

Széchenyi István Egyetem
Gépészmeérnöki, Informatikai és Villamosmérnöki Kar
Informatika Tanszék

SZAKDOLGOZAT

Székely Dániel

Mérnökinformatikus BSc

2024



**SZÉCHENYI
EGYETEM**
UNIVERSITY OF GYŐR



**INFORMATIKA
TANSZÉK**
DEPARTMENT OF INFORMATICS

SZAKDOLGOZAT

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

Székely Dániel

Mérnökinformatikus BSc

2024

Feladat-kiíró lap diplomamunkához

Hallgató adatai

Név: Székely Dániel
Szak: Mérnökinformatikus BSc

Neptun-kód: JAXC3C
e-mail cím: szekelydani5g@gmail.com
Tagozat: nappali

A diplomamunka adatai

Kezdő tanév és félév: 2023/24/2
Nyelv: magyar
Típus: nyilvános

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

Feladatok részletezése:

- Az Audio over IP rendszerek bemutatása.
- Digitális audio rendszerre való átállás valós környezetben, a TéDÉ Rendezvények-nél.
- Egy előzenei produkciónak hangrendszerének megtervezése, kiépítése, optimalizálása a Dante protokollra építve.
- Üzemeltetési tapasztalatok és továbbfejlesztési lehetőségek.

Belső konzulens adatai

Név: Paál Dávid

Tanszék: Informatika Tanszék

Beosztás: mesteroktató

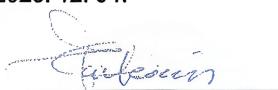
Külső konzulens adatai

Név: Tamás Dávid

Munkahely: TéDÉ Rendezvények

Beosztás: Tulajdonos / Villamosmérnök

Győr, 2023. 12. 04.


belső konzulens

Informatika tanszék
Dr. Kovács Katalin


külső konzulens

Tel.: +36 96 221 1223
Fax: +36 96 221 1224
E-mail: 007@uniGYU.HU
Nyilvántartási szám: 1173/007-2023/06535

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. november 29.

Székely Dániel

hallgató

Kivonat

Szakdolgozatom célja egy élőzenei produkció hangrendszerének megtervezése, kiépítése, optimalizálása és beüzemelése, mely a Dante protokollra építkezik. Az Audio over IP rendszerek, különösen a Dante hálózatok, lehetőséget nyújtanak a hagyományos analóg hangrendszerekhez képest gyorsabb, megbízhatóbb és skálázhatóbb megoldások alkalmasára.

Az 1. fejezet bevezeti a szakdolgozat témáját és eredetét, miért is ezt a témát választottam.

A 2. fejezet az alapvető hangtechnikai fogalmakat és rendszereket mutatja be, beleértve az analóg és digitális hangrendszerek közötti eltéréseket.

A 3. fejezet célja, hogy alaposan bemutassa a digitális audió rendszerek alapjait és a Dante protokoll technikai részleteit. Ebben a részben többek között bemutatásra kerülnek az IP-címek kiosztásának módszerei, a hálózati topológiák kialakítása, valamint a különböző hálózati eszközök, mint például a switchek szerepei.

A 4. fejezet a tervezési és telepítési folyamatot tárgyalja, különös figyelmet szentelve a felhasznált eszközöknek, mint például a hangprocesszorok, végerősítők és hangszórók. A telepítés során a Dante alapú hálózat kiépítése mellett kiemelten foglalkozom a hangminőség optimalizálásával. A valós környezetben végzett tesztelés során a rendszer megbízhatóságát és rugalmasságát is értékelém.

Az 5. fejezet a telepítés utáni üzemeltetési tapasztalatokkal foglalkozik. Részletesen bemutatom a rendszer integrálását a TéDÉ Rendezvények egy élőzenei produkcióján, ahol valós időben teszteltem a Dante hálózat teljesítményét. Itt tárgyalom a hangrendszer és a vezérlőrendszerek integrációjának fontosságát, valamint az előadás közben tapasztalt akusztikai és hálózati kihívások kezelését. Az eredmények alapján további fejlesztési lehetőségeket javaslok, melyek még tovább növelhetik a rendszer teljesítményét és rugalmasságát.

Az általam bemutatott rendszer lényeges előnyöket nyújt egy analóg hangrendszerrel szemben. Az üzemeltetési tapasztalatok azt igazolják, hogy az Audio over IP technológiák, különösen a Dante, stabil, skálázható és megbízható megoldást kínál a modern élőzenei produkciók számára.

Abstract

The goal of my thesis is to design, build, optimize, and commission a sound system for a live music production based on the Dante protocol. Audio over IP systems, particularly Dante networks, offer faster, more reliable, and scalable solutions compared to traditional analog sound systems.

Chapter 1 introduces the topic and origin of the thesis, explaining why I chose this subject.

Chapter 2 presents the fundamental concepts and systems of sound technology, including the differences between analog and digital sound systems.

The purpose of Chapter 3 is to provide an in-depth overview of the fundamentals of digital audio systems and the technical details of the Dante protocol. This chapter includes topics such as methods for assigning IP addresses, designing network topologies, and the roles of various network devices, such as switches.

Chapter 4 discusses the design and installation process, with special emphasis on the equipment used, such as sound processors, amplifiers, and speakers. In addition to building the Dante-based network, I focus on optimizing sound quality during installation. During real-world testing, I evaluate the reliability and flexibility of the system.

Chapter 5 covers the operational experiences after installation. It details the integration of the system into a live music production by TéDé Rendezvények, where I tested the performance of the Dante network in real-time. This section highlights the importance of integrating the sound system with control systems and addresses the acoustic and network challenges encountered during the performance. Based on the results, I propose further development opportunities to enhance the system's performance and flexibility.

The system I present offers significant advantages over analog sound systems. Operational experiences confirm that Audio over IP technologies, particularly Dante, provide a stable, scalable, and reliable solution for modern live music productions.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	1
1.1. A kezdetek	1
1.2. Témaválasztás	2
2. Hangtechnikai alapok	3
2.1. Az analóg kezdetek	3
2.2. Digitális térhódítás [2]	4
2.2.1. PCM - Pulse Code Modulation	4
2.2.2. ADC és DAC konverterek - mintavételezés	6
2.3. Hangerősség és hangnyomásszint [12]	7
2.4. Pontsugárzó és LineArray hangforrások	9
2.4.1. LineArray DSP-vezérelt irányítás	10
3. Audio over IP rendszerek bemutatása	11
3.1. Bevezetés az Audio over IP világába [1]	11
3.1.1. Előnyök és hátrányok	13
3.1.2. Fázishelyesség	14
3.1.3. Szinkronizáció	15
3.1.3.1. Jitter kompenzáció	16
3.1.3.2. Késleltetés mérése	16
3.1.4. Mintavételi frekvencia és bitmélység	18
3.1.5. Késleltetés	19
3.1.6. IP címek és maszkok	19
3.2. IP-cím hozzárendelési módszerek [1]	19
3.2.1. Hálózati topológiák	22
3.2.2. Unicast és Multicast	22
3.2.3. Eszköz- és Adatfolyam-felfedezés	24
3.2.4. Redundancia	24
3.2.4.1. Spanning Tree Protocol (STP)	25
3.2.4.2. Link Aggregáció	25
3.2.4.3. Adatfolyam redundancia	25

