

Széchenyi István Egyetem
Gépészmérnöki, Informatikai és Villamosmérnöki Kar
Informatika Tanszék

SZAKDOLGOZAT

Székely Dániel

Mérnökinformatikus BSc

2024

SZAKDOLGOZAT

Digitális audio - Dante protokollra épülő
hangrendszer tervezése, építése,
optimalizálása, beüzemelése

Székely Dániel

Mérnökinformatikus BSc

2024

FELADATKIÍRÁS

A feladatkiíró lapot két példányban kell leadni a tanszéki adminisztrációban. Beadás előtt az egyiket visszkapod és a leadott munkába eredeti, tanszéki pecséttel ellátott és a tanszékvezető által aláírt lapot kell belefűzni (ezen oldal *helyett*, ez az oldal csak útmutatás).

Nyilatkozat

Alulírott, **Székely Dániel (JAXC3C)**, Mérnökinformatikus BSc szakos hallgató kijelentem, hogy a *Digitális audio - Dante protokollra épülő hangrendszer tervezése, építése, optimalizálása, beüzemelése* című szakdolgozat feladat kidolgozása a saját munkám, abban csak a megjelölt forrásokat, és a megjelölt mértékben használtam fel, az idézés szabályainak megfelelően, a hivatkozások pontos megjelölésével.

Eredményeim saját munkán, számításokon, kutatáson, valós méréseken alapulnak, és a legjobb tudásom szerint hitelesek.

Győr, 2024. január 8.

Székely Dániel
hallgató

Kivonat

Szakdolgozatomban egy olyan digitális hangtechnikai rendszer tervezését és megvalósítását mutatom be, amely teljes mértékben digitális alapokra helyezi a hangsúlyt. Be fogom mutatni a rendszer tervezésének lépéseit, a különböző protokollok közötti választást, a rendszer felépítését, és a rendszer működését.

Abstract

This document is a \LaTeX -based skeleton for BSc/MSc theses based on the official template developed and maintained at the Electrical Engineering and Informatics Faculty, Budapest University of Technology and Economics. The goal of this skeleton is to guide and help students that wish to use \LaTeX for their work at Széchenyi István Egyetem Gépészmérnöki, Informatikai és Villamosmérnöki Kar. It has been tested with the *TeXLive* \TeX implementation, and it requires the PDF- \LaTeX compiler.

Many thanks to the Fault Tolerant Systems Research Group who maintain the repository this template is based on: <https://github.com/FTSRG/thesis-template-latex>

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	2
1.1. A kezdetek	2
1.1.1. Téma választás	2
2. Audio over IP rendszerek bemutatása	4
2.1. Bevezetés az Audio over IP világába [1] [8]	4
2.1.1. Előnyök	4
2.1.2. Hátrányok	4
2.1.3. Fázishelyesség	5
2.1.4. Időszinkronizáció	5
2.1.5. Mintavételi frekvencia és bitmélység	5
2.1.6. Késleltetés	5
2.1.7. IP címek és maszkok	5
2.1.8. Unicast és Multicast	5
2.1.9. Redundancia	5
2.2. AES67	5
2.3. Waves SoundGrid	5
2.4. Audinate Dante	5
3. Rendszertervezés és telepítés elő környezetben	6
3.1. Követelmények	6
3.2. Rendszerterv	6
3.2.1. Martin Audio Wavefront Precision hangrendszer	7
3.2.1.1. Martin Audio Display 2.3.4 b1 tervező szoftver [2]	7
3.2.1.2. Martin Audio VU-NET rendszer szoftver [5]	16
3.2.1.3. Mélyláda rendszer	16
3.2.2. Allen & Heath digitális keverőrendszer	17
3.2.3. Shure ULXD digitális vezeték nélküli mikrofonrendszer	17
3.2.4. Dante audio szerver	17
3.2.5. Dante hálózat kialakítása és optimalizálása	18
3.2.5.1. Dante Controller: Hálózati mátrix	18
3.2.5.2. Dante Controller: Eszköz nézet	18
3.2.5.3. IP kiosztás	18
3.2.5.4. Dante Controller: Órajel nézet	19
3.3. Rendszermérések és monitorozás	19
3.3.1. Dante rendszer monitorozása	19
3.3.1.1. Dante Controller: Hálózati állapot nézet	19
3.3.1.2. Dante Controller: Események nézet	19
3.3.2. Cardioid mélyláda rendszer mérése	19
3.3.3. Mélyláda és Line Array fázishelyesség	19
3.3.4. Rendszer hangnyomás szint és frekvencia átvitel mérése	19

4. Üzemeltetési tapasztalatok és továbbfejlesztési lehetőségek	20
4.1. További eszközök integrálása	20
4.2. Bővítés nagyobb interfészre	20
Köszönetnyilvánítás	21
Ábrák jegyzéke	22
Irodalomjegyzék	22
Függelék	24

1. fejezet

Bevezetés

1.1. A kezdetek

Kisgyermek koromtól kezdve érdekelnek a hangtechnikához fűződő eszközök és azok elméleti-gyakorlati működése. Első élményeim egyike közé tartozik az, amikor szüleim egy új fajta rádiólejátszót vásároltak otthonra, amelyen már nem csak a rádióadásokat lehetett hallgatni, hanem lejátszhatóak voltak kazetták is. A készüléket akkoriban jobban tudtam kezelni gyermekként, mint a szüleim, egyértelmű volt már akkoriban is, a technika és a zene iránti érdeklődésem. Ezek után általános iskolában a fizika tanárommal együtt kezdük el a sulirádió működtetését, amelynek a telepítési részében is részt vettem, mivel azelőtt csak egyszerű csengők voltak felszerelve az épületben. Szükség volt hangsugárzókra, erősítőkre, mikrofonokra, és egyéb kiegészítőkre. A rádió működtetése is az én feladatom lett két másik barátommal együtt, az iskolával kapcsolatos híreket és információkat mondtuk be rövid szünetekben, a hosszabb szünetekben pedig zenét játszottunk. Mindeközben zeneiskolába is beiratkoztam, ahol ütőhangszeresként tanultam egészen egyetemi tanulmányaim kezdetéig. A több mint tíz év alatt, sok új ismeretet és tapasztalatot szereztem, amit a későbbiekben mint zenész, mint hangosító tudtam hasznosítani. Megismerkedtem a különböző zenei stílusok egyedi hangzásvilágával, ami a későbbiekben a hangosításban is nagy segítségemre volt. Középiskolai tanulmányaim alatt kezdtem el komolyabban foglalkozni a hangtechnika világával komolyabb szinten. A fizika tanárommal ugyanis korábban nem csak a sulirádiót működtettük, hanem az összes sulibulit és rendezvényt a faluban mi szolgáltuk ki technikailag. Ezért mivel már középiskolába jártam, a későbbiekben egy feltörekvő fiatalos és modern gondolkodású magánvállalkozáshoz ajánlott be engem, mivel a fiatal és motivált munkaerőt kerestek. (TéDé Rendezvények) Már az első munkalehetőség-nél éreztem, hogy ez egy nagyon jó lehetőség számomra, mindenképpen szeretnék ebben a szakmában dolgozni. A cég fő profilja a hangrendszerek kiépítése és üzemeltetése volt, de későbbiekben már a fénytechnikával és színpadtechnikával is el kezdtünk foglalkozni. Ettől kezdve kezdtem el aktívan dolgozni a rendezvényiparban a hangrendszerek világában. Az évek során egyre több tapasztalatot szereztem. Évente több mint száz rendezvényen tudtam folyamatosan fejlődni, rutint és ismerettséget szerezni a szakmában.

1.1.1. Téma választás

A hangrendszerek világa az elmúlt években nagy változáson ment keresztül. A digitális technika térhódítása a hangtechnikában is megjelent, és egyre több fajta megoldás jelent meg a piacon. A digitális fejlesztésekből mi sem szerettünk volna kimaradni, hogy hangtechnikai apparátusunk korszerű és versenyképes maradjon. Ekkor jött a fejlesztési ötlet, egy olyan rendszert tervezni, amely teljes mértékben digitális alapokra helyezi a jelenlegi hibrid megoldásunkat. A cégvezetőtől azt a feladatot kaptam, hogy tervezzek egy

olyan rendszert, amely megoldja a jelenlegi hibrid rendszerünk teljes digitális megoldásra való cseréjét. Az alapvető szempontok közé tartozott, hogy a rendszer legyen könnyen skálázható, és bővíthető, valamint a jelenlegi rendszert minden tekintetben felülmúlja. Első lépésben a különböző Audio over IP protokollok közül kellett választanom, amely a leginkább megfelel a rendszerünk igényeinek. Ehhez a piacon lévő protokollokat kellett megvizsgálnom, és a legjobb megoldást választani.

