfelülethez ér, a beesési szög akkora legyen, hogy a fény ki tudjon lépni az anyagból.

A felület síkjának megtörése kétféleképpen történhet. Vagy a felülethez hozzáteszünk (ráhelyezünk) anyagot vagy a felületből valamilyen módon anyagot távolítunk el. A 2.3. Alkalmazott technológiák című fejezetben olyan eljárásokat fogok bemutatni, melyekkel létrehozható egy háttérvilágításhoz alkalmazható fényvezető lap. Ahogy a 6. ábrán látható, a fénysugár először belép a fényvezető lapba, majd a totálreflexió miatt nem tud kilépni a közegből. Viszont a mintán (jelen esetben a bemélyedésen) a fény úgy törik meg, hogy terjedési iránya megváltozik. Ezután amikor az LGP és a levegő határához ér, a terjedési irányának megváltozása miatt a fénysugár beesési szöge akkora lesz, hogy már ki tud lépni ebből a közegből. Így sikerült a fényt a kívánt irányba kicsatolni. Ez az ipari képfeldolgozásban használt háttérvilágítás fényvezető lapjának működési elve [22].



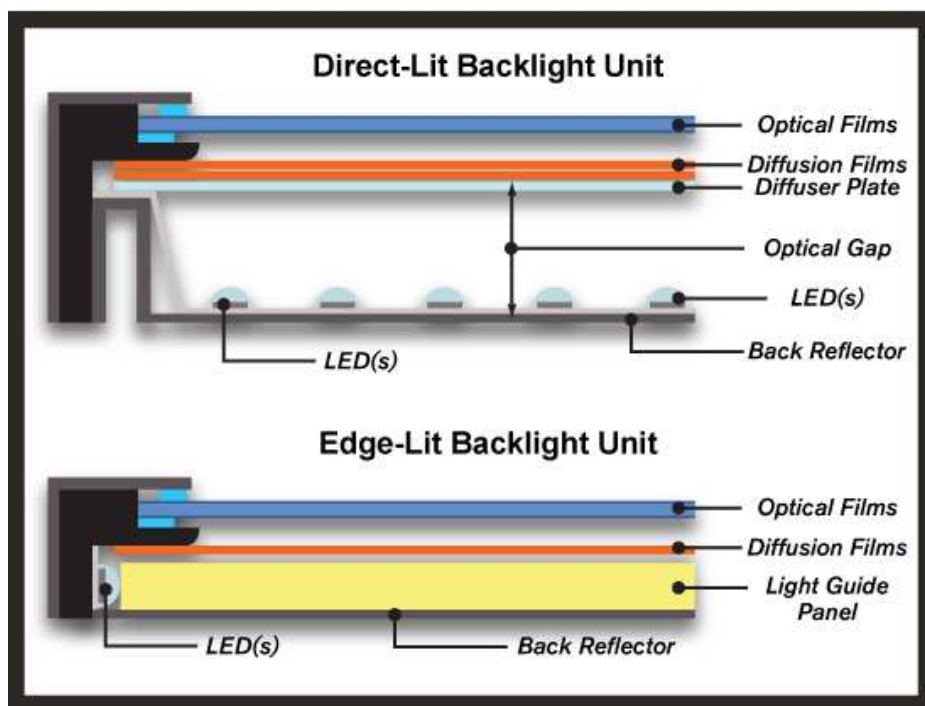
6. ábra Háttérvilágítás fényvezető lapjának működési elve

## 2.2. Szerkezeti kialakítás

A Full LED technikájú háttérvilágításnál a fényforrások előtt egy diffúzor található. Ahogy már említettem, ez a felület a féltér irányába többé-kevésbé egyenletesen szórja szét a fényt, emiatt az intenzitás-eloszlás egyenletesebb lesz. Szükséges azonban egy kis távolságot hagyni a LED-ek és a diffúzor között. Erre azért van szükség, mert a nagy számú fényforrás sok hőt termel. Ritkán néhány gyártó elhelyez még egy prizmat is a diffúzor után, mely szintén az egyenletes fényeloszlás érdekében kerül oda [23]. A LED-ek mögött egy fényvisszaverő lap található (ez gyakran egy fehér lap vagy fólia), mely visszaveri a „kósza” fénysugarakat. Az egész szerkezetet egy fém keretbe szokás belefoglalni, melyeket

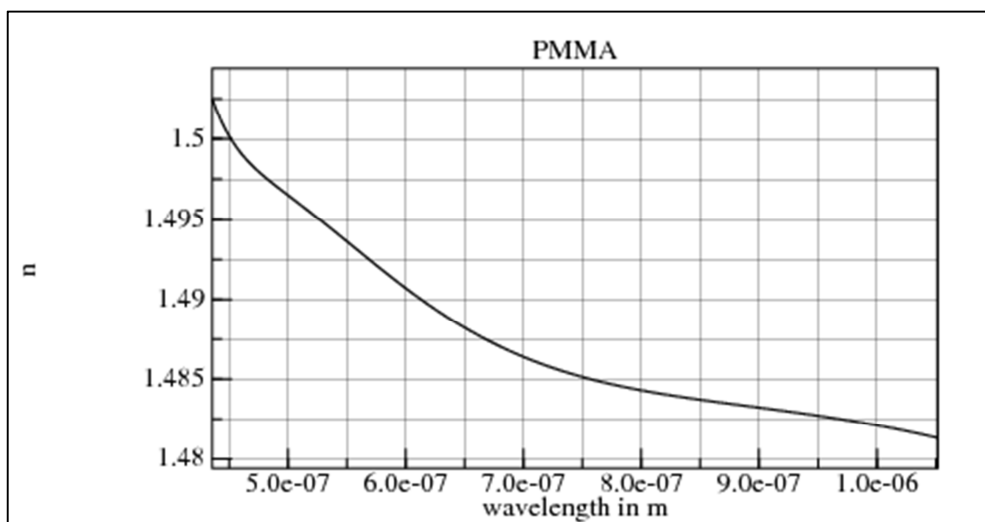
csavarokkal rögzítenek egymáshoz. Mind a két elrendezésnél (Full LED, Edge LED) az egész szerkezetet BLU-nak (Backlight Unit, magyarul háttérvilágító egység) rövidítik [24].

Edge LED kialakításnál a szerkezet kiegészül egy fényvezető lappal, melynek működését az előző fejezetben bemutattam. Itt az LGP alá helyezik a fényvisszaverő lapot [25]. A fényvezető lap elé elhelyezik a diffúzort, mely elé kerülhet szükség esetén egy prizma. Itt is, mint az előző elrendezésnél, az egyes alkatrészeket egy fémből készült váz, keret fogja össze. A szerkezetbeli különbségeket a 7. ábra szemlélteti.



7. ábra A Full LED-es (fent) és az Edge LED-es (lent) elrendezés közötti szerkezeti különbség [26]

A fényvezető lap anyaga tulajdonképpen bármi lehetne, a valóságban azonban többnyire plexit használnak. Ez egy mesterséges polimer, hivatalos neve polimetil-metakrilát, rövidítése PMMA [27]. Sok fajtája létezik (színes, víztiszta, opál), de LGP-hez kizárólag víztisztát használnak. Ennek is, mint minden anyagnak, a törésmutatója a fény hullámhosszától függ. A plexilap törésmutatójának változását a hullámhossz függvényében a 15. ábra mutatja. A grafikonon látható, hogy rövidebb hullámhosszhoz nagyobb, hosszabb hullámhosszhoz kisebb törésmutató tartozik. Ennek az a következménye, hogy egy rövidebb hullámhosszú fény irányát a plexi nagyobb mértékben fogja megváltoztatni, amikor belép az LGP-be.



8. ábra PMMA törésmutatójának változása a hullámhossz függvényében [28]

### 2.3. Alkalmazott technológiák LGP készítéséhez

Ebben a fejezetben négy technológiát ismertetek, mellyel létrehozhatunk egy mintázatot a fényvezető lapon. Bármilyen technológia alkalmas lehet LGP létrehozására, amivel képesek vagyunk a felületet megmunkálni, vagy a felületre helyezni bármit. A cél az, hogy az LGP felületét, geometriáját úgy alakítsuk ki, hogy az a tökéletes sík felülettől eltérjen és biztosítsa, hogy a fénysugarak a kívánt irányba haladjanak és kilépjenek a fényvezető lapból úgy, hogy a felület minden elemi egységnyi területén lehetőleg ugyanakkora fénymennyiség lépjen ki.

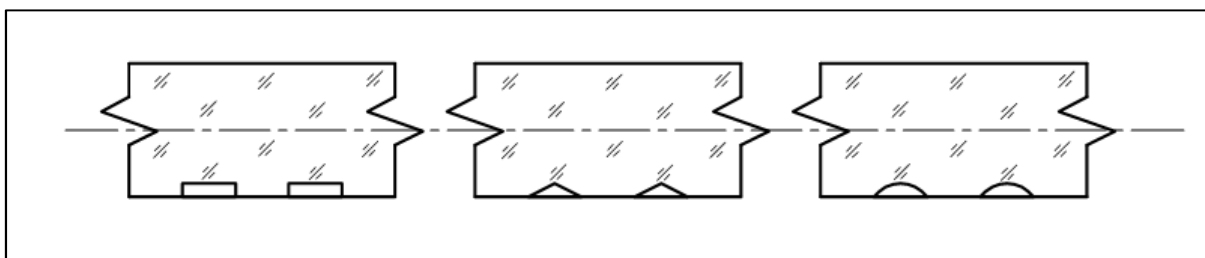
A kilépő fénymennyiséget (és egyben az intenzitás-eloszlást, az LGP homogenitását) meghatározza az elemi minta [29]:

- alakja
- nagysága
- sűrűsége
- mélysége, magassága
- orientációja a többihez képest.

A minta alakja sokféle lehet [30]. Legelterjedtebb a négyzet és a kör profil, de használnak téglalap vagy méhsejt alakút is. Az első két forma azért népszerű, mert gyártástechnológiailag könnyű őket létrehozni, a többi már kissé bonyolultabb. Bármilyen forma alkalmazható és az sincs kizárva, hogy egy LGP-n belül különböző mintákat alkalmazzunk.

A minta nagysága és ezek sűrűsége is nagy jelentőséggel bír a tekintetben, hogy a fényvezető lap belsejében megváltoztassuk a fény irányát. Ha sok apró minta található az LGP-n, akkor több fénysugár fog irányt váltani ezeken.

A minta mélysége/magassága is rendkívül fontos. Akár magán az elemi mintán belül is változhat ennek mértéke, nagysága (ezt mutatja a 9. ábra). Ez lehet konstans (állandó mélység/magasság), lineáris vagy más függvénnyel leírható. Továbbá a mélység/magasság valamilyen függvény szerint változhat az LGP egyes részein is. Például a széleken kisebb, középen nagyobb lehet a minta mélysége/magassága.



9. ábra A minta mélységének változása

A minták egymáshoz való helyzete (orientációja) is meghatározza a fényvezető lapban történő fény terjedését. Elképzelhető, hogy az LGP széle mentén a minta oldala párhuzamos a lap szélével, de a közepén ezzel  $45^\circ$ -os szöget zár be.

Összességében elmondható, hogy a tervezésnél rengeteg paraméter változtatható, ezért is ennyire bonyolult megtervezni és elkészíteni egy olyan LGP-t, mely egy háttérvilágításba való beépítése után közel homogén intenzitás-eloszlást biztosít [31,32].

### 2.3.1. Mechanikus gravírozás

A mechanikus gravírozás egyfajta finom marási eljárás, amelynek során az adott motívum, mintázat az anyag felszínébe mélyítve kerül kialakításra. A megmunkáló szerszám lehet finom véső vagy nagy sebességgel forgó marófej, amelyet számítógéppel vezérelt mechanizmus irányít. Ez a mechanikus gravírozás, amellyel főleg fémekbe (ekkor a marófej anyaga gyémánt), esetleg különféle felületi bevonattal ellátott anyagokba lehet szöveget vagy egyéb ábrákat a felületbe mélyítve kialakítani [33]. Ennek egy speciális formája a karcos eljárás, amelynél a mintákat a marófej az anyagba mélyített barázdákkal alakítja ki.



### 2.3.2. Lézergravírozás

A lézergravírozás annyiban különbözik a marástól, hogy a megmunkálandó felületen az ábra, szöveg, minta készítése nagy teljesítményű lézer segítségével történik. A számítógéppel vezérelt gravírozógép lézerfeje végighalad a megmunkálandó anyag fölött és a fókuszált lézersugár adott helyeken elpárologtatja a felület legfelső rétegét, így kialakítja a mintát, képet [34]. A fókuszpont átmérője a milliméter tört része, ez általában 10 µm-es nagyságrendet jelent (a gyártók néha feltüntetnek pontos értéket is, például 0,0127 mm) [35]. Ilyen nagy pontosság miatt a kialakult kép nagy felbontású és hihetetlenül precíz. A lézersugár intenzitásával a gravírozás mélysége pontosan szabályozható. Felhasználási módja rendkívül széleskörű. Különböző anyagokba eltérő hatékonysággal lehet gravírozni. Leggyakrabban személyre szóló ajándéktárgyakat készítenek, de ipari körökben gravírozással történhet a különböző eszközök márkanevvel történő ellátása, szerszámok, vagy alkatrészek sorszámozása. A lézersugár tulajdonságainak köszönhetően apró felületekre is nagy pontossággal lehet gravírozni. A nem tükröződő felületek pedig kitűnő eredményt adnak.

Az ilyen gépek általában raszteres üzemmódban dolgoznak, ez azt jelenti, hogy a lézer sorról-sorra haladva – hasonlóan, mint a tintasugaras nyomtatók – pontokból alakítja ki a kívánt ábrát. Lézergravírozásra két lézertípust szoktak használni; a YAG (yttrium-aluminium-garnet) lézert és a CO<sub>2</sub> (szén-dioxid) lézert. Az alábbi táblázatban azok az anyagok, felületek láthatóak, melyek a YAG és CO<sub>2</sub> lézerekkel megmunkálhatóak. Általános szabály, hogy amit YAG lézerrel nem lehet (szépen) gravírozni, azt szén-dioxid lézerrel igen. Látható, hogy plexi (fényvezető laphoz) gravírozásakor kizárólag szén-dioxid lézer használható [36].

| Anyagok, felületek                                                 | Lézer típusa |                 |
|--------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------|
|                                                                    | YAG          | CO <sub>2</sub> |
| fém<br>(alu, réz, acél, vas)                                       | IGEN         | NEM             |
| fém bevonatos<br>(lakkozott réz, alu, nikkelezett)                 | IGEN         | NEM             |
| fém bevonatos<br>(eloxált alu)                                     | IGEN         | IGEN            |
| plexi, akril, gumi                                                 | NEM          | IGEN            |
| fa<br>(natúr, lakozott, pácolt)                                    | NEM          | IGEN            |
| hengeres felületek<br>(borosüvegek, poharak, festett fémfelületek) | NEM          | IGEN            |

1. táblázat Lézer típusának helyes megválasztása különböző anyagok, felületek lézergravírozásakor [37]

### 2.3.3. Szerigrafia

A szerigrafia vagy közismertebb nevén szitanyomás nagyon régi technológia. Ez az eljárás LGP felületi mintázatának létrehozására is használható. Egyszerű, viszonylag olcsó módszer a kis sorozatú nyomásoknál, sőt, nem igényel nyomdagépet sem [38].

A szitatechnika lényege a következő: az eljárás nyomóformája egy szőtt, formakeretre rögzített, megfeszített szitaszövet, ahol a szálsűrűség akár 200 szál/cm is lehet. Anyaga általában acél, poliamid vagy poliészter [39]. A sűrű szövésű szitaanyagot, amelynek azt a részét, mely a kívánt ábrát, mintázatot tartalmazza, tisztán hagyjuk, a többi részt pedig valamilyen szövetzáró anyaggal kezeljük. Így ezen a részen a festék nem képes áthatolni. Eljárhatunk úgy is, hogy a keretre feszített szitát fényérzékeny anyaggal vonjuk be, majd megszáritjuk. Ezután ráhelyezzük a grafikát (mintázatot) a szitára, üveglappal rögzítjük, majd nagy fényerősségű fényforrásokkal megvilágítjuk a fotoemulzió fajtájától függően változó ideig. A szitanyomat előhívása vízzel történik. A szitát addig kell mosni, amíg a grafika látható nem lesz. Utána a vizet fel kell itatni a szitáról és meg kell szárítani. Következhet a kisebb-nagyobb hibák fotoemulzióval történő javítása. Száradás és újbóli megvilágítás után a szita elkészült. Ezután a szita alá helyezik a kívánt anyagot, jelen esetben a polimer lapot, majd a szitaszerszámba festéket tesznek. Egy éles gumilemezzel a festéket végighúzzák a szita belsején. A nyitott, átlátszó felületeken a festék átnyomódik, így születik meg a szitanyomat [40,41].

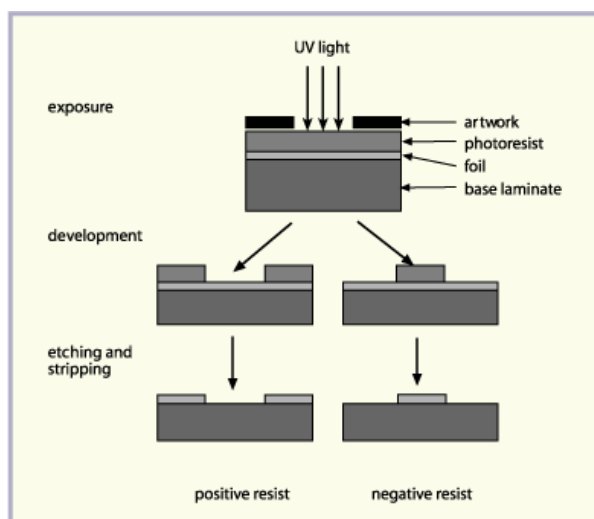


10. ábra A szitanyomás technikája [42]

### 2.3.4. Litográfia

A litográfia vagy kőrajz a síknyomtatás egyik ága. Az eljárás az olajos, zsíros anyagok és a víz kölcsönös tasztításának elvén alapszik. Egy simára csiszolt kőlapra zsírból készült litográfiai krétával viszik fel a rajzot, a mintát. Ezt nevezzük kőrajznak. Ezután a kőlapot megnedvesítik, és az egész felületére olajos nyomdafestéket visznek fel. Ez a litográfiai krétával rajzolt ábrán, mintázaton megtapad, a többi részen viszont nem, innen a festék könnyen eltávolítható. A nyomtatásra szánt papírlapot, LGP készítésekor pedig a polimer lapot ráhelyezik a kőlapra, majd ehhez hozzápréselik. Az olajos részek átadják a festéket, így jön létre a litográfia [43].

Ennek az eljárásnak egy speciális változata a fotolitográfia. Ebben az esetben az ábra felvitele valamilyen fényérzékeny réteg segítségével, fototechnikai úton történik. A fényérzékeny anyagot fotorezisztnek nevezzük. Ez arra utal, hogy megvilágítás hatására megváltozik az anyag oldhatósága, ellenálló képessége valamilyen oldószerrel (előhívóval) szemben. Működésük szerint megkülönböztetünk pozitív illetve negatív fotoreziszteket aszerint, hogy az eredeti ábrát vagy annak ellentettjét kapjuk megvilágítás (előhívás) után. Fontos megjegyezni, hogy megvilágítás hatására a felület lassabban és gyorsabban oldódó területekre oszlik, nem pedig oldható és nem oldható részekre, tehát fennáll a túlhívás veszélye. Pozitív fényérzékeny réteg esetén a megvilágítás után a fényt kapott rész eltávolítható, viszont ott, ahol nem érte fény, megmarad. Negatív fotoreziszt esetén pedig fordítva történik mindez. Ezt az eljárást főleg a félvezetőiparban használják, de LGP készítésére is alkalmas lehet. Ez a módszer bonyolultabb a szitanyomásnál, ezért fényvezető panel létrehozására nem igazán használják, annak ellenére, hogy ez lehetséges lenne [44].

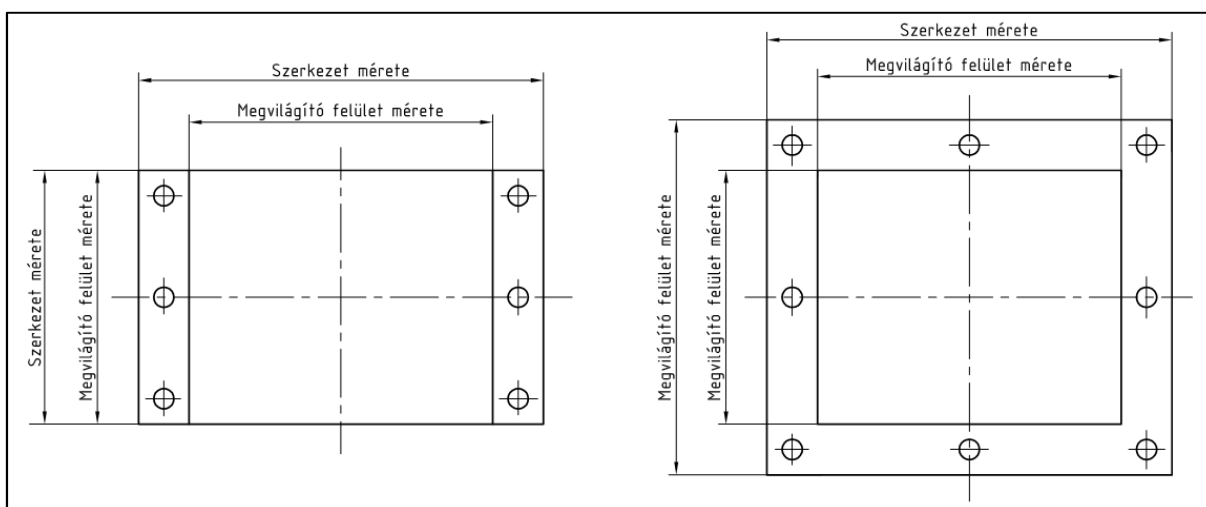


11. ábra A pozitív és a negatív fotoreziszt közötti különbség [45]

## 2.4. Építési magasság és a világító felület mérete

Amint azt a típusoknál írtam, az Edge LED háttérvilágítás technikája miatt az ilyen típusú szerkezet vékonyabb, mint a Full LED-esé. A jelenlegi piacon általában a 10 mm építési magasság alatt szinte kizárólag Edge LED kialakítás lehetséges. Vagyis: ha korlátozott a világításra rendelkezésre álló hely (~10 mm), akkor Edge LED technikával készült megvilágítást kell használnunk. Ha nagyobb hely áll rendelkezésre, akkor Full LED-eset érdemes használni, hiszen így sokkal nagyobb fényerősség és jobb homogenitás érhető el. Általában a gyártási költségei is kisebbek, nem igényel nagy tervezői munkát. Ezek miatt az ára olcsóbb lesz, mint Edge LED-es elrendezés esetén.

Full LED-es kialakításnál a világító felület mérete megegyezhet a szerkezet méretével vagy ennél kisebb lehet. Az Edge LED-es konstrukciónál a szerkezet mérete sosem egyezik meg a világító felület méretével, hiszen oldalt helyet foglalnak el a fényforrások. Tehát a háttérvilágítás befoglaló méretei minden esetben nagyobbak, mint a világító felület nagysága. A 12. ábrán ezt szeretném szemléltetni.



12. ábra A szerkezet mérete és a megvilágító felület viszonya

Napjainkban a kereskedelmi forgalomban kapható háttérvilágításokról végeztem piackutatást. A vizsgálat nem teljes körű, de igyekeztem széles körben felmérni a piacot. A következő oldalon található táblázatban (2. táblázat) összegyűjtöttem néhány standard méretet, melyet azonnal be tudunk szerezni a gyártóktól [46-51]. Ezeket megrendelés esetén szállítják. Sok cég kívánság szerint tetszőleges méretűt is el tud készíteni, melyeket egyedileg gyártanak le. Így az átlagos homogén intenzitás-eloszlástól való eltérésük általában nagyobb, áruk pedig magasabb lesz. Érdemes tehát standard méretet választani.

| Megvilágító felület mérete |                   | Szerkezet mérete  |                   |                   | Típus    |
|----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| Hosszúság<br>[mm]          | Szélesség<br>[mm] | Hosszúság<br>[mm] | Szélesség<br>[mm] | Vastagság<br>[mm] |          |
| 27                         | 27                | 39                | 29                | 15                | FULL-LED |
| 43                         | 35                | 45                | 47                | 15                |          |
| 50                         | 50                | 72                | 72                | 12                |          |
| 50,4                       | 50,4              | 72,3              | 72,3              | 23,9              |          |
| 51                         | 51                | 63                | 53                | 15                |          |
| 63                         | 60                | 75                | 72                | 15                |          |
| 83                         | 75                | 95                | 87                | 15                |          |
| 100                        | 100               | 112               | 112               | 15                |          |
| 100                        | 100               | 123               | 123               | 19                |          |
| 101,6                      | 101,6             | 123,1             | 123,1             | 23,9              |          |
| 140                        | 105               | 152               | 117               | 15                |          |
| 160                        | 120               | 172               | 132               | 15                |          |
| 200                        | 100               | 225               | 123               | 19                |          |
| 200                        | 100               | 260               | 120               | 23,5              |          |
| 200                        | 150               | 212               | 162               | 15                |          |
| 200                        | 150               | 260               | 170               | 23,5              |          |
| 203,2                      | 203,2             | 224,7             | 224,7             | 23,9              |          |
| 211                        | 200               | 223               | 212               | 15                |          |
| 224                        | 170               | 236               | 182               | 15                |          |
| 250                        | 200               | 310               | 220               | 23,5              |          |
| 25                         | 25                | 38                | 26                | 6                 | EDGE-LED |
| 30                         | 30                | 36                | 30                | 9                 |          |
| 41                         | 30                | 42                | 43                | 6                 |          |
| 50                         | 50                | 93                | 93                | 10                |          |
| 56                         | 45                | 81                | 66                | 7                 |          |
| 56                         | 56                | 72                | 72                | 6                 |          |
| 59                         | 47                | 59                | 58                | 15,2              |          |
| 60                         | 30                | 60                | 36                | 9                 |          |
| 60                         | 60                | 66                | 60                | 9                 |          |
| 60                         | 60                | 94                | 94                | 10                |          |
| 70                         | 40                | 80                | 70                | 9,5               |          |
| 70                         | 53                | 95                | 74                | 7                 |          |
| 88                         | 71                | 88                | 81,6              | 15,2              |          |
| 90                         | 30                | 102               | 30                | 9                 |          |
| 90                         | 40                | 100               | 70                | 9,5               |          |
| 90                         | 60                | 102               | 60                | 9                 |          |
| 90                         | 90                | 102               | 90                | 9                 |          |
| 100                        | 80                | 132               | 120               | 8                 |          |
| 100                        | 100               | 110,9             | 100               | 16,8              |          |
| 100                        | 100               | 133               | 133               | 10                |          |
| 100                        | 100               | 143               | 143               | 10                |          |
| 120                        | 30                | 132               | 30                | 9                 |          |
| 120                        | 60                | 132               | 60                | 9                 |          |
| 120                        | 90                | 132               | 90                | 9                 |          |
| 120                        | 120               | 132               | 120               | 9                 |          |
| 180                        | 135               | 214               | 177               | 8                 |          |
| 200                        | 50                | 200               | 60,9              | 16,8              |          |
| 200                        | 180               | 234               | 222               | 8                 |          |
| 200                        | 200               | 233               | 233               | 10                |          |
| 200                        | 200               | 247               | 247               | 10                |          |
| 360                        | 250               | 410               | 310               | 16                |          |

2. táblázat Az ipari képfeldolgozásban használt, kereskedelmi forgalomban kapható háttérvilágítások standard mérete típus szerint

## 2.5. Homogenitás- és intenzitásértékek

Ha egy sugárzás teljes sugárzási energiája szerint értékelő mennyiségeket vizsgálunk (radiometria), akkor radiometriai mennyiségekről beszélünk. Amikor azonban a sugárzásnál figyelembe vesszük a szem érzékenységi görbéjét és csak látható tartományban vizsgálódunk (fotometria), akkor fotometriai mennyiségekről beszélünk. A következőkben én csak a fotometriával foglalkozom. A fénymérés vagy fotometria a látható fény (380 nm – 780 nm) mérés technikájával foglalkozó tudományág. Ehhez fénytechnikai mennyiségeket és egységeket kell rögzíteni, hiszen csak ezek segítségével tehetünk egyértelmű megállapításokat a fényvel kapcsolatban [52,53].

