



SZAKDOLGOZAT

OE-KVK
2022.

Hallgató neve: **Bárány Bence**

Hallgató törzskönyvi száma: T009089/FI12904/K

Budapest, 2022



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Mikroelektronikai és Technológia Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Bárány Bence

Szaktervezési száma: SZD22032812548047

Törzskönyvi száma: T009089/FI12904/K

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: világítástechnikai szakmérnök

Specializáció:

A dolgozat címe: Színpadi világítástervezés színházi környezetben

A dolgozat címe angolul: Stage lighting design in theatrical environment

A feladat részletezése: A jelölt tekintse át a színházi színpadvilágítás területén használt fényforrás típusokat, hagyományos és intelligens lámpák fejlődését, felépítését, alkalmazási lehetőségeit.

Mutassa be egy megvalósuló színházi darab hatásvilágítási tervezési folyamatát, részletesen kitérve a helyszínhez és az előadáshoz kiválasztott fényvetőkre és a világítási pozíciókra.

A dolgozatnak tartalmaznia kell az elektromos hálózat áttekintését (betáplálás, biztosítás, elosztó hálózat, érintésvédelmi megvalósítás) valamint egy szabályozási és vezérlési tervezést a felhasznált eszközökhöz. (dimmerek, direkt áramköri egységek, fényvezérlő pult, Ethernet, DMX hálózat)

A jelölt mutassa be milyen összehangolási lehetőségek vannak a hang-és vetítéstechnika területén, valamint térjen ki ezek triggerelési lehetőségeire.

A tervezésről készítsen dokumentációt, mely tartalmazza a világítási rajzot, valamint az elektromos hálózat és vezérlési rendszer teljes működési blokkvázlatát.

Intézményi konzulens neve: Nádas József

A kiadott téma elévülési határideje: 2024. 06. 30.

Beadási határidő: 2022. 05. 15.

A szaktervezési: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2022. 03. 30.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

belső konzulens

külső konzulens



HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 20. 22. 05. 12.


hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

Bevezetés	2
1. Fényforrás- és fényvető típusok a színpadvilágításban	4
1.1. A halogén izzólámpák	4
1.2. A fémhalogén izzólámpák	6
1.3. A LED-ek	8
1.4. A fejlesztés iránya, a lézerdíódás fényforrások	9
1.5. A színpadtechnikában használatos fényvető típusok	11
1.5.1. A hagyományos fényvető típusok	11
1.5.2. Intelligens fényvetők	15
2. Az előadás elektromos hálózatának tervezése	20
2.1 A LED szalagok felépítése és működése	20
2.2 A kiválasztott LED szalagok villamos és fotometriai adatai és elhelyezésük	23
2.3. A hálózati tervezés és kivitelezés	25
2.3.1. A tápegység és vezérlő kiválasztása, a szobák alapvilágításának kialakítása	25
2.3.2. A szobák hatásvilágításának kialakítása	29
2.3.3. Egyéb fényforrások és lámpatestek felhasználása	31
3. A vezérléstechnika kialakítása	38
3.1. A fizikai DMX hálózat	38
3.3. Visszacsatolási módok, RDM over DMX 512	40
3.4. DMX over Ethernet	41
3.4.1. sACN- Streaming ACN	41
3.4.2. Art-Net	41
3.4.3. A hálózati szegmensek	41
3.4.5. Hálózati címzések	43
3.5. Az előadás vezérlési rendszerének kialakítása	44
3.5.1. A DMX over Ethernet megvalósítása	44
3.5.2. A világítási jelek összehangolása hangtechnikai jelekkel	50
3.5.3. A világítási jelek összehangolása a videotechnikával	51
4. A világítási képek és jelek megalkotása	52
4.1. A színpadvilágítás alapja, a frontvilágítás	52
4.2. Világítási koncepciók az előadásban	54
4.3. A világítási jelek programozása	56
Összefoglalás	62
Summary	63
Irodalomjegyzék	64
Ábrajegyzék	66

Bevezetés

Szakdolgozatom témája a színpadvilágítás színházi környezetben. Mivel a technikai fejlődés ebben az ágazatban is igen gyors, napjainkban egy színházi előadás már elképzelhetetlen különféle látványelemek, fényeffektusok nélkül. Egy jól bevilágított előadás megemeli az adott színpadi produkció színvonalát. Feladatom a budapesti Katona József Színház fővilágosító-helyetteseként, a 2022 márciusában bemutatásra került *Melancholy Rooms* című produkció világítástechnikai tervezésében és kivitelezésében való részvétel volt. A világítási irányelveket ebben az ágazatban nem különféle szabványok rögzítik, hanem a rendezői koncepcióhoz igazodva, a díszlet vagy látványtervezővel együttműködve kell kialakítani őket. A készülő darabok produkciós megbeszélései során a díszlettervből kiindulva lefektetésre kerülnek az alapvető követelmények. Mivel a bevilágítandó teret az előadás díszlete határozza meg, így a világítástervezési folyamat a díszletterv elfogadása után kezdődhetett meg. A látványtechnikai igények felmérését követően történt meg a darab világításához szükséges eszközök kiválasztása, esetleges beszerzése. Az előadás esetében a díszlet kizárólag a színpadi forgón helyezkedik el ezért nem tekinthető klasszikus színházi díszletnek. A darab koncepciójához igazodva hat különálló, egymástól elszigetelt szoba jelenti a színpadi teret, melyek plafonnal is rendelkeznek, így néhány alapvető világítási pozíciót eleve kizárnak, más szemléletmódot igényelnek. A forgó az előadás több jelenetében mozgásban van, a színpadi terek folyamatosan, dinamikusan változnak. Az alapvető követelmények között szerepel a szobák alapvilágítása változtatható színhőmérsékletű fehér fénnel, valamint a színezhetőség, illetve az adott környezethez illeszkedő hatásvilágítási elemek pl. bevilágítók, csillárok használata. Természetesen további követelmény a szabályozhatóság, valamint, hogy az egyes szobák fényben is lehatárolhatók legyenek egymástól, tehát minden fényforrás külön vezérelhető legyen. Szintén fontos volt, hogy a fényforrások fixen a díszletbe épüljenek be, megkönnyítve ezzel a későbbi beépítési munkákat, valamint azt is figyelembe kellett venni, hogy minél kevésbé legyenek láthatóak a nézők számára, ugyanakkor a megfelelő, optimális szögéből biztosítsák a megvilágítást. A tervezési munka nem csak a világítási képek megalkotását jelentette, hanem egy komplex feladatot, ami elektromos hálózati és vezérlési tervezést is magában foglal. Megoldandó feladat volt, hogy a forgón található áramköri csapdában megfelelő direkt áramköri csatlakozások álljanak rendelkezésre, valamint, mivel a forgón nem található digitális vezérlőjelet adó csatlakozás, a vezérlést stabil, megbízható módon,

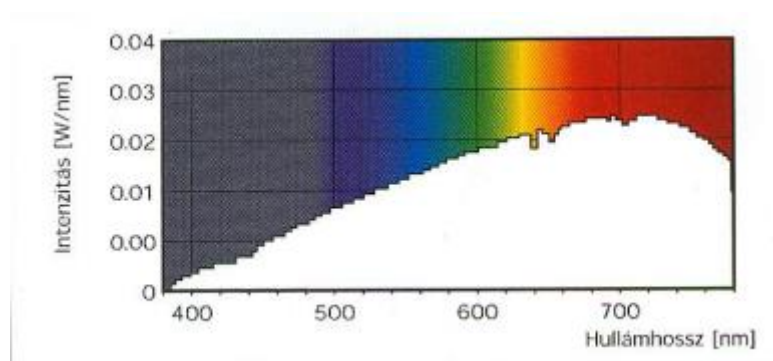
vezeték nélkül kellett a forgóra juttatni. A megfelelő érintésvédelem biztosítása minden esetben előírás. A darab bemutatását megelőzően került sor a színház vezérlési rendszerének fejlesztésére, valamint speciális igény volt a világítás vezérlésének összehangolása a hang-és videotechnikával a pontosabb képváltások érdekében. A műszaki és technikai feltételek biztosítását követően a darab főpróbahetén történt meg a hatásvilágítási képek megalkotása, a világítási jelek programozása és rögzítése. A tervezett előadásról minden esetben dokumentációt (pl. világítási rajzot) kell készíteni a könnyebb reprodukálhatóság vagy az esetleges karbantartások miatt. A dolgozat a tervezés bemutatása előtt ismerteti a színpadtechnikában használatos fényforrás és fényvető típusokat.

1. Fényforrás- és fényvető típusok a színpadvilágításban

A világítástechnikai területen számos különböző lámpatípussal is találkozhatunk, ez a fejezet viszont kifejezetten a színpadi fényvetőkben alkalmazott fényforrás típusokat és lámpatesteket tekinti át. A megfelelő fényforrás kiválasztásánál gazdaságosság szempontjából fontos adat a fényhasznosítás és az élettartam. A fény minőségére utaló jellemzők a színhőmérséklet, színvisszaadás, de a felhasználás szempontjából elengedhetetlen ismerni a teljesítményt, a fényáramot, a fényforrás geometriai méreteit és a fejelést is. [1]

1.1. A halogén izzólámpák

A színpadvilágítás területén, bár az alkalmazott fényforrások hatalmas változásokon és fejlesztéseken mentek keresztül, még napjainkban is nagyon elterjedt fényforrás az izzólámpa a hagyományos fényvetők nagy száma miatt. Az izzólámpa fénykeltése a hőmérsékleti sugárzáson alapszik, a fényt az izzószáll bocsájtja ki, amit minél nagyobb hőmérsékletre hevítünk fel. Az izzószáll anyaga jellemzően nagyon magas olvadáspontú (3400°C) wolfram, amely eltérő hullámhosszakon más és más teljesítménnyel sugároz, ezért szelektív sugárzónak nevezzük. [1] Az izzólámpa színeképe folytonos, spektrálisan minden hullámhossz jelen van benne. A befektetett elektromos energiának csak egy nagyon kis része alakul át sugárzó energiává, és ennek a kis energiahányadnak is csak egy csekély része található a látható tartományban, amit még természetesen súlyozni kell az emberi szem spektrális érzékenységet reprezentáló láthatósági görbével is. [1]



1.1. ábra. A halogén izzók spektruma [1]

Színpadi alkalmazásban a halogén izzók terjedtek el legjobban, melyeknél különböző halogén elemek adalékolásával, a wolfram-halogén körfolyamatnak köszönhetően

nagyobb fényáram és élettartam érhető el. A fényhasznosításuk a hagyományos izzólámpákéhoz képest kétszer nagyobb. Az izzószálak tekintetében gyakori a biplán megvalósítás, mely egy duplasíkú, eltolt elrendezést jelent, így az izzó mérete tovább csökkenthető, ami segíti a fókuszálhatóságot.[2] Színházi alkalmazásokban elterjedtek a kompakt izzószálú, nagyobb hatásfokkal rendelkező HPL (High Performance Lamp) izzók. [1] Konstrukció szempontjából léteznek egy oldalon és két oldalon fejtelt izzók és a külön csoportot alkotó ún. PAR lámpák. [2] A színpadi alkalmazásokban a leggyakrabban egy oldalon fejtelt kivitelrel találkozunk, ahol a leggyakoribb fejtípusok a Gx 9,5 és Gy 9,5, GY16, G22, G38. A két oldalon fejtelt típusok hosszú üvegburával és két végükön kiképzett kerámiafejjel rendelkeznek. A PAR lámpák olyan speciális fényforrások, ahol egy parabolikus üvegtükröt előtétüveggel építenek össze, melyek kiképzése határozza meg a sugárzási szöget, mely a nagyon szűktől (CP 60- Narrow Spot) az egészen szélesen sugárzóig (CP 95 –Wide Flood) elterjedtek. A spirális izzószál a tükrő fókuszpontjában helyezkedik el. [2]



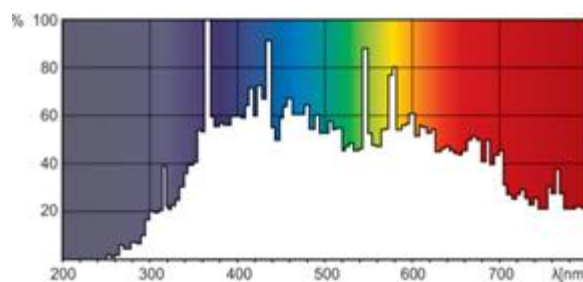
1.2. ábra. Halogén izzó kialakítások [2]

A halogén izzókat hálózati feszültségről üzemeltetjük, teljesítményük jellemzően 200 W és 10kW között mozoghat. Színhőmérsékletük tipikusan 2800-3400 K közötti tartományban mozog, a színvisszaadásuk kiváló. [1] A halogén fényforrások nagyon jól dimmelhetők, azonban dimmelés hatására a színhőmérséklet eltolódásával kell számolni. Szintén fontos dolog üzemeltetés szempontjából, hogy az izzók hidegellenállása kicsi, így bekapcsoláskor a névleges áram többszörösével kell számolni, mely az élettartamot csökkenti. Ennek kiküszöbölésére a dimmerek előfűtési funkciót biztosítanak. Különösen fontos ügyelni arra, hogy az izzókat csak a megengedett üzemeltetési pozícióban használjuk, illetve próbáljuk elkerülni a különböző mechanikai rázkódásokat. A halogén izzók hátrányai a kis fényhasznosítás (16-33 lm/W), a magas üzemi hőmérsékletük valamint a nagyon rövid (50-1000 óra) élettartamuk. [1]

1.2. A fémhalogén izzólámpák

Színpadvilágítás területén a mozgófejes fényvetőket kezdetben fémhalogén izzókkal kezdték el gyártani. Számos gyártó több lámpatípusát a mai napig is fémhalogén izzóval szereli. A fémhalogén izzók az ívkisülés elvén működnek, melynek során elektródokat hevítünk fel. Az elektródokból emittálódó elektronok áramvezetést hoznak létre és a töltőgáz atomjaival ütközve gerjesztik, ionizálják őket. [3] A színpadvilágítás legjellemzőbb fémhalogén lámpatípusai a HMI és HTI fémhalogén lámpák.

A HMI fényforrások a váltóáramú nagynyomású kisülőlámpák csoportjába tartoznak, melyekben a villamos ív olyan higanyból, valamint fémhalogenidekből álló gázban alakul ki, amit ritka fémföldekkel (tullium (Tm), hollmium (Ho), diszprózium (Dy)) adalékolnak. A HMI lámpákat igen magas (max. 100 lm/W) fényhasznosítás, 6-8000 K közötti színhőmérséklet, valamint kiváló színvisszaadási index ($R_a > 90$) jellemzi. [3]



1.3. ábra A fémhalogén izzók spektruma [1]

HMI fényforrások esetén fontos megkülönböztetési szempont a fejkiképzés. Az egy végén fejelt változatok nagy előnye, hogy a kisebb beépítési helyigény miatt a lámpaház mérete is csökken. Jellemző fejtípusok pl. GZY9,5; GZZ9,5; GX9,5 (kb. 400 W-ig), G22 (kb. 1200 W-ig) és G38 (1200 W-tól). A két oldalon fejelt változatok általában rövid ívűek. Tipikus fejelések: SFc10-4, SFc15,5-6, Sfa21-12, S25,5 és S30. A fényforrások bármilyen égetési helyzetben használhatóak. A különböző gyártók különféle jelöléseket alkalmaznak a HMI fényforrásokra. (Philips: MSR, Osram: HSR –SE, GE: CSR-SE, Radium: RSR) [2]

A HTI lámpák felépítése és adagolása teljesen hasonló a HMI típusokhoz, de tipikusan rövid ívhosszal gyártják őket, ami lehetővé teszi, hogy a fényforrás kompaktabban beépíthető a lámpatestbe. Ellipszoid hidegtükörrel szerelik őket, melyek dikrotikusan fókuszálhatóak, ezáltal optimálisan beállítható a fókusz és a spotnagyság is, így kiváló optikai hatásfok érhető el. Rendkívül irányított pontvilágítást valósítanak meg, valamint

magas fénysűrűség, fényhasznosítás és színhomogenitás jellemzi őket. A HTI lámpák mindig egy oldalon fejelt lámpatípusok, HSR / MSR és HSD / MSD jelű lámpákat gyártanak. A fényforrások bármilyen égetési helyzetben működtethetők. [2]

HTI – (*Platinum R technology*) jellemzői:

- kisméretű fénypont, ezáltal kiváló optikai hatásfok, köszönhetően a kb. 1 mm-es ívhossznak
- extrém nagy fénysűrűség: 1 Gcd/m^2
- nagyon magas üzemi nyomás: 200 bar
- kitűnő színvisszaadás, köszönhetően a vonalgazdag spektrumnak
- magas, 8000 K színhőmérséklet [2]



1.4. ábra. Fémhalogén izzó kialakítások [2]

A fémhalogén lámpák működtetéséhez minden esetben gyújtóegység szükséges és ugyancsak fontos az áramkorlátozó előtét használata. Teljesítményük jellemzően 200 W és 18kW között mozog. Élettartamuk 1000 és 3000 óra közé tehető,[1] azonban nagy hátrányuk, hogy idővel folyamatosan változik a színhőmérsékletük és csökken a fényáramuk. Fontos probléma, hogy a fémhalogén izzók fényáram szabályozása csak nagyon korlátozottan (70-100% tartományban) valósítható meg, [1] hagyományos módon nem dimmelhetők. A kimenő fényáram szabályozását ún. shutterekkel (mechanikus sötétítő blendékkel) valósítják meg. Különösen a színpadi fényvetőkben jelentkező probléma a jelentős hőterhelés, amit a fényforrások nagy teljesítménye okoz a kompakt lámpatest méretei mellett. A hőterhelés egyaránt veszélyes a fényforrásra, az elektronikákra és a lámpaház műanyagaira nézve, ezért intenzív hűtést igényelnek, amit a konvekciós hűtési mód mellett segédventillátorokkal valósítanak meg. Az intenzív

hűtés ugyanakkor sajnos növeli a működés közben keltett zajt, ami különösen problémás a színházi alkalmazásoknál.

1.3. A LED-ek

A LED-ek félvezető eszközök, ahol a keletkező fény hullámhossza a félvezető anyag minőségétől és a vegyületek összetételétől függ. A különböző vegyületek alkotta félvezetőket elektromosan gerjesztve töltésszétválasztás történik (elektronok jutnak át a vezetési sávba), majd a direkt töltés rekombináció következtében különböző hullámhosszú sugárzás tapasztalható a látható és az infravörös tartományban. Gyártást tekintve készülnek különálló, illetve egy tokba integrált RGB LED chipek. A fehér LED-ek gyártásához először a kék LED előállítását jelentette a megoldást, melyet különböző (sárga, vörös) fénnyel használva, a lumineszcencia következtében az egyébként keskeny sugárzási spektrum kiszélesedik. [3] A LED-ek fejlődési üteme az elmúlt időszakban meglehetősen gyors volt, színpadvilágítási célokra az egyes gyártók a nagy fényáramú fényforrások, teljesítményledék fejlesztésére fordították a legtöbb figyelmet. A cél az, hogy nagyon kis felületről nagy fényt tudjunk kibocsátani, tehát ezek a LED-ek nagy áramokra készülnek. Ezzel ugyan nagyobb a kibocsátott fényáram, de a nagyobb áramsűrűség miatt jelentős melegedéssel is kell számolni. A tervezésnél gondoskodni kell a megfelelő hűtésről, hőátadásról és hőelvezetésről az adott LED modulban, hogy ne érjük el a kritikus hőmérsékletet ($T_j < 100^\circ\text{C}$), ami nagyban befolyásolja a várható élettartamot. A LED modulok általában hővezető nyomtatott áramkörü lapra szerelt chipeket jelentenek. Az egy tokba épített RGB modulok esetén az additív színkeverés szabálya alapján (közelítőleg) fehér fényt kapunk, de sok más színárnyalat is kikeverhetővé válik. Léteznek még nagyteljesítményű egychipes LED alapmodulok is, ugyanakkor, ha ebből többet egymás mellé építünk egy adott lámpatestben, a fényforrásunk nem lesz pontszerű, így optikailag is nehezen kezelhető lesz, nem kapunk jó vetített képet. Fontos megemlíteni, hogy a LED-ek térbeli sugárzásának eloszlását tekintve, a tér minden irányába azonos intenzitással sugároznak, így Lambert-sugárzónak tekintjük őket, [1] ami fénykilépés határfoka szempontjából nem ideális. Ahhoz, hogy a fényforrás által kibocsátott fény irányítható legyen különböző sugárzási szöggel rendelkező optikákat, lencserétegeket kell alkalmazni, melyeket kollimátor optikának is nevezünk. A gyártók a LED modulokat gyakran meghajtó elektronikával együtt gyártják, valamint a hőelvezetésről is gondoskodnak, garantálva ezzel a magasabb élettartamot.

Találkozhatunk monokromatikus és MSL, azaz multispektrumú (additív színkeverésen alapuló) fényforrásokkal is, melyek több száz Watt teljesítményűek lehetnek, fényhasznosításuk pedig meghaladja a 100 lm/W értéket. A színhőmérsékletek széles tartományban változtathatók, jellemzően 2700 és 8000 K között. Színpadtechnikai alkalmazások területén elvárás a kiváló (CRI 95+) színvisszaadás, melyet a LED-es fényforrások már képesek teljesíteni. A jellemző fényáram értékek a jobb termékeknél meghaladják a 20.000 lument.



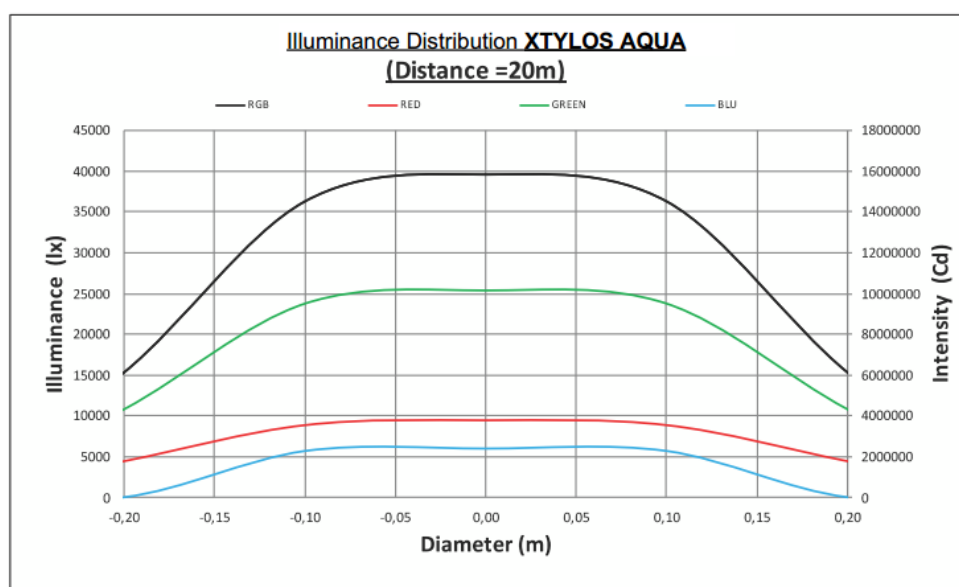
1.5 ábra. Intelligens robotlámpák LED moduljai [3]

Fontos elvárás lett, hogy egy LED-es fényforrás minél jobban tudja követni egy hagyományos halogén izzólámpa viselkedését, így integráltan alkalmazhassuk őket. Megfelelően nagy (16-18 bit) felbontást alkalmazva a dimmer egységen a szabályozás közel lineárisra tehető, hasonlóan az izzólámpához. Egyes gyártók olyan beállítási lehetőséget is kínálnak, hogy egy MSL fényforrás képes szimulálni egy halogén izzólámpa viselkedését a dimmelés során. Ezeknél az izzóknál a színhőmérséklet az alacsonyabb, melegebb értékek felé tolódik el a dimmelés következtében. Ez a beállítási mód az integrációs lehetőségek még jobban megnöveli. A televíziós és rögzítési célokat nagyban elősegíti, hogy a LED-ek szabályozásához használt PWM frekvencia állítható, így a villogás HD, UHD, de akár 8 K-s felbontásnál sem lesz látható. A fényforrások élettartamára vonatkozóan (L70/B50) a gyártók általánosan legalább 40000 üzemórát garantálnak.