2. fejezet

Audio over IP rendszerek bemutatása

2.1. Bevezetés az Audio over IP világába [1] [8]

Az 1990-es évek óta az informatika és a hálózatok robbanásszerű fejlődésével együtt a professzionális audio ipar is elkezdett változni. A 'pontról pontra' elvű (minden eszközt külön-külön kell fizikailag összekapcsolni kábellel amely digitális információt hordoz) digitális audió átvitel helyett, mint például az AES/EBU vagy a MADI, az IP alapú rendszerek felé kezdett el elmozdulni. Mivel ezek az IP rendszerek csomagalapúak, hatalmas rugalmasságot és továbbfejlesztési lehetőségeket biztosítanak a hagyományos rendszerekkel szemben. Ezek az előnyök mind hardveres, mind szoftveres szinten megjelennek, és lehetővé teszik a rendszerek könnyebb kezelhetőségét, valamint a hálózatok egyszerűbb kiépítését és karbantartását.

2.1.1. Előnyök

Nincsen szükség fizikai kábelekre a különböző végpontok között. Egyetlen egy CAT kábelre van szükségünk a rendszerbe kapcsoláshoz, majd egy szoftveres kezelőfelületen keresztül bármikor megváltoztathatóak a jelek útjai. (Ez alól kivételt képeznek a redundáns rendszerek amelyek két CAT kábelt igényelnek a redundancia biztosítása végett) A megfelelően megtervezett rendszerünk modulárisává válik, és a hálózat bármely pontján könnyen bővíthető, illetve a hálózat bármely pontjáról elérhetővé válik a rendszer. Egyes eszközökre a gyártó akár olyan fundamentális frissítéseket is kiadhat, amely nagymértékben képes lehet az adott eszköz funkcionalitását javítani, vagy új funkciók hozzáadásával tovább növelni a komponens értékét.

2.1.2. Hátrányok

A digitális hangfeldolgozás nagy flexibilitást és helytakarékoságot hozott el magával ebben az iparágban, de mindez nem teljes mértékben jött hátrány nélkül. Még a legmodernebb és legjobb A-D (analog to digital) konverterek sem tudták teljes mértékben visszaadni azt a tipikus analog hangot, amire egy analog hangrendszer képes. Ez elsősorban abból fakad, hogy egy átlagos digitális keverővel és végfokrendszerrel ellátott új generációs hangrendszerben sok A-D és D-A konverzió történik, és minden egyes konverzióval, hiába veszünk sok mintát (96 kHz 24 bit 3000+kbps), a hang akkor is veszít egy kicsit a karakterisztikájából.

- 2.1.3. Fázishelyesség
- 2.1.4. Időszinkronizáció
- 2.1.5. Mintavételi frekvencia és bitmélység
- 2.1.6. Késleltetés
- 2.1.7. IP címek és maszkok
- 2.1.8. Unicast és Multicast
- 2.1.9. Redundancia
- 2.2. AES67
- 2.3. Waves SoundGrid
- 2.4. Audinate Dante

3. fejezet

Rendszertervezés és telepítés elő környezetben

3.1. Követelmények

3.2. Rendszerterv

Az új rendszer tervezésekor a következő szempontokat kellett szem előtt tartanom: Az új rendszer

Hangrendszer szempontjából a Martin Audio Wavefront Precision szériás termékeire esett a választás. Mivel teljes mértékben digitális rendszert elérése volt a cél, ezért a Dante modullal rendelkező Martin Audio iKON iK42 és iK81 végfokok tökéletesen illeszkedtek a rendszerbe. Mindkét végfok csúcskategóriás teljesítményt és hangminőséget nyújt, és a D kategóriás erősítőknek köszönhetően rendkívül kis helyet foglalnak el a rack-ben miközben kiváló hatásfok mellett képesek nagy teljesítményt leadni. A két erősítő között két fundamentális különbség van, az iK42 négy kimeneti csatornával rendelkezik, 20.000 W teljesítmény leadása mellett. Ezzel szemben az iK81 nyolc kimeneti csatornával rendelkezik, 10.000 W teljesítménnyel. A végfokokat a Dante hálózaton keresztül fogjuk jellel ellátni, így a hagyományos analóg XLR, vagy AES kábelezés helyett két CAT5E kábellel (a redundancia miatt) tudjuk a végfokokat a hálózatra kötni. A végfokrendszer fő vezérlő protokollja miatt szükség lesz még egy CAT5E alapú összeköttetésre, ami az egyes végfokokat köti össze egy hálózatba a switcheken keresztül. (VU-NET protokoll) Minden egyes végfokrackben két MikroTik 24 portos switch lesz. Az egyik switch a Dante elsődleges hálózatát fogja kizárólag kezelni. A másik switch a Dante másodlagos hálózatát, és a VU-NET hálózatot fogja kezelni. Ez a két alhálózat VLAN szegmensekkel lesz elkülönítve, hogy a hálózat biztonságos és stabil legyen.



iKON

3.1. ábra. Martin Audio iK42 végfok



iKON

3.2. ábra. Martin Audio iK81 végfok

!!!ÁBRA HELYE!!! Egy jel útja a régi hibrid rendszerben

!!!ÁBRA HELYE!!! Egy jel útja az új teljesen digitális rendszerben

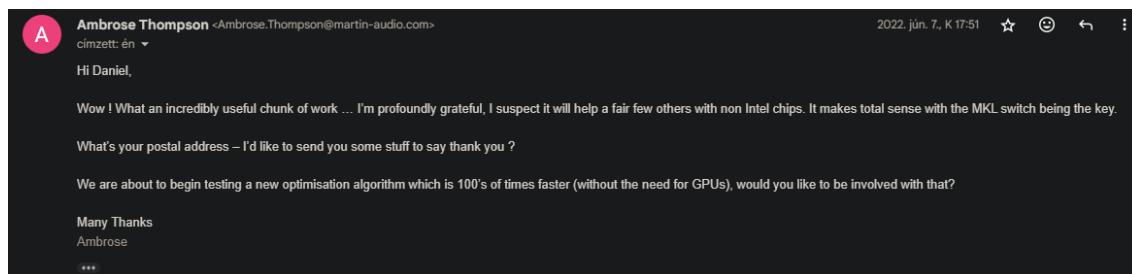
3.2.1. Martin Audio Wavefront Precision hangrendszer

3.2.1.1. Martin Audio Display 2.3.4 b1 tervező szoftver [2]

Mielőtt bele fognánk a tervezési folyamatba, fontos megemlíteni, hogy a szoftver eredetileg Intel alapú processzorokra lett tervezve és MatLab alapú. Ebből fakadóan AMD Ryzen processzorokon habár elindult a szoftver, de nem volt stabil és a számítások során minden esetben összeomlott, és használhatatlanul lassú volt. Személy szerint a saját gépem amivel dolgoztam sajnos ilyen processzorral van szerelve ezért muszáj volt megoldást találni a problémára. A Martin Audio hivatalos szoftveres támogatásához fordultam először, de sajnos nem tudtak segíteni. Ezért a szoftver használatához sok belefektetett óra olvasás után sikerült egy olyan MatLab CMD parancsot találnom, amivel a szoftver elindul és használható. Miután rájöttem a probléma gyökerére, ezt megosztottam velük, hogy a jövőben másoknak ne kelljen ezzel a problémával szembesülniük. A hiba az alábbi volt. Az új AMD Ryzen processzorok másfajta utasításkészletet használnak. Ebből kifolyólag a MatLab 2015-s runtime alapú szoftver adta alaputasításokat nem tudta értelmezni a CPU. A vezető szoftvermérnökkel való e-mail-es beszélgetésünk során megköszönte a probléma megoldását, és nemsokkal a megoldásom megosztása után a hivatalos oldalra is felekezett az indító parancsfájl. Az e-mailben további kollaborációra is adott lehetőséget. A kompatibilitási problémát rögtön a script elején megoldottam, mivel a következő parancs megadásával már használhatóvá válik a program: `set MKL_DEBUG_CPU_TYPE=5` Ez a sor a program vezérlését AVX2-re állítja át, és mivel ezt az utasításkészletet már ismeri az AMD Ryzen processzor is ezért a probléma már a múlté. Az indító fájl további sorai optimalizálások a számítások gyorsítására, és a párhuzamosítására, ezzel jobban kihasználva a rendelkezésre álló hardver erőforrásokat.

```
@echo off
set PATH=%PATH%;C:\Program Files\Martin Audio\Display2_3_4_b1\application
set MKL_DEBUG_CPU_TYPE=5
set options=optimoptions('ga','UseParallel',true,'UseVectorized',false)
set options=optimoptions('gamultiobj','UseParallel',true,'UseVectorized',false)
set options=optimoptions('paretosearch','UseParallel',true)
set options=optimoptions('particleswarm','UseParallel',true,'UseVectorized',false)
set options=optimoptions('patternsearch','UseParallel',true,'UseCompletePoll',true,'UseVectorized',false)
set options=optimoptions('surrogateopt','UseParallel',true)
set GPUAcceleration=on
start "Martin Audio" Display2_3_4_b1.exe
pause
```