Ha valamely főnyaláb adott metszetén  $dt$  idő alatt  $dW$  fényenergia áramlik át, akkor a fényáram definíciója:

$$\Phi = \frac{dW}{dt} \quad [lm] \quad (2.3.)$$

Egy fényforrás fényerőssége az általa egy bizonyos irányban kisugárzott fényáramnak és a besugárzott térszögnek a hányadosával egyenlő:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad [cd] \quad (2.4.)$$

A megvilágítás a felület egy adott pontján az oda beeső  $d\Phi$  fényáram és a felületelem  $dS$  területének a hányadosa:

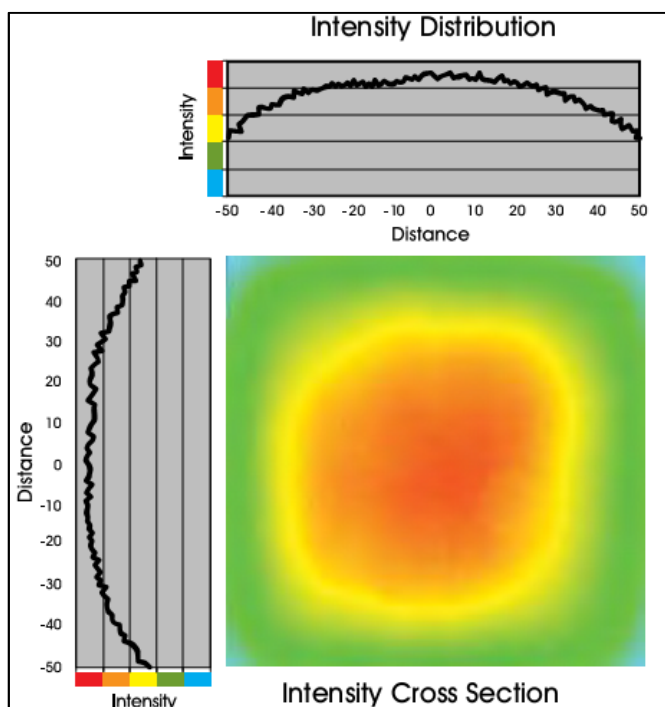
$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad \left[ \frac{lm}{m^2} = lux \right] \quad (2.5.)$$

Egy fényforrás fényűrűsége a fényerősségnek és a világító felület méretének hányadosával egyenlő:

$$L = \frac{dI}{dS} \quad \left[ \frac{cd}{m^2} \right] \quad (2.6.)$$

Ezek közül a mennyiségek közül egy háttérvilágítás homogenitását, azaz az egyenletes intenzitás-eloszlást a fényűrűség határozza meg. Szakdolgozatomban ha intenzitás-eloszlást használok valamire, akkor a fényűrűségre gondolok.

Sajnálatos módon a gyártók nem közlik a felhasználókkal, hogy az általuk gyártott illetve forgalmazott háttérvilágításnak milyen a homogenitása. Nagyon ritkán közölnek egy ábrát, ami tulajdonképpen „semmitmondó” (13. ábra). Jól látható, hogy az intenzitásérték nincs feltüntetve a tengelyen, így a felhasználónak fogalma sincs, hogy az adott háttérvilágításnak milyen az intenzitás-eloszlása.



13. ábra Háttérvilágító intenzitás-eloszlása [54]

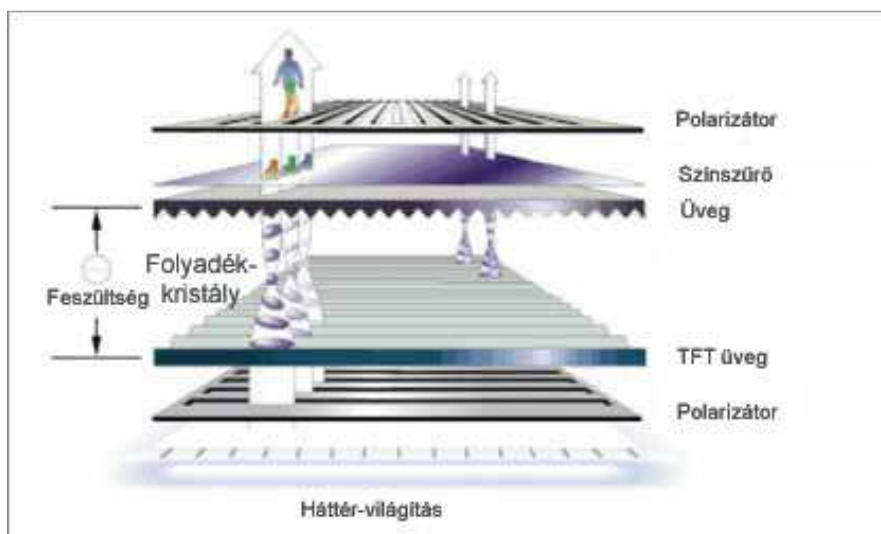
Az intenzitásértékeket egyrészt a LED-ek elrendezése, vagyis a háttérvilágítás típusa határozza meg, melyet már korábban említettem, másrészt a használt fényforrás fény­sűrűsége. A LED-eket egyenáramú áramgenerátorról működtetik. Ha a hálózati feszültséggel szeretnénk a fényforrást működtetni, akkor a LED elé egyenirányító és áramkorlátozó áramkört kell kapcsolni. Az alábbi táblázatban összegyűjtöttem egy 100 mm x 100 mm háttérvilágítás néhány különböző LED fény­sűrűségét és a hozzá tartozó értékeket egyenáramú folyamatos (a LED-ek villogtathatóak is) működtetés esetén. [55].

| LED színe | Hullámhossz/Színhőmérséklet | Egyenáram nagysága | Fénysűrűség            |
|-----------|-----------------------------|--------------------|------------------------|
|           | [nm/K]                      | [mA]               | [mcd/cm <sup>2</sup> ] |
| Vörös     | 640 nm                      | 155                | 95                     |
| Kék       | 470 nm                      | 320                | 125                    |
| Fehér     | 6500 K                      | 350                | 625                    |

3. táblázat Különböző LED-ek fény­sűrűsége háttérvilágításoknál

## 2.6. LED-es háttérvilágítások összehasonlítása az LCD panelekkel

Az LCD képernyő egy folyadékkristályos kijelzőből és háttérvilágításból áll. Ezek között elhelyeznek egy diffúzort, hogy biztosítsák a fény egyenletes eloszlását. A folyadékkristályokat alkotó szerves vegyületek adott hőmérsékleten a folyadékokhoz hasonló mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek, míg optikai tulajdonságaik a szilárd anyagokhoz hasonló. Hosszú molekulákból épülnek fel, melyek rendezettsége külső elektromos tér hatására megváltoztatható. Ezek a molekulák képesek a rajtuk áthaladó fény polarizáltságát megváltoztatni, vagyis a külső elektromos tér változtatásával változtatható a rajtuk áthaladó fény polarizáltsága, tehát a fény „elcsavarható”. Ha sötét pixelt kell létrehozni, akkor az LCD panel nem engedi át a fényt, ha világosra, akkor igen. Azonban az LCD panelek nem képesek teljes mértékben lezárni a mögöttük lévő fényt, ezért a sötét képrészleteket fakóbbaknak látjuk. Ez csökkenti a kép kontrasztját és a látott kép élességét is [56]. Az LCD képernyő működését és felépítését a 14. ábra szemlélteti.



14. ábra LCD panel felépítése és működése [57]

A képpont színe a háttérvilágítás színével egyezik meg. Színes LCD kijelzőknél minden képpontot három elemi képpont épít fel, ezeknél színszűrők segítségével állíthatjuk elő a kívánt RGB összetevőket. Régebben az elemi képpontokat egy mátrixba rendezett vezérlő áramkörökkel kapcsolgatták, ahol kijelöltek egy sor cellát, és az oszlopokon végiglépkedve vezérelték egymás után a cellákat. Az ilyen működésű kijelzőket nevezzük passzív kijelzőknek. Ám ezek nagyon lassúak voltak. A lassúságot a TFT (Thin Film Transistor - Vékonyfilm tranzisztor) megjelenítő kifejlesztése oldotta meg, melynél minden elemi cellát egy-egy tranzisztor vezérelt közvetlenül. Ezek a tranzisztorok és a hozzájuk



tartozó vezetékek természetesen a látható fényre átlátszók, különben látnánk azokat a képernyőn [58].

Az LCD képernyő háttérvilágítása lehet hideg katódcsöves vagy LED-es. A 15. ábrán ez látható. Manapság televízióknál mind a kétfélét használják. Attól függően, hogy milyen fényforrást alkalmazunk, megkülönböztetünk LCD tévét és LED tévét. A LED TV valójában egy LCD TV, ami LED-eket használ háttérvilágításként, az LCD-knél hagyományosan használt CCFL megvilágítás helyett. Viszont a háttérvilágítás előtt elhelyezkedő panel (LCD) mindkettő típusnál ugyanaz. Tehát a különbség csak annyi, hogy a LED (LCD) televíziókban fénycső helyett LED-ek világítanak. A fénycsövek és a LED-es fényforrások eltérő működési jellemzőkkel bírnak, ezért változnak a televíziók meghatározó paraméterei is [59].



15. ábra A CCFL, az Edge LED és Full LED háttérvilágítás különbségének szemléltetése [60]

A LED (LCD) tévék színhelyessége hosszú távon mindenképpen jobb a CCFL-ek öregedése, és az ezzel járó elszíneződés miatt. A WLED-es (White Light Emitting Diode, azaz Fehér LED) és a CCFL háttérvilágítású tévék színtere nagyjából azonos, azonban RGB LED-es háttérfénnyel sokkal szélesebb színspektrum érhető el. A különböző típusoknál eltérő a betekintési szög nagysága. A betekintési szög azt a nézőpontot adja meg, ahonnan nézve 10:1-es kontrasztarány mérhető [61]. Egy normál LCD TV esetében ahogy eltávolodunk oldalra a középső síktól, a kontraszt rohamosan csökkenni kezd, ezzel szemben a LED-es modellek e tekintetben már sokkal jobbak. Képük oldalról jobb minőségben nézhető, mint a standard LCD-k képe. Nem elhanyagolható szempont továbbá, hogy a LED-nek a CCFL csövektől eltérően nincs szüksége időre a bemelegedéshez, vagyis a bekapcsolást követően egyből remek képpel bírnak az ilyen TV-k. Ez a fénycsövek felfutási idejével magyarázható. A felfutási idő a fényforrás bekapcsolásától az állandósult fényáram 95 %-ának eléréséig eltelt idő [62]. Ráadásul a CCFL fénycsövek idővel jelentősen veszítenek fényerejükből, ami minőségvesztést okoz. Ezzel szemben a LED-ek gyakorlatilag örök életűek. Tehát LED-es előny továbbá az óriási fényerő is. A gyors mozgások megjelenítését illetően azonban nincs igazán különbség a LED és a CCFL verziók között, lévén, hogy ez leginkább a válaszidő és a frissítési ráta kérdése, ami pedig LCD specifikus [63].

A felhősödés (clouding) nevű jelenség akkor keletkezik, ha a kijelzőknél a háttérfény nem egyenletesen oszlik el, azaz a sötétebb területeket világosabb foltok váltják fel. A CCFL és a teljes LED háttérvilágítást alkalmazó készülékek esetében ez nem jelentkezik, azonban az Edge LED technológiáról ezt nem lehet elmondani. Ezeknél még mindig sokszor megfigyelhető a felhősödés [64].

Azt gondolhatnánk, hogy a LED televíziók azonos méretben biztosan kevesebbet fogyasztanak, mint az LCD modellek. A kevesebb fogyasztás azonban csak az Edge LED megvilágítású modellekről mondható el. Azoknak a LED televízióknak a fogyasztása, amelyek hátulról érkező, helyenként más erősségű megvilágításra képes technológiával készültek, átlagosan magasabb, mint az LCD televízióké. Mai környezettudatos világunkban az sem elhanyagolható szempont, hogy a LED-es TV-k gyártása kevésbé terheli a környezetet, mert ezek a modellek már teljesen higanymentesek [65]. Az alábbi táblázatban összefoglalva megtalálhatóak az LCD és LED kijelzők közötti különbségek.

| <b>Jellemző tulajdonság</b> |                                            | <b>LCD kijelző</b>   | <b>LED kijelző</b>       |
|-----------------------------|--------------------------------------------|----------------------|--------------------------|
| <i>Színhelyesség</i>        |                                            | rosszabb             | jobb                     |
| <i>Kontraszt</i>            |                                            | kisebb               | nagyobb                  |
| <i>Betekintési szög</i>     |                                            | kicsi                | közepes                  |
| <i>Fényforrások</i>         | <i>felfutási ideje</i>                     | van                  | nincs                    |
|                             | <i>sugárzásának időbeni egyenletessége</i> | nem egyenletes       | többé-kevésbé egyenletes |
|                             | <i>élettartama</i>                         | rövidebb             | hosszabb                 |
| <i>Környezeti hatás</i>     |                                            | nagyobb              | kisebb                   |
| <i>Energiafogyasztás</i>    |                                            | méret- és típusfüggő |                          |

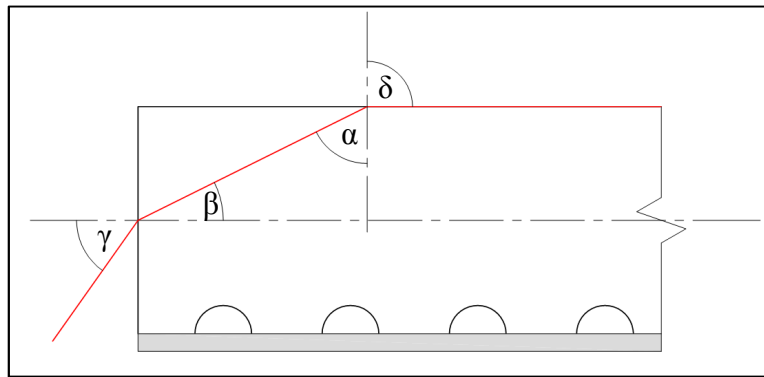
4. táblázat LCD és LED kijelzők közötti különbségek

Jól látható, hogy a LED-es háttérvilágítás minden téren előnyösebb, mint a CCFL-es. Először volt az LCD, most itt van LED-es LCD, de a jövő várhatóan már az OLED-ről fog szólni. Óriási kontrasztarány, 180°-os betekintési szög, rendkívül alacsony fogyasztás, kompakt kialakítás. Ezzel kecsegtet az új technológia, melyen van még mit fejleszteni [66].

### 3. LGP-vel szerelt háttérvilágító tervezésének kezdeti szakasza

#### 3.1. A fény belépési szögének változása az LGP-ben

Szeretném megtudni, hogy mekkora az a beesési szög, mely esetén a plexilapban (ha nincs mintázat illetve a fény nem változtatja meg útját ezeken) a fénysugár belépését követően, majd az LGP és a levegő határához érve a fény kilép az anyagból. Tehát nem fog teljes visszaverődést szenvedni az anyag belsejében. Ez már akkor teljesül, amikor a törési szög ( $\delta$ )  $90^\circ$ , azaz a beesési szög az LGP belsejében a határszög ( $\alpha$ ). Ezt a 16. ábra mutatja.



16. ábra A fény lehetséges útja a fényvezető lapban

Tegyük fel, hogy a fényvezető lapból még éppen kilép a fénysugár. Ilyenkor a felületen fog végighaladni, és ekkor a törési szög  $90^\circ$ . Ebben az esetben a (2.1.) egyenletet átrendezve meghatározható az  $\alpha$  szög:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{n_{\text{levegő}}}{n_{\text{plexilap}}} \cdot \sin\delta\right) \quad (3.1.)$$

Az ábrán jól látható, hogy  $\alpha$  és  $\beta$  egy derékszögű háromszög hegyesszögei, ezért  $\beta$   $\alpha$  ismeretében meghatározható:

$$\beta = 90^\circ - \alpha \quad (3.2.)$$

Amikor a fény a levegőből belép a fényvezető lapba, ott szintén törést szenved. A belépési szög ( $\gamma$ ) kiszámolható, ha a (2.2.) egyenletbe behelyettesítjük a (3.1) és (3.2.) egyenleteket. Ezek alapján minimális belépési szög:

$$\gamma = \arcsin \left\{ \frac{n_{plexilap}}{n_{levegő}} \cdot \sin \left[ 90^\circ - \arcsin \left( \left( \frac{n_{levegő}}{n_{plexilap}} \right) \cdot \sin \delta \right) \right] \right\} \quad (3.3.)$$

Mivel  $\delta = 90^\circ$ , ezért  $\sin \delta = 1$ , továbbá a levegő törésmutatója ( $n_{levegő} = 1,000294$ ) jó közelítéssel 1-nek vehető, ezért:

$$\gamma = \arcsin \left\{ n_{plexilap} \cdot \sin \left[ 90^\circ - \arcsin \left( \frac{1}{n_{plexilap}} \right) \right] \right\} \quad (3.4.)$$

A plexi törésmutatója hullámhosszfüggő. Ha behelyettesítünk néhány törésmutatót, a külső függvény ( $\arcsin$ ) argumentuma egynél nagyobbra adódik, ezért a művelet nem végezhető el. Jelen esetben ez azt jelenti, hogy bármekkora szöggel lép be a fény a levegőből a fényvezető lapba, ott a totálreflexió révén továbbhalad egészen a másik oldalig.

### 3.2. Egymásnak ellentmondó követelmények elemzése

A háttérvilágítókkal szemben támasztott követelmények egymásnak ellentmondóak: nagy fényerősség, esetenként óriási világító felület, homogén intenzitás-eloszlás és kis építési magasság. Ezeket a vágyakat nagyon nehéz egyszerre teljesíteni.

A tökéletes homogén intenzitás-eloszlás elméletben létezik, gyakorlatban (még) megvalósíthatatlan, ám törekedni kell arra, hogy a felület minden egyes elemi területén azonos legyen a fénykibocsátás. Dolgozatom korábbi részében már említettem, hogy ezt elérni Full LED esetén sokkal egyszerűbb, mint Edge LED technikánál. A következőkben a felület és a fényerősség kapcsolatát fogom bemutatni.

Full LED technika alkalmazása esetén elméletileg bármeddig növelhető a megvilágító felület nagysága, hiszen bármennyi LED-et képesek vagyunk a felület mögé helyezni. Az elhelyezett LED-ek sűrűségének növelésével egyenes arányban növekszik a fényerősség is. Azonban nem szabad túl kevés illetve túl sok fényforrást sem használni, meg kell találnunk az optimális sűrűséget. Ha keveset építünk be, akkor az a homogenitás rovására mehet, ha sokat, akkor az túlmelegedési, hőelvezetési problémákat okozhat. A hőelvezetés történhet hőcsövekkel és hűtőbordákkal is.

Ha Edge LED technikát alkalmazunk a világító felület méretének növelésekor a fényerő csökken. Ennek demonstrálásra szolgál az alábbi feltevés. Tegyük fel, hogy egy LED mérete egységnyi. Helyezzük el ezeket a felület szélei mentén. Legyen a felület mérete 1 egység x 1

egység, ez esetben a területe 1 egység. Mivel minden oldalra 1-1 fényforrást tudunk elhelyezni, összesen 4 darab LED biztosítja a felület megvilágítását. A felület területe (mérete) és a körberakható fényforrások száma között függvénykapcsolat van. Az alábbiakban ezt fogom bemutatni.

Az egyszerűség kedvéért négyzet alakú felületeket fogok vizsgálni. Először a felület minden oldala legyen 1 egység, majd az oldalak hosszát minden esetben növeljük 1-1 egységgel. A következő lépésben a felület oldalhosszai 2 egység méretűek, ezután 3 egység hosszúak, és így tovább. Egy 2 egység x 2 egység méretű felület esetén  $4 \times 2 = 8$  LED-re van szükség. Táblázatban összefoglaltam a felület nagysága és a LED-ek száma közötti viszonyt, majd grafikonon ábrázoltam a terület függvényében a szükséges fényforrások számát. Képezzünk egy mennyiséget, mely legyen a felület szélei mentén elhelyezhető LED-ek számának és a felület területének hányadosa:

$$m = \frac{k}{A} = \frac{\text{LED-ek száma}}{\text{Felület területe}} \quad (3.5.)$$

Ez a mennyiség arányos a fényerővel. Ha a sorozatból függvényt készítenénk, tehát a pontokat egy görbével kötnénk össze, akkor ez a meredekséget adná meg. A pontokat azért nem kötöttem össze, mert nem értelmezhetünk fél vagy negyed LED-et.

Az  $m$  mennyiség számértéke 4, utána 2. Könnyen belátható, hogy egy nullához konvergáló sorozatot kaptunk:

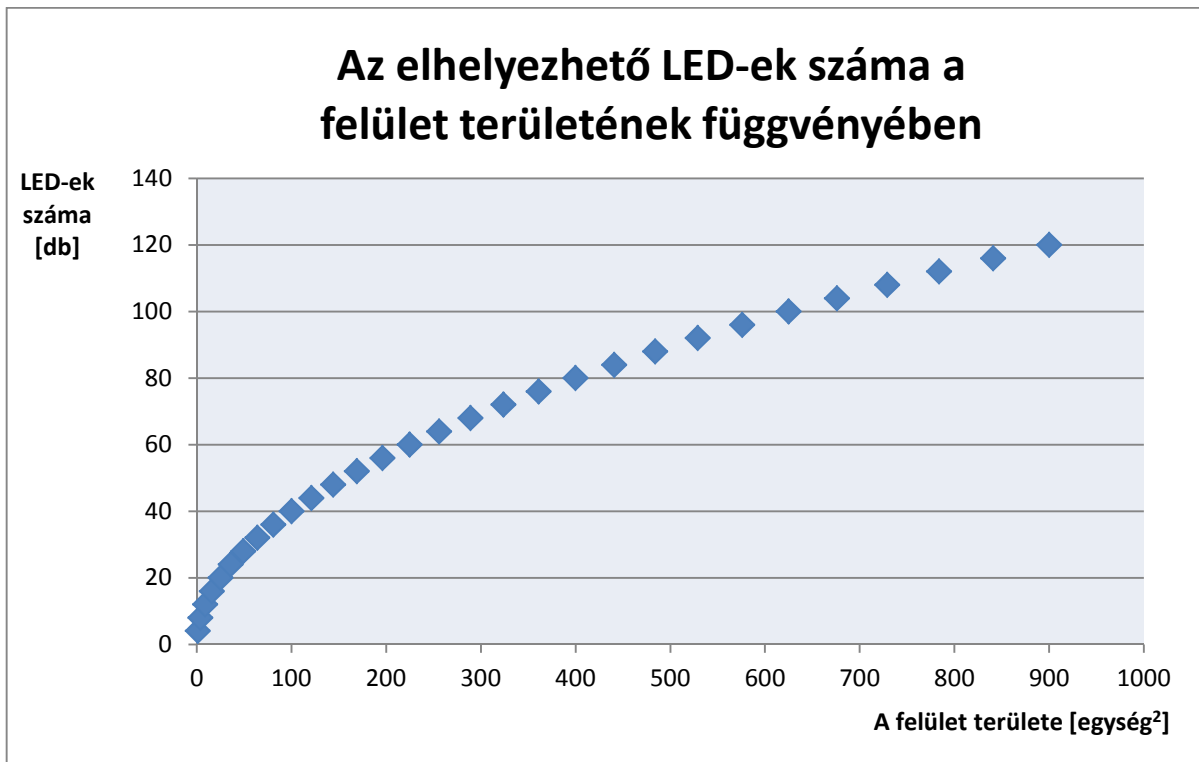
$$\lim_{n \rightarrow \infty} m = \frac{k}{A} = \frac{4 \cdot n}{n^2} = \frac{4}{n} = 0 \quad (3.6.)$$

ahol  $n = 1, 2, 3, \dots, \infty$  [egység]

Vagyis: minél nagyobb a felület, a megvilágítás illetve a fényerő annál kisebb lesz. Elméletileg végtelen nagy felület esetén a megvilágítás nulla. Ez azért van így, mert amíg az elhelyezhető LED-ek száma lineárisan nő, a felület mérete azonban négyzetesen növekszik. Ha minden egyes elemi felületdarabon ugyanakkora fénykibocsátást feltételezünk (tökéletes homogenitás), akkor ez az érték a felület méretével arányosan csökken.

| A felület minden oldalának hossza [egység] | A felület területe [egység <sup>2</sup> ] | Elhelyezhető LED-ek száma [db] | m (meredekség) [db/egység] |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 1                                          | 1                                         | 4                              | 4                          |
| 2                                          | 4                                         | 8                              | 2                          |
| 3                                          | 9                                         | 12                             | 1,3333                     |
| 4                                          | 16                                        | 16                             | 1                          |
| 5                                          | 25                                        | 20                             | 0,8                        |
| 6                                          | 36                                        | 24                             | 0,6667                     |
| 7                                          | 49                                        | 28                             | 0,5714                     |
| 8                                          | 64                                        | 32                             | 0,5                        |
| 9                                          | 81                                        | 36                             | 0,4444                     |
| 10                                         | 100                                       | 40                             | 0,4                        |
| 11                                         | 121                                       | 44                             | 0,3636                     |
| 12                                         | 144                                       | 48                             | 0,3333                     |
| 13                                         | 169                                       | 52                             | 0,3077                     |
| 14                                         | 196                                       | 56                             | 0,2857                     |
| 15                                         | 225                                       | 60                             | 0,2667                     |
| 16                                         | 256                                       | 64                             | 0,25                       |
| 17                                         | 289                                       | 68                             | 0,2353                     |
| 18                                         | 324                                       | 72                             | 0,2222                     |
| 19                                         | 361                                       | 76                             | 0,2105                     |
| 20                                         | 400                                       | 80                             | 0,2                        |
| 21                                         | 441                                       | 84                             | 0,1905                     |
| 22                                         | 484                                       | 88                             | 0,1818                     |
| 23                                         | 529                                       | 92                             | 0,1739                     |
| 24                                         | 576                                       | 96                             | 0,1667                     |
| 25                                         | 625                                       | 100                            | 0,16                       |
| 26                                         | 676                                       | 104                            | 0,1538                     |
| 27                                         | 729                                       | 108                            | 0,1481                     |
| 28                                         | 784                                       | 112                            | 0,1429                     |
| 29                                         | 841                                       | 116                            | 0,1379                     |
| 30                                         | 900                                       | 120                            | 0,1333                     |
| ...                                        | ...                                       | ...                            | ...                        |
| n                                          | n <sup>2</sup>                            | 4n                             | 4/n                        |

5. táblázat Az elhelyezhető LED-ek száma és a felület kapcsolata Edge LED elrendezés esetén



17. ábra Az elhelyezhető LED-ek száma a felület területének függvényében

### 3.3. Homogenitás mérése kijelzőkön

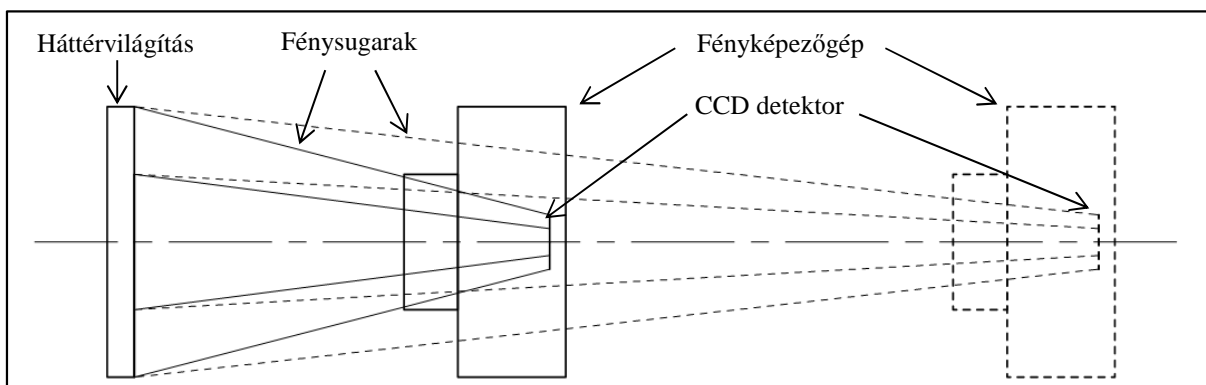
A gyártók a háttérvilágítás intenzitás-eloszlás értékeit nem tudatják a felhasználókkal, ezeket sehol sem teszik közzé. Nem szokásuk közölni semmilyen ábrát, amely megmutatná, milyen az adott háttérvilágítás fényerősség eloszlása. Ha ez ismert lenne, akkor ebből következtetni lehetne a homogenitásra, vagyis meg lehetne mondani, hogy az adott háttérvilágítás intenzitás-eloszlása mennyire homogén. Természetesen a gyártóknak ez nem érdekük, sokkal könnyebb leírni, hogy az adott termék megvilágítása homogén. Nagyon ritkán találkozhatunk katalógusban azzal, hogy a tökéletes homogén intenzitás-eloszlástól való eltérés  $\pm 5\%$ .

