

Szakdolgozat

BMF

KVK

2003

Varga Károly

N-CXXXII-282/99

Szakdolgozat

BMF
KVK
2003

Varga Károly
N-CXXXII-282/99

Mérési módszer kifejlesztése LED-ek ellenőrző vizsgálatához

A záróvizsga tárgyai

Elektronikus áramkörök
Világítási berendezések

Hallgatói nyilatkozat

1. TARTALOMJEGYZÉK

1. TARTALOMJEGYZÉK	0
2. BEVEZETÉS	7
3. A LED, MINT OPTOELEKTRONIKAI ALKATRESZ	8
3.1. TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS	8
3.2. MŰKÖDÉS	9
3.3. LED-EK KIALAKÍTÁSA	12
3.4. A FÉNYHASZNOSÍTÁS FEJLŐDÉSE	13
3.5. A LED-EK FÉNYEMISSZIÓS TULAJDONSÁGAI	16
3.6. FÉNYTANI PARAMÉTEREK	18
3.7. FÉNYÁRAM SZÁMÍTÁSA FÉNYERŐSSÉGBŐL	22
3.8. VILLAMOS PARAMÉTEREK	26
3.9. ÉLETTARTAM	29
3.10. ALKALMAZÁS	30
3.11. KÖRNYEZETVÉDELMI SZEMPONTOK	31
4. A LÁMPÁBA ÉPÍTETT LED	32
4.1. KAPCSOLÁSTECHNIKA	32
4.2. A LÁMPA ELEKTROMOS ÉS FÉNYTANI KÖVETELMÉNYEI	33
4.3. LED MÉRÉS KÖVETELMÉNYEI	34
4.3.1. Munkaponti feszültség követelménye	34
4.3.2. Fényerősség követelmények	35
4.4. KÉZI, HAGYOMÁNYOS MÓDSZER	35
4.4.1. Hibás LED-ek	35
4.4.2. Fénymérés	36
4.4.3. Feszültségmérés	36
5. AUTOMATA LED-VÁLOGATÓ	37
5.1. AZ AUTOMATA SZÜKSÉGESSÉGE (SPECIFIKÁCIÓ)	37

5.2. AZ AUTOMATA FELÉPÍTÉSE.....	37
5.2.1. Adagolás.....	38
5.2.2. Befogó szerkezet.....	38
5.2.3. A LED áramellátása.....	38
5.2.4. Fényérzékelő.....	39
5.2.5. Feszültségmérés.....	41
5.2.6. Korrekciók.....	41
5.3. AZ AUTOMATA VEZÉRLÉSE.....	42
5.4. A FEJLESZTÉS LEHETŐSÉGEI.....	42
5.5. MINŐSÉGBIZTOSÍTÁS A CÉGEN BELÜL.....	42
6. MÉRÉSI SOROZAT.....	43
6.1. A KÉZI MÓDSZER ALKALMAZÁSA.....	43
6.1.1. Fénymérés eredménye a kézi módszernél.....	43
6.1.2. Feszültségmérés kézi módszerrel.....	43
6.2. GÉPI MÉRÉS.....	44
6.3. A MÉRÉSEK ÉRTÉKELÉSE.....	46
7. ÖSSZEFOGLALÁS.....	47
8. ZUSAMMENFASSUNG.....	48
9. IRODALOMJEGYZÉK.....	49
10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	50
11. MELLÉKLETEK.....	51
11.1. DASCARD ADATGYŰJTŐ KÁRTYA KAPCSOLÁSI RAJZA.....	51
11.2. CIE SZÍNDIAGRAMOK.....	57
11.3. LED-ES LÁMPÁK MŰKÖDÉS KÖZBEN.....	60

2. BEVEZETÉS

Korunkban számtalan fényforrás igyekszik kiszorítani az izzólámpás világítást, többek között rohamléptekkel terjed a LED-ek alkalmazása. Az egyre újabb, és modernebb világító eszközök kifejlesztése a jelen egyik követelménye. Mai világunk korszerű világító, fényjelző berendezéseket igényel, melyek egyre nagyobb szerepet töltenek be mindennapjainkban. A legfontosabb cél a megbízhatóság növelése, valamint a legjobb hatásfok elérése a világításban. Üzembiztonságban a világító diódáké a vezető szerep, amit stabil, szilárd felépítésük, és hosszú élettartamuk biztosít.

Néhány évtizeddel ezelőtt, az első „szilárdtest lámpa” megjelenésekor még csak jelzőfényként, kijelzők elemeként alkalmazták a LED-et, ma viszont már világítástechnikai alkalmazásuk az információs forradalom sebességével terjed. A tíz éve megjelent „nagy fényerejű LED-ek” megtalálhatóak mindennapi eszközeinkben: kerékpár helyzetjelzőben, autó pót-féklámpában, vagy zseblámpában. A PERCEPT Kft évek óta gyárt LED-ből biztonsági fényforrásokat a MÁV számára, melyek élettartama messze meghaladja a hagyományos izzó lámpákét, az észlelhetőség pedig mindenkinek nyilvánvaló, aki járt már világító diódás lámpával felszerelt vasúti átjáróban.

A megfelelő világító eszközök kialakítása érdekében az importált LED-ek válogatása feltétlenül szükséges, mivel a lámpák nagy darabszámban vegyes kapcsolásban összekötött diódákból állnak. A mérés jelenleg kézi módszerrel történik, melyet volt alkalmam elvégezni több ezer LED-en. Feladatom az automatizált mérés hangolása, és értékelése a Percept Kft megbízásából, amellyel a gyakorlati időm alatt módomban állt közelebbről megismerkedni.

A mai vállalatok több mérőrendszert is forgalmaznak, amelyek alkalmasak optikai mérésre, de ezek között kevés van, amelyet kifejezetten LED-ek mérésére alakítottak ki. Ezért volt szükség saját mérési eljárás kifejlesztésére.

3. A LED, MINT OPTOELEKTRONIKAI ALKATRESZ

3.1. Történeti áttekintés

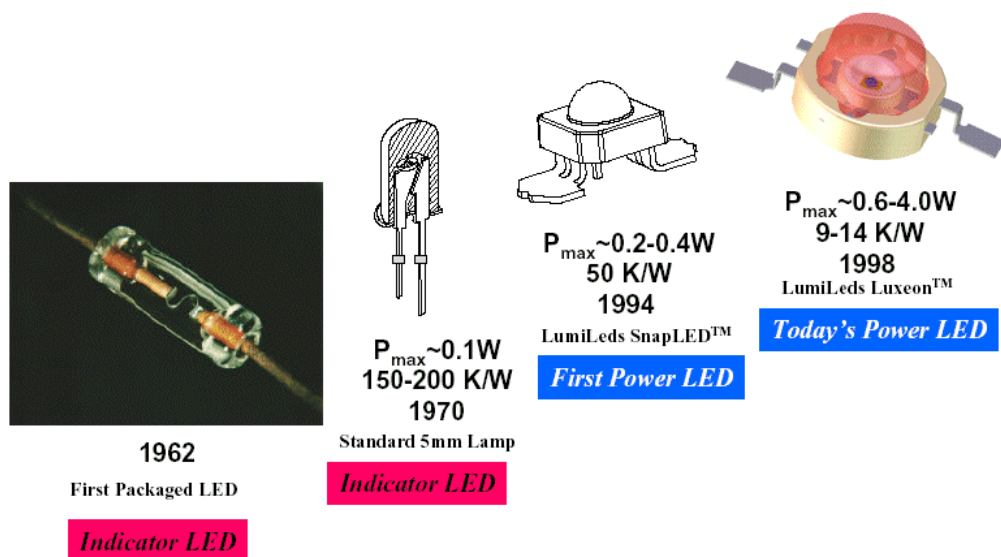
Az első leírások SSL-ként (Solide State Lamp), azaz szilárdtest lámpaként említik a ma LED-ként (Licht Emitting Diode) ismert világító diódákat.

Sikeres kísérletek már 1907-ben történtek szilíciumkarbiddal, H. J. Round tapasztalt fénykibocsátást detektorok vizsgálata során. [2] Tű kontaktussal SiC kristállyal Lossew végzett kísérleteket 1923-ban. [4] A Destriaux-hatás ZnS mikrokristályokban lép fel, 1954-ben váltakozó áramú elektrolumineszcens panelekkel történtek kísértek. Az elektrolumineszcens világításban magyar szabadalom volt az első. 1962-ben készült az első nyitó irányban előfeszített világító dióda, mígnem az első kereskedelmi forgalomban kapható LED 1967-ben került a boltokba (GaAs + LaF₃YbEr).[4] A Texas Instruments kínálatában mintegy 30 éve kapható a LED. Az évek során fénytani paraméterei jelentősen javultak, és a jelenlegi célkitűzések szerint további fejlődés előtt állnak

Year	Development of LEDs
1967	1 st LED (red light, GaAs+LaF ₃ YbEr)
1973	Yellow-green light LED
1975	Yellow light LED
1978	High brightness red light LED
1993	Blue light LED
1997	White light LED (blue LED + phosphor)
2001	White light LED (UV LED + phosphor)

ábra 3-1 A LED fejlődésének állomásai

Napjainkban a legelterjedtebb típus még mindig az 5 mm átmérőjű műanyag tokkal készült változat, de a jövőben világítási célokra készülő típusokat már új szempontok szerint alakítják ki. A Lumiled egyik előnye, hogy igen jó hatásfokon vezeti ki a hőt a LED világító egységétől, ezzel garantálva a stabil működét, és hosszú élettartamot.



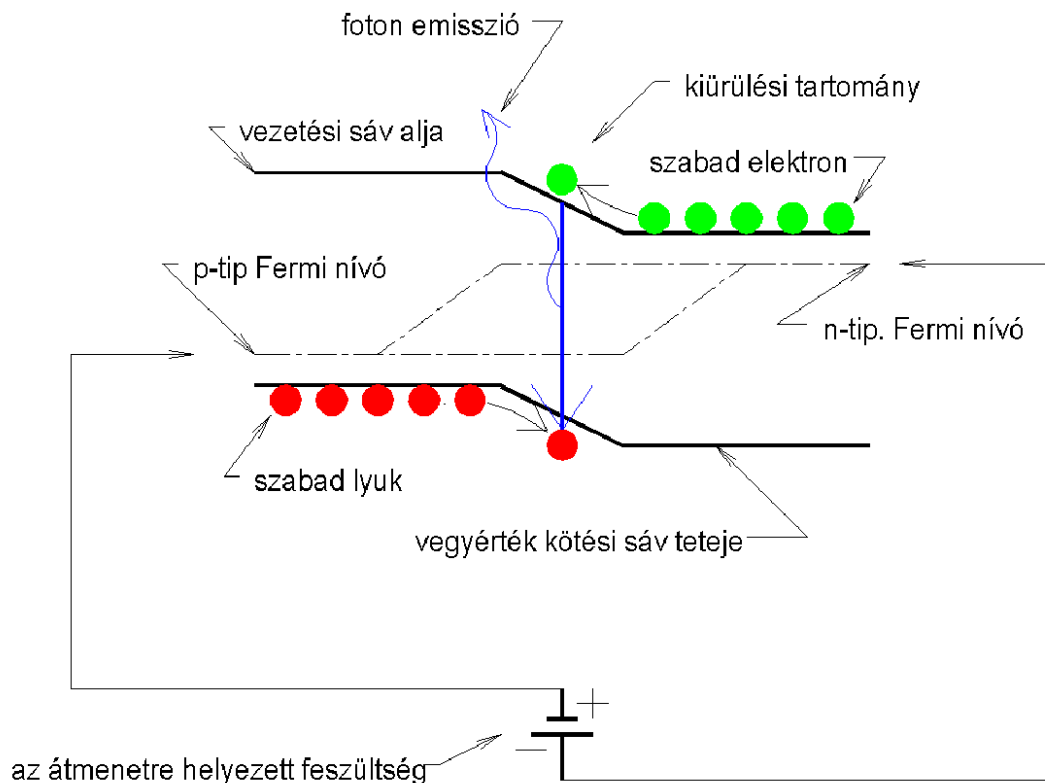
ábra 3-2 A LED tokozás fejlődése, a teljesítmény, és a hőleadó képesség növekedés

A teljesítménnyel arányosan, az egységenként kibocsátott fénymennyiség is növekedett, és a jövőre nézve folyamatos növekedés előtt áll. Áttörést jelentett a fehér LED megjelenése, mellyel újabb lehetőségek nyílnak meg a felhasználás előtt. Világítási célokra az izzóhoz hasonló fénytelsítménye miatt kezdik alkalmazni, a fejlődés határait viszont még messze nem értük el.

3.2. Működés

Fizikai besorolás szerint a LED elektrolumineszcens sugárzó, tehát elektromos energiával létrehozott kölcsönhatás eredménye a fény. A LED egy rétegdíoda, melyben p-n átmenet található. Nyitóirányú előfeszítés hatására működik, amikor az n rétegből elektronok lépnek át a p rétegbe, a p szennyezésű rétegben pedig lyukak haladnak az n szennyezésű réteg felé. Az egymás felé haladó töltéshordozók kiszámítható valószínűséggel rekombinálódnak, ami energia felszabadulással jár.

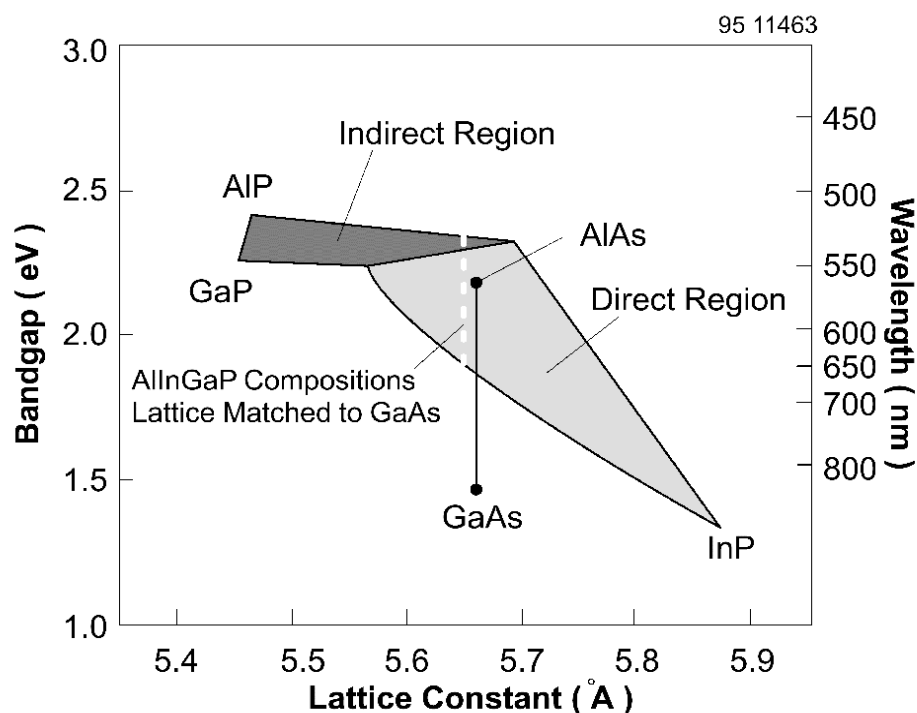
Tulajdonképpen minden félvezetőben keletkeznek fotonok a rekombináció során, hogy ezt észlelni tudjuk, a LED pn átmenetét speciálisan alakították ki.



3-3. ábra Rekombináció a félvezetőben, a fénykeltés elve

A kibocsátott sugárzás spektruma széles határok között változhat attól függően, hogy milyen összetételű a vegyület félvezető, és milyen adalékanyagokat alkalmaznak. A közismert szilícium és germánium félvezető csak csekély mértékben ad fényt. A keletkező sugárzás hullámhosszát az alkalmazott félvezető anyag sávszerkezete, és kismértékben az adalékolás határozza meg. A LED-ek legtöbbje a periódusos rendszer III., és V. oszlopának elemek kombinációiból állnak, de készül kék színű LED SiC-ből is.

A GaAs (galliumarzenid) félvezető úgynevezett direkt sugárzó, benne a rekombináció egy lépésben történik. Sajnos a keletkező sugárzás kívül esik a látható tartományon. A GaP (galliumfoszfid) 557 nm-es zöld fényt emittál, viszont a GaP indirekt sugárzó, ahol több lépésben történik az energia-kibocsátás, és a kristályokban elhelyezkedő hibahelyek miatti hőveszteség csökkenti a hatásfokot. A gallium arzénal, és foszforral történő megfelelő ötvözése az indirekt rekombinációt direktté teszi, kettős sík alakul ki a félvezetőben. A két ötvöző aránya határozza meg a tiltott sáv szélességét, és ezzel együtt a kibocsátott fény hullámhosszát. A $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ félvezető képletében az x jelenti az összetételi arányt.



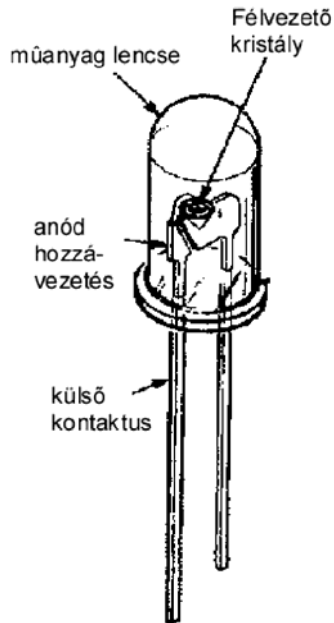
3-4. ábra Direkt, és indirekt rekombináció [3]

A felsorolt anyagok felhasználásával az infra és a zöld hullámhosszok közötti tartomány fedhető le. A 3-4 ábrán látszik, hogy az energiaszintek növekedésével lehet ugyan látható fényt előállítani, de az elméleti határ fölött helyezkedik el a kék, és ibolya szín. Ezek előállítása más típusú ötvözeteket kíván, például a GaN, InGaN.

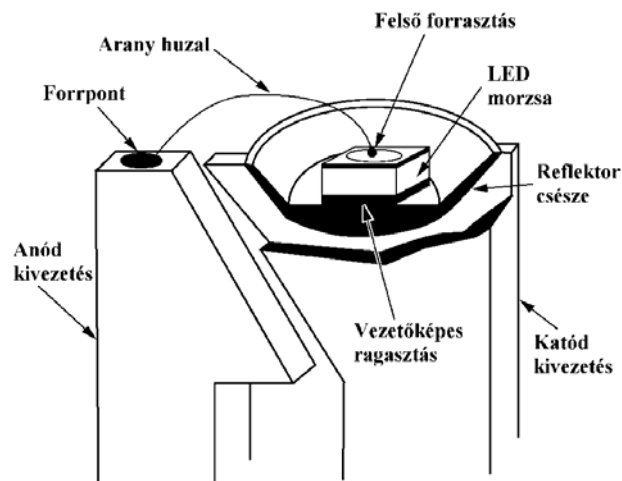
Hullámhossz, [nm]	Szín	LED anyag
700	Vörös	GaP:Zn-O/GaP
660	Vörös	GaAl _{0,3} As/GaAs
650	Vörös	GaAlAs; GaAs
630	Vörös	GaAs _{0,35} P _{0,65} :N/GaP
610	Narancs	GaAs _{0,25} P _{0,75} :N/GaP
590	Sárga	GaAs _{0,15} P _{0,85} :N/GaP
565	Sárgás zöld	GaP:N/GaP
555	Sárgás zöld	GaP/GaP
520	Zöld	InGaN; SiC
500	Kékeszöld	InGaN
450	Kék	InGaN, GaN
440	Kék	GaN; SiC
5500K x=0,33 / y=0,33	Fehér	InGaN/YAG; SiC

3-5. ábra Világító diódák maximálisan emittált hullámhossza, színe és a dióda összetétele

3.3. LED-ek kialakítása



3-6. ábra A LED felépítése



3-7. ábra LED morzsa elem részei

A LED-ek tokozása rendkívül sokféle, ugyanakkor a hetvenes évekre már kialakult az 5 mm átmérőjű hengeres műanyag kivitel, ami a mai napig általánosnak tekinthető. Terjed már a 3 mm-es, és 10 mm átmérőjű kivitel, megtalálható a piacon 2 mm-es méretben is, valamint ezek szögletes és ovális változata is.

Az egészen új kialakítású Lumiled szakít a hagyományos formával, és egy 20 mm átmérőjű fémtokban kap helyet a világító egység. Fényvisszaverő réteg helyezkedik el a fényt emittáló félvezető elem alatt, és közvetlen közelében egyaránt

A több méretben készülő SMD (felületszerelt) LED-ek általában széles, 120°-140° szórásszöggel bírnak (szinte Lambert sugárzó), míg a nagyobb, tokozott, lencsével, és reflektorral ellátott típusok igen szűk, akár 8 fokos szórásszögű kivitelben is készülhetnek. Ilyenkor mindenképpen víztiszta lencsét alkalmaznak a szóródás, és fényelnyelés minimálisra csökkentése érdekében. A színes lencse ugyanakkor hasznos lehet kijelzésre, mivel így passzív állapotban is tudunk következtetni az eszköz működésére, működés közben pedig az egész tok világítani látszik. A tokozáson a legtöbb gyártó megjelöli a katódot (-), sík felülettel, valamint a láb rövidebbre vágásával.



3-8. ábra LED-ek különböző kivitelben

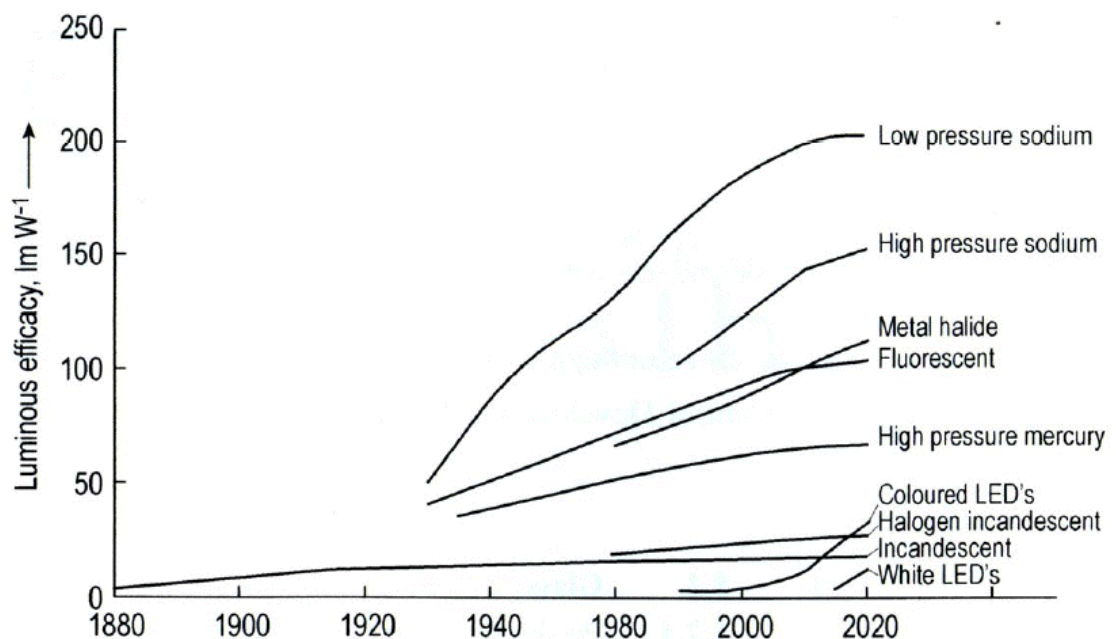
3.4. A fényhasznosítás fejlődése

A különböző fényforrások egyik összehasonlítási alapja az egységnyi befektetett teljesítményre eső kibocsátott fényáram, mely alkalmazási területet is meghatározza.

A LED-ek a megjelenés kezdeti időszakában kijelzőként funkcionáltak gyenge fényük miatt, a színes típusok viszont mára már megelőzik fényhasznosításban a színszűrővel ellátott izzókat. Kedvező élettartama, mechanikai tulajdonsága, és igen gyors működése miatt a közlekedés kezdte alkalmazni jelzőfényként. A hagyományos, 5 mm-es kivitel igen elterjedt, viszont korlátozott a hőleadó képessége.

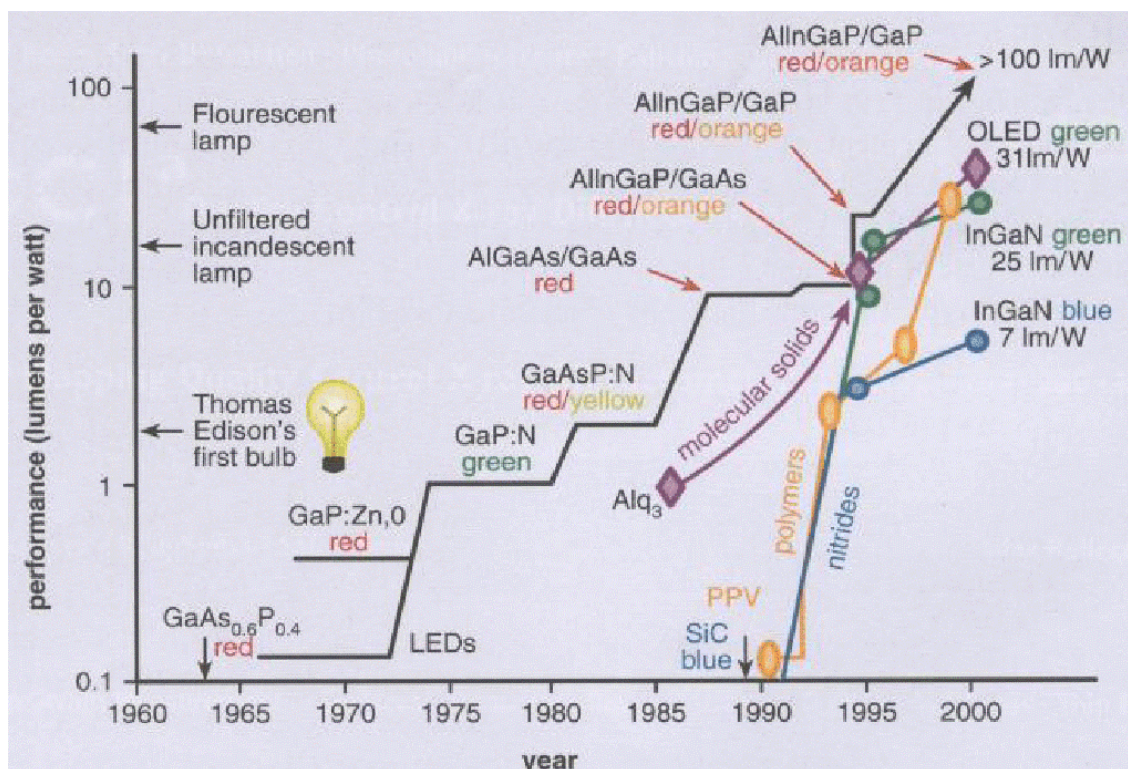
A fehér LED működése közben kék színt fénypor segítségével alakítja át sárgára, ezzel jelentős energiát veszít. Egy 4 cd fényerősségű kék LED viszont a szem érzékenységi tulajdonsága miatt fényporral kiegészítve már fehér, fényerőssége pedig eléri a 10 cd-t. Az UV tartományban üzemelő LED nagy intenzitással sugároz, így a fénypor segítségével szintén alkalmas a fehér fény előállítására.

A fehér LED fényhasznosítása az izzóhoz hasonló, mintegy 15-25 lm/W, de a tovább emelkedik. A gyártók a folyamatos fejlesztés eredményeként két évente megduplázzák a LED-ek fényteljesítményét. Ez az iram előrejelzések szerint jó ideig tartható marad, és újabb alkalmazási területeik előtt nyílik meg a lehetőség.



3-9. ábra A különböző fényforrások fényhasznosításának fejlődése

A célok között szerepel a fény - költség arány csökkentése. Jelenleg még drága a LED-del történő helyiségvilágítás, de a tömegtermelés megindulása, és fokozódása az árak letörését eredményezi. A LED-ek fényhasznosítása még messze elmarad a gázkisüléses fényforrásokétól, de a félvezetőknek nagy előnye a gyors bekapcsolás, és stabil fényerősség, ezért etalonként is alkalmazhatóak a LED-ek.



3-10. ábra A különböző LED típusok fényhasznosításának fejlődése

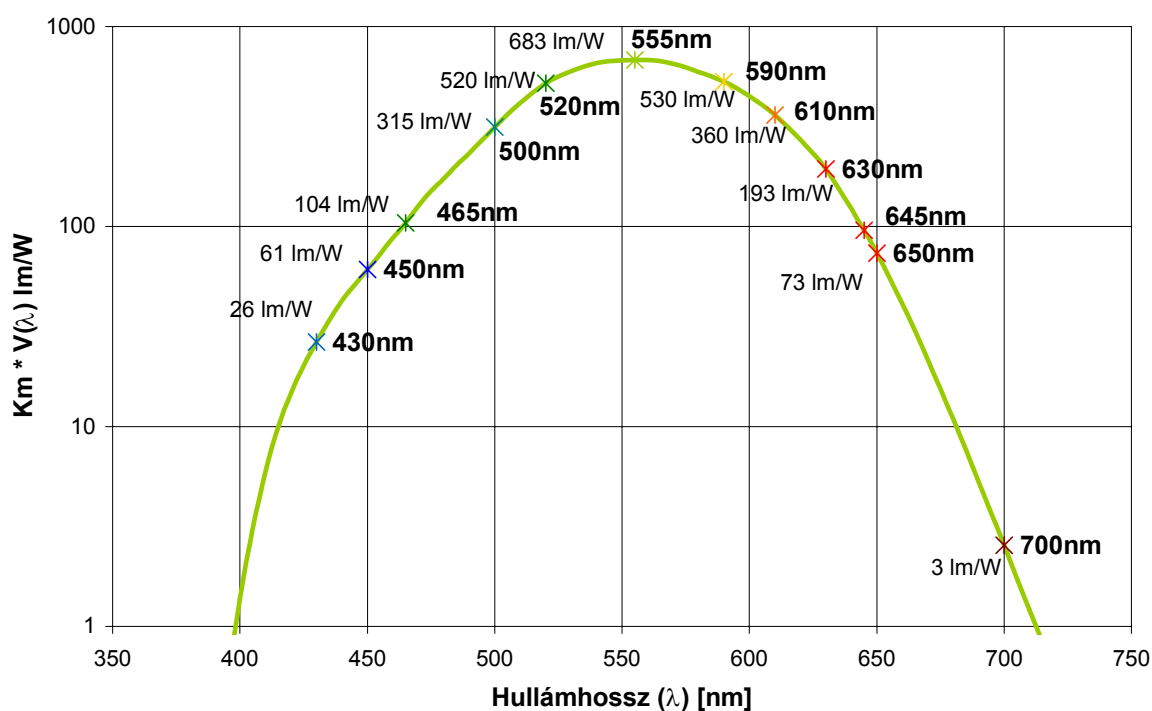
Fényhasznosítás a különböző LED-ek között is igen eltérő, amit az emberi szem érzékenységi görbéje is befolyásol. Így hiába készül igen nagy intenzitású kék (450nm), vagy vörös (650nm) LED, ha a hullámhossztartománya a szemünk érzékenységi jellemzői miatt kevésbé érzékeljük a fényt szemünkkel. A szakirodalomban található adatokat néhány helyen ellentmondásosak, az aktuális állapotok pedig nincsenek elválasztva az előrejelzésektől.

Az újabb fejlesztésű Lumileds fényhasznosítása már megjelenésekor meghaladta az izzókét, 24 lm/W a jelenleg kapható kivitel fényhasznosítása. Névleges áram alatt történő üzemeléskor ennél nagyobb érték is lehet. A jövőben ebben a kivitelben készülhetnek a LED-ek világítási célokra, akár sokkal kedvezőbb fényhasznosítással.

3.5. A LED-ek fényemissziós tulajdonságai

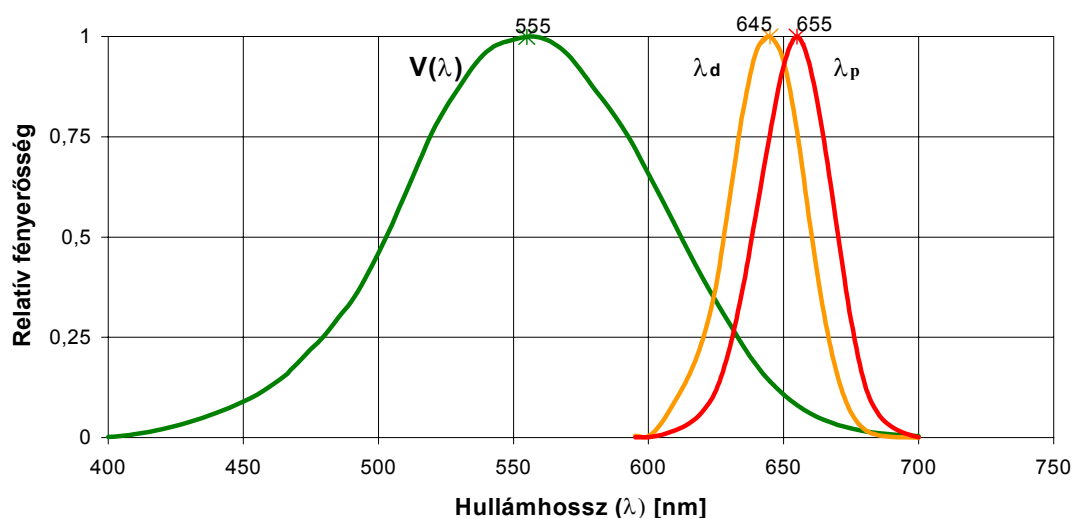
A félvezető fényforrások különböző hullámhosszokon üzemelnek, közös bennük, hogy viszonylag szűk hullámhossztartományon belül sugároznak. A LED-ek fénye szinte monokromatikus. Ez alól kivétel a fényporral kiegészített kék LED, amely kékes fehér színnel világít, de már megjelentek melegfehér változatban is

A $V(\lambda)$, szemérzékenységi görbéből adódóan a monokromatikus, 555nm-es hullámhosszon sugárzó sárgás zöld fénynek a legnagyobb a fényhasznosítása, 683 lm/W. Ennek megfelelően 465nm (kék), és 645nm (vörös) hullámhosszon már csak 100 lm/W lehet a fényhasznosítás a ideális fényforrás esetben.



3-11. ábra. A fényhasznosítás maximuma 555nm-es hullámhossznál

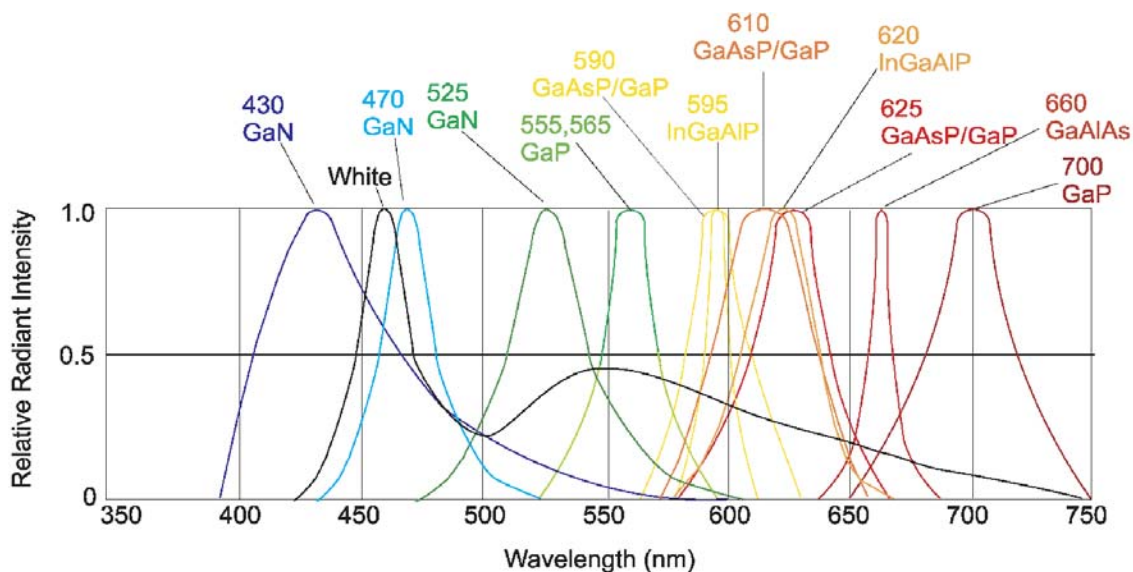
A katalógusok adatai között megtaláljuk a spektrális (λ_p), és a szemre korrigált (λ_d) hullámhosszadatokat is. A két érték között gyakran nagy eltérés mutatkozik, különösen a sárga, a piros, és a kék szín esetén, ugyanis a szemérzékenységi itt a legmeredekebb. Minden szín a szemérzékenységi maximum felé tolódik el, így a vörös, sárga, és a kék szín is az 555nm felé.



— Szemérzékenységi görbe — Vörös LED szemre korrigált spektruma — Vörös LED spektruma

3-12. ábra Vörös LED hullámhosszkorrekciója a szemérzékenységi görbével

Egy vörös LED, amely 655 nm hullámhosszon sugározza a maximális fényt, szemre korrigált hullámhossza 10nm-t tolódik a zöld szín felé. A spektrum szélességét a gyártók igen nagy pontossággal adják meg. A spektrális, és a szemre korrigált spektrum közötti különbség függ a kibocsátott fény spektrumának szélességétől is. A különböző hordozóra készült LED anyagok hullámhossza anyagra jellemző, az üzemeltetés alatt szinte változatlan marad, így akár etalonként is funkcionálhat.



3-13. ábra Különböző LED-ek spektruma, jellemző hullámhossza, és anyaga

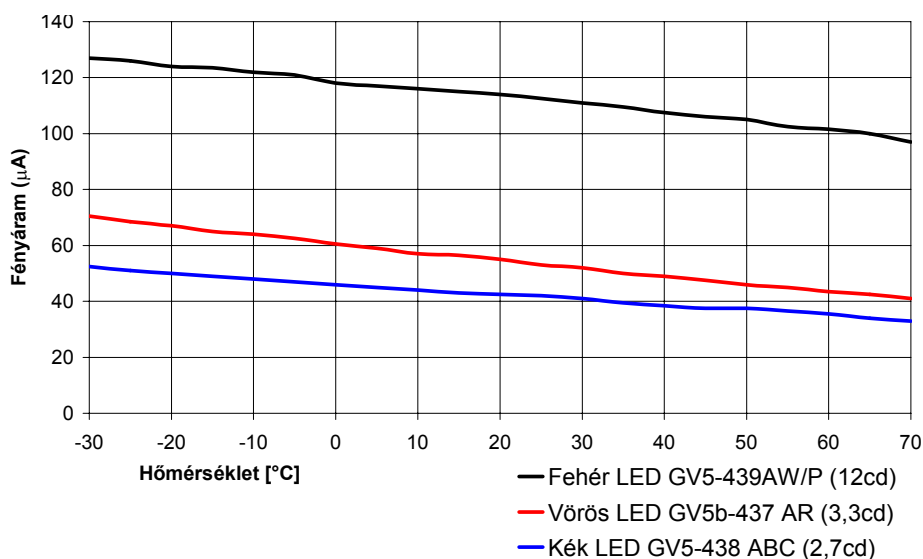
3.6. Fénytani paraméterek

A LED-ek katalógusadatai között gyakran találunk tengelyben mért fényerősség adatokat, viszont ennek az értéknek csak a félértékszög ismeretében van jelentősége. A jelzőfények szabványban előírt tulajdonságait fényerősségben (cd) adják meg, a katalógusok ezért közölnek ritkán fényáram (lm) értékeket.

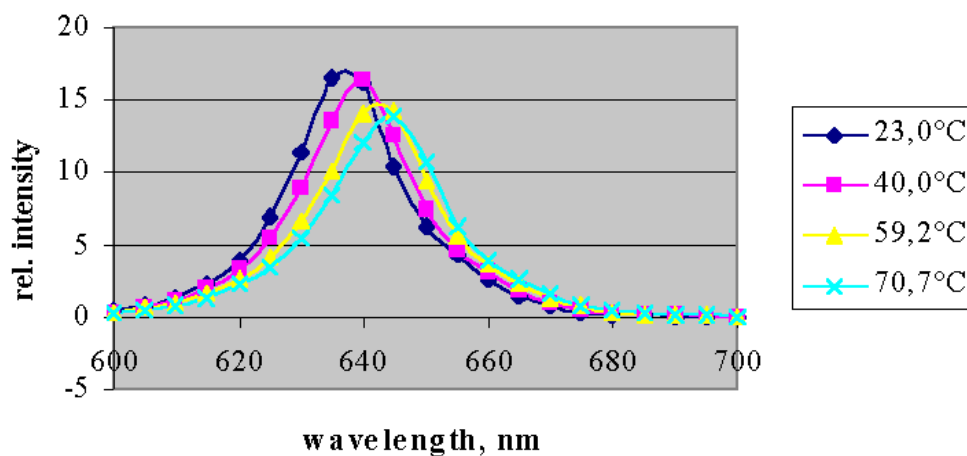
Szűk sugárzási szög eléréséhez reflektáló csészébe ültetik a LED lapkát, és a víztiszta tok egyben lencseként fókuszálja a fényt. Például az epoxigyanta rendkívül ellenálló az ultraviola sugárzással szemben, így sem a napból érkező, sem a LED által kibocsátott sugárzás nem csökkenti a tok fényáteresztő képességét

A kisméretű SMD (felületszerelt) LED széles, 120-140°-os sugárzási szöggel rendelkezik, ezért fényerőssége milicandela tartományba esik, a kibocsátott fényáram viszont hasonló nagyságrendbe esik mint a hagyományos kivitel esetében. A tokozott 5-10mm-es átmérőjű LED-ek nagy fényerejű változata szűk sugárzási szöggel készülnek, és fényerősség adataik 8 fokos sugárzási szög mellett, az 5 mm-es változatban elérik a 10 cd-t, a 10 mm-es típusok esetében pedig a 15-20 cd-t. Fényáramuk 1-2 lm körüli érték lehet SMD, és az 5-10mm-es változatoknál egyaránt, mivel ugyan azokat a sugárzó lapkákat alkalmazzák.

A hőmérséklet befolyásolja a fényerősséget, egyes (vörös) LED típusok +50°C-t változó hőmérsékletre –50% fényerőváltozással, és -50°C-t változó hőmérsékletre +50% fényerőváltozással is reagálhatnak!

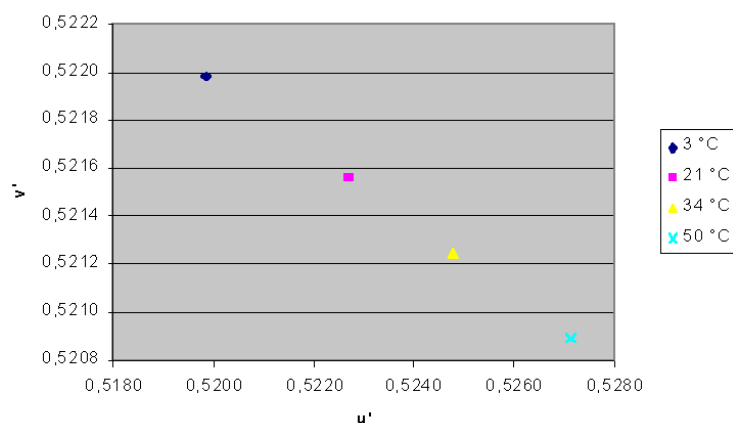


3-14.ábra Fényerősség változása a hőmérséklet függvényében [1]



3-15. ábra Vörös (RD6) LED hullámhossz változása, hőmérséklet hatására

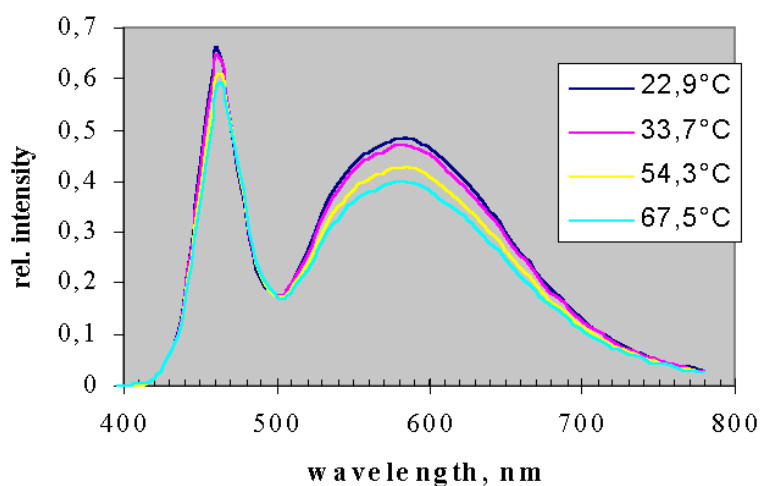
Vörös LED-nél hőmérséklet emelkedés esetén a hosszabb hullámhosszok felé tolódik a színek, amit szabad szemmel nem érzékelünk



3-16. ábra Vörös LED színességi koordináták változása hőmérséklet hatására

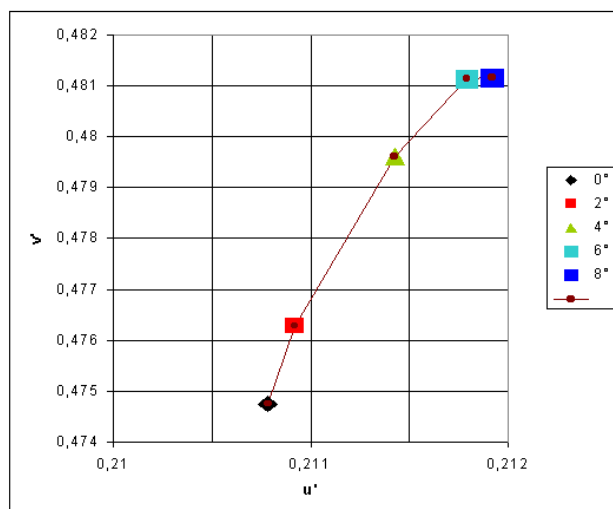
$$\Delta(u'v')_{\Delta T=50^\circ}=0,007$$

A színességi koordináták 50°C emelkedés hatására a mélyvörös szín felé tolódnak, amire az emberi szem kevésbé érzékeny, viszont a környezeti hatások ellenére kevésbé szóródik, a szintévesztők számára pedig javul a felismerhetőség. A színkoordináták a LED speciális felépítés miatt a termikus hatások ellenére viszonylag stabilak maradnak, a hullámhossz változás $\pm 50^\circ\text{C}$ hőmérsékletváltozásra 10 nm alatt marad.



3-17. ábra Fehér LED hullámhossz eltolódása hőmérséklet hatására

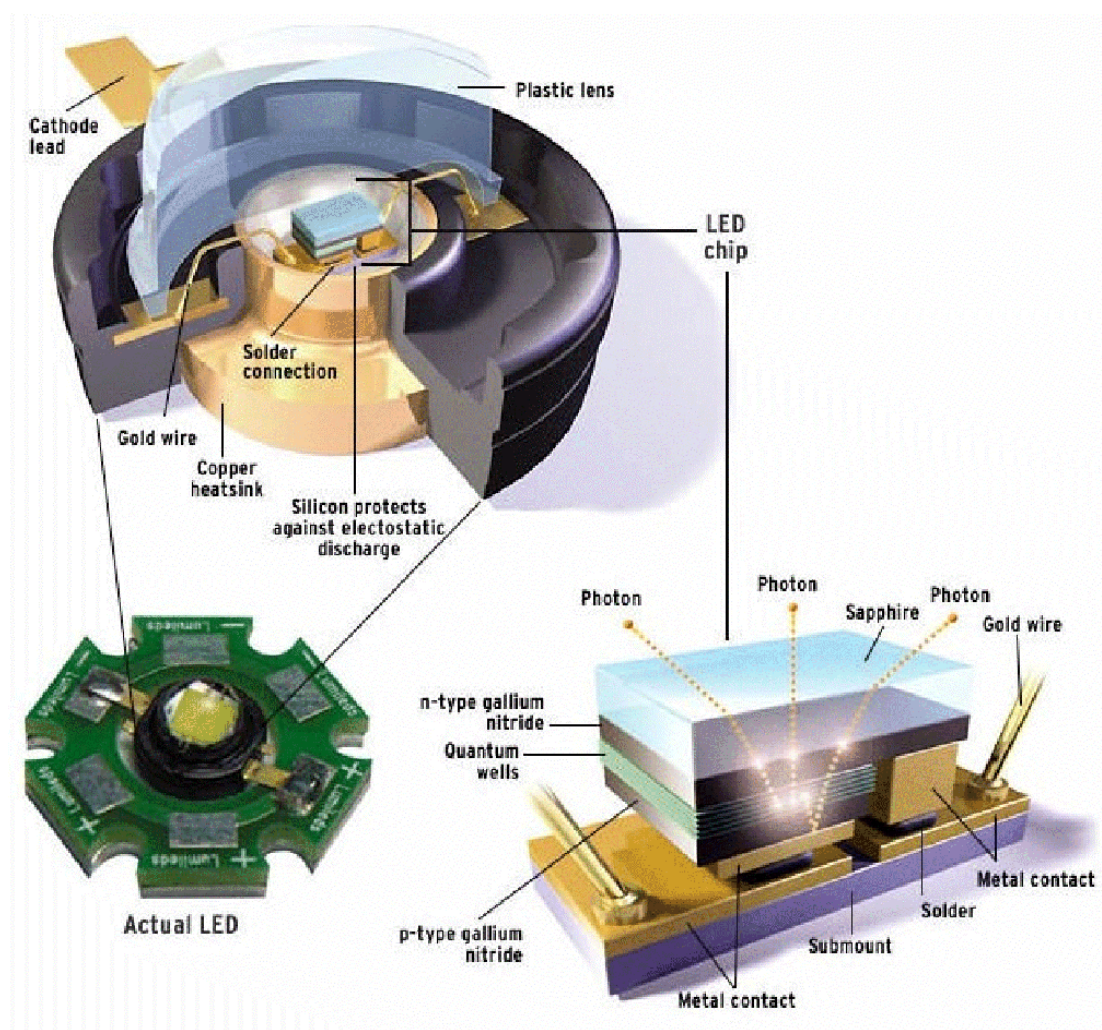
Fehér LED-ek esetén a színváltozás tartománya kismértékű, mintegy 5 nm alatt marad. Ilyenkor a fényporok hatása is módosul, de az emberi szem a fényerőváltozásra érzékenyebben reagál, mint a színkoordináták változására.



3-18. ábra Fehér LED szögfüggése $\Delta(u'v')_{\Delta(8^\circ-0^\circ)}=0,006$

További vizsgálatok végezhetőek a tengelyben mért szint hasonlítva a néhány fokkal elforgatott értékhez képest. A LED-ek ezen jellemzőire az emberi szem érzékeny, akár zavaró is lehet. A bizonyos szögben mérhető szín a meleg fehér felé tolódik, nyolc fokos eltérés esetén mintegy 6 ezred eltérés mutatkozik az $u'v'w'$ színrendszerben.

A különleges kivitelben készülő Lumiled fordított felépítésű a hagyományos tokozáshoz képest. A fémkontaktusok a fénykibocsátással ellentétes oldalon találhatók, ezért a forrasztások nem okoznak sötét foltokat a LED kivetített képében. Teljesítménye eléri az 5 W-ot, fényárama a 120 lm-t a fehér fényű típus esetén. Mindez köszönhető a jobb hő elvezető képességének, mely a nagyobb fénykibocsátó elemek alkalmazását teszi lehetővé. A legújabb változat teljesítménye már eléri 10 W-ot!



3-19. ábra A Lumiled felépítése

A szín az áramváltozás hatására kevésbé változik, a nagy fényerejű fehér LED-ek viszont néhány μA áram hatására a fehértől eltérő színt adhatnak. Az áramerősséget közel egyenes arányban követi a kibocsátott fénymennyiség. Az öregedési folyamatok során kismértékű hullámhossz eltolódás fordulhat elő.

A LED-ek észlelhetősége növekszik impulzusüzemű táplálás esetén. Ez lehet zavaró mellékhatás, vagy épp figyelemfelkeltő szándék eredménye egy jelző berendezésnél. A folyamatos fényérzékeléshez 85Hz fölötti frekvencián célszerű működtetni a fénydiódát a villogás kiküszöbölésére, különben a periférikus látásmezőnkben kellemetlen érzetet kelt.

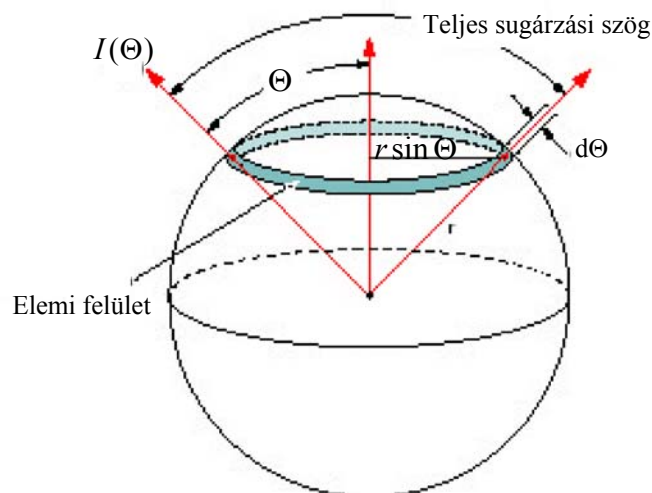
A gyártók meglehetősen nagy pontossággal adják meg a fényeloszlást, a fényerősség viszont nagy szórást mutat egy szérián belül is.

3.7. Fényáram számítása fényerősségből

A LED-ek esetében a felhasználási terület miatt a katalógusadatok között ritkán találkozhatunk fényáram, és egyben fényerősség adatokkal. A gyártók főleg a fényerősség értékeket teszik közzé, amelyre a jelzőfényekben alkalmazott LED-eknél van szükség. Ezeknek a lámpáknak szabványban előírt sugárzási szögnek, és fényerősségnek kell megfelelni. Más fényforrásokkal ilyen módon nehéz összevetni a LED-eket. Az egységenként kibocsátott fényáram növekedésével, az ár csökkenésével viszont terjed a fehér LED.

Ha szükségünk van a fényáram adatokra, akkor mérést el tudjuk végezni egy úgynevezett Ulbricht gömbben. A fényáram mérése ilyenkor közvetlenül történik, a gömb közepébe helyezett fényforrás fénye szabályosan oszlik el a belső felületen, így a falba illesztett fényelem fényáramot mér, ha ügyelünk arra, hogy a fényforrás fénye közvetlenül ne érje az érzékelőt.

Amennyiben a katalógusok alapján szeretnénk választani a különböző LED-ek között, nincs mód a mérés végrehajtására, tehát szükség van egy számítási módszerre, amely összehasonlítási alapot ad, ez alapján dönthetünk a világítási alkalmazásáról. A kiszámított fényáramból pedig már a fényhasznosítás adatokra is következtetni tudunk.



3-20 ábra Fénymennyiség számítása a sugárzási eloszlás függvényből

Az ábrából következik, hogy: az integrálás elemi felülete $2\pi r \sin(\Theta) d\Theta$

A elemi fénymennyiség megegyezik az elemi felület, szorozva az ottani intenzitással

$$\Phi = \int I(\Theta) \cdot 2\pi \cdot r \cdot \sin(\Theta) \cdot d\Theta$$

ahol Φ az összes fénymennyiség

$I(\Theta)$ az intenzitás eloszlás a szög függvényében

(feltételezzük, hogy hengersizmetrikus)

r célszerűen 1 m

Lambert sugárzó eloszlásfüggvénye:

$$I(\Theta) = I_0 \cos(\Theta)$$

Lambert sugárzó által kisugárzott teljes fénymennyiség

$$\Phi = \int I_0 \cdot \cos(\Theta) \cdot 2 \cdot \pi \cdot \sin(\Theta) \cdot d\Theta$$

$$\Phi = I_0 2 \cdot \pi \int \cos(\Theta) \cdot \sin(\Theta) \cdot d\Theta$$

elvégezve az integrálást $-\pi/2$ -től $+\pi/2$ -ig, az eredmény:

$$\Phi = I_0 2 \cdot \pi \left[\frac{1}{2} \sin^2(\Theta) \right]_0^{+\pi/2} = I_0 2 \cdot \pi \frac{1}{2}$$

$$\Phi = I_0 \cdot \pi$$

A LED-ek fényeloszlását függvény alakban nem ismerjük, csak táblázatos értékeket tudunk használni. Ezért az integrálás összegzéssé egyszerűsödik.

kibocsátott fénymennyiség:

(egyik oldalra szummázunk, mert szimmetrikus)

$$\Phi = 2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \sum_{i=0}^n I(i) \cdot \sin(\Theta) \cdot \Delta\Theta$$

ahol $\Theta = \frac{\Theta_{\max}}{n} \cdot i$;

$$\Delta\Theta = \frac{\Theta_{\max}}{n}$$

Relatív fényeloszlást használva

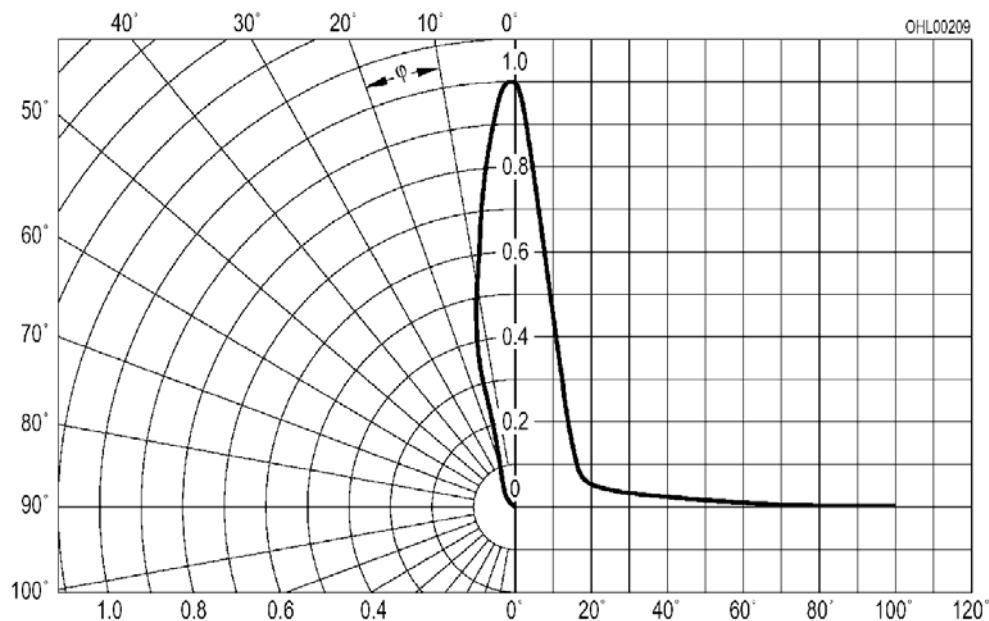
$$\Phi = 4 \cdot \pi \cdot I_0 \sum_{i=0}^n I_r(i) \cdot \sin(\Theta) \cdot \Delta\Theta$$

ahol I_0 tengelyben mért fényerősség

$I_r(i)$ a táblázatból leolvasott relatív fényerősség

(vagy a közölt görbéből)

A módszerrel egy tetszőleges fényeloszlású LED fényárama meghatározható a gyártók által megadott tengelyben mért fényerősség értékből, és fényeloszlásból.