3.1. lista. A Display 2.3.4 b1 indító ".bat" scriptje AMD Ryzen processzorokhoz



3.3. ábra. E-mail a Martin Audio vezető szoftvermérnökétől

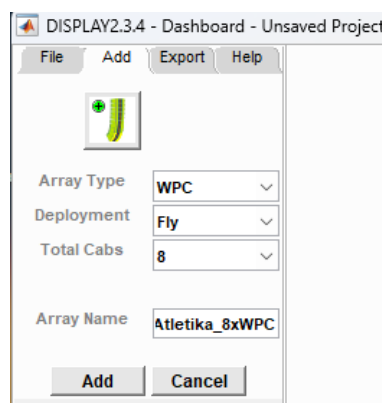
Most, hogy már a szoftver használható és teljes mértékben működőképes, kezdjük el a tervezést. A modellezés során a budapesti Millenáris B csarnoka lesz a referencia helyszín. Két LineArray rendszert fogunk tervezni, mivel a terem hosszúsága és a lefedettség növelése miatt szükségünk lesz Delay kiegészítésre a fő hangrendszerhez. Első lépésben a fő

hangrendszert tervezem meg, ami oldalanként (bal és jobb) 8 darab WPC LineArray modulból fog állni. Ez a láda 2 darab 10"-os mélysugárzót (LF), 2 darab 5"-os közép sugárzót (MF) és 4 darab 0.7"-os magassugárzót tartalmaz (HF). Három utas Bi-amp meghajtású külső végfokot igénylő rendszer, ahol a mély tartományt (+1,-1) és a közép magas tartományt (+2,-2) külön kezeljük, a négy pólusú Neutrik Speakon csatlakozókon keresztül. A láda maximális hangnyomás szintje 135 dB, és 65 Hz-től 18 kHz-ig terjed a frekvencia átvitele ± 3 dB pontossággal. [6]



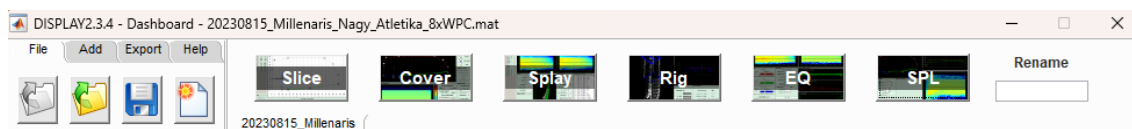
3.4. ábra. Martin Audio WPC LineArray modul

A program megnyitásakor a legelső lépés, hogy kiválasztjuk a termékpalettából a megfelelő hangrendszert. Jelen esetben az előbbieken említett WPC-t. A produkció igényei, a nagy létszámú közönség és a ládamennyiség miatt a rendszert „*riggelni*” fogjuk. (maximálisan 6 darab WPC-t lehet „*stackelni*”, azaz a földre vagy mélyládákra helyezni) A helyszín felmérése után a hangrendszer „*riggelése*” lehetséges, mivel a csarnokban található tartószerkezet biztonságosan és tartósan képes elviselni a rendszer súlyát. A telepítés módja kiválasztása után megadjuk a szoftvernek a tervezni való hangláda mennyiségét, ez az esetünkben már említett 8 darab. A hozzáadás gombra kattintva a élénk kerül a fő kezelőfelület, ahol a hangrendszert tudjuk lépésről lépésre tervezni.



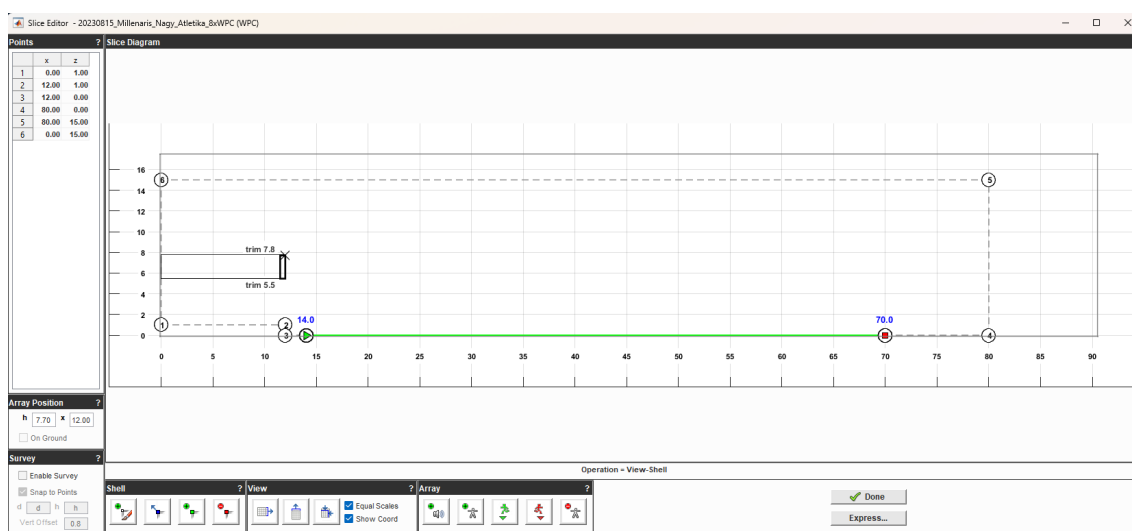
3.5. ábra. Display 2.3.4 b1 kezdőképernyője (WPC)

A tervezési folyamat öt részre osztható, amiket a szoftverben külön kezelünk. Ezeket a „*Slice*”, „*Cover*”, „*Splay*”, „*Rig*” és „*EQ*” kezelőfelületeken tudjuk elvégezni, balról jobbra haladva. Mivel a különböző részegységek egymásra épülnek, ezért fontos a sorrend betartása. (tervezés utáni módosításokra természetesen van lehetőség, de az adott projekt első tervezési folyamata során ezeket a lépéseket kell követni)



3.6. ábra. Display 2.3.4 b1 fő kezelőfelülete (WPC)

A „Slice” panelen meghatározzuk a rendszer fizikai pozícióját térben. A csarnok pontos lemodellezése érdekében a mérésekhez lézeres távolságmérőt használtam. Mivel minden rendezvényen más és más a különböző elemek elhelyezkedése, ezért a rendszert minden alkalommal újra kell tervezni, még akkor is ha maga a helyszín nem változik. „Vertex” pontok segítségével tudjuk a méreteket és a pozíciókat meghatározni. A 2D-s modellen figyelembe kell venni a terem önálló méretén kívül a színpadod és a színpad mögötti területet is. A rajznak tartalmazni kell azokat a falfelületeket is amelyeknél a hangvisszaverődést minimalizálni szeretnénk, ennek az optimalizáció későbbi fázisában lesz jelentősége. A terem pontos rajza után még két fontos paramétert kell megadni ezen a felületen. El kell helyezniünk magát a hangrendszert a teremben, és meg kell határoznunk milyen magasra szeretnénk a rendszert emelni. Mivel a csarnok rendkívül hosszú, és a adottságai megengedik, ezért a rendszert minél magasabbra szeretnénk emelni, a jobb lefedettség érdekében. A másik fontos paraméter az optimalizációhoz, a közönség területének meghatározása. Kezdő és végpont segítségével tudjuk a területet meghatározni, ahol a hallgatóközönség tartózkodni fog.