Mivel sehol nem találtam utalást arra, hogy a gyártók mekkora intenzitás eltérést engednek meg a kereskedelmi forgalomban kapható háttérvilágítások megvilágító felületénél, úgy döntöttem, hogy négy különböző kijelzőnél bemutatom és kiszámítom a tökéletesen homogén intenzitástól való eltérést. Számomra ez azért fontos, mert viszonyítási alapot jelent a saját háttérvilágításom tervezése során. Megjegyzem, hogy ezek a hátterek nem ipari képfeldolgozási célokra készültek, hiszen egy ilyen típusúnak sokkal jobbnak kell lennie, de így is kiindulásként a mérési eredményeket fontosnak tartom.

A négy háttérvilágítás a következő elektronikai eszközökbe volt beépítve: laptop monitor, LCD monitor, LCD televízió és LED televízió. Az első három termék fényforrása hidegkatódos fénycső (CCFL), a LED televízióé – ahogy a nevében is benne van – LED. Habár ezek közül csak az egyik használ olyan fényforrást, melyet a saját háttérvilágításomba tervezek, a mérések jó kiindulási alapot jelentenek számomra.

A mérést úgy végeztem, hogy egy lesötétített szobában felvételeket készítettem az adott tárgy kijelzőjéről. A képernyőkön a fénykibocsátó terület teljes területén fehér színű képet jelenítettem meg. Minden eszköz fényképezésekor figyeltem arra, hogy a megvilágító felületek párhuzamosak legyenek a fényképezőgép detektorával, azaz ne készüljön ferde kép. Fontos volt a mérés során, hogy a felvételeket viszonylag távolról (4 méter) készítettem. Ez azért volt lényeges, mert ha a képek túl közlelről készültek volna, akkor az objektív lencsehibái, abberációi pontatlanságot eredményeztek volna, a mérés hibás lett volna. Amiatt, hogy messziről fényképeztem, sikerült elérnem, hogy az objektívbe, majd a CCD detektorra csak olyan sugarak érkezenek, melyek a háttérvilágítás fénykibocsátó felületére merőlegesek vagy azzal nagyon kis szöveget zárnak be. Ezt szemlélteti a következő oldalon látható 18. ábra. Végtelen távoli fényképezés esetén csak merőleges sugarak érkeznének a kamerába, ez esetben lenne a mérés a legpontosabb. (Természetesen ilyen távolságból való képkészítés

lehetetlen.) Fotózáskor be kellett állítani a megfelelő érzékenységet (záridőt) is, mert nagy záridő esetén a fényképezőgép CCD detektora telítésbe ment, azaz az elkészített képen az összes pixel maximális világosság értéket vett fel. Mindegyik eszköztől összesen három darab felvételt készítettem.



18. ábra Távolról történő fényképezés háttérvilágításoknál

A fényképek JPEG (Joint Photographic Experts Group) formátumban készültek. Ez egy veszteséges tömörítési eljárás, mely a tömörítéskor DCT (Diszkrét koszinusz transzformációt) alkalmaz. Ennek során előfordulhat, hogy nem lesznek valósak a fényképen a pixelek világosság értékei. Azonban a valóságtól való eltérés minimális lesz, de ennek a hibának a tudatában végeztem el a mérést és a kiértékelést.

A fényképek elemzése a következőképpen történt. Egy képszerkesztő programban megnyitottam ezeket, majd minden képen kijelöltem azt a területet, ahol az adott megvilágító felület volt, vagyis ahol a pixelek világossága szemmel láthatóan ugrásszerű változást mutatott (sötét és világos pixelek éles átmenete). Ennek a területnek a megfelelő körbehatárolása nem egyszerű, hiszen attól függően, hogy a „világos” terület szélét mennyire közelítjük meg, a végeredményben jelentős eltérések adódhatnak. A kijelölés után megjelenítettem az adott terület hisztogramját. A hisztogram egy olyan grafikon, amely arról ad felvilágosítást, hogy a különböző világosságú pixelekből mennyi van a képen, és ezek mennyisége hogyan aránylik egymáshoz. Tehát a vízszintes tengelyen a pixelek világosságának értéke, a függőleges tengelyen a pixelek mennyisége (relatív gyakorisága) található. A világosság értékek 8 bites kép esetén  $2^8$ , azaz 256 eltérő értéket vehetnek fel, ahol a 0 a legsötétebb (fekete) és a 255-ös érték a legvilágosabb (fehér). A két szélső érték között az átmenet lineárisan változik.

A hisztogram értékeit egy táblázatkezelő szoftverbe tettem át. Sok program csak megjeleníteni képes a hisztogramot, az értékeket kimenteni belőle lehetetlen. Minden képen a területet háromszor jelöltem ki azért, hogy a mérés nagyon pontos legyen. Mivel minden



háttérvilágításról három képem volt, és mindegyik fényképen az említett területet háromszor jelöltem ki, ez eszközönként kilenc adathalmazt eredményezett. Ezután a kilenc mérés átlagát vettem és a pixelek relatív gyakoriságát egész számra kerekítettem. Az így kapott értékeknél egy „szűrőt” alkalmaztam. Ezt azért használtam, mert az adathalmazban még így is maradtak olyan világosság értékek, melyekhez összesen egy-két darab pixel tartozott. Ezek a képen zajként jelenhettek meg. Ezeknek a pixeleknek az adatsorból való kizárása a következőképpen történt. Megkerestem azt a világosság értéket, melyhez a legtöbb pixelszám tartozott. Ezt az értéket elosztottam ezerrel, majd ezt a mennyiséget összehasonlítottam a többivel. Ha az adott világosság értékhez tartozó pixelszám ennél az értéknél kevesebb volt, akkor azt a számot nullával helyettesítettem. Az így kapott adatsort hisztogramon ábrázoltam. Ezek a grafikonok láthatóak a 19., 20., 21. és a 22. ábrákon. A hisztogram minden értéke (a teljes adatsor) a CD-ROM mellékleten megtalálható.

Megjegyzem, hogy a mérés során úgy is eljárhattam volna, hogy az egész kép hisztogramját vizsgálom. De a világos-sötét átmeneteknél (ott, ahol a fényemittáló felület szélei voltak) rengeteg pixel „zajként” jelent volna meg, és a hisztogramban nem lehetett volna jól elválasztani a képernyők és a sötét háttér pixeleit. Ezért választottam a fent említett módszert.

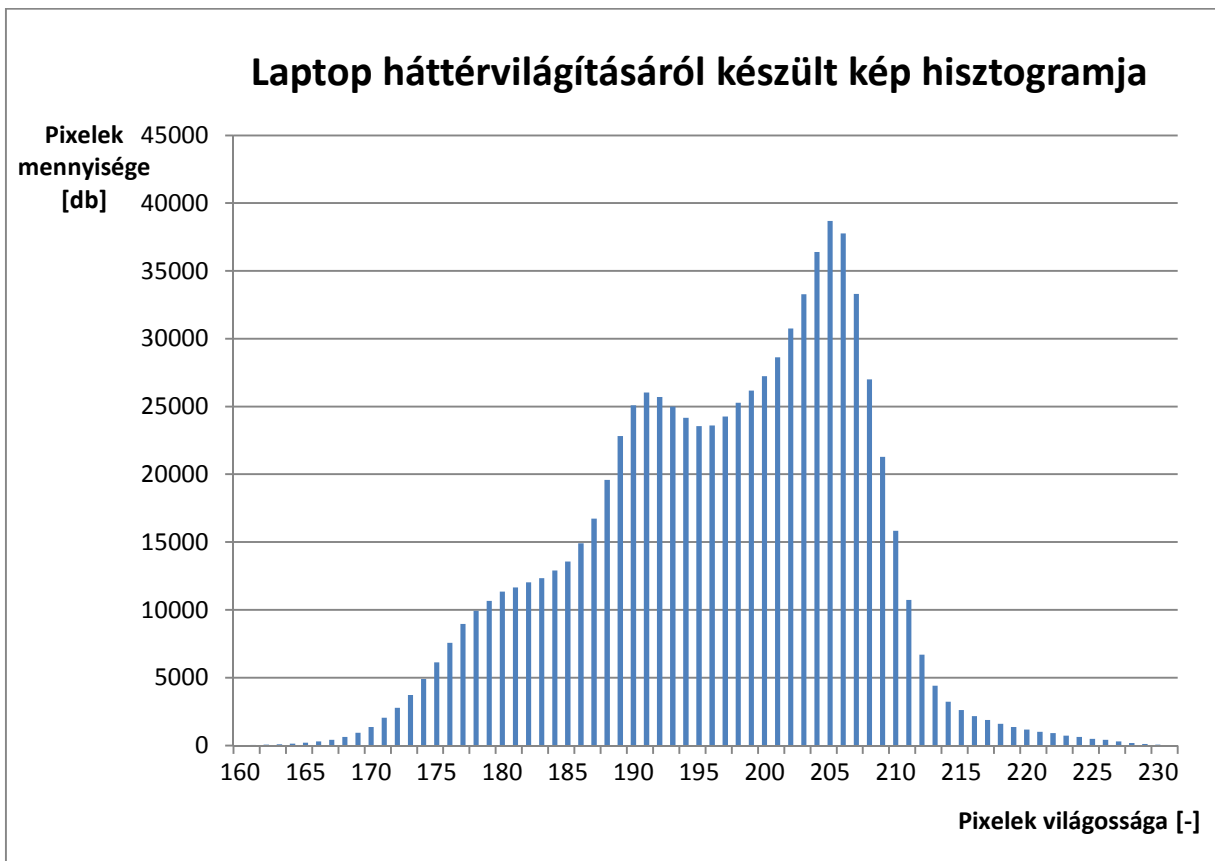
Tökéletes homogén intenzitás-eloszlás esetén a hisztogram egy függőleges vonalból állna. Ez azt jelentené, hogy a képen az összes pixel világosság értéke azonos, vagyis a háttérvilágítás fénykibocsátása a felület minden egyes elemi területén megegyezik. De ilyen a gyakorlatban nem létezik. Ezért szükségesnek találtam definiálni egy változót, mely százalékban adja meg az adott megvilágításra jellemző homogén intenzitás-eloszlástól való eltérést vagy más néven a „homogenitását”. Ez kiszámítható az alábbi képlettel:

$$E = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max}} \cdot 100 = \frac{\text{Világosság értékek terjedelme}}{\text{Maximális világosság érték, melyhez nem nulla pixelszám tartozik}} \quad [\%] \quad (3.7.)$$

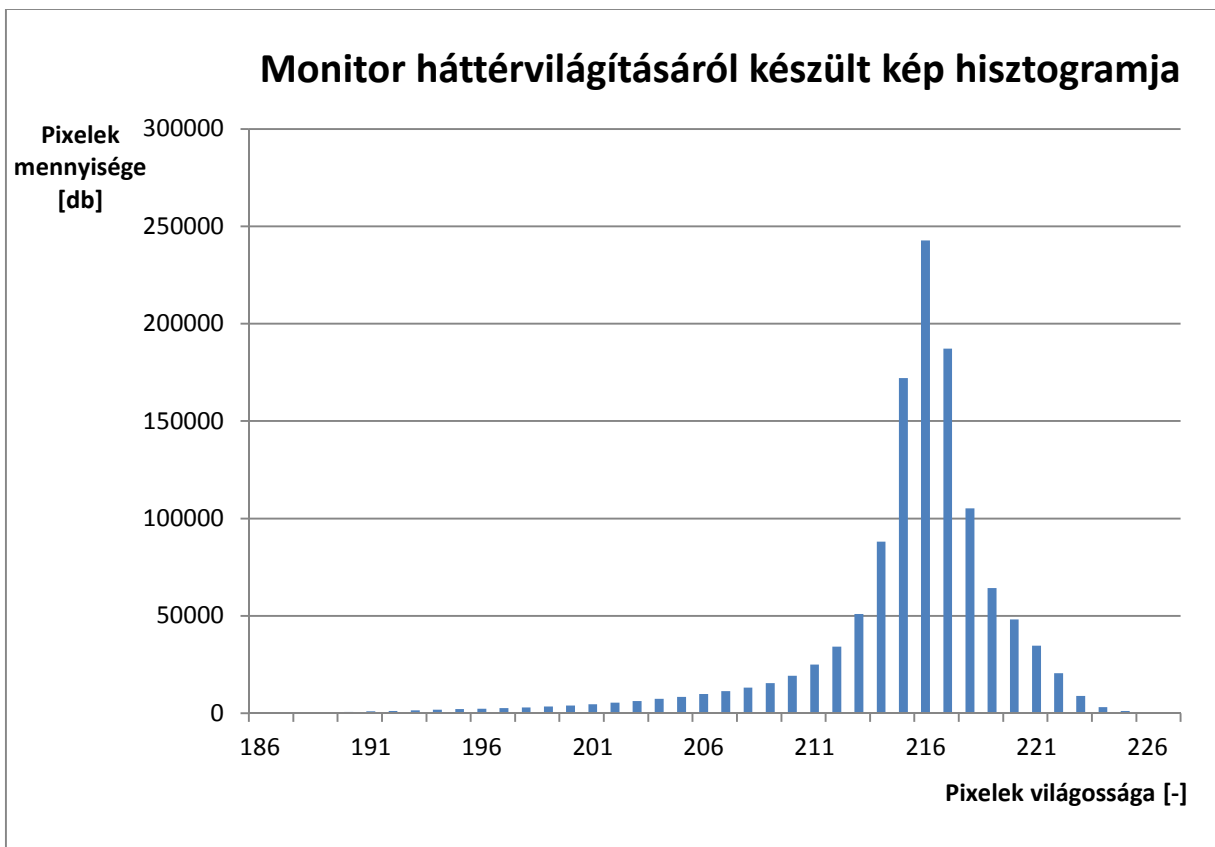
A 6. táblázatban összefoglaltam a háttérvilágítások fontosabb jellemzőit (képátló, képarány), továbbá feltüntettem a kiszámolt eltérést is.

| Mért eszköz neve   | Kép átmérője | Képarány | Számított eltérés (E) |
|--------------------|--------------|----------|-----------------------|
|                    | [" vagy cm]  | [-]      | [%]                   |
| <b>Laptop</b>      | 15,4"        | 16:10    | 30,43                 |
| <b>LCD Monitor</b> | 17"          | 5:4      | 17,70                 |
| <b>LCD TV</b>      | 66 cm        | 16:9     | 19,81                 |
| <b>LED TV</b>      | 106 cm       | 16:9     | 41,18                 |

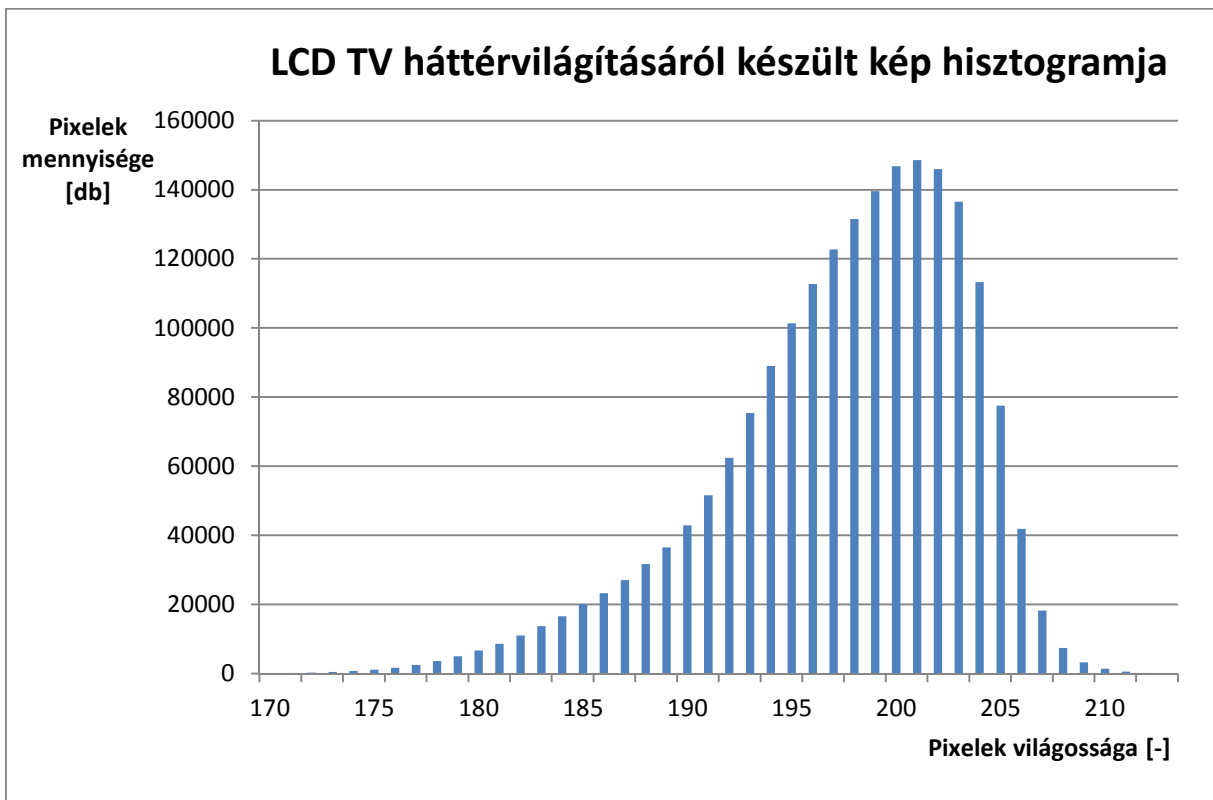
6. táblázat A vizsgált eszközök jellemző adatai és a számított eltérés



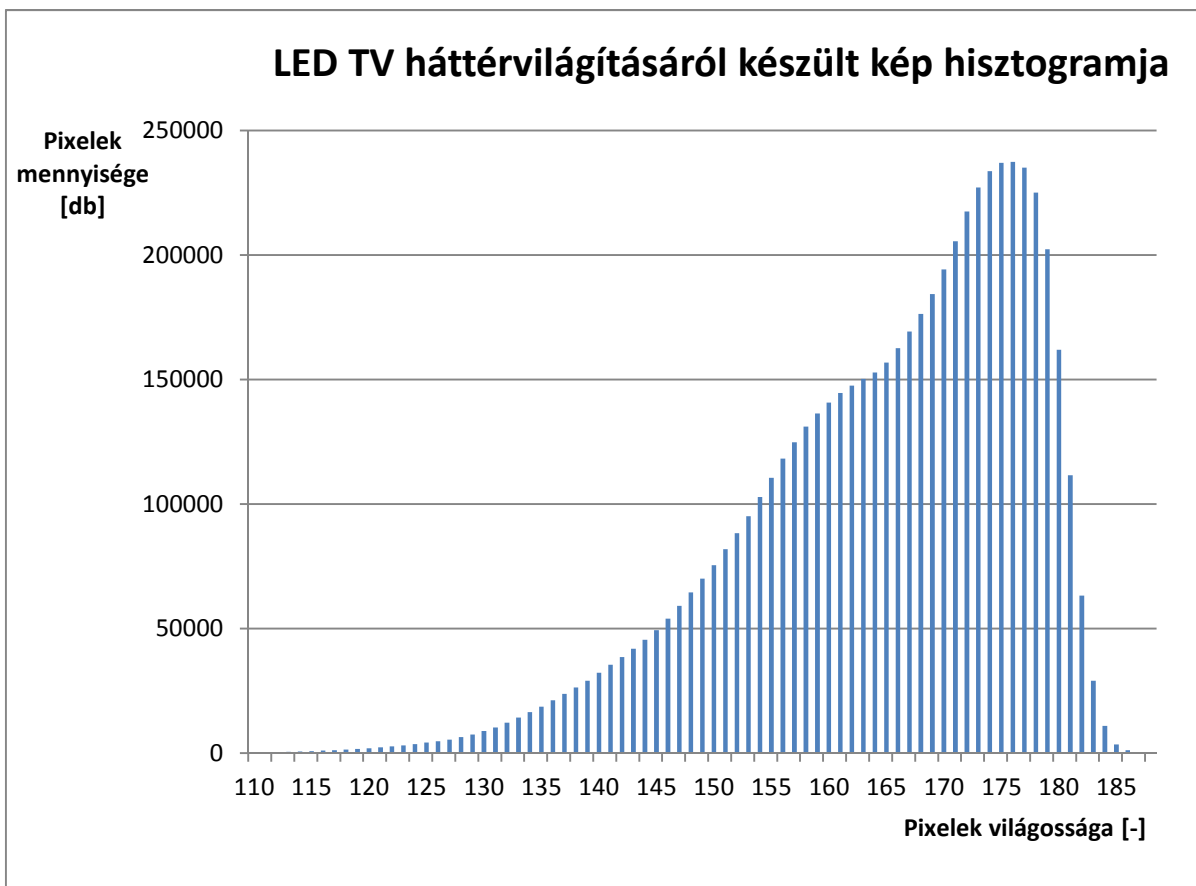
19. ábra Laptop háttérvilágításáról készült kép hisztogramja



20. ábra Monitor háttérvilágításáról készült kép hisztogramja



21. ábra LCD TV háttérvilágításáról készült kép hisztogramja



22. ábra LED TV háttérvilágításáról készült kép hisztogramja

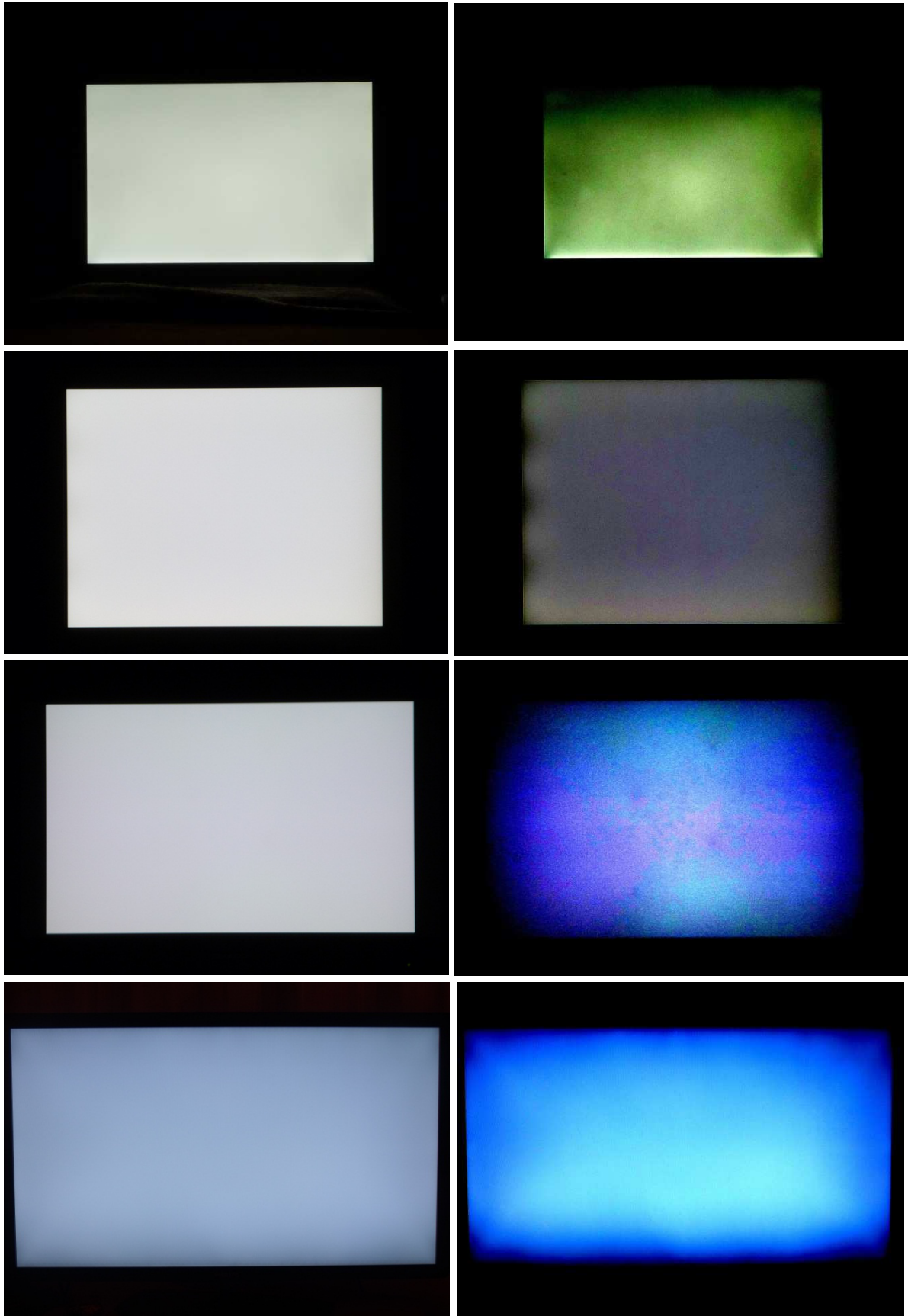
A hisztogramok érdekes eredményeket mutatnak. Megjegyzem, hogy a hisztogram nem ad információt arról, hogy az adott világosságú pixelek a képen hol helyezkednek el, ezeknek csak a képen található mennyiségét mutatja. Ennek figyelembevételével érdemes elemezni ezeket.

Laptorról készült kép hisztogramjánál a világosságértékek viszonylag nagy tartományt ölelnek fel. A maximális világosságérték után megfigyelhető, hogy az ennél nagyobb értékűekhez tartozó mennyiség nagymértékben lecsökken. De a maximális érték alatt a pixelek darabszáma lassú, közel egyenletes csökkenést mutat. Nagyon eltérő a helyzet a monitor esetén. Itt van egy kimagasló érték, viszont ennél sötétebb illetve világosabb pixelek száma rohamosan lecsökken. Látható, hogy sok, kis mennyiségű sötétebb pixel van. Ha tehát egy másik „szűrőt” alkalmaztam volna, ezek is eltűnnének, az eltérés még kisebb lenne. A televíziók hisztogramja látszatra nagyon hasonló, szinte csak az a különbség, hogy a LED TV-nél a pixelek világosságának tartománya nagyobb.

A háttérvilágításokról készült felvétel a 23. ábrán látható. Minden kép mellett (jobb oldalon) az eredeti felvétel képmanipulációval történő módosított verziója látható. Ezeket a fényképeket úgy készítettem el, hogy egy bizonyos világosság érték feletti pixeleket „kizártam” a képen történő megjelenítéstől. Ez azt jelentette, hogy ezeket a pixeleket nulla világosság értékkel (fekete) jelenítette meg a program.