3.3. AES67 [1]	26
3.4. Audinate Dante [1]	27
3.4.1. A cégről [3]	27
3.4.2. A Dante hálózatok áttekintése	28
3.4.3. Dante hálózatok technikai részletei	28
3.4.3.1. Több mintavételi ráta és bitmélység	29
3.4.3.2. Hálózati topológiák	30
3.4.3.3. Késleltetés	30
3.4.3.4. Órajel	31
3.4.4. Összehasonlítás a hagyományos hangrendserekkel [1]	31
3.4.5. Firmware frissítés	32
4. Rendszertervezés és telepítés élő környezetben	34
4.1. Követelmények	34
4.2. Rendszerterv és kivitelezés	35
4.2.1. Martin Audio Wavefront Precision hangrendszer	37
4.2.1.1. Martin Audio Display 2.3.4 b1 tervező szoftver [4]	37
4.2.1.2. Martin Audio VU-NET rendszer szoftver [8]	47
4.2.2. Dante hálózat kialakítása és optimalizálása	50
4.2.2.1. Dante Controller	50
4.2.2.2. IP kiosztás	50
4.2.2.3. Dante rendszer monitorozása	54
4.2.3. Mélyláda rendszer	55
4.2.4. Allen & Heath digitális keverőrendszer	56
4.2.5. Dante audio szerver	57
4.2.6. A rendszer mérése	60
4.2.7. A rendszer monitorozása	63
5. Üzemeltetési tapasztalatok és továbbfejlesztési lehetőségek	64
5.1. Üzemeltetési tapasztalatok és a végeredmény	64
5.2. Továbbfejlesztési lehetőségek	66
5.2.1. További eszközök integrálása	66
5.2.1.1. Shure Axient Digital rendszer	66
5.2.1.2. Allen & Heath ME Personal Mixing System	67
5.2.1.3. Martin Audio WPL LineArray rendszer	67
5.2.2. Bővítés nagyobb interfészre és keverőpultra	68
5.3. Összefoglalás	68
Köszönetnyilvánítás	69

Ábrák jegyzéke	71
Táblázatok jegyzéke	71
Irodalomjegyzék	71

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 kezelní gyermekként, mint a szüleim, egyértelmű volt már akkoriban is, a technika és a zene iránti érdeklődésem.

Ezek után általános iskolában a fizika tanárommal együtt kezdtük el a sulirádió működtetését, amelynek a telepítési részében is részt vetttem. Korábban az egyszerű klasszikus csengők voltak felszerelve az épületben. Szükség volt hangsugárzókra, erősítőkre, mikrofonokra, és egyéb kiegészítőkre. A rádió működtetése is az én feladatom lett két báratommal együtt, az iskolával kapcsolatos híreket és információkat mondta be röviden a szünetekben, hosszabb szünetekben pedig zenéket is játszottunk.

Mindeközben zeneiskolába is beiratkoltam, ahol ütőhangszeresként tanultam egészen egyetemi tanulmányaim kezdetéig. A több mint tíz év alatt, sok új ismeretet és tapasztalatot szereztem, amit a későbbiekben mint zenész és hangtechnikával aktívan foglalkozó szakember tudtam hasznosítani. Megismerkedtem a különböző zenei stílusok egyedi hangzásvilágával, ami a későbbiekben a hangosításban is nagy segítségemre volt.

Középiskolai tanulmányaim alatt kezdtettem el komolyabban foglalkozni a hangtechnika világával. Előbbiekben említett tanárommal ugyanis korábban nem csak a sulirádiót működtettem, hanem az összes sulibulit és helyi rendezvényt mi szolgáltuk ki technikailag. Mikor már középiskolába jártam, egy feltörekvő fiatalos és modern gondolkodású magánvállalkozáshoz ajánlottak be engem, ahol fiatal és motivált munkaerőt kerestek.

Már az első munkalehetőségnél éreztem, hogy ez egy nagyon jó lehetőség lehet a számomra, mindenéppen szeretnék ebben a szakmában tevékenykedni. A cég fő profilja a hangrendszerek rendezvényekre való kiépítése és üzemeltetése volt, de későbbiekben

bővült a portfólió és már fénytechnikával és színpadtechnikával is elkezdett foglalkozni. Ettől a ponttól kezdve kezdtem el aktívan dolgozni a rendezvényiparban és a hangrendszerek világában. Az évek során egyre több tapasztalatot szereztem. Évente több mint száz rendezvényen tudtam folyamatosan fejlődni, rutint és ismeretséget szerezni a szakmában.

1.2. Témaválasztás

A hangrendszerek világa az elmúlt évtizedekben nagy változásokon ment keresztül. A digitális technika térhódítása a hangtechnikában is megjelent, és egyre több fajta új megközelítés jelent meg a piacon. Ezekből a fejlesztésekben 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 cégevezetőtől azt a feladatot kaptam mint leendő informatikus mérnök, hogy tervezzenek egy olyan rendszert, amely megoldja a jelenlegi hibrid rendszerünk teljes digitális megoldásra való átállását. Az alapvető szempontok közé tartozott, hogy a rendszer legyen könnyen skálázható, bővíthető, valamint a jelenlegi rendszert minden tekintetben műlja felül.

Különböző Audio over IP protokollok léteznek, ezért választanom kellett, amely a leginkább megfelel az aktuális igényeinek és anyagi helyzetünknek. Ehhez a piacon lévő protokollokat kellett megvizsgálnom, és egy optimális megoldást választani.

Szakdolgozatomban sok idegen nyelvű szóra nincsen megfelelő és pontos fordítás ami teljes mértékben tükrözne az adott kifejezés jelentését. A továbbiakban ebből kifolyólag feltételezve azt, hogy az olvasó tisztában van a szakmai terminológiával angolul fogom említeni a szakmai kifejezéseket. Ezek a kifejezések megjelenhetnek írt szövegként és ábrás illusztrációkban is. Egyes ábrák rendkívüli komplexitásuk végett a szakmai helyesség és precízió érdekében külső forrásból származnak, ezeket az ábrákat a forrássukkal együtt fogom megjeleníteni.