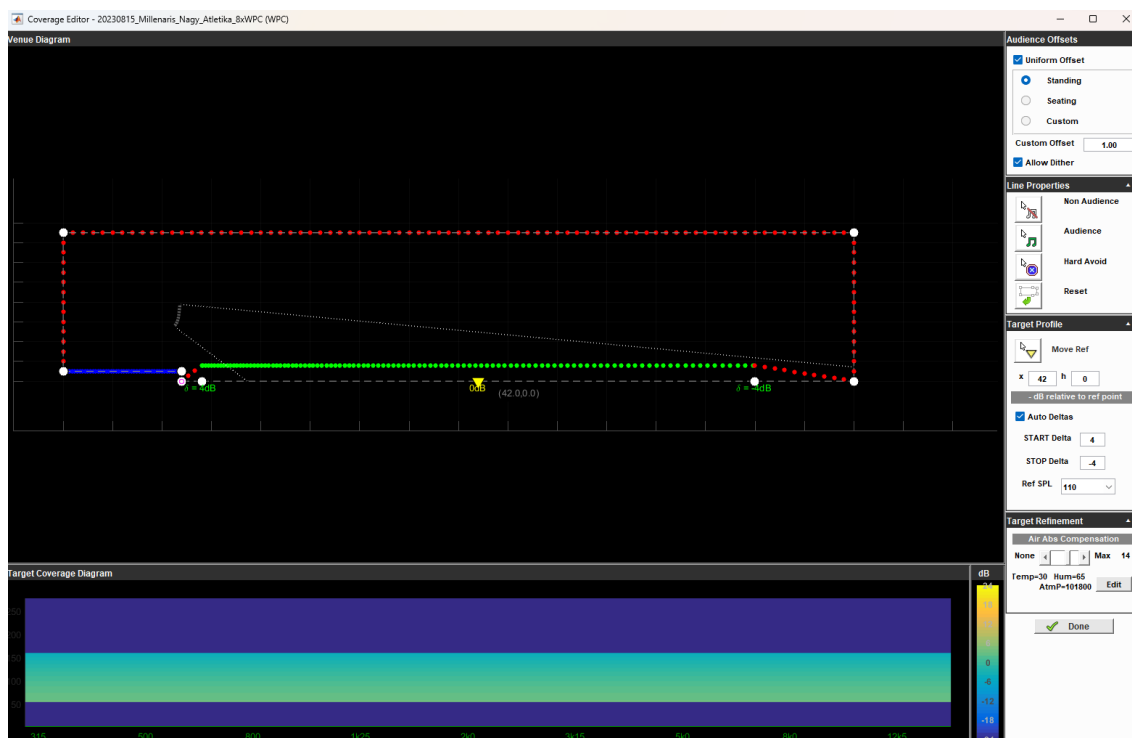
3.7. ábra. Display 2.3.4 b1 „Slice” kezelőfelülete (WPC)

A következő lépések a „Cover” kezelőfelületen történnek. Első és legfontosabb beállítás amit el kell végezni, hogy a hallgatóság az esemény során ülni vagy állni fog-e. Lehetőségünk van a nézőteret különböző részekre is osztani, amennyiben a rendezvény során különböző helyeken eltérő típusú részeket szeretnénk egyenletesen lefedni. Lehetőség van egyedi magasság beállítására is, de jelen esetben a közönség egyhangúan állva fogja hallgatni a produkciót, ezért a „Standing” opciót választottam. Az előző lépésben elkészített rajzunkon definiálhatunk a program számára három fő régiót. Ezek az alábbiak:

- „Non Audience” - a közönség területén kívül eső terület
- „Audience” - a közönség területe

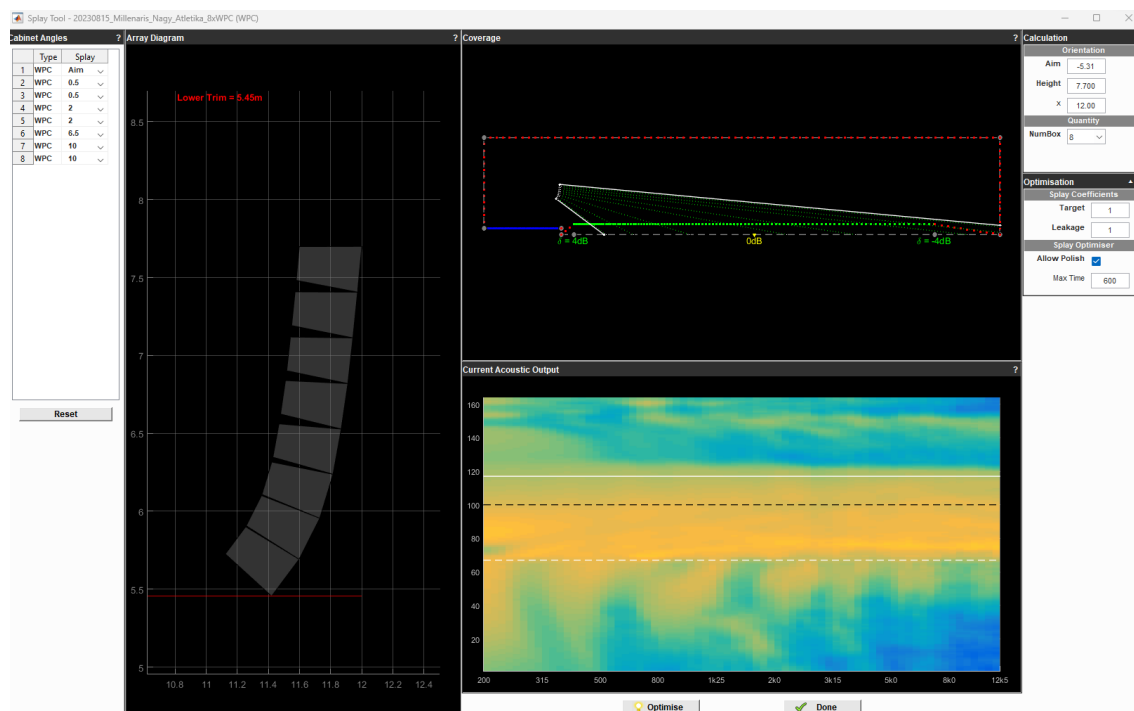
- „*Hard Avoid*” - a közönség területén kívül eső terület, ahol a hangvisszaverődést szeretnénk minimalizálni

Jelen esetben a fő hangrendszerrel nem jelöltem meg a „*Hard Avoid*” területet, mivel a teremben az első olyan felület ami a hangvisszaverődést okozna már olyan távol helyezkedik el a hangrendszertől, hogy a hangvisszaverődés már nem okoz problémát. A következő lépéseket előkészítve meg kell határoznunk a hangrendszertől egy adott távolságra lévő pontot a teremben, amit referencia pontként fogunk használni. Ezt a pontot a „*Move Ref*” gombra kattintva tudjuk megadni, vagy manuálisan beírva az X és Y koordinátákat. Automatikusan a terem közepére van pozícionálva a referencia pont, de ezt erősen ajánlott mozgatni attól függően mit szeretnénk elérni. Jelen esetben a mix pultot fogjuk a referencia pontnak megadni. A „*Start*” és „*Stop*” mezőkben meg kell adnunk, hogy a referencia ponttól véve mekkora hangnyomás deltával szeretnénk dolgozni. Ez azt jelenti, hogy a kezdő, a referencia és a végpont közötti hangnyomás hány dB-el térhet el egymástól. Ezt az értéket a szoftver az eddig megadott információk alapján automatikusan kiszámolja, de manuálisan is megadhatjuk. Az automatikus számítás az esetek többségében megfelelő eredményt ad, ezért most is ezt választottam. A „*Target SPL*” mezőben megadhatjuk a referencia ponton elérni kívánt hangnyomás szintet. Így a rendszer „*Gain*” struktúrája úgy lesz beállítva, hogy a referencia ponton 0 dBU bemeneti szint mellett elérjük a megadott hangnyomás szintet. Magas frekvenciák csökkennek ahogy a távolság nő a forrástól, azaz a hangrendszertől. Ha egyenletes frekvencia választást szeretnénk elérni nagyobb távolságokon, akkor a rendszernek nagyobb energiára lenne szüksége a magas frekvenciákon, és kifutna a dinamika tartalékból, ezért jobb megoldás, ha a magas frekvenciák fokozatosan csökkennek a távolság növekedésével. Beállíthatjuk a levegő veszteség kompenzációját, teljesen balra állítva nincs kompenzáció (figyelmen kívül hagyva a levegő abszorpcióját). Teljesen jobbra állítva a maximális kompenzáció (a rendszernek 17dB headroom-ra van szüksége, hogy egyenes választ kapjunk). Viszont ezekből az következik, hogyha túlságosan sok a kompenzáció, akkor a rendszernek nem lesz elég dinamika tartaléka, és a hang torzulni fog. A változások hatását a „*Target Response*” ábrán láthatjuk. Ahhoz, hogy a számítások pontosak legyenek, elengedhetetlen, hogy pontosan megadjuk a környezeti változókat, a hőmérsékletet, a páratartalmat és a légnyomást. Ezeket a paramétereket a „*Edit*” gombra kattintva tudjuk megadni. Jelen esetben mivel a teremben alaphoz is meleg van, a mérés időpontjában 28 fok, és a rendezvény során a közönség is melegíti a termet, ezért a hőmérsékletet harminc fokra állítottam. A páratartalom értéke a méréskor 57%-os volt, de én 65%-ra állítottam, mivel a rendezvény során a közönség által kibocsátott vízgőz miatt a páratartalom nagy valószínűséggel magasabb lesz ennél. A légnyomás értékét pedig a helyi időjárás jelentésből vettem, ami azon a napon 101800 Pa volt. Ezek beállítása után mivel az adott hanggladához a gyári beállítások nagyon jók, ezért nem változtattam rajtuk, a 14-es érték egyenletes és dinamikus hangvisszaadást biztosít.