Laptop monitorának fénykibocsátása egyáltalán nem homogén, bár mi annak érzékeljük. Ennek egyrészt az az oka, hogy a szem érzékenysége logaritmikus, másrészt pedig a kontraszt a pixelek világossága között kicsi, nagyon csekély mértékben térnek el egymástól, ezért agyunk ezeket azonos világosságérzetként kezeli. Ha az egymás melletti pixelek nagy világosság-eltérést (kontrasztot) mutatnának, az sokkal szembetűnőbb lenne. A laptop képernyőjének alján nagyobb a fénykibocsátás, továbbá jelentős a kép közepén is, de a széleken és a két felső sarokban a fénykibocsátás jelentős mértékben lecsökken. A monitor háttérvilágítása a legjobb a vizsgált megvilágítások közül (17,70 %). A kép közepén az intenzitás-eloszlás nagyon egyenletes, így megállapítható, hogy ez a világítás akár ipari képfeldolgozási célokra is használható lehetne. Meglepő, hogy majdnem kétszer jobb a fénykibocsátás egyenletessége, mint a laptornál úgy, hogy a megvilágító felület mérete is nagyobb.

A televíziók háttérvilágításánál nagy eltérések figyelhetők meg. Míg LCD TV-nél az intenzitás-eloszlás elfogadható (19,81 %, ami rosszabb, mint a monitoré), addig a LED TV-nél ez katasztrofálisnak nevezhető. Ennek az az oka, hogy ez a LED televízió Edge LED elrendezésű háttérvilágítást használ, továbbá óriási a képméret is. Ahogy nő a megvilágító felület, annál nehezebb elérni az egyenletes intenzitás-eloszlást Edge LED kialakításnál.

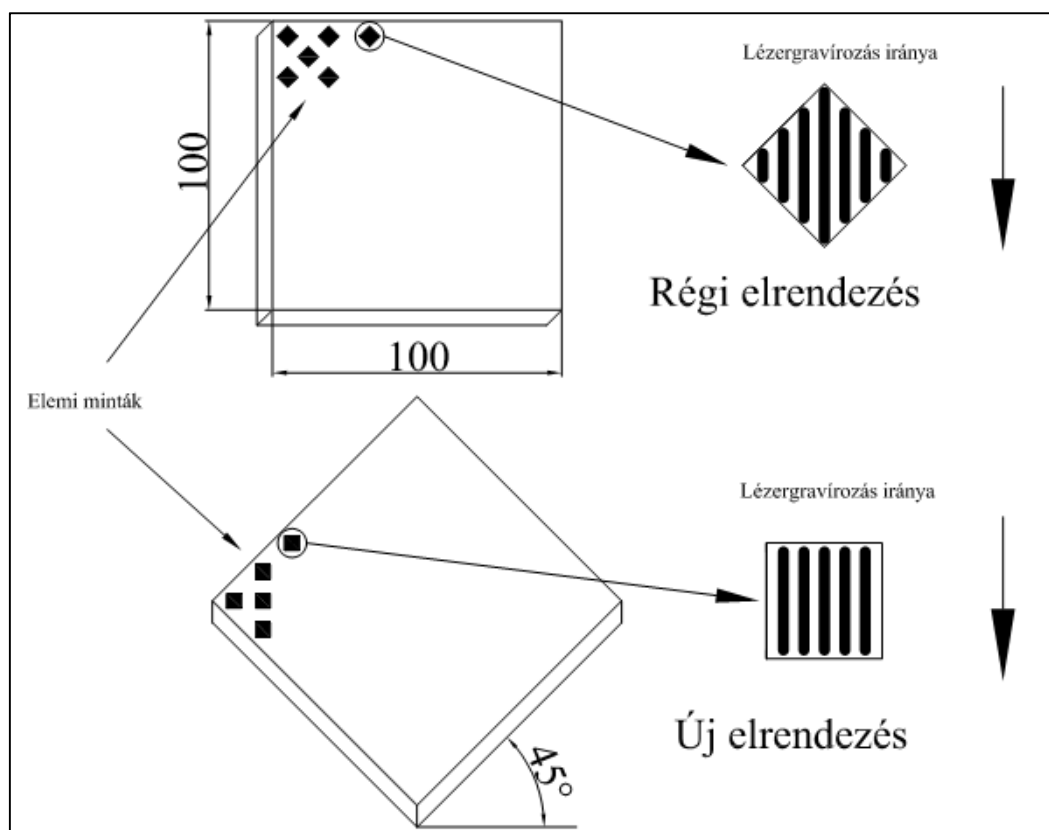


23. ábra Laptop, monitor, LCD televízió és LED televízió háttérvilágításának homogenitása (fentről lefelé); balra a háttérvilágításokról készült kép, jobbra az egyenetlen intenzitás-eloszlások szemléltetése képmanipuláció után

### 3.4. Tervezés kiindulási fázisa

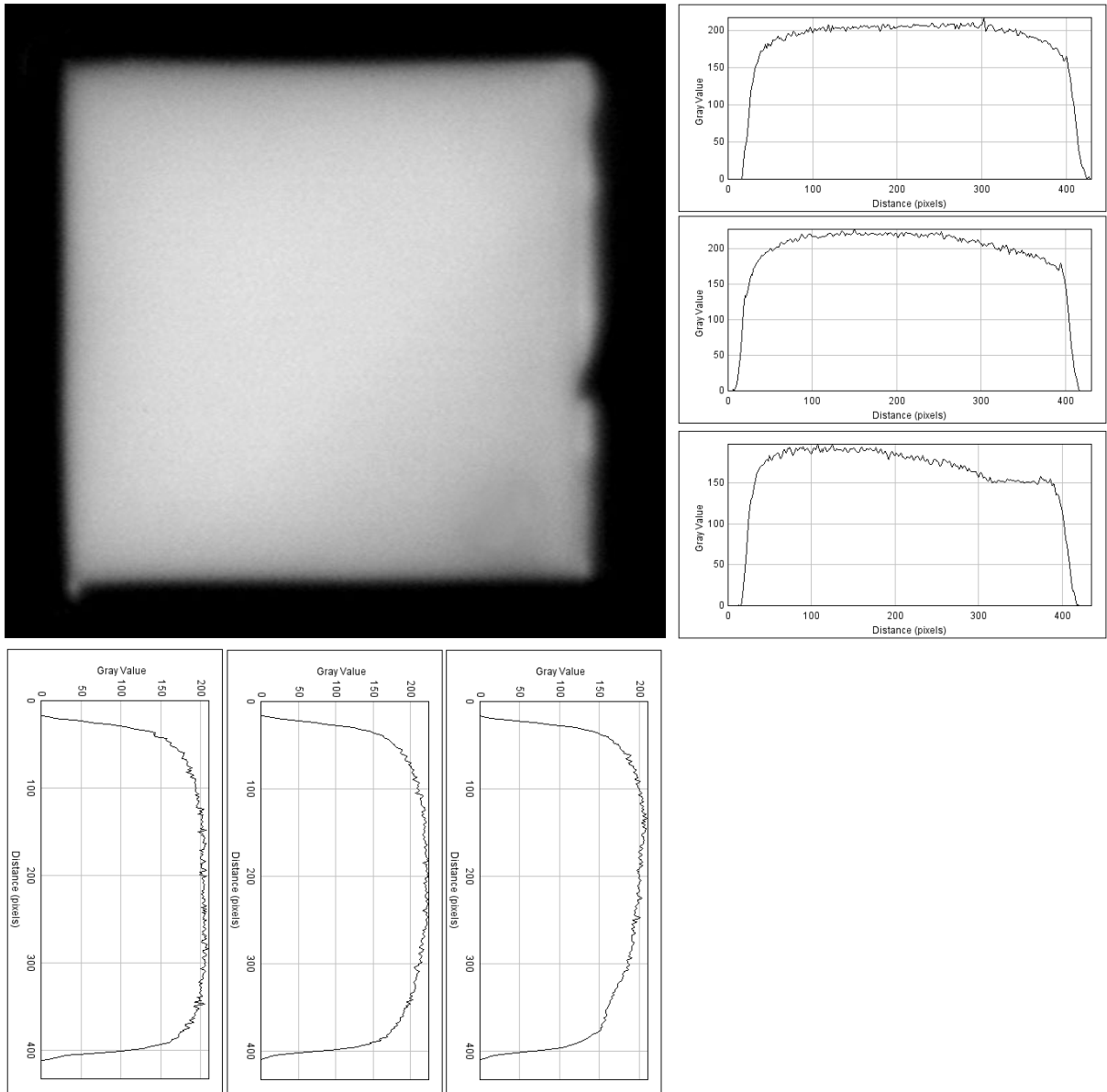
Az OPTIKA Mérnökiroda Kft. korábban már megpróbált elkészíteni olyan LED háttérrel, melynek intenzitás-eloszlása teljesíti az ipari képfeldolgozásban való elvárásokat. Én ennek a fejlesztésébe kapcsolódhattam be. A fejlesztés megvalósítása kísérleti úton történik. A cél, hogy minél kisebb anyagi ráfordítással a lehető legjobb homogenitást érjük el a LED háttereknél. Ezért drága szimulációs programokba nem célszerű befektetni, ez nem járható út, helyette a tervezés – gyártás – mérés – újratervezés elve érvényesül.

Az OMI koncepciója az volt, hogy egy 100x100x5 mm méretű plexilap 100x100 mm-es felületére lézergravírozással létrehoznak egy mintázatot. Ez látható a 24. ábrán. Több mintát elkészítettek, és azt tapasztalták, hogy az intenzitás-eloszlást meghatározza a minta alakjához képest a lézergravírozás iránya.

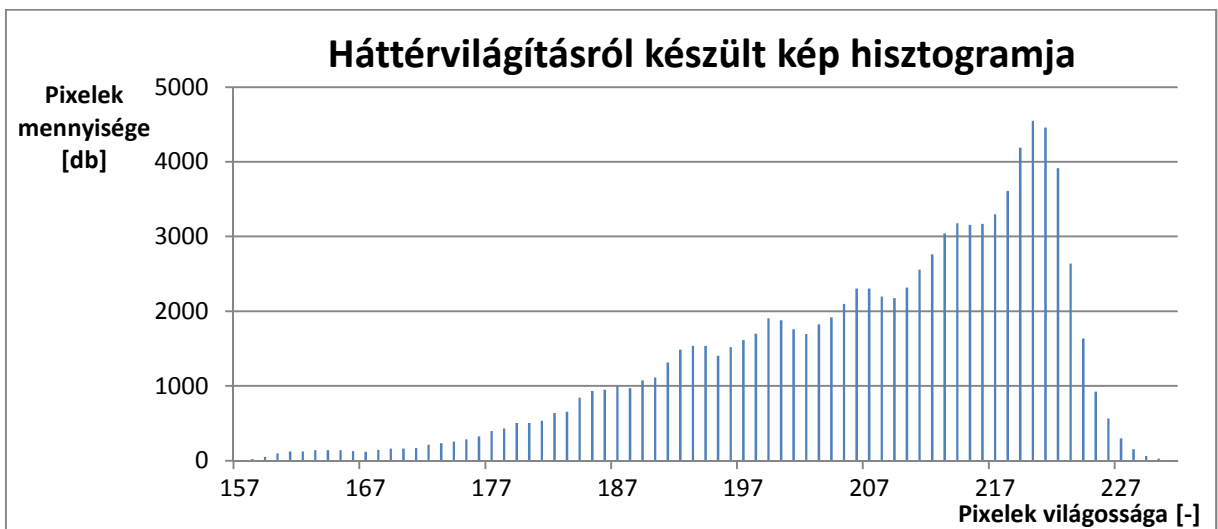


24. ábra LGP-k lézergravírozási iránya

Minden esetben lézergravírozással 0,5x0,5mm-es négyzeteket készítettek a fényvezető lapokba egymástól 0,5mm-es távolságra. Miután az új elrendezésű LGP-t körbehelyezték LED-ekkel, és megvizsgálták a háttérvilágítás homogenitását, azt vették észre, hogy az intenzitás-eloszlás nem egyenletes.



25. ábra Hátérvilágítás intenzitás-eloszlása



26. ábra Hátérvilágítás histogramja

A kísérletet én is elvégeztem. Az LGP kerülete mentén fényforrásokat helyeztem el úgy, hogy azok a plexibe világítsanak, majd a fényvezető lap alá egy fényvisszaverő lapot, felé pedig egy diffúzort helyeztem. Kamerával fényképeket készítettem a háttérvilágításról és vizsgáltam ennek intenzitás-eloszlását (25. ábra).

A háttérvilágításról készült fénykép mellé elhelyeztem a képen 3 sor illetve 3 oszlop vonal menti intenzitás-eloszlását. Ezeken a grafikonokon az látható, hogy adott sorban illetve oszlopban hogyan változik az egyes pixelek világossága. Mindegyik görbe ugyanazt mutatja; a kép közepén a pixelek világossága jóval nagyobb, mint a széleken. Ez azt jelenti, hogy a világosabb pixelű területeken több fény lép ki. A cél azonban az lenne, hogy mindenhol egyenlő nagyságú legyen a megvilágítás, vagyis a görbének egy vízszintes egyeneshez kellene közelítenie.

Elkészítettem a háttérvilágításról készült kép hisztogramját a 3.3. Homogenitás mérése kijelzőkön című fejezetben leírtak szerint. A (3.7.) egyenletbe behelyettesítve megkaptam a jellemző homogenitást:

$$E = \frac{234-159}{234} \cdot 100 = 32,05 \% \quad (3.8.)$$

A 32,05 %-os érték ipari képfeldolgozásban használatos háttérvilágításnál elfogadhatatlan, kereskedelmi forgalomba ilyen háttérvilágítás nem kerülhet. A hisztogram jól mutatja, hogy a pixelek világossága széles intervallumot ölel fel, melyet csökkenteni kellene (26. ábra).

A mérés után szabad szemmel megvizsgáltam a plexilapot. Észrevettem, hogy a lézergravírozással létrehozott elemi minták (négyzetek) mérete talán nem ugyanakkora. Lehetséges, hogy ez okozza a háttérvilágítás közepén a magasabb fényerősséget. Úgy döntöttem, hogy mikroszkóppal megvizsgálom az elemi négyzetek méretét.

### **3.5. Mikroszkóp skálájának kalibrálása**

A mérésekhez egy asztali mikroszkópot használtam. A mikroszkópról készült kép a 27. ábrán látható. Az okulárba egy kis kamera nézett bele, ennek az eszköznek a képét egy monitoron jelenítettem meg. Így nem kellett az okulárba szabad szemmel belenézni, ráadásul könnyebb volt az elemi négyzetek méretének leolvasása a mikroszkóp skálájáról.



A mérés előtt szükséges volt a mikroszkóp skálájának kalibrálása. A tárgyasztalra elhelyeztem egy milliméter etalont, melyen pontosan 1 milliméter távolságban tizedmilliméternyi vastagságú vonalak voltak. Ezután a monitoron megjelenített képet vizsgáltam. Megnéztem, hogy egy milliméter összesen hány osztás a mikroszkóp skáláján. A lehető legpontosabb eredmény érdekében megnéztem, hogy a teljes skálára hány egész számú milliméter esik, majd leolvastam, hogy ez hány osztást jelent a mikroszkóp skáláján.



27. ábra A mikroszkópról készült kép

Ezt a műveletet kétszer végeztem el két különböző objektívnél. A mérések során ezt a két objektívet használtam. Az okulárt nem cseréltem, ennek nagyítása 10x volt. Az alábbi táblázatban (7. táblázat) összefoglaltam, hogy a méréseknél mekkora volt a vizsgált objektív nagyítása.

| <b>Objektív nagyítása</b> | <b>Egész milliméterek száma a skálán</b> | <b>Leolvasott osztások száma</b> | <b>Számított érték (1 osztás hány mm)</b> |
|---------------------------|------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|
| [-]                       | [mm]                                     | [osztás]                         | [mm]                                      |
| 4x                        | 2                                        | 49                               | 0,040816                                  |
| 10x                       | 1                                        | 56                               | 0,017857                                  |

7. táblázat Mikroszkóp skálájának kalibrálása során mért és számított eredmények

Rögzítettem, hogy a teljes skálába hány egész milliméter esett bele, és ezek hány osztást jelentettek a mikroszkóp skáláján. Az alábbi képlettel meghatároztam, hogy egy milliméter pontosan hány osztás a skálán:

$$a = \frac{b}{p} = \frac{\text{Egész milliméterek száma}}{\text{Osztások száma}} \quad (3.9.)$$

Ha a két kiszámolt értéket egymáshoz viszonyítjuk, vagyis ha a 10x-es nagyításhoz tartozó értéket megszorozzuk a két objektív nagyításának hányadosával (10/4), akkor a 4x-es nagyításhoz tartozó értéket kellene kapni. De ez nincs így. A hiba oka lehet leolvasási pontatlanság illetve előfordulhat, hogy az objektívek nagyításai nem feltétlenül pontosan akkorák, mint ami fel van tüntetve rajtuk. A szakirodalom szerint minden mérés előtt érdemes kalibrálni a skálát különböző objektívek használatakor, mert az objektíveknél körülbelül 3%-os hiba is előfordulhat.

Tegyük fel, hogy a 7. táblázatban a Leolvasott osztások számánál 3%-os hiba „megengedhető”. Tehát lehetséges, hogy a leolvasott osztások 4x-es nagyítású objektív esetén 47, 10x-es nagyítású objektív esetén 58 osztás is lehet. A (3.9.) egyenletbe behelyettesítve megkapható, hogy egy osztás hány mm. Az eredményeket a 8. táblázatban foglaltam össze.

| <b>Objektív nagyítása</b> | <b>Egész milliméterek száma a skálán</b> | <b>Leolvasott osztások száma</b> | <b>Számított érték (1 osztás hány mm)</b> |
|---------------------------|------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|
| [ - ]                     | [ mm ]                                   | [ osztás ]                       | [ mm ]                                    |
| 4x                        | 2                                        | 47                               | 0,042553                                  |
| 10x                       | 1                                        | 58                               | 0,017241                                  |

8. táblázat Mikroszkóp skálájának kalibrálása során feltételezett hiba

A két kapott érték hányadosának egyenlőnek kellene lennie az objektívek nagyításának hányadosával (2,5). Ha elosztjuk egymással a két számított értéket, akkor a következő eredményt kapjuk (ez már nagyon jól közelíti a 2,5-et):

$$\frac{0,042553}{0,017241} = 2,468 \quad (3.10.)$$

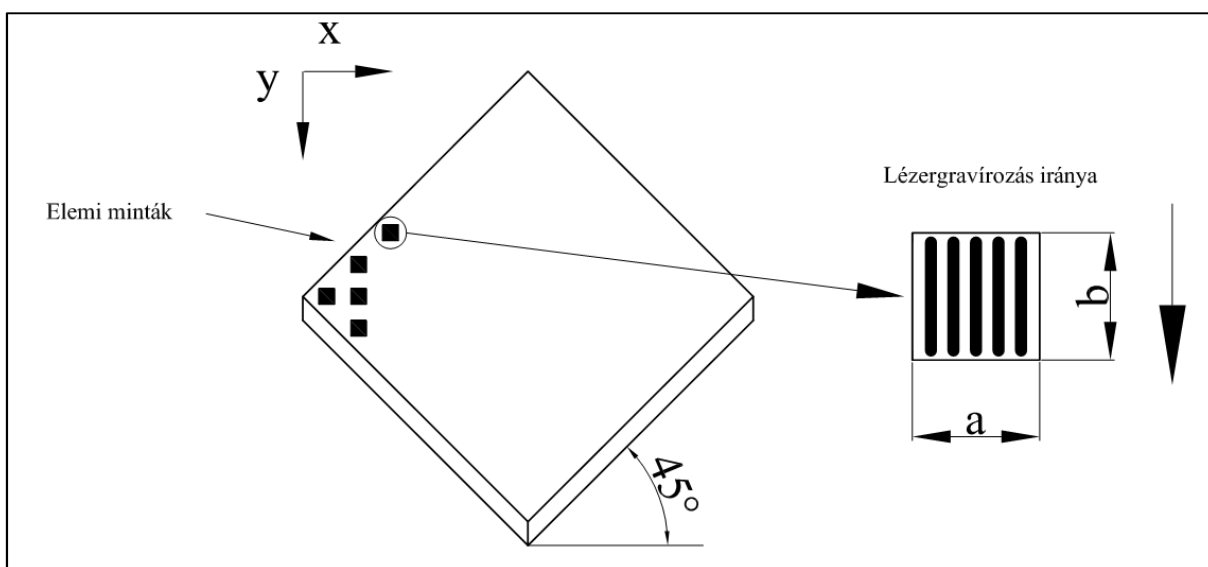
## 3.6. LGP-k mikroszkópos vizsgálata

### 3.6.1. Lézergravírozással készített mintázat

A 100 x 100 x 5 mm méretű polimer lapot mikroszkópos vizsgálatnak vetettem alá. Ezen a fényvezető lapon 0,5 mm x 0,5 mm méretű, négyzet alakú minták vannak. Felvettem egy koordináta rendszert, ahogy az ábrán látható (28. ábra). A legfelső sort elneveztem első sornak, az alatta lévőt másodiknak és így tovább. Az LGP-n összesen 141 sor volt. Az oszlopokat a 71. sortól (középső sortól) kezdtem el sorszámozni, egészen 141-ig. Így az első sor egyetlen mintájának függőleges (oszlop) koordinátája a 71. lett. Tehát a fényvezető lapon összesen 141 sorban és 141 oszlopban voltak négyzetek, de nem minden koordinátához tartozott minta. Szinte lehetetlen végigmérni minden négyzet méretét, mert ezekből nagyon sok van. Pontos számuk az alábbi képlettel kiszámolható:

$$x = \left[ 2 \cdot \sum_{n=1}^{70} (2 \cdot n - 1) \right] + 141 = 9941 \quad (3.11.)$$

Megfigyelhető, hogy minden sorban a minták száma egyről indul és minden sorban kettővel növekszik egészen a középső sorig (71. sor), ahol az egy sorban található négyzetek száma maximális, összesen 141 darab. Ha a minták darabszámát az 1. sortól a 70. sorig összeadjuk, majd ennek a kétszeresét vesszük, továbbá hozzáadjuk a középső sor elemeinek számát, megkapjuk a fényvezető lapon található összes négyzet darabszámát (9941 darab).



28. ábra Lézergravírozással készített LGP-hez felvett koordináta rendszer értelmezése

Először a lézer haladási irányára merőlegesen kezdtem el mérni az elemi négyzetek méretét ( $x$  irány,  $a$  méret). Szűrőpróbaszerűen kiválasztottam néhány mintát, majd megmértem ezek szélességét. Azt tapasztaltam, hogy a minták szélessége a fényvezető lapon hasonló (32-34 osztás), tehát nem változik jelentősen. Egy-két osztásnyi eltérés abból adódhat, hogy a lézer maximum ilyen pontossággal képes gravírozni. Mivel a lézergravírozó berendezés úgy működik, hogy minden oszlopban „lép” egyet, és egy oszlopban található részeket végig gravírozza, ezért ha ilyen irányban nagy eltérés adódna, akkor gyártási pontatlanságról beszélhetnénk.

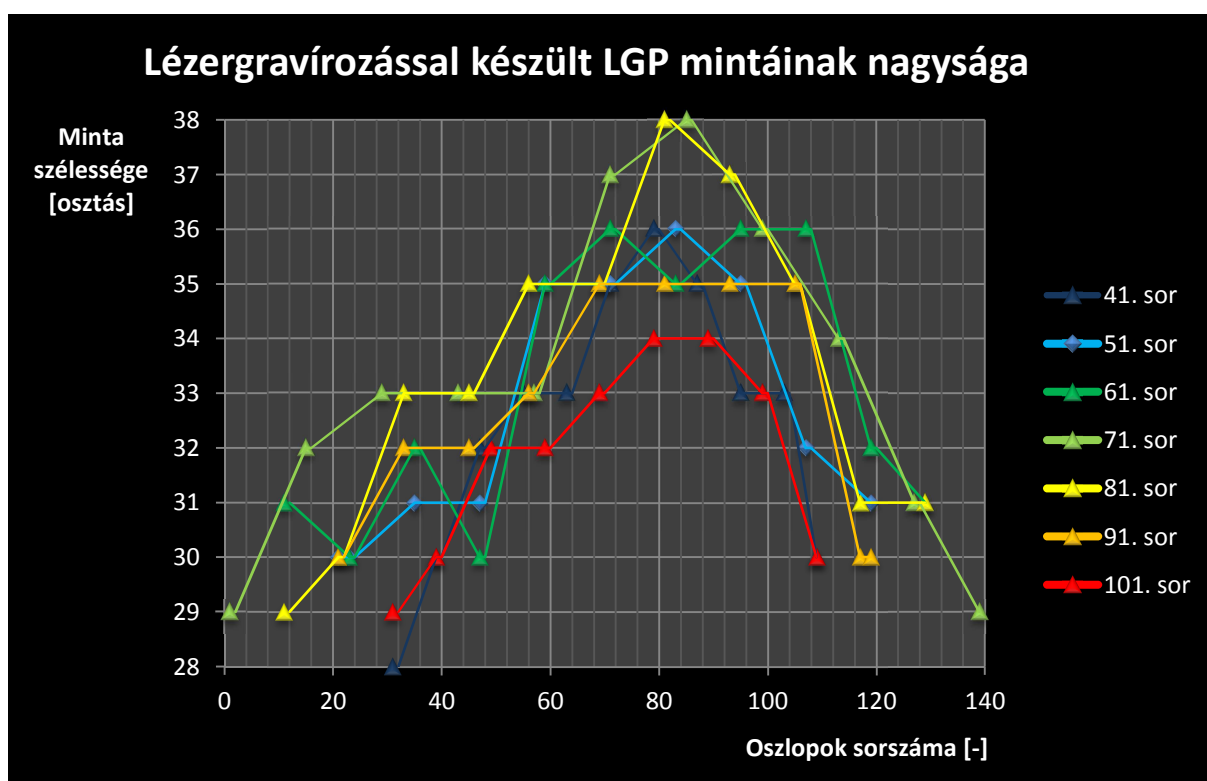
Megmértem néhány minta szélességét a lézergravírozás irányával megegyezően ( $y$  irány,  $b$  méret). Először itt is a fényvezető lap különböző területein megvizsgáltam a négyzetek szélességét. Jelentős eltéréseket tapasztaltam már az első pár mérésnél, ezért úgy döntöttem, hogy sok négyzet méretét feljegyeztem. Természetesen nem tudtam végigmérni mind a 9941 darab négyzet méretét, de nagyszámú mintavételezéssel következtetni tudtam az eloszlásra. Az első sortól kezdve minden 10. sort vizsgáltam. Értelemszerűen az első és az utolsó sorban csak egy mintát, a 11. és a 131. sorban minden 4. mintát, a 21., 41. és a 101., 121. sorban minden 8. mintát, a 31. és a 111. sorban minden 10. mintát, az 51. és a 61. illetve a 81. és 91. sorban minden 12. mintát és a középső sorban pedig minden 14. mintát mértem meg. A könnyebb érthetőség kedvéért a 9. táblázatban az előbb leírtakat rögzítettem. Itt összefoglaltam, hogy a vizsgált sorban összesen hány darab négyzet volt, továbbá leírtam, hogy az egyes sorokban mennyi mintát mértem meg.

Ha a mintavételezett minták számát összeadjuk, akkor 115-öt kapunk. Ez a 9941-hez viszonyítva igen csekély, de ez is elég ahhoz, hogy az eloszlás jól látható legyen.

| Sor sorszama | Mintavételezett minták távolsága | A sorban található minták száma | Mintavételezett minták száma |
|--------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 1            | 1                                | 1                               | 1                            |
| 11           | 4                                | 21                              | 6                            |
| 21           | 8                                | 41                              | 6                            |
| 31           | 10                               | 61                              | 7                            |
| 41           | 8                                | 81                              | 11                           |
| 51           | 12                               | 101                             | 10                           |
| 61           | 12                               | 121                             | 11                           |
| 71           | 14                               | 141                             | 11                           |
| 81           | 12                               | 121                             | 11                           |
| 91           | 12                               | 101                             | 10                           |
| 101          | 8                                | 81                              | 11                           |
| 111          | 10                               | 61                              | 7                            |
| 121          | 8                                | 41                              | 6                            |
| 131          | 4                                | 21                              | 6                            |
| 141          | 1                                | 1                               | 1                            |

9. táblázat Mintavételezés a lézergravírozott LGP-ből

Az Excelben készített táblázatban a megfelelő koordinátákhoz tartozó értékeket (leolvasott osztásokat) rögzítettem, ez a táblázat a CD-ROM mellékleten megtalálható. Az egyes sorok méretének eloszlását egy grafikonon ábrázoltam. Ez a 29. ábrán látható. Azért, hogy a grafikon könnyebben értelmezhető legyen, az 1., a 11., a 21., a 31. illetve a 111., a 121. és a 131. sor értékeit nem ábrázoltam. Jól látható, hogy a széleken a négyzetek méretei kisebbek a középén lévőkhöz képest. Ez a tendencia minden sorban megfigyelhető. A csúcsok eltolódnak az ábrán jobbra. Az elemi négyzetek szélességének legnagyobb eltérése a középső sorban illetve e melletti sorokban van.

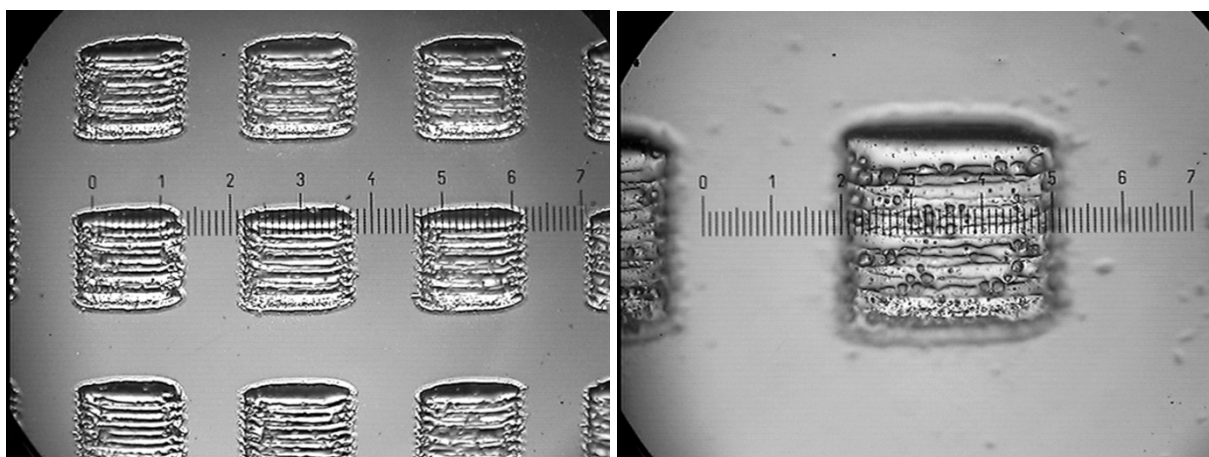


29. ábra Lézergravírozással készült LGP mintáinak nagysága

A fent említettek oka gyártási problémára vezethető vissza. Lézergravírozással általában feliratokat szoktak létrehozni, melynél lényegtelen, hogy a gravírozás szélessége mennyire pontos. A gép mozgása a lézergravírozás művelete során nem volt egyenletes, sebessége nem volt állandó. A plexilap egyik szélén gyorsult, majd a másik szélén lassult. A legnagyobb sebessége a plexilap közepén volt, ez az oka annak, hogy ezeken a területeken a legszélesebbek a négyzetek. Azt, hogy a legnagyobb szélességű négyzetek miért nem pontosan középén vannak (azaz miért tolódott el, ahogy az a grafikonon látható), nem tudtam megfejtetni. Hiszen a lézer nem csak az egyik irányban gravíroz, hanem visszafelé mozgása során is.

A mintavételezett értékeket elsőrendű (ez látható a 29. ábrán), másodrendű függvényekkel is közelítettem, viszont annak nem láttam értelmét, hogy a függvényt nagyobb fokszámú polinommal közelítsem, mert felesleges a lézergép mozgását például negyedrendű függvénnyel leírni. A pontosabb eredmény érdekében tovább lehetett volna növelni a mintavételezés számát, de a vizsgált mintáim száma elegendőnek bizonyult, hogy a négyzetek szélességének eloszlását megállapítsam.

Minden egyes mérés során különös figyelmet fordítottam arra, hogy a skála párhuzamos legyen a vizsgált mintával. Ha ez nem lett volna párhuzamos, szöghiba lépett volna fel, emiatt a négyzetek hossza nagyobbra adódott volna, mellyel hibás eredményt kaptam volna. Ügyeltem arra is, hogy az élesre állításkor a minta kontúrjai, szélei legyenek élesek. Ha erre sem figyelek, szintén téves eredményhez juthattam volna. Különböző mélységeknél a kontúrok eltérőek. Mindegyik mérésnél igyekeztem a lehető legpontosabban beállítani a skálát a minta közepére.

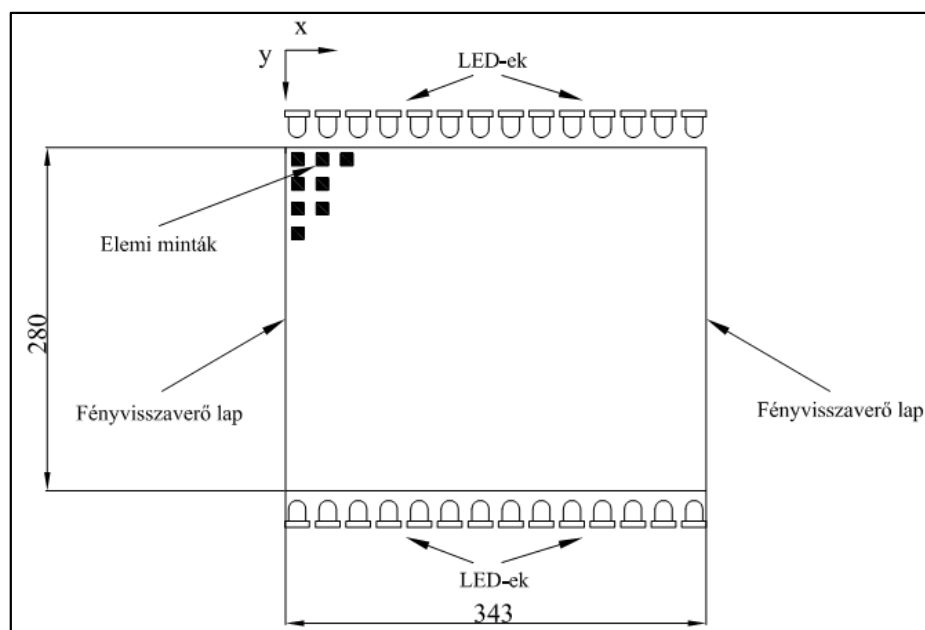


30. ábra Képek a lézergravírozással készült mintákról; balra 40x-es, jobbra 100x-os nagyítás

A 30. ábrán a négyzetek (minták) láthatóak 40x-es illetve 100x-os nagyításban. A képeknél nem a négyzet széleit, kontúrjait állítottam élesre, hanem a gravírozott, mélyebben található felületeket. A bal oldali ábrán észrevehető, hogy a négyzetek struktúrája nem azonos, ezek eltérnek egymástól. Továbbá a négyzetek felső és alsó szélei jól megfigyelhetők, helyzetük meghatározható. Azonban a bal és jobb oldalon lévő szélek „hullámosak”. Ez gondot okozott az osztás leolvasásánál is. Ráadásul a sarkok lekerekítettek. A jobb oldali képen az is látható, hogy levegőbuborékok kerültek az anyagba, a felszín tördelt, egyáltalán nem egyenletes. A minta körül pedig a lézergravírozás során kifröccsent polimer szemcsék vehetők észre. Ezek olyan hatással lehetnek a fény útjára az LGP-ben, amit már nem lehet modellezni.

### 3.6.2. Szitanyomással készített mintázat

Ennél a mérésnél ugyanazt a mikroszkópot és ugyanazokat az objektíveket használtam, melyeket az előbb leírt méréseknél. Egy olyan LGP lap vizsgálatát végeztem el, melynek méretei: 343 mm x 280 mm x 5mm. Ennél a LED-ek csak két oldalról világítottak bele a fényvezető lapba, a másik két oldalon egy fehér színű műanyag fólia (fényvisszaverő lap) volt az oldalára ráragasztva azért, hogy a fényt visszaverje az LGP-be. Érdeemesnek találtam mikroszkópos mérésnek alávetni ezt is. A 31. ábrán az LGP mintázata látható. Ez egy LCD monitor fényvezető lapja. Itt a mintákat – melyek itt is négyzetek voltak – szitanyomással helyezték fel a plexilapra. A négyzeteknek csak az egyik méretét vizsgáltam, mert itt nagyon pontos volt a gyártás, és a mintáknak mind a két mérete megegyezett. A fényvezető lapon 277 darab négyzet található  $x$ , és 221 darab számolható meg  $y$  irányban. Ha ezt a két számot összeszorozzuk, megkapjuk az összes négyzet számát az LGP-n, mely 61217-re adódik. Ez hihetetlen sok. Természetesen itt sem tudtam az összezt megmérni, itt is mintavételezést alkalmaztam. A mintákról készült kép a 31. ábrán látható.

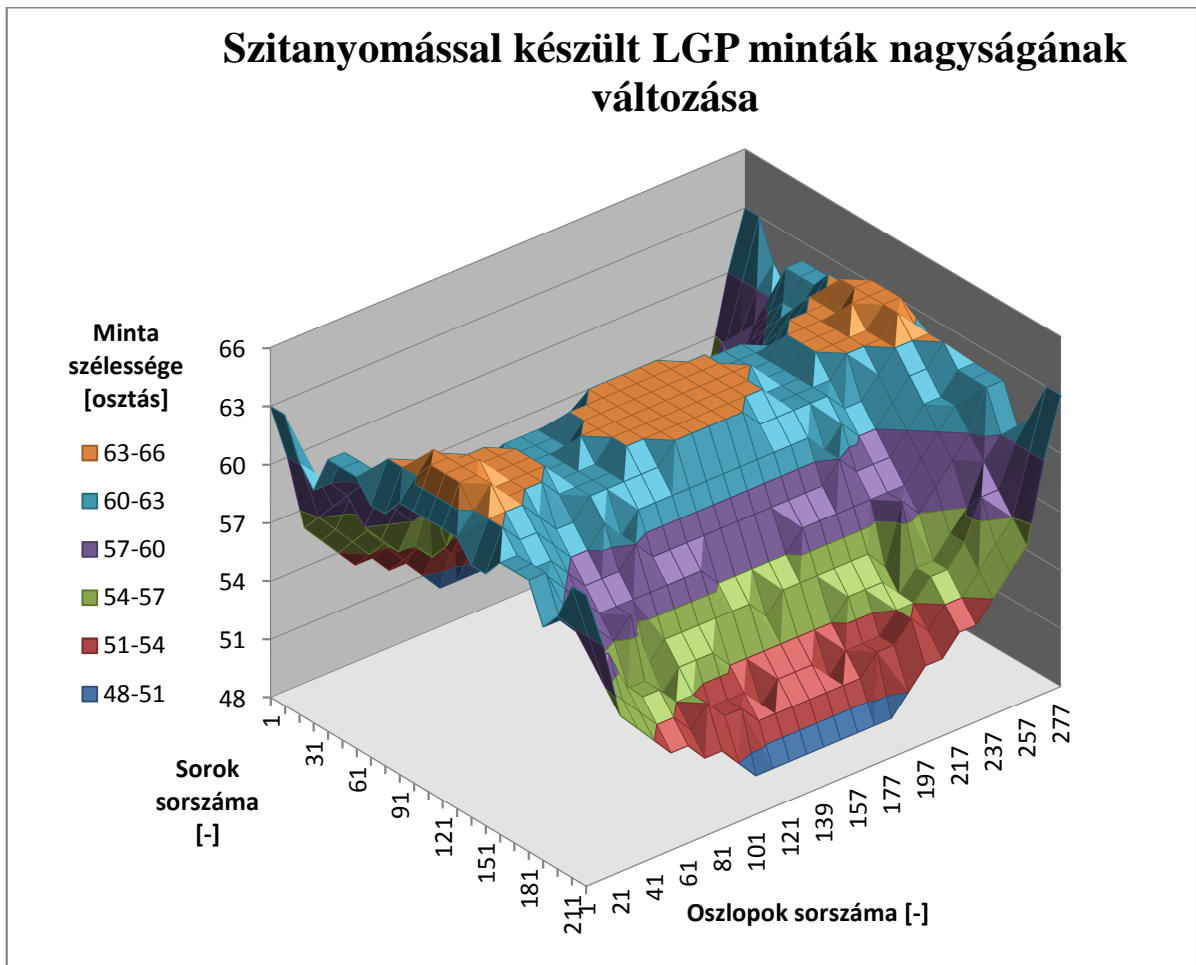


31. ábra Szitanyomással készített LGP

Először szemrevételeztem a mintákat. Megállapítottam, hogy a minták elhelyezkedése tengelyszimmetrikus, ezért úgy döntöttem, hogy én az egész lapnak csak a negyedét fogom megvizsgálni. Minden 20. sor minden 10. mintáját mértem meg. A kapott értékeket (osztásokat) a 10. táblázatban rögzítettem, majd egy 3 dimenziós grafikonon ábrázoltam (32. ábra). Sajnos a mikroszkóp kialakítása nem engedte, hogy a fényvezető lap közepén lévő

|                    |     | Oszlopok sorszáma [-] |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |
|--------------------|-----|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                    |     | 1                     | 11 | 21 | 31 | 41 | 51 | 61 | 71 | 81 | 91 | 101 | 111 | 121 | 131 | 139 |
| Sorok sorszáma [-] | 1   | 63                    | 60 | 56 | 55 | 54 | 53 | 53 | 52 | 52 | 51 | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  |
|                    | 11  | 63                    | 60 | 57 | 56 | 55 | 54 | 54 | 53 | 54 | 53 | 53  | 52  | 52  | 52  | 52  |
|                    | 21  | 61                    | 60 | 58 | 58 | 56 | 55 | 55 | 54 | 54 | 53 | 53  | 53  | 52  | 53  | 53  |
|                    | 31  | 60                    | 60 | 59 | 57 | 56 | 55 | 55 | 54 | 55 | 55 | 55  | 54  | 54  | 54  | 54  |
|                    | 41  | 62                    | 62 | 60 | 59 | 58 | 57 | 58 | 55 | 56 | 56 | 56  | 56  | 56  | 56  | 55  |
|                    | 51  | 62                    | 62 | 61 | 60 | 59 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58  | 58  | 57  | 57  | 57  |
|                    | 61  | 62                    | 62 | 61 | 61 | 60 | 59 | 59 | 59 | 60 | 59 | 59  | 59  | 59  | 59  | 59  |
|                    | 71  | 61                    | 63 | 62 | 62 | 61 | 60 | 60 | 61 | 60 | 61 | 61  | 61  | 61  | 61  | 61  |
|                    | 81  | 61                    | 63 | 63 | 63 | 62 | 61 | 61 | 62 | 62 | 62 | 62  | 62  | 63  | 64  | 63  |
|                    | 91  | 62                    | 63 | 64 | 63 | 63 | 63 | 62 | 62 | 62 | 62 | 63  | 63  | 63  | 63  | 63  |
|                    | 101 | 62                    | 64 | 64 | 63 | 63 | 63 | 63 | 62 | 62 | 62 | 63  | 63  | 63  | 63  | 63  |
|                    | 111 | 62                    | 64 | 64 | 64 | 63 | 63 | 63 | 62 | 62 | 63 | 63  | 63  | 63  | 63  | 63  |

10. táblázat A megfelelő sorban és oszlopban lévő minták leolvasott osztása



32. ábra Szitanyomással készült LGP minták nagyságainak változása

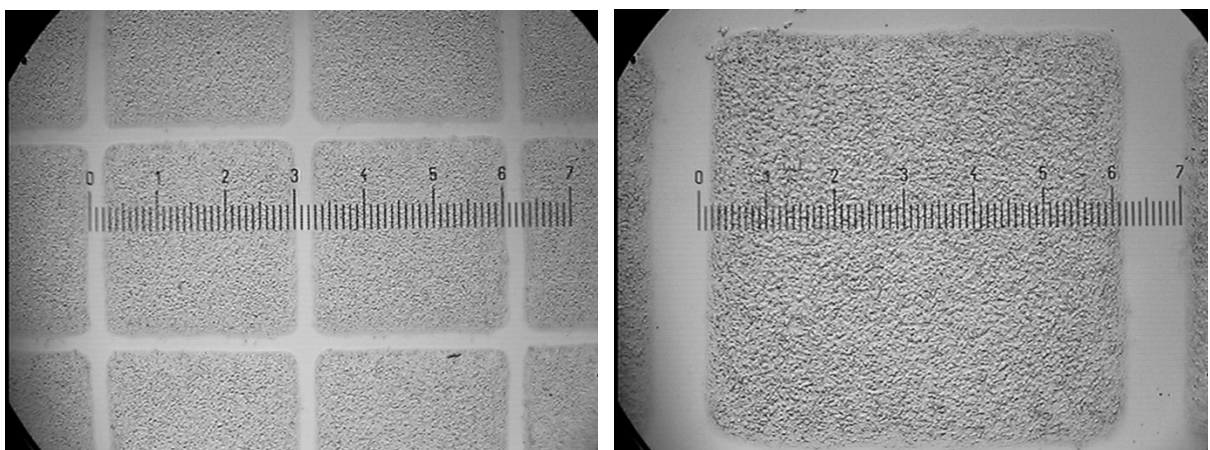


mintákat le tudjam mérni, de azért, hogy a 3 dimenziós grafikon ne legyen „lyukas”, a le nem mért négyzetekhez felvettem 63 osztásnyi értéket. Ezeket piros színnel jelöltem a táblázatban. Itt is betartottam azokat a mérés technikai alapkövetelményeket, melyek a mérés minél nagyobb pontosságát meghatározzák. (Ezeket az előző fejezetben ismertettem.)

Megfigyelhető a grafikonon, hogy  $x$  irányban a négyzetek mérete alig-alig változik. Kivétel ez alól a 4 sarok és az ahhoz közel lévő sorokban található minták, ahol jelentősen megváltozik a minta mérete; a széleken szélesebb, beljebb keskenyebb. Azonban  $y$  irányban a minták nagysága közel lineárisan növekszik egészen a fényvezető lap közepéig, majd a másik széléig egyenletesen csökken. Erről a két oldalról világítanak bele az LGP-be a LED-ek. Valószínű, hogy a minták mérete azért változik, mert a fényvezető lap közepébe kevesebb fény jut. Ennek oka, hogy a széleken már több fénysugár is irányt változtat és kilép az LGP-ből. A közepén lévő kevesebb fénysugárból viszont az összes fénysugárhoz viszonyítva többnek szükséges az irányát megváltoztatni azért, hogy körülbelül hasonló mennyiségű fény lépjen ki a széleken és a fényvezető lap közepén egyaránt.

Érdeemes átszámolni a legkisebb (50 osztás) és a legnagyobb (64 osztás) négyzet méretét milliméterbe. A méréseket 10x objektív nagyítás és 100x össznagyítás mellett jegyeztem fel. Ezek alapján a legkisebb minta szélessége 0,89285 mm (50·0,017857), míg a legnagyobb 1,142848 mm (64·0,017857) lett. Ha ezeket kivonjuk egymásból (1,142848-0,89285), akkor megkapjuk a szélső értékek közötti különbséget, mely 0,249998 mm, vagyis közel 250  $\mu\text{m}$ . Továbbá ha elosztom a legkeskenyebb méretet a legszélesebbel, az eredményt pedig megszorozom százszal, és ezt kivonom százból, megkapom a minták egymáshoz való viszonyát százalékban, ami nagy eltérést mutat:

$$D = 100 - \frac{\text{Legkeskenyebb minta mérete}}{\text{Legszélesebb minta mérete}} \cdot 100 = 100 - \frac{0,89285}{1,142848} \cdot 100 = 21,875 \% \quad (3.12.)$$

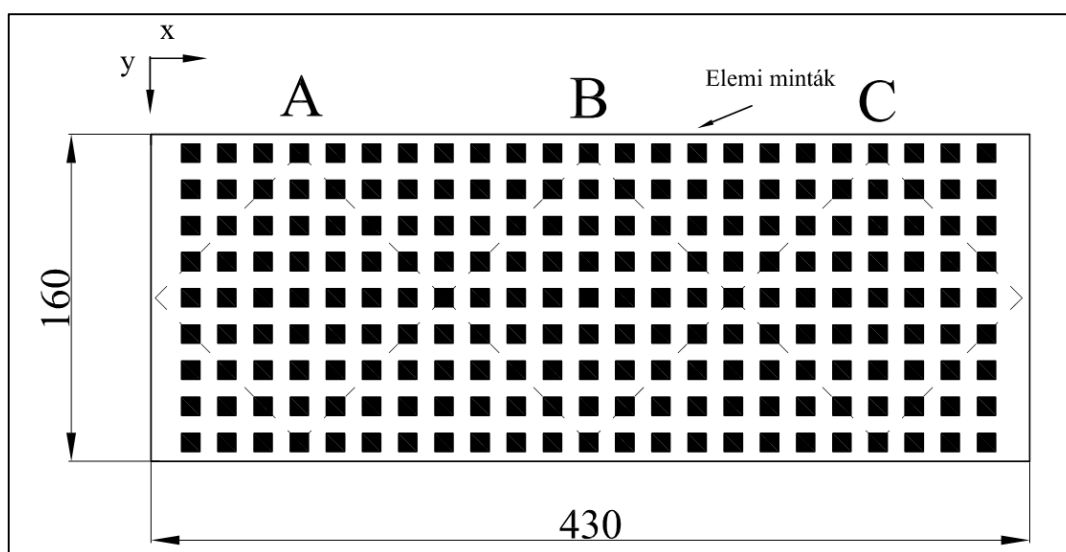


33. ábra Képek a szitanyomással készült mintákról; balra 40x-es, jobbra 100x-os nagyítás

## 4. Saját háttérvilágítás elkészítésének lépései

### 4.1. Mintakészítés lézergravírozáshoz

A háttérvilágítás leglényegesebb eleme a fényvezető lap. Ennek a mintázata meghatározó. Felhasználva a mikroszkópos mérések során szerzett tapasztalataimat, elkészítettem egy LGP mintázatának tervét. Szerettem volna megtudni, hogy lézergravírozással elkészíthető-e egy olyan fényvezető lap, ahol a minták nagysága közel azonos. Mivel a lézergravírozó gép sebességének változása meghatározta az előző fejezetben vizsgált LGP-n található minták szélességét, ennek kiküszöbölésére 3 darab egymás mellett lévő fényvezető lap került elkészítésre. Ezeket a lézergravírozás után a lézer kivágta (szaggatott vonallal láthatóak a 34. ábrán). Mintaként négyzetet használtam, melynek nagyságát 0,5 mm x 0,5 mm-re választottam. A tervezés során a 3 darab LGP egy 430 mm x 160 mm x 5mm méretű plexilapra fért rá. Ez a teljes területen összesen 68800 darab négyzet lézergravírozását tette szükségessé. A cél az volt, hogy a lézergravírozó fej sebességváltozásából adódó gyártási pontatlanságot kiküszöböljem. Azt vártam, hogy a plexilap elején a minták szélessége kisebb lesz, mint a közepén. Reméltem, hogy a lézerfej sebessége a középső fényvezető lapnál állandó lesz, és emiatt a négyzetek nagysága meg fog egyezni vagy nagyon kis mértékben fog eltérni egymástól. Személyesen beszéltem a lézergravírozó gép kezelőjével, elmagyaráztam neki a problémámat, és kértem tőle, hogy ha lehetséges, próbálja meg a lézergép gyorsulásának idejét minimalizálni és a lézergravírozó fej sebességét a gravírozás során állandó értéken tartani.



34. ábra A saját háttérvilágításhoz tervezett LGP mintázata

## 4.2. A legyártott LGP mikroszkópos vizsgálata

Fontos volt ellenőrizni, hogy ebben az esetben milyen volt a gyártási pontosság, vagyis azt kaptam-e a gyártótól, amit kértem. Ezért mikroszkóppal megmértem a négyzetek méretét. Felhasználva egy korábbi fényvezető lap mikroszkóppal történő mérési tapasztalatomat már csak egy irányban vizsgáltam; a lézergravírozás irányával párhuzamosan. Ahogy a 32. ábrán látható, a fényvezető lapokat elneveztem balról jobbra haladva A, B illetve C jelűnek. Az LGP-ket nem külön-külön vizsgáltam meg, hanem a teljes plexilapot mértem le. Minden 20. sorból és 20. oszlopból vettem mintát kivéve a legutolsó oszlopot, ahol már csak 10 minta távolság volt a kiválasztott négyzetek között. A 11. táblázatban láthatóak azok az osztás értékek, melyeket 40x-es nagyítás mellett kaptam. Színessel (lila, kék, narancssárga) jelöltem a táblázat azon részeit, melyek a lézerrel kivágott fényvezető lapok területeire estek.

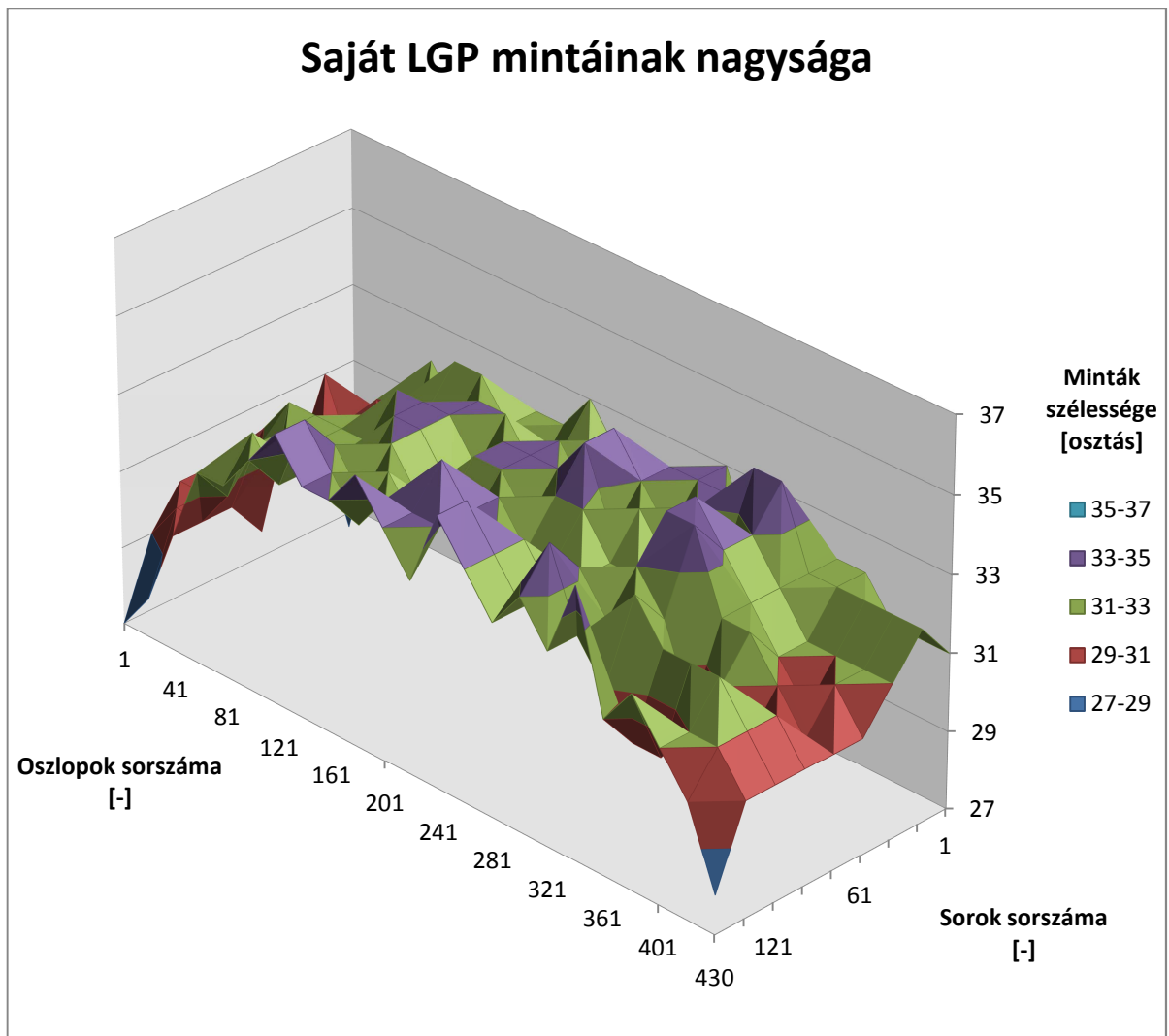
A 35. ábra a négyzetek szélességét szemlélteti a legyártott plexilapon. Látható, hogy szinte csak a széleken keskenyebb egy picit a méret, a többi részen hasonló a nagyság. Ez azzal magyarázható, hogy a lézerfej sebessége a lézergravírozás során egyenletes volt, és csak a széleken volt sebességváltozás (lassulás és gyorsulás). Külön-külön megvizsgálva a fényvezető lapokat elmondható, hogy a B jelű lett az, ahol sikerült elérni, hogy a minták szinte mindenhol azonos méretűek legyenek. Az A és C jelű LGP-k szélein a négyzetek kisebbek.