1.4. A fejlesztés iránya, a lézerdiódás fényforrások

A LED-es fényforrással szerelt nagyteljesítményű eszközök esetén a teljesítménynövekedés mára elérte a fémhalogén fényforrások szintjét. Az egyre nagyobb méretű LED moduloknál problémát okoz, hogy a keletkező fény nem pontszerű, így nagyobb optikai veszteségek keletkeznek. A jelenlegi fejlesztések a lézer diódás fényforrások felé irányulnak, több neves gyártó is kínál már ilyen elven működő

intelligens lámpákat. A lézersugárzás koherensnek tekinthető, valamint monokromatikus és párhuzamos. Mivel a keletkező fény helye kisebb (gyakorlatilag pontszerű), így optikailag is jobban kezelhető, megfelelő fókuszálással egyenes, párhuzamosított a lámpából kilépő fénycsóva. A kilépési szög $1-7^\circ$ között változik, de képes $0,5^\circ$ -ban is kilépni. Fényforrásként már direkt RGB lézereket alkalmaznak, a korábbi fejlesztések még a gerjesztett foszforos technológiát követték. A fényhasznosításuk nagyon magas, egy modul komponensenként kevesebb, mint 100W-ot fogyaszt, ugyanakkor sokkal magasabb megvilágítási szintek érhetőek el, mint a LED-es eszközökkel és sokkal kevesebb a disszipált hőmennyiség is. A következő grafikon fényerősség és megvilágítási értékeket mutat a távolság függvényében egy lézer diódás fényforrással rendelkező intelligens lámpa esetén.



1.6. ábra. Fényerősség és megvilágítás a távolság függvényében lézerdiódás fényvetőnél [4]

A színkeverés additív módon történik ezért nagyon szép, telített színárnyalatokat kaphatunk, és mivel nem kivonó színkeverésről beszélünk, a fehér fénnel megegyező intenzitást tapasztalhatunk a színek esetében is, a fehér fény minősége viszont gyengébb, mint a fehér LED-ek esetén. A fényforrások élettartamát 20.000 órára garantálják és Class 1 minősítésűek, tehát biztonsággal használhatóak színpadi környezetben. Az ilyen lámpák felhasználása még igen korlátozott, főleg show világításban, effektek előállítására használják őket.

1.5. A színpadtechnikában használatos fényvető típusok

A modern színpadvilágítási rendszereket 3 fő csoportra bonthatjuk:

- fényvezérlő pult és kiegészítő egységei
- dimmerek és direkt áramköri kapcsoló egységek
- hagyományos és intelligens fényvető eszközök [4]

A fényvetők feladata, hogy irányítottá tegyék a fényforrások fényét, és a kívánt fényminőséget hozzanak létre a színpadon. Minden fényvető típusnak megvan a saját funkciója a játéktérben, pl. nagyobb térrészek egyenletes derítése, egy színész vagy díszletelem kiemelése, esetleg effektek előállítása egy meghatározott világítási pozícióból. Hagyományos fényvetők esetén az alábbi fontos fénytechnikai jellemzőket kell megemlíteni:

- hasznosított fényáram
- maximális fényerősség
- optikai határfok
- sugárzási szög
- fényerőeloszlás [2]

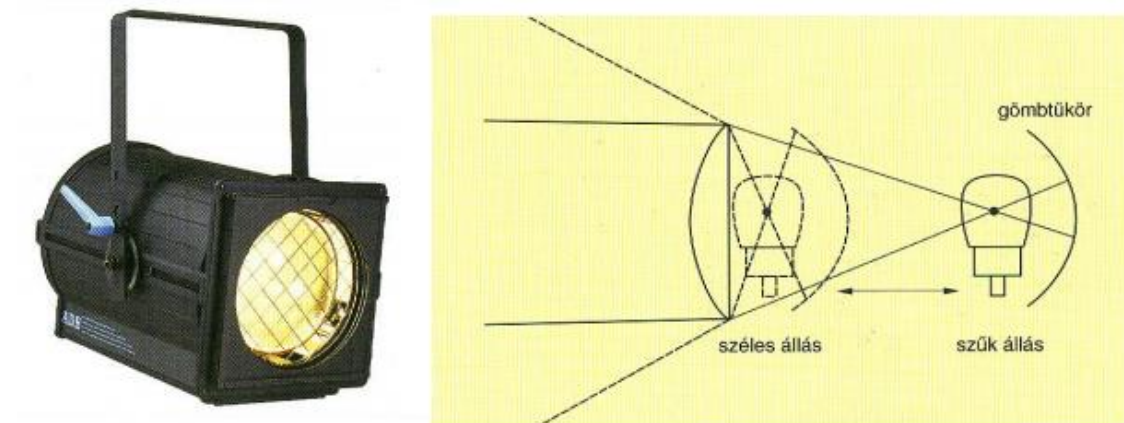
A hagyományos fényvetők területén a leggyakoribb csoportosítás az optikai rendszerük felépítése szerint történik, amely meghatározza a kibocsátott fénysugár minőségét. Eszerint az alábbi fontosabb típusokat különböztetjük meg:

- PC lencsés (Plan-convex, Pebble-convex, Prism-convex) fényvetők
- Fresnel lencsés fényvetők
- Profil fényvetők
- Derítők (horizontvilágítók)

1.5.1. A hagyományos fényvető típusok

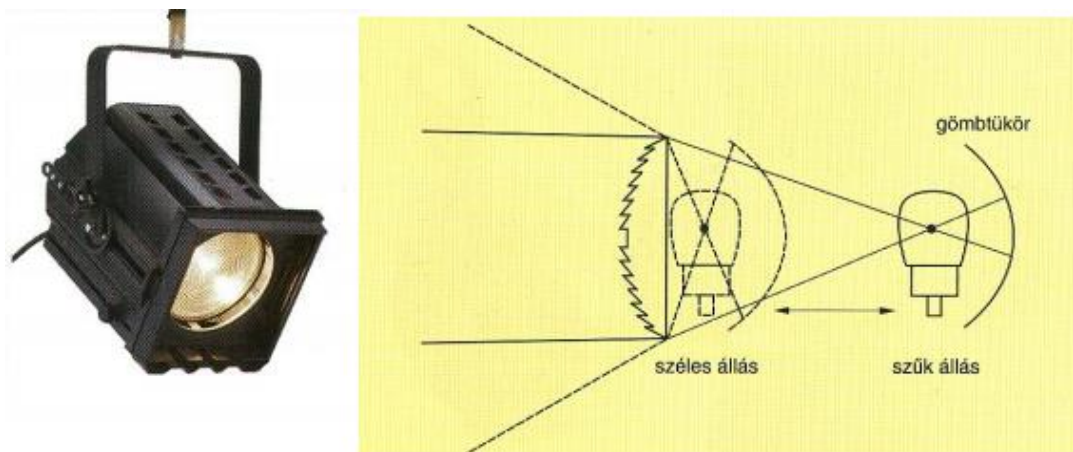
A PC lencsés fényvetők optikai rendszerét egy gömbszeletűtükör (vagy parabolatükör) és egy sík-domború gyűjtőlencse alkotja. A fényvetőben, a tükör geometriai középpontjában halogén izzót használunk mely a tükörrel együtt egy mozgatható sínen kap helyet. A tengelyirányú mozgatásukkal beállítható, hogy a gyűjtőlencsén át a fénysugarak mekkora térszög alatt lépjenek ki a fényvetőből. A PC lencsés eszközök előnyei közé tartozik, hogy széles tartományban zoom-olhatók (4° - 70°), vetített fénykörük határozott, de lágy szélű,

egyenletes fényeloszlású. [2] A lencsék különféle leképzési hibáinak (pl. koronajelenség) kiküszöbölésére gyakran alkalmaznak diffúz felület kiképzésű lencsákat (Pebble-convex, Prism-convex), azonban a diffúz felületek miatt nagyobb fényszóródással kell számolni, ezért ajánlott a fényterelő lemez használata. A leggyakoribb teljesítmények 500 és 2500 W közé tehetők.



1.7. ábra. PC lencsés fényvető és optikai rendszere [1]

A Fresnel lencsés fényvetők felépítésüket tekintve teljesen megegyeznek a PC lencsés gépekkel, kivéve az eltérő frontlencsét. A Fresnel lencsét a gyűjtőlencse egyik speciális változatának tekintjük, mely olyan lencsefelülettel rendelkezik, ahol azonos fókuszpontú lencsemetszetek koncentrikus köröket alkotnak és a gyártás során egymásba préselik őket. A Fresnel lencséknél nem mérvadó az átmérőjük és a fókusz hossz, ezért viszonylag vékony lencsék készíthetők. [2] A felületek egyenlőtlensége miatt a lencsék szórása igen nagy, emiatt a vetített fénykör széle lágyabb és elmosottabb, mint a PC lencsék esetében. Mivel a fényvető egyenletes fényeloszlást mutat nagy területen, gyakran használjuk abban az esetben, ha egy adott színpadi rész egyenletes és homogén megvilágítása a cél. A zoom lehetőség limitáltabb, mint a PC-s gépeknél, mert kis nyitásszög esetén a fénymag egyre koncentráltabbá válik, de így is hasonlóan széles tartományban zoomolhatók. A jellemző teljesítmények szintén az előző gépnél említett értékekhez hasonlóan alakulnak.

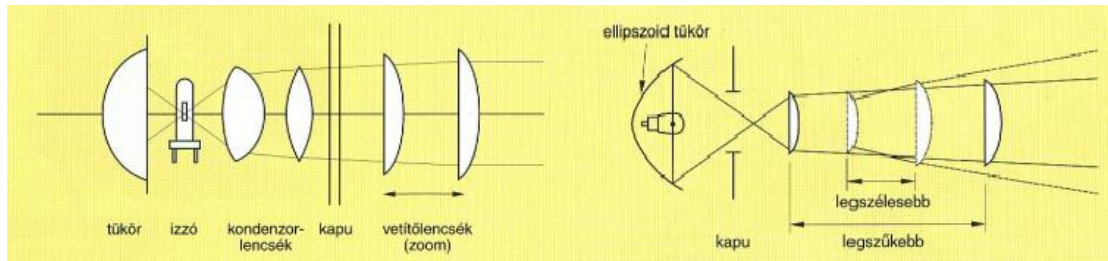


1.8. ábra. PC lencses fénnyvető és optikai rendszere [1]

A lámpaházak kialakítását tekintve fontos a kiváló mechanikai tartósság és a magas hőelvezető képesség, mely a fényforrások élettartamát növeli. A professzionális lámpatesteket főleg húzott alumínium házzal készítik, melyeken hűtőbordák kapnak helyet. A könnyű és gyors karbantartást és izzócserét kivehető elektromos tálcá segíti. [2] Elvárás továbbá, hogy a foglalatok nagyon pontosan pozícionálják a fényforrást és a fókuszálásuk precíz és rázkódásmentes legyen. Az eddig bemutatott fénnyvetők állandó tartozékai a biztonsági rács, a szintartó keret és az elforgatható fénytérelő lemez.

A hagyományos fénnyvető típusok közül a legösszetettebb optikai rendszerrel és a legszélesebb alkalmazási lehetőséggel az ún. profilámpák rendelkeznek. A PC és Fresnel-es optikákkal szemben a komplex lencserendszerüknek köszönhetően a vetített fénykör minősége változtatható, képesek éles, határozott szélű fénykör vetítésére is. Ezekben a fénnyvetőkben található egy optikai kapu és a fény útjába különböző fényátalakító eszközöket helyezhetünk, így lehetőség van akár különféle ábrák, alakzatok vetítésére is. Megkülönböztetünk kondenzoroptikás és ellipszoidtükros profilámpákat. A kondenzor optikás gépeknél a fényforrást egy gömbszelet vagy parabolatükör fókuszpontjába tudjuk pozícionálni, majd a vetített fénysugarak két kondenzor gyűjtőlencsén (szférikus, aszférikus) haladnak át, melyekkel a vetített fénykör élessége beállítható. Ezután következik az optikai kapu, melynek képét a fénnyvető képes élesen kivetíteni, végül pedig a zoom lencse, mellyel a kilépési szög állítható be. Az ilyen típusú fénnyvetők ugyan alacsonyabb fénytani hatásfokkal rendelkeznek, de vetített fénykör minősége kiváló, telített és egyenletes. [2] Az ellipszoidtükros fénnyvetőknél az izzó szintén a fókuszpontban kap helyet az optikai tengellyel párhuzamosan pozícionálva, az optikai kaput pedig ebben az esetben az ellipszoidtükör másik fókuszpontja jelenti. A

fókusz távolság két vetítőlencse egymáshoz képest közös tengelyen történő együttes mozgásával változtatható. Léteznek fix zoom optikával rendelkező gépek, azonban ha a fényvető zoom-olható az egyik vetítőlencse a másiktól függetlenül mozgatható. [1]



1.9. ábra. Kondenzor optikás és ellipszoid tükrös fényvető optikai rendszere [1]

Mindkét típusú profilámpánál az optikai kapuban kaphat helyet az íriszblende, mellyel a vetített fénykör átmérője mechanikusan állítható, az alakzatok vetítéséhez használt gobo tartó, illetve a fényvágó késrendszer. A fényvágó késeket a fény útjába pozícionálva a fénykörből a kívánt részlet kitakarható. Az fókuszlencsének köszönhetően a profilgépek nem csak éles, hanem elmosott szélű fénykör vetítésére is alkalmasak, így nem csak kiemelésre, de megfelelő távolságból derítésre is alkalmasak. Szintén a távolság határozza meg, hogy milyen nyitásszögű és teljesítményű gépet célszerű alkalmazni. A jellemző fix nyitásszögek: 5°, 10°, 19°, 26°, 36°, 50°, 70°, 90°, zomolható gépeknél jellemzően 7°-17°, 15°-32°, 25°-50°-es optikákkal. A fényforrás jellemzően halogén izzó 500, 575, 750, 1000, 1200, 2000, 2500 W teljesítményekkel, [2] de az ún. követőgépekben (fejgép) fémhalogén izzó alkalmazása az előnyös, hiszen a kiemelési feladat eltérő színhőmérséklettel jobban megvalósítható.



1.10. ábra. Kondenzor optikás és ellipszoid tükrös profil fényvető [2]

A derítők, horizontvilágítók leggyakrabban két végén fejtelt halogénizzóval szereltek, a derítők szimmetrikus, a horizontvilágítók pedig aszimmetrikus tükrű lámpatestek. Az

izzószál a tükör fókuszpontjában található, a foglalat jellemzően R7s, a teljesítménye 300 és 1250 W-os tartományban mozoghat. [2] A derítőket nagy felületek erős, homogén bevilágítására használják, a horizontvilágítók feladata egy felület pl. díszletfal, háttér, operafólia egyenletes megvilágítása.



1.11. ábra Szimmetrikus és aszimmetrikus derítők [2]

A hagyományos fényvetők speciális csoportját alkotják a parabolatükrös és a PAR fényvetők, melyek külön lencserendszerrel nem rendelkeznek.

1.5.2. Intelligens fényvetők

Az intelligens lámpák az elmúlt évtizedekben robbanásszerűen fejlődtek, napjainkban egyre nagyobb teret hódítanak, néhol pedig teljesen kiszorították a hagyományos fényvetőket. Az intelligens eszközök megalkotásának a célja az volt, hogy távvezérelve hozzunk létre mozgó világítási effekteket, hatásokat. A robotlámpák megjelenése előtt kezdetben a hagyományos fényvetőket egészítették ki különböző motorikus eszközökkel, melyek már vezérelhetők voltak. Ilyenek pl. még a mai napig gyakran előforduló motoros színváltók, shutter-ek, motorizált mozgókengyelek, de léteztek megoldások a fókusz és a zoom motorikus beállítására is. Ezek főleg azokban a világítási pozíciókban jelentettek nagy segítséget, ahol a fényvetőkhöz nehezen lehetett hozzáférni. Az intelligens fényvetők megjelenésének és elterjedésének köszönhetően egy lámpa több hagyományos eszköz feladatát képes egyszerre megvalósítani, a vezérlés hatására a telepítésen és a karbantartáson kívül működtetésük, beállításuk nem igényel olyan szintű humán erőforrást, mint a hagyományos fényvetők esetében. A produkciók beállása könnyen reprodukálhatóvá vált és mára az eszközök folyamatos fejlődésének köszönhetően a látványtervezők eszköztára is jelentősen kibővült.

A lámpába beérkező vezérlő jel egy jelfeldolgozó egységbe kerül, ami a DMX jelfolyamból a címzésnek megfelelően a rá vonatkozó adatokat kiszűri, és ezeket a

csatorna szintre bontott adatokat a megfelelő vezérlő áramkörök felé továbbítja. A vezérlő áramkörök adják a vezérlést a különböző meghajtó áramköröknek. [2] Kezdetben az intelligens fénnyvetőkben fémhalogén fényforrásokat alkalmaztak, amit jelenleg is több gyártó használ, azonban mára egyértelműen a LED multichip-pes fényforrások (LED modulok) kerültek előtérbe. A teljesítmények a fémhalogén izzók esetén 150 és 2000 W között változnak, a nagyteljesítményű LED-es eszközöknél a jellemző fényforrás teljesítmények 500-650 W körül mozognak. A fémhalogén izzók esetében a fényáram szabályozása csak elektromechanikus sötétítő blendékkel (shutter-ekkel) oldható meg, míg a LED-ek esetén ezt elektronika végzi. Shutter-eknél a kések gyors mozgásával, a LED moduloknál elektronikus úton stroboszkóp effektus is előállítható. A robotlámpák pontos pozicionálásáról nagy felbontású, nagy nyomatékú, bipoláris léptetőmotor gondoskodik, mely digitális vezérlés hatására a megfelelő polarításokkal a motor két tekercsére impulzus feszültséget kapcsol, így a forgórész a megadott pozícióba fordul. [2] A mozgatási elvet tekintve mára a mozgófejes (Moving Head) robotlámpák szinte teljesen kiszorították a korábban elterjedt mozgótükrös egységeket. A scanner-ek kifutásának az oka egyrészt a kis horizontális és vertikális elmozdulási tartományuk, másrészt, mivel a lámpatestből kilépő fénycsövet egy tükörrre vetítik, fényvesztés keletkezik. A mozgófejes lámpatestek 3 fő részre oszthatók fel. A talp, mely főleg az elektronikát és annak hűtését tartalmazza, a mozgókengyel, mely a mozgatót, valamint elektronikai és mechanikus összeköttetést biztosítja a talp felé, illetve a lámpafej, ami a fényforrás és az optikai rendszer mellett számos elektronikai és mechanikai egységet tartalmaz. [2] A lámpatestek optikai rendszerét tekintve a hagyományos fénnyvetőkhöz hasonlóan a frontlencse lehet gyűjtőlencse vagy szóró (Fresnel) lencse is. A lámpatesten belül motorizált zoom és fókuszlencsék találhatók, így vezérlés hatására változtatható a fókusz távolság, illetve lehetőség van nyitásszög változtatására is. A profil jellegű intelligens fénnyvetők a vetítőlencsék mellett kondenzoroptikát használnak, mely egyenletes fényköreloszlást és jobb vetítési paramétereket eredményez. A kezdeti időszakban a két jellemző típus a spotlight és a washlight volt. Míg a wash lámpák a hagyományos fresnel fénnyvetők helyét vették át, a spotlight-ok és a profil jellegű fénnyvetők a hagyományos profillámpákat helyettesíthetik. Természetesen, ahogy az analóg lámpák esetén is, itt is felmerül az igény egy forgatható fényvágó késrendszer használatára, illetve különböző effektek létrehozására. A spot vagy profil jellegű gépeknél az optikai rendszer gyakran tartalmaz prizmat, ami a kilépő fénysugár sokszorozásával egy látványos színpadi effektet hozhat létre. A különféle alakzatok

vetítésére használható gobo-k a prizmához hasonlóan effekttárcsákon kapnak helyet, melynek kialakítása olyan, hogy az egyes gobo-k pontosan pozícionálhatók, illetve változtatható sebességgel forgathatók. [2] Fontos megemlíteni, hogy minden effekt réteg, ami a fény útjába kerül, csökkenti az optikai hatásfokot, így a kilépő fénysugart is. Intelligens lámpákkal a kívánt színárnyalatot korábban forgatható színtárcsákkal állították elő, melyeken fix, színes dichroszűrők kerültek a fény útjába. [2] Napjainkban a színezés fémhalogén fényforrások esetén a szubsztraktív (CMY), kivonó, LED-es eszközök esetén az additív (RGB), azaz összeadó színkeverési módszerre épül. A CMY-os gépeknél 3 motorizált színszűrő tárcsa vagy panel kerül fokozatosan a fénysugárba.



1.12. ábra Profil, wash, beam típusú robot fényvetők [2]

Napjainkban elvárás lett, hogy egy intelligens korszerű robotlámpa bármelyik hagyományos fényvetőt helyettesíteni tudjon. Fontos igény a nagy fénysugár, ami LED-es eszközöknél már meghaladja a 30.000 lument, a kiváló színvisszaadás (CRI 95+), valamint a színhőmérsékleti korrekciós lehetőség (lineáris CTO). A színkeverési lehetőség mellé gyakran kínálnak fix színeket is, valamint az effektek előállításához számos statikus és forgatható gobo-t, animációs tárcsákat és prizmákat. A jellemző nyitásszög egy profil jellegű fényvetőnél jellemzően 5°-50° között változtatható, a fénysugár jellege az élestelel a szórtig tetszőlegesen alakítható az összetett és precíz fókuszálású optikai rendszernek köszönhetően. A fénysugár méretének további csökkentésére motorikus írisz funkció áll rendelkezésre. A teljesen homogén, szórt fény kialakításához sok eszköz lineáris frost szűrőt is kínál. Színházi alkalmazásoknál fontos a nagyfokú pontosság a lámpa pozícionálásában, fókuszálásban, de hasonlóan nagy csatorna felbontást igényel pl. a dimmelés és a fénysugár kék beállítás is. Az ilyen nagy pontosságot igénylő funkcióknál gyakran alkalmaznak 16 bites felbontást az adott DMX csatornára. (lásd bővebben a 3. fejezetben) Egyes LED-es intelligens lámpák mára elérték

a fémhalogén fényforrással rendelkező fényvetők teljesítményszintjeit, ezért a hűtésükre külön figyelmet kell fordítani. Különösen prózai színházakban a felhasználás szempontjából kritikus szempont az eszközök zajszintje, melyet leginkább a hűtőventillátorok hangja, valamint az effekttárcsák és maga a lámpatest mozgatása okozhat. A nagyteljesítményű fényvetőkben indokolt az aktív hűtés alkalmazása a lámpatestekben, azonban ezek különböző üzemmódjai már lehetővé teszik a csendes működtetést. A korszerűbb eszközök passzív folyadékhűtésű rendszert alkalmaznak a LED modulok hűtéséhez. A technológia alapja egy hővezeték, melyben folyadék van és egyik vége a hűtendő modul közvetlen közelében helyezkedik el. A LED modul által keltett hő hatására a folyadék elpárolog, a keletkező gőz a cső másik végén lévő hűtőbordák felé áramlik, ahol lecsapódik. A kondenzációs folyamat lehetővé teszi a hőelvezetést. [5] A kifejezetten csendes működést igénylő környezetbe szánt eszközök zajszintje nem haladja meg a 30 dB(A)-t. A nagyobb tudású, hibrid intelligens lámpák hátránya a bonyolult szerelhetőség és karbantartás, valamint egyes eszközök akár több, mint 50 DMX csatornát is elfoglalhatnak a DMX univerzumon a sok funkció miatt. Léteznek egyéb speciális kialakítású intelligens lámpák, melyek felhasználási területe főleg a színpadi effektek előállítása. Az egyik ilyen az ún. Beam light, mely igen nagy fényárammal és nagyon kicsi fénykilépési szöggel ($0-4^\circ$) rendelkezik, ezáltal egy koncentrált, párhuzamosított fénysugarat eredményezve. Ehhez koncentrált fénypontra és speciális legalább 3 lencséből álló optikai rendszerre van szükség. [2] Természetesen a színkeverési és effekt előállítási lehetőségek itt is adóttak. Gyakori megoldás a nagyságrendileg 10-30 W-os, RGBW multichip LED-ek tömbösítése változatos kivitelekben. Ez lehet a hagyományos PAR lámpatest kialakításokat követve ún. LEDpar, vagy a LED modulok egymás mellé szerelésével LEDbar kialakítás. Léteznek a Fresnel lencsés wash light-ok kiváltására mozgófejes lámpatestek is, amit legtöbbször kollimátor optikával szerelnek. Az ilyen tömbösített kialakítással rendelkező fényvetőket gyakran egymástól függetlenül címezhető és vezérelhető LED blokkok alkotják, lehetővé téve a pixel mapping funkciót, ami egy grafikai anyag képpontonkénti megjelenítését jelenti. [2] Szintén elterjedtek a hagyományos, nem mozgófejes lámpatest kialakítások (pl. profilámpák) LED modulokkal szerelve.