2. fejezet

Hangtechnikai alapok

2.1. Az analóg kezdetek

Az analóg hangrendszerek története az audio technológia hajnalára nyúlik vissza. Az ilyen rendszerek alapját az elektromos analóg jelek képezik, amelyek az akusztikus hangot elektromos árammá alakítják, a hangjelet közvetlenül, torzítás nélkül próbálják átadni az erősítőnek majd ezáltal hangszóróknak. Az analóg rendszerek egyik legfontosabb alapelve az elektromos jelek folyamatos feldolgozása. A hangot analóg módon rögzítik, és az áramkörök szigorú tervezése biztosítja, hogy az eredeti akusztikus jel minél pontosabban tükröződjön az outputban. A legnagyobb hátrány az analóg rendszerek skálázhatóságában rejlik. Ahogy a rendszer bonyolultsága nőtt, úgy a karbantartás és az állandó finomhangolás is egyre több problémát okozott. Az analóg technológiáknál a jel erősítése és kezelése gyakran jelentős torzulásokat és zajokat okozott, amelyeket nehéz volt kezelni. A kábelezést tekintve sem volt egy leányalom az analóg rendszerek használata, mivel a nagyobb távolságokon a jel torzulása és a zajok könnyen bekerülhettek a rendszerbe. Egy sokcsatornás produkciótól szép spagettiláncokat is eredményezett, még a legtapasztaltabb hangmérnökök számára is kihívást jelentett. Továbbá, a rendszer hibái nem mindig voltak könnyen diagnosztizálhatók, ami a szervizelési időket jelentősen megnövelte. A hangrendszerek technológiai hátterét tekintve, az analóg rendszerekben a transzformátorok, kondenzátorok és ellenállások kulcsszerepet játszottak. Ezek az alkatrészek feleltek a jel szűréséért, erősítéséért és átalakításáért. Azonban ezek az elemek gyakran voltak érzékenyek a környezeti hatásokra, mint például a hőmérséklet-ingadozások és a páratartalom, amelyek további kihívások elé állították a hangmérnököket.

2.2. Digitális térhódítás [2]

A digitális technológia térhódítása a professzionális audio rendszerekben jelentős paradigmaváltást hozott az audioiparban. Az utóbbi évtizedekben a digitális rendszerek folyamatosan felváltották az analóg megoldásokat, számos előnyvel rendelkezve, amelyek hozzájárultak a hangtechnikai rendszerek fejlődéséhez. Az egyik legfontosabb tényező, amely a digitális technológia előnyére szolgál, a jelminőség és a stabilitás drasztikus javulása. A digitális rendszerekben a hangjelek bitstream formájában kerülnek feldolgozásra, amely lehetővé teszi a zajok és torzítások minimalizálását, a jelfeldolgozás során.

A digitális rendszerek jelentős előnye, hogy magasabb jel-zaj viszonyt biztosítanak, amely fokozza a jel tisztaságát és mérsékli a zavaró hatásokat. Ezáltal a hangminőség jelentős javuláson megy keresztül, mivel a digitális feldolgozás során a hasznos jel és a háttérzaj közötti különbség egyértelműbbé válik. Szélesebb dinamikatartományt nyújt, amely lehetővé teszi a nagyobb hangerő eltérések hatékony kezelését. A digitális rendszerek egyik további előnye, hogy a digitális adatok másolása során nem történik minőségtromlás. A másolatok pontosan ugyanolyan minőséget képviselnek, mint az eredeti felvétel, így garantált a tökéletes reprodukálás. Stabil működést biztosítanak változó hőmérsékleti és tápfeszültség-ingadozások mellett. Az analóg rendszerek által okozott torzulások elkerülhetők, így nincs jelen jeltorzulás a digitális rendszerekben. Képesek kezelní az együttfutás és hangmagasság-ingadozás problémáit, amelyeket az analóg rendszerek nehezebben tudnak kezelni. A digitális rendszerek emellett képesek visszaállítani az egyenfeszültségű jelkomponenseket, és biztosítják a lineáris frekvenciamenetet, amely pontos hangátvitelt eredményez.

2.2.1. PCM - Pulse Code Modulation

A hangfrekvenciás jelek digitális feldolgozása a PCM (Pulse Code Modulation, impulzuskód-moduláció) elvén alapul. Ennek során az analóg jelet diszkrét impulzusok sorozatára bontják, ahol az impulzusok amplitúdóértékei bináris kódokkal kifejezett információt hordoznak.

A PCM jel előállítása az A/D (analóg-digitális) átalakításon keresztül történik. Az analóg jelek időbeli és értékbeli folytonossága diszkrét minták sorozatává alakul, miközben az információtartalom megőrzi az eredeti jelhez hasonló értékét. Ezt a mintavételi tételt (C. E. Shannon) bizonyította, amely alapján az eredeti jel visszaállítható információveszteség nélkül, ha a mintavételi frekvencia legalább kétszerese az analóg jel legmagasabb frekvenciájának.

Az analóg jelben előforduló maximális frekvenciát Nyquist frekvenciának nevezik. Ennek megfelelően a mintavételi frekvencia határozza meg a digitális hangfeldolgozó

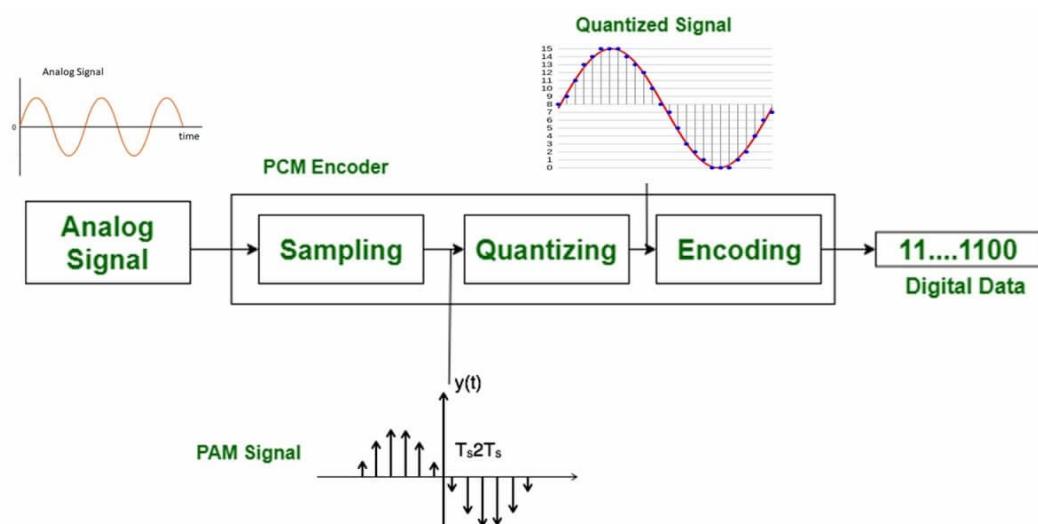
rendszer sávszélességét. Figyelembe véve, hogy a hangfrekvenciás jel felső határa 20 kHz, a hifi hangminőség eléréséhez a mintavételi frekvencia minimálisan 40 kHz-nél nagyobb kell hogy legyen. A digitális hangfeldolgozás során jellemző mintavételi frekvenciák az alábbiak:

- CD minőség: 44.1 kHz
- DVD minőség: 48 kHz
- Studio minőség: 96 kHz
- Ultra minőség: 192 kHz

A digitális hangfelvételek bitmélysége az analóg jelből származó egyes minták tárolásához felhasznált számjegyek számát jelöli. A CD hangformátum esetében a szabványos bitmélység 16 bit, míg a mintavételi frekvencia 44,1 kHz. Ez azt jelenti, hogy másodpercenként 44 100 hangmintát rögzítenek, és minden egyes minta 16 bitnyi információt tartalmaz. Bár a nagyobb bitmélység általában jobb hangminőséget biztosít, ez egyúttal nagyobb fájlmérettel is jár. A digitális hangfeldolgozás során jellemző bitmélységek az alábbiak:

- CD minőség: 16 bit
- Studio/live minőség: 24 bit
- Ultra minőség: 32 bit

PULSE CODE MODULATION (PCM)



2.1. ábra. Pulse Code Modulation (PCM) folyamat [14]

A digitális hangfeldolgozás területén fontos szerepet játszik az A/D átalakítók kialakítása, a kódolás folyamata, a D/A (digitális-analóg) átalakítás, valamint a hibafelismerés és hibajavítás.