Tehát gyártáskor a lézergravírozást a méreteket tekintve sikerült a lehetőségekhez mérten pontosan elvégezni, azonban nem várt problémák is jelentkeztek. Mikroszkóppal vizsgálva a mintákat észrevettem, hogy azokon a területeken, melyek közel helyezkednek el a lézerrel kivágott fényvezető lapok széleihez, nagyon sok polimer szemcse volt. A vágás során valószínűleg a polimer „szétfröccsent”, ami beszennyezte a környező területeket. Mivel ezek a szemcsék is hatást gyakorolnak a fény terjedésének irányára a fényvezető lapban, ezért előfordulhat, hogy az LGP szélein már jelentős mennyiségű fény lép ki, ezért nem fogjuk tudni elérni a homogén intenzitás-eloszlást. Ráadásul ez ismét olyan probléma, mellyel a tervezéskor nem számoltam, így az eredmény előreláthatólag nem olyan lesz, mint amit vártam. Megjegyzem, hogy ezzel nehéz is lenne számolni, mert lehetetlen előre megmondani, hogy hány darab, milyen nagyságú szemcse fog a lézervágás során az LGP felületére jutni illetve, hogy ezek sűrűsége milyen lesz.

Ahogy a mintákat vizsgáltam, feltűnt, hogy a fényvezető lap közepén elhelyezkedő négyzetek egyik oldalán is észrevehető volt néhány szemcse (ez a 36. ábrán látható).

|                    |     | Oszlopok sorszáma [-] |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------------|-----|-----------------------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                    |     | 1                     | 21 | 41 | 61 | 81 | 101 | 121 | 141 | 161 | 181 | 201 | 221 | 241 | 261 | 281 | 301 | 321 | 341 | 361 | 381 | 401 | 421 | 430 |
| Sorok sorszáma [-] | 1   | 29                    | 30 | 30 | 32 | 31 | 32  | 32  | 32  | 32  | 33  | 32  | 32  | 32  | 32  | 33  | 31  | 31  | 31  | 32  | 32  | 31  | 31  | 31  |
|                    | 21  | 31                    | 29 | 31 | 30 | 32 | 33  | 33  | 32  | 31  | 32  | 32  | 33  | 32  | 33  | 33  | 33  | 34  | 34  | 32  | 32  | 32  | 32  | 32  |
|                    | 41  | 29                    | 30 | 28 | 31 | 32 | 32  | 32  | 33  | 33  | 32  | 33  | 32  | 34  | 33  | 32  | 33  | 32  | 33  | 32  | 31  | 31  | 31  | 31  |
|                    | 61  | 30                    | 30 | 31 | 31 | 32 | 33  | 33  | 33  | 32  | 33  | 33  | 33  | 34  | 32  | 33  | 32  | 34  | 33  | 32  | 31  | 30  | 31  | 30  |
|                    | 81  | 30                    | 31 | 32 | 32 | 32 | 32  | 33  | 33  | 32  | 33  | 33  | 32  | 33  | 33  | 32  | 32  | 34  | 34  | 32  | 32  | 31  | 30  | 30  |
|                    | 101 | 30                    | 30 | 29 | 32 | 32 | 32  | 32  | 33  | 32  | 32  | 32  | 33  | 32  | 32  | 32  | 31  | 33  | 32  | 30  | 31  | 30  | 31  | 30  |
|                    | 121 | 30                    | 30 | 30 | 32 | 32 | 32  | 33  | 32  | 33  | 32  | 34  | 33  | 33  | 33  | 32  | 33  | 32  | 33  | 32  | 32  | 32  | 31  | 30  |
|                    | 141 | 29                    | 30 | 30 | 31 | 33 | 32  | 34  | 33  | 32  | 33  | 33  | 33  | 34  | 33  | 32  | 34  | 32  | 31  | 30  | 30  | 31  | 31  | 30  |
|                    | 160 | 27                    | 28 | 30 | 32 | 32 | 33  | 34  | 33  | 33  | 34  | 33  | 32  | 34  | 33  | 32  | 33  | 32  | 34  | 31  | 32  | 31  | 30  | 28  |

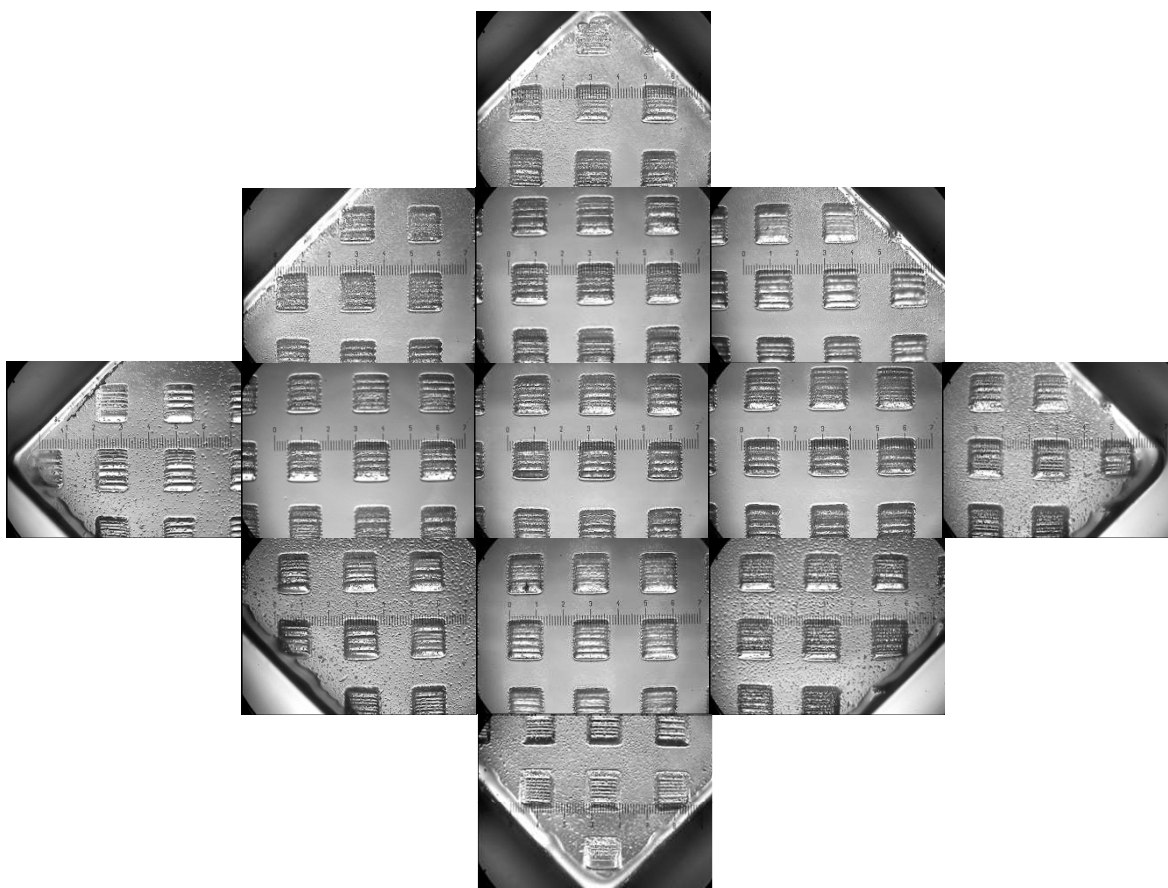
11. táblázat A megfelelő sorban és oszlopban lévő minták osztása



35. ábra Saját LGP mintáinak nagysága

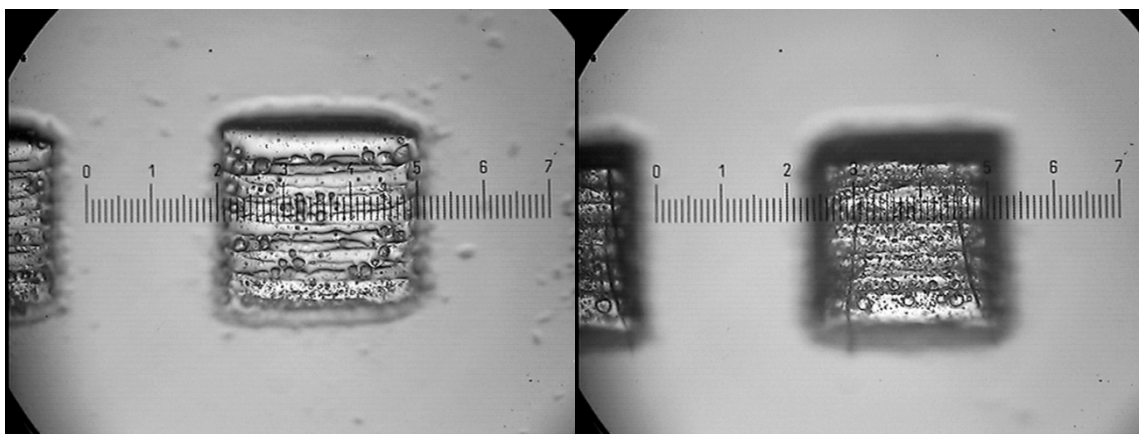
Lehetséges, hogy a lézergravírozás során hűtést alkalmaztak, és a légáramlás a gravírozás során kiszakadó polimer szemcséket ebbe az irányba vitte. Elmondható, hogy ez megint egy olyan gyártási pontatlanság, mely a tervezéskor nem merült fel. A megtervezett LGP mintázat helyett egy olyan fényvezető lap került legyártásra, ahol a négyzetek nagysága csak közel egyforma, és a széleken polimer szemcsék vannak.

A fényvezető lap bizonyos területeiről fényképeket készítettem. Ezek pozícióit a 36. ábra szemlélteti. Jól látható, hogy az LGP különböző részein a minták alakja eltérő. Megfigyelhető, hogy a lézervágás során kifröccsentek a szemcsék az anyag széleire, és ezzel megtörik a felület síkját. Ez hatással van a fényvezető lapban a fény terjedésének irányára. Tervezés során az ilyen hibákra nem lehet felkészülni, ezzel számolni nem lehetséges. Fontos lenne ezeket a gyártási pontatlanságokat, hibákat kiküszöbölni, hiszen ennek a fényvezető lap homogenitása szempontjából nagy jelentősége van.



36. ábra A fényvezető lap egyes területeiről készült fényképek

Összehasonlítottam ezeket a mintákat a korábban legyártásra került fényvezető lap négyzeteivel (37. ábra). Azt tapasztaltam, hogy ezek struktúrája nagyon eltérő. A mostaninál kevesebb levegőbuborék szorult be az anyagba, a felszín egyenletesebb. A minta alakja jobban közelíti a négyzetet, a sarkok már kevésbé tűnnek lekerekítettnek és az oldalak sem ívesek, hanem egyenesek. Ebből az következik, hogy nem sikerült reprodukálni ugyanazt, melyből nagy probléma származhat egy sorozatgyártás esetén. Vagyis lézergravírozással fényvezető lap mintázatát nehéz elkészíteni úgy, hogy a folyamat kézben tartható legyen, azaz a gyártótól azt kapjuk, amit kérünk.



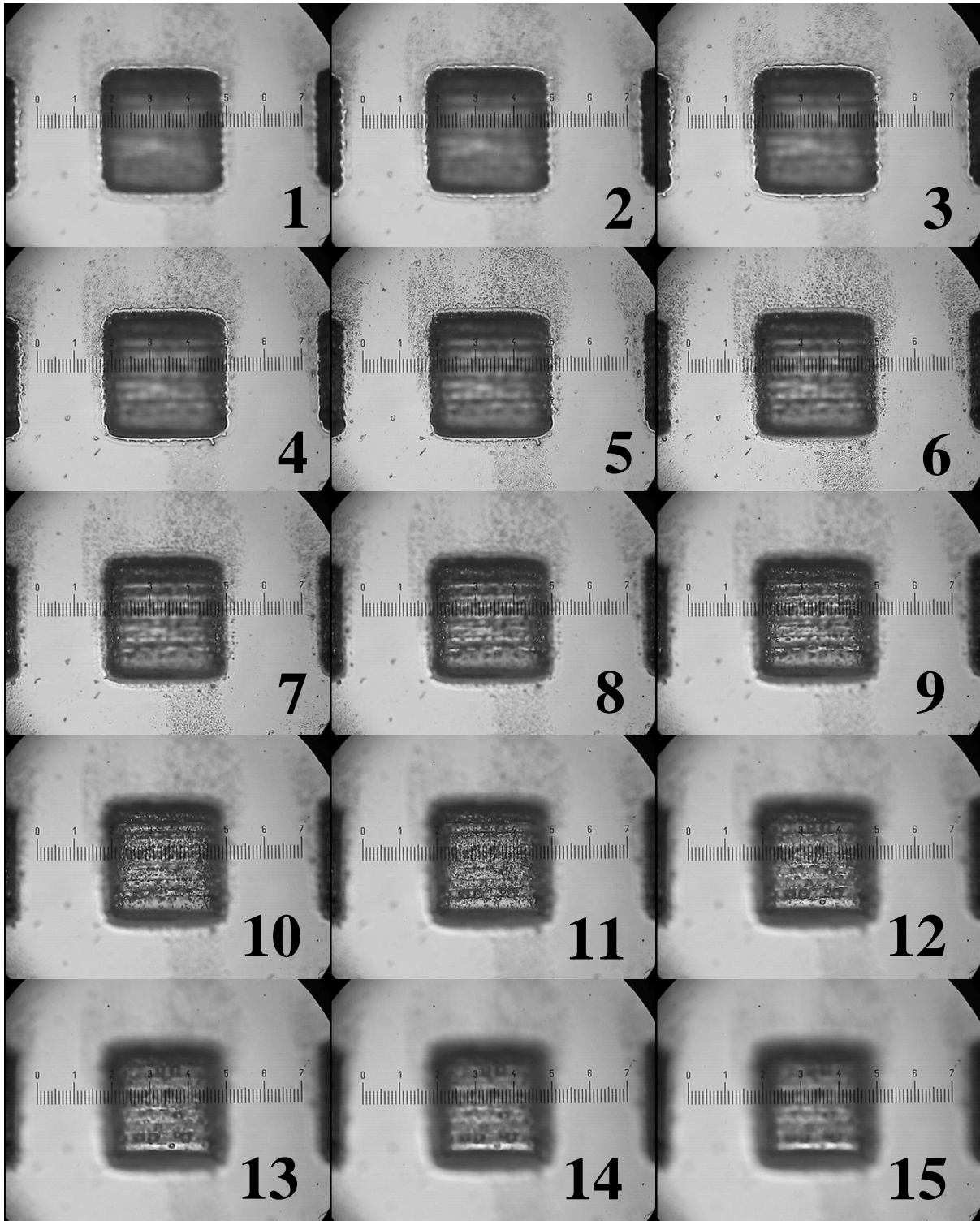
37. ábra A korábbi (balra) és a jelenlegi (jobbra) négyzetek közötti különbség

### 4.3. Élesre állítási problémák

Ha egy tárgyat mikroszkóppal vizsgálunk, nagy nagyítás esetén gondot jelenthet az élesre állítás. Különösen igaz ez akkor, ha az objektum felülete a mikroszkóp tárgyasztalának síkjával nem párhuzamos. Ilyenkor a felület csak azon részeit látjuk élesen, amelyet a tárgyasztaltól azonos távolságra helyezkednek el. Ha a vizsgált rész mélységbeli/magasságbeli különbségei nagyok, nagyon nehéz elemezni a képet.

Ez a probléma a minták vizsgálata során nálam is felmerült. A 38. ábrán balról jobbra, majd fentről lefelé haladva egy négyzetről készült kép látható különböző élesre állításnál. A fényképeket 25  $\mu\text{m}$ -enként készítettem úgy, hogy először a minta széle volt éles, majd a belső felszíne. Ha egy négyzet mélységét szeretném meghatározni, el kell tudni dönteni, hogy hol van az egyik illetve másik véghelyzet, majd ezek különbségéből ezt ki lehet számolni. Az élesre állítás nehézséget jelentett, hiszen nem eldönthető, hogy a 35. ábrán az 1-es, 2-es vagy esetleg a 3-as képen látható az egyik határ és a 13-as, 14-es, 15-ösön a másik. Ez külön-külön

75 µm-nyi bizonytalanság. Ez az oka annak, hogy a minták elemzése során nem mértem mélységet, pedig egy fényvezető lap működését ez is meghatározza.



38. ábra Élesre állítási problémák a minták mikroszkópos mérése során

#### 4.4. Homogenitás mérése

A mikroszkópos mérések után következhetett az LGP-k intenzitás-eloszlásának meghatározása. Az „A”, „B” illetve „C” jelű fényvezető lapok alá egy fényvisszaverő lapot helyeztem, majd az oldalukhoz LED-eket tettem. 20 darab fényforrás világított az LGP-be egy oldalról, azaz 80 darab LED összesen. A fényforrások 4 darab NYÁK lapra voltak beferrasztva, és 5-ös egységenként voltak sorba kötve. Ezeket 12 V-os egyenfeszültségről kellett üzemeltetni. Erről, és a kapcsolási rajzról a következő fejezetben lesz még szó. Elhelyeztem egy diffúzort az LGP-k tetejére, majd üzembe helyeztem a fényforrásokat. Egy kamerával fényképeket készítettem a fényvezető lapokról, és ezeket értékeltem. A következő oldalakon a három LGP-ről készült kép látható. Mellettük és alattuk pedig a kép felső, középső és alsó harmadában lévő intenzitás-eloszlás található vízszintes és függőleges irányoknak megfelelően. A következő oldalon található ábrák jól szemléltetik, hogy az intenzitás-eloszlások a fényvezető lapok felületén nagyjából egyenletesek. Mind a háromra jellemző, hogy a széleken a pixelek világossága magasabb értékeket vesz fel, mely arányos a kilépő fény mennyiségével. A görbék jól közelítenek egy konstans értékhez, melynél a pixelek világossága azonos lenne.

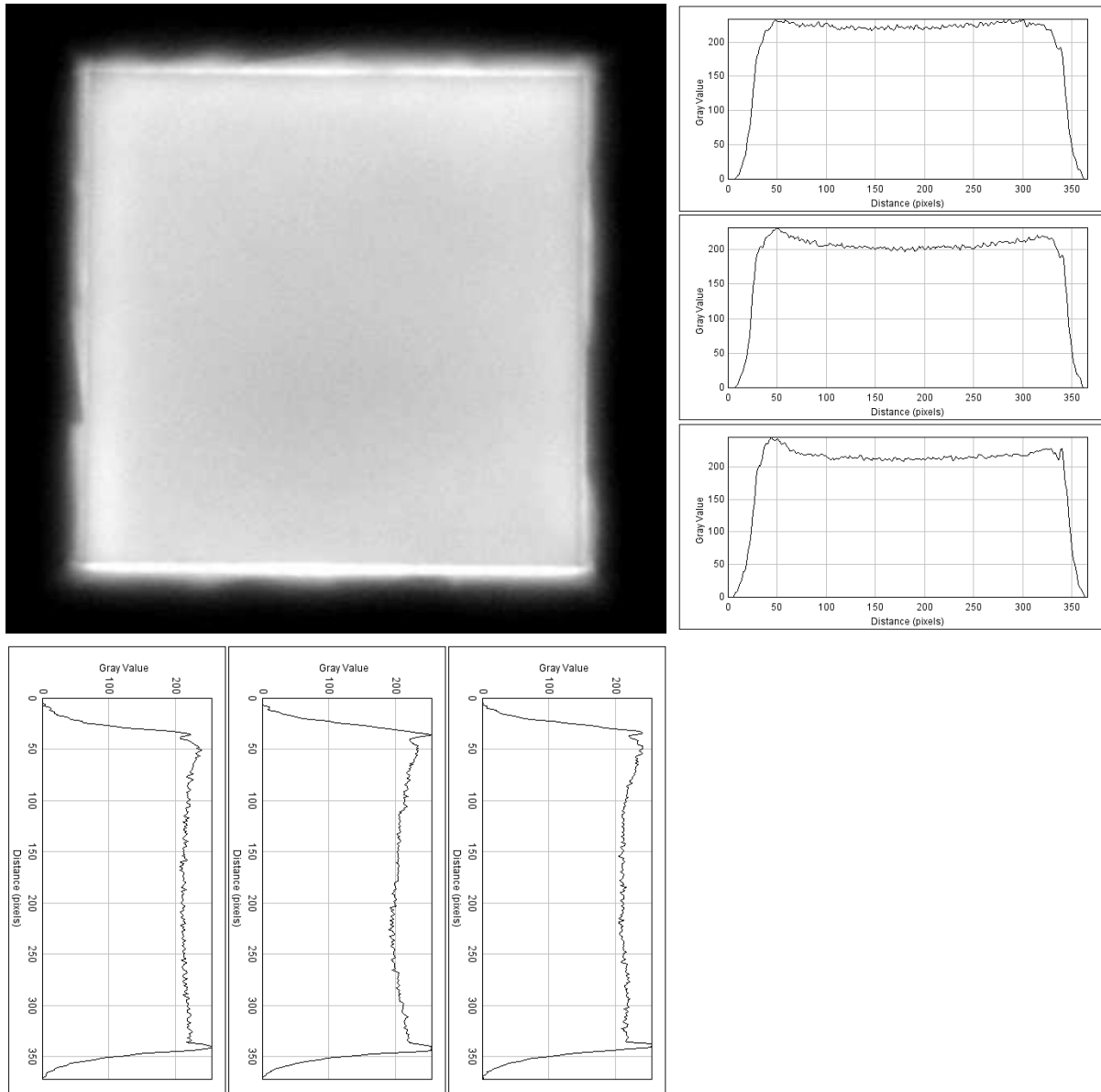
A három háttérvilágítás hisztogramját is ábrázoltam a következő oldalakon. Érdekes, hogy ezek nem Gauss görbe jellegűek, hanem több kisebb csúcs figyelhető meg a grafikonon. Kiszámítottam a homogenitás értékeket, melyeket a 12. táblázatban rögzítettem. Ez alapján a legjobb értéket – ahogy arra számítani lehetett – a „B” jelű háttérvilágítás biztosítja, ennek a legjobb a homogenitása.

|                          | <b>I<sub>min</sub></b><br>[-] | <b>I<sub>max</sub></b><br>[-] | <b>Terjedelem</b><br>[-] | <b>Homogenitás</b><br>[%] |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| „A” jelű háttérvilágítás | 190                           | 248                           | 58                       | 23,387                    |
| „B” jelű háttérvilágítás | 190                           | 240                           | 50                       | 20,833                    |
| „C” jelű háttérvilágítás | 189                           | 244                           | 55                       | 22,541                    |

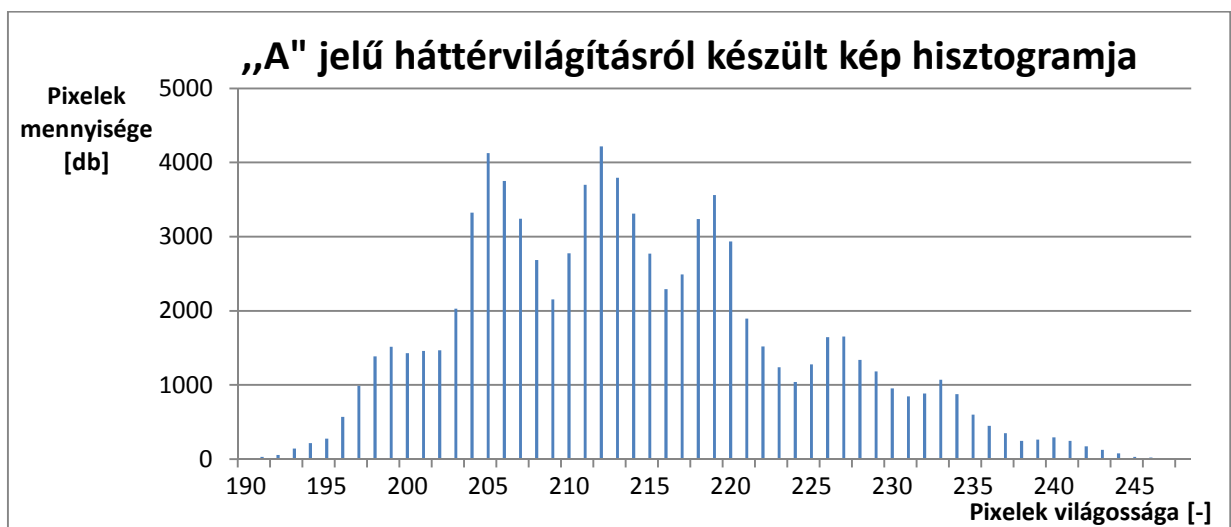
12. táblázat A háttérvilágítások homogenitás értékei

Az eredmények majdnem megfelelnek a kitűzött célnak (20%-os homogenitású háttérvilágítás elkészítése). A mérés hibái a következők lehetnek: a fényforrások és a fényvezető lap között előfordulhattak rések, azaz lehetséges, hogy a LED-eket nem sikerült a kívánt közelségben elhelyezni az LGP oldalaihoz. Mivel a fényvezető lap és a NYÁK lap oldala is 100 mm, így előfordulhatott, hogy ez a két rész nem esett egybe, vagyis egymástól kicsit elcsúsztak.