1.13. ábra. LEDPar, LEDbar, LED wash robot fényvetők [2]

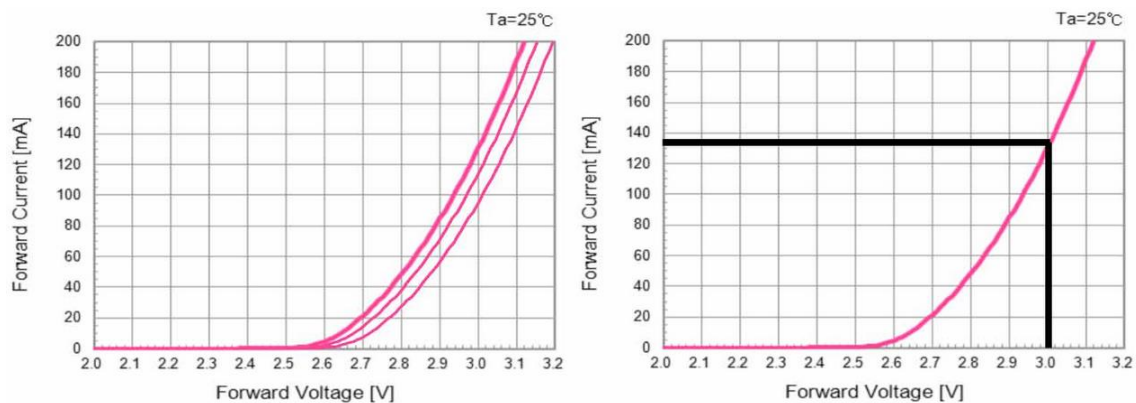
2. Az előadás elektromos hálózatának tervezése

A 2. fejezet áttekintést ad a darab elektromos hálózati tervezéséről, melynek alapja az előadáshoz használt LED szalagok kiválasztását követően a tápegységek terhelésének kiszámítása, majd a szükséges névleges teljesítmény meghatározása. A hálózati tervezés része a szabályzott és direkt áramköri csatlakozási pontok kialakítása, valamint az érintésvédelem megvalósítása. Mivel az előadás világításának jelentős részét a díszletben elhelyezett LED szalagok biztosítják, ezért a fejezet elején fontos áttekinteni a LED szalagok általános jellemzőit, felépítését, működését.

2.1 A LED szalagok felépítése és működése

A LED szalagok felületszerelt (SMD) gyártástechnológiával készülnek, a tokozott (pl. 5050) chipeket egy műanyag hordozójú flexibilis nyomtatott áramköri lapra (PCB) szerelik. A szalagon elhelyezkedő chippek lehetnek egyszínű fehérek, kétszínű fehérek (bicolor), színesek (RGB), illetve elterjedtek az RGBW-s szalagok is, melyek beltéri felhasználásra sokkal előnyösebbek a gazdagabb spektrális összetételük miatt. A megfelelő megváplálás mellett rendkívül fontos a LED szalagok hűtése a műanyag hordozó rossz hővezetése miatt. Az installáláshoz a szalag szélességéhez illeszkedő és diffúzorral ellátott alumínium profilokat szokás használni, amely nem csak a rögzítést, de a megfelelő hőelvezetést is biztosítja.

Áramköri tervezésnél, mint minden félvezető eszközzel történő tervezés során, a LED-nél is fontos figyelembe venni az áramerősség-feszültség görbét. (2.1 ábra) Mivel diódáról beszélünk az összefüggés a két mennyiség között nemlineáris, így nagyon kis változások a nyitóirányú feszültségben, már jelentős mértékben megnövelhetik a nyitóirányú áramot. A LED-ek munkaponti áramát tehát pontosan be kell állítani vagy megfelelő előtét ellenállással korlátozni kell. [6] A profi meghajtó áramkörök visszacsatolást tartalmaznak és így szabályozzák, valamint stabilizálják a munkaponti áramot. A megengedett meghajtó áram túllépése az aktív rétegben jelentősen megnöveli az áramsűrűséget, ami a lokális túlmelegedés miatt a LED tönkremeneteléhez vezet.



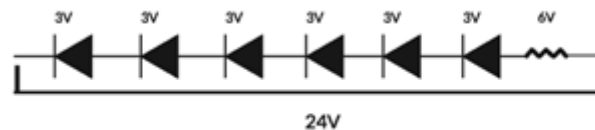
2.1. ábra. Dióda feszültség-áram karakterisztikája és munkapontja [5]

A LED-es áramkörök egyik lehetséges és gyakori megáplálási módja az áramgenerátoros meghajtás, ahol a kimeneti áram értéke stabil és állandó, a kapcsolófeszültség ennek függvényében adódik. Az áramköri kialakítás lehet analóg disszipatív áramgenerátoros táplálás, ahol a meghajtó áram egy stabilizátor IC-vel és egy soros előtét ellenállással állítható be. A másik lehetséges mód a kapcsolóüzemű áramgenerátoros táplálás, ami az előző módszerhez képest sokkal magasabb hatásfokú. Fontos figyelni arra, hogy áramgenerátoros táplálás esetén a működtetni kívánt fényforrások üzemi áramának meg kell egyezniük. [7] A LED-eket a tápegység kimenetére mindig soros kapcsolással csatlakoztatjuk és a működtetésükhöz szükséges teljesítmény természetesen a csatlakoztatott eszközök számából adódik. A nagyteljesítményű LED-ek működtetése áramgenerátoros táplálással ajánlott, a jellemző értékek 100 mA, 350 mA, 700 mA.

A táplálás másik lehetséges módja a feszültséggenerátoros megáplálás. A kisteljesítményű LED-ekhez jellemzően feszültséggenerátoros megáplálás ajánlott, tipikusan 8 V, 12 V, 24 V, 48 V feszültségekkel. Ebben az esetben a kimeneti feszültség értéke állandó és ennek, valamint a LED nyitófeszültségének megfelelően alakul ki a munkaponti áram. Állandó feszültség mellett eltérő meghajtó áramok beállítására csak a LED-ekkel sorba kapcsolt áramkorlátozó ellenállások beiktatásával van lehetőség, melyek osztótagként fognak viselkedni. [7] Az ellenállás feszültség-áram görbéje lineáris összefüggést mutat, tehát kis feszültségváltozáshoz kis áramváltozás tartozik. Ez azért előnyös, mert a LED-ek nyitóirányú árama melegedés hatására (állandó feszültséget tartva) emelkedik, de az ellenállás ezt a jelenséget képes csökkenteni. Szintén fontos, hogy egy esetleges feszültségváltozást ne kövessen jelentős áramváltozás, így ennek elkerülése érdekében a tápegységek kimenetén stabilizált feszültséget kell biztosítani. [6]

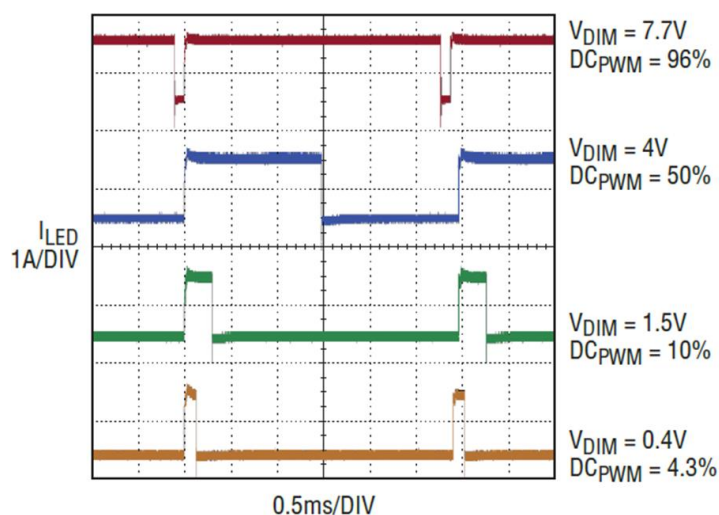
A LED szalagok jellemzően 12 V vagy 24 V (esetként 48 V) egyenfeszültségről üzemeltethetőek. Mivel az áramgenerátor kimenetén a feszültség értéke változhat, ezért nem alkalmas LED szalagok működtetésére, itt kifejezetten feszültséggenerátoros táplálást kell alkalmazni. A tápegységek bemeneti csatlakozása lehet hálózati (230 V) vagy (transzformátoron keresztül) kisfeszültségű (12-24 V), a kimenetére a működtetni kívánt LED-eket polaritás helyesen kell bekötni figyelembe véve az eszköz terhelhetőségét.

Egy LED szalag esetén a 12 vagy 24 V-os működtető feszültség az egyes áramköri elemek feszültség értékeiből valamint azok elhelyezéséből adódik. Például egy 3 V-os nyitófeszültségű LED-et alapul véve 3 db sorba kapcsolt LED és egy előtét ellenállás (amin szintén 3 V esik) fogja kiadni a 12V-ot. Ha ebből a blokkból még egyet sorba kapcsolunk a feszültség 24V lesz. Az blokkok párhuzamos kapcsolása esetén minden ágra 24V feszültség jut, a főági áramot az egyes ágáramok összege jelenti. A különféle LED szalagok konfigurációja jellemzően hármas vagy hatos blokkok párhuzamos kapcsolásával valósul meg. A következő ábra ezt a kialakítást szemlélteti: [8]



2.2. ábra LED szalagok tipikus konfigurációja [6]

A következő vizsgálandó szempont a LED-ek dimmelésének lehetősége. A fényáram megváltoztatása olyan elektronika alkalmazásával lehetséges, mely ún. PWM-et (Pulse Width Modulation), azaz impulzus-szélesség modulációt valósít meg. Az eljárás lényege, hogy a generátor kimeneti feszültségét és áramát, a táp és a LED szalag között lévő vezérlő folyamatos, nagy frekvenciájú be-és kikapcsolásával szabályozzák. Ebben az esetben nem a LED-en átfolyó áram nagyságát változtatjuk, hanem az áramimpulzusok kitöltési tényezőjét, (2.3.-as ábra) így a fogyasztóra jutó teljesítmény nagysága is ettől függ. [7] Ez fizikálisan a LED-ek állandó kapcsolgatását jelenti, azonban a jobb minőségű, nagy frekvenciával működő eszközöknél az emberi szem az ebből eredő villogást a fúziós frekvencia felett nem veszi észre, hiszen a Talbot-törvény értelmében beérkező impulzusokat integrálja és egy átlagolt fénysűrűséget észlel. [9]

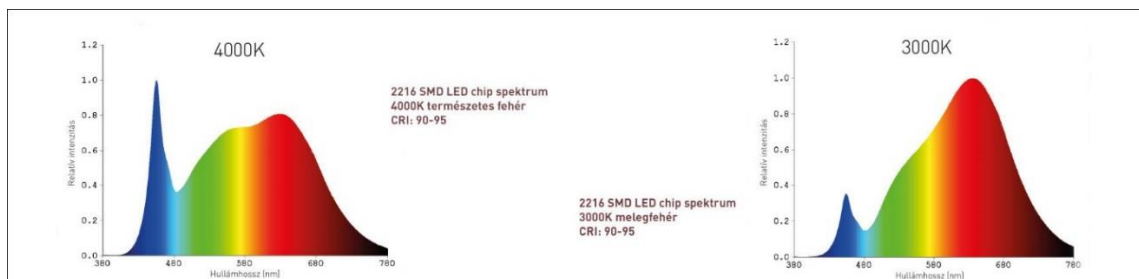


2.3. ábra. PWM jelalakok különböző kitöltési tényezőkkel [7]

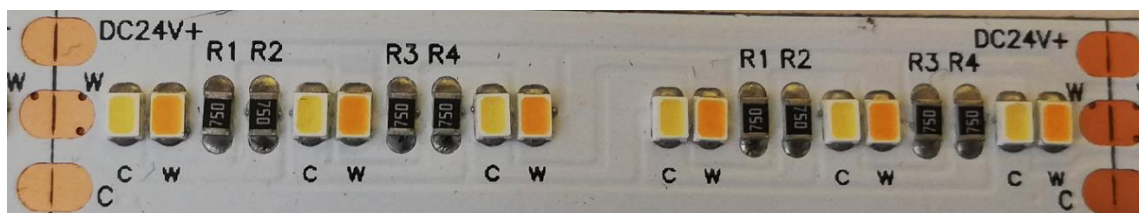
A tervezési szakasz fő elemei a díszlet alapvilágítása és hatásvilágítása LED szalagokkal, valamint további, az adott térbe illeszkedő lámpatestek és fényforrások alkalmazása a díszletben. A látványtervezővel egyeztetve a szobák alsó és felső részén bicolor LED szalagok kerültek beépítésre a szobák ívét követve, a függőleges élek mentén pedig mindkét oldalon RGB-s szalagok kaptak helyet. Mivel a szobák alapvilágítását legtöbbször a bicolor szalagok adják, ennek kiválasztására nagy figyelmet kellett fordítani. Fontos szempont a megfelelő teljesítmény és fényáram, a változtatható színhőmérséklet, a kiváló színvisszaadás, hogy a különféle díszletelemek, jelmezek színe ne torzuljon, a színek élénkek és természetesek legyenek.

2.2 A kiválasztott LED szalagok villamos és fotometriai adatai és elhelyezésük

A kiválasztott bicolor LED szalag **2216-os** (2,6 x 1,6 mm-es) hideg és meleg színhőmérsékletű SMD LED-eket tartalmaz színhőmérsékletenként hármásával sorba kötve és egy hármas egységre két előtét ellenállást kapcsolva. A szalag szélessége 10 mm. A teljesítmény **19,2 W/m**, a működtető feszültség **24V**. Fényárama **1510 lm/m**. Ez az értéket mindkét chip teljes kivezérlése esetén érvényes (külön chipre lebontva nem szerepel), ami a gyakorlatban ritka, így az érték felével lehet kalkulálni. A színhőmérséklet **2200 K-től 6500 K-ig** változtatható. A katalógus alapján a színvisszaadása kiváló (**CRI > 90**). A spektrális eloszlást a következő ábra szemlélteti:



2.4. ábra. A kiválasztott bicolor LED szalag spektrális eloszlása [8]



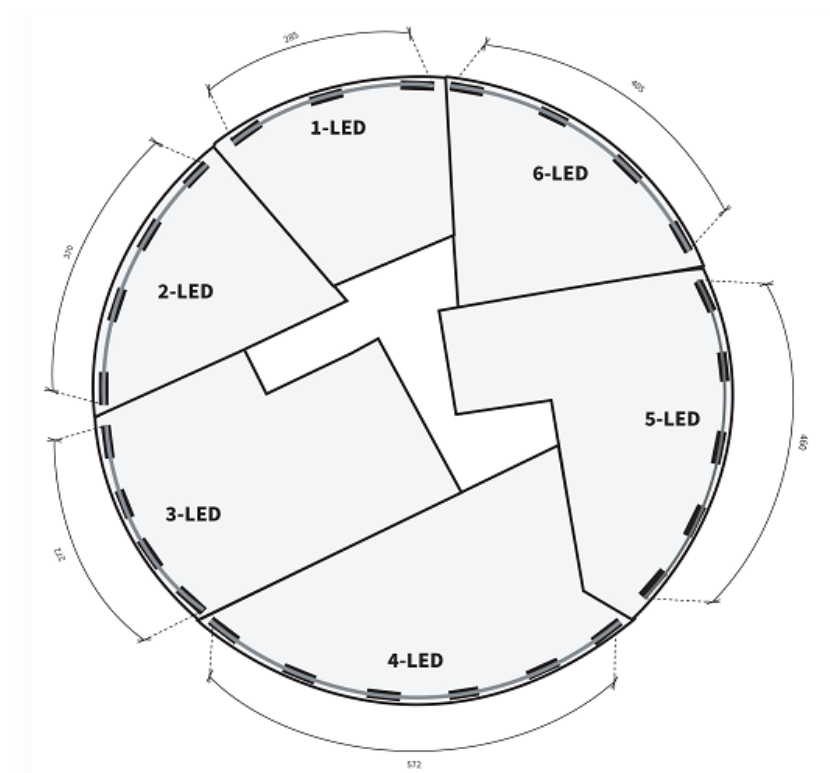
2.5. ábra. A kiválasztott bicolor LED szalag felépítése [8]

Az RGB szalag estén a tokozás **5050-es**, a három színkomponenst előállító LED-ek egy tokban kaptak helyet. Ezek a szalagon hatos blokkokat alkotnak, színenként soros előtét ellenállással. Adatokat tekintve a teljesítmény **14,4 W/m**, a működtető feszültség **24V**. A LED-ek száma egy méteren 60 db, a szalag 10 mm széles, a fényárama **480 lm/m**.



2.6. ábra. A kiválasztott RGB LED szalag felépítése [9]

Következő lépésként a szalagok működtetéséről kell gondoskodni. A megfelelő névleges teljesítményű tápegységek kiválasztásához azonban ismerni kell a pontos méreteket, melyet a díszletterv tartalmaz. Továbbá biztosítani kell a LED-ek szabályozhatóságát és vezérlését is. A 2.7.-es ábra a szobák elrendezését szemlélteti a forgón. A jelölt méreteken kívül fontos adat a szobák magassága, ami 3,5 m. A szobák nyílásánál az alsó és felső íven bicolor, az függőleges éleken RGB LED szalag helyezkedik el. A szalagok pozicionálásához és hűtéséhez szükséges, felületre szerelhető U aluprofilok rögzítése 35 cm széles fekete parapetekhez történik, melyek a plafonhoz és a padlóhoz illeszkednek. Ugyanezt a módszert alkalmaztuk az oldalsó szalagok telepítésénél is. A kiválasztott dőlésszög mindkét esetben 45°. A profilokra opál diffúzor került a minél homogénebb fényeloszlás érdekében, azonban ez fényáram csökkenéssel is jár.



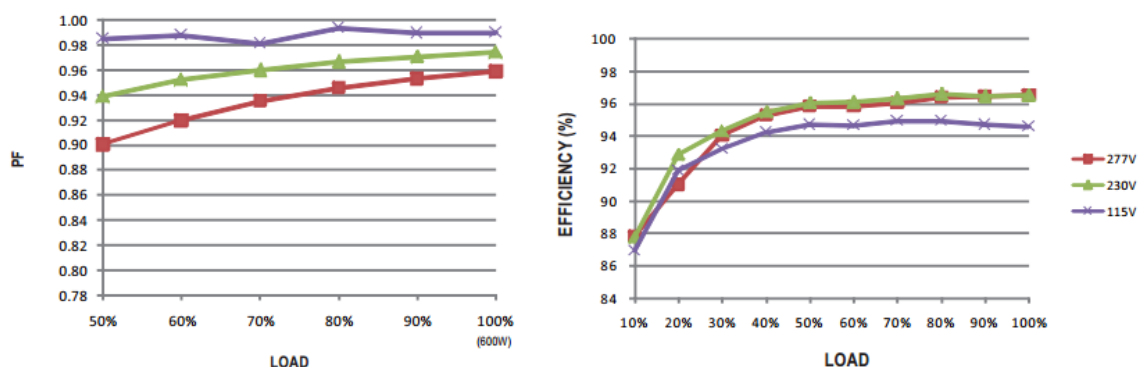
2.7. ábra. A szobák elhelyezkedése a színpadi forgón [10]

2.3. A hálózati tervezés és kivitelezés

2.3.1. A tápegység és vezérlő kiválasztása, a szobák alapvilágításának kialakítása

A tápegységek kiválasztásánál fontos áttekinteni a különféle minőségi paramétereket. A választásnál előnyt jelentett, hogy az eszközök elektronikus, kapcsolóüzemű tápegységek. A kapcsolási ciklus frekvenciája a 600 W-os egységeknél 70 kHz, a 320 W-osnál pedig 65 kHz. A kapcsolóüzemű tápok a bemeneti feszültség ingadozását bizonyos mértékig (100-240V között) megengedik, rendelkeznek rövidzár védelemmel, valamint túlfeszültség- és túlterhelés védelemmel is, ezenkívül tartalmaznak zavarűzűrt, PFC-t (teljesítménytényező javítást) és DC/DC átalakítót is. Az eszközök képesek feszültséggenerátoros és áramgenerátoros üzemmódban is működni. A hatásfok és a teljesítménytényező (PF), valamint a THD terhelésfüggő, melyhez a gyártó grafikonokat

biztosít.



2.8. ábra. A kiválasztott tápegység terhelésfüggő grafikonjai [11]

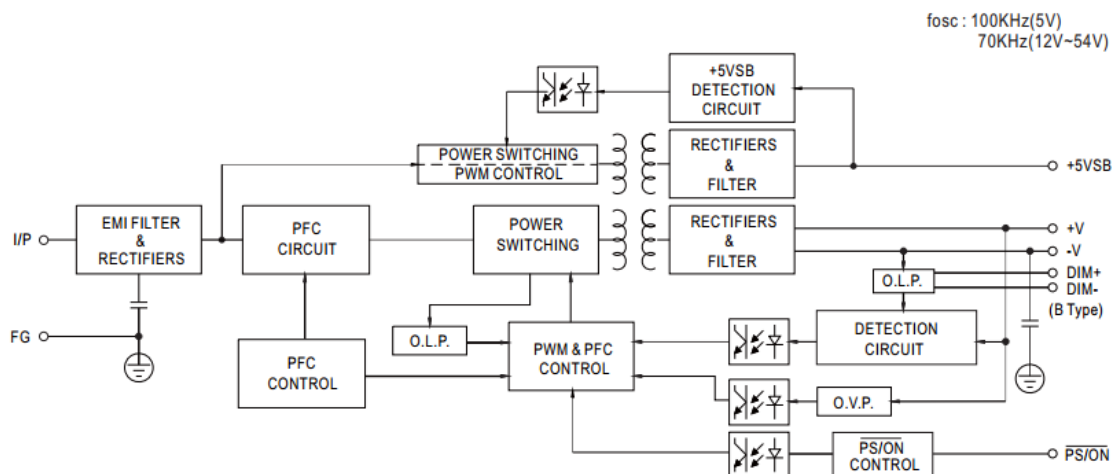
A megfelelő hatásfok és teljesítménytényező, valamint az alacsony THD biztosítása érdekében a tápegységeket a névleges teljesítményükhöz képest 50 és 80 % között érdemes terhelni. A szobák alapvilágításához szükséges méretezési számításokat a 2.1.-es táblázatban foglaltam össze.