2.2.2. ADC és DAC konverterek - mintavételezés

A mintavételezés olyan folyamat, amely során egy analóg hangjeleket digitális formába alakítanak át, azaz mintákat vesznek az időben folytonos hanghullámokból. Ez az alapja annak, hogy a hangot számítógépes rendszerekben kezelni lehessen. A hangminták gyakorisága meghatározza a mintavételi frekvenciát, ami meghatározza a digitális hangminőséget és a frekvencia tartományt. Általában minél magasabb a mintavételi frekvencia, annál jobb a hangminőség, de nagyobb sávszélességet is eredményez.

A digitalizálási folyamat során időbeli mintavételezés történik. Folyamatos mintavételezéskor a hang intenzitásával arányos diszkrét értékek, azaz feszültségimpulzusok jönnek létre. A mintavétel során az impulzusok a beérkező amplitúdó értékek alapján végtelen számú értéket vehetnek fel, ám a rendelkezésre álló bináris adatszók száma véges. Ezt a jelenséget kvantálásnak vagy tartományokba való felosztásnak nevezzük.

A kvantálás során a hangtartomány véges számú lépcsőre oszlik. A kvantálás finomsága, amely a mintavételi frekvenciával együtt a digitális jelfeldolgozás egyik legfontosabb paramétere, meghatározza a hang digitalizálásának részletességeit. A kvantálásnál figyelembe kell venni a kvantálási zajt is, amely a tartományok növelésével csökkenhető. A kvantálási zaj olyan zavaró tényező, amely a digitális hangrögzítés vagy lejátszás során jelentkezik, és a kerekítési hibák következményeként alakul ki. Ez a zaj a különbség az eredeti analóg jel és a digitális formában ábrázolt jel értékei között, amit a digitális eszközök kvantálási folyamatában jelentkező pontatlanságok okoznak. A kvantálási zaj keletkezése a digitális jel analóg formából történő diszkrét értékekre (kvantumokra) történő átalakítása során jelentkező kerekítési hibákra vezethető vissza. E hibák következtében a kvantálási zaj nemlineáris harmonikus torzítás formájában jelenik meg, ez a hangminőség romlásához vezető zavaró tényező.

A kvantálási zaj csökkentésére több módszer létezik. Az egyik lehetséges megoldás a digitális jel dinamikatartományának növelése. Amennyiben a kvantálási pontosságot egy bittel növeljük, a jel-zaj viszony javulhat, és ezzel együtt a dinamika is +6 dB-el növekedhet. Továbbá, a zajcsökkentő algoritmusok alkalmazása és a magas felbontású digitális konverterek használata szintén hozzájárulhat a kvantálási zaj mérsékléséhez. A kódolás során a hangsintek szerint kvantált pontok kódkombinációk sorozataként, digitális jeleként jelennek meg.

Az ADC (Analog-to-Digital Converter) konverter az analóg hangjeleket digitális jelekké alakítja át, míg a DAC (Digital-to-Analog Converter) konverter a digitális jeleket

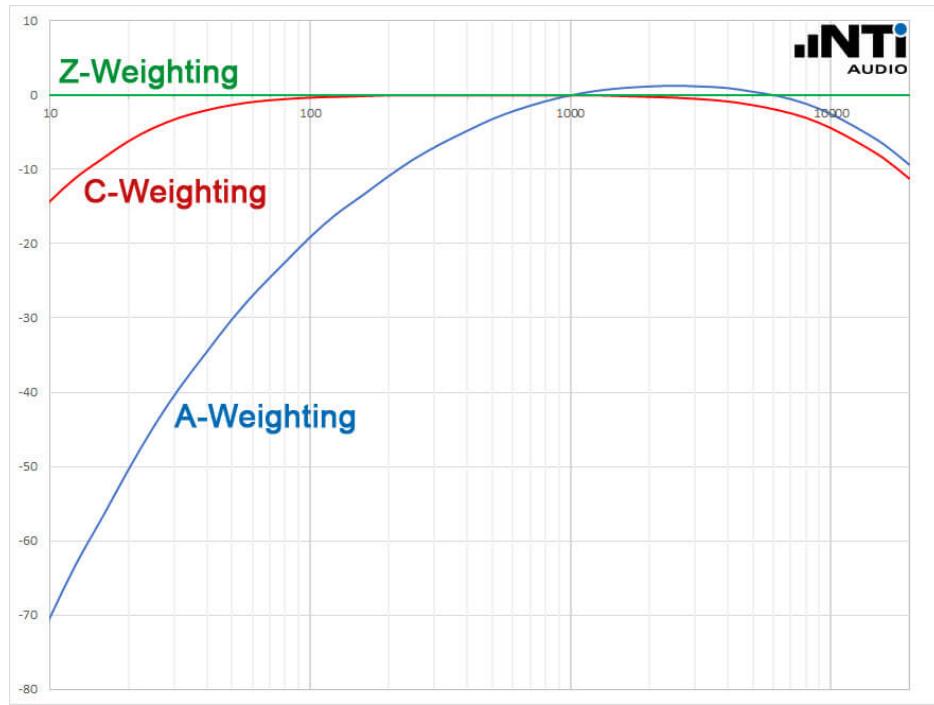
visszaalakítja analóg hangjelekké. A professzionális ADC és DAC konverterek nagymértekben befolyásolják a hangminőséget.

2.3. Hangerősség és hangnyomásszint [12]

Hangerősség (Intenzitás): A hangerősség az a szubjektív hangosságérzet, amely a fizikai hangnyomás szintjétől függ. Ennek mértéke phonban van kifejezve, ahol a hangerősség értéke annyi phon, ahány dB-t mérünk egy 1 kHz-es szinuszhang hangnyomásszintjén, amely azonos hangosságérzetet kelt.

Hangosság (Hangnyomásszint): A hangosság az egyidejűleg megszólaló hangok összefoglaló mértékét jelöli, amelyet a sone egységében mérünk. A kiszámítása során, ha a hangerősség meghaladja a 40 phon értéket, a hangosságot sone-ban adják meg.