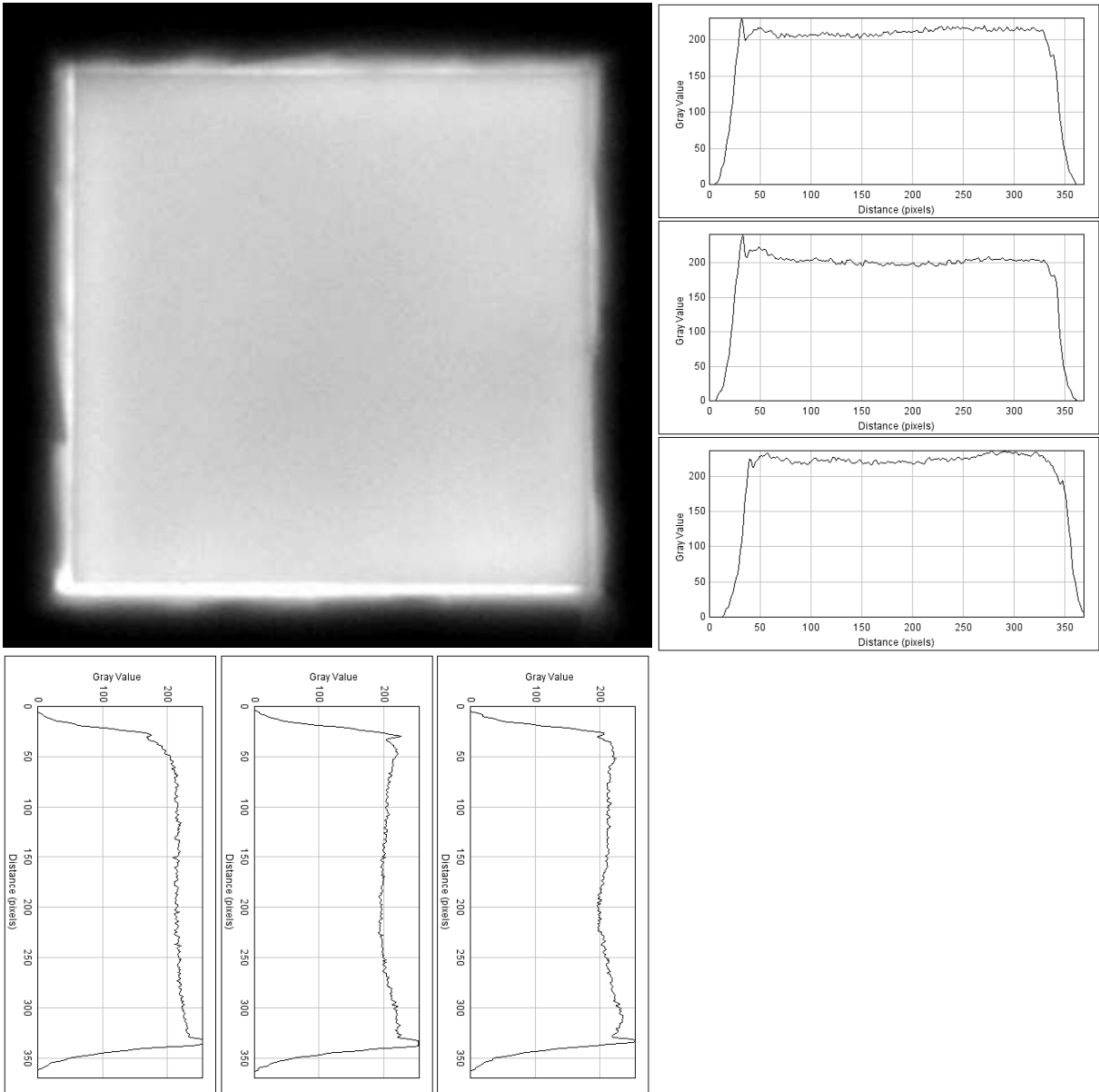




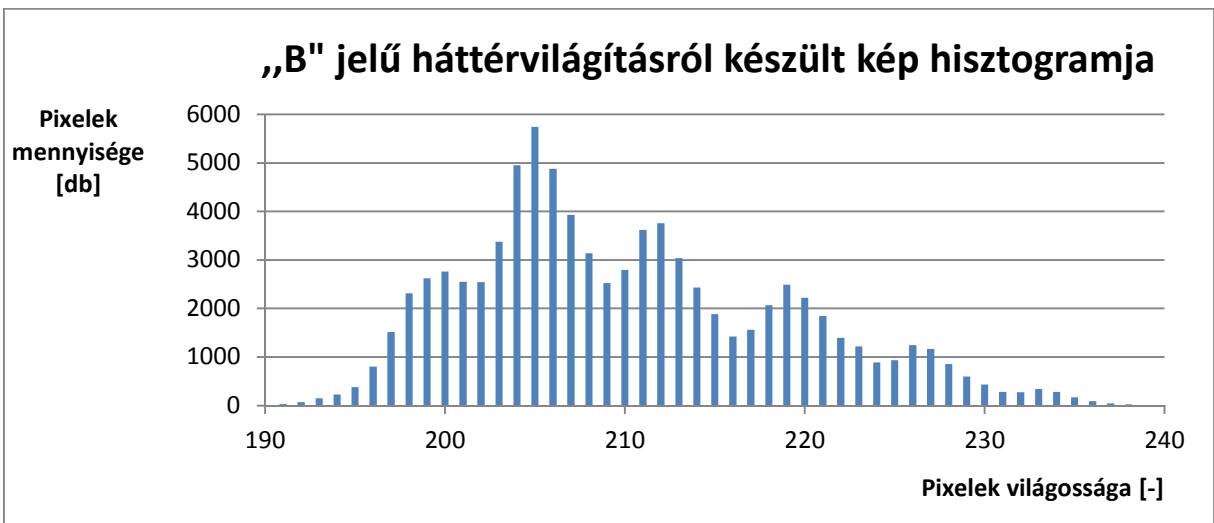
39. ábra „A” jelű háttérvilágítás intenzitás-eloszlása



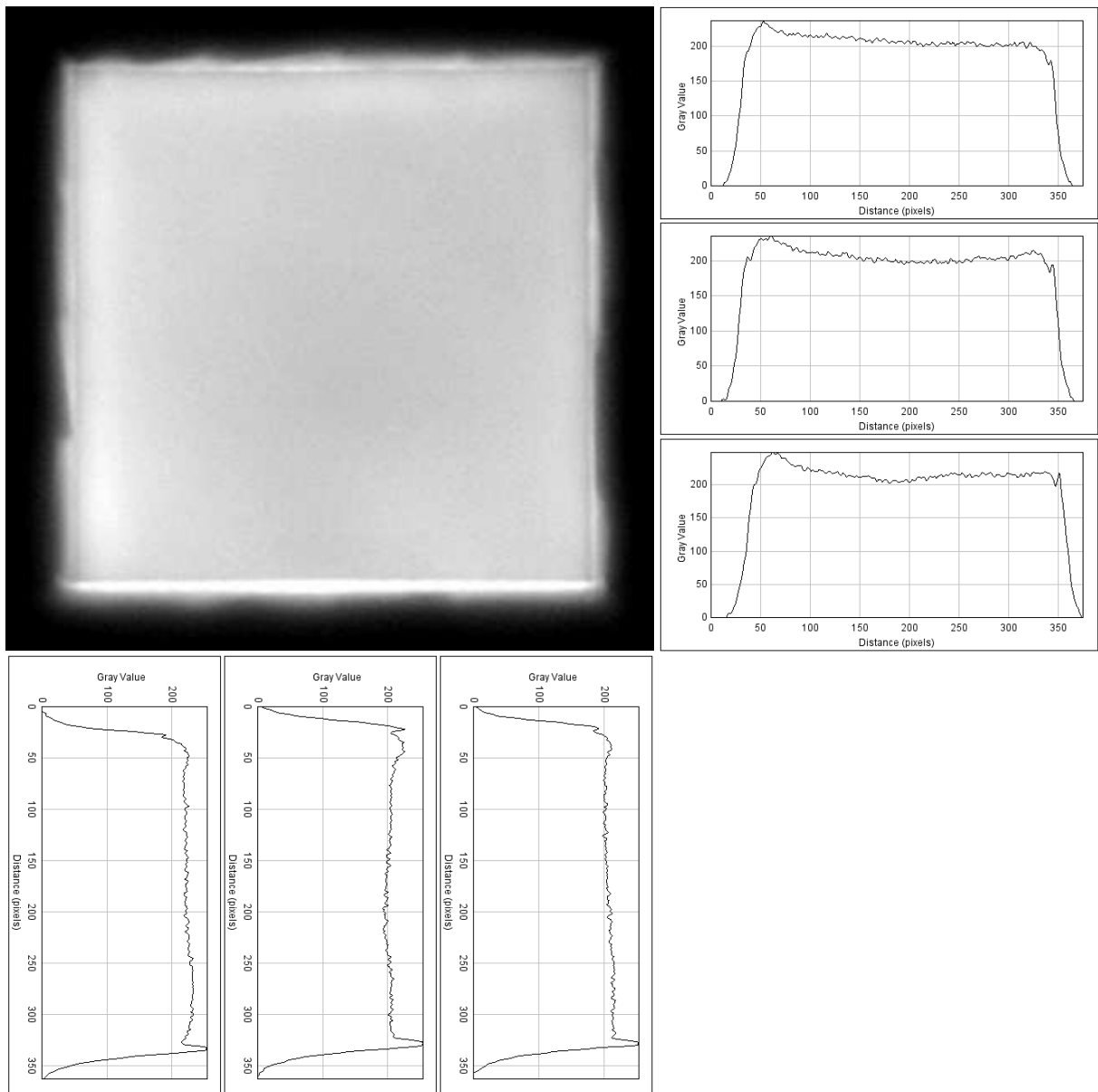
40. ábra „A” jelű háttérvilágítás histogramja



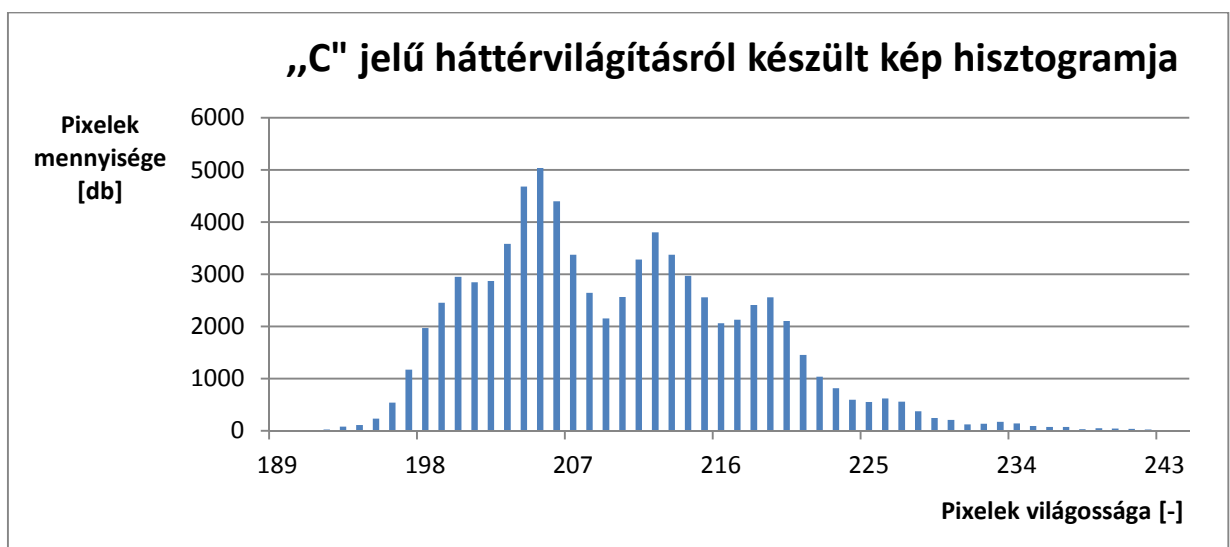
41. ábra „B” jelű háttérvilágítás intenzitás-eloszlása



42. ábra „B” jelű háttérvilágítás histogramja



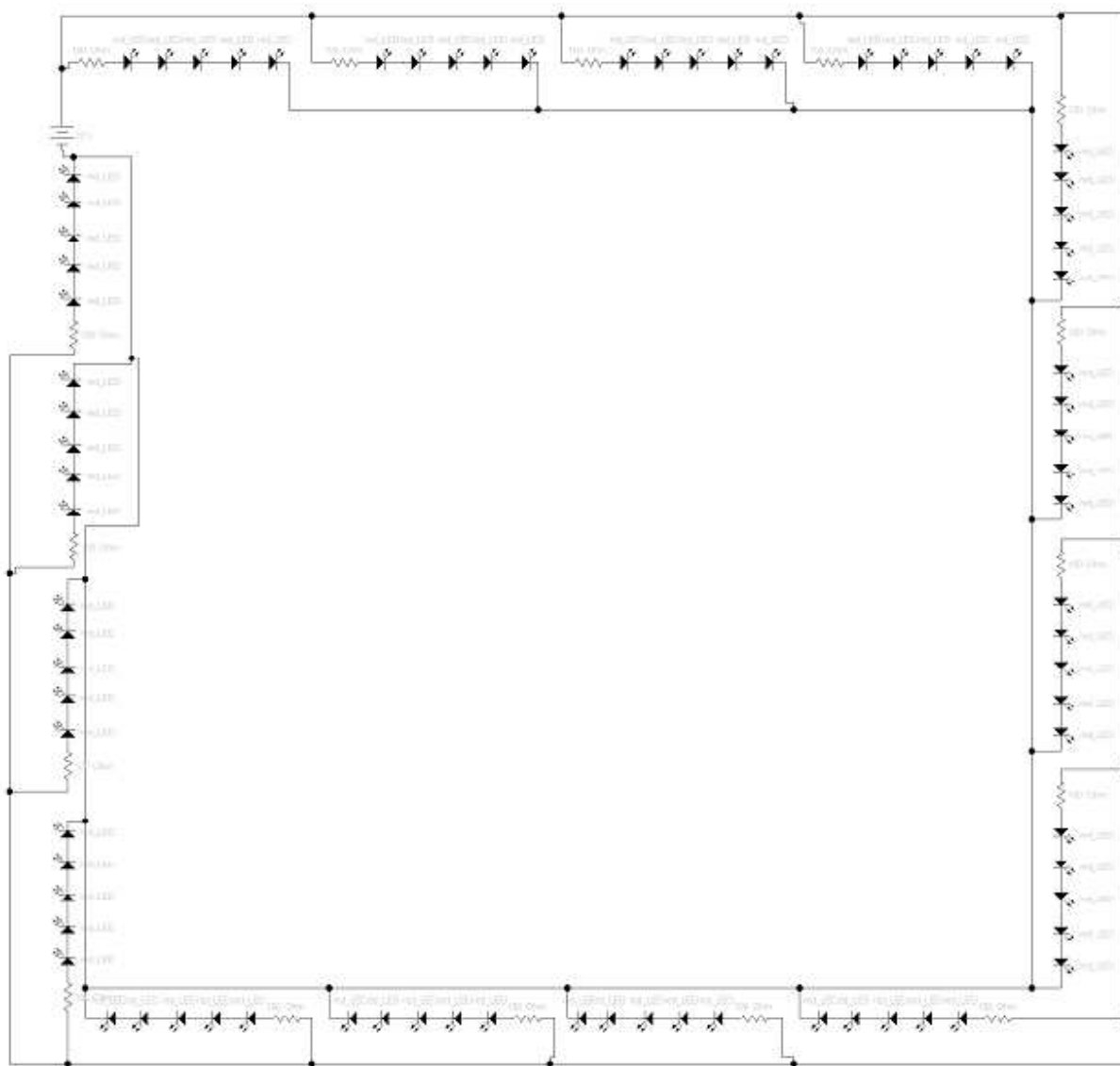
43. ábra „C” jelű háttérvilágítás intenzitás-eloszlása



44. ábra „C” jelű háttérvilágítás histogramja

## 4.5. Háttérvilágítás építése

Az Edge LED típusú háttérvilágítás legfontosabb eleme, a fényvezető lap, elfogadható intenzitás-eloszlást mutatott, ezért elkezdtem megépíteni a saját hátteremet. Szükséges volt megvizsgálni, hogy a LED-ek mekkora áramot vesznek fel működésük során. Az LGP mind a négy oldalát körberaktam LED-ekkel. A LED-ek kapcsolása a következő volt: 5 darab LED elé egy 100  $\Omega$ -os ellenállás került. Ezt az egységet egy oldal mentén összesen négyszer párhuzamosan kapcsoltam, ezek egy NYÁK lapra voltak forrasztva. A fényvezető lap mind a négy oldalán elhelyeztem 1-1 NYÁK lapot. Összességében 16 darab LED-es egységet kapcsoltam párhuzamosan egymással, melyeket feszültséggenerátorról, 12 V-ről üzemeltettem. A kapcsolási rajz a 45. ábrán látható olyan elrendezésben, mintha a fényforrások az LGP kerülete mentén lennének elhelyezve.



45. ábra A LED-ek kapcsolási rajza

A LED-eket azonban célszerű áramgenerátorról működtetni, hiszen egy kicsit eltérő feszültségváltozástól a fényforrásokon átfolyó áram értéke jelentősen megváltozhat (dióda karakterisztika). Továbbá a LED-ek hőt termelnek, és a hőmérséklet növekedés nagyobb áramot eredményez. A használt SMD LED-ek típusa: KA-3528SEC. Ezért egymás után 10 percen keresztül működtettem három darab 4 LED-ből álló egységet 12 V-os egyenfeszültségről, és mértem a fényforrásokon folyó áramot, melynek értékét 10 másodpercenként jegyeztem fel (13. táblázat), majd grafikonon ábrázoltam a kapott eredményt (46. ábra).

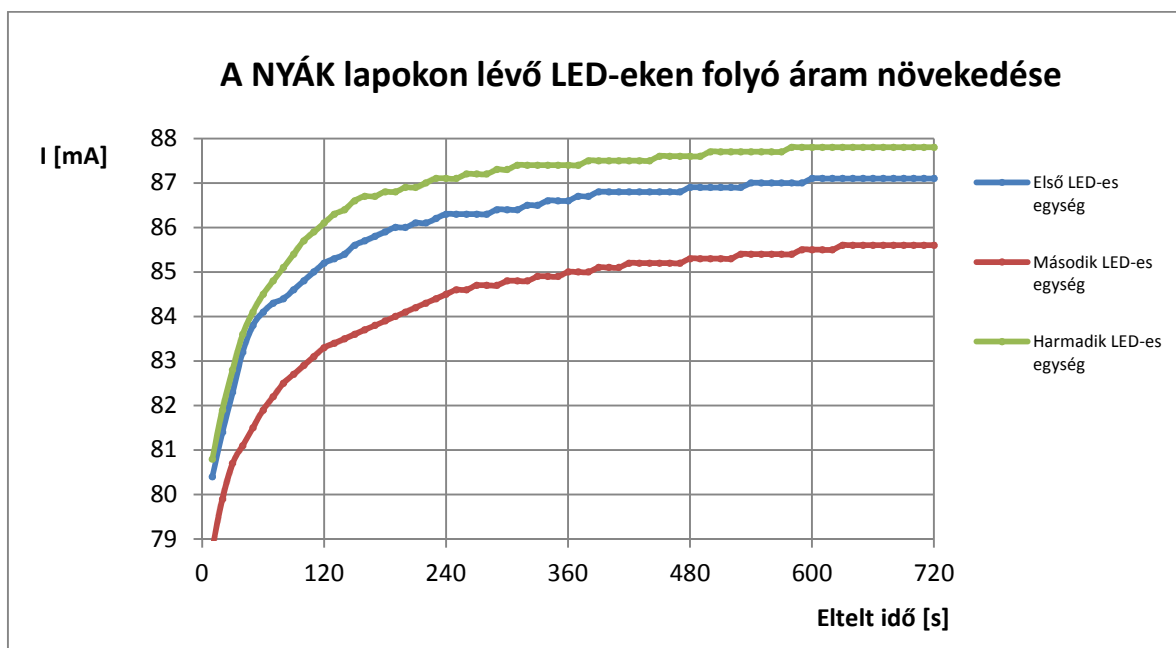
A táblázatban látható, hogy a NYÁK-on található LED-eken átfolyó áram a három különböző mérésnél nem ugyanaz. Kis eltérés látszik a felvett áramban. A karakterisztikák megegyeznek, azonban a kezdeti értékek máshonnan indulnak. Körülbelül 12 perc után a felvett áram beáll egy konstans értékre.

Megállapítottam, hogy a fényforrások az üzemeltetés során nem fognak túlmelegedni, nem fognak tönkremenni. Tovább folytattam az építést. Egy 2 mm vastagságú, 140 mm x 140 mm méretű alumínium lemezt vágtam ki, majd a közepére ráragasztottam egy fehér 100 mm x 100 mm méretű műanyag fényvisszaverő fóliát. Előtte az alumínium felületéről a szennyeződésekeltávolítottam és egy átlátszó fóliát ragasztottam rá a megfelelő szigetelés miatt. Kivágtam egy 5 mm vastagságú fekete habkartonból egy 140 mm x 140 mm-es darabot, majd ennek közepéből eltávolítottam egy 115 mm x 115 mm-es részt. A habkartont ráragasztottam az alumínium lemezre. A szerkezetbe belehelyeztem a fényvezető lapot illetve az e köré helyezett NYÁK lapokat. A LED-eket ezt megelőzően beforrasztottam. A fennmaradó réseket sziloplaszttal töltöttem ki. Ez gondoskodott arról, hogy a NYÁK-okon található fényforrások szorosan illeszkedjenek a fényvezető lap oldalaihoz illetve ez biztosította, hogy a NYÁK-ok ne mozduljanak el.

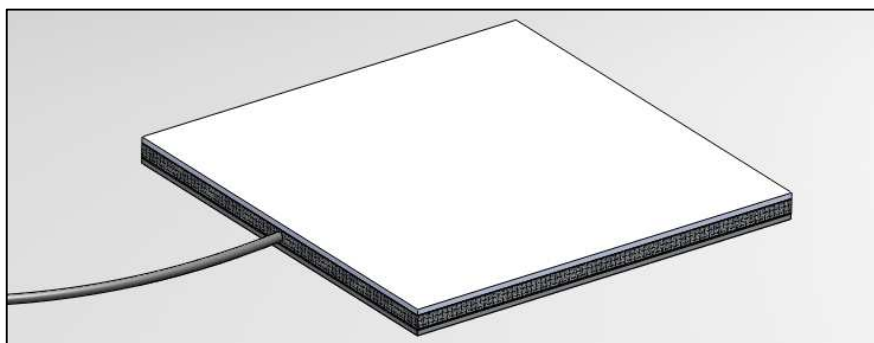
A habkarton egyik oldalába egy 3mm átmérőjű furatot készítettem, ebbe helyeztem bele a vezeték, melynek egyik vége a NYÁK lapokhoz, másik vége egy hálózati 12 V-os adapterhez csatlakozott. Természetesen figyeltem a helyes polaritásra. Egy 2 mm-es vastagságú plexiből kivágtam egy 140 mm x 140 mm-es darabot, ez szolgál a szerkezetben diffúzorként. Ennek egyik felületére 140 mm x 140 mm-es fekete fóliát ragasztottam, melynek közepéből eltávolítottam egy 100 mm x 100 mm-es részt. A diffúzort rögzítettem a habkartonhoz. A háttérvilágítás látványterve a 47. ábrán, az elkészített háttérvilágítás pedig a 48. ábrán látható.

|       | Első LED-es egység | Második LED-es egység | Harmadik LED-es egység |       | Első LED-es egység | Második LED-es egység | Harmadik LED-es egység |       | Első LED-es egység | Második LED-es egység | Harmadik LED-es egység |
|-------|--------------------|-----------------------|------------------------|-------|--------------------|-----------------------|------------------------|-------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| t [s] | I [mA]             |                       |                        | t [s] | I [mA]             |                       |                        | t [s] | I [mA]             |                       |                        |
| 10    | 80,4               | 78,8                  | 80,8                   | 250   | 86,3               | 84,6                  | 87,1                   | 490   | 86,9               | 85,3                  | 87,6                   |
| 20    | 81,4               | 79,9                  | 81,9                   | 260   | 86,3               | 84,6                  | 87,2                   | 500   | 86,9               | 85,3                  | 87,7                   |
| 30    | 82,3               | 80,7                  | 82,8                   | 270   | 86,3               | 84,7                  | 87,2                   | 510   | 86,9               | 85,3                  | 87,7                   |
| 40    | 83,2               | 81,1                  | 83,6                   | 280   | 86,3               | 84,7                  | 87,2                   | 520   | 86,9               | 85,3                  | 87,7                   |
| 50    | 83,8               | 81,5                  | 84,1                   | 290   | 86,4               | 84,7                  | 87,3                   | 530   | 86,9               | 85,4                  | 87,7                   |
| 60    | 84,1               | 81,9                  | 84,5                   | 300   | 86,4               | 84,8                  | 87,3                   | 540   | 87                 | 85,4                  | 87,7                   |
| 70    | 84,3               | 82,2                  | 84,8                   | 310   | 86,4               | 84,8                  | 87,4                   | 550   | 87                 | 85,4                  | 87,7                   |
| 80    | 84,4               | 82,5                  | 85,1                   | 320   | 86,5               | 84,8                  | 87,4                   | 560   | 87                 | 85,4                  | 87,7                   |
| 90    | 84,6               | 82,7                  | 85,4                   | 330   | 86,5               | 84,9                  | 87,4                   | 570   | 87                 | 85,4                  | 87,7                   |
| 100   | 84,8               | 82,9                  | 85,7                   | 340   | 86,6               | 84,9                  | 87,4                   | 580   | 87                 | 85,4                  | 87,8                   |
| 110   | 85                 | 83,1                  | 85,9                   | 350   | 86,6               | 84,9                  | 87,4                   | 590   | 87                 | 85,5                  | 87,8                   |
| 120   | 85,2               | 83,3                  | 86,1                   | 360   | 86,6               | 85                    | 87,4                   | 600   | 87,1               | 85,5                  | 87,8                   |
| 130   | 85,3               | 83,4                  | 86,3                   | 370   | 86,7               | 85                    | 87,4                   | 610   | 87,1               | 85,5                  | 87,8                   |
| 140   | 85,4               | 83,5                  | 86,4                   | 380   | 86,7               | 85                    | 87,5                   | 620   | 87,1               | 85,5                  | 87,8                   |
| 150   | 85,6               | 83,6                  | 86,6                   | 390   | 86,8               | 85,1                  | 87,5                   | 630   | 87,1               | 85,6                  | 87,8                   |
| 160   | 85,7               | 83,7                  | 86,7                   | 400   | 86,8               | 85,1                  | 87,5                   | 640   | 87,1               | 85,6                  | 87,8                   |
| 170   | 85,8               | 83,8                  | 86,7                   | 410   | 86,8               | 85,1                  | 87,5                   | 650   | 87,1               | 85,6                  | 87,8                   |
| 180   | 85,9               | 83,9                  | 86,8                   | 420   | 86,8               | 85,2                  | 87,5                   | 660   | 87,1               | 85,6                  | 87,8                   |
| 190   | 86                 | 84                    | 86,8                   | 430   | 86,8               | 85,2                  | 87,5                   | 670   | 87,1               | 85,6                  | 87,8                   |
| 200   | 86                 | 84,1                  | 86,9                   | 440   | 86,8               | 85,2                  | 87,5                   | 680   | 87,1               | 85,6                  | 87,8                   |
| 210   | 86,1               | 84,2                  | 86,9                   | 450   | 86,8               | 85,2                  | 87,6                   | 690   | 87,1               | 85,6                  | 87,8                   |
| 220   | 86,1               | 84,3                  | 87                     | 460   | 86,8               | 85,2                  | 87,6                   | 700   | 87,1               | 85,6                  | 87,8                   |
| 230   | 86,2               | 84,4                  | 87,1                   | 470   | 86,8               | 85,2                  | 87,6                   | 710   | 87,1               | 85,6                  | 87,8                   |
| 240   | 86,3               | 84,5                  | 87,1                   | 480   | 86,9               | 85,3                  | 87,6                   | 720   | 87,1               | 85,6                  | 87,8                   |

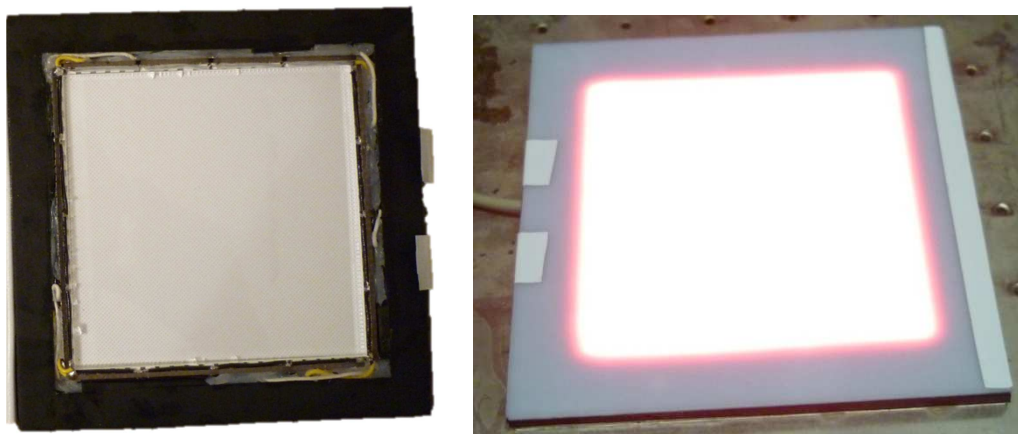
13. táblázat A NYÁK lapokon lévő LED-eken folyó áram növekedésének értékei



46. ábra A NYÁK lapokon lévő LED-eken folyó áram növekedése



47. ábra A háttérvilágítás látványterve



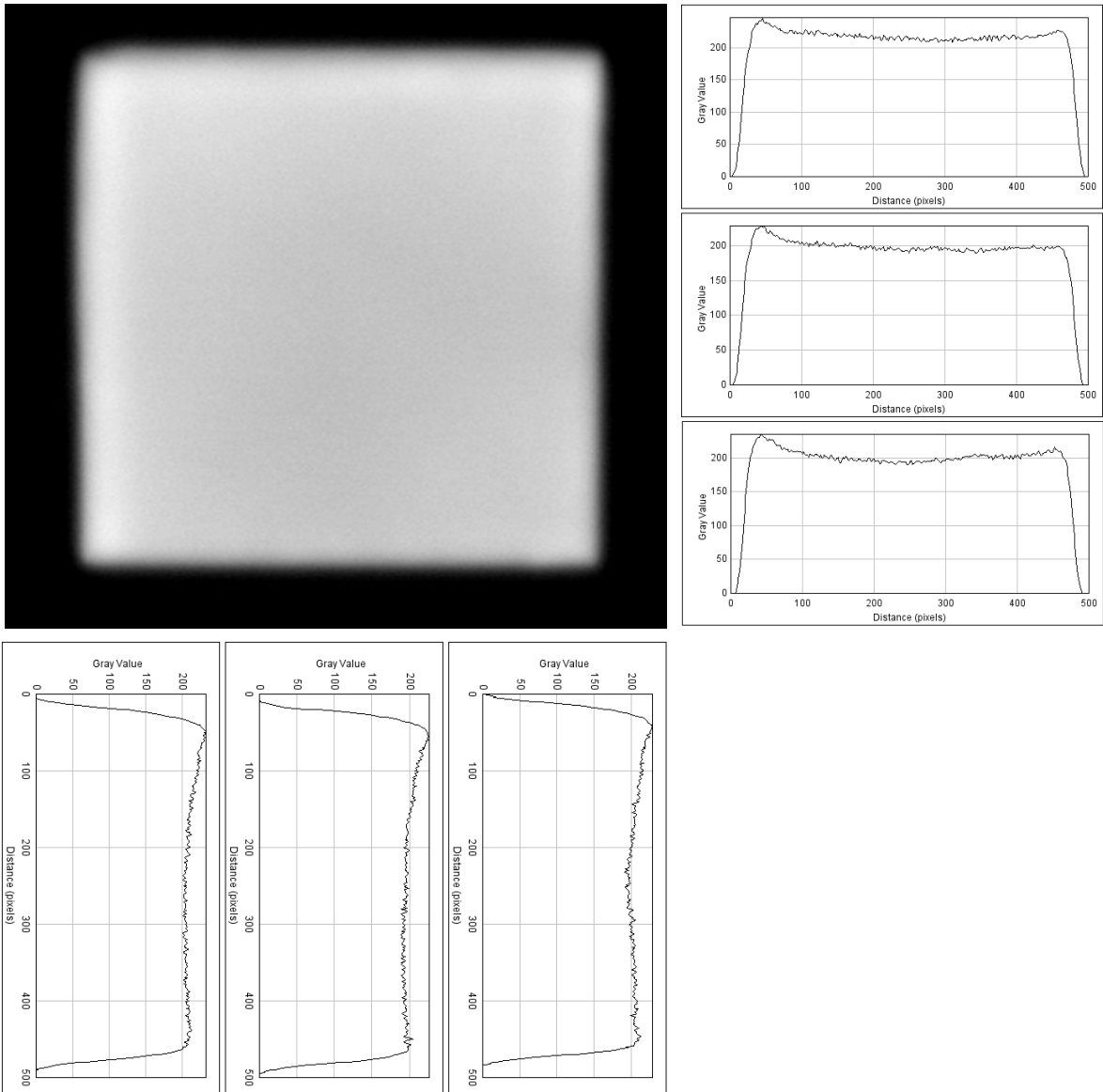
48. ábra Az elkészített háttérvilágítás belseje valamint a háttér működés közben

Fontosnak tartottam megvizsgálni az elkészített háttérvilágítás homogenitás értékét. Ekkor már a szerkezetben a fényvezető lap a megfelelő helyen és módon rögzítve volt. A 48. ábrán a háttérvilágításról készült kép látható, mellette és alatta a kép felső, középső és alsó harmadában lévő intenzitás-eloszlás található vízszintes és függőleges irányoknak megfelelően. A háttérvilágítás bal oldalán egy kicsit erősebb a megvilágítás, de ettől függetlenül a háttér intenzitás-eloszlása megfelel az elvártnak. A háttérvilágításról készült kép pixeleinek világosságát hisztogramon ábrázoltam. Meghatároztam a homogenitást, mely 18,615 %-ra adódott (14. táblázat). Így sikerült a célt elérni.

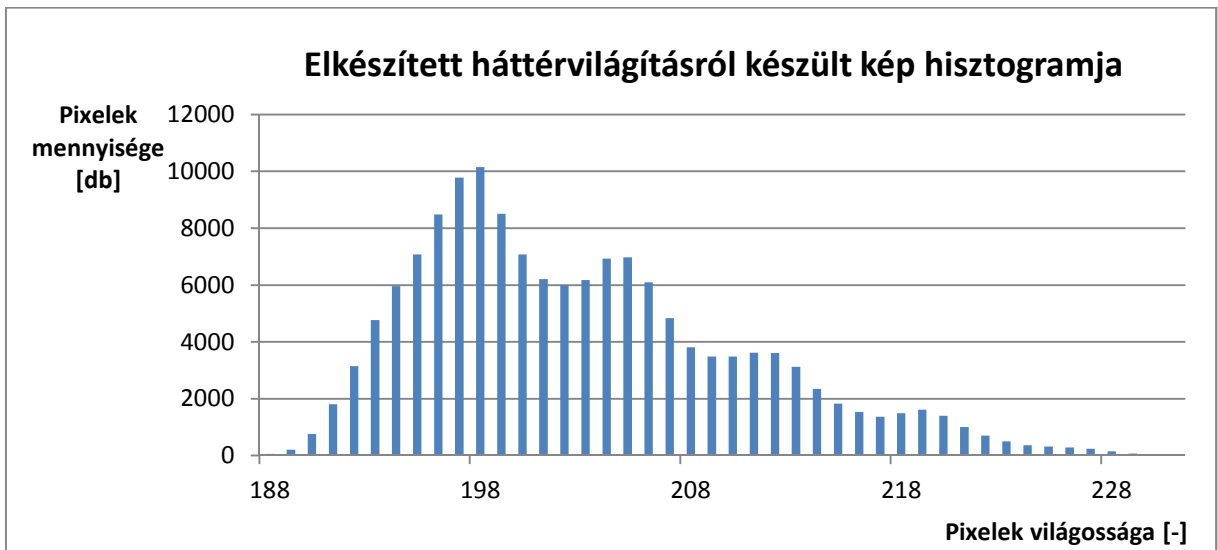
|                           | $I_{\min}$<br>[-] | $I_{\max}$<br>[-] | Terjedelem<br>[-] | Homogenitás<br>[%] |
|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Elkészült háttérvilágítás | 188               | 231               | 43                | 18,615             |

14. táblázat Az elkészült háttérvilágítás homogenitás értéke

Ha a háttérvilágítás belső, 60 mm x 60 mm-es területét nézem, akkor ott a homogenitás érték 12%, ami várakozáson felül van. Háttérvilágítások homogenitásánál ez kimondottan jónak számít.



49. ábra Az elkészült háttérvilágítás intenzitás-eloszlása



50. ábra Az elkészült háttérvilágítás histogramja



## 5. A fejlesztés összefoglalása

### 5.1. Eredmények összegzése

Szakedolgozatom készítése során alaposan megismertem az ipari képfeldolgozásban használatos háttérvilágításokat. Megértettem az Edge LED típusnál használt fényvezető lap működését. Elemeztem, hogy mik azok a tényezők, melyek meghatározzák egy LGP megfelelő működését. Mikroszkóppal történő méréseim során megvizsgáltam több fényvezető lap mintázatát, következtetéseket vontam le a gyártási eljárások pontosságáról és minőségéről. Megterveztem és sikeresen legyártattam saját háttérvilágításom legfontosabb elemét, a fényvezető lapot. Elkészítettem egy háttérvilágítás prototípusát, melyet a jövőben nagyobb számban lehetne gyártani.

Munkám kezdeti célkitűzései a következők voltak: legalább A5-ös méretű lapos háttérvilágítás létrehozása, melynek eltérése a homogén intenzitás-eloszlástól nem lehetett nagyobb, mint 20%.

A fejlesztés alapja egy 100 mm x 100 mm-es LGP volt. Szakedolgozatomban egy ekkora megvilágító felületű háttérvilágítás tökéletesítésével foglalkoztam. Nem kezdhettem bele egy nagyméretű megvilágítás tervezésébe anélkül, hogy nem vizsgáltam volna meg egy kisebb méretű háttér mintáit, gyártását, intenzitás-eloszlását. Egy nagy megvilágító felületű háttér fejlesztéséhez sokkal több idő és munka szükséges, melynek elvégzése egy jövőbeli célom lehet.

Munkám során sikerült elkészítenem egy 140 mm x 140 mm-es nagyságú, 100 mm x 100 mm-es megvilágító felületű háttérretet. Az építési magassági követelményeket teljesítettem (maximum 10 mm-es vastagság), a háttérvilágításom magassága 9 mm lett. További eredmény, hogy létrehoztam egy közel 18 %-os homogenitású háttérretet, mellyel szintén sikerült teljesítenem a kívánt homogenitás feltételét. Ez az ipari képfeldolgozásban használt háttérvilágításoknál jó eredménynek számít.

## 5.2. Tovább lépési lehetőségek

Az Edge LED típusú háttérvilágítás meghatározó eleme a fényvezető lap, ezért ennek tervezését és gyártását szükséges fejleszteni. Sokféle továbbfejlesztési lehetőség áll rendelkezésre. Először is, érdemes lenne egy másik – nem lézergravírozással – gyártási eljárással létrehozni a mintákat az LGP-n. Hiszen mint megmutattam, a lézergravírozás plexilap esetén nem vált be, nem biztos, hogy jól reprodukálhatóak a termékek. Ráadásul nem tudunk olyan pontossággal lézergravírozni, mint amennyire mi szeretnénk. Továbbá egy-egy fényvezető lap legyártásához viszonylag drága a technológia, de bizonyára nagyobb sorozat esetén olcsóbb lehetne. Javaslatom szerint el lehetne készíteni egy szitanyomással készített LGP-t is, majd a legyártott darabot össze lehetne hasonlítani az előbb említett technológiával legyártott termékkel. A szitanyomás költséghatékonyabb, jól reprodukálható termékek gyárthatók vele.

Másik lehetőség, hogy a négyzet alakú mintákat egymástól nem egyenlő távolságra kellene tenni, az LGP szélein keskenyebb a közepén szélesebb lehetne a minta nagysága. Érdemes kísérletezés lenne az is, ha tudnánk változtatni a mélységüket is. Kíváncsi lennék, ez mit eredményezne. További lehetőség, hogy nem négyzet alakot használunk, hanem kipróbálunk egy másikat, például kör profilt.

Távoli cél, hogy ha sikerül elkészíteni egy elfogadható intenzitás-eloszlású Edge LED háttérvilágítót, akkor ki lehetne fejleszteni egy termékcsaládot is. Például egy 50 x 50 mm-es, 100 x 50 mm-es, 200 x 100 mm-es, 200 x 200 mm-es világító felületű. Azért, hogy túllépjük az A5-ös méretet: célszerű egy 250 x 150-es, 250 x 200 mm és egy 250 x 250 mm, 300 x 200 és 300 x 300 mm-es megvilágító felületű háttérvilágítót is fejleszteni.

Jól látható, hogy a tervezéskor nagyon sok paraméter változtatható. Éppen ezért egy elfogadható homogenitású Edge LED háttérvilágítás megtervezése nem könnyű feladat. Azonban az egész fejlesztést örömmel végeztem, mely során sokszor Claude Bernard híres idézete jutott eszembe:

„A felfedezés öröme minden bizonnyal a legfelemelőbb, amelyet ember érezhet.”

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Dr. G. Szabó Istvánnak ipari konzulensemnek, hogy számos ötletével, felkészültségével és szerteágazó tapasztalatával segítette a munkámat.

Köszönettel tartozom az OPTIKA Mérnökiroda Kft. munkatársainak is, akikhez szakmai kérdéseimmel bármikor bátran fordulhattam. Ők mindig igyekeztek hasznos tanácsokkal szolgálni és hozzájárulni dolgozatom sikeréhez.

Továbbá szeretném megköszönni Dr. Antal Ákosnak, tanszéki konzulensemnek, hogy értékes megjegyzéseivel, gondolataival támogatta a szakdolgozatom elkészítését.

Köszönet illeti jelenlegi szaktársamat, jövőbeli kollégámat Jákli Balázst, aki biztosította számomra egy Edge LED megvilágítású televízióról készült fényképet.

Benedek László szakmai tanácsaival segítette munkámat, melyet ezúton köszönök meg neki is.

Köszönöm barátnőmnek, Noéminek és családomnak a gondoskodásukat.

# Irodalomjegyzék

- [1] Richter Péter (szerk.): *Bevezetés a modern optikába II. kötet*. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000.
- [2] Ipari képfeldolgozás  
<http://www.orszaczky.hu/mvcam.html>  
Letöltve: 2012. október 2.
- [3] Dr. Berke József, Kelemen Dezső, Szabó József: *Digitális képfeldolgozás és alkalmazásai*. Ziegler nyomda, Keszthely, 2004.
- [4] A Practical Guide to Machine Vision Lighting  
<http://www.ni.com/white-paper/6903/en>  
Letöltve: 2012. október 2.
- [5] Sal Cangeloso: *LED Lighting*. O'Reilly Media, Sebastopol, 2012.
- [6] Ron Lenk, Carol Lenk: *Practical Lighting Design With LEDs*. John Wiley & Sons Ltd, Hoboken, 2011.
- [7] OMI (Optika Mérnökiroda) Katalógus 2012/2  
[http://www.omi-optika.hu/Images/OMI\\_2012.pdf](http://www.omi-optika.hu/Images/OMI_2012.pdf)  
Letöltve: 2012. október 2.
- [8] A fény, mint mérőeszköz  
<http://www.amivision.eu/ipari-kepfeldolgozas-2/alapismeretek/ipari-kepfeldolgozas/>  
Letöltve: 2012. október 2.
- [9] Jee-Gong Chang, Yu-Bin Fang: Dot-pattern design of a light guide in an edge-lit backlight using a regional partition approach. *Optical Engineering*, Vol. 46 (4), 043002, 2007.
- [10] Jin-Ren Yan, Qiong-Hua Wang, Da-Hai Li, Jian-De Zhang: Edge-Lighting Light Guide Plate Based on Micro-Prism for Liquid Crystal Display. *Journal of Display Technology*, Vol. 5 (9), p355-357, 2009.
- [11] Lambert Miklós: *Szenzorok – elmélet és gyakorlat*. Invest – Marketing Bt., Budapest, 2009.
- [12] A háttérvilágítás működése  
[http://files.microscan.com/NERLITE/grf\\_edgetoedge.jpg](http://files.microscan.com/NERLITE/grf_edgetoedge.jpg)  
Letöltve: 2012. október 5.

- [13] Edge to Edge Backlights  
<http://www.microscan.com/en-us/products/NERLITE-Machine-Vision-Lighting/Edge-to-Edge-Backlights.aspx>  
Letöltve: 2012. október 5.
- [14] Melinda Rose: Displays – Add a Dimension, Durability. *Photonics Spectra*, Vol. 7, p28-33, 2010.
- [15] Diffúz fényvisszaverődések és kiterjedt fényforrások modellezése rekurzív sugárkövetéssel  
[http://www.vassg.hu/pdf/vass\\_tdk2001.pdf](http://www.vassg.hu/pdf/vass_tdk2001.pdf)  
Letöltve: 2012. október 8.
- [16] Patrick Mottier: *LEDs for Lighting Applications*. ISTE, London, 2009.
- [17] What is a direct-lit LCD TV  
<http://news.consumerreports.org/electronics/2012/05/what-is-a-direct-lit-led-lcd-tv.html>  
Letöltve: 2012. november 10.
- [18] Young Chul Kim, Tae-Sik Oh, Yong Min Lee: Optimized pattern design of light-guide plate (LGP). *Optica Applicata*, Vol. 54, No. 4, p863-872, 2011.
- [19] Young Chul Kim: Optimize pattern design for the thin LGP. *Optik*, 2012.
- [20] Dr. Ábrahám György (szerk.): *Optika*. Panem, Budapest, 1998.
- [21] A fényvezető szálak tulajdonságai és mérési technológiái  
<http://www.muszeroldal.hu/measurenotes/feny1.pdf>  
Letöltve: 2012. október 12.
- [22] Byung-Yun Joo, Dong-Ho Shin: Design guidance of backlight optic for improvement of the brightness in the conventional edge-lit LCD backlight. *Displays*, Vol. 31, p87-92, 2010.
- [23] Edge Lit Vs. Backlit  
<http://www.buzzle.com/articles/edge-lit-vs-backlit.html>  
Letöltve: 2012. november 9.
- [24] Shunsuke Kobayashi, Shigeo Mikoshiba, Sungkyoo Lim: *LCD Backlights*. John Wiley & Sons Ltd, Hoboken, 2009.
- [25] Innovate Keypad Design With Light Guides and LEDs (Avago Technologies)  
<http://www.avagotech.com/docs/AV02-2241EN>  
Letöltve: 2012. október 15.

- [26] Understanding Backlights and the Difference Between LCD and LED  
<http://www.choosethebestmonitor.com/choosing-a-monitor/choosing-between-an-lcd-monitor-and-an-led-monitor/>  
 Letöltve: 2012. október 27.
- [27] Czvikovszky Tibor, Nagy Péter, Gaál János: *A polimertechnika alapjai*. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000.
- [28] Refractive index database  
<http://refractiveindex.info/?group=PLASTICS&material=PMMA>  
 Letöltve: 2012. október 27.
- [29] Global Lighting Technologies  
[http://www.glthome.com/2\\_Technology.html](http://www.glthome.com/2_Technology.html)  
 Letöltve: 2012. november 10.
- [30] Jee-Gong Chang, Ming-Horng Su, Cheng-Tai Lee, Chi-Chuan Hwang: Generating random and nonoverlapping dot patterns for liquid-crystal display backlight light guides using molecular-dynamics method. *Journal of Applied Physics*, Vol. 98, 114910, 2005.
- [31] Ho Su Jang, Myeong Woo Cho, Dong Sam Park: Micro Dot Patterning on the Light Guide Panel Using Powder Blasting. *Sensors*, Vol. 8, p877-885, 2008.
- [32] J. H. Lee, W. Chang, D. Choi: LED Light Coupler Design for a Ultra Thin Light Guide. *Journal of the Optical Society of Korea*, Vol. 11, No. 3, p1-5, 2007.
- [33] Gravírozás  
<http://ezermester.hu/cikk-4596/Gravirozas>  
 Letöltve: 2012. október 28.
- [34] H.-G. Rubahn: *Laser applications in surface science and technology*. John Wiley & Sons Ltd, Hoboken, 1999.
- [35] Lézerrel alkotunk  
<http://lezergravirozas.com/>  
 Letöltve: 2012. november 11.
- [36] Bitay Enikő: *Lézeres felületkezelés és modellezés*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2007.
- [37] Lézergravírozás  
[http://grandstudio.blogja.net/viewpage.php?page\\_id=6](http://grandstudio.blogja.net/viewpage.php?page_id=6)  
 Letöltve: 2012. október 28.
- [38] Koscsó László: *A grafika*. ETO-Print nyomda, Budapest, 2006.

- [39] Magyar Szitanyomók Szövetsége: *Szitakönyv*. RO-LA nyomda, Valkó, 2001.
- [40] Szerigráfia a művészetben  
<http://www.pointernet.pds.hu/ujzagok/lupe/2003/02/lupe-07.html>  
Letöltve: 2012. október 28.
- [41] Bartha Tamás: *Nyomdai kisenciklopédia II. kötet*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.
- [42] Szitanyomás  
[http://www.wellnessdesign.hu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=50&Itemid=87](http://www.wellnessdesign.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=87)  
Letöltve: 2012. november 11.
- [43] Litográfia  
[http://www.artness.hu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=30&Itemid=33](http://www.artness.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=30&Itemid=33)  
Letöltve: 2012. október 28.
- [44] Nyomtatott Áramköri lapok – áttekintés  
<http://www.uni-obuda.hu/users/grollerg/Elektronikaitechnologia/Jegyzet/1-Nyhl-technol.pdf>  
Letöltve: 2012. október 28.
- [45] Photoimaging  
[http://www.ami.ac.uk/courses/topics/0224\\_img/index.html](http://www.ami.ac.uk/courses/topics/0224_img/index.html)  
Letöltve: 2012. november 11.
- [46] Falcon Illumination katalógus  
[http://www.falcon-lighting.de/\\_downloads/Katalog\\_2013.pdf](http://www.falcon-lighting.de/_downloads/Katalog_2013.pdf)  
Letöltve: 2012. november 11.
- [47] Phoenix Imaging  
[http://www.phoeniximaging.com/4100\\_backlight.htm](http://www.phoeniximaging.com/4100_backlight.htm)  
Letöltve: 2012. november 11.
- [48] Vital Vision Technology  
[http://www.v2tech.com.sg/products/illumination/Diffused\\_Back\\_Light/](http://www.v2tech.com.sg/products/illumination/Diffused_Back_Light/)  
Letöltve: 2012. november 11.
- [49] CCS TH series  
[http://www.ccs-grp.com/s2\\_ps/src/pro\\_download/s\\_ct/125/0/2](http://www.ccs-grp.com/s2_ps/src/pro_download/s_ct/125/0/2)  
Letöltve: 2012. november 11.

- [50] CCS LFL series  
[http://www.ccs-grp.com/s2\\_ps/src/pro\\_download/s\\_ct/14/0/2](http://www.ccs-grp.com/s2_ps/src/pro_download/s_ct/14/0/2)  
Letöltve: 2012. november 11.
- [51] Edmund Optics katalógus  
<http://www.edmundoptics.com/digital-catalog/>  
Letöltve: 2012. november 11.
- [52] Heinz Pforte: *Optikai műszerész*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.
- [53] Michael Bass: *Handbook of optics*. McGraw-Hill, New York, 2009.
- [54] Háttérvilágító intenzitás-eloszlása  
<http://www.advancedillumination.com/uploads/products/BL0404+.pdf>  
Letöltve: 2012. november 12.
- [55] Nerlite backlight  
[http://files.microscan.com/\\_att/4cd1f8d7-66a5-4306-8b38-f7287c69e97/edgebacklight\\_spec.pdf](http://files.microscan.com/_att/4cd1f8d7-66a5-4306-8b38-f7287c69e97/edgebacklight_spec.pdf)  
Letöltve: 2012. november 12.
- [56] LCD vs LED vs Plasma  
<http://www.rtings.com/info/lcd-vs-led-vs-plasma>  
Letöltve: 2012. november 9.
- [57] Folyadékkristályos kijelzők  
<http://www.dfl.hu/lcd.html>  
Letöltve: 2012. november 9.
- [58] LCD monitorok  
[http://almafán.hu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=79:lcd-monitor&catid=39](http://almafán.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=79:lcd-monitor&catid=39)  
Letöltve: 2012. november 9.
- [59] Plazma – LCD – LED – OLED – TV Melyiket válasszuk?  
[http://pc-szaki.hu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=56:plazma-lcd-led-oled-tv&catid=1:friss-hirek&Itemid=18](http://pc-szaki.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=56:plazma-lcd-led-oled-tv&catid=1:friss-hirek&Itemid=18)  
Letöltve: 2012. november 9.
- [60] LED vs LCD TV vs Plasma  
<http://technologyinsanity.com/general-tech/led-vs-lcd-tv-vs-plasma/>  
Letöltve: 2012. október 25.
- [61] LCD tévé – alapok, kifejezések  
[http://www.geeks.hu/tippektrukkok/081230\\_lcd\\_teve\\_alapok\\_kifejezesek](http://www.geeks.hu/tippektrukkok/081230_lcd_teve_alapok_kifejezesek)  
Letöltve: 2012. november 10.



- [62] Arató András, Pope Kornélné, Dr. Lantos Tibor, ifj. Török Béla, Nagy János: *Világítástechnikai kislexikon*. Világítástechnikai Társaság, Budapest, 2001.
- [63] LED TV és LCD TV összehasonlítása  
<http://www.ledteve.hu/led-tv-es-lcd-tv-osszehasonlitasa-101122.html>  
Letöltve: 2012. november 9.
- [64] Zavaró képjelenségek – felhősödés, clouding  
[http://prohardver.hu/tudastar/zavaro\\_kepjelensegek\\_felhosodes\\_clouding.html](http://prohardver.hu/tudastar/zavaro_kepjelensegek_felhosodes_clouding.html)  
Letöltve: 2012. november 12.
- [65] LCD-tévék: LED vs. CCFL  
[http://www.geeks.hu/technologiak/091209\\_lcd\\_tevek\\_led\\_vs\\_ccfl](http://www.geeks.hu/technologiak/091209_lcd_tevek_led_vs_ccfl)  
Letöltve: 2012. november 9.
- [66] Kiss Zoltán: Passzív mátrix OLED kijelzők. *Elektronet*, XXI. évfolyam, 3. szám, p21-22, 2012.

## CD-ROM tartalma

- Szakdolgozat\_Koncsar\_Peter.pdf fájl
- Szakdolgozat\_Koncsar\_Peter.doc fájl
- Szakdolgozat\_Koncsar\_Peter.docx fájl
- Felhasznalt\_konyvek.txt
  - a felhasznált könyvek címei szerző szerint ABC sorrendben
- Letoltott\_weblapok mappa
  - az összes Internetről származó forrás pdf formátumban
  - összesen 29 darab fájl
- Modellezett\_alkatreszek mappa
  - Solidworksben modellezett alkatrészek
  - összesen 19 darab fájl
- Katalogusok mappa
  - felhasznált katalógusok
  - összesen 7 darab fájl
- Kepek mappa
  - a Szakdolgozatban található képek gyűjteménye
  - összesen 90 darab fájl
- Rajzok mappa
  - az elkészített rajzok AutoCAD-ben dwg formátumban és egy Adobe Illustrator-ban készült ai formátumú fájl
  - összesen 14 darab fájl
- Tablázatok mappa
  - az összes Microsoft Excelben készült táblázat
  - összesen 17 darab fájl
- Tudomanyos\_cikkek mappa
  - az összes hivatkozott cikk pdf formátumban
  - összesen 14 darab fájl