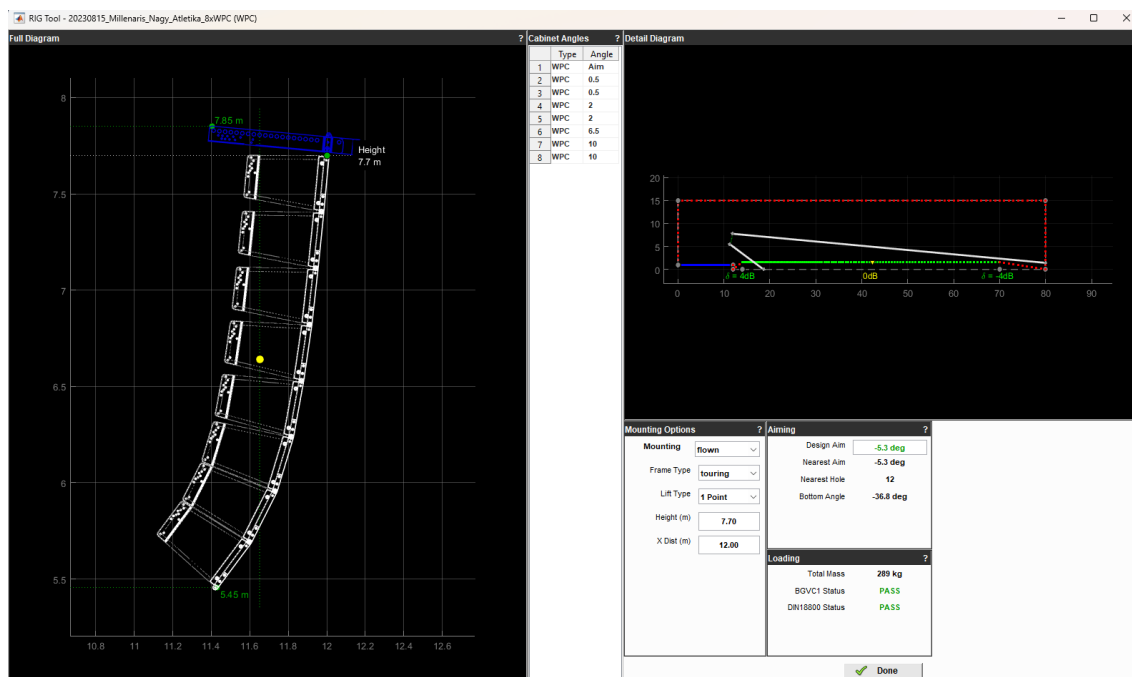
3.8. ábra. Display 2.3.4 b1 „Cover” kezelőfelülete (WPC)

Miután a „Cover” kezelőfelületen elvégeztük a szükséges beállításokat, a „Splay” kezelőfelületen folytatjuk a tervezést. Az optimalizáció ezen részén a hangrendszert fogjuk a hallgatóság területére irányítani, a fókálási szögek beállításával. A szoftver által biztosított optimalizációs algoritmus a lehető legjobb lefedettségre törekszik a tervezett területen. Lehetőség van az optimalizáció súlyozási tényezőinek beállítására, de jelen esetben a gyári beállításokat használtam. Amennyiben módosítani szeretnénk a súlyozást a „Target” és a „Leakage” mezőkben tudjuk megadni a súlyozási tényezőket. A „Target” mezőben megadott érték a közönség terület súlyozása, a „Leakage” mezőben megadott érték pedig a közönség területén kívül eső szivárgás súlyozása. Az „Allow Polish” opció engedélyezi a szoftvernek, hogy egy második körben finom hangolja a splay szögeket az első próbálkozás után. Ezt az opciót előnyös bekapcsolni, mivel a szoftver így pontosabb eredményt tud produkálni, ezért ezt a beállítást mindig használom. A „Max Time” mezőben megadhatjuk, hogy a szoftvernek mennyi idő álljon rendelkezésére az optimalizáció elvégzéséhez. Mivel a mai modern számítógépek olyan gyorsak, hogy a szoftver általában 1-2 perc alatt elvégzi az optimalizációt, ezért ezt az értéket nem szoktam módosítani. A „Max Time” mezőben megadott érték másodpercben értendő.



3.9. ábra. Display 2.3.4 b1 „Splay” kezelőfelülete (WPC)

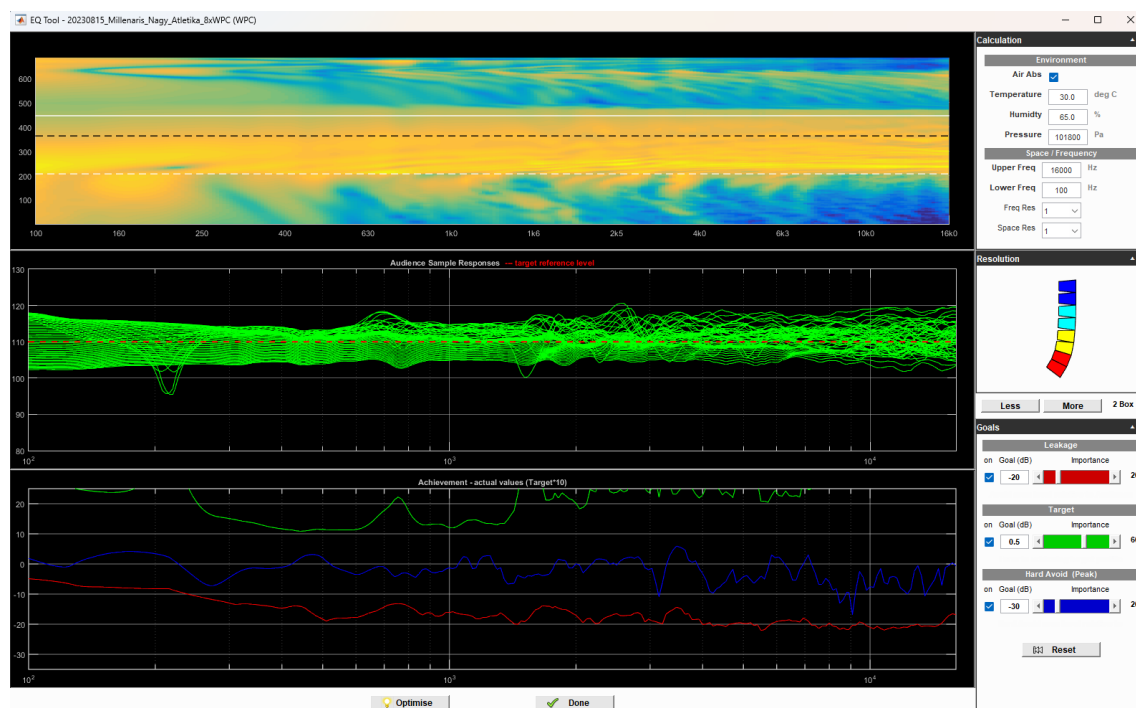
A következő lépés a „Rig” kezelőfelületen történik. Ez a felület elsősorban az eddig elkészített rendszerünket fogja megjeleníteni térben. Elsődleges beállítási paraméter ezen a panelen, hogy egy vagy két pontos rögzítést szeretnénk-e használni. Jelen esetben egy pontos rögzítést fogunk használni. Amennyiben valamilyen okból szeretnénk változtatni a rendszer fizikai elhelyezkedésén, még megtehetjük, de ez a lépés ezen a ponton már nem ajánlott. Bármely kis apró változtatás kardinálisan más végeredményhez vezethet. A tervezési folyamatot újra kell kezdeni, ellenkező esetben a szoftver nem fogja tudni a megfelelő eredményt produkálni, és a rendszerünk nem úgy fog viselkedni a valóságban, ahogy azt mi szeretnénk. A hangrendszer függesztéséhez és összeszereléséhez az összes információ megtalálható itt. Gondolva itt a riggvas fokolási helyére, a ládák közti szögekre, a rendszer legfelső és legalsó pontjára. Ezek az információkon kívül még a rendszer súlyát és súlypontját is megkapjuk. Esetünkben a teljes súly 289 kilogramm, amit a csarnok tartószerkezete biztonságosan elbír, valamint az egy tonnás emelőkapacitású láncos emelők is képesek biztonságosan emelni. A súlypont a rendszer relatíve közepén helyezkedik el, ami stabil függesztést tesz lehetővé. Ezek után a rendszert az említett paraméterek alapján össze építjük, figyelve az összes program által megadott információra.