A dB-skála a hangnyomásszint logaritmikus kifejezésére szolgál. Az emberi hallás érzékenysége különböző frekvenciákon eltérő, és a decibelskála lehetővé teszi, hogy az emberi hallás által érzékelhető hangnyomás tartományát pontosan ábrázoljuk. A hangosság és a hangerősség közötti eltérés abban rejlik, hogy míg a hangosság az emberi érzékelésre, vagyis az érzékelhető hangnyomásra vonatkozik, addig a hangerősség a hanghullámok fizikai tulajdonságait, vagyis a hullámokban terjedő energiát méri. Az emberi fül által észlelt legkisebb hangerősség 0 dB, amely alig érzékelhető. A 50 dB körüli hangerőt kellemesnek találjuk, míg a 100 dB-es szint már kellemetlenséget okozhat. A fájdalomküszöb nagyjából 140 dB-nél helyezkedik el. Érdemes megjegyezni, hogy a 100 dB nem kétszerese az 50 dB-nek hangerősség szempontjából. A hangerő érzékelése szubjektív, és az egyéni hallási képességek határozzák meg. Általában egy 10 dB-es növekedést körülbelül kétszer olyan hangosnak érzékelünk, tehát egy 60 dB-es hangerőt körülbelül kétszer hangosabbnak érzünk, mint az 50 dB-eset. Mivel a decibelskála logaritmikus alapú, a dB-ben megadott értékek nem lineárisan arányosak. Például a 120 dB nem kétszerese a 60 dB-nek, hanem a hangnyomása hozzávetőlegesen ezerszer nagyobb.



2.2. ábra. A-, C- és Z-súlyozás [11]

A hangnyomás mérésére különböző súlyozási görbéket alkalmazhatunk, például A, C és Z súlyozást. Mit is jelentenek ezek? Ha egy hang az összes frekvenciatartományban egyenlő hangnyomással rendelkezik, azt a Z-súlyozási görbe segítségével ábrázolhatjuk. Az emberi fül által észlelt hangokat az A-súlyozási görbe írja le, amely pontosan tükrözi az emberi hallás frekvenciatartományát, mivel az emberi hallás nem érzékel minden frekvenciát egyformán. A C-súlyozás a hangélményt reprezentálja, amikor a hangerő növekedésével az alacsonyabb frekvenciák iránti érzékenység is fokozódik. Az A- és C-súlyozás tehát a leginkább megfelelő az emberi hallás valósághű frekvenciaválaszának modellezésére.

2.4. Pontsugárzó és LineArray hangforrások

Hangládák kiválasztásakor a legelterjedtebb formátumok a pontsugárzó és a Line Array rendszerek. Ez a két típusú hangforrás eltérő működési elvekkel rendelkezik, amelyek befolyásolják megfelelő alkalmazási területeiket és a hangzás minőségét. A pontsugárzó hangszórók, jellemzően kisebb eseményeken, otthoni környezetben és egyes konferenciákon találhatók meg. Ezek a hangszórók egyetlen dobozból állnak, amelyben minden szükséges komponens elhelyezésre került a hang előállításához. A pontsugárzók a hangot minden irányba terjesztik, olyan módon, mintha a hang egyetlen pontból áramlana ki. Könnyen telepíthetők és jól alkalmazhatók kisebb rendezvényekhez. Különböző méretűek lehetnek, a kis asztali hangszóróktól kezdve a nagyobb DJ-rendszerekig.



2.3. ábra. Pontsugárzó rendszer

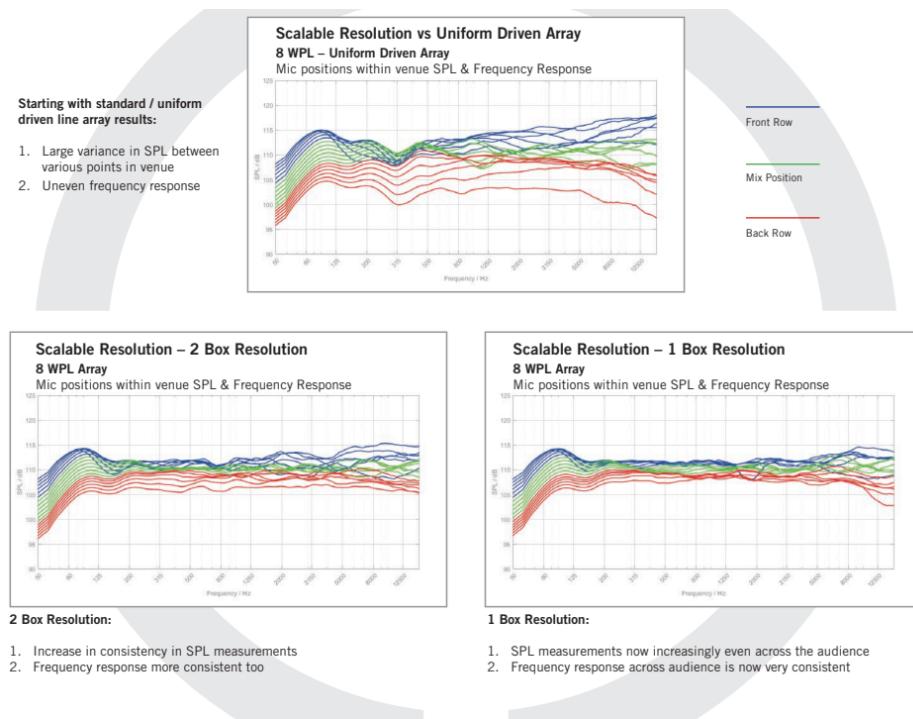


2.4. ábra. Line Array rendszer

A Line Array rendszerek ezzel szemben több szegmensből állnak, amelyek egymáshoz képest függőlegesen vannak elrendezve. minden láda több-kisebb hangszórót tartalmaz. Amikor ezek a komponensek sorba vannak állítva, együtt működnek egy hatékony és kontrollált hangzás előállításában, amely sokkal könnyebben irányítható. A Line Array rendszerek ideálisak nagyobb eseményekhez vagy szabadtéri koncertekhez, mivel képesek nagyobb területet lefedni. Az ilyen rendszerek vezérlése lehetővé teszi olyan okos megoldások alkalmazását is, mint például a *kizárási zónák* létrehozása, vagy a hang egy adott területre való fókuszálása a helyszínen. Összefoglalva, a pontsugárzó és a Line Array hangszórók közötti alapvető különbség a hangterjesztés módjában rejlik. Míg a pontsugárzó hangszórók a hangot minden irányba szórják, addig a Line Array hangszórók a hangot meghatározott területekre irányítják. A pontsugárzók inkább kisebb rendezvényekhez ajánlottak, míg a Line Array rendszerek nagyobb helyszínekhez vagy szabadtéri eseményekhez ideálisak.

2.4.1. LineArray DSP-vezérelt irányítás

A hangosító rendszerek tervezésének fő célja, hogy a közönség számára kiváló minőségű hangzást biztosítson. A kiváló hangzás alatt egyenletes hangerejű, homogén frekvenciaválaszú, alacsony torzítással rendelkező és mindenhol jól érthető hangot értünk. E célok elérése érdekében a modern lesugárzó rendszerek elektronikus úton állítható irányokkal rendelkeznek. Ehhez egyedi digitális jelkezelést (DSP) és egyedi erősítést alkalmaznak minden egyes meghajtóhoz.