3-21. ábra Fehér LED fényeloszlása 20 fokos sugárzási szög esetén [8]

Alapadat		$\phi=950\text{ml } \Theta=20^\circ \text{ I}=3\text{cd}$
$\Theta_i [^\circ]$	$I_r(i)$	$\Phi_i = I_r(i) \cdot \sin(\Theta_i) \cdot \Delta\Theta$
	1,000	0,000000
1	0,950	0,000289
2	0,900	0,000548
3	0,850	0,000776
4	0,800	0,000974
5	0,750	0,001141
6	0,700	0,001277
7	0,650	0,001383
8	0,600	0,001457
9	0,550	0,001502
10	0,500	0,001515
11	0,400	0,001332
12	0,300	0,001089
13	0,250	0,000982
14	0,200	0,000844
15	0,166	0,000750
16	0,133	0,000640
17	0,100	0,000510
18	0,080	0,000431
19	0,067	0,000381
20	0,065	0,000388
21	0,063	0,000394
22	0,061	0,000399
23	0,059	0,000402
24	0,057	0,000405
25	0,055	0,000406
26	0,053	0,000406
27	0,051	0,000404
28	0,049	0,000401
29	0,047	0,000398
30	0,045	0,000393
31	0,043	0,000387
32	0,041	0,000379
33	0,039	0,000371
34	0,037	0,000361
35	0,035	0,000350
36	0,033	0,000339
37	0,031	0,000326
38	0,029	0,000312
39	0,027	0,000297
40	0,025	0,000280
Tengelyben mért fényerősség I [cd]	3	
Számított fényáram ϕ [mlm]	966	

3-22. ábra Fehér, 3 cd fényerejű 20 fokos szórásszögű LED fényáram számítása
(LW 541C-BWCW-35) , Excel táblázatban elkészítve

A fényeloszlási görbéből leolvasott relatív fényerősség értékeket táblázatos formában számíthatjuk át fényáram értékekre. A számítás követelménye a megfelelő sűrűségben történő leolvasás, ezzel érhetjük el az integrálás közelítését összegzéssel.

Az Osram megadja forgalmazott LED-típusaira a két legfontosabb fénytani adatot, így alkalmunk nyílik ellenőrizni a számítási módszer eredményét.

Typ	Emissions- farbe	Gehäusefarbe	Lichtstärke	Lichtstrom	Bestellnummer
Type	Color of Emission	Color of Package	Luminous Intensity $I_F = 20 \text{ mA}$ $I_V (\text{mcd})$	Luminous Flux $I_F = 20 \text{ mA}$ $\Phi_V (\text{lm})$	Ordering Code
LW 541C-AWBW-35	white	colorless clear	1120 ...2800	590 (typ.)	Q62703-Q6400
LW 541C-BWCW-35			1800 ...4500	950 (typ.)	Q62703-Q6401

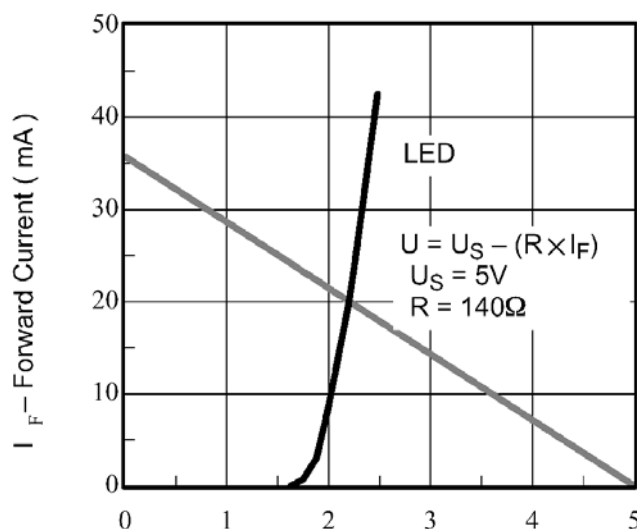
3-23. ábra 20 fokos szórásszögű LED katalógusparaméterei [8]

A fényáram meghatározásából további paraméterek számíthatóak, ilyen a fényhasznosítás. A fent említett 950 lm fényáramú LED 20 mA-es áramerősség, és 3,5 V munkaponti feszültség esetén 70 mW teljesítményű. A fényhasznosítás ezek szerint megközelíti az izzókét, 13,5 lm/W értékű, egy mára átlagosnak számító fehér LED esetén. A hagyományosan tokozott LED típusok esetén ez az érték maximum 20-25 lm/W körüli, ami már meghaladja az izzólámpák hatásfokát.

A jövőben a várható a Lumiled elterjedése, amit már a világítási célokra gondolva fényáram értékkel is jellemeznek. A 120 lm/egység szintén a kisebb darabszámú alkalmazást vetíti előre, ami a jelzőfényeknél nem mindig jelent előnyt, de világítási célokra optimális.

3.8. Villamos paraméterek

A világító diódák a hagyományos félvezető rétegdiódák módjára működnek. Bizonyos küszöbfeszültség elérése után megindul a nyitóáram, ilyenkor a LED világít. Záróirányú feszültség esetén a dióda szakadásként viselkedik, és maximális zárófeszültsége 7-10 V. A túlfeszültség ellen ellenirányban bekötött Zener dióda védi meg a LED-et.



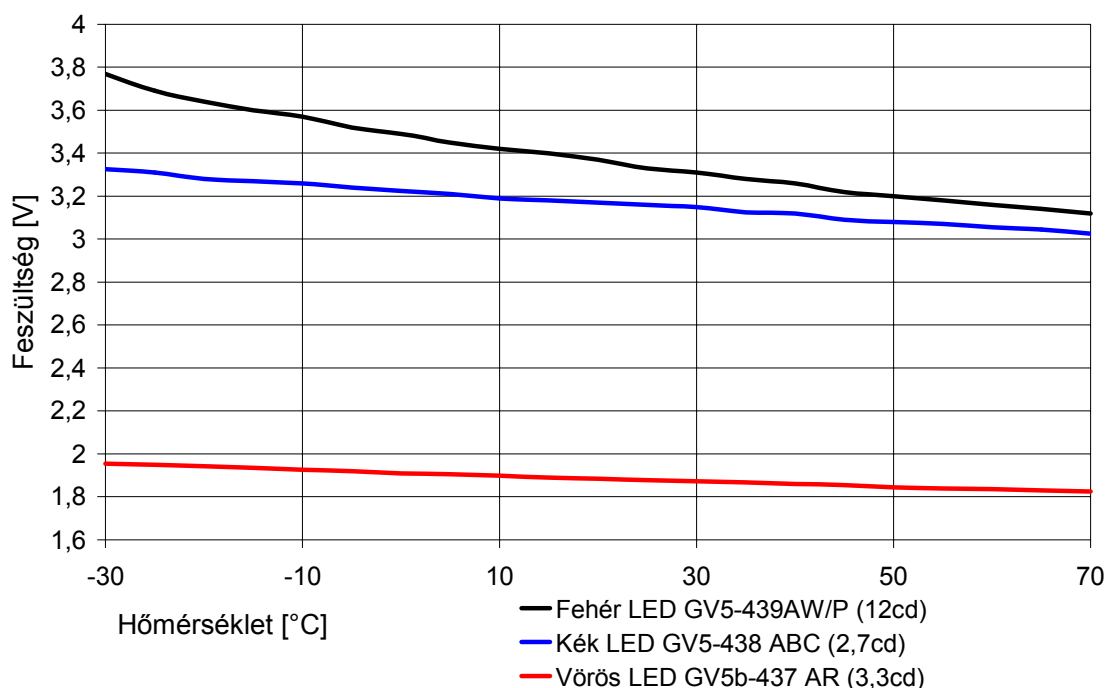
3-24. ábra LED munkapont beállítása

A LED nyitóáramának tipikus, illetve maximálisan megengedett értéke fontos katalógusparaméter. Egy LM317 integrált áramkör segítségével beállítható a munkaponti áram, ami tipikusan 20 mA. Nagy fényerejű LED viszont már 1 μ A áramerősség esetén is szabad szemmel látható fényt bocsát ki. A látható fényű LED-ek munkaponti nyitófeszültsége 1,5V és 4V között változik, ideális áram mellett. Az energiaszintektől függ a sugárzás hullámhossza, szintén ezért alakultak ki a különböző feszültségek szintől függően. Az infravörös LED-ek ezért 1,2-1,3V feszültségen működnek, míg az ultraviola tartományban üzemelők 3,8V-4,2V közötti értéken.

Color	Technology	λ_p	λ_d	$\Delta\lambda$	ϕ_v	ϕ_e	V_F	t_r	t_f	Efficiency*
		nm	nm	nm	mlm	mW	V	ns	ns	
Red	GaAlAs on GaAs	650	648	20	60	0.82	1.80	100	100	3.3
Red	GaAsP on GaP	635	620	38	30	0.20	2.00	300	150	1.5
Red	AlInGaP on GaAs	643	630	15	150	1.44	1.90	45	30	7.9
Red	AlInGaP on GaAs	620	618	20	300	1.15	1.85	45	30	16.2
Softorange	AlInGaP on GaAs	610	605	17	300	0.92	1.90	45	30	15.8
Softorange	GaAlAs on GaP	610	605	36	25	0.06	2.00	300	150	1.3
Yellow	AlInGaP on GaAs	590	588	20	200	0.39	1.90	45	30	10.5
Yellow	GaAsP on GaP	585	590	38	30	0.05	2.00	300	150	1.5
Green	GaP on GaP	565	570	38	35	0.05	2.00	450	200	1.8
Pure Green	GaP on GaP	555	560	22	12	0.02	2.00	450	200	0.6
True Green	InGaN on SiC	518	523	35	250	0.55	3.10	30	30	8.1
Blue Green	InGaN on SiC	503	505	30	200	0.79	3.20	30	30	6.3
Blue	InGaN on SiC	463	470	25	75	1.21	3.60	30	30	2.1
Blue	GaN on SiC	428	466	65	25	0.96	3.70	30	30	0.7
White	InGaN/YAG on SiC	5500K x=0.33 / y=0.33		not defined	220	1.21	3.60	30	30	6.1

3-25. ábra LED-ek paraméterei

A LED-feszültség hőmérsékletfüggése $2\text{--}8\text{ mV/C}^\circ$, vagyis igen kicsi a munkaponti feszültség néhány voltos tartományához képest, viszont sok esetben nem lineáris.



3-26. ábra Munkaponti feszültség változása a hőmérséklet függvényében [1]

A fénydióda élete során felléphetnek olyan jelenségek, amennyek hátrányosan befolyásolják az élettartamot. Öregedési folyamatként megemelkedik a munkaponti feszültség, és nyitófeszültség. Áramgenerátoros üzem esetén nem jelentkezik azonnal probléma, viszont bizonyos idő után a csökkeni kezd az emittált fény. Ilyenkor záróirányban nem működik szakadásként a dióda, hanem felveszi az üzemi áramot, nehezítve a biztonsági berendezések áramérzékelését.

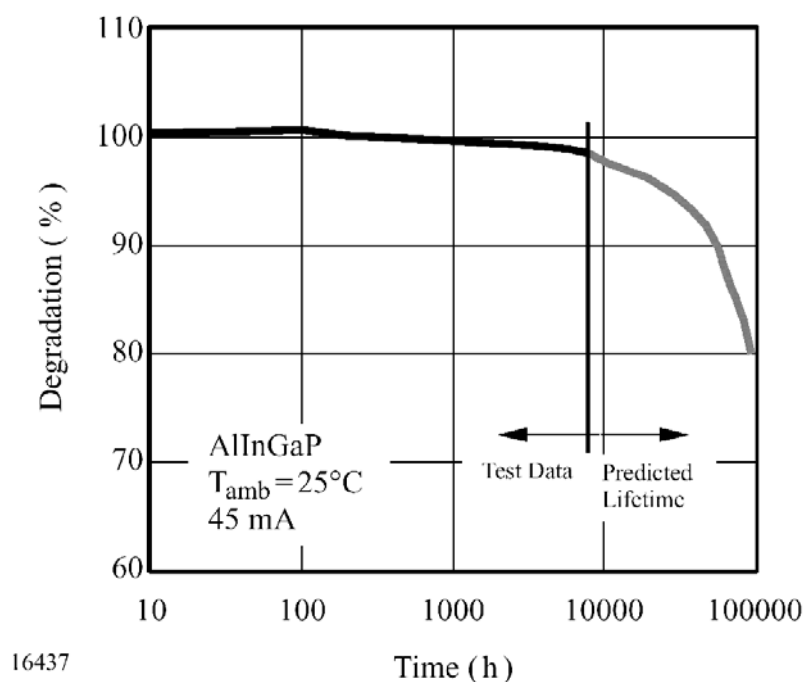
A boltokban kapható LED-ek nagy eltérést mutatnak munkapontban, még egy gyári szérián belül is. A jelenség problémát vet fel nagyszámú LED párhuzamos, vagy vegyes kapcsolása esetén. Ilyenkor a sorba nem illő alkatrészek a többi elemre is befolyással vannak, így rövid időn belül meghibásodik néhány LED, ezért a többi világító dióda túláramot kap. A körfolyamat eredményeként fénycsökkenés következik be, majd a lámpa teljes meghibásodása. Ezért fontos a LED-ek ellenőrző mérése, és válogatása.

A Lumileds felépítése szakít a hagyományos kivittel. Belső korlátozó ellenállást tartalmaz, teljesítménye 5 W, árama 700 mA. Nyitófeszültsége 7 volt, ebből is következik hogy legalább két elemből épül fel.

3.9. Élettartam

Az elektronikai alkatrészek, köztük a félvezető elemek mai változatai igen nagy megbízhatósággal készülnek, köztük a félvezető elemek is. Mindez köszönhető a mérnökök, fizikusok, és vegyészek rendkívül összetett kutatómunkájának, továbbá a félvezetők fizikai tulajdonságainak.

A mai LED-ek élettartama megfelelő üzemeltetés mellett 100 000 óra! Ez az érték sok esetben közelítő adat, mivel az első típusok gyártása óta nem telt el a bővebb adatok közléséhez elegendő idő. Ilyen a fehér LED, ami mindössze 5 éve jelent meg kereskedelmi forgalomban. A régebbi típusok gyakorlata alapján a kezdeti meghibásodás rendkívül alacsony százalékban fordul elő, az élettartam végén bizonyos átmeneti idő után csökken le a fényáram. Mindez nagymértékben függ a működtető áramkörtől.



3-27. ábra Az élettartam extrapolált menete Vishay LED esetén

A LED az egyéb nyitóirányban előfeszített diódához hasonlóan áramgenerátoros üzemben működik és ezáltal az idő előrehaladtával emelkedő munkaponti feszültség nem okoz hibát a működés során. Mint minden diódának, a LED-nek is árt a megengedettnél nagyobb záró irányú feszültség, ami ellen párhuzamosan kapcsolt Zener diódával védekeznek. A működés közben keletkező hő elvezetését mindenképpen meg kell oldani, különben az élettartam csökkenni fog. A sztatikus feltöltődés problémát jelent a félvezetők számára, a LED érzékeny az elektrosztatikus kisülésre, viszont rendkívül ellenálló mechanikai igénybevétellel szemben. Ütés és rázásállósága kiváló, a környezet páratartalma nem befolyásolja a működést.

Kapcsolóüzemű táplálás esetén a LED élettartama nem változik jelentősen. Ilyenkor a kellő fényerősséghez többszörös áram kapcsolható félvezetőre, és az impulzusok rövidege miatt az átlagos áram megfelelő beállítása esetén nem lépi túl a maximális értéket.

3.10. Alkalmazás

A kezdeti időszakban kijelzésre alkalmazott világító diódák a fejlődés következtében alkalmassá váltak világítási célok megvalósítására. Így már nem csak kijelzők, előlapok elemei a LED-ek, hanem a korszerű nagy fényerejű változatok akár díszvilágításra, sőt a közeljövőben már megvilágításra is alkalmazhatóak lesznek. Az elterjedést az ár szabja meg, ami a többi félvezető eszközhöz hasonlóan folyamatosan csökken.

Egyes változatok a korszerű jelzőlámpák, jelzőberendezések elemei, már hazánkban is működnek tengeren-túrol importált Lumiledből felépülő közlekedési jelzőlámpák. A közúti közlekedés számos más módon alkalmazza a LED-eket, ilyen a pót-féklámpa, illetve kerékpár helyzetjelző, vagy a vasúti fénysorompó berendezések lámpái.

A hosszú élettartama miatt, nehezen hozzáférhető helyen, taposólámpák fényforrásaként is alkalmazzák a LED-et. A LED működésének előnyös tulajdonságait használják ki robbanás-biztos lámpákban, mivel a fénykibocsátás nem jár intenzív hő-fejlődéssel, és ivképződéssel.

A LED alkalmazásának egy különleges módja az információtovábbítás. Korábban lézerekkel valósították meg a szabad térben terjedő fényre alapozott optikai adatátvitelt.

A mai fejlesztések egyike a különleges kialakítású Lumiled, mely infravörös tartományban üzemel, és olyan gyors működésű, hogy fénye akár 35MHz frekvenciával is modulálható.

3.11. Környezetvédelmi szempontok

Az LED gyártása zártláncú berendezésekkel történik, így emberi beavatkozás nélkül visszajutnak a fel nem használt anyagok a gyártási folyamat elejére. A nagy darabszámú előállításnak köszönhetően optimalizálható az anyagok felhasználása. Legnagyobb tömegben az újra felhasználható műanyag kerül vissza a gyártásba, amelyből a tok készül. A fém bevezető elektródák lágyvasból készülnek, míg a minimális méretű LED morzsa elem elhanyagolható méretű ötvözet.

A LED a gázkisüléses fényforrásokkal ellentétben nem tartalmaz higanyt, így nem jelent veszélyt a környezetére. Az élettartam adatok alapján anyag, és költségtakarékos megoldás LED-et alkalmazni jelzőfényként, a későbbiekben akár világítási célokra is.

Különböző LED típusok készülnek széles, illetve igen keskeny sugárzási szöggel, így az alkalmazási területnek megfelelően minimálisra csökkenthető a fényszennyezés az alkatrészek megfelelő irányba állításával. A fénykeltés fizikájából adódóan a LED minimális UV sugárzást bocsát ki, ezért nem károsítja az élő szervezetet, és az anyagokat.

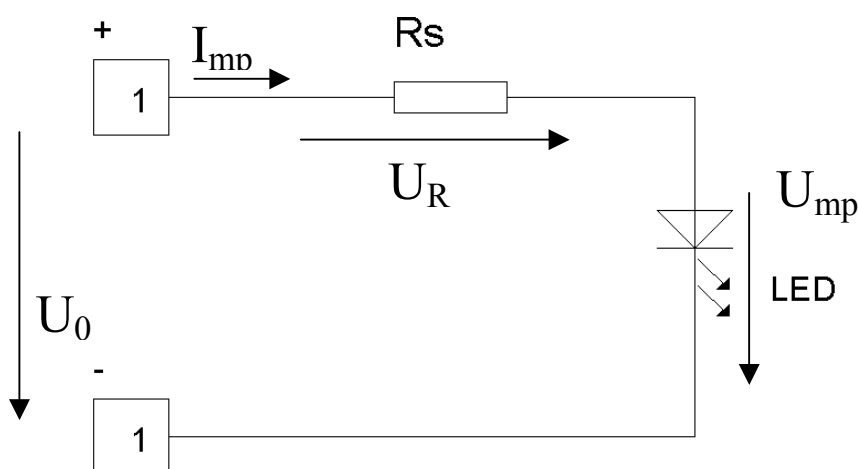
4. A LÁMPÁBA ÉPÍTETT LED

4.1. Kapcsolástechnika

A LED hagyományos diódként működik, nyitóirányban fényt bocsát ki, áramát külső elemmel korlátozzák. A soros ellenállás méretezése az Ohm törvény segítségével történik.

$$R_s = \frac{U_0 - U_{mp}}{I_{mp}}$$

ahol U_{mp} a LED nyitófeszültsége
 I_{mp} a munkaponti áram, tipikus értéke 20 mA
 U_0 a tápfeszültséget jelenti

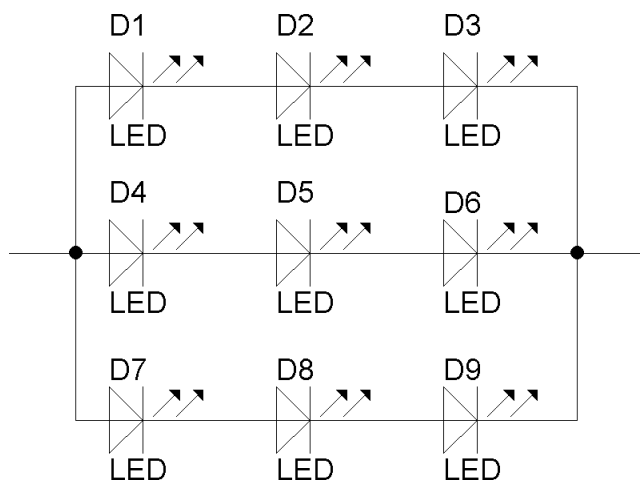


4-1. ábra Soros ellenállás méretezése

Több LED sorba kapcsolásakor azonos áram folyik minden elemen, viszont egyetlen LED meghibásodása esetén az összes többi is működésképtelenné válik. A szükséges feszültség a munkaponti feszültségek összege. A LED-ek gyártási szórása miatt viszont nem fognak egyformán világítani, gondos válogatásra van szükség az egyenletes fénykibocsátáshoz.

Párhuzamos kapcsolás esetén szintén gondot jelent a LED-ek különböző munkaponti feszültsége, mivel a bekötött példányok közül a legalacsonyabb feszültségű fogja meghatározni a többi LED munkapontját is. Ebben az esetben se fognak egyformán világítani a diódák.

Világítási célokra mégis nagy darabszámban kötik össze a LED-eket vegyes kapcsolásban. Néhány LED-et sorba kötünk, majd több soros csoportot párhuzamosan. Az így kialakított például 3 x 3-as mátrixból építkezhetünk, akár több száz beépített elemig. Egyetlen LED meghibásodása esetben egy hármas LED-csoport fénye fog kiesni, ami minimális áramnövekedést jelent, és minimális fényvesztést okoz az áramkör többi részére nézve.



4-2. ábra A LED lámpák tipikus alapkapsolása

4.2. A lámpa elektromos és fénytani követelményei

LED-es fényforrás készítésekor általában fényerősség értékre méretezünk. A speciálisan a Magyar Államvasutak részére készített, a vasúti átkelőkbe elhelyezett vörös, és fehér lámpák szabványban előírt fényerőssége tengelyben mérve 100 – 200 cd közötti érték, 30°-os szórásszög mellett. Mindez megfelel a Magyar Szabvány Közúti jelzések és úttartozékok előírásainak (MSz 20186/2-86), valamint a MÁV Fénysorompó követelményeinek (KPMSZ Kk108-73).

A cég célkitűzése a szabvány által előírt értéken belül 20°C hőmérsékleten 180 cd, további $\pm 15\%$ a gyártási szórás ingadozás megengedhető a névleges munkaponton.

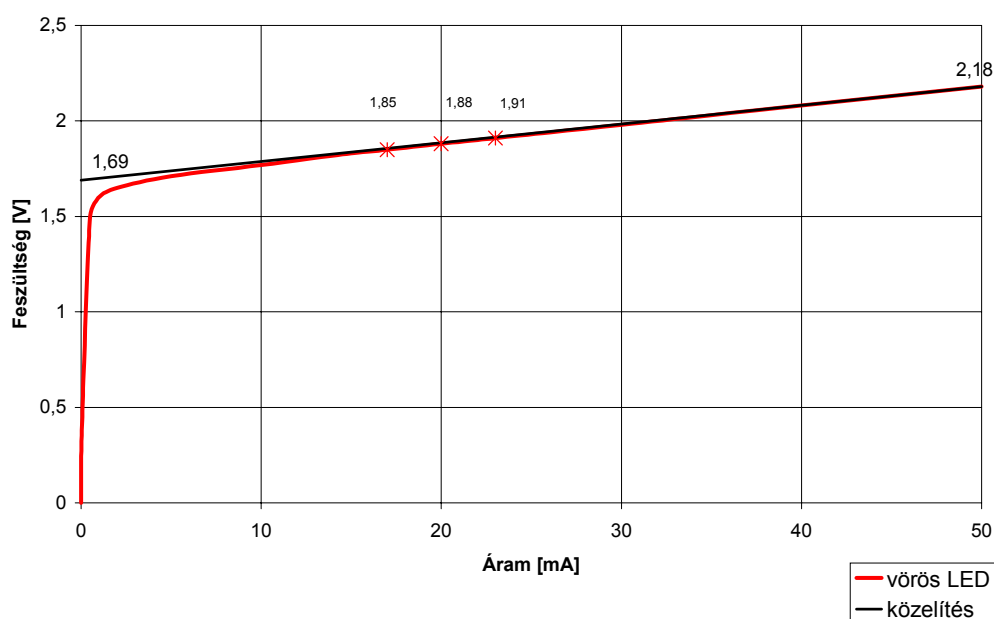
A táplálás egyenáramú 10,5V, 24V, illetve 35V. Különböző munkaponti feszültség miatt más kapcsolásban használatos a vörös, és fehér színű lámpa.

A vasúti fényjelzők követelményei nagyobb fényerősséget írnak elő, esetenként több száz cd-t. A szórásszög ennek megfelelően lehet 8°, 20°, 30°. További színek, a zöld, és a kék, amelyek a fehér lámpakapcsolás szerint működnek, valamint a sárga, amely piros fényjelző kapcsolásával egyezik meg.

4.3. LED mérés követelményei

4.3.1. Munkaponti feszültség követelménye

A mintegy 10 éve forgalomban lévő nagy fényerejű vörös, és sárga LED gyártása viszonylag kiforrott, ezért a nyitófeszültség eltérések 0,2 volt alatt maradnak. Ennek ellenére szükség van a válogatásra, mivel a ez eltérés már nem engedhető meg 1,9V munkapont esetén (10%). A gyártás során 2,5%-os feszültség lépcsőben kiválogatott LED-ek ($\pm 0,025V$) alkalmasak a lámpába építésre. Azért van szükség erre a pontosságra, mivel így folyik azonos áram a párhuzamosan kapcsolt LED csoportokon. A lámpa üzemeltetésekor $\pm 15\%$ ($\pm 3mA$) áramingadozás megengedett. A LED differenciális ellenállása, 10Ω körüli érték ebben a munkapontban.



4-3. ábra Vörös LED differenciális ellenállás változása $\pm 3mA$ hatására

A viszonylag új, kék, és fehér fénydiódák munkaponti feszültsége meglehetősen nagy szórást mutat. 3,5V névleges munkapont esetén 100db LED bemérésekor 2,9V és 3,8V közötti értékeket fogunk mérni. A 25%-os feszültség eltérés nem engedhető meg. Több, a névlegestől eltérő munkapontú LED sorba kötése csökkentheti az élettartamot, itt a gyártási tapasztalat alapján elegendő a $\pm 0,1V$ feszültség lépcsőben válogatni.

Minden darabos mérésre van szükség az összes LED típus esetén, a lámpa ideális élettartamának eléréséhez, és az előírt névleges áram, és feszültség tartásához.

4.3.2. Fényerősség követelmények

A tengelyben mért fényerősség a katalógusadatok között mintegy 50%-os pontossággal szerepel. A feszültség, és hőmérséklet hatásai bizonyos együtthatás esetén a szabvány által előírt érték túllépéséhez vezet, ezért szükséges a LED-ek fényerősség mérése. Osztályozás utáni fénydiódákból készített lámpa fényerőssége kiszámítható, a különböző LED-csoportok más szabványnak megfelelő lámpatípus alkatrészei lehetnek.

4.4. Kézi, hagyományos módszer

4.4.1. Hibás LED-ek

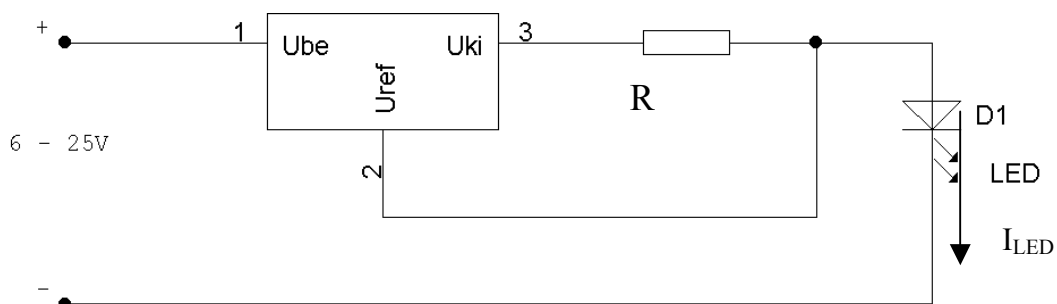
A LED-ek nagy fénytani, és villamos szórása ellenére a hibás alkatrészek száma alacsonyak mondható, tehát a gyártás végi ellenőrzés során sikerül kiszűrni az esetlegesen hibás darabokat.

Visszatekintve a gyártás kezdeti időszakára, az első 150.000 felhasznált vörös LED közül 4 volt gyári hibás, további 2 lámpába építve, próbajáratás alatt hibásodott meg. Az azóta felhasznált vörös LED-ek másik felében nem volt hibás darab!

A viszonylag újnak mondható kék, és fehér LED szériák, bizonyosan az új technológiák miatt rendszeresen tartalmaznak hibás elemeket. A felhasználás során mintegy 500 darabra jut egy, amely gyári hibás, vagy próbaégetés során kialszik. A meghibásodás nem mindig egyértelmű, az időnként felvillanó LED-ek belső kontakt hibákat rejthetnek.

4.4.2. Fénymérés

A mérés során érdemes az emberi szemre korrigált fénylemet alkalmazni. A LED tengelyét sablonnal irányítjuk a fénylemre, amely egy digitális multiméter segítségével, egy fényerősséggel arányos áramértéket mér. Az árnyékolásra ügyelni kell, bár a fénylem egy LED számára készített furaton keresztül kaphat sugárzást. A tápforrás 20mA névleges áramot állít be egy LM317 integrált áramkör segítségével.



4-4. ábra A LED áramgenerátoros üzemben

$$I_{LED} = \frac{1,25}{R}$$

$$R = \frac{1,25}{20mA} = 62,5\Omega$$

A fenti képlet segítségével kiszámítható, hogy 62,5Ω-os ellenállás esetén fog 20mA áram folyni az áramkörben. A megfelelően pontos méréshez ellenőrizni kell az ellenállás értéket műszerrel, szükség esetén pedig kipótolni a szabványsorból. A fénymérés relatív, egymáshoz képesti eredményt kapunk, ugyanis a válogatás során erre van lehetőség.

4.4.3. Feszültségmérés

A munkaponti feszültség mérése szintén a fenti áramkör segítségével történik, azzal a különbséggel, hogy a LED két kivezetésére feszültségmérő műszert kapcsolunk. Az osztályozás 0,1 V lépésközzel történik zöld, kék és fehér szín esetén ($U_{mp}=3,3-3,5V$), 0,05V lépésközzel a vörös, és sárga fényforrásoknál ($U_{mp}=1,85-1,95V$)

A feszültség, és fénymérés egyidejű végrehajtása technikailag megoldható, viszont az emberi hiba ebben az esetben túlságosan megnő.

5. AUTOMATA LED-VÁLOGATÓ

5.1. Az automata szükségessége (specifikáció)

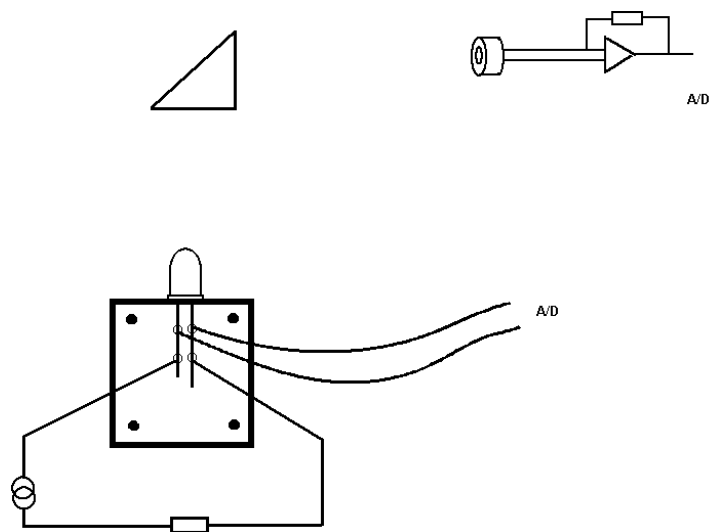
A lámpák gyártása során kialakított munkafolyamatok közül a LED-ek válogatása a leglassabb folyamat, főleg a külön végrehajtott fény, illetve feszültségmérés miatt. A megrendelések száma az évek során folyamatosan emelkedett, ezért mára egy ember folyamatos munkája szükséges a kellő számú, megfelelő paraméterekkel rendelkező alkatrész kiválasztásához. A mérési kapcsolás alkalmas arra, hogy két mérés egyidejű elvégzéséhez, viszont az 5 db feszültség, és az 5 db fény szerinti csoport már 25 rekeszt igényel a bemért alkatrészek számára. Mindez kézi módszerrel igen fárasztó, hibáktól sem mentes.

A megoldást egy gép jelenti, mely rezgőadagoló segítségével maga végzi a LED egyenként mérését, egyetlen befogással méri a fényerősséget és a munkaponti feszültséget, a kapott adatokat digitális úton továbbítja egy számítógép felé, amely visszakereshető formában tárolja azokat. Az automata fejlesztése lépcsőzetesen történik, később további funkciókkal lehet bővíteni az rendszert.

5.2. Az automata felépítése

Az egyik legfontosabb lépés a kézi módszerhez képest az, hogy egyetlen befogással történik mind a fény, mind a feszültségmérés, ezzel időt, és energiát megtakarítva. Az automata legfontosabb elemei:

- Adagoló (félautomata változatban kézi)
- Befogó
- Táp
- Fényelem
- Mérőműszer
- Adatfeldolgozó, és tároló (számítógép)
- Koordináta asztal



5-1. ábra Az automata elemeinek elrendezése

5.2.1. Adagolás

Jelenleg az automata kézi adagolású (félautomata), a munkafolyamat megkezdése a befogó nyitásával kezdődik, majd függőleges helyzetben kerül behelyezésre a LED. A kezelő személyt védeni kell sztatikus feltöltődé ellen, mivel a félvezetőt szabad kézzel megérintve igen nagy impulzus érheti őt. Rezgő adagoló alkalmazása előtt megoldást kell találni a LED-ek fénycsökkenése ellen, melyet az alkatrészek dörzsölődése, kopása okoz.

5.2.2. Befogó szerkezet

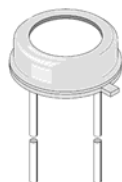
Az alkatrész lábait négy pontos kontaktussal fogja be az automata, arany érintkezőkkel biztosítva az optimális csatlakozást. Az egyik tűpáron az árambevezetést történik, a másik páron a mérendő feszültség értékének elemzése történik.

5.2.3. A LED áramellátása

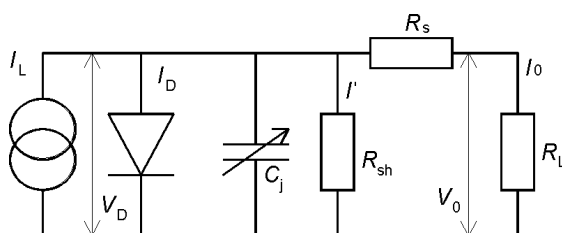
A befogást követően az egyik érintkező-páron keresztül az automata megvizsgálja a behelyezett LED polaritását, csak ezután kapcsolja rá a LED-re a 20mA tápellátást. A négy pontos megfogásnak köszönhetően a kontaktus ellenállása kiesik, ezzel csökkentve a hibaarányt.

5.2.4. Fényérzékelő

Az alkalmazott szilícium fényelem, BPW21R szemre korrigált, CIE előírásoknak megfelel. [7] Árnyékolásra egy fémhenger szolgál, amelybe az érzékelő rögzítve van. A kivezetéseit egy árammérővel rövidre zárva relatív fényerősségmérést végezhetünk. Ilyenkor $100 \div 300 \mu\text{A}$ közötti értéket mérhetünk, amely közelítőleg $1 \div 3$ cd fényerősségnek felel meg. A cső másik oldala egy gumilappal van lezárva, melyen egy LED átmérőjének megfelelően 5 mm átmérőjű furat található. A különböző típusok méretei eltérnek egymástól, de ez csak néhány tized mm.

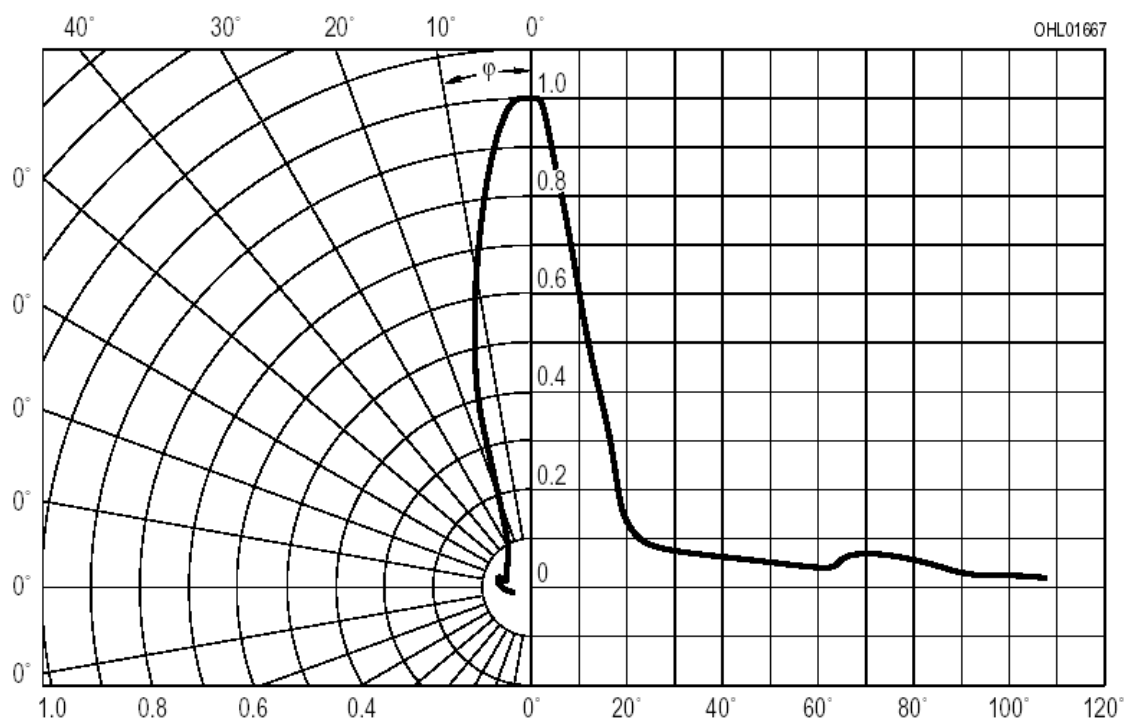


5-2. ábra BPW21R szilícium fényelem TO-5 tokozással



5-3. ábra A fényelem helyettesítő képe

A lyukba helyezett LED fénye a fényelemre irányul, az árammérőn pedig a fényerősséget olvashatjuk le. Az érzékelő morzsa elem $7,5\text{mm}^2$, így kellő közelségbe helyezve a LED-et (5mm) a mérés eredményeként nem csak a tengelyben mért relatív fényerősséget kapjuk, hanem szűk sugárzási szög alatt kibocsátott fényáramot. A LED által kibocsátott fény $15\text{-}20^\circ$ közötti tartománya kerül hasznosításra. Ez a lámpakészítés technológiájából adódik, ugyanis a műgyantás kiöntés az e fölött kibocsátott úgynevezett LED „szoknya” fényét már nem engedi ki a lámpából. A katalógusadatok között szereplő fényáram adatok a lejes térszögben kibocsátott fényáramot közlik, de alkalmazási területnek megfelelően csak a keskeny szögben sugárzó alkatrészekre van szükség.

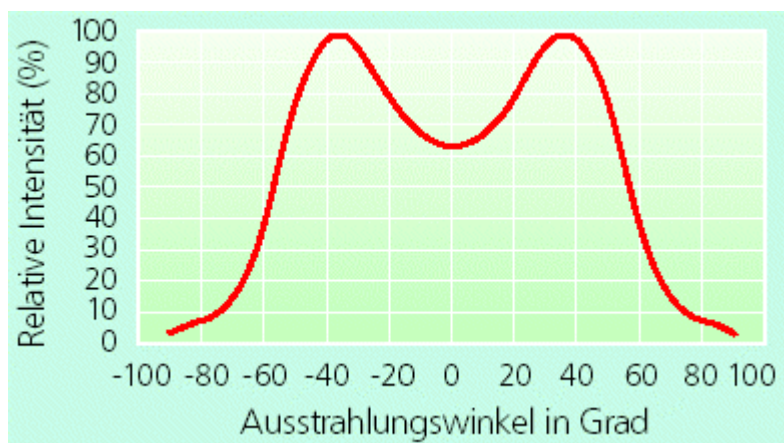


5-4. ábra LED 20° sugárzási szöggel, és “szoknyával”

A kézi mérés tehát alkalmas a nem megfelelő fényeloszlás kiszűrésére, mivel ilyenkor a fénylemre eső fény kevesebb, így a műszer kevesebb áramot mér, a LED pedig a kis fényerejű csoportba kerül, és nem kerül bele lámpába.

Egy másik fényeloszlással kapcsolatos probléma, ha a LED tengelyében kisebb a fényerő, mint a 10-15°-os tartományban, ezt nevezik „lyukas” LED-nek. Ilyenkor a lencseként funkcionáló tokozás kerül rossz helyre, vagy a fényt kibocsátó morzsa elem tengelye csúszik el. A kézi mérés során az ilyen hibás alkatrészek alacsony fényerejűnek bizonyulnak, így kiszűrhetők.

A gépi mérés, automatizálás során a pozicionálás hibája hasonló jelenséget produkál. A befogó szerkezet ezért először kézi adagolású, a gépi megfogás későbbi fejlesztés eredménye lesz.



5-5. ábra Úgynevezett “lyukas” LED

Minden mérés megkezdése előtt nullkompenzálás történik, az viszont szükséges a fénylelem és a világító LED körül árnyékolás. A kalibrálást az Országos Mérésügyi Hivatal által bemért LED segítségével végezzük, így a rendszer alkalmassá válik relatív fényerősség mérésre. A tengelyben mért fényerősség adatok feszültségmérésre visszavezetve alkalmasak számítógépes feldolgozásra.

5.2.5. Feszültségmérés

Az egyik érintkezőpáron keresztül 20 mA tápáramot kap a LED, ezáltal munkaponti feszültségre áll be. A másik érintkezőpár a feszültségmérést szolgálja, mV pontossággal méri a berendezés a 2V körüli munkaponti feszültséget. A 12 bit-es A/D átalakító segítségével a számítógép rögzíti a mért adatokat, és egy program segítségével rögtön megtörténik a kiértékelés. A kapott értékek alapján szintén a számítógép dönti el a LED helyét a koordinátaasztalon.

5.2.6. Korrekciók

A mérés során mindvégig figyelemmel kell kísérni a hőmérsékletet, a számítógép folyamatosan 20°C-ra korrigálja a fényt, és a feszültséget.

Minden mérés előtt a fénylelemmel próbamérés történik, a háttérsugárzás értéke később kivonásra kerül a mért fényerősség értékekből.

A feszültségmérés előtt az A/D konverter kompenzálása is megtörténik.

5.3. Az automata vezérlése

A mérőrendszer működése számítógéppel vezérelt, irányításra, és adatfeldolgozásra szolgál. A csatolás ISA busz-on keresztül történik, mely áramgenerátor, tápegység, A/D, D/A átalakító, és adatgyűjtő kártya egyben. A LED-ek lehelyezésére koordinátaasztal szolgál, a hajtás és léptető motor Berger-Laar gyártmány, vezérlése Centronix porton keresztül történik 8 biten. A kialakított csoportok száma a fény, és a feszültség szerinti válogatás alapján alakul ki, például 5-5 csoport esetén 25 különböző rekeszbe kerülnek a LED-ek.

5.4. A fejlesztés lehetőségei

Az automata funkciói a későbbiekben tovább bővíthetők. A jelenlegi alkatrészek úgy készültek, hogy a mérés újabb szempontok szerint is elvégezhető legyen. Ilyen a fényerősség mérés felváltása fényeloszlás mérésre, amely a kivetített LED-kép alapján történik fényképezéssel. Ezzel a módszerrel a relatív fényerősségmérésen kívül mód nyílik színmérésre, és fényeloszlás meghatározásra akár minden alkatrészen. Az eltárolt adatok alapján előre meghatározhatóak a lemért alkatrészekből felépített lámpa fénytani, és villamos paraméterei.

5.5. Minőségbiztosítás a cégen belül

Jelenleg a Percept kft gyártmányainak legfőbb felhasználója a MÁV Rt., aki megköveteli beszállítóitól az ISO rendszernek megfelelő tanúsítást. Ezért a jelenleg is folyik a cég minőségellenőrzési rendszerének kiépítése. A gyártáson kívül a fejlesztés a cég profilja, így 9001:2002 tanúsítás az évégre várható. Az előállított termékekről így hivatalos műbizonylat állítható ki.

Fontos szempont az idegenáru ellenőrzése, többek között azért van szükség a LED-mérő automatára is. Mivel a távol-keleti beszállítók saját minőségellenőrzési rendszere nem ismert, a gyártás előtt minden darabos ellenőrzésre van szükség. A katalógusokban szereplő adatok igen nagy szórást engednek meg, a gyártmányok ennek ellenére a Magyar, és az Európai szabványoknak, és előírásoknak kell, hogy megfeleljenek.

6. MÉRÉSI SOROZAT

6.1. A kézi módszer alkalmazása

Munkám során LED-ek mérését kézzel végeztem, amelyeket a lámpák gyártása során később fel is használtak. Az automata hangolásakor a korábbi mérések alapján következtetni tudtam a válogatás eredményére. A feljegyzett adatok alapján összehasonlítható a kézi, és gépi mérés hatékonysága, előnyei, hátrányai.

6.1.1. Fénymérés eredménye a kézi módszerrel

A LED-ek fénymérése során három csoportot alakítottam ki a különböző lámpatípusokhoz szükséges alkatrészekből. További két rekesz szolgál az erősebben, és gyengébben emittáló fényforrások gyűjtésére. A tapasztalat azt mutatja, hogy a vörös LED-ek gyártása kiforrott, hibás példány 100.000 darab mérése során általában csak egy esetben fordulhat elő. Ezzel szemben a legújabb fehér LED-ek egyes szériái igen nagy százalékban tartalmaznak hibás alkatrészeket, előfordult, hogy már 500 alkatrésze esik egy hibás példány.

A fénylelem gyors működésű, az árammérő mérőműszer utolsó számjegyei több másodperc alatt állnak be. A leolvasást megfelelő ritmust tartva, a LED-mérés megkezdése után ugyanarra a pillanatra kell időzíteni.

6.1.2. Feszültségmérés kézi módszerrel

A LED-en a tápáram bekapcsolását követően a munkaponti feszültség gyorsan beáll. A műszeren a feszültségérték utolsó számjegye kismértékben mégis nő az idő múlásával, ezért a kezdeti értéket kell leolvasni. Amennyiben minden alkatrész feszültségértékét a bekapcsolás utáni azonos időben olvassuk le, helyes arányban fog megtörténni a relatív válogatás.

A válogatás vörös LED esetén 0,05 V-os felosztásban történik, ilyenkor 3 csoportba kerül a fénydiódák legnagyobb része, mivel a 1,9 V körüli munkapont viszonylagosan helyes. A fehér LED viszont rendkívül eltérő feszültségeket produkál,

így a névleges 3,5 V-os feszültség mellett, egy szérián belül találhatunk 3 V alatti, és 4 volt fölötti nyitófeszültségű alkatrészt is. Ezek szétválogatása kézi módszerrel szintén 0,1 V-os lépésközzel történik.

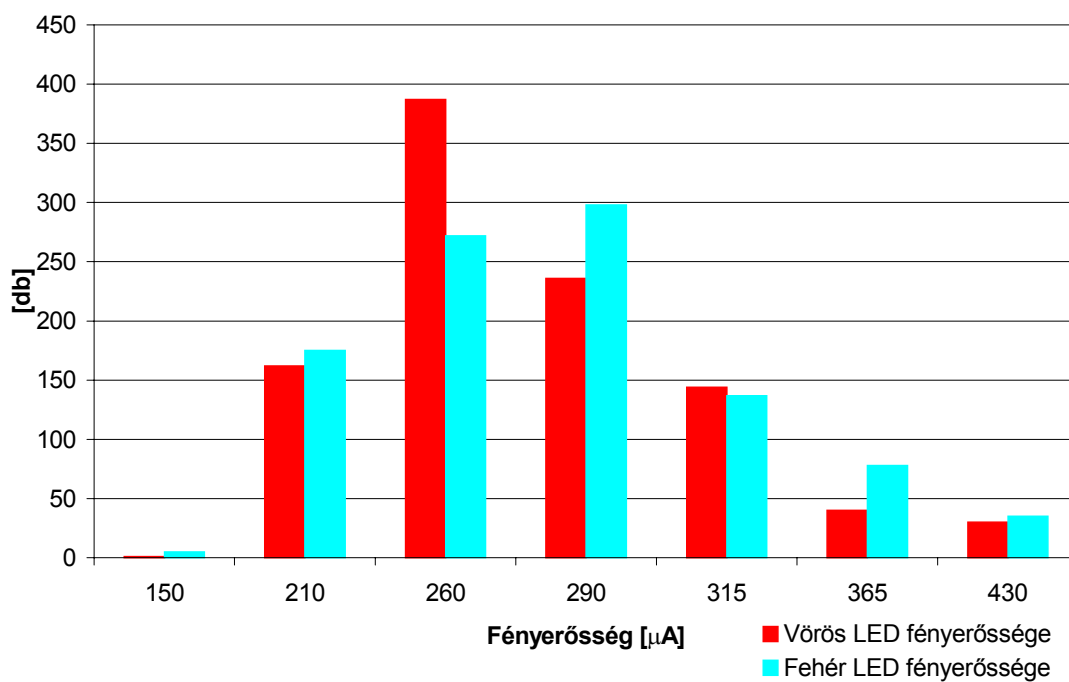
6.2. Gépi mérés

Vörös LED									
feszültség [V]		[db]	középrtek [V]	átlag [V]	fény [μA]		[db]	középrtek [μA]	átlag [μA]
1,75	1,8	4	1,775	7,1	120	180	1	150	1000
1,8	1,85	31	1,825	56,575	180	240	162	210	34020
1,85	1,9	295	1,875	553,125	240	280	387	260	100620
1,9	1,95	416	1,925	800,8	280	300	236	290	68440
1,95	2	168	1,975	331,8	300	330	144	315	45360
2	2,05	61	2,025	123,525	330	400	40	365	14600
2,05	2,1	18	2,075	37,35	400	460	30	430	12900
2,1	2,15	7	2,125	14,875					
1000				1,93	1000				277

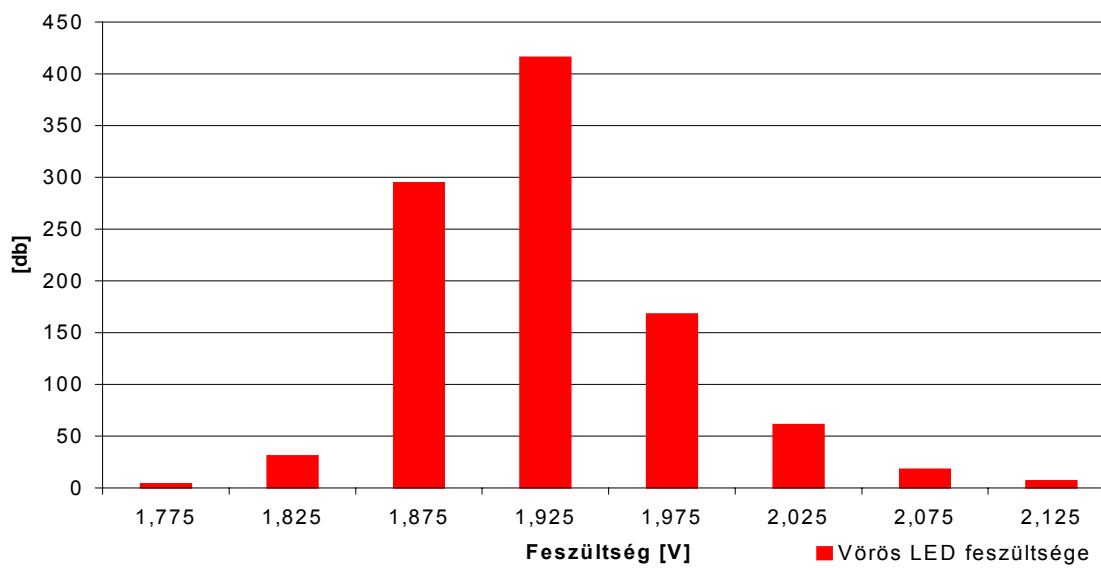
Fehér LED									
feszültség [V]		[db]	középrtek [V]	átlag [V]	fény [μA]		[db]	középrtek [μA]	átlag [μA]
2,9	3	12	2,95	35,4	120	180	5	150	0,75
3	3,1	86	3,05	262,3	180	240	175	210	36,75
3,1	3,2	173	3,15	544,95	240	280	272	260	70,72
3,2	3,3	217	3,25	705,25	280	300	298	290	86,42
3,3	3,4	202	3,35	676,7	300	330	137	315	43,155
3,4	3,5	175	3,45	603,75	330	400	78	365	28,47
3,5	3,6	91	3,55	323,05	400	460	35	430	15,05
3,6	3,7	40	3,65	146					
3,7	3,8	4	3,75	15					
1000				3,3124	1000				281

6-1. ábra LED-ek ellenőrző mérése

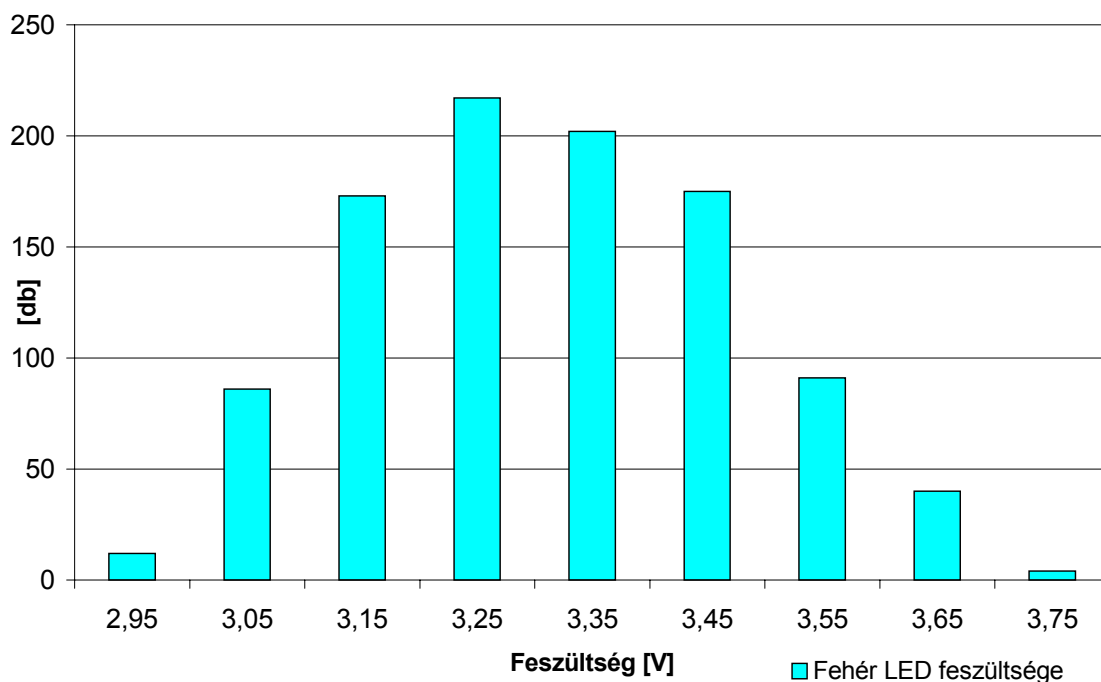
A félautomata módszer a kézi módszerrel azonos ideig tart, viszont a két mérés egyszerre történik, így nincs szükség több befogásra. A koordináta asztal beüzemelésre hamarosan megtörténik, így az osztályozás szintén gépi úton történik majd. A rezgőadagoló segítségével az automata önálló működése felügyeletet igényel majd.