2.1. táblázat. A LED tápegységek méretezéséhez szükséges adatok

LED szalag	bicolor, 19,2 W/m	RGB, 14,4 W/m		
szoba	hosszúság (alul + felül)	magasság (2 oldalél)	feszültség	összes teljesítmény
1	2,85 m*2 = 5,7 m	3,5 m*2 = 7m	24 V	5,7*19,2+7*14,4 =210,24 W
2	3,7 m*2 = 7,4 m	3,5 m*2 = 7m	24 V	7,4*19,2+7*14,4=242,88 W
3	2,72 m*2 = 5,44 m	3,5 m*2 = 7m	24 V	5,44*19,2+14,4*7=205,25 W
4	5,72 m*2 = 11,44 m	3,5 m*2 = 7m	24 V	11,44*19,2+7*14,4=320,45 W
5	4,6 m*2 = 9,2 m	3,5 m*2 = 7m	24 V	9,2*19,2+7*14,4=277,44 W
6	4,05 m*2 = 8,1 m	3,5 m*2 = 7m	24 V	8,1*19,2+7*14,4=256,32 W

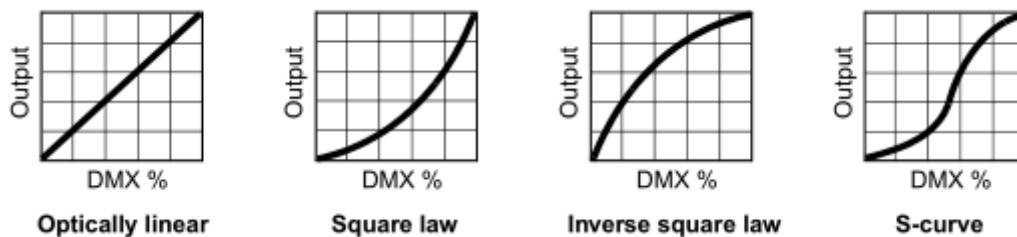
Ennek megfelelően az első, második, harmadik szoba esetében **Mean Well HLG 320H-24A 320 W**-os, míg a többi szoba esetén **Mean Well HLG 600H-24A 600 W**-os tápegységek kerültek beépítésre. A 320 W-os egységek 13,34 A-ig, a 600 W-os tápok 25 A-ig terhelhetők 24 V kimeneti feszültség mellett. A hálózati oldalon az áramfelvétel meghatározásához az eszközök egyidejű, teljes terhelésével kell kalkulálni. Az eszközök biztonsági SELV tápegységnek minősülnek, így a III. érintésvédelmi osztálynak

megfelelő érintésvédelmi törpefeszültséget biztosítanak. A következő ábrán a 600 W-os tápegység blokkvázlata látható.



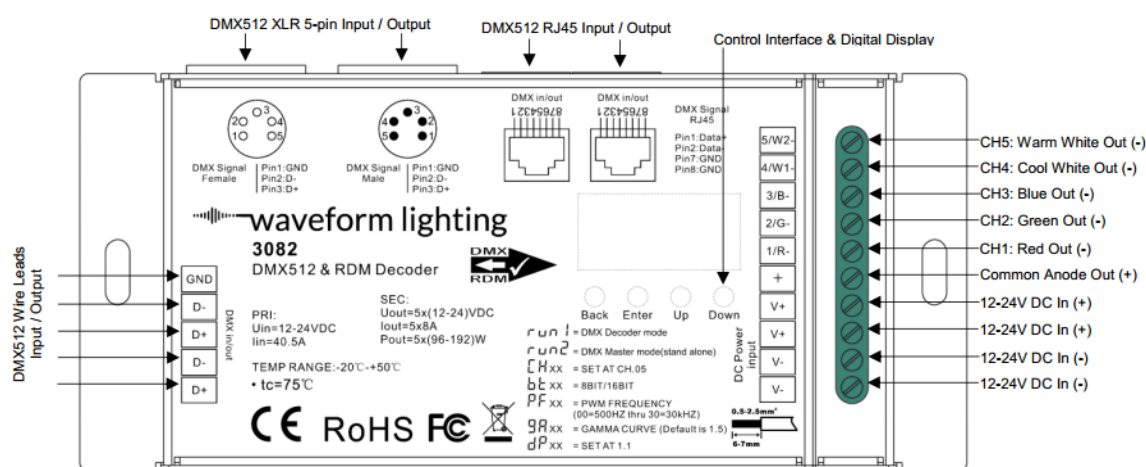
2.9. ábra. A kiválasztott tápegység működési blokkvázlata [12]

A tápok fix feszültségű kimenete közvetlenül egy **DMX512 LED Dimmer / Decoder** eszközre csatlakozik, mely a LED szalagok vezérlését végzi. A vezérlési rendszer részletes bemutatására a következő fejezetben kerül sor. A vezérlő 12 vagy 24 V-ról képes üzemelni (ez esetünkben 24 V-ot jelent) és öt különálló kimeneti csatornával rendelkezik, melyek a már korábban említett PWM eljárással képesek a LED-ek dimmelésére. A kimeneteket DMX512 protokollon keresztül vezérelhetjük, ezen kívül egy beépített interfész is rendelkezésre áll a manuális beállításhoz. A PWM frekvencia megválasztásánál fontos, hogy ne csak az emberi szemnek, hanem más képalkotók (pl. kamerák) számára is villogásmentessé tegyük az érzékelt fényt. A frekvencia 500 Hz és 30 kHz között változtatható, emellett beállítható a PWM felbontása is 8 vagy 16 bites állapotra, annak megfelelően, hogy mennyire szeretnénk finom felbontást a dimmelésre. Természetesen a nagyobb felbontás került kiválasztásra, ami kisebb lépcsőket eredményez a lehetséges dimmer állapotok között, így elkerülhetővé válnak a szemmel látható ugrások, melyek különösen az alsó tartományokban lennének érzékelhetőek. Egy külön menüpontban a dimmelésre egy görbe is megadható, ami akkor lehet előnyös, ha egy más típusú fényforrás (pl. izzólámpa) karakterisztikájához szeretnénk igazítani a LED dimmelését. Mivel az emberi szem logaritmikusan érzékeli a fényt, az exponenciális görbe ad lineáris érzetet.



2.10. ábra. A vezérlőn beállítható különböző dimmer karakterisztikák [13]

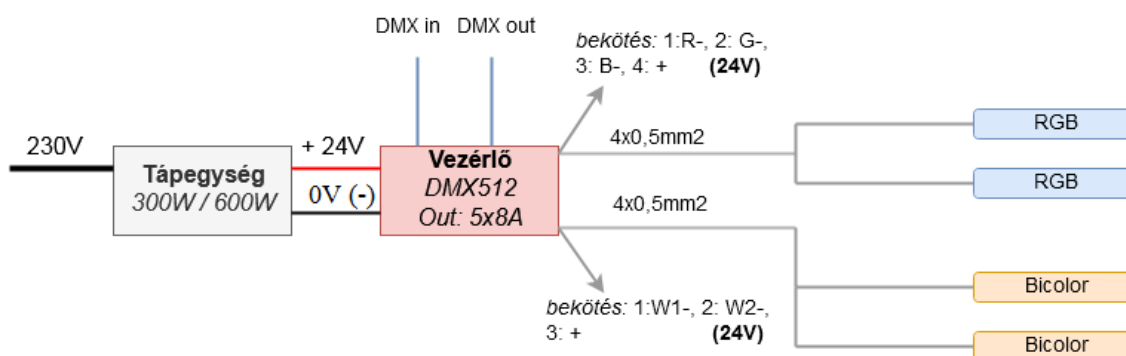
A vezérlő minden kimenetén maximum 8 A terhelhetőséget enged meg. Az áramfelvétel fix 24 V feszültség mellett a teljesítményekből adódik és mindig csatornánként értendő. A következő ábra a felhasznált vezérlő csatlakozó felületeit és az adattábláját szemlélteti.



2.11. ábra. A kiválasztott DMX vezérlő csatlakozófelületei [13]

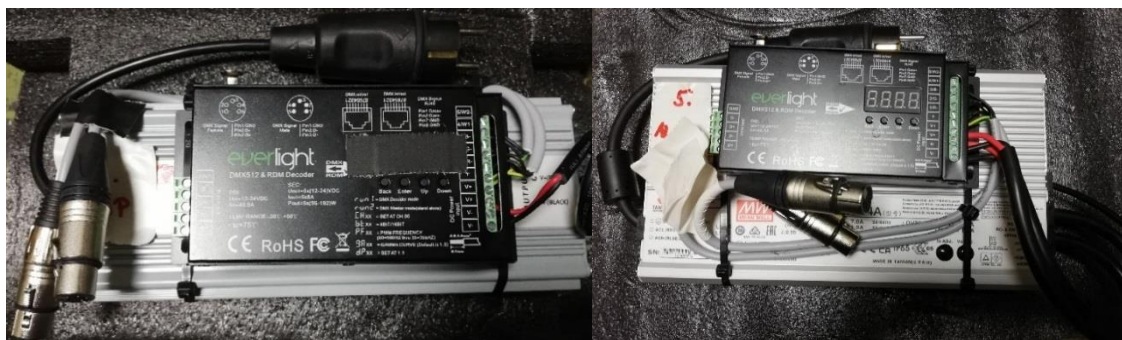
A kábelezés megvalósításánál figyelembe kell venni, hogy a kis feszültség és nagyobb teljesítmények miatt nagyobb lesz az áramerősség a $P=U \cdot I$ összefüggésnek megfelelően, így megfelelő kábel keresztmetszetet kell választani. A vonatkozó szabvány szerint a C csoportba tartozó, szabadon szerelt kábelek esetén a $0,75 \text{ mm}^2$ kábelkeresztmetszet 16 A-ig terhelhető, így az adott áramfelvételekhez elegendőnek bizonyul. A RGB-s szalagok miatt négyeres vezetékezésre van szükség. A túl nagy kábelhosszak feszültségesést eredményeznének, így minden szoba esetén az alsó és felső, valamint a két oldalsó LED szalaghoz Y elosztókábel készült a többpontos betápláláshoz. A 600 W-os egységek esetén a vezérlőt két vezetéken keresztül kell betáplálni a sorkapcsok felől. Ennek oka, hogy a nagy teljesítmény esetén kis feszültség mellett nagy áramok folyhatnak, amihez a szükséges keresztmetszetet a sorkapocs a könnyebb szerelhetőség miatt nem teljesíti, így a terhelést két vezetékre kell megosztani. A sorkapcsok kimeneténél az RGB szalagok esetén 4 pólusú, a bicolornál 3 pólusú XRL csatlakozó került felhasználásra. Ez a típusú

csatlakozó stabil, tartós kontaktust biztosít, valamint az építésnél, bontásnál nagy könnyebbséget jelent, hogy a kontaktus könnyen létesíthető és bontható. Minden LED szalag és LED tábla a betáplálási pontjánál, a vezérlő a kimeneténél egyaránt XLR csatlakozókat kapott. Nem csak a vezetékeknél, hanem a csatlakozók esetében is fontos ellenőrizni a terhelhetőséget. A kiválasztott csatlakozó szériánál az adatlap alapján mindkét csatlakozófajta 10 A-ig terhelhető 50 V mellett. A hat szoba alapvilágításához összesen 3 db 600 W-os és 3 db 320 W-os tápegység, valamint 6 db vezérlő került beépítésre. A következő ábra az áramköri kialakítás blokksémáját mutatja be, amely minden szobánál hasonló elvet követ.



2.12. ábra. A szobák világításának áramköri blokkvázlata (saját szerkesztés)

A kivitelezést követően a tápegységeket a hozzáépített vezérlőkkel a következő képek szemléltetik.



2.13. ábra. Az elkészült tápegységek vezérlőkkel és csatlakozókkal (saját szerkesztés)

2.3.2. A szobák hatásvilágításának kialakítása

A LED szalagokkal történő világításánál nem csak az alapvilágítás biztosítása volt igény, hanem, hogy egyéb fényhatásokkal is kiegészítsük a világítási képeket. Ezek főleg az ablakokon keresztül bevilágító fény érzékeltetését jelentik. Ezt a hatást az ablakok mögé elhelyezett, táblákra szerelt LED szalagok keltik. Szintén hasonló módon lett

megvalósítva az ötödik szoba (kórterem) mennyezeti világítása, amely álmennyezetre szerelt LED panelek hatását kelti. Minden esetben a táblákra a LED szalagok 15 cm-es mélységben kerültek felragasztásra egymás alatt 3-4 sorban, soronként párhuzamosan kötve. A tábla hátulja a hűtés érdekében a teljes felületén alumínium lap, a takarás a homogén fényeloszlás biztosításához pedig opál plexilap. A plexi további előnye, hogy jelentősen csökkenti a fénypontok láthatóságát is. A harmadik szoba egy gardróbszoba, amely az alapvilágítás mellett polcvilágítással lett ellátva, szintén LED szalagok felhasználásával.

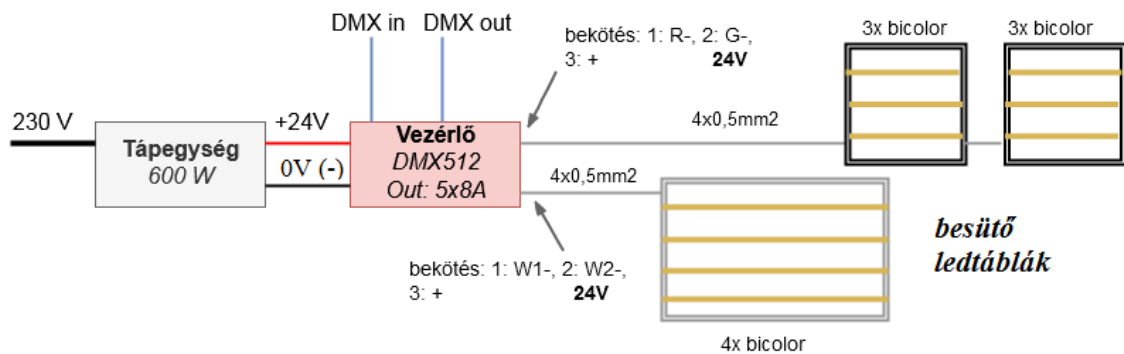
A szobák hatásvilágításához szükséges méretezési számításokat a 2.2. táblázat tartalmazza.

2.2. táblázat. A hatásvilágítás LED szalagjaihoz szükséges tápegységek méretezési adatai

LED szalag		bicolor, 19,2 W/m		
szoba	funkció	hosszúság	feszültség	össz. teljesítmény
1	ablakkeret világítás	$2*70\text{cm} + 1*100\text{cm} = 2,4 \text{ m}$	24 V	$2,4*19,2 = 45,6 \text{ W}$
2	ablak besütő	$4*110 \text{ cm} = 4,4 \text{ m}$	24 V	$4,4*19,2 = 84,48 \text{ W}$
3	polcvilágítás	9,2 m	24 V	$9,2*19,2 = 176,64 \text{ W}$
5	álmennyezeti panelek	$6*(3*50\text{cm}) = 9 \text{ m}$	24 V	$9*19,2 = 172,8 \text{ W}$
5	ablak besütő	$4*120\text{cm} = 4,8 \text{ m}$	24 V	$4,8*19,2 = 92,16 \text{ W}$
6	ablak besütő	$4*210 \text{ cm} = 8,4 \text{ m}$	24 V	$8,4*19,2 = 161,28 \text{ W}$

A teljesítmények kiszámítása után került sor a tápegységek és vezérlők kiosztására, hasonló módon, mint az alapvilágítás esetén. Ennek megfelelően az ötös szobához, a bevilágító és a mennyezeti világítás üzemeltetéséhez egy 600 W-os tápegység és egy vezérlő került beépítésre. Szintén 600 W-os egységről és közös vezérlőről működik a hatos szoba ablak bevilágítója, valamint a polcvilágítás a gardróbba. Az első szobában igény volt a külső és a belső ablakkeret külön vezérelhetősége, így egy külön 320 W-os tápegységet kapott vezérlővel. A második szoba bevilágítója szintén 320 W-os tápról és

egy külön vezérlőről üzemel. A négyes számú szoba nem tartalmaz LED szalagos fényforrást az alapvilágításon kívül. Mivel a vezérlők ötcsatornás egységek, ezért lehetőség volt két külön hatásvilágítási elemet ugyanarról a vezérlőről üzemeltetni, hiszen a bicolor szalagok működtetéséhez 2-2 csatorna elegendő. Az alábbi ábra az ötös szoba hatásvilágításának áramköri kialakítását szemlélteti.



2.14. ábra. A hatásvilágítási egységek felépítésének áramköri blokkvázlata (saját szerkesztés)

2.3.3. Egyéb fényforrások és lámpatestek felhasználása

A szobákba a LED szalagokkal megvalósított hatásokon kívül egyéb fényforrások és lámpatestek is telepítésre kerültek az adott tér látványának fokozása érdekében. Erre a célra a látványtervező olyan eszközöket választott ki, melyek minél inkább illeszkednek az adott környezetbe. Ezeket az eszközöket azért kezelem külön, mert működtetésük már hálózati feszültséget igényel. Természetesen itt is igény volt, hogy az egyes fényforrások külön szabályozhatóak legyenek.

A következő táblázat a díszletbe épített egyéb fényforrások és lámpatestek adatait foglalja össze.

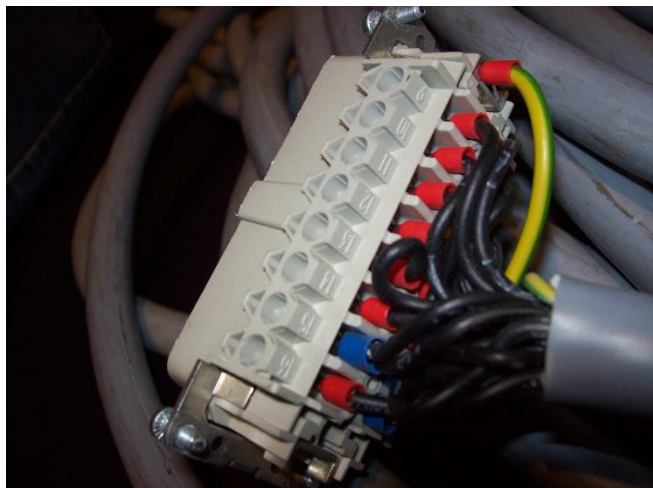
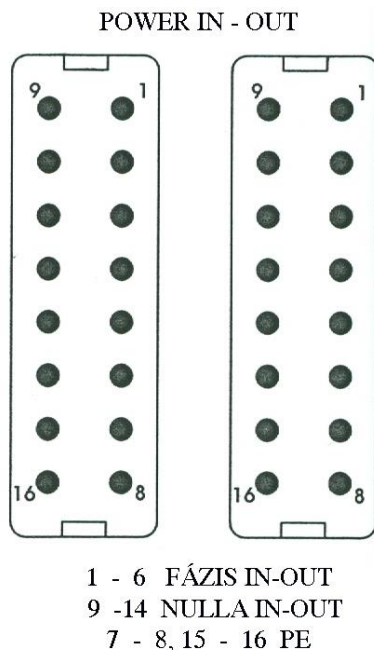
2.3. táblázat. A díszletbe beépített egyéb fényforrások és lámpatestek adatai

szoba	fényforrás	lámpatest
1	4 db T8 (G13) dimmelhető LED cső, 22 W, 230V, 2000 lm, 4000 K, CRI>80, 160°	2db ipari lámpatest 2 db T8 (G13) LED csőhöz, egyoldalas betáp, PC diffúzor
2	1 db E27, dimmelhető LED fényforrás, 17W, 230V, 1521lm, 4000 K, CRI>80, 200°	fehér, beton függeszték, E27 foglalattal
3	1 db dimmelhető SMD LED modul, 60W, 230V 4900 lm, 4000 K, CRI>80, 120°	LED mennyezeti „ufo” lámpa
4	2 db dimmelhető SMD LED spotsor 13,5 W, 230V, 1080 lm, 2700 K, CRI>90, 38°	2 x 5 db mennyezeti spotlámpa, forgatható karral
6	3 db T8 (G13) dimmelhető LED cső, 22W, 230V, 2000 lm, 4000 K, CRI>80, 160°	ipari lámpatest 2 db T8 (G13) LED cső-höz, egyoldalas betáp, diffúzor nélkül

Mivel a felsorolt fényforrások mind dimmelhetőek és a LED-ek fényáram szabályozásának egyik lehetséges módja a fázishasításos dimmelés, ezért a működtetésükhöz és szabályzásukhoz egy hat csatornás **LOGEN LDD0623HT** digitális dimmert használtam, mely ezen az elven működik. Az eszköz kimeneti terhelhetősége csatornánként 2300 W. Ennek megfelelően egyidejű maximális terhelést feltételezve szabványos háromfázisú (3x400 V, 32 A) betáplálásra van szükség. Mivel ebben az esetben a fényforrások teljesítménye nagyon kicsi és a forgón nem található háromfázisú betáplálási pont, a hálózati sorkapocsnál a dimmer betáplálását egyfázisúra alakítottam át. Szintén fontos, hogy a lineárisabb szabályzás érdekében a kimeneteken valódi ohmos terhelés is legyen, ezért minden csatornára egy 40 W-os hagyományos izzó került műterhelésként a LED-ekkel párhuzamosan kötve. A műteher használata ugyancsak előnyös abból a szempontból, hogy kis terhelések esetén a triak szivárgó feszültsége zavarokat kelthet, villogást okozhat. A dimmer előfűtés funkciója, mely egyébként a halogén izzók élettartamának javításához járul hozzá, itt kikapcsolásra került. A

vezetékezés szintén 0,75 mm² kábelekkel történt, a csatlakozók ebben az esetben 230 V/16 A HT dugvillák, amely a dimmer szintén HT csatlakozó aljzataihoz illeszkedik.

A megtáplálendő eszközök nagy része a forgón helyezkedik el és a folyamatos mozgások miatt a kialakított színpadi áramkörök nem használhatóak. A forgón található egy áramköri csapda, melyben két szabályzott csatlakozási pont található. A LED szalagok működtetéséhez szükséges tápegységek mindegyike direkt megtáplálást igényel, a szabályzott áramkör erre nem alkalmas, valamint nem minden kapcsolóüzemű tápegységek tolerálja a triakos kapcsolóelemeket. Habár a fázishasítás elvén működő modernebb dimmerek a megfelelő beállításokat követően használhatóak direkt áramköri üzemmódban, jobb megoldást jelentett, hogy a szabályzott áramkörök dimmer egysége egy hibrid dimmer egységre lett kicserélve. Ebben az esetben a kimeneti feszültséget nem egy fázisszög vezérelt triak, hanem egy kapcsolható mágneskapcsoló adja, így alkalmas a direkt 230V-os megtáplálásra. A hibrid eszközök 12 csatornás digitális dimmerek 12x2.5 kW-os terhelhetőséggel. Az eszköz a megfelelő üzemmódba állítva biztosítja a forgón a direkt áramköri táplálást. A betáplálás ebben az esetben is 3x32 A és a kimeneten 2 db 16 pólusú HARTING csatlakozó található. Egy ilyen csatlakozási ponton 6 áramkör továbbítására van lehetőség. A kábel kiosztása: 1-6 éren a fázis, a 7-12 éren a nullavezető, a 13-14-15-16 ereken pedig a védővezető továbbítása történik. A vezeték tartalmaz még két eret melyek a fém csatlakozóház földelését biztosítják. A 1,5 mm² átmérőjű vezető szálakat a stabil bekötés biztosításához minden esetben érvéghüvellyel kell ellátni. A kábelek a dimmerekből egy erősáramú elosztószekrénybe kerülnek, ahol egy sorkapocs segítségével már a színpadi vezetékezéshez csatlakoznak, melynek végpontjai 230V-os szabályzott áramkörök. A színpad felé vezető kábelek külső árnyékolással vannak ellátva a nagyfrekvenciás zavarás kiszűrése céljából. A színpadi forgó két áramköre csúszógyűrűs megoldással lett kialakítva, ami biztosítja az energia továbbítását egy álló és egy forgópont között. A végpontok a forgón egy színpadi csapdában találhatóak.



2.15. ábra. A harting csatlakozó felépítése és bekötése (saját szerkesztés)

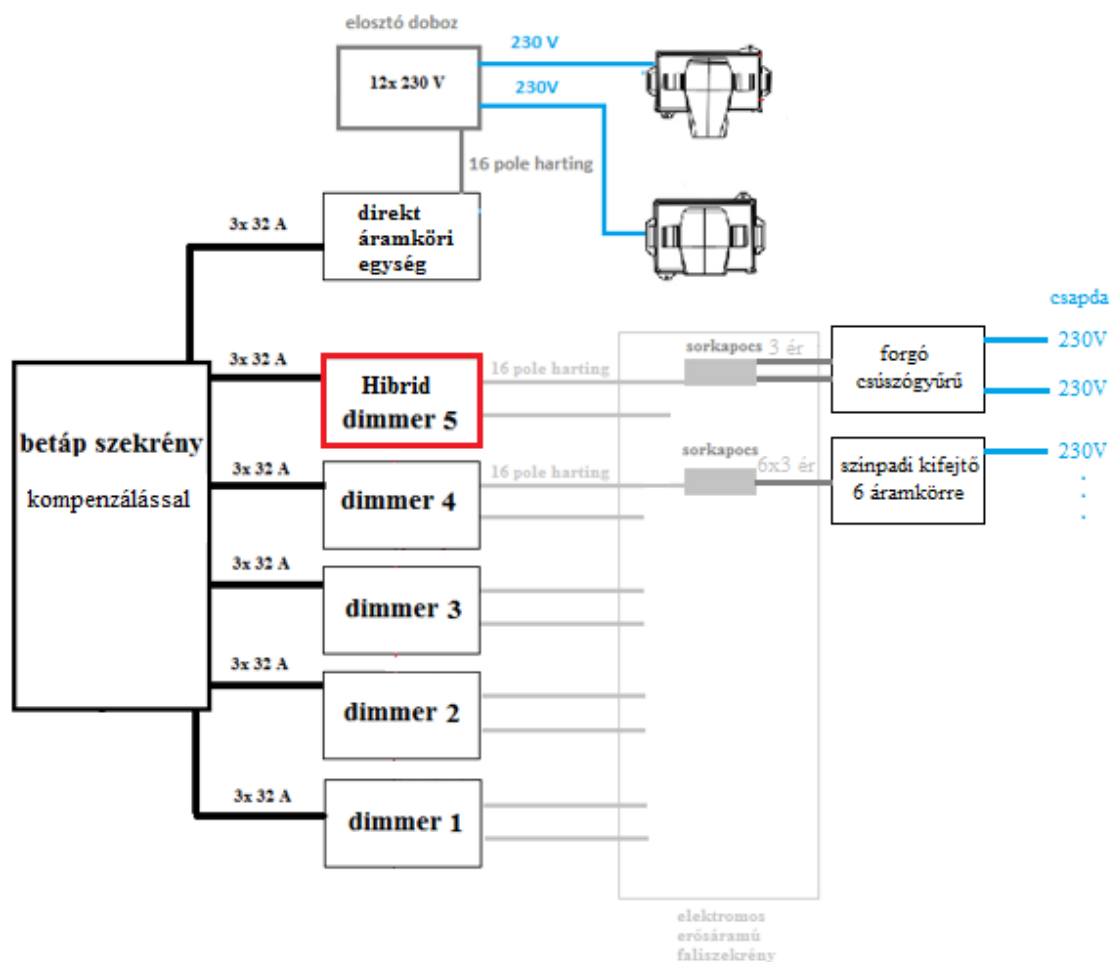
A színpadon a frontvilágítást 10 db **Ayrton Ghibli TC** intelligens robotlámpa biztosítja. A robotlámpák direkt áramkörökön keresztül, egy **PLS POWER SCAN 32**-ről kapnak tápellátást. Az eszköz szintén 3x32 A-es betáppal rendelkezik és 12 db 10 A-re biztosított kimenete van, ami így 12 robotlámpát képes meg táplálni két HARTING kábelén és két 6 áramkörös elosztó dobozon keresztül. Egy robotlámpa teljesítményfelvétele az adatlap alapján 1000 W és mindig egyidejű terhelésnek kell tekinteni őket. Ez 10 lámpa esetén 10000 W. Ez 230V-os hálózati feszültségen összesen 43,48 A áramfelvételt jelent, amely három fázisra szétosztva 14,5 A fázisonként. Egy lámpa áramfelvétele 4,35 A, tehát egy 10 A-re biztosított áramkörrel akár két eszköz is üzemeltethető lenne, azonban célszerű minden lámpát külön biztosítani, hogy egy esetleges meghibásodás esetén a védelmi elektronika ne kapcsoljon ki más, nem meghibásodott eszközt.

A teljes betáplálás áttekintéséhez szükséges ismerni az előadásban felhasznált összes eszköz teljesítményét. A maximális áramfelvétel meghatározásánál mindig a fogyasztók egyidejű működését vesszük alapul. Az eredő áramfelvétel állandó 230 V-os hálózati feszültség mellett mindig az adott eszköz teljesítményétől függ. A tápegységekből a korábban ismertetett szétosztásnak megfelelően 5 db 600 W-os és 5 db 320 W-os került felhasználásra. A terhelés egyenletes szétosztása miatt az egyik direkt áramkörre 4 db 600 W-os a másikra 1 db 600 W-os és 5 db 320 W-os, valamint a dimmer csatlakozik.

Mivel a korábbi táblázatokból látszik, hogy a tápegységek minden esetben túl lettek méretezve, a tényleges áramfelvételt a táblázatok teljesítmény értékeiből számítottam:

- szobák alapvilágítása: 1513W , 6,58A
 - szobák hatásvilágítása: 733W, 3,19A
 - szobák világítása dimmerről (műterhekkel együtt): 498W, 2,16A
 - 10 db robotlámpa: 10.000W, 43,48A
-
- **A teljes áramfelvétel: 55,41A,** színházi viszonylatokat tekintve kis fogyasztásnak tekinthető, hiszen a világítás nem hagyományos fénycsővel, hanem szinte kizárólag LED-es eszközökkel történik.

A következő ábra a betáplálás és az elosztó hálózat kialakítását mutatja be:



2.16. ábra. A színház betáplálási rendszerének blokkvázlata (saját szerkesztés)

A tervezésnél fontos szempont, hogy gondoskodjunk az eszközeink illetve a felhasználók védelméről is. Ennek egyik lehetséges megvalósítása a kismegszakítók alkalmazása,

melyek a túláram és a zárlat ellen nyújtanak védelmet. Túláram, túlterhelés esetén a megengedett áramerősségtől jóval nagyobb áram folyik, amit az adott eszközzel szembeni megnövekedett igénybevétel okoz és mindig egy hosszabb folyamat eredménye. Tartós fennállása a kábelek túlmelegedéséhez vezethet. A zárlati áramok jellemzően nagyon rövid idő alatt alakulnak ki, akkor, ha két egymástól eltérő potenciálú vezető kerül egymással galvanikus kapcsolatba egy áramköri vagy szigetelési hiba kapcsán. Megkülönböztetünk fázis-fázis, fázis-nulla vagy fázis-föld között létrejövő zárlatot. Zárlati áramok esetén szintén a megengedett névleges áramok többszörösei folyhatnak, melyek a vezetékek terhelhetőségét jelentősen túllépik. [10]

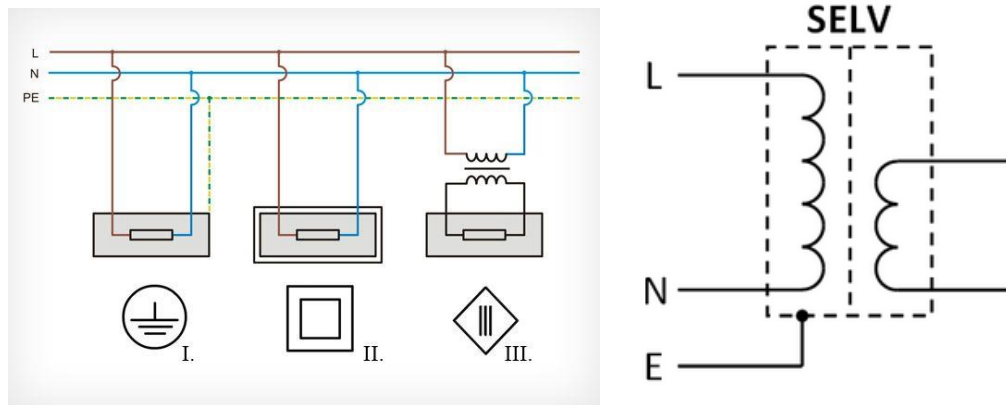
Az előadásban használt áramkörök védelméről a dimmerek minden csatornájukon külön gondoskodnak a beépített kismegszakítóknak köszönhetően. Mindkét eszközt **C13**-as kismegszakítóval szerelték, ami tartósan 13 A névleges áramerősséget enged meg és C kioldási karakterisztikával rendelkezik, ami a gyors lefutású, pár ms-os tranziensekre még nem érzékeny és a névleges áram 5-10-szerese esetén lép működésbe. Ezt az automatát kifejezetten induktív vagy kapcsolóüzemű táppal szerelt berendezések vezetékének védelmére ajánlott használni. A maximális árammegszakító képességük 4500A.



2.17. ábra. 6 csatornás dimmer és 12 csatornás hibrid dimmer egység (saját szerkesztés)

A felhasználók védelmét az érintésvédelmi előírások betartásával valósíthatjuk meg. Az érintésvédelem célja az elektromos áramütéssel kapcsolatos személyi sérülések megakadályozása. Az érintésvédelmi megoldások három különböző osztályba sorolhatók:

- **I. érintésvédelmi osztály:** védővezető (PE) alkalmazása, ami a készülékek fém burkolatának egyenpotenciálra hozását és földelését jelenti
- **II. érintésvédelmi osztály:** kettős, vagy megerősített szigetelés alkalmazása, pl. teljes műanyag borítás használatával
- **III. érintésvédelmi osztály:** törpefeszültség alkalmazása (SELV, FELV, PELV), ami a feszültség biztonságos szintre történő csökkentését jelenti. (pl. 24V) [9]



2.18. ábra. Érintésvédelmi osztályok és a SELV kialakítás [14]

A megvalósítás során védőföldelést a LED-ek tápegységéig kellett biztosítani, hiszen ezek fém készülékházzal rendelkeznek. A tápegység 24 V-ot állít elő a LED szalagok üzemeltetéséhez, ami érintésvédelmi törpefeszültségnek minősül, SELV minősítésű eszköz esetén. Védővezetőt a hatos szoba ipari lámpatestéhez, illetve a négyes szoba spotlámpáihoz kellett biztosítani. Ezekben az esetekben a védővezetőt a lámpatestek fém burkolatához kell csatlakoztatni, mely, ha feszültség alá kerül (fázis-föld zárlat), a hibaáram a védővezetőn keresztül indul meg, működésbe hozva a kismegszakítót vagy fi-relét. A védővezetőt a dimmerek az 5 pólusú háromfázisú csatlakozón keresztül kapják meg, majd a kimenetükön keresztül a HARTING kábeleken át biztosítják annak folytonosságát a védendő eszközökig. Az egyes, kettes és hármas szobák lámpatestei a jelzés alapján a II. érintésvédelmi osztályba tartoznak, tehát megerősített szigetelésűek, így hiba esetén sem érinthető meg meghibásodott áramköri részlet. Kettős szigetelt eszközt tilos földelni, ebben az esetben a hálózati kábelek csak a fázis-és nullavezetőket továbbítják.

3. A vezérléstechnika kialakítása

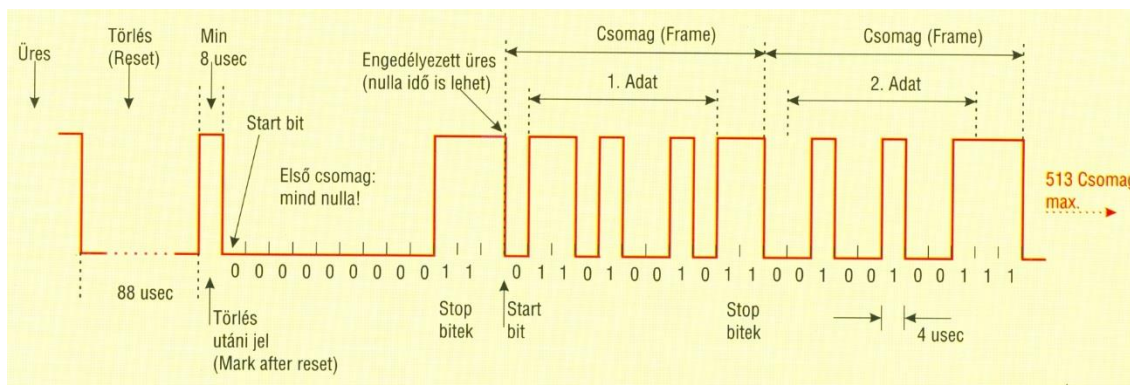
3.1. A fizikai DMX hálózat

A megvalósított vezérlési rendszer bemutatása előtt fontos áttekinteni a színpadtechnikai vezérlések alapjait. A vezérlés az utóbbi időben szinte teljesen kiszorítva a korábbi analóg multiplex eljárást, digitális módon történik. A folytonos analóg adatátvitellel szemben a digitális technika számokkal írja le az adatfolyamot. A színpadvilágítás területén a legismertebb és napjainkban is a legelterjedtebb szabvány a DMX512-es protokoll, a későbbi fejlesztések is nagyrészt ehhez igazodtak.

A DMX hálózat felépítését tekintve egy DMX vezérlőből (fénypult), valamint a DMX vezérelt eszközökből (intelligens lámpák, digitális dimmerek) áll, melyeket láncba fűzünk fel a vezérlőre, így a jelfolyam az egyik eszközből a másikba jut. Itt rögtön kiemelendő a szabvány egyik nagy hátránya, miszerint, ha a jelátvitel valamelyik pontján hiba következik be, a jelfolyam megszakad. Egy DMX láncot elméletben 31+1 eszköz alkothat. [1] A plusz egy eszközt a vezérlő jelenti, és ha a jelút egy későbbi pontján jelosztót (splittert) alkalmazunk, a maximum 31 eszköz természetesen onnan számolandó. A gyakorlatban az eszközök és a kábelezés minősége is jelentősen befolyásolhatja az adott vonalon használható maximális eszközszámot.

Magában a DMX jelben folyamatosan csomagokat küldünk ki, ami maximum 512 csatornára vonatkozó információ küldését jelenti. A startjel, mint szinkronjel küldése után kerül továbbításra maga a DMX csomag, melyet az adatfolyam végét jelző stop jel, majd egy szünet követ. Ez a folyamat ismétlődik tovább egy adott frissítési sebességgel. Ez alapestben 44 adatcsomag küldését jelenti másodpercenként a szabvány szerint, de ez a frissítési sebesség az egyes fénypultok kimeneténél változtatható. A kommunikáció egyirányú, a csatornák adatai növekvő sorrendben kerülnek továbbításra, kezdve az első csatorna adataival, majd végül az utolsó 512-es csatorna adatai is továbbításra kerülnek. Ezt az átviteli eljárást soros multiplex adatátvitelnek nevezzük. Minden fogadó egységben egy DMX dekóder végzi, az adatfolyam dekódolását. [1] A DMX alapvetően 8 biten működik, ami azt jelenti, hogy egy csatorna (egy DMX cím) 8 bites felbontású, ami 2^8 , azaz 256 állapotra, bontható fel. Egyes esetekben, különösen színházi alkalmazásoknál szükség lehet ennél magasabb 16 bites felbontásra is, az intelligens lámpák pontosabb pozicionálásához, vagy a fényvágó kések finomabb beállításához.

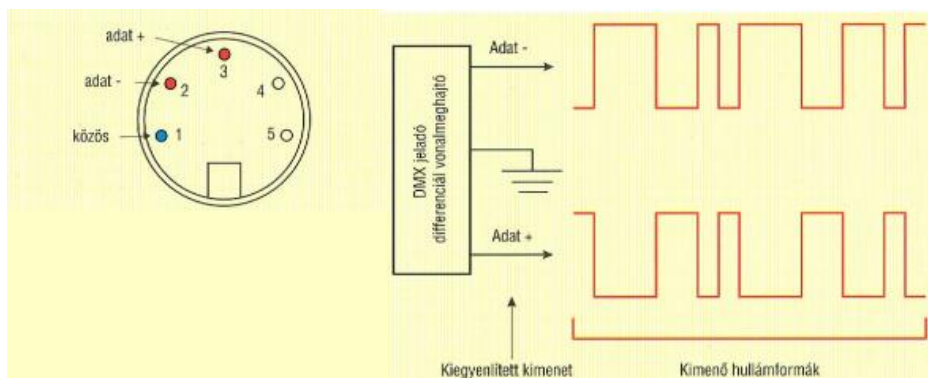
Ebben az esetben az adott paraméter finomabb beállításához már két DMX csatorna szükséges, ezzel 65536-ra növelve a lehetséges állapotok számát.



3.1. ábra. A DMX adatfolyam felépítése [1]

A DMX kábel a vezérlőjelet egy szimmetrikus érpáron továbbítja, melynek elméleti hossza akár 1200 m is lehet, de a gyakorlati téren jelentős befolyásoló tényező lehet a kábelek, csatlakozók, forrasztások minősége, így ez az érték a valóságban inkább maximum 250-500 m-hez áll közelebb. Nagyobb távolságok esetén jelerősítő használata ajánlott. Nagyon fontos, hogy a jel átvitelére kifejezetten erre a célra gyártott adatkábeleket használjunk, melyek átlagosan 110 Ohmos ohmikus ellenállása alacsonyabb a hangfrekvenciás jelkábeleknél, így egy adott vonalon lehetséges nagyobb távolságra kábelezni.

A DMX csatlakozó a szabvány [11] szerint 5 pólusú XLR, melynek az első három pólusát. (1: GND, 2: Signal +, 3: Signal -) használjuk a szimmetrikus jelátvitelhez. A vonalak végét minden esetben 120 Ohmos (a vezeték hullámimpedanciájával azonos) lezáró végellenállással kell ellátni, mely lehet az eszközbe beépített vagy egy külső lezáró is, és feladata, hogy megakadályozza a vezeték végekről történő káros jelvisszaverődéseket. [11] Lehetőségünk van a DMX jel vezeték nélküli továbbítására is, azonban a nem professzionális eszközök gyakran a 2,4-5 GHz-es sávban kommunikálnak, így a környező eszközök, mobiltelefonok, routerek Wifi szórása könnyen megzavarhatja az átvitelt, ezért ezt az átviteli módot lehetőleg kerülni kell, ha üzembiztosságra törekszünk.



3.2. ábra. A DMX szimmetrikus jelvezetése és a csatlakozóbekötése [1]

Minden egyes DMX vonalon 512 cím vezérelhető, amit egy ún. DMX univerzumnak nevezünk. A nagy paraméterszámú intelligens eszközök miatt napjainkban több univerzum szükséges egy nagyobb méretű produkció megvalósításához. Az univerzumok száma fényvezérlő gyártó és típusonként változhat. Például egy 8 univerzummal rendelkező vezérlő összesen 4096 DMX címet tud kiosztani.

3.3. Visszacsatolási módok, RDM over DMX 512

A DMX egy egyirányú kommunikációs protokoll, a fényvezérlőből folyamatosan küldjük a jelfolyamot az eszközök felé. Ha ezek az eszközeink RDM (Remote Device Management) képesek, akkor képesek leszünk az eszközök konfigurálására és ellenőrzésére is a protokollon keresztül. Az RDM az ANSI E1.20-ban került szabványosításra. Az RDM a fizikai DMX hálózaton keresztül működik és a csomagküldés szünetében, a stop és a start szinkronjelek között, az időzített szünetekben kommunikál a vezérelt eszközökkel. [1,2] Az Ethernetes hálózaton történő átvitel jelenleg még nem szabványosított, minden gyártó a saját hálózati protokollján belül kezeli. Minden RDM-et ismerő eszköz rendelkezik egy saját 48 bites azonosítóval, amit az adott eszközre a gyártó határoz meg. Gyakorlati szempontból RDM-et használva képesek leszünk a hálózatban lévő eszközök azonosítására, távoli címzésére, különféle DMX üzemmódok beállítására, fényforrás állapotának ellenőrzésére, szenzorból történő információk kiolvasására, hibaüzenetek nyomon követésére, ami nagyban könnyítheti és gyorsíthatja a munkát. Az RDM funkció DMX univerzumonként aktiválható és csak RDM képes eszközök esetén használható.

3.4. DMX over Ethernet

Az eszközök és a csatornaszámok gyors növekedésével, a jobb hálózat menedzsment és monitorozás érdekében egyre inkább felmerül az igény, hogy a DMX-et Etherneten vigyük át, különböző hálózati protokollok segítségével. A mai fejlett hálózati struktúrák rendelkeznek megfelelő kapacitással ahhoz, hogy a megnövekedett adatátviteli igényeket kezeljék. A gyakorlatban a következő protokollok a terjedtek el, melyek mind az Ethernet szabványra épülnek:

3.4.1. sACN- Streaming ACN

Az ACN szabványcsoportba tartozik, egy szabványosított protokoll (ANSI E1.31), mely akár 64000 DMX vonal kezelésére képes egy Ethernet kábelén keresztül. A protokollon keresztül lehetőség van adat küldésére és vezérlésre, az adott univerzumnak megfelelő DMX címzésre, különféle prioritások meghatározására. [2] Az ACN szabvány képes a távoli konfigurálásra és visszajelzésre is, egyszerű és gyors és több gyártó pultjában is elérhető.

3.4.2. Art-Net

Az Art-Net az Ethernet szabványra épül és nem egy preferált konzolgyártó saját szabványaként ismert, ezért sok vezérlési rendszer alapját képezi, mint szabad felhasználású protokoll. Több változata is megjelent, a legutóbbi az Art-Net 4 2016-ban, ami a legerősebb és legrugalmasabb verzió lett. Nagyságrendileg 1000 port kezelésére képes és minden korábbi verzióval teljesen kompatibilis, valamint nagy előnye, hogy támogatja a hálózat menedzsmentet és az RDM protokollt is. Az Art-Net tipikusan két IP cím tartományban működik, ez 2.xxx.xxx.xxx vagy a 10.xxx.xxx.xxx lehet 255.0.0.0 alhálózati maszkkal. [12]

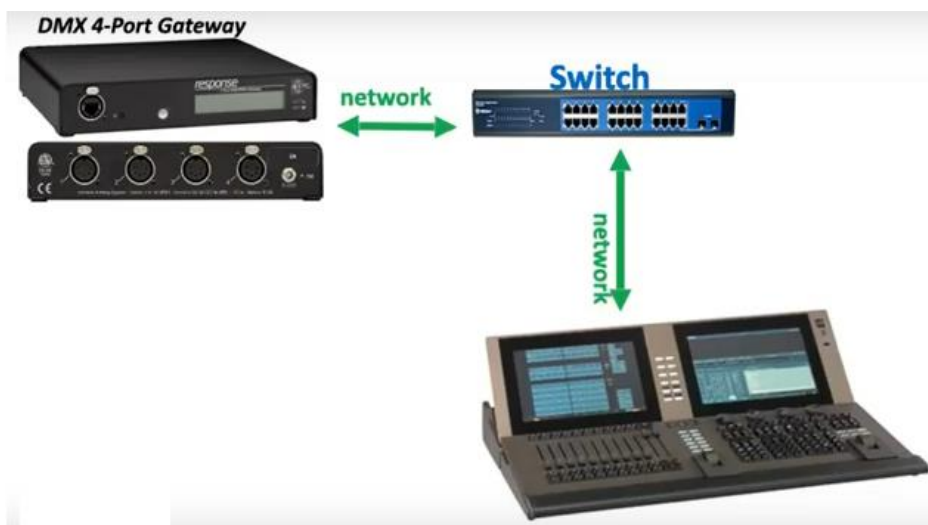
3.4.3. A hálózati szegmensek

Egy összetett, Ethernet szabványra épülő világítási hálózatot, mindig több hálózati szegmens alkot, melyek egyik legfontosabb központi egysége a switch, amely egy aktív eszköz és fizikailag kapcsolja össze a zárt hálózatban lévő szegmenseket. A hálózati eszközök közötti kommunikáció csillag topológiát követ, ami adatátvitel szempontjából megbízhatóbb, mint a láncba fűzött DMX vonalak. A Layer 2-es switch-ek egy ún. CAM táblával rendelkeznek, melyben rögzíti, hogy melyik porton melyik MAC címet találja meg. A layer 3-as, menedzselt switch IP címeket lát és csak azokra a portokra küld ki

adatot, melyek megfelelnek az alhálózati maszk szabályainak. Az egyszerűség és üzembiztosság érdekében célszerű menedzsment nélküli switch-et használni. A hálózatban résztvevő minden eszköznek hálózati kártyával kell rendelkezni és külön-külön hálózati komponensként kell kezelni őket. A router, mint hálózati átjáró, átjárást biztosít különböző hálózatok között, illetve hozzáférési pontként is funkcionál. Az eszköz wifi hálózatán keresztül, hordozható eszközeink segítségével (okostelefon, tablet) rá tudunk csatlakozni a belső világítási hálózatra.

Az Ethernet és DMX hálózatok közötti átjárhatóságot, átalakítást ún. Ethernet-DMX NODE-ok teszik lehetővé. Erősen gyártófüggő, hogy az eszközök milyen protokollokat ismernek, illetve a portok száma is eltérő lehet. Villamos betáplálásuk történhet akár hálózati feszültségről, akár Ethernetről PoE alkalmazásával. A hálózatra tipikusan Ethernet kábelén keresztül RJ45-ös csatlakozóval, a DMX-es eszközök felé 5 pólusú XLR csatlakozóval csatlakoznak. Különbő gyártóknál léteznek speciális DMX NODE-ok, melyek képesek különböző MIDI/SMPTE Time Code-ok fogadására, RS232 portok illesztésére, de akár lehetőség van DALI típusú hálózatok vezérlésére is a megfelelő eszközök használatával.

Nagyobb méretű hálózatok esetén célszerű egy speciális eszközt, un. NPU-t (Network Processing Unit) alkalmazni. Az NPU egy kisméretű ipari mikroszámítógép, ami a teljes processzási folyamat végrehajtása mellett egy protokoll (pl. ACN) segítségével a hálózatot felügyeli, kezeli a hozzá beérkező információkat, összekapcsolja a hálózati szegmenseket, csatlakozási lehetőséget biztosít külső hálózatok felé, időszerverként szolgál, valamint rendszerdiagnosztikára is alkalmas.



3.3. ábra. Fényvezérlő pult switch és DMX Node összekapcsolása [15]

A rendszer kábelezése a switch-től indul, csillagpontos topológiát követ és a csatlakozás RJ45-ös csatlakozókkal történik. Főleg patch és installációs célokra használjuk ezeket a kábeleket, melyek maximális hossza elméletben 100 m lehet. Ha esetleg túllépnénk a megengedett hosszt, új jelosztó eszközt kell beiktatni a jelútba. A leggyakrabban használt típusok: 10/100/1000 Base T, ahol a számok a kábel adatátviteli sebességére utalnak a Base a jel küldés típusát, míg a T a kábel típusát jelöli. Az elterjedt típusok között van az árnyékolt Cat5e, ami már gigabites átviteli sebességet kínál, azonban már Cat8 osztályba sorolt kábelek is előfordulhatnak. Szabvány szerint az RJ45-ös csatlakozóra kétféle lábkiosztás ismert: a T568A és a T568B, melyet különösen fontos ismerni a különböző installációk esetén, az esetleges későbbi javítások, karbantartások miatt. [13] Alapvetően egyenes bekötésű kábeleket használunk, kereszt (crossover) kábeleket csak abban a különleges esetben, ha a hálózatunk nem tartalmaz switch-et, de a komolyabb fénypultok már rendelkeznek ún. Autocrossing funkcióval is és figyelik a csatlakoztatott kábelek lábkiosztását. A jel átvitelére optikai kábeleket is alkalmazhatunk, melyek előnye a nagyobb átviteli sebesség, zavarvédetség és, hogy jelentősen nagyobb kábelhosszak is elérhetőek vele.

3.4.5. Hálózati címezések

A hálózatban résztvevő minden szegmenst a saját, fizikai MAC címe azonosít és az eszköz hozzáférési információit tartalmazza. A címet minden esetben a gyártó rendeli az eszközhöz, ezt nem változtatjuk meg. A hálózati azonosításra egy 32 bites hálózati cím, IP cím szolgál, mely egy adott hálózatban csak egyszer szerepelhet és leggyakrabban IPv4-es címek használatát jelenti. Nagyon fontos, hogy a világítási hálózat egy zárt hálózat legyen, melyhez a szabvány előre definiált IP tartományokat határoz meg. Ezek a jellemzően a következő címtartományokat jelentik:

- 10.0.0.0-től 10.255.255.255-ig
- 192.168.0.0-től 192.168.255.255-ig
- 2.0.0.0-től 2.255.255.255

Az IP cím általában két részre osztható, az első fele a világítási hálózatot, a másik fele az alhálózati tagot azonosítja a hálózaton belül. Különböző alhálózatokat alhálózati maszkok (subnet mask) segítségével tudunk meghatározni. A maszkok esetén, ha egy érték 255, akkor zártnak, ha 0, akkor nyitottnak tekintjük az adott maszkot, ennek megfelelően 255-nél nem enged változást az IP címbe (hálózati azonosítás), 0 érték esetén igen. (alhálózat

azonosítás) A megadott IP cím tartomány alapján meghatározható, hogy egy adott eszköz része-e az alhálózatnak. Az alhálózati maszkok is 3 jellemző osztályba sorolhatóak:

- Class A: 255.0.0.0
- Class B: 255.255.0.0
- Class C: 255.255.255.0

Csak azok a hálózati eszközök tudnak egymással kommunikálni, melyek ugyanannak az alhálózatnak a tagjai és különböző IP címmel rendelkeznek, melyek csak a maszknak megfelelő szegmensben térhetnek el. Az alapértelmezett átjáró (default gateway) IP címet annak az eszköznek célszerű kiosztani, amin keresztül át tudunk jutni egy másik hálózatba vagy hozzáférési pontként szeretnénk használni. Ez az esetek többségében a világítási hálózatban lévő router IP címe lesz, a többi eszköznél (ha igényli) ezt a címet mindig az alapértelmezettnek átjárónak állítjuk be.

A különféle címek kiosztása két módon történhet. Az egyik módszer a statikus megadás, mely során minden eszközön egy előre meghatározott, fix IP címet állítunk be manuálisan. Ezt az eljárást fix installációknál érdemes alkalmazni. A másik lehetséges mód a dinamikus címosztás, a DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) segítségével. Ebben az esetben az adott kliens (a fényvezérlő pult) feljelentkezik a hálózatra, és mint, DHCP szerver a bekapcsolási sorrendben kiosztja a hálózati eszközök számára az IP címeket. Egy hálózatban egyszerre csak egy DHCP szerver lehet. Mivel a címosztás bekapcsolási sorrendben történik, kritikusan fontos, hogy először a fényvezérlő pultot kapcsoljuk be, a többi hálózati eszköz előtt, amennyiben a többi hálózati eszköz is a DHCP szervertől kér magának IP címet. A dinamikus módszer hátránya, hogy a folyton változó címek miatt a hibakeresés nehezebb lehet, azonban sokkal célszerűbb alkalmazni folyamatosan változó helyszínek és hálózati körülmények esetén. A DHCP szerver előnye, hogy az eszközök folyamatos kommunikációban vannak a szerverrel előre meghatározott időnként (Lease-time) címfrissítést kérnek, így biztosított a folyamatos hálózati felügyelet.

3.5. Az előadás vezérlési rendszerének kialakítása

3.5.1. A DMX over Ethernet megvalósítása

A fejezet további részében a tavalyi évben fejlesztett és a produkcióhoz használt vezérlési rendszert mutatom be. A rendszer központi eleme, a vezérlési lánc kiindulópontja egy **MA Lighting GrandMA2 Ultra-light** fényvezérlő pult. Egy korszerű fénypulttal

szemben elvárás, hogy az eszközök nagy száma miatt megfelelő mennyiségű DMX univerzum álljon rendelkezésre, és azok igény szerint bővíthetők is legyenek, képes legyen az Ethernet alapú hálózatba kapcsolódni, rendelkezzen elegendő (lehetőleg motorizált) toló potenciométerrel, beépített érintőképernyővel. Ugyancsak fontos az átlátható programozói felület, valamint a külső perifériák és egyéb jelek illesztési lehetősége is. A kiválasztott fénypult ezeket az elvárásokat természetesen teljesíti. A vezérlő alapvetően 6 fizikai DMX kimenettel rendelkezik, ami 8, de NPU használatával akár 256 univerzumig is bővíthető. Jelen konfigurációjában az eszköz 4096 DMX paraméter kezelésére képes. A hálózati csatlakozáshoz két EtherCon csatlakozó áll rendelkezésre.

A fejlesztés alapvetően egy átlátható hálózati struktúra kialakítására irányult. A hálózati protokoll a gyártó saját Ethernet-re épülő, IP alapú protokollja az MA Net. Az eszközök összekapcsolása és konfigurációja a korábban ismertetett eljárásoknak megfelelően történt. A fénypult MA Net-en történő kommunikációja az egyes hálózati portján lehetséges, ami közvetlenül a switch-hez kapcsolódik, ahová a többi hálózati eszköz csillag topológiát követve csatlakozik. A vezérelni kívánt területet három fő részre lehet osztani: a dimmer helyiség, a nézőtéri robotlámpák, illetve a színpadi robotlámpák vezérlését kellett megvalósítani. Az első DMX univerzum a dimmerek vezérléséről gondoskodik, illetve a színpadon több ponton biztosít kimenetet az esetleges mobil eszközök számára (pl. füstgép, ködgép, stb.). Egy adott univerzum szétosztása több pontra kizárólag egy speciális jelosztó egységgel (splitter-rel) lehetséges. A splitter-ek általában egy DMX bemenettel és típustól függően több (jellemzően 4-8) kimenettel rendelkeznek, minden kimenetük egymástól és a bemenet felé is galvanikus leválasztással rendelkezik. A rendszer üzembiztosságát és a hibakeresést is elősegíti, ha az egységeket nem egy láncba fűzzük fel, hanem a jelosztón keresztül több vezérlési ágot létesítünk. A dimmer helyiségig egy Cat5e kábelon keresztül érkezik a jel, majd egy DMX Node biztosít fizikai DMX csatlakozást az eszközök számára. A Node DMX kimenete közvetlenül egy splitter-be csatlakozik, amely lehetővé teszi, hogy a dimmerek és a színpadi kimeneti pontok is megkapják a szükséges vezérlő jelet. A második DMX kör a nézőtéren található 10 db intelligens robotlámpa vezérlését látja el. A nézőtéri világítási hídig a jel szintén egy DMX Node-on keresztül érkezik, majd a lámpákhoz az átalakítás után már DMX kábelek vezetnek. A harmadik univerzumra a színpad feletti, fix telepítésű intelligens lámpák kerültek, azonban a díszlet adottságai miatt ezek nem kerültek

felhasználásra a világítás során. A vezérlési rendszer kialakítása során fontos gondoskodni egy ún. vészpult (backup) létesítéséről, ami a fő konzol meghibásodása esetén azonnal át tudja venni a vezérlés ellátását. A backup pult esetünkben nem egy teljes értékű konzolt jelent, hanem egy PC-t, melyen a fénypult szoftvere fut és ehhez csatlakozik egy ún. **OnPC Command Wing**. Az eszköz (bár fizikailag kevesebb nyomógommbal és potméterrel rendelkezik) fénypultnak tekinthető, de mivel OnPC alapú, így a szoftver nem a pulton, hanem egy különálló számítógépen fut, amivel a wing egy USB porton keresztül kommunikál. A számítógép hálózati kártyája a központi switch-hez csatlakozik, így természetesen (alapesetben Slave üzemmódban) része az alhálózatnak. A hálózatban lévő eszközök folyamatosan Ping üzenetekkel ellenőrzik a kapcsolatot. A fő világítási konzol meghibásodása esetén, a visszajelző üzenet hiányában a vészpult azonnal átveszi a Master funkciót és a switch-en keresztül képes tovább vezérelni a hálózatot. A hálózat utolsó és szintén fontos eleme a router, ami hozzáférési pontként lehetőséget biztosít, hogy külső eszközökkel (pl. tablet) a fénypult belső hálózatára csatlakozva a pult távelérését megvalósíthassuk.

Mivel az előadás vezérlendő fényforrásainak nagy része a forgón helyezkedik el, így a DMX jel eljuttatása nem megvalósítható hagyományos kábelezéssel, hanem vezeték nélküli átviteli módot kell választani. Mint azt korábban említettem sok gyártó eszköze a W-LAN átviteli módra támaszkodik, amit sok más technológia is használ, ezért az esetleges káros interferenciák jelentős zavarokat okozhatnak az átvitelben. Ennek kiküszöbölésére született meg az FHSS (Frequency Hopping Spread Spektrum) technológia, melynek lényege, hogy az adó több, mint 75 eltérő vivőfrekvenciát folyamatosan, váltogatva küld el, amit csak egy hasonló elven működő vevőegység képes dekódolni. A vivők folyamatos váltogatása miatt az átvitel sokkal kevésbé lesz érzékeny az interferenciákra és az egyéb rádiófrekvenciás zavarokra. Ezt a technológiát a TDMA (Time Division Multiple Access) eljárással kombinálva még hatékonyabbá tehető az átvitel. [1] A kiválasztott **Wireless Solution W-DMX Black Box** egység RF antennájának kimeneti szintje 20 dBm és a 2402-2479 MHz-es sávban képes sugározni. A W-DMX vevőegység a forgón helyezkedik el és DMX kábelén keresztül továbbítja a jelet a LED-es vezérlőkhöz, melyek láncba fűzve csatlakoznak hozzá. A mobil dimmer az utolsó vezérlő egységből kapja meg a jelet, a lánc végére pedig a szabványnak megfelelően egy 120 Ohmos véglezáró került.

Abból a célból, hogy a forgó vezérlése teljes biztonsággal tudjon működni akár hálózati meghibásodás esetén is, a vezérlőpultból egy redundáns DMX vonal került kiépítésre. Az első univerzum jele egy külön DMX kábelén is elvezetésre került a dimmer helyiséig, ahol a DMX Node-ból érkező kábelrel együtt egy Merger-be csatlakoznak. A Merger olyan eszköz, amely két adatuniverzumot képes illeszteni és egyesíteni, és ha valamelyik bemenetére nem érkezik jel, a beállításoknak megfelelően automatikusan a másik, aktív csatorna jelét juttatja el a kimenetére. A következő táblázat a hálózatban lévő eszközök IP konfigurációját foglalja össze.

3.1. táblázat. A világítási hálózatban kiosztott IP címek és maszkok

	Hálózati eszköz	Ip cím	Alhálózati maszk
1.	Fényvezérlő pult	192.168.0.1	255.255.255.0
2.	OnPC - vészpult	192.168.0.2	255.255.255.0
3.	DMX Node 1.	192.168.0.3	255.255.255.0
4.	DMX Node 2.	192.168.0.4	255.255.255.0
5.	DMX Node 3.	192.168.0.5	255.255.255.0

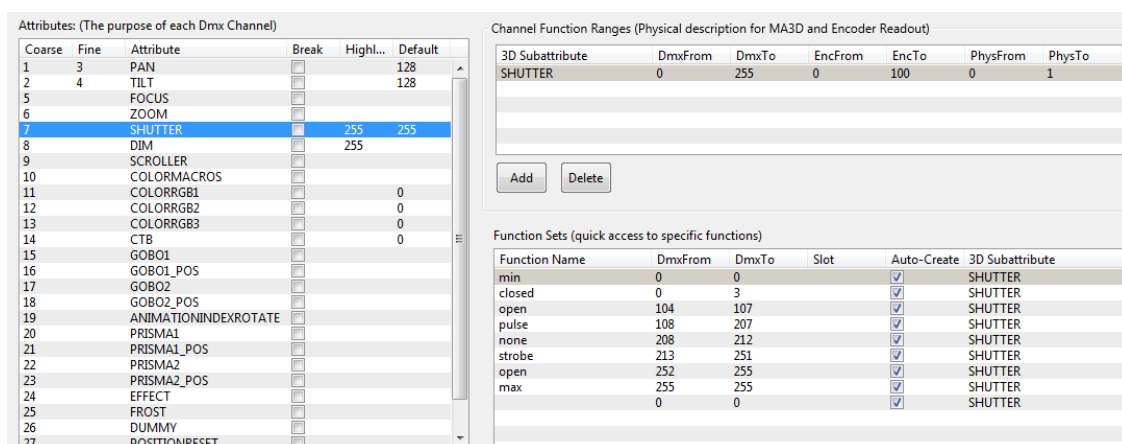
A vezérlési rendszer kialakítását és az eszközök konfigurálását követően a következő lényeges feladat a DMX címek megfelelő kiosztása az eszközök számára. Ehhez ismerni kell az adott eszköz csatornaszámát és csatornakiosztását. Az intelligens lámpák esetében gyakran fordul elő, hogy több DMX mód közül választhatunk, mely a csatornák számával van összefüggésben. Abban az esetben, ha nem áll rendelkezésre elegendő univerzum, adott lámpaszám mellett, a kisebb csatornaszám használata az ideális. Különösen színházi környezetben gyakran találkozhatunk azzal, hogy a technikai igények megkövetelik, hogy nagyobb felbontással dimmeljük a fényforrásokat vagy éppen nagyon pontosan kell egy robotlámpát bepozícionálni. Ezek az igények csak megfelelően nagy, 16 bites csatornafelbontással teljesíthetők, ami egy alapvetően 8 bites csatorna esetén a csatorna duplázását jelenti, jelentősen megnövelve ezzel a csatornaszámot. A következő táblázat a produkcióban használt robotlámpák DMX csatornakiosztásának egy részletét mutatja be az egyes csatornák lehetséges értékeivel és funkcióival, különböző DMX módokban.

DMX channel's functions and their values (57DMX channels):				
Mode/Channel			Value	Function
St	Ba	Ex		
1	1	1		<u>PAN Movement 8bit :</u>
			0-255	Pan Movement
2		2		<u>Pan Fine 16bit</u>
			0-255	Fine control of Pan movement
3	2	3		<u>TILT Movement 8bit :</u>
			0-255	Tilt Movement
4		4		<u>Tilt Fine 16bit</u>
			0-255	Fine control of Tilt movement
5	3	5		<u>Speed Pan/Tilt movement:</u>
			0-225	max to min speed
			226-235	blackout by movement
			236-245	blackout by all wheel changing
			246-255	no function
6	4	6		<u>Shutter, strobe:</u>
			0-31	Shutter closed
			32-63	No function (shutter open)
			64-95	Strobe effect slow to fast
			96-127	No function (shutter open)
			128-159	Pulse-effect in sequences
			160-191	No function (shutter open)
			192-223	Random strobe effect slow to fast
			224-255	No function (shutter open)
7	5	7		<u>Dimmer intensity:</u>
			0-255	Intensity 0 to 100%
		8		<u>Fine Dimmer intensity:</u>
			0-255	Dimmer intensity fine

3.4. ábra. A robotlámpák DMX csatorna kiosztásának részlete (saját szerkesztés)

A nagyobb felbontások az ún. Extended üzemmódban érhetőek el, ennek megfelelően egy lámpa 57 csatornát foglal el egy adott univerzumon. Mivel egy univerzum csak 512 csatornát képes kezelni, így a második DMX körre csak 8 db lámpa fér fel, a maradék kettő az egyes univerzumra csatlakozik.

A nevesebb lámpagyártók a különböző típusú fénypultokhoz ún. Fixture device-okat készítenek, ami tartalmazza az adott lámpa DMX csatornakiosztását, és mint a fenti táblázatban is látható, ezeket külön attribútumokhoz rendeli. Ha ez nem áll rendelkezésre, akkor egy célszoftverrel a lámpa adatlapja alapján ezeket el kell készíteni, hogy az eszköz a fényvezérlő pulton keresztül vezérelhető legyen. A következő ábra erre mutat példát, melyen egy robotlámpa shutter csatornája látható a megfelelő hozzárendelt csatorna értékekkel.



3.5. ábra. A fixture device elkészítése programmal (saját szerkesztés)

A LED vezérlők esetén szükség volt a Fixture device-ok elkészítésére. Ez az RGB vezérlés esetén színtkomponensenként 1-1 csatornát, a bicolor szalagoknál 2 csatorna létrehozását jelentette. A csatornákat a COLOR attribútumhoz kell hozzárendelni. Mindkét esetben a színkeverés az egyes színcsatornák dimmelésével történik PWM vezérléssel, azonban szükség van egy különálló dimmer csatornára is, mely csak a kimenő fényáramot szabályozza. Mivel a vezérlő nem oszt ki különálló dimmer csatornát, ezért fizikai cím sem tartozik hozzá. A fényvezérlő szoftver lehetőséget kínál ún. virtual dimmer csatorna létrehozására, amely lehetővé teszi, hogy ne csak az adott színtkomponensekkel tudjuk az eszközt dimmelni, hanem legyen erre egy dedikált csatorna, ami gyorsítja a programozást. Azoknál a vezérlőknél, amik egyszerre 2 bicolor egység vezérlését látják el szükség volt a címtartomány felosztására és 2 külön Fixture device használatára, mivel egy vezérlő csak egy bicolor kimenettel rendelkezik. Fontos továbbá ellenőrizni, hogy az adott dmx csatorna a vezérlő megfelelő kimenetét vezérli-e.

A következő lépés a Patch-elés megvalósítása. A Patch művelet elvégzésekor minden egység egyedi azonosítót kap, melyhez egy fizikai DMX univerzumot, majd címet rendelünk hozzá. Innentől kezdve az eszközeinkre nem a címük, hanem az azonosítójuk alapján hivatkozunk a programozás során. Természetesen az eszköz azonosítója és fizikai címe gyakran megegyezik. Szabályozott áramkörök esetén egy Channel ID, intelligens, többcsatornás lámpáknál Fixture ID azonosítja az eszközöket. A patch funkció több további opciót is kínál. Lehetőség van pl. egy áramkör meghibásodása esetén egy csatornát másik DMX címre patch-elni, vagy a Multipatch-et alkalmazva egy csatornához egyszerre több fizikai címet is hozzárendelni.

A 3.2.-es táblázat a lámpapark azonosítóit és cím kiosztását foglalja össze.

3.2. táblázat. A DMX univerzumok és csatornák kiosztása

<i>Eszköz</i>	<i>ID</i>	<i>DMX csatornaszám</i>	<i>DMX univerzum</i>	<i>DMX kezdőcím</i>
Robotlámpák	Fixture 21- 26+29+30	57	2	2.001-2.407
Robotlámpák	Fixture 27+28	57	1	1.341+1.400
LED vezérlők	Fixture 201-246	5	1	1.201-246
Mobil dimmer	Channel 248- 253	6	1	1.248-253
Hibrid dimmer	Channel 101- 112	12	1	1.101-1.112

3.5.2. A világítási jelek összehangolása hangtechnikai jelekkel

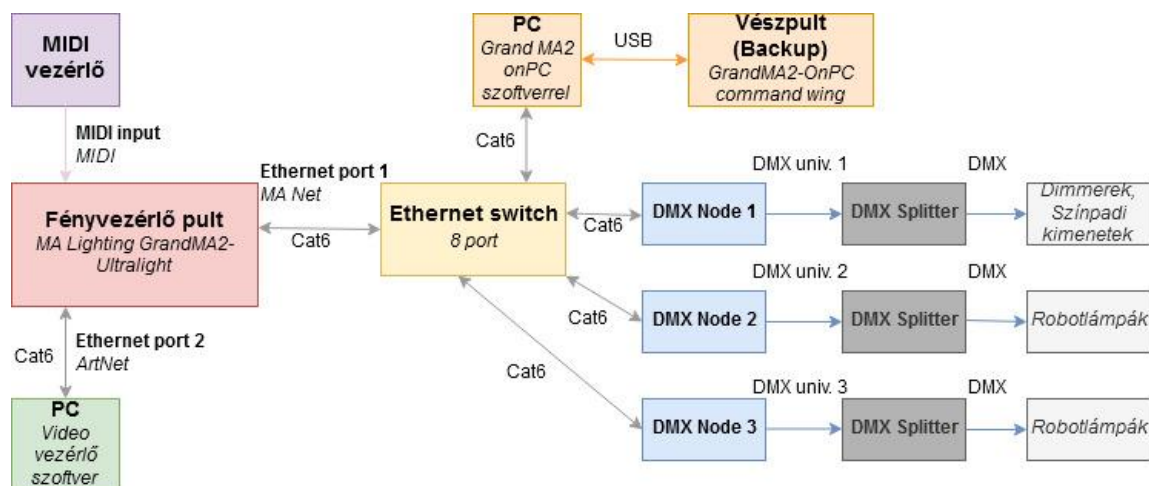
Az előadás dramaturgiaiilag nagyban épít a zenei hatásokra, hangbejátszásokra, ezért sok fényváltás esetén felmerült az igény, hogy teljesen szinkronban tudjon történni a hanggal. Mivel a hangtechnikai vezérlésekben nagyon elterjedt a MIDI (Musical Instrument Digital Interface) protokoll használata és a fényvezérlő pult is képes a MIDI jelek fogadására és feldolgozására, ezért a hangtechnikai összehangolás a MIDI-n keresztül történt meg. Fizikálisan a MIDI soros vonali jelátvitelt valósít meg aszinkron módon. Az üzenetek csomagok, ún. MIDI NOTE-ok formájában érkeznek MIDI kábelén keresztül. A világítási pult ezeket (külső) Remote üzenetként kezeli és egy külön erre szolgáló menüben az egyes MIDI NOTE-okhoz megfelelő funkciók, parancsok rendelhetők hozzá. Ebben az esetben az a cél, hogy a hangbejátszás triggerelje a fényváltást, így a beérkező 60-as MIDI NOTE-hoz a fénypulton a GO parancsot rendeltem hozzá.

Name	Note	Channel	Type	Page	Execute	Button	Keycode	CMD	Info
MIDI Input	60	1	CMD	Current	1	Button 1	None	Go	
New									

3.6. ábra. A MIDI vezérlés konfigurálása a fényvezérlő pulton (saját szerkesztés)

3.5.3. A világítási jelek összehangolása a videotechnikával

Szintén fontos kérdés volt a vetítés vezérlése, melyet szintén célszerű összehangolni a fényváltásokkal a pontosabb jelváltások érdekében. A videotechnikai anyagok bejátszása saját célszoftverrel történik, de lehetőség van ezt a szoftvert a fénypulton keresztül is vezérelni. Ebben az esetben a fénypult és a video vezérlő szoftver ArtNet protokollon keresztül kommunikál. Mivel az ArtNet csak egy meghatározott IP tartományban működik, így a video vezérlő szoftver és a fénypult külön hálózatot alkotnak. ArtNet-en történő kommunikációra a pult 2-es hálózati portján van lehetőség, port IP címe 2.0.0.1-re lett beállítva. A video vezérlő szoftver, mint alhálózati tag a 2.0.0.2-es IP címet kapta. A szoftverben a bejátszandó klipeket, képeket és a hozzájuk tartozó átmeneteket, időzítéseket be kell állítani, majd ezekhez Channel ID-t kell rendelni, a fénypultban pedig ugyanehhez az ID-hoz egy DMX címet is ki kell osztani. A világítási jeleinkben később az adott ID-ra hivatkozva tudjuk triggerelni a video képváltásokat. Mivel a világítási képek váltása MIDI-n keresztül is megtörténhet, így természetesen a video ilyen módon is vezérelhető, triggerelhető, így ezzel a hang és kép együttfutása is biztosítható. A Fixture ID-k 1001-1061-ig, a DMX címek 4.001-4.061-ig kerültek kiosztásra. A vezérlés működésének blokkvázlatát a következő ábra mutatja be.



3.7. ábra. A teljes vezérlési rendszer blokkvázlata (saját szerkesztés)

4. A világítási képek és jelek megalkotása

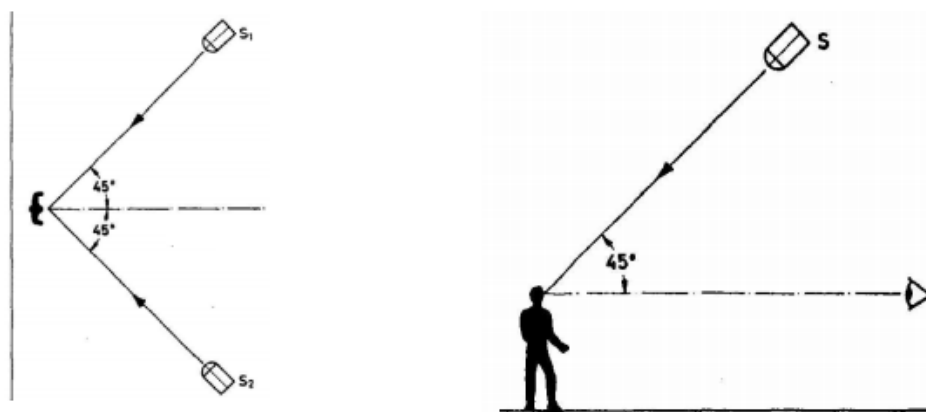
4.1. A színpadvilágítás alapja, a frontvilágítás

A világítástervezés során meg kell különböztetni a játéktér és a színészek megvilágítását. A világítástervező a díszlettervezővel és a rendezővel együttműködve először megalkotja a díszlet világítását, majd a megfelelő geometriai szabályokat követve megtörténik a színpadi tér (játéktér) bevilágítása és a színészek kiemelése. [2] Szintén a világítástervezési folyamat része, hogy az adott térbe megfelelően illeszkedő lámpatestek beépüljenek a díszletbe, valamint a fontosabb díszletelemek tárgyak, kellékek is megfelelően ki legyenek emelve fénnyel. A színpadi effektek használata szintén fontos eleme a hatásvilágításnak, ami egy adott jelenetben fokozza, nyomatékosítja a dramaturgiai hatásokat.

Egy megvilágított felületen a fény minőségét a fényvető típusa, valamint a fény szöge és iránya határozza meg. A fényvető elhelyezése és az adott nézési irány között szoros összefüggés áll fenn. Ahogy a fény beesési szöge a függőlegetől a vízszintes irányba megy át, az adott nézési felületre egyre nagyobb fényáram hányad jut, így a néző is nagyobb fénysűrűséget észlel, tehát a nézett tárgy vagy személy jobban láthatóvá válik. A színpadi térben alkalmazhatunk direkt megvilágítást közvetlenül az adott szereplőre vagy tárgyra irányítva, valamint az indirekt komponensek térformáló hatása is fontos. Figyelembe kell venni azonban, hogy bizonyos felületek adott beesési szögnél jelentős fénymennyiséget reflektálhatnak, ami a nézőnél zavaró káprázást okozhat. Nagyobb méterű színpadoknál a teret különböző világítási zónákra, azon belül játéktérületekre szokás felosztani a frontvilágítást adó (általában párba rendezett) fényvetőkkel.

Egy színházi produkció világítás során a függőleges síkban a színész arcát tekintjük vonatkoztatási pontnak. Az arc megvilágításában az eltérő fényirányok nagyon eltérő hatásokat kelthetnek, legfontosabb azonban a természetes megjelenés. A megvilágítási szögek megválasztásakor figyelembe kell venni, hogy a megvilágított személyt minél plasztikusabban láthassuk. Ehhez az optimális világítási szög a beesési és a nézési irány között 45° -ban, két oldalról. Ez a világítási szög a legmegfelelőbb az arcok plasztikus, árnyékmentes megvilágításához, és a térbeliség fokozásához. Ha a függőleges komponensek dominálnak, a beesési szögek nagyon meredek lesznek, így erős, mélyebb árnyékok keletkezhetnek. Ha a színész arca csak szemből kap domináns megvilágítást, az arcvonalak nem jelennek meg megfelelően, túl egyhangú hatást kapunk

és zavaró árnyékok is keletkeznek a térben. A gyakorlatban arra is figyelmet kell fordítani, hogy egy adott térrész frontvilágítása lefedje a szereplő teljes mozgásterét, valamint különféle megvilágítási szintekkel (esetleg fény-árnyék viszonyokkal) érzékeltetni kell, hogy hogyan illeszkedik egy szereplő a térhez. Nagyobb távolságok esetén profilámpa, kisebb távolságoknál Fresnel vagy PC lencsés fényvető használata ajánlott a frontvilágítás létrehozásához. Az intenzitások megválasztásánál figyelembe kell venni az adott jelenet dramaturgiai szempontjait, illetve meg kell tartani megfelelő arányt az adott szereplő és a tér (díszlet) között, de befolyásoló tényező lehet a jelmez is.



4.1. ábra. A frontvilágítás optimális szögei [2]

Az klasszikus és fontos világítási pozíciók a főfények (frontvilágítás) mellett a gegen, ami hátsó pozíciókból, a megvilágítandó tárgy mögül előre irányuló ellenfényt jelent, valamint jelentősen érzékelteti a színpadi tér mélységét. Az utca (élvilágítás), mely keresztirányban egy kiegészítő oldalfényt ad a plasztikusságot, térbeliséget fokozva, jelentős árnyékhatással. Külön többszintes utcacsoportokat gyakran alkalmaznak táncos produkciók világításához. Felső fényt a főfények mellett szekunder fényként a színpad árnyékosabb területeinek megvilágítására, fényátmenetek létrehozására használják különböző világítási pozíciók között. A horizont világítás nagy felületek homogén bevilágítására alkalmazható, de hozzájárul a térbeli mélységérzet növeléséhez is. A csúcshfényként illetve alsófényként (rivalda) alkalmazott fényvetők gyakran természetellenes hatást kelthetnek, ezért főleg effektek létrehozásához használjuk őket. Minden világítási pozíció egy-egy jellemző hatást kelt, más és más hangulatot vált ki a nézőkből. Az árnyékok jelenléte a térben gyakran nemkívánatos, azonban a helyesen kialakított fény-árnyék hatások erőteljes hatást tudnak kelteni, ehhez azonban megfelelően kell megválasztani a fényforrás és a tárgy távolságát.

4.2. Világítási koncepciók az előadásban

Az előadás világítási képei gyakran valósághű, realiztikus világítási hatást igyekeznek keltetni. Ebből a célból a valósághű térelemeket érdemes természetűen megvilágítani, melyek fő fényforrásként, elsődleges fényirányként fognak funkcionálni. [14] Ilyen hatást kelthet pl. egy az ablakon vagy ajtón bevilágító fény, mely a napszaknak megfelelő színhőmérséklettel, intenzitással és szöggel rendelkezik. Az ilyen világítási képek esetén célszerű kiegészítő világítást is alkalmazni, mellyel jobban érzékeltetni tudjuk az adott teret, de figyelni kell a főfény és a kiegészítő fények arányára, hogy ne rontsunk a természetű benyomáson. [14] Szintén hasonló hatást kelthet, ha egy díszletbe beépített lámpa adja a jelenet főfényét. Mindkét esetben fontos, hogy a realiztikus hatás megtartásának érdekében ne használjuk eltérő színhőmérsékletű fényvetőket sem a főfények, sem a kiegészítő fények esetében.



4.2. ábra. A bevilágítók, mint a jelenet főfényei [16]

Más vizuális hatásokat kelthetünk, ha a teljes megjelenítendő teret bevilágítjuk. Ehhez intenzív és egyenletes frontvilágítás szükséges, mely letisztult térérzetet kelt. [14] Ilyenkor a jelenet hangulata kevésbé hangsúlyos, nem a természetű elemek jelenti a főfényt. A tér részleteit nem kívánjuk hangsúlyozni, ezért homogén, szórt frontvilágítást alkalmazunk, a bemutatott kép célirányosan válik kihívóvá.



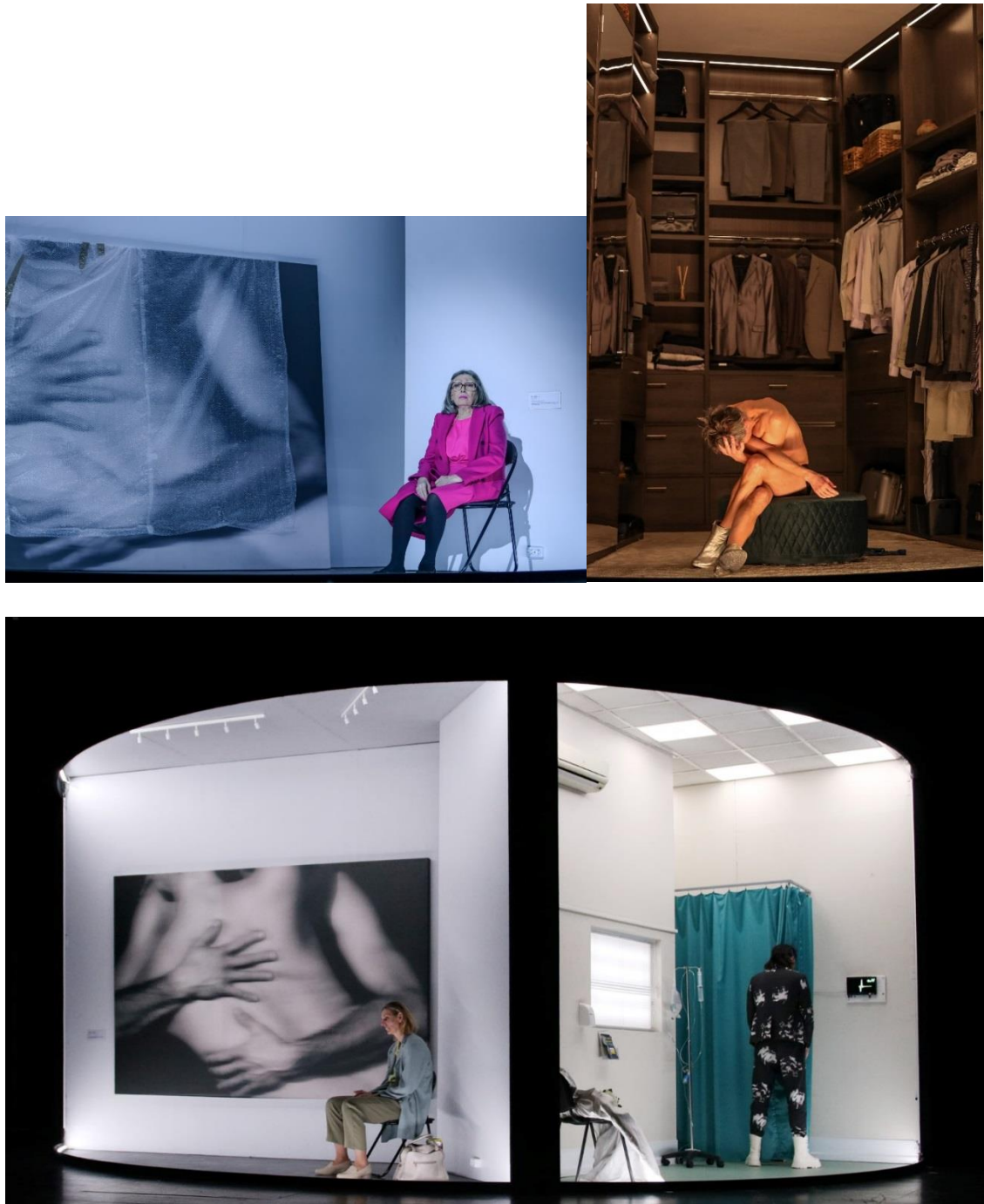
4.3. ábra. Intenzív, homogén frontvilágítással megvalósított világítási képek [16]

A fény jellege, iránya és szöge mellett nagyon fontos a színe és színhőmérséklete. Színházi alkalmazásoknál különösen fontos a kiváló színvisszaadású (CRI 90+) fényforrások használata, hogy ne lépjen fel színtorzulás, a díszletek és jelmezek színei természetesnek hassanak.

Az előadásban a díszlet megvilágítását minden szobában az élek mentén LED szalagok biztosítják 45°-os szögben. A bicolor LED szalagok színhőmérséklete 2200-6500 K-ig változtatható és a szobák alapvilágítását biztosítja, valamint szükség esetén kiegészítő világítást adhat a bevilágítók mellett. Az RGB szalagok a színezhetőséget biztosítják, a megfelelő színárnyalat kikeverése additív színkeveréssel valósítható meg.

A LED szalagok az arcok megfelelő világítására nem megfelelőek, mert túl közel vannak a megvilágítandó személyhez, így nagyon meredek a beesési szögek, ami erős árnyékokat eredményez az arcon. Azokban a jelenetekben, ahol szükség van a színész kiemelésére és az arc hangsúlyozására, külön frontvilágításra van szükség, amit a robotlámpák biztosítanak. Összetett optikai rendszerüknek köszönhetően a megfelelő fókuszálást követően éles fénykör hozható létre, mely lehetővé teszi a játéktér egy adott részének lehatárolását, kiemelését. Szintén kiemelő hatást kelthet a kiemeléshez használt eltérő színhőmérséklet. A derítés megvalósításához létrehozható Fresnel jellegű fény is. A fókuszbeállítások mellett külön Frost szűrők alkalmazása is segíti, hogy minél elmosottabb szélű és teljesen homogén fényt kaphassunk. Minél szórtabb jellegű fényt hozunk létre, annál inkább szükség lehet a fénykör lehatárolására a fényszóródás elkerülése miatt. A feleslegesen megvilágított felületek a hagyományos profilámpákban is alkalmazható késrendszer segítségével takarthatók ki. A késrendszer alkalmazása a különféle kiemelésekre is hasznos, az előadás több jelenetében a festmény került

kiemelésre. Ebben az esetben a késeket a festmény széléhez pozicionálva és élesre fókuszálva, nagyobb fényintenzitással lehet az adott tárgyat a térben hangsúlyozni.



4.4. ábra. Szereplők kiemeléssel és kiemelés nélkül [16]

4.3. A világítási jelek programozása

A világítási koncepciók kialakítását követően a megvalósulás következő lényeges eleme az előadás programjának létrehozása. A programozási feladat mindig a Patch művelettel kezdődik, ami az előző fejezetben ismertetésre került. Miután minden eszköz rendelkezik

címmel és megfelelő elérési azonosítóval (Fixture ID, Channel ID) célszerű létrehozni egy könnyen átlátható programozói felületet, ahonnan az eszközök gyorsan elérhetőek és az adott paraméterek igény szerint módosíthatók. A vezérlendő egységek külön szobákra lettek bontva, melyet a következő ábra szemléltet.



4.5. ábra. A világítási eszközök elérése a fényvezérlő programozói felületén (saját szerkesztés)

Bármely LED-es egységet kiválasztva a fényvezérlő pult a kiosztott DMX a csatornák alapján felkínálja a módosítható attribútumokat. A következő példában a 4. szoba bicolor LED szalagjainak vezérlője került kijelölésre, a módosítható paraméterek pedig a Color attribútumon keresztül a hideg és meleg színhőmérsékletek, valamint a Dimmer attribútummal a kimenő fényáram.



4.6. ábra. Color attribútumhoz rendelt paraméterek (saját szerkesztés)

Fontos kérdés lehet az eltérő színkeverési rendszert használó eszközök együttes használata. Míg a LED szalagok RGB, a robotlámpák CMY alapon keverik ki a kívánt színárnyalatot. A pult lehetőséget biztosít egy alapértelmezett színkeverési rendszer megadására, melynek alkalmazásával az eltérő színkeverési módot használó eszközök a másik rendszernek megfeleltethetők. A programozás megkönnyítése és gyorsítása érdekében lehetőség van bizonyos paraméterek eltárolására, melyek a programozási folyamat során később bármikor visszahívhatók. Ezek az ún. Preset-ek, melyek tárolása minden különböző paraméter esetén lehetséges. Ez abban az esetben hasznos, ha a LED szalagok fényének színhőmérsékletét vagy színét szeretnénk alkalmazni a frontvilágítást adó robotlámpákra is. Ilyenkor mindegyik eszközön ugyanazt a színhőmérsékletet vagy szint kell beállítani, és ezt egy Color Preset-ként elmenteni a kiválasztott eszközökre. Ha a későbbiekben újra szükség van erre a színre, akkor azt nem kell újra kikeverni, hanem elegendő az adott Preset-re újrahívni a programozás során. Különösen robotlámpák használatánál lehet hasznos a különböző fontosabb pozíciók, illetve optikai beállítások (focus, zoom) Presetként történő eltárolása.

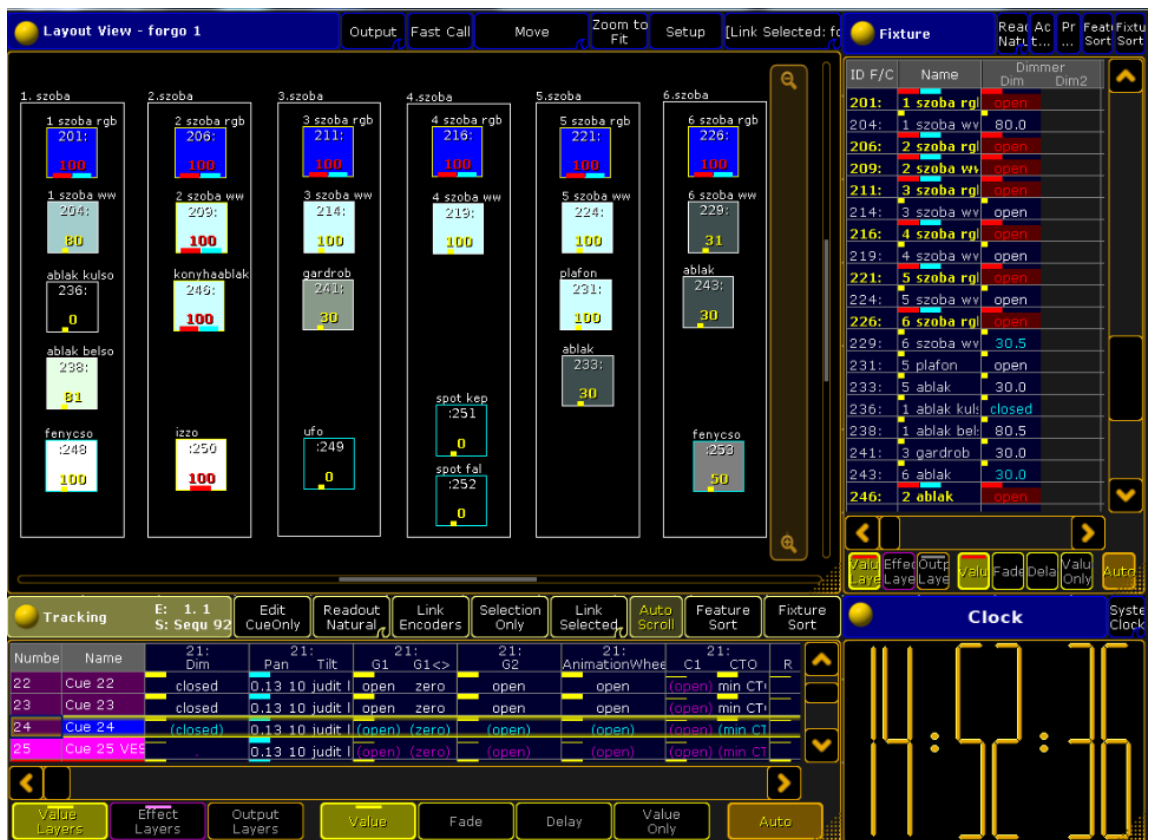
A világítási képek megalkotását követően világítási jeleket, ún. CUE-kat hozunk létre. Egy világítási jelbe az adott kép szerkesztése során megadott, módosított összes paramétert eltároljuk. Ezt követően a világítási jeleket össze kell fűzni. Az esetek többségében a jelek szekvenciális végrehajtását követjük, a váltást egy trigger jel indítja, amit a rendezővel egyeztetve, dramaturgiailag is megfelelő helyre kell beilleszteni. A triggerelési lehetőségek között van a világosító által gombnyomásra kiadott Go parancs, a Follow, mely a megelőző jel betöltése után egyből indítja a következő jelet, de egy Timecode is triggerelheti a fényváltásainkat. Az előadás esetében a hangvezérlőből érkező MIDI üzenethez rendelt GO parancs szintén indíthat jelváltást, biztosítva ezzel a pontos együttfutást a hangbejátszásokkal. A videó képváltások a megfelelő ID-k alapján az adott világítási jelekbe kerültek mentésre, így a fényváltások és videó bejátszások együttfutása is megoldott, ami különösen sötét fényjeleknél fontos. A jelváltásoknál nagyon fontos a különböző időzítések (Fade time) beállítása, ami a soron következő jel betöltési ideje, de az előző jel kimenő ideje is lehet. A betöltési és a kimenő időhöz hozzárendelhető késleltetés (Delay time) is. Mind a Fade Time, mind a Delay time megadható a teljes jelre, de akár külön attribútumokhoz (pl. dimmer, color) is hozzárendelhetők.