3.10. ábra. Display 2.3.4 b1 „Rig” kezelőfelülete (WPC)

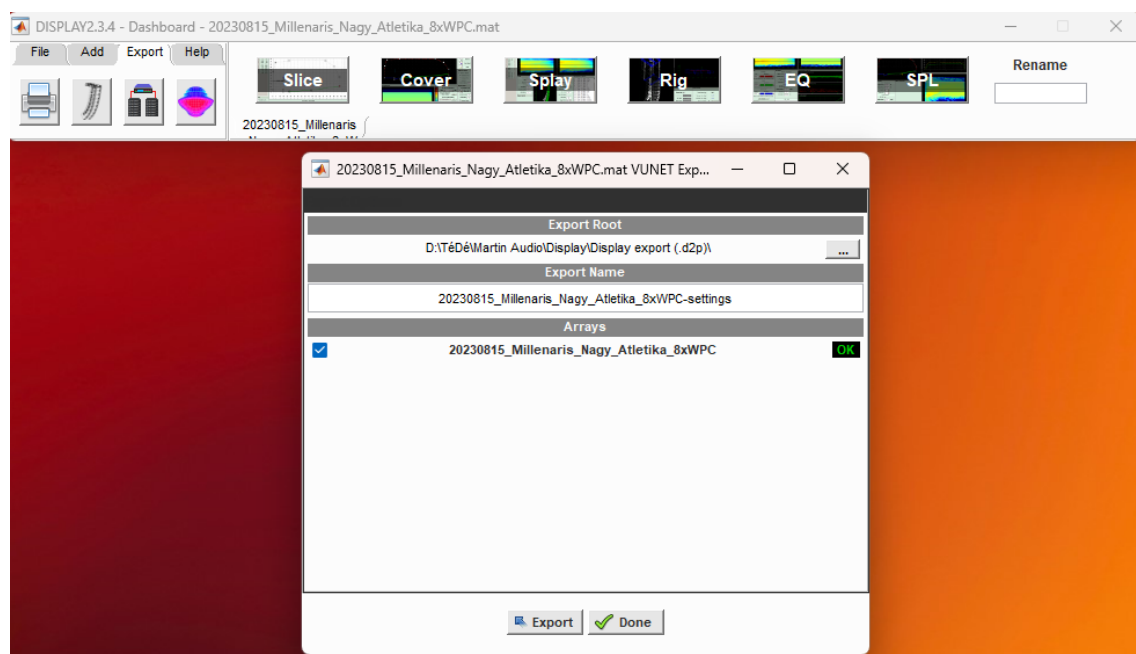
Az utolsó lépés előtt ki tudnánk menteni a tervezett rendszert, az a „EQ” kezelőfelületen történik. Ha a „Cover” kezelőfelületen már megadtuk a környezeti változókat, akkor ezt már nem kell újra megtennünk, mivel a szoftver automatikusan átveszi az ott megadott értékeket. Beállíthatjuk az alsó és felső határfrekvenciákat, de mivel a program a kiválasztott hangrendszerhez tartozó gyári beállításokat automatikusan betölti, ezért ezeket az értékeket sem kell módosítani. Amit viszont érdemes és erősen ajánlott módosítani, az a „Freq Res” és a „Space Res” értékek. Az előbbi a frekvencia felbontást, az utóbbi pedig a térbeli felbontást jelenti. Ezek az értékek határozzák meg, hogy a szoftver milyen felbontásban végezze el a számításokat. Minél kisebb értéket adunk meg, annál pontosabb eredményt fogunk kapni, viszont a számítások hosszabb ideig fognak tartani. A „Freq Res” értékét 1-re, a „Space Res” értékét pedig szintén 1-re állítottam, mivel ez az elérhető legnagyobb felbontás, és a számításokat is a lehető legpontosabban szeretném elvégezni. A gyári érték mindegyiknél a kettő. Minél pontosabbak a számítások, annál jobban fog viselkedni a rendszer a valóságban és egyenletesebb hangvisszaadást fog produkálni. Ha már a kiegyensúlyozott hangvisszaadásnál tartunk, akkor a „Resolution” panelen meg kell adnunk, hogy milyen konfigurációban szeretnénk használni a rendszert. A WPC szériás hangládákat tudjuk akár egyesével hajtani, azaz egy láda egy végfok csatorna párral (mivel Bi-Amp hangládáról beszélünk). De a gyártó lehetőséget biztosít arra is, hogy a ládákat párosával vagy hármassával is hajtsuk. Ennek költség hatékonysági és rugalmassági előnyei vannak, viszont a hangvisszaadás kevésbé lesz egyenletes. Jelen esetben az arany közép-utat választottam, és párosával fogom hajtani a ládákat. Így a rendszer összesen 3 darab iK42 végfokot fog igényelni, ami 12 darab végfokcsatornát jelent. A WPC rendszer csak iK42 végfokkal hajtható, a 8 csatornás iK81 végfokkal nem kompatibilis. Lehetőség van az optimalizációs algoritmus befolyásolására is, a három előbbieken már definiált súlyozási tényezők segítségével. A fő hangsúlyt a „Target” súlyozásra helyeztem, mivel a közönség területén szeretném a lehető legjobb hangvisszaadást elérni, ezért 60%-os súlyozást adtam neki. A „Hard Avoid” és a „Leakage” súlyozását 20%-ra állítottam. Továbbá mindhárom résznek megadhatjuk mekkora hangnyomás értéket szeretnénk elérni a tervezett területen. Ezeket az értékeket nem szükséges módosítani, mivel a gyári értékek megfelelőek, de ha

mégis szeretnénk, akkor megtehetjük. A paraméterezés után az optimalizáció után megkapjuk a teljes rendszer EQ beállítását és vizuális ábrázolást kapunk a referencia értéktől való eltérésekről.



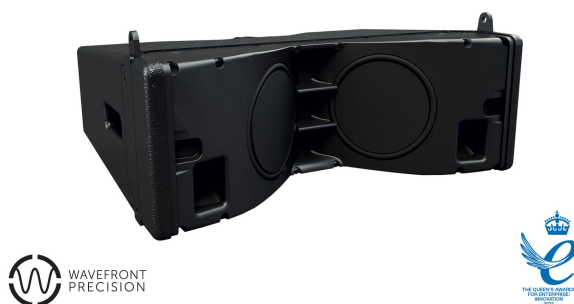
3.11. ábra. Display 2.3.4 b1 „EQ” kezelőfelülete (WPC)

Az utolsó dolgunk ebben a programban mielőtt tovább lépünk, hogy exportáljuk a tervezett rendszert. Az exportálás során egy D2P kiterjesztésű fájlt fogunk kapni, amit a VU-NET szoftver fog tud majd importálni a későbbiekben.



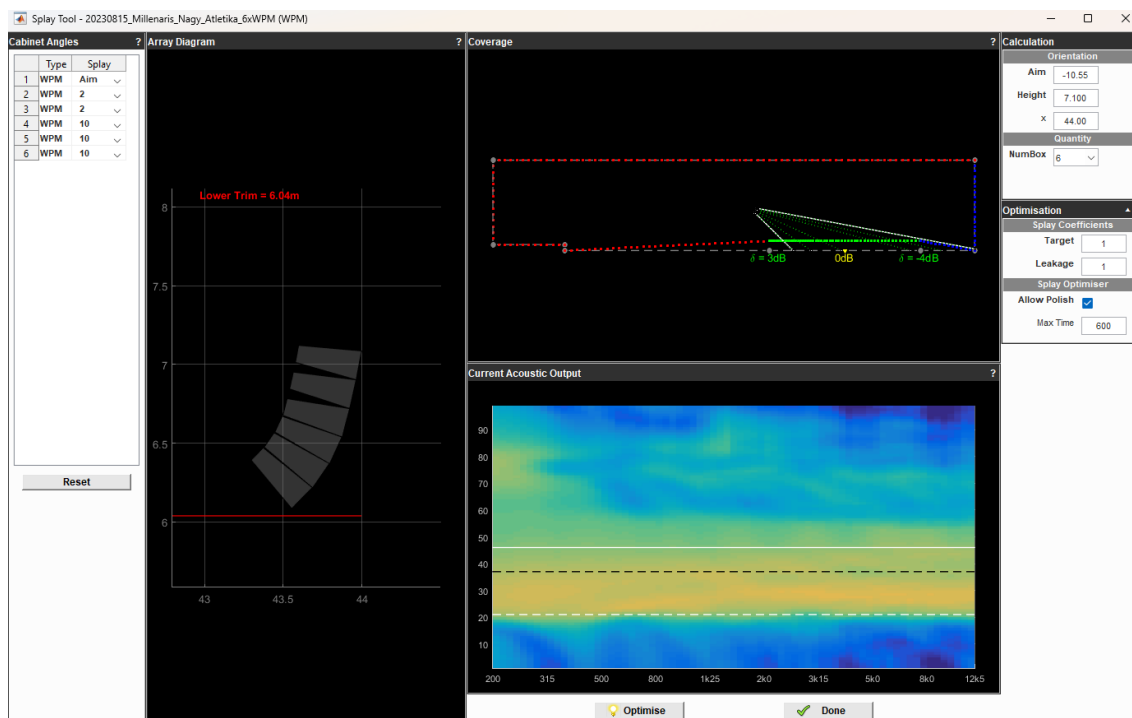
3.12. ábra. Display 2.3.4 b1 exportáló kezelőfelülete (WPC)

A fő hangrendszer megtervezése után a következő részegység aminek a tervét el kell készíteni, az a Delay hangrendszer. A Delay hangrendszer a fő hangrendszerrel együtt fog működni, és a közönségtér hátsó-közép részétől kezdve fogja kiegészíteni azt. Erre azért van szükség, mert a csarnokban a közönség ezen része olyan távolságra helyezkedik el, hogy a WPC rendszer már nem tudja a megfelelő hangnyomás szintet egyenletesen biztosítani. Ezt a feladatot a Wavefront Precision sorozatból a WPM típusú hangládák fogják ellátni, oldalanként 6-6 darab LineArray modullal. Ez a láda egy két utas passzív hangrendszer, 2 darab 6.5"-os mély hangszóróval (LF) és 3 darab 1.4"-es magas hangszóróval (HF). Maximálisan 130 dB hangnyomás szintet tud biztosítani, nagy előnye ennek a fajta rendszernek a súly-teljesítmény aránya, mivel egy darab láda mindössze 14 kilogramm. [7]



3.13. ábra. Martin Audio WPM LineArray modul

A tervezési fázisok nagy része megegyezik az előbbi rendszer tervezésével, ezért ezeket a részeket nem ismételtem meg. A hangsúlyt a eltérésekre helyezem, és azokat fogom részletezni. A fő különbség a „Cover” kezelőfelületen történik, ahol a „Hard Avoid” területet kell megjelölni. Ezen a rajzon már radikálisan szükség van erre a funkcióra, mivel a közönség területén kívül eső területen beton nagy felületek találhatók, amelyek jelentős hangvisszaverődést okoznának. Ebből kifolyólag, szépen látható, hogy a program pontosan úgy optimalizálja a rendszert, hogy a „Hard Avoid” területre, minél kevesebb hangnyomás jusson. Már a kék színnel jelölt terület első pár méterén radikálisan csökken a hangnyomás, és a rendszer a lehető legkevesebb energiát fordítja erre a területre. A gyártó a WMP rendszert végfog csatornák szempontjából úgy tervezte, hogy a költség és a rugalmasság szempontjából akár négyesével is hajthatók legyenek. Ez persze nem jár kompromisszumok nélkül, a hangvisszaadás egyenletesebb lenne, ha egyesével hajtánánk a ládákat, de a jelenlegi rendszerben hármassával fogom hajtani a ládákat, mivel ez a legköltséghatékonyabb megoldás, és végeredményben így is kielégítő hangvisszaadást fog produkálni mint kiegészítő egység.



3.14. ábra. Display 2.3.4 b1 „Splay” kezelőfelülete (WPM)

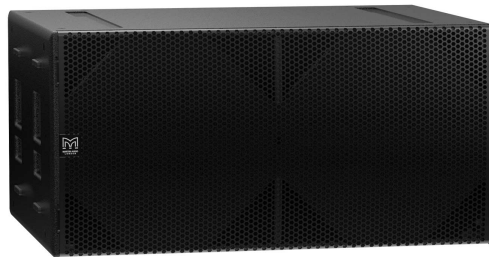
Az előbbieken már tárgyalt exportáló felületen az összes többi optimalizációs lépést követően mentjük az elkészített tervet a WPC rendszerhez hasonlóan.

3.2.1.2. Martin Audio VU-NET rendszer szoftver [5]

Miután már rendelkezünk az összes számunkra szükséges tervezett rendszerrel a rendezvényhez, a következő lépések a VU-NET szoftverben történnek. A VU-NET szoftver egy olyan alkalmazás, amely lehetővé teszi a Martin Audio hangrendszerek teljes körű vezérlését és monitorozását. Jelen esetben az iK42 és iK81 típusú végfokokat fogjuk tudni kezelni.

3.2.1.3. Mélyláda rendszer

A mélyláda hangja hosszabb hullámhosszú, mint a többi komponensé, ezért az optimális helymeghatározásuk és elhelyezésük kulcsfontosságú a megfelelő hangzás érdekében. A rendszerben a Martin Audio SX218 típusú mélyládáit fogjuk használni. Ezek a ládák dupla 18"-os mély hangszórókkal vannak felszerelve, 2000W AES és 8000W csúcsteljesítményre képesek, és maximálisan 144 dB hangnyomás szintet tudnak biztosítani. [4]



3.15. ábra. Martin Audio SX218 mélyláda

A „SUB” tervezést egy általam készített Excel kalkulátor segítségével végzem el. Ez a táblázat egyesíti a Martin Audio és Merlin van Veen által készített kalkulátorokat (S.A.D), valamint kiegészítésre került további modulokkal és funkciókkal. [9] [3] A egy EndFire konfigurációs mélyláda elrendezést terveztem. (Egy EndFire Pack = két láda egymás előtt adott távolságra és késleltetési értékkel) A táblázatba megadhatjuk, hogy éppen helyileg hol van a rendezvény, és egy időjárás API segítségével megkapjuk az adott napra/napokra a teljes időjárás előrejelzést. Majd ezekből egy adott időintervallumra átlagolva megkapjuk az optimális értékeket a tervezéshez. A program kiszámolja, hogy milyen távolságra kell a ládákat helyezni egymástól előrefelé, valamint mekkora „delay” értéket kell alkalmazni. Majd az egyes EndFire Pack-ok egymáshoz képesti távolságot oldalirányban és azok közötti delay értéket is megkapjuk. A „SUB array”-t 63 Hz-re optimalizáltam, mivel ez az a frekvenciatartomány, ahol a mélyláda rendszer a legtöbb energiát tudja leadni.

3.2.2. Allen & Heath digitális keverőrendszer

A jelenlegi rendszer két keverőpultot fog tartalmazni, egyet a fő hangrendszerhez, és egyet a monitor rendszerhez. Mindkét keverőpult egy Allen & Heath SQ-6 típusú digitális keverőpult lesz.

3.2.3. Shure ULXD digitális vezeték nélküli mikrofonrendszer

3.2.4. Dante audio szerver

Ez a kiegészítő szerver egység lehetővé teszi bármilyen alacsony késleltetéssel dolgozó VST3 plugin használatát a rendszerben elő környezetben. Olyan komplex funkcionalitásokat is elérhetünk, amelyek a keverőpulton csak limitáltan, vagy egyáltalán nem elérhetőek. Gondolva itt a dinamikus EQ használatára, különböző kompressziós technikákra (például Opto, Multiband), A legnagyobb előnye ennek a fajta megoldásnak, hogy költségek szempontjából egy magasabb kategóriás keverőpult rendszer sokkal drágább lenne, valamint nem vagyunk korlátozva a keverőpult által biztosított funkcionalitásokkal, bármikor tudunk igényeink szerint újabb és újabb pluginokat telepíteni a rendszerbe, amíg a számítógép hardveres erőforrásai ezt lehetővé teszik. Az általam épített szerver egy AMD Ryzen 7950X processzorral és 32 GB DDR5 memóriával, és a Focusrite RedNet PCIe kártya veszi fel a harcot a komplex hangfeldolgozási feladatokkal. Ezekre a hardverekre azért esett a választás, mert mivel a Dante kártya 128 csatornát tud kezelni, (az épített rendszer 64 csatornás, de a bővítés lehetősége fent áll) erős számítási kapacitásra van szükség, hogy a rendszer a beállított késleltetési értékek mellett is képes legyen késés nélkül a csatornák feldolgozására. Amennyiben nem sikerül a jelet a beállított időn belül produkálni, furcsa

zavaró pattogó hangokat hallhatunk, vagy rosszabb esetben hangkimaradás is előfordulhat. Ezért fontos a megfelelő hardveres erőforrások biztosítása, és a pontos beállítások elvégzése. A példában szereplő rendszer kifogástalanul képes elvégezni a feladatát, és a beállított 1 ms-os késleltetési értéket is képes folyamatosan tartani.

3.2.5. Dante hálózat kialakítása és optimalizálása

3.2.5.1. Dante Controller: Hálózati mátrix

Ezen a felületen tudjuk a hálózaton összekapcsolni a különböző hang vevőket és adókat. Egy nagyobb rendszerben a konfigurálása rendkívül nagy odafigyelést és precíziót igényel, pontosan tudnunk kell mit, hogyan és miért kötünk össze.

3.2.5.2. Dante Controller: Eszköz nézet

Mielőtt neki állnánk konfigurálni az adott eszközt, fontos eldöntenünk, hogy milyen módban szeretnénk használni. Lehetőségünk van két fő mód közül választani, a redundáns és a váltott mód közül. A „*redundant*” mód mint ahogy azt a neve is sugallja redundáns kommunikációt valósít meg az eszközök között szoftveresen és hardveresen egyaránt. Az összes Dante kártya a jelenlegi rendszerben gyári konfigurációban két RJ45-s csatlakozóval rendelkezik. Jelen esetben ezt a módot választjuk az üzembiztonság és a kritikus hibák minimalizálása miatt. A másik lehetőség a „*switched*” pedig eszközök láncolását teszi egyszerűbbé. Amennyiben a redundancia nem elsődleges szempont számunkra, nem kell minden egyes eszköz mögé switch, hanem a másodlagos RJ45 port direktbe köti az arra csatlakoztatott eszközt az elsődleges hálózatra. Így gyorsabban és költséghatékonyabban tudjuk kiépíteni a hálózatot, azonban a redundancia lehetősége megszűnik.

3.2.5.3. IP kiosztás

A rendszer képes automatikusan IP címeket osztani az egyes eszközöknek, így meggyorsítva a munkafolyamatot. Azonban egy fixen előre megtervezett rendszernél praktikusabb és üzembiztosabb megoldás, ha minden eszköznek manuálisan megadjuk a címét a hálózaton. A tervezett rendszerben minden egyes eszköznek fix IP címet adtam, hogy könnyen és logikusan átlátható legyen az előbb említett előnyökön kívül. A címeket egy online is elérhető Excel táblázatban tároltam, hogy amennyiben szükség van rá bármikor könnyen elérhető legyen. Ez a táblázat a cégnél dolgozó összes munkatárs számára látható, aki a rendszerrel foglalkozik. Így amennyiben új eszköz kerül a hálózatra, vagy egy eszköz IP címét valamilyen okból meg kell változtatni, egyszerűen elérhető a szükséges információ.

	Eszköz	Dante Elsődleges	Dante Másodlagos	Maszk	Ethernet IP	Switch Neve	Switch IP	Groove Neve/SSID	Jelszó	Groove IP	DHCP tartomány
Pultok											
SQ5_01	SQ5 (01)	192.168.1.1	192.168.2.1	255.255.255.0	-	-	-	Títkos információ	Títkos információ	-	-
SQ6_01	SQ6 (01)	192.168.1.10	192.168.2.10	255.255.255.0	-	-	-	Títkos információ	Títkos információ	-	-
SQ6_02	SQ6 (02)	192.168.1.20	192.168.2.20	255.255.255.0	-	-	-	Títkos információ	Títkos információ	-	-
QU-SB_01	QU-SB (01)	-	-	-	-	-	-	Títkos információ	Títkos információ	-	-
Boxok											
DT168_01	DT168 (01)	192.168.1.31	192.168.2.31	255.255.255.0	-	DT168_01_P	DHCP	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	DT168_01_S	DHCP	-	-	-	-
DT168_02	DT168 (02)	192.168.1.32	192.168.2.32	255.255.255.0	-						
DT168_03	DT168 (03)	192.168.1.33	192.168.2.33	255.255.255.0	-						
PA Racks											
PA WPC 01	IK42 UP	192.168.1.111	192.168.2.111	255.255.255.0	192.168.100.111	PA_WP_01_P	DHCP	Títkos információ	Títkos információ	192.168.100.1	192.168.100.10-49
	IK42 MID	192.168.1.112	192.168.2.112	255.255.255.0	192.168.100.112	PA_WP_01_S	DHCP				
	IK42 DOWN	192.168.1.113	192.168.2.113	255.255.255.0	192.168.100.113						
PA WPC 03	IK42UP	192.168.1.131	192.168.2.131	255.255.255.0	192.168.100.131	PA_WP_03_P	DHCP	Títkos információ	Títkos információ	192.168.100.1	192.168.100.10-49
	IK42DOWN	192.168.1.132	192.168.2.132	255.255.255.0	192.168.100.132	PA_WP_03_S	DHCP				
PA WPC 04	IK42UP	192.168.1.141	192.168.2.141	255.255.255.0	192.168.100.141	PA_WP_04_P	DHCP	Títkos információ	Títkos információ	192.168.100.1	192.168.100.10-49
	IK42DOWN	192.168.1.142	192.168.2.142	255.255.255.0	192.168.100.142	PA_WP_04_S	DHCP				
PA WPC 05	IK81UP	192.168.1.151	192.168.2.151	255.255.255.0	192.168.100.151	PA_WP_05_P	DHCP	Títkos információ	Títkos információ	192.168.100.1	192.168.100.10-49
	IK42DOWN	192.168.1.152	192.168.2.152	255.255.255.0	192.168.100.152	PA_WP_05_S	DHCP				
Audio Szerverek											
AMD_Prof	LiveProfessor	192.168.1.250	192.168.2.250	255.255.255.0	-	-	-	-	-	-	-

3.16. ábra. Dante eszközök IP címei a hálózaton

3.2.5.4. Dante Controller: Órajel nézet

Meg kell adnunk az audio hálózatunk master órajelét. Ehhez az órajelhez szinkronizál a többi eszköz. Az időszinkronizáció kulcsfontosságú élőzenei produkcióknál.

3.3. Rendszermérések és monitorozás

3.3.1. Dante rendszer monitorozása

3.3.1.1. Dante Controller: Hálózati állapot nézet

3.3.1.2. Dante Controller: Események nézet

3.3.2. Cardioid mélyláda rendszer mérése

3.3.3. Mélyláda és Line Array fázishelyesség

3.3.4. Rendszer hangnyomás szint és frekvencia átvitel mérése

4. fejezet

Üzemeltetési tapasztalatok és továbbfejlesztési lehetőségek

4.1. További eszközök integrálása

4.2. Bővítés nagyobb interfészre

Köszönetnyilvánítás

Ábrák jegyzéke

3.1. Martin Audio iK42 végfok	6
3.2. Martin Audio iK81 végfok	6
3.3. E-mail a Martin Audio vezető szoftvermérnökétől	7
3.4. Martin Audio WPC LineArray modul	8
3.5. Display 2.3.4 b1 kezdőképernyője (WPC)	8
3.6. Display 2.3.4 b1 fő kezelőfelülete (WPC)	9
3.7. Display 2.3.4 b1 „ <i>Slice</i> ” kezelőfelülete (WPC)	9
3.8. Display 2.3.4 b1 „ <i>Cover</i> ” kezelőfelülete (WPC)	11
3.9. Display 2.3.4 b1 „ <i>Splay</i> ” kezelőfelülete (WPC)	12
3.10. Display 2.3.4 b1 „ <i>Rig</i> ” kezelőfelülete (WPC)	13
3.11. Display 2.3.4 b1 „ <i>EQ</i> ” kezelőfelülete (WPC)	14
3.12. Display 2.3.4 b1 exportáló kezelőfelülete (WPC)	14
3.13. Martin Audio WPM LineArray modul	15
3.14. Display 2.3.4 b1 „ <i>Splay</i> ” kezelőfelülete (WPM)	16
3.15. Martin Audio SX218 mélyláda	17
3.16. Dante eszközök IP címei a hálózaton	19

Irodalomjegyzék

- [1] Wolfgang Ahnert – Dirk Noy (szerk.): *Sound Reinforcement for Audio Engineers*. Abingdon, Oxon and New York, NY, 2023, Routledge. ISBN 978-1-032-11518-4 (hbk).
- [2] Martin Audio: *Display v2.3 USER GUIDE v1.5*. URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/Display-2.3-User-Guide-v1.5.pdf>. Accessed on: 2024.01.04.
- [3] Martin Audio: Subwoofer calculator.
URL <https://martin-audio.com/support/subwoofer-calculator>. Accessed on: 2024.01.08.
- [4] Martin Audio: *SX Subwoofer User Guide*. URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/SX-Subwoofer-User-Guide.pdf>. Accessed on: 2024.01.04.
- [5] Martin Audio: *VU-NET 2.2 User Guide v4.7*.
URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/VU-NET%202.2%20User%20Guide%20v4.7.pdf>. Accessed on: 2024.01.04.
- [6] Martin Audio: *WPC User Guide*.
URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/WPC-User-Guide.pdf>. Accessed on: 2024.01.04.
- [7] Martin Audio: *WPM User Guide*.
URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/WPM-User-Guide.pdf>. Accessed on: 2024.01.04.
- [8] Bob McCarthy: *Sound Systems: Design and Optimization*. Third edition. kiad. New York, NY and Abingdon, Oxon, 2016, Focal Press, 12–842. p. ISBN 978-0-415-73101-0 (pbk). Library of Congress Cataloging-in-Publication Data: TK7881.4.M42 2016.
- [9] Merlijn van Veen: Calculators.
URL <https://www.merlijnvanveen.nl/en/calculators>. Accessed on: 2024.01.08.

Függelék