6-2. ábra A vörös, és fehér LED-ek fényerősség eloszlása



6-3. ábra A vörös LED-ek feszültség eloszlása



6-4. ábra A fehér LED-ek feszültség eloszlása

6.3. A mérések értékelése

A mérések során a feszültség értékek nagy pontossággal meghatározhatók, a fénymérés eredményei viszont gyakran módosulnak a befogástól függően. A jelenlegi technikák kielégítik követelményeket, a mérési pontosság megfelelő, a lámpákba épített LED-eknél.

A közeljövőben a LED gyártók csökkenteni fogják a gyártmányok közötti különbséget, de mivel nem minden felhasználónak van szüksége a fent leírt mérési pontosságra, továbbra is szükség lesz a válogatásra.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A szakdolgozat képet ad a különböző LED-ek tulajdonságairól, és alkalmazási területeiről. Feladatom a fénytani, és villamos paraméterek vizsgálata, és lámpába építés feltételeinek értékelése volt, egy mérőautomata segítségével.

Bemutattam a LED-et, mely optoelektronikai alkatrészként funkcionál, és egyre több alkalmazási területen váltja fel a hagyományos fényforrásokat. Rövid történeti áttekintés után, a LED működését elemeztem, majd más fényforrásokkal hasonlítottam össze a fényhasznosítás fejlődését. Ábrák segítségével a LED fénytani, és színtani tulajdonságait elemeztem, valamint ismertettem egy táblázatos számítási módszert a fényáram kiszámítására, fényerősségtérből. Foglalkoztam a LED-ek villamos paramétereivel, az előre látható élettartamával, és a környezeti hatásaival. Közben többször kitértem a LED-ek folyamatos fejlődésére, és az egyre újabb gyártási technológiákra, azok előnyeire, és hátrányaira.

A következő fejezetben a LED-ek áramköri alkalmazását mutattam be, megvizsgáltam a viselkedését egyénileg, és lámpába építve. A fénytani, és villamos követelmények ismertetésével meghatároztam az alkalmazás feltételeit.

Elemeztem az automata mérés szükségességét, és a mérés szempontjait. Bemutattam az automata részeit, és működését, valamint a továbbfejlesztés lehetőségeit, és kitértem a minőségbiztosítás szerepére is.

Az utolsó fejezetben egy valódi mérés eredményeit ismertettem, és elemeztem a kézi, és gépi mérés adatait.

Mindennapjainkban gyakran találkozunk LED-ekkel, viszont a közeljövőben egészen új alkalmazási területeken fogja bizonyítani sokoldalúságát. Már ma is különböző LED típusok állnak a lámpafejlesztők rendelkezésére, amelyek fényjelzések és világítási célokra egyaránt megfelelnek.

8. ZUSAMMENFASSUNG

Meine Diplomarbeit darstellte die verschiedene LED- Arten, ihre Eigenschaften und Anwendungsgebiet. Meine Aufgabe war die Analyse deren lichttechnische und elektrische Parameters und die Bedingung zu Installation in einer Lampe durch einen Messenautomat.

Ich beschrieb das LED, die als optoelektronische Teil funktioniert. Die LED benutzen heute immer mehr, anstatt der konventionellen Lichtquellen.

Nach der kurzen geschichtlichen Durchsicht, analysierte ich den Betrieb der LED.

In dem nächsten Abschnitt untersuchte ich das Betragen der LED allein und in einer Lampe installierte. Ich definierte die Bedingung der Anwerbung.

Ich darstellte die Teilen der Automat und die Möglichkeit denen Fortentwicklung.

In dem letzten Abschnitt beschrieb ich eine Messung und analysierte die Ergebnisse.

Heutzutage treffen wir uns oft mit den LED, aber in der Zukunft wird ihm immer mehr neuen Anwendungsgebieten. Heute vorliegt schon auch verschiedene LED-Arten für die Lampenentwicklern, die als die Leuchtsignalen und als die Leuchtanlage ebenso entsprechend.

9. IRODALOMJEGYZÉK

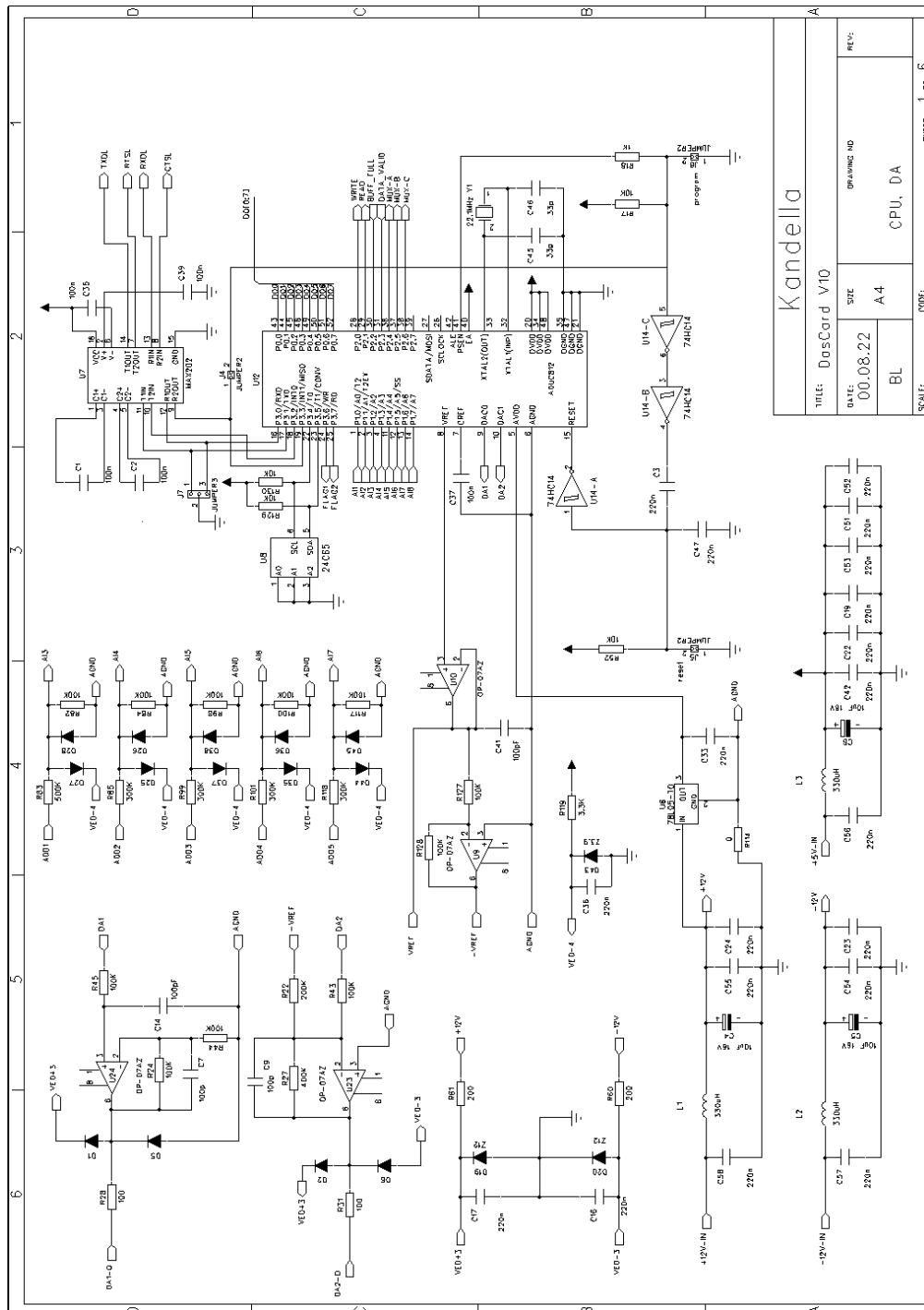
1. Világítódioda lámpatestek fejlesztése II; Kutatói jelentés; ELTE TTK Szilárdtestfizika tanszék 2003
2. dr. Madarász László, Rádiótechnika évkönyve 2003, 30 éves a LED; 96. old.
3. http://www.vishay.com/docs/led_physics.pdf
4. www.knt.vein.hu/Tantargyak/BevVizEsz/ppt-filek/LED1.ppt Képfeldolgozás, és neuronszámítógépek tanszék; Veszprém
5. Arató András; Világítástechnika;
www.mek.iif.hu/porta/szint/termesz/fizika/vilagit/vilagit.zip\viltech-2.pdf
6. Schanda János; Veszprémi egyetem; Spektrális láthatósági függvények alkalmazási területei http://www.knt.vein.hu/veab/1_felolv/1f_Schanda.pdf
7. Silicon PN Photodiode; BPW21R; Vishay Semiconductors;
<http://www.vishay.com/docs/81519/81519.pd>
8. Osram
<http://www.osram.convergy.de/upload/documents/2003/03/26/17/27/LW%20541C.pdf>
9. I. N. Bronstejn, Matematikai kézikönyv 1053 old.
10. Poppe Kornélné; Világítástechnikai eszközök és rendszerek, 31 old.
11. <http://www.knt.vein.hu/Tantargyak/BevVizEsz/JEGYZET/JEGYZET7Fenyforrasok.DOC>
12. <http://www.knt.vein.hu/Tantargyak/Szinmeres/New6-end.doc>
13. <http://www.knt.vein.hu/Tantargyak/BevVizEsz/ppt-filek/LED2.ppt>
14. <http://www.knt.vein.hu/Tantargyak/Szinmeres/4cie%20szin1a.ppt>
15. www.percept.hu

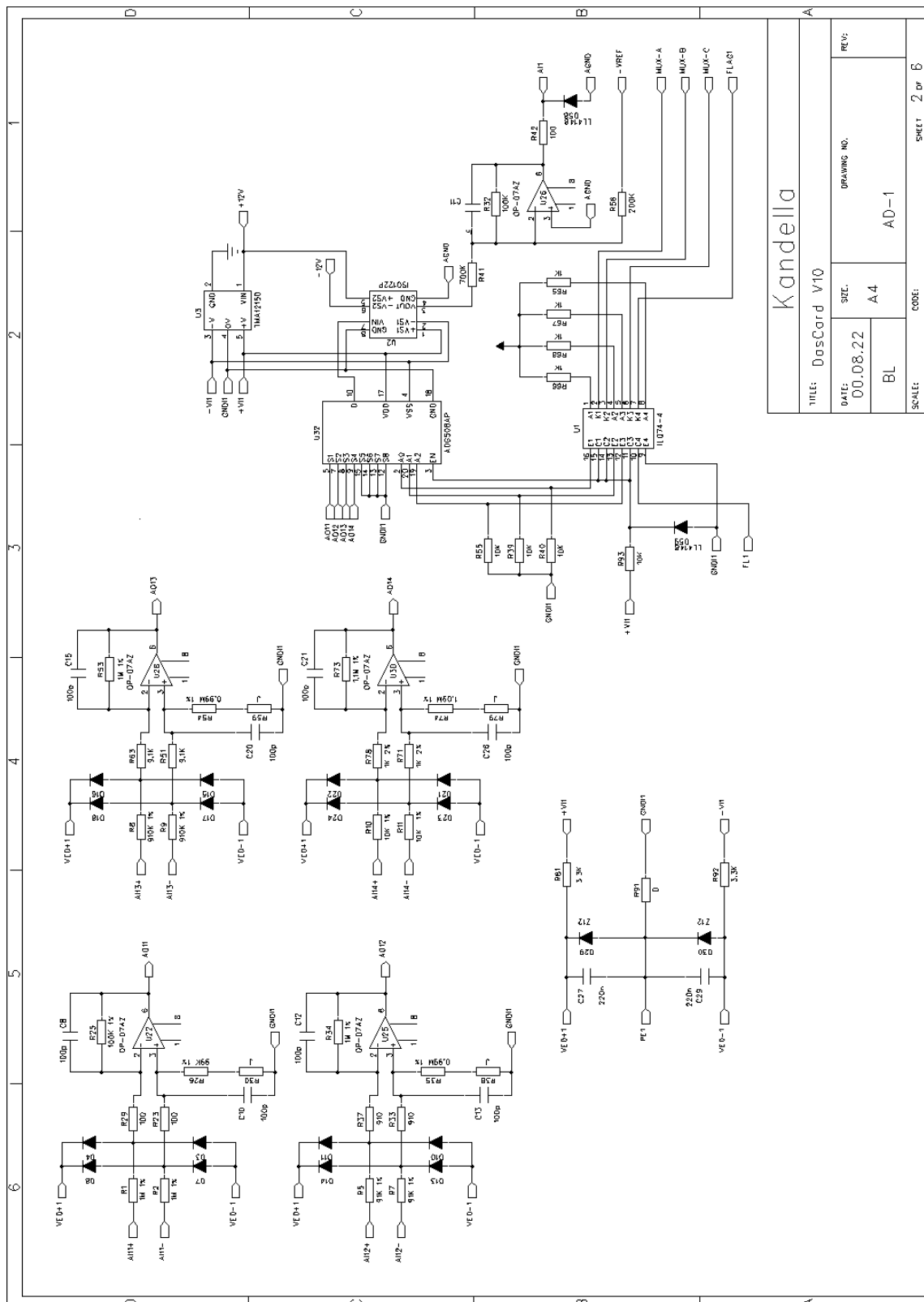
10.KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezútonék köszönetet mondani dr. Szentiday Klára tanárnőnek a hasznos tanácsokért, valamint Vass Lászlónak, a Percept Kft ügyvezetőjének, aki megbízott a szakdolgozatban szereplő automata elemzésével, és támogatott munkám során.

11. MELLÉKLETEK

11.1. Dascard adatgyűjtő kártya kapcsolási rajza





Kandella

TITLE: DasCard v10

DATE: 00.08.22

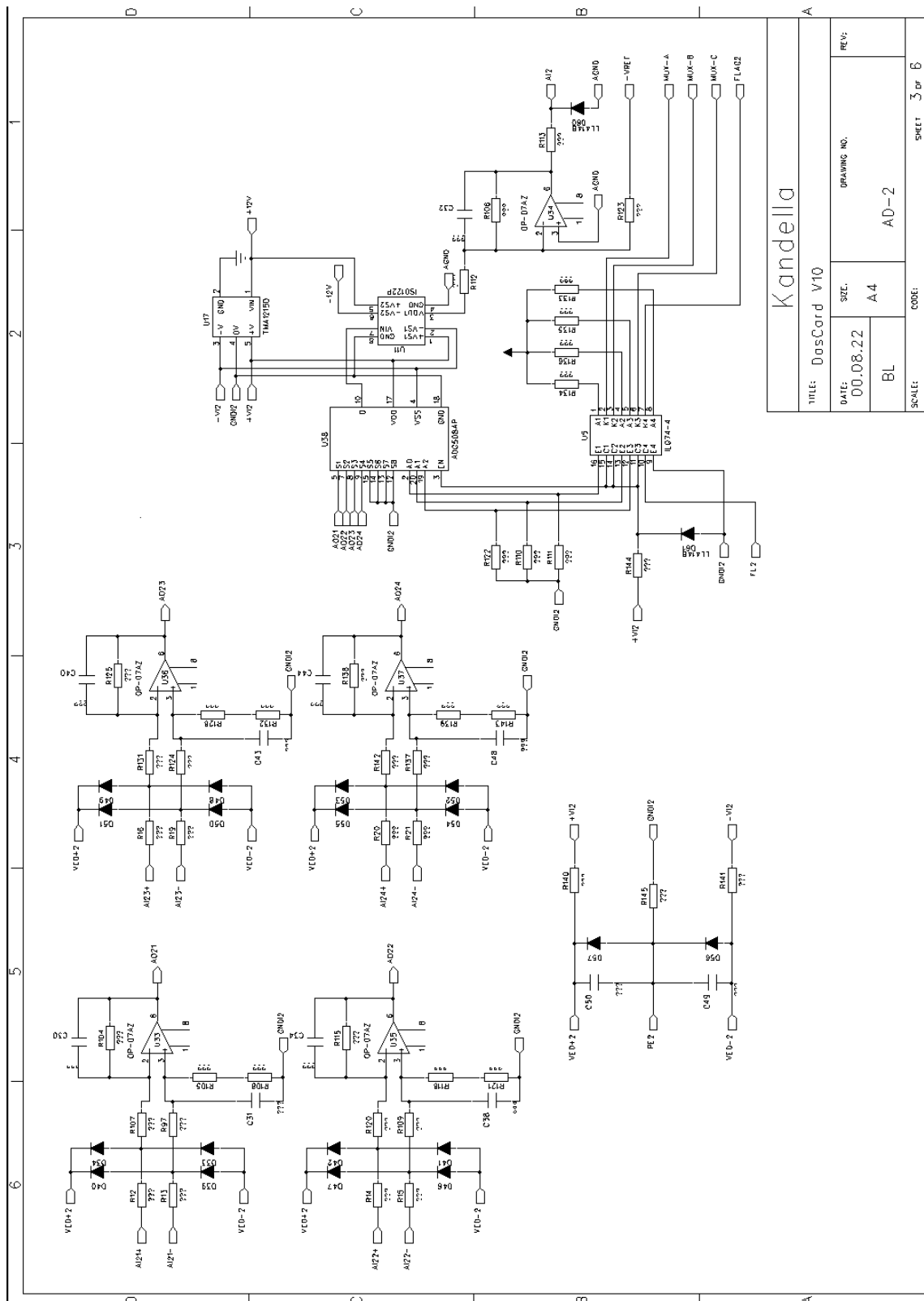
SIZE: A4

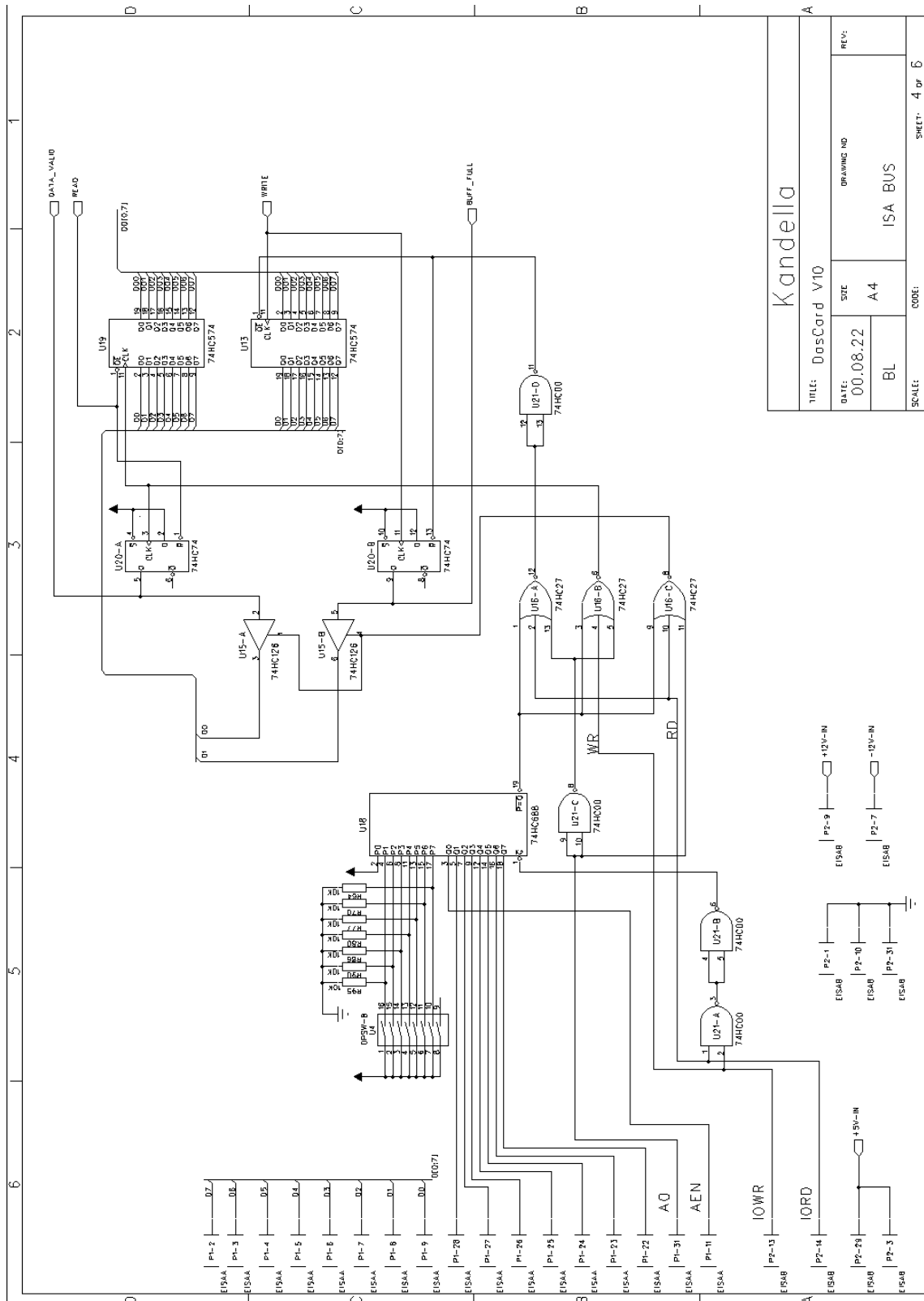
BL

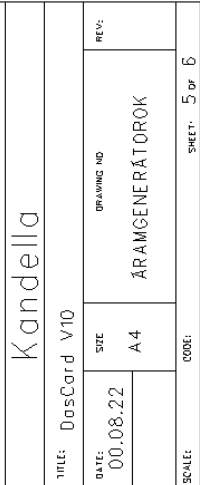
CODE: AD-1

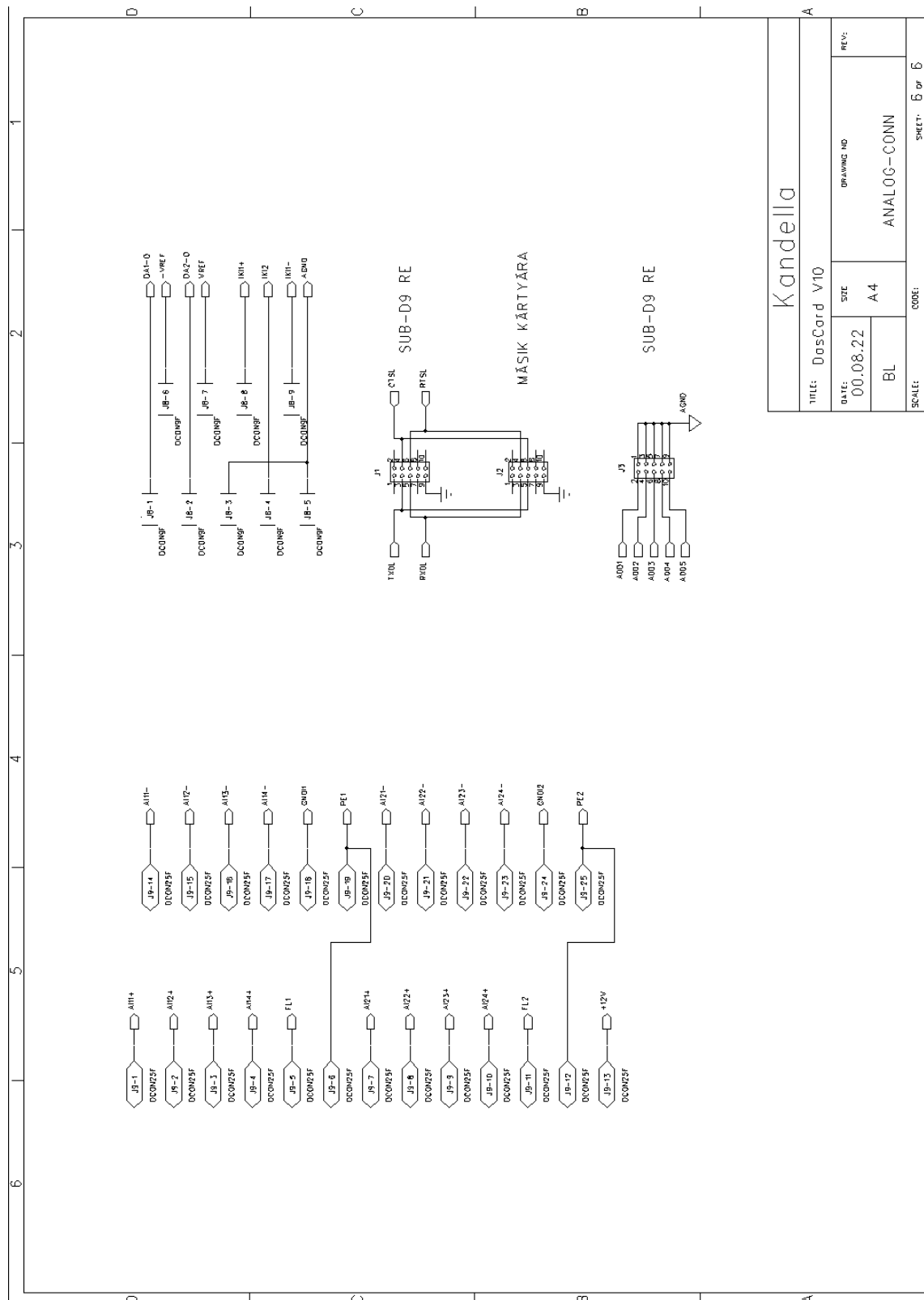
SCALE: 2 of 8

SHEET 2 of 8

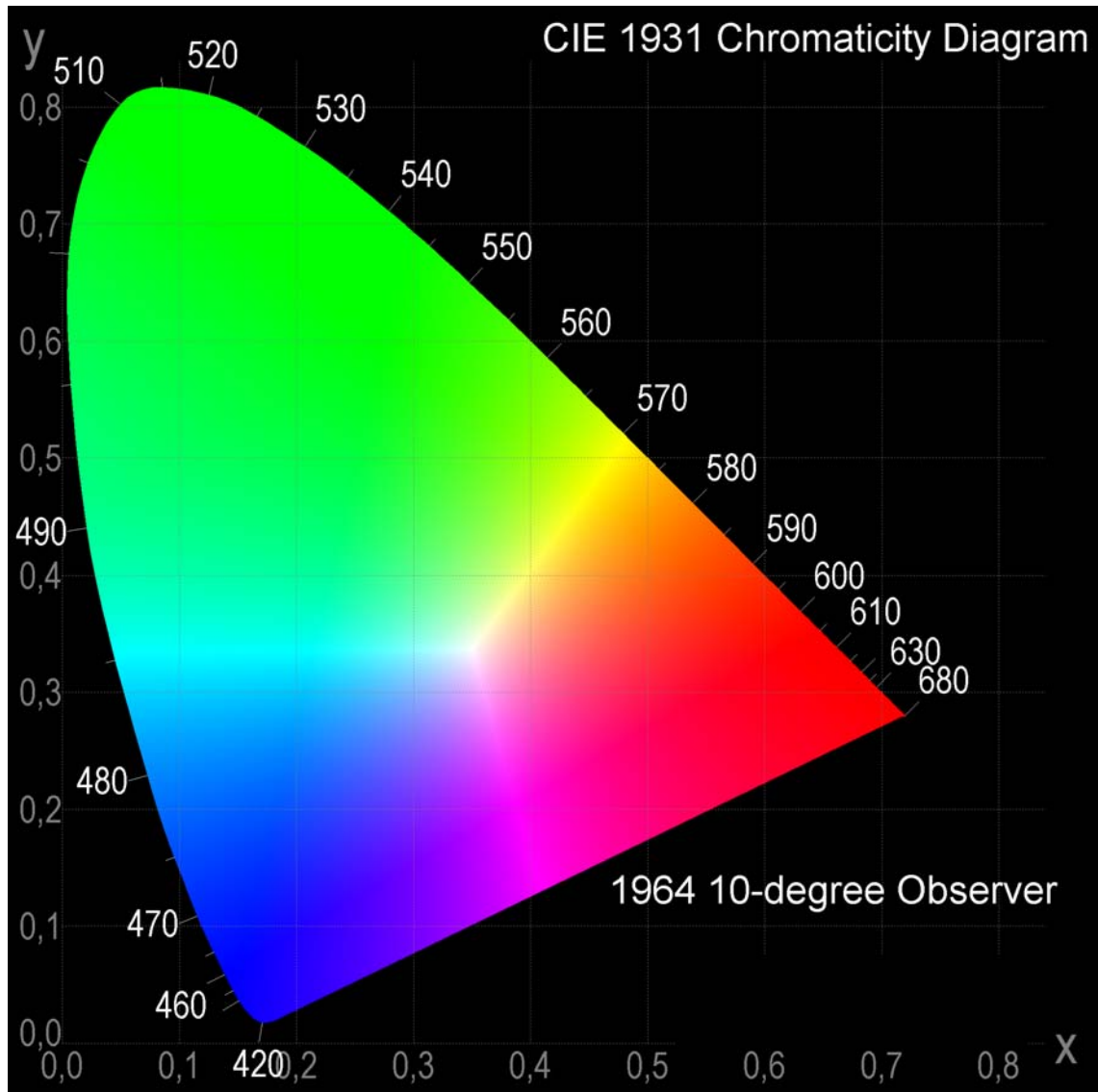


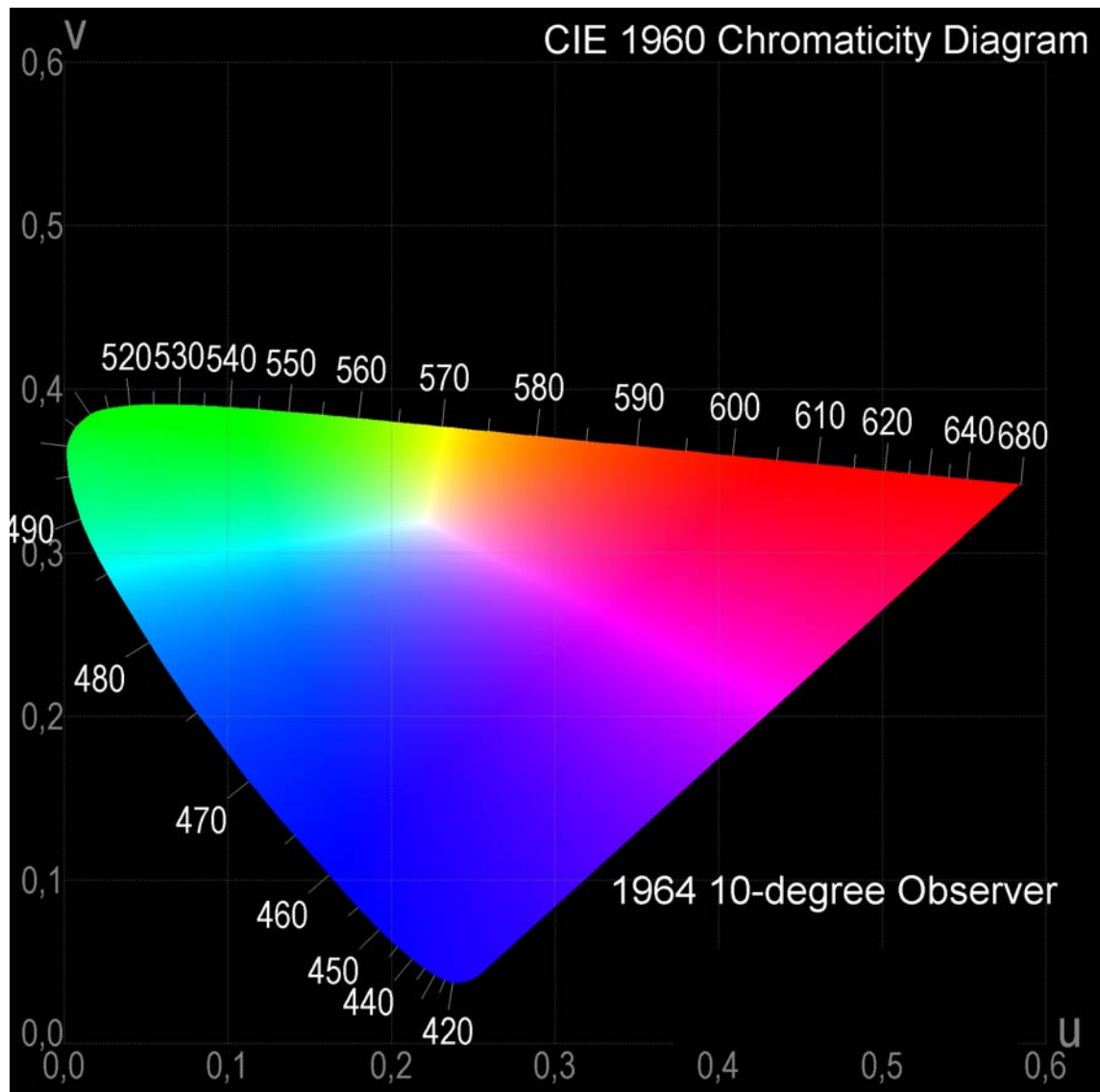


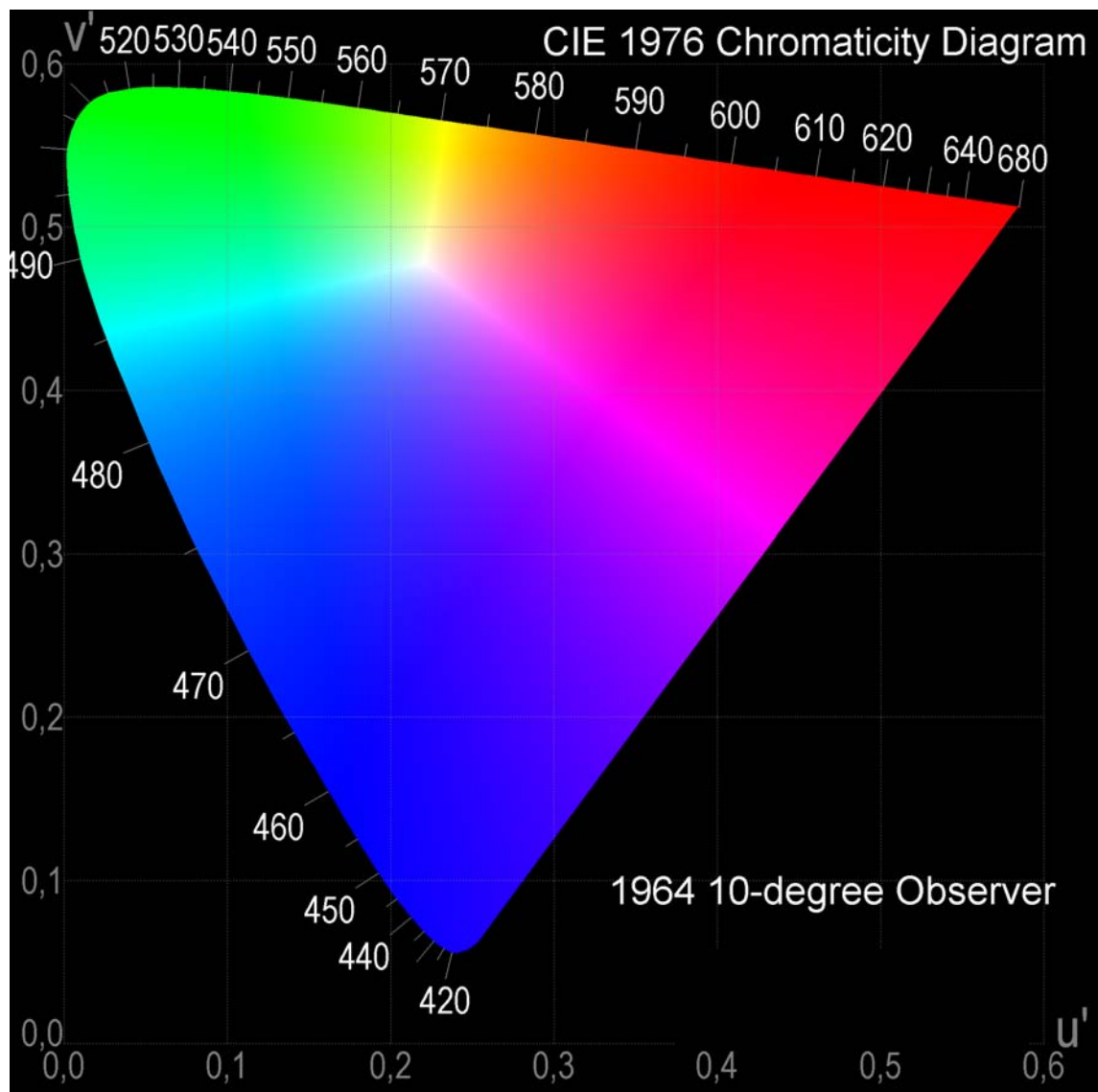




11.2. CIE Színdiagramok







11.3. LED-es lámpák működés közben