Sequence		E: 1. 1	Set5	Set4	Set3	Set2	Set1	Link Encoders	Link Selected	Auto Scroll
Number	Name	Info	MIB	Trig	Fade	Out Fade	Delay	Out Delay		
0	Cue Zero			Go	0					
1	Cue 1			Go	0					
2	FOGADO	nt	Early	Go	0					
3	Cue 3	nt sotet- hang midi		Go	9					
4	PROLOGUS	hang midi	Early	Go	30					
5	Cue 5	follow	Early	Follow	25		15			
6	NYITANY	hang midi		Go	6		8			
7	Cue 7	follow	Early	Follow	6		10			
8	Cue 8	follow		Follow	6		7			
9	Cue 9	follow	Early	Follow	6		10			
10	Cue 10	follow		Follow	6		7			
11	Cue 11	follow	Early	Follow	6		12			
12	Cue 12	follow		Follow	6		7			
13	Cue 13	follow	Early	Follow	6		13			
14	Cue 14	follow		Follow	6		7			
15	Cue 15	follow	Early	Follow	6		10			
16	Cue 16	follow		Follow	6		7			
17	Cue 17	follow	Early	Follow	6		10			

4.7. ábra. A világítási jelek az előadás szekvenciájában (saját szerkesztés)

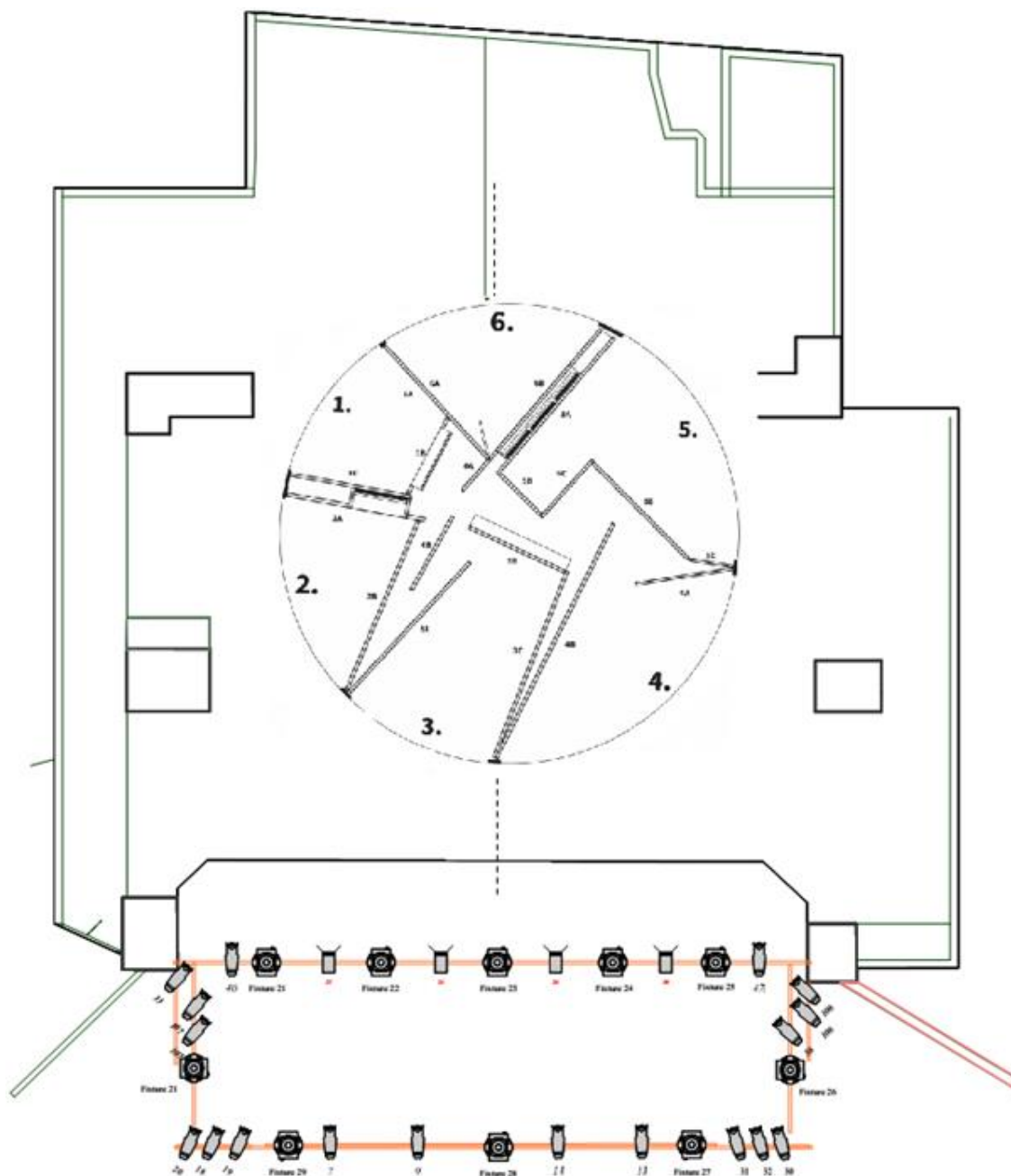
A fényvezérlő szoftver lehetőség biztosít különböző programozást segítő és gyorsító eljárások alkalmazására. Az ún. Tracking Mode bekapcsolása esetén csak a változások kerülnek mentésre az új jelek létrehozásánál, a korábbi paraméterek rögzülnek és új érték hozzárendeléséig változatlanok maradnak. Különösen robotlámpák használatnál jelent segítséget a MIB (Move in Black) funkció, ami biztosítja, hogy az adott gép, amíg a dimmer csatornája inaktív, az összes változó paraméterét előre bekészíti, a következő jelig, ahol már aktív. Ezzel pl. biztosítható, hogy egy robotlámpa pozícióváltása sötétben történjen meg és a néző ne észlelje. A jelekbe illeszthető CMD-k (command-ok) lehetővé teszik egy parancs kiadását a jel betöltésekor, ami lehet akár egy másik szekvencia meghívása vagy egy effekt elindítása is. A Macro lehetőséget kínál arra, hogy több CMD-t összefűzzünk, így egyszerre több utasítást hajtsunk végre szekvenciálisan. A Macro a CMD-hez hasonlóan szintén meghívható egy világítási jel betöltésekor.

Az előadás monitorozásához célszerű egy olyan felület kialakítása, ahol a világítási eszközök paraméterei nyomon követhetők a programozás és előadás során is. Egy ilyen elrendezést mutat be a következő ábra.



4.8. ábra. Az előadás monitorozására kialakított felület (saját szerkesztés)

Az előadásról készített világítási rajzot a 4.9.-es ábra tartalmazza. A rajz bemutatja a Katona József Színház színpadának méretarányos alaprajzát, a forgóra felépített díszlet alaprajzát, valamint a frontvilágításhoz használt intelligens robotlámpák világítási pozícióit.



4.9. ábra. Az előadás világítási rajza, a fix világítási pozíciókkal (saját szerkesztés)

Összefoglalás

Szakdolgozatom témája a világítástervezés színházi környezetben. Egy világítástervezőnek egy darab világításával kapcsolatosan számos feladata van. A produkciós megbeszélések során a rendezővel és látványtervezővel folyamatosan egyeztetni kell, majd a kialakult technikai igények és a költségvetési keret együtt határozzák meg egy darab technikai megvalósíthatóságát. A dolgozat a tervezési folyamat legfontosabb részeit és lépéseit mutatja be.

Az első fejezet egy elméleti áttekintést ad a színpadvilágítási rendszer legfontosabb elemeiről, a színpadvilágításban alkalmazott fényforrásokról a halogén izzóktól a LED-ekig, valamint bemutatja a hagyományos és intelligens fényvetők legfontosabb jellemzőit valamint a színpadtechnikai alkalmazási lehetőségeket. A fejezet végén említésre kerül a színpadtechnikai fényforrások és fényvetők fejlesztésének iránya.

A második fejezet bemutatja az előadáshoz és a díszlet adottságaihoz kiválasztott fényforrásokat és azok díszletben történő elhelyezését, valamint ismerteti a felépített világítási rendszer áramköri tervezését, kábelezését. Bemutatásra kerül a tápegységek és vezérlő egységek kiválasztása, a dimmerek és direkt áramköri egységek alkalmazása, valamint a hálózati betáplálás.

A harmadik fejezetben a vezérlési rendszert ismertetem, melyben bemutatásra kerül a DMX512-es protokoll és annak Etherneten történő átviteli lehetőségei is. A vezérlés megvalósításán túl ismertetésre kerülnek az összehangolási lehetőségek a hang-és videotechnikai területtel is.

A záró fejezet két fontos részből tevődik össze. Az első része a színpadvilágítási alapelveket mutatja be, valamint, hogy ezen elvek hogyan kerültek alkalmazásra a darab világítása során. A fejezet másik része a világítási jelek programozásának alapvető módszereibe ad betekintést az előadáshoz kapcsolódva.

Minden tervezésről szóló fejezet tartalmazza a megfelelő tervdokumentációt.

Summary

The subject of my thesis is a lighting desing process in a theatrical environment. A lighting designer has several tasks during this process. First of all there is a production discussion where the director describes his/her ideas about the play and the technical requirements and the budget determine how the play can be realized. My thesis reviews the most important parts of this process.

At the beginning, in chapter 1, I will describe the most important elements of the stage lighting systems include light sources from halogen lamps to LED-s, traditional lamps houses, and intelligent lamps or effect devices. At the end of the chapter I mention the most important direction of the light source development.

Chapter 2 contains the selection of the suitable light sources and its positions considering the scenery's technical specificity and the director's expectations. This chapter presents the circuit design and the wiring of the used lighting system including power supplies, DMX controllers and dimmers.

Chapter 3 is based on control issues, like physical DMX and transmission protocols used in lighting systems. It presents the control implementation of the play including the synchronization with sound and video technology.

The last chapter is divided into two important parts. The first one is the description of the lighting design basic theories and the second is an overview of programming methods of a sequence connected to the play.

Chapter 2,3,4 contain a block diagram about the designed part of the system, like control and circuit diagram and the light plot.

Irodalomjegyzék

- [1] Böröcz Sándor: Színpadvilágítás – Elmélet és technika. Colorcom Media, 2006.
- [2] Pelyhe János: Világítástechnika jegyzet Színház és Filmművészeti Egyetem, 2017
- [3] Poppe Kornélné – Dr. Borsányi János: Világítástechnika I. BMF-KVK-2024 javított kiadás Budapest 2004
- [4] Böröcz Sándor - Színpadi világítási tervezési alapok- Világítástechnikai évkönyv 2006-2007
- [5] <https://www.ayrton.eu/innovation/silentpower/> Letöltés dátuma: 2022.04.25.
- [6] Waveform Lighting - When and Why do LEDs Need Current Limiting Resistors? <https://www.waveformlighting.com/pcb-designs/when-and-why-do-leds-need-current-limiting-resistors>, Letöltés dátuma: 2022.04.28.
- [7] Arató András – Dr. Borsányi János – Klinger György – Dr. Kovács Károly – Molnár Károly Zsolt – Nádas József – Dr. Vetési Emil: Innovatív világítás, OE-KVK 2108, Budapest, 2013
- [8] Waveform Lighting - LED Strip Light Internal Schematic and Voltage Information <https://www.waveformlighting.com/pcb-designs/led-strip-light-schematic-and-voltage-information>, Letöltés dátuma: 2022.05.08.
- [9] Arató András–Dr. Borsányi János–Dr. Kovács Károly– Dr. Majoros András–Molnár Károly: Világítástechnika II. , BMF KVK, javított kiadás, 2018
- [10] Dén Gábor: Színház és Filmművészeti Egyetem – Színházi műszaki tanfolyam-Alapfokú elektrotechnikai ismeretek jegyzet, Óbudai Egyetem Budapest, 2012
- [11] ANSI E1.11-2008 (R2018)
https://www.google.hu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwixnNS66tr3AhXdCRAIHWU8A5gQFnoECAMQAQ&url=https%3A%2F%2Ftsp.esta.org%2Ftsp%2Fdocuments%2Fdocs%2FANSI-ESTA_E1-11_2008R2018.pdf&usg=AOvVaw1w1C8442Zl7JSDikqXJWWR Letöltés dátuma: 2022.05.06.
- [12] Specification for the Art - Net 4 Ethernet Communication Protocol2016
<https://www.google.hu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiS5cib69r3AhVjsYsKHYDOAIcQFnoECACQAQ&url=https%3A%2>

[F%2Fartisticlicence.com%2FWebSiteMaster%2FUser%2520Guides%2Fart-
net.pdf&usg=AOvVaw2kPYbZXnMKa7yWmmYmViX3](https://www.google.hu/url?sa=t&rct=j&q=&resrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjY5erf69r3AhVn-
yoKHflsDzQQFnoECAYQAAQ&url=https%3A%2F%2Ftsp.esta.org%2Ftsp%2Fdocuments%2Fdocs%2FEthernetPracticeAndSupplement.pdf&usg=AOvVaw2kPYbZXnMKa7yWmmYmViX3) Letöltés dátuma: 2022.05.10.

[13] Recommended Practice for Ethernet Cabling Systems in Entertainment Lighting Applications

[https://www.google.hu/url?sa=t&rct=j&q=&resrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=
8&ved=2ahUKEwjY5erf69r3AhVn-
yoKHflsDzQQFnoECAYQAAQ&url=https%3A%2F%2Ftsp.esta.org%2Ftsp%2Fdocum
ents%2Fdocs%2FEthernetPracticeAndSupplement.pdf&usg=AOvVaw0VExSpHa6r96
RaotwldUfD](https://www.google.hu/url?sa=t&rct=j&q=&resrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjY5erf69r3AhVn-
yoKHflsDzQQFnoECAYQAAQ&url=https%3A%2F%2Ftsp.esta.org%2Ftsp%2Fdocuments%2Fdocs%2FEthernetPracticeAndSupplement.pdf&usg=AOvVaw0VExSpHa6r96
RaotwldUfD) Letöltés dátuma: 2022.05.10.

[14] Max Keller: Light Fantastic, The Art and Design of Stage Lighting, Prestel Verlag, 1999. Munich, London, New York

Ábrajegyzék

1.1. ábra. A halogén izzók spektruma

[1] Böröcz Sándor: Színpadvilágítás – Elmélet és technika. Colorcom Media, 2006

1.2. ábra. Halogén izzó kialakítások

[2] Pelyhe János: Világítástechnika jegyzet Színház és Filmművészeti Egyetem, 2017

1.3. ábra A fémhalogén izzók spektruma

[1] Böröcz Sándor: Színpadvilágítás – Elmélet és technika. Colorcom Media, 2006

1.4. ábra. Fémhalogén izzó kialakítások

[2] Pelyhe János: Világítástechnika jegyzet Színház és Filmművészeti Egyetem, 2017

1.5 ábra. Intelligens robotlámpák LED moduljai

[3] <https://www.ayrton.eu/innovation/a-c-s-additive-colour-synthesis/>

1.6. ábra. Fényerősség és megvilágítás a távolság függvényében lézerdiódás fényvetőnél

[4] <https://e-assist.tech/servlet/checkDocumentsFile?Id=2412>

1.7. ábra. PC lencsés fényvető és optikai rendszere

[1] Böröcz Sándor: Színpadvilágítás – Elmélet és technika. Colorcom Media, 2006

1.8. ábra. PC lencsés fényvető és optikai rendszere

[1] Böröcz Sándor: Színpadvilágítás – Elmélet és technika. Colorcom Media, 2006

1.9. ábra. Kondenzor optikás és ellipszoid tükrös fényvető optikai rendszere

[1] Böröcz Sándor: Színpadvilágítás – Elmélet és technika. Colorcom Media, 2006

1.10. ábra. Kondenzor optikás és ellipszoid tükrös profil fényvető

[2] Pelyhe János: Világítástechnika jegyzet Színház és Filmművészeti Egyetem, 2017

1.11. ábra Szimmetrikus és aszimmetrikus derítők

[2] Pelyhe János: Világítástechnika jegyzet Színház és Filmművészeti Egyetem, 2017

1.12. ábra Profil, wash, beam típusú robot fényvetők

[2] Pelyhe János: Világítástechnika jegyzet Színház és Filmművészeti Egyetem, 2017

1.13. ábra. LEDPar, LEDbar, LED wash robot fényvetők [2]

[2] Pelyhe János: Világítástechnika jegyzet Színház és Filmművészeti Egyetem, 2017

2.1. ábra. Dióda feszültség-áram karakterisztikája és munkapontja

[5] <https://www.waveformlighting.com/pcb-designs/when-and-why-do-leds-need-current-limiting-resistors>

2.2. ábra LED szalagok tipikus konfigurációja

[6] <https://www.waveformlighting.com/pcb-designs/led-strip-light-schematic-and-voltage-information>

2.3. ábra. PWM jelalakok különböző kitöltési tényezőkkel

[7] <https://www.analog.com/en/technical-articles/accurate-pwm-led-dimming.html>

2.4. ábra. A kiválasztott bicolor LED szalag spektrális eloszlása

[8] <https://www.ledaruhaz.hu/valtoztathato-feher-cct-cri-90-2400k-6500k-smd-led-szalag-2216-led-24v-belteri-240-ledm-max-1510-lmm-192-w-2-ev-garancia-71710>

2.5. ábra. A kiválasztott bicolor LED szalag felépítése

[8] <https://www.ledaruhaz.hu/valtoztathato-feher-cct-cri-90-2400k-6500k-smd-led-szalag-2216-led-24v-belteri-240-ledm-max-1510-lmm-192-w-2-ev-garancia-71710>

2.6. ábra. A kiválasztott RGB LED szalag felépítése

[9] <https://s-lightled.hu/rgb-5050-60-ip20-24v-led-szalag>

2.7. ábra. A szobák elhelyezkedése a színpadi forgón

[10] Az előadás díszlettervének tervdokumentációja (Giliga Ilka)

2.8. ábra. A kiválasztott tápegység terhelésfüggő grafikonjai

[11] <https://www.farnell.com/datasheets/2682097.pdf>

2.9. ábra. A kiválasztott tápegység működési blokkvázlata

[12] <https://www.farnell.com/datasheets/2682097.pdf>

2.10. ábra. A vezérlőn beállítható különböző dimmer karakterisztikák

[13]

<https://www.google.hu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjP8fi11d73AhVAhP0HHduuBwkQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.wa>

[veformlighting.com%2Fdatasheets%2FUM_3082.pdf&usg=AOvVaw3DXAb1_aa2wFunErf9afyv](https://www.google.hu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjP8fi11d73AhVAhP0HHduuBwkQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.waveformlighting.com%2Fdatasheets%2FUM_3082.pdf&usg=AOvVaw3DXAb1_aa2wFunErf9afyv)

2.11. ábra. A kiválasztott DMX vezérlő csatlakozófelületei

[13]

https://www.google.hu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjP8fi11d73AhVAhP0HHduuBwkQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.waveformlighting.com%2Fdatasheets%2FUM_3082.pdf&usg=AOvVaw3DXAb1_aa2wFunErf9afyv

2.12. ábra. A szobák világításának áramköri blokkvázlata (saját szerkesztés)

2.13. ábra. Az elkészült tápegységek vezérlőkkel és csatlakozókkal (saját szerkesztés)

2.14. ábra. A hatásvilágítási egységek felépítésének áramköri blokkvázlata (saját szerkesztés)

2.15. ábra. A harting csatlakozó felépítése és bekötése (saját szerkesztés)

2.16. ábra. A színház betáplálási rendszerének blokkvázlata (saját szerkesztés)

2.17. ábra. 6 csatornás dimmer és 12 csatornás hibrid dimmer egység (saját szerkesztés)

2.18. ábra. Érintésvédelmi osztályok és a SELV kialakítás

[14] <https://ledbau.hu/cikkek/erintesvedelmi-osztalyok-a-39.html>

3.1. ábra. A DMX adatfolyam felépítése

[1] Böröcz Sándor: Színpadvilágítás – Elmélet és technika. Colorcom Media, 2006

3.2. ábra. A DMX szimmetrikus jelvezetése és a csatlakozóbekötése

[1] Böröcz Sándor: Színpadvilágítás – Elmélet és technika. Colorcom Media, 2006

3.3. ábra. Fényvezérlő pult switch és DMX Node összekapcsolása

[15] <https://www.luminis.hu/2020/05/visszanezheto-online-webinarok?v=35b5282113b8>

3.4. ábra. A robotlámpák DMX csatorna kiosztásának részlete (saját szerkesztés)

3.5. ábra. A fixture device elkészítése programmal (saját szerkesztés)

3.6.. ábra. A MIDI vezérlés konfigurálása a fényvezérlő pulton (saját szerkesztés)

3.7. ábra. A teljes vezérlési rendszer blokkvázlata (saját szerkesztés)

4.1. ábra. A frontvilágítás optimális szögei

[2] Pelyhe János: Világítástechnika jegyzet Színház és Filmművészeti Egyetem, 2017

4.2. ábra. A bevilágítók, mint a jelenet főfényei

[16] Fotó: Szokodi Bea – Katona József Színház

4.3. ábra. Intenzív, homogén frontvilágítással megvalósított világítási képek

[16] Fotó: Szokodi Bea – Katona József Színház

4.4. ábra. Szereplők kiemeléssel és kiemelés nélkül

[16] Fotó: Szokodi Bea – Katona József Színház

4.5. ábra. A világítási eszközök elérése a fényvezérlő programozói felületén (saját szerkesztés)

4.6. ábra. Color attribútumhoz rendelt paraméterek (saját szerkesztés)

4.7. ábra. A világítási jelek az előadás szekvenciájában (saját szerkesztés)

4.8. ábra. Az előadás monitorozására kialakított felület (saját szerkesztés)

4.9. ábra. Az előadás világítási rajza, a fix világítási pozíciókkal (saját szerkesztés)