

A LED-szelekciók fizikai alapjai – fénytechnikai alapfogalmak és a binning

A fotometria a fény, mint az emberi szem által érzékelhető spektrumú elektromágneses hullám jellemzőinek mérésére alkalmazott tudomány. Az emberi szem olyan érzékszerv, mely eltérően reagál különböző hullámhosszakra, és erősen szubjektív módon érzékel különböző embereknél. Ahhoz, hogy az alkalmazott méréstechnikai eljárások számára egységes fotometriai szabályrendszer legyen biztosítható, nemzetközi szabványokban foglalták össze a mérési eljárásokat. A fotometria alkalmazása tulajdonképpen a receptorok hullámhossztól függő, eltérő érzékenységét hivatott kiküszöbölni.

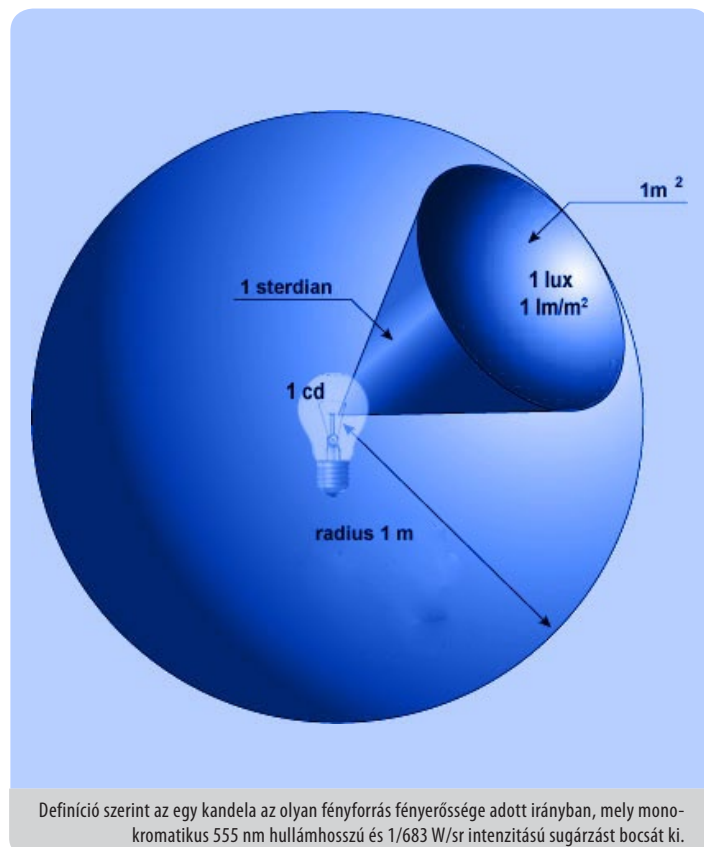


A fenti szabványok nemzetközi megegyezések szerint kétféle fénymérési eljárást írnak elő, az úgynevezett $V(\lambda)$ és a $V'(\lambda)$ láthatósági függvény szerinti mérést, melyek az ún. láthatósági tényező spektrális eloszlását reprezentálják. Előbbi az emberi szem normál napközbeni fényviszonyokhoz adaptálódott fotopikus, utóbbi az alacsony megvilágításhoz tartozó szkotopikus látásra vonatkozó relatív érzékelést írja le. A két véglet között a közepes megvilágításra (alkonyat) a mezopikus fotometria eljárásrendszere biztosít átmenetet. Az alkalmazandó fényérzékelőknek a fenti körülményekhez adaptálódott emberi szemhez hasonló érzékenységgel kell rendelkezni, így $V(\lambda)$ és a $V'(\lambda)$ fotometriai szenzorokat kell használni.

Fotometriai mértékegységek

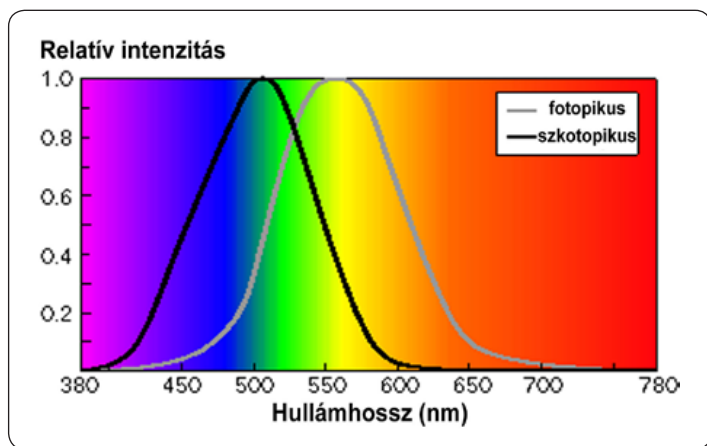
A LED-gyártók és a lámpatestgyártók katalógusaiban különböző mértékegységekkel találkozunk a fényerősség jellemzésére, nem mindig egyszerű eldönteni, hogy mi jellemzi magát a fényforrást, és mit jelent ez a fényerősség a gyakorlatban, a megvilágítani szándékozott objektum számára. Nehéz csak az alapadatokat figyelembevételel eldönteni, hogy a meglévő fénytechnika kiváltható-e azzal a LED-alapú megoldással, amit éppen adatlap szinten vizsgálunk. Ez a feladat nagyon összetett, és alapvetően szükséges hozzá a különböző fotometriai mértékegységek ismerete.

A fényintenzitás (fényerősség – luminous intensity) egy fényforrás adott irányban és szögben kibocsátott fénykibocsátásának a mértéke, SI mértékegysége a kandela (cd). Definíciója azonban csak egy adott hullámhosszra és adott sugárzási intenzitásra érvényes, mert az emberi szem ugyanolyan intenzitású, de eltérő frekvenciájú sugárzásra különböző mértékben reagál, legérzékenyebb sárga-zöld tartományban az 555 nm körüli hullámhosszon, ami az emberi fotopikus látás érzékelési maximuma közelébe esik.



Az egy steradian az a térszög (kúp), mely sugárzási szöggel egy 1 méter sugarú gömb közepében elhelyezkedő, egyenletesen világító fényforrás a gömb belső héjának pontosan 1 négyzetméternyi területét világítja meg (lásd ábra).

Ha a fényforrás pontszerű, és annak sugárzási szöge is kicsi, akkor kis energiájú kibocsátás esetén is erős fényt érzékelünk, tehát a látszólagos fénykibocsátást meg kell különböztetnünk a forrásra jellemző fényerősség terület-egységre eső hányadától, melyet a kandela/m² mértékegység ír le, és elterjedt elnevezése a **fényűrsűrűség**.



A valóságban a fényforrások sosem 555 nm-es hullámhosszú monokromatikus fényt adnak, hanem a látható spektrum egészen vagy annak egy részén sugároznak. Sokkal kisebb energia szükséges az emberi szem számára a sárga-zöld spektrumban keltett ugyanolyan érzethez, mint a kék és a vörös tartományokban. A gyakorlatban a fehér fényforrás fényerőssége felfogható az adott hullámhosszon kibocsátott energia és az emberi szem ezen a hullámhosszon értelmezett érzékenységének szorzataként. Ezeknek az értékeknek a zöld-sárga tartománybeli láthatósághoz viszonyított értékét spektrális fényhatásfokként foghatjuk fel, melynek hullámhossz szerinti eloszlását reprezentálja a relatív intenzitást leíró fotopikus $V(\lambda)$ és szkotopikus $V'(\lambda)$ láthatósági függvény, melyeket nagy számú emberen végzett vizsgálatok eredményeinek átlagolásával határoztak meg. Ezen függvények felhasználásával kapcsolat teremthető az emberi szem által és a mérhető fizikai mennyiségek (energiakibocsátás) alapján érzékelt fényerősség között, így a láthatósági függvények alapján működő szenzorok jól reprezentálják a valóságos fényérzetet.

A kandela a fényerősség mértékegysége, azonban a forrás emittálhat 1 kandelát minden irányban vagy csak egy meghatározott szűk fénypásmában, az intenzitás ugyanaz lesz, azonban a kibocsátott energiafluxus már nem. A **teljes fényáram (fluxus, total luminous flux)** egy az irodalomban szintén gyakran megtalálható fogalom, mely egy forrás a tér minden irányába (4π steradian teljes térszögben) kisugárzott fény mennyiségét írja le. Mértékegysége a lumen (lm), és a kandelából az alábbi módon származtatható:

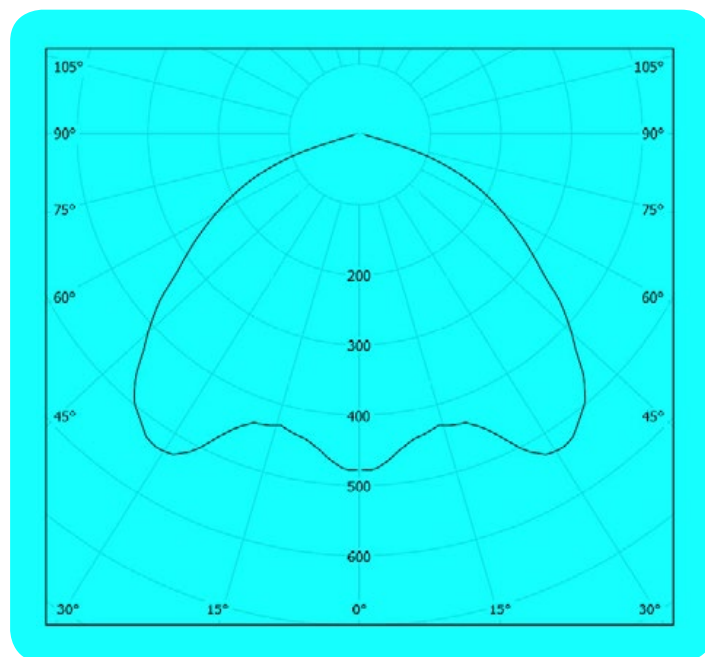
$$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot 1 \text{ sr}$$

Mivel a gömb a teljes 4π steradian térszögnek felel meg, egy a teljes térben egyenletesen sugárzó forrás fényárama az alábbi formulával írható le:

$$1 \text{ cd} \cdot 4\pi \text{ steradian} \approx 12,57 \text{ lm.}$$

A világítótestek gyártói fényeloszlási diagramokat mellékelnek termékeikhez. Ezek a jelleggörbék a fényerősség értékeket mutatják a sugárzási szög függvényében. Az ábrán látható eloszlási görbéről leolvasható, hogy a világítótest kb. 400 cd fényerősséget emittál az optikai

tengelytől mért 45° irányban, míg a tengelyirányú fényerősség 490 cd. Függetlenül az elé helyezett objektum távolságától, az adott irányban a fényerősség állandó, azonban semmit sem tudunk a tárgyon érzékelhető fényviszonyokról, pedig ez lenne a tervezőmérnökök számára a legfontosabb adat, ha például létező hagyományos világítás LED-alapú megoldással való kiváltásának várható hatását vizsgálják a fényforrástól adott irányban és adott távolságban. A kibocsátott fényenergia teszi a tárgyat láthatóvá, és az energiasűrűség határozza meg a megvilágítás mértékét, amely szintén fontos fotometriai fogalom. Mértékegysége a lux, és definíciója szerint az adott felületre beeső fényáramnak és a felületnek a hányadosa, azaz a fényáram felület szerinti sűrűsége. Pontszerű fényforrás esetén a fény irányára merőleges felületen a megvilágítás a fényintenzitás és a távolság négyzetének a hányadosa. Ha ismét a világítótest eloszlási ábráját tekintjük, akkor kiolvasható, hogy a kandelaérték 60 fokos irányban kb. 230, ami 230 lumennek felel meg egy 1 steradian térszögű pászma esetére, ami pontosan 1 m^2 területet világít meg az egység sugarú gömb belső felületén. Ebben a távolságban (1m) az 1 m^2 felület pontosan 230 lumen fényáramot kap, ami 230 lux megvilágítást jelent, azonban 3 méteren csak ennek kilenced részét, azaz kb. 25,6 lux megvilágítást kapunk.

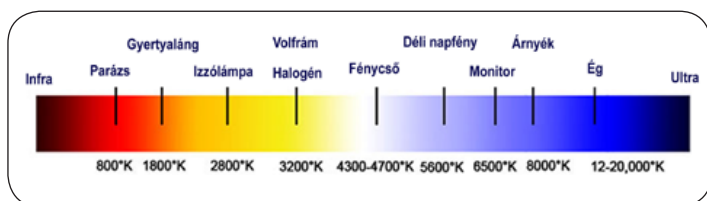


1 000 lumen fényáram 1 m^2 -es területen való koncentrációja 1 000 lux megvilágítást jelent, míg egy 10 m^2 -es területen ez az érték mindössze 100 lux. Így a lux és lumen értékek összefüggése az alábbiakban határozható meg:

$$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$$

Miután részletesen értelmeztük a fény erősségével kapcsolatos fogalmakat, ki kell térni a színérzet kérdéskörére is. Mivel az írásunkban elsősorban világítástechnikai megoldások támogatását célozzuk, elsősorban a fehér fényről kell beszélnünk. A fehér szín leírására használt legfontosabb világítástechnikai fogalom a **színhőmérséklet**,

melyet kelvinben adnak meg, és a meleg (sárgás) színkarakterisztikától a hideg (kékes) árnyalatokig értelmezett. Tudományosabb definíciója szerint a színhőmérséklet egy feltételezett izzó fekete test által létrehozott színérzet, melyet az izzás hőmérsékletével jellemzünk. Mivel a LED- (és egyéb modern) technológiák nem hőmérsékleti sugárzás elvén működő fényforrások, a színhőmérsékletnek fizikai értelmezése nincsen, ezért ezekben az esetekben korrelált színhőmérsékletről (CCT – correlated color temperature) beszélünk, és a fényforrás fénye által létrehozott színérzetet a hozzá legközelebb eső színérzetet adó fekete test színhőmérsékletéhez igazítjuk. Az izzó fényforrások folytonos spektrumban sugároznak, így az általuk megvilágított objektum minden színét képesek megjeleníteni.



Az olyan fényforrások, melyeket korrelált színhőmérséklettel jellemzünk (pl. fehér LED), nem rendelkeznek egyenletes sugárzással a spektrum összes hullámhosszán, ezért az általuk visszaadott színérzet nem tökéletes. A fényforrások színvisszaadására jellemző mennyiség az ún. **színvisszaadási tényező – CRI** (color rendering index), mely az izzó fekete test sugárzóik esetében a maximális 100-as érték. Professzionális megvilágítás esetén, a technológiától függetlenül, minimálisan 90-es CRI értéket kell biztosítani.

LED-ek osztályozása fizikai jellemzők szerint – binning

A LED-alapú technológia gyors fejlődése a világítás-technika számos területén nyitott lehetőséget alkalmazására, az épület- és utcavilágítástól kezdve az autópálya megvilágítási feladatokig mindenütt használatban van. A hagyományos világítástechnikai szabványok betartása ezzel a merőben eltérő technikával sok fejtörést okoz a terület specialistáinak. Ahhoz, hogy hatékony gyártási folyamatokat tegyenek lehetővé, a gyártók különféle osztályozási eljárásoknak vetik alá a világító diódákat, ezen osztályozások gyűjtőneve a „binning”. A legfontosabb tulajdonságok a szín és a fényerő, mely paraméterek a gyártási folyamatok közben mérésre kerülnek, ez lehetővé teszi a válogatást. A binning nagyon fontos a lámpatestgyártók számára, mert megteremti az egyensúlyt a végtermék működési jellemzői, ára és a várható szállítási határidők között. Ahhoz azonban, hogy ennek jelentőségét megértsük, a fehér LED gyártástechnológiájának néhány részletére ki kell térni.

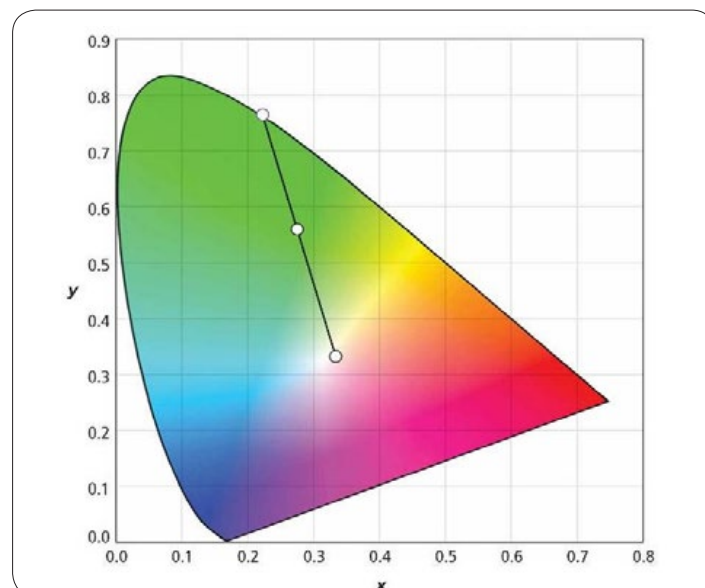
A fehér LED lelke általában egy kék félvezető csip, melyet a gyártók vagy maguk állítanak elő, vagy a szabad piacon vásárolnak. A diódák egy waferen állnak rendelkezésre, amit aztán kis méretű részekre (die) darabolnak, és a LED-tokozásba helyezik, mikro-hozzávezetésekkel látják el őket, és végül a LED-gyártó saját receptje által összeállított foszfor hozzáadásával fehér fényforrássá alakítják. A csip minősége és fajtája a LED egy sor későbbi

jellemzőjét eleve meghatározza (pl. fényerő, nyitó irányú feszültségesés), de az alkalmazott foszforoknak is komoly szerepe van az optikai jellemzők alakításában. Bár a kutatás-fejlesztés és a befektetett anyagi erőforrások nagy része is a minél egyenletesebb teljesítményű és minőségű végtermék előállítására irányul, még mindig nagy a gyártástechnológia szórása. Emiatt még mindig szükség van a kész komponensek válogatására lumen, szín és nyitóirányú feszültségesés alapján azért, hogy a vásárlóknak ezen csoportokon belül egyenletes minőségű termékeket tudjanak ajánlani.

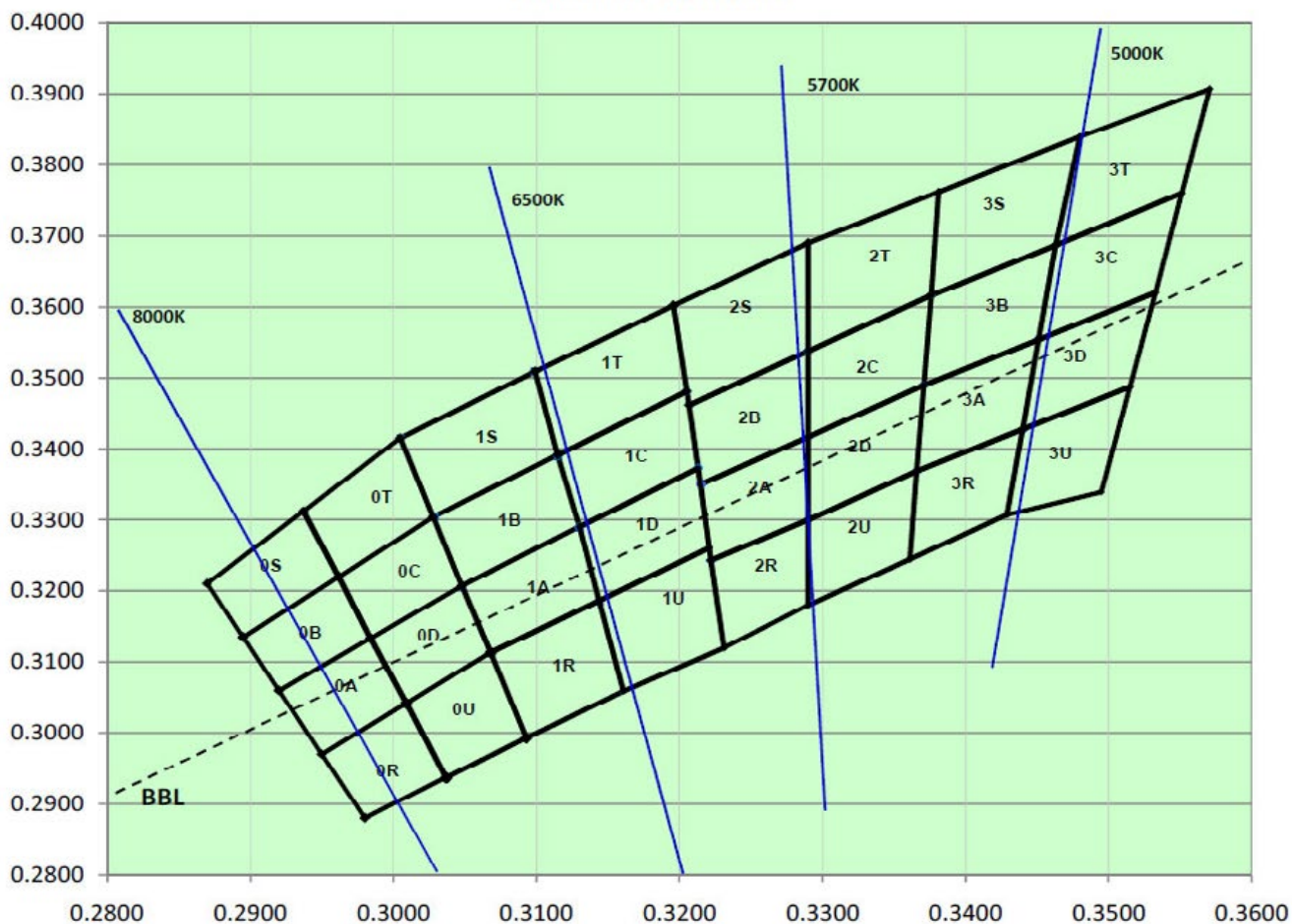
A gyártás során mindig van egy célérték az adott jellemzőcsoporton belül, és természetesen a végtermékek nagy része a gausseloszlás szerint ennek a célértéknek a közelébe eső jellemzőket mutat, hiszen a gyártó ezek alapján választotta meg az alapanyagokat. Minél közelebb van ez a célérték a végfelhasználó elképzeléséhez, annál olcsóbb lesz a komponens ára, viszont olyan elvárások esetén, ahol az adott gyártásból viszonylag kevés késztermék kerül ki, az ár nagyon magas lesz, mivel rengeteg komponens legyártására van szükség a kellő számú megfelelő minta kinyeréséhez.

Ha a vásárló elfogadja, hogy széles válogatásból (akár osztályozás nélkül) kap anyagot, akkor bár az ár és a szállítási idő tekintetében nagy előnyre tesz szert, a technikai megoldás nem lesz precíz, nagy szórást tapasztal majd fényerőben, színhőmérsékletben vagy nyitóirányú feszültségesésben is. Ellenkező esetben, ha szűk toleranciát hajlandó csak elfogadni, a termék nem lesz versenyképes a magas komponensár miatt. A döntés megkönnyítése érdekében vezették be a LED-gyártók a késztermékeik csoportonkénti értékesítését, ahol az egy csoportba tartozó komponensek egymáshoz képest közel azonos fizikai jellemzőkkel bírnak.

A legkritikusabb kritérium a végfelhasználó számára a fényerő és a színhőmérséklet. A fényerőalapú klasszifikáció meglehetősen egyértelmű, a gyártási folyamat során a fényerő mérésével a komponensek előre definiált



White Bin Structure



csoportokba sorolódnak, ezekből tudnak a felhasználók később választani. Minél precízebb szelekcióra van szükség, annál kevesebb a megengedhető csoportok száma, ezért az ár magasabb lesz.

A színhőmérséklet alapján történő besorolás már sokkal bonyolultabb feladat. A CCT-csoportok a CIE 1931 színdiagram (x_{max} , y_{max}) és (x_{min} , y_{min}) koordinátapárokkal leírt területei által értelmezhetők a parabola alakú RGB szintér belső fehér részén.

Ahogy az egyik neves LED-gyártó, a Dominant Opto Technology fehér PRIMAX LED-családjának adatlapján található ábrán is látható, a fehér szín teljes területe (x , y) koordinátapárok által meghatározott csoportok szerinti felosztásra került, és ezekből az adott színhőmérséklet-hez képesti szűk toleranciával kialakított kvadráns alcsoportok lettek kijelölve. Ha a világítótest gyártója nagyon precíz színhőmérsékletet szeretne elérni, csak a négy alcsoportból választ komponenseket, de dönthet úgy is, hogy több bin megvásárlásával kedvezőbb áron jut hozzá az alkatrészekhez.

Meg kell jegyezni, hogy a gyakorlatban a gyártók standard szelekciókat állítanak össze adatlapjaikban, amik figyelembe veszik a gyártási jellemzőket és a vevői igényeket is. Mivel a CCT és a fényerő is összefüggésben

van (magasabb színhőmérsékleten nagyobb fényerők érhetőek el), természetesen nem válogathatóak össze tetszőleges fényerő és CCT „bin”-ek. Ezekre a speciális válogatásokra 4-8-16 CCT-alcsoport és több fényerőosztály befoglalása jellemző.

Mivel a LED-alapú fényforrások általában állandó áramú táplálással működnek, az egyes komponenseken eső feszültség értéke meghatározó a teljesítmény szempontjából. A nyitóirányú feszültségesés szerinti válogatás azért fontos ilyen esetben, mert az esetleges nagy szórárs miatt komoly fogyasztáskülönbségek léphetnek fel az egyes komponenseken, vagy a fényező fogyasztása lesz túl magas. Ha feszültséggenerátoros táplálást használunk párhuzamosan kötött, nem válogatott nyitóirányú feszültségű komponensek esetén, akkor az egyes diódák fényereje fog jelentősen eltérni egymástól.

A LED-gyártók esetenként más jellemzők alapján is válogatják termékeiket, pl. színes LED esetében szokásos a hullámhossz szerinti csoportosítás, ami fontos lehet olyan alkalmazásoknál, ahol precíz színbeállításra van szükség.



Kiss Zoltán okleveles villamosmérnök, exportigazgató
Enrich Bauelemente Vertriebs GmbH | xxxxx.hu