2.5. ábra. DSP-vezérelt Line Array [1]

A DSP-vezérelt line array hangszórók találma az 1990-es évekre nyúlik vissza, és azóta folyamatosan fejlődik. Ma már számos gyártó kínál különböző méretű és felbontású DSP-vezérelt irányítható rendszereket, amelyek igyekeznek minden hangosítási igényt kielégíti. Különösen akusztikailag nehéz helyszíneken, ahol sok a reflektáló felület és nagy a visszhang effektus. Itt az ilyen vezérléssel rendelkező rendszerek teljesítménye egyértelműen felülmúlja a hagyományosak eredményeit. A DSP programozása speciális szoftvert igényel, amelyet a gyártó biztosít, és lehetővé tesz különböző szűrő paraméterek optimálizálását a kívánt irányítottság eléréséhez. Általában a cél egy keresztmetszeti tervként van meghatározva, és a line array rendszer irányítása ennek a célzott terület egyenletes lefedésére irányul. A rendszerek tervezése számítógépes eszközöket igényel, amelyek lehetővé teszik a hangszórók viselkedésének részletes szimulációját, például hogyan reagál a térben egy bizonyos rendszer.

3. fejezet

Audio over IP rendszerek bemutatása

3.1. Bevezetés az Audio over IP világába [1]

A 90-es évek vége óta a szakmai hangipar elmozdult a pont-pont digitális átviteli formátumoktól mint az AES/EBU vagy a MADI az IP-alapú szabványok felé a példa kedvéért mint az AES67. Ez a csomag alapú hálózati megközelítés hatalmas rugalmasságot hozott, valamint kibővített vezérlési és monitorozási képességeket biztosít a hangmérnökök számára. Lehetőséget kapunk arra, hogy egy fizikailag már meglévő telepítést későbbi szoftverkonfigurációval és frissítésekkel bővíthetővé tegyünk. A gyártók különböző esetekben akár teljesen új funkciókkal is kiegészíthetik a már meglévő eszközöket, habár ez elsősorban csak a prémium kategóriás eszközökre igaz.

A jelutak az IP alapú gondolkodásmód miatt már nem kötődnek 1:1 fizikai kábelhez, hanem bármikor pár egérkattintással megváltoztathatóak anélkül, hogy szükség lenne bármilyen jellegű fizikai átrendezésre, vagy dedikált audio útválasztó hardverre. A csomagorientált átvitel jellegéből adódik, hogy az audiojelek automatikusan eljutnak a kívánt helyre a hálózaton keresztül.

A Cirrus Logic által 1996-ban bevezetett CobraNetet tekintik általában az első sikeres audio-over-ethernet hálózat implementációjának. Bár még ma is sok CobraNet telepítés létezik, magas késleltetési problémák és korlátozott skálázhatóság miatt nem ideális élő hang, stúdiók és rádióállomások számára.

A mintegy tíz évvel később megjelent egy ausztrál cég az Audinate, és az általuk ki-fejlesztett Dante a Digital Audio Network Through Ethernet. Dante sok jelentős előnyivel rendelkezik az első generációs audio-over-IP technológiákhoz viszonyítva. Ezek közé értve a jobb használhatóságot és magasabb kompatibilitást a szabványos IT infrastruktúrával. A Dante egy hatalmas hardveres ökoszisztemából is profitál, több száz gyártó által gyártott ezernél is több eszközzel szerte a világon.

Mielőtt a Dante elérte volna jelenlegi domináns pozícióját, nagy várakozás volt az AVB (Audio Video Bridging) nevű technológia körül is. Az autóipar és az ipari automa-

tizálás, átvette az AVB-t, és általánosabb nevet adtak neki, mivel már nem csak hang és videóalkalmazásokhoz kapcsolódott Az AVB-t a gyártók fejlesztőcsoportja, AVnu Alliance időérzékeny hálózat (TSN) néven nevezte el.

Később a Milan munkacsoport, ami egy audio/video gyártókból álló konzorcium, úgy döntött, hogy kidolgoz egy finomhangolt specifikációt a profi audio/video rendszerekben való használatra, Milan néven. Ez egy specifikus TSN verzió, amely az audio/video szolgáltatók közötti interoperabilitásra összpontosít. Fontos, hogy nem a TSN alapján készült, mivel a TSN-hez speciális IT hardver szükséges az audio követelmények kezeléséhez, és csak korlátozott számú kapcsoló támogatja a TSN-t.

Az átmenet az IP hálózatokra összehasonlítható az analóg hangról a digitális hangra való átmenettel. Először csak néhány kezdeti telepítés, amelyek az új technológiát használják, majd esetleg hiányosságokat mutathatnak a kezelés vagy a megbízhatóság terén a hagyományos régi megközelítéshez képest, de ezek idővel a technológia fejlődésével eltűnnek.

Vannak területek, ahol az IT hálózatok alapvetően más módon működnek, mint a hagyományos audio útválasztás. Először is, egy szabványos IT hálózat nem arra van kiaknítva, hogy szigorú időzítési követelményeket kelljen teljesítenie, azonban ez általában az audio esetében nagyon is szükséges. Egy hálózati környezetben az adatcsomagok útját más csomagok is akadályozhatják, ami jelentős időbeli változást eredményezhet a csomagok érkezési idejénben. A hagyományos audio kábelek esetében az adatok továbbításának időzítése nem változott meg a kábel által. Egyig végponttól a másikig a hangminták zavar nélkül (feltételezve, hogy a kábel jó minőségű és nincsen interferencia) érkeznek meg. Az IT hálózatokban azonban a csomagok útja nem garantált, és a csomagok késleltetése váltohat. Másodsor, egy csomag elvesztése elfogadhatónak tűnhet és tűnik is egy szokásos IT alkalmazás esetében, mivel azok automatikusan újraküldésre kerülnek, amennyiben valami hiba során elvesznek. Az audio alkalmazások esetében a késleltetés minimalizálása érdekében létfontosságú, hogy a csomagok az első alkalommal a korrekt helyre érkezzenek meg, mivel egyáltalán nincs semennyi idő sem az újraküldéshez. Ha néhány csomag elveszik, az azonnal hallható megszakításokat és kimaradásokat okoz, rongálva ezzel a hang élvezhetőségét.

A csomagvesztés gyakori okai a linkek túlterhelése, vagy a túl alacsony pufferméret. Tehát az audiohálózatokat oly módon kell kialakítani, hogy elegendő sávszélesség álljon rendelkezésre minden egyes eszköz számára egyidejű használat esetén is. Ha ez teljesül, és a csomagkiszállítás időben történik, ahogyan az audio alkalmazások igénylik, akkor a hálózatunk már elméletileg képes lehet hosszútávon stabilan működni. Ettől függetlenül érdemes túlbiztosítani a hálózatot oly mértékben, hogy minden csomag időben megérkezzen, anélkül, hogy további extrém finomításra lenne szükség a kapcsolók konfigurációjában. Konkrétan ez azt jelenti, hogy olyan IT hálózatokat kell építeni me-

lyek elegendő sávszélességgel rendelkeznek, és kizárólag az audio alkalmazások számára legyenek használatosak, tehát ne keveredjenek általános minden nap alkalmazásokkal.

A legtöbb audio-over-IP technológia abból indul ki, hogy az alapul szolgáló hálózat megfelelően fog működni, hibamentesen végzi a dolgát. Gondolva itt arra, hogy nincsen csomagvesztés, nincs súlyos ütközés más csomagokkal a kapcsoló hardveren, és a csomagok nem késnek a hálózaton. Néhány esetben, különösen ha az audio és más forgalmat keverik, fontos lehet az audio és szinkronizációs csomagoknak elsőbbséget biztosítani másokkal szemben, például az internetes böngészéssel szemben. Ez a mai legtöbb kereskedelmi forgalmazott kapcsolóval elérhető.

Példa audio over IP hálózatokra:

- Audinate által kifejlesztett - Dante
- QSC által kifejlesztett - Q-LAN
- Lawo és Partnerei által kifejlesztett - RAVENNA



3.1. ábra. Audinate Dante logó

3.1.1. Előnyök és hátrányok

Az IT hálózatok alkalmazása hangkapcsolatokra nézve számos előnyt kínál:

- Rugalmasság hangkapcsolatok hozzáadásához vagy módosításához anélkül, hogy kábeleket cserélnénk.
- Az IT viszonylag alacsony áron széles skálájú funkciókat kínál.
- Alkalmazkodás és integráció az IT hálózati infrastruktúrákba specifikus audio vagy videokábelek alkalmazása nélkül.
- Videójel és vezérlési adatok továbbíthatók ugyanazon infrastruktúrán keresztül.

Ugyanakkor az audio-over-IP hálózatok felhasználóit számos kihívás elé is állíthatják:

- Azért mert általában több hangmintát egy csatornából egy csomagba helyeznek el a hatékonyság érdekében, adott minimális késleltetés adódik, mivel az küldőnek meg kell várnia, hogy a hangminták rendelkezésre álljanak, mielőtt azokat átküldené a

hálózaton. Ez a késleltetés általában magasabb, mint a pont-pont digitális hangszabványok esetében, de optimalizált csomagformátumok és hálózati beállítások segítségével minimalizálható és nagyon jól közelíthető.

- Mivel az IT hálózatok nem meghatározottak a csomagok úti idejét tekintve, egy biztonsági tartományt, azaz egy audio buffer-t kell beszúrni a fogadó végén. Ez a buffer további késleltetést eredményez. Minél kevesebb csomagütközés van jelen a hálózatban, annál inkább csökkenthető ez a biztonsági tartomány és ezzel a késleltetés.
- Az audio csomagformátumok változatossága miatt növekszik a komplexitás, ami azt jelenti, hogy a fogadóknak és küldőknek azonos beállításokkal kell rendelkezniük. Az audio-over-IP technológia komplexitása jelentősen magasabb, mint az előző technológiáké. Az iparág még mindig jelentős munkát végez annak érdekében, hogy csökkentse ezt a komplexitást a felhasználók számára, bevezetve intelligens és felhasználóbarát szoftvermegoldásokat az audiohálózatok kezelésére.

3.1.2. Fázishelyesség

A legtöbb audio alkalmazásban kritikus számunkra több eszköz szimultán szinkronizált viselkedése. Elengedhetetlen az egyes mikrofonok vagy hangszórók közötti fázisponsztosság. Amikor több hangszóró van csatlakoztatva egy erősítőhöz, és az összes csatorna egyetlen hangcsomagban érkezik meg, nincs veszélye annak, hogy a csatornák ellenfázisban lennének egymással, mivel a hangminták nem változhatnak el egymás között a hálózaton kereszttüli átvitel során.

Azonban egy nagy rendszernél több erősítő és processzor függetlenül egymástól kap hangcsomagokat, az is lehetséges, hogy fizikailag is távolabb vannak egymástól, miközben továbbra is szükség van arra, hogy pontosan reprodukálják a jeleket egyező fázissal. Egy adott csomagot több hálózati eszköz is megkapja, puffereli, és ezeket pontosan ugyanabban az időben kell lejátszaniuk.

Mivel nincsenek szoros időzítési specifikációk az IT hálózatokban a csomagok továbbításának és megérkezésének időpontjára vonatkozóan, az audiohálózatoknak mindenkorban egy olyan szinkronizációs módszert kell biztosítani ami megoldja számunkra ezt a rendkívül kritikus problémát. Ez egy fontos, és egyben új probléma a audio hálózatokban, amellyel az összes audio-over-IP technológiának foglalkoznia kell, nem lehet megkerülni.

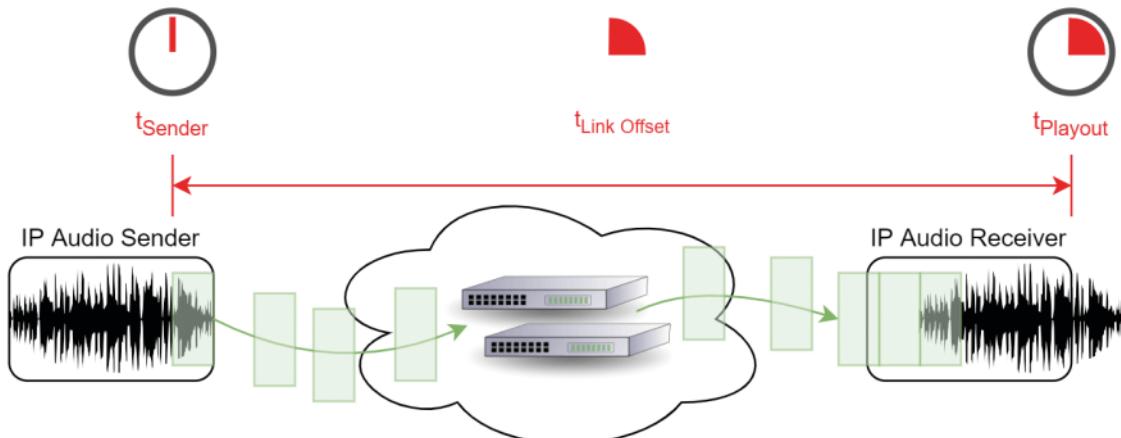
Az audiohálózaton belül minden eszköznek abszolút időben szinkronizálnak kell lennie a Precision Time Protocol (PTP) szerint. Ez azt jelenti, hogy belső óráik (PTP követők) egy referenciaóra eszközből (PTP vezető) származnak. Ez az eszköz bármilyen audioszköz lehet, amely biztosítja ezt a funkciót, vagy akár egy speciálisan erre a célra

fejlesztett eszköz is lehet a pontos PTP órák előállítására. A vezetőt egy felhasználói beállítás vagy alternatívaként egy szabványos automatizmus választja ki. Az összes eszköz számára, legyen az audio adó vagy vevő, az a végső követelmény, hogy pontosan szinkronizálódjanak ehhez az adott időhöz. Az audio csomagokat küldési pillanatukban egy időbelyegzővel látják el. A felhasználó állandó időeltolást állít be az összes vevőnél, ez a linkeltolás. Amikor tehát a csomag megérkezik egy vevőhöz, a pufferben marad, míg lejátszásra nem kerül. Tehát az audio lejátszás pillanata a küldési idő plusz a linkeltolás.

Minden vevő két feltétel mellett érheti el egymás között a fázispontosságot:

- Pontos időszinkronizálás a PTP óra vezetőjéhez (azonos időbázis).
- Azonos linkeltolási érték beállítása a felhasználó által az összes vevőszközön.

Ezért a linkeltolást az érintett összes kapcsolat legrosszabb esetű késleltetése alapján kell kiválasztani. Javasolt bizonyos engedményt hozzáadni az esetleges csomagkiszállítási idők váratlan eltéréseinek esetére. Ez azt jelenti, hogy kicsivel nagyobb időt hagyunk az átlagos csomagfeldolgozási időnél, ezzel is biztosítva a rendelleneségektől mentes működést. Szerencsére ez a koncepció elterjedt és jelenleg minden audiohálózati szabványban használatos.



3.2. ábra. A kapcsolati eltolás meghatározza a késleltetést [1]

3.1.3. Szinkronizáció

Az IP küldők és fogadók szinkronizációja az alacsony késleltetéssel való szinkronban lévő működéshez elengedhetetlen. A hagyományos audio technológiákban az eszközöket vagy külön *word clock* kapcsolattal, vagy szinkronizált audio formátumokkal, például AES/EBU vagy MADI segítségével szinkronizálták.

A fogadók közvetlenül képesek frekvenciájukat és fázisukat kinyerni, mivel valamiféle *impulzust* biztosítottak, ami jelzi a pillanatot, amikor egy audio minta létrejön vagy

lejátszódik, például analóg-digitális konverterek esetében is. Az PTP csomagok kicsik és nem tartják fel a forgalmat sokáig, de fontos, hogy a kapcsolókban a lehető legmagasabb prioritással továbbítsuk őket. Ez végül növelni fogja a szinkronizáció pontosságát, így a késleltetési eltérések minimalizálódnak.

A QoS (Quality of service) keretein belül a PTP csomagokat még a hangnál is magasabb prioritással kell kezelni. Az összes hálózati eszköz ugyanazon naptári időpontra szinkronizálódik a Precision Time Protocol (PTP) segítségével. Ennek az időnek a vezérlője egy olyan eszköz, amelyet óraleadernek neveznek, míg az ehhez igazodó eszközököt óra követőknek hívják.

Minden eszköznek meg le kell hozzá generálnia a hagyományos helyi órát is, amelyet a PTP-n keresztül kapott abszolút időből származtat. Ez a belső óra a *médiaóra*. Ha a gyártó megfelelően implementálja, minden eszköz médiaórájának pontosan ugyanannyianak kell lennie a frekvencia és fázis terén. A magas pontosság technikailag elérhető, de kihívást jelent a gyártók számára. Ezért a PTP szinkronizált eszközök közötti fázispontosság minőségtől és árkategóriától függően változhat. Elfogadható változásnak tekinthető ha az eltérés kisebb mint $<1 \mu\text{s}$, azaz 1 mikroszekundum.

Mivel az IT hálózatok nem elégge determinisztikusak a csomag kézbesítésének időpontját illetően, a készülékek pontos szinkronizációja kifinomult megközelítést igényel. A PTP követők fő feladata két hatás kompenzációja, amelyek bármilyen hálózat esetén előfordulhatnak:

3.1.3.1. Jitter kompenzáció

A PTP vezető által a szinkronizációs üzenetekben megadott jelenlegi időt az összes követőnek egy jól ismert multicast cím (224.0.1.129) használatával mutatják be. A hálózat és a kapcsolók természetéből adódóan ez az információ nem minden érkezik meg tökéletes állandó késleltetéssel a vevő számára. Ez a változás a csomag jitter vagy csomag késleltetési változás (PDV) néven ismert effektus, ezt az elváltozást minden PTP követőnek kompenzálnia kell. Általában az audio hálózatok 1–8 üzenet/mp szinkronizálási arányt használnak. A 8-as maximális érték csak kompatibilitás érdekében javasolt, egy ilyen magas szinkronizálási arány nem szükséges a legtöbb alkalmazásban.

3.1.3.2. Késleltetés mérése

A követő második kulcsfontosságú feladata a vezető és a követő közötti csomagkésleltetés mérése a vezető által szinkronizációs üzenetekben kapott idő kijavításához. Ehhez szükség van arra az időmérésre, amely azt mutatja meg számunkra, hogy a hálózati út során mennyi időbe telik egy csomag átvitele. Ez a mérés magába foglalja az összes közöttük lévő eszköz késleltetését, beleértve a kábeleket és kapcsolókat is. A vezető és a követő közötti kábelhossz és a kapcsolók száma nem számít, csakis kizárolag a vég-

ső érték. A PTP időnek az összes követő között ugyanannak kell lennie nanoszekundum pontossággal.

Az egyetlen feltétel a PTP számára, hogy a késleltetés minden két irányban, a vezetőtől a követőig, állandó és szimmetrikus maradjon. A késleltetést a követő két üzenet cseréjével méri, a késleltetési kérésből és a késleltetési válaszból következően. Ezt a késleltetést általában a szinkronizálási aránnyal azonos gyakorisággal hajtják végre, azaz az előbbiekben már említett 1 és 8 alkalom között. Mivel a hálózaton több eszköz is képes lehet PTP vezetőként működni és elosztani az időt az összes követőnek, a szabvány szabályokat hozott létre a vezető kiválasztásához. Ezt a szabályt a Best Master Clock Algorithm (BMCA), vagyis a Legjobb Mesteróra Algoritmusnak nevezik.

Minden vezetőképes eszköz küldhet bejelentő üzeneteket a prioritásairól (amelyeket a felhasználó állíthat be), valamint az oszcillátor pontosságáról. Ezenkívül figyelnie kell más eszközöket, amelyek szintén elküldhetik saját bejelentő üzeneteiket. Ha más bejövő üzenetek jobb minőséget jelentenek, az eszköz leállítja a vezetőként való bejelentkezését. Ellenkező esetben rendszeresen küldi saját üzeneteit, mintegy *szívverésként*, és ezzel jelezve minden másik eszköznek az aktív állapotát.

Ezeket az üzeneteket az *announce intervallumnak* nevezett időközönként küldik el. A bejelentő üzenetek szolgálnak *szívverésként* is, hogy mások tudják, a jelenlegi mester még működőképes. Ha a kapcsolat megszakad, az összes egység vár egy bizonyos időt (bejelentő időtúllépés), amíg elküldik bejelentő üzeneteiket, majd megismétlik a kiválasztási folyamatot. A vezetőváltás idején a követőknek folytatniuk kell saját oszcillátoruk belső működését. Az audio nem szakítható meg a vezetőváltás során. A bejelentő üzenetekben megadott minőség két értéket tartalmaz, amelyeket a felhasználó állít be: prioritás 1 és prioritás 2. Mindkettő értéke 0 és 255 között változhat, ahol a 0 érték a legjobb és legyőzi a többieket. Ha egy prioritás 1 érték kisebb egy eszközön, mint más eszközökön, akkor az lesz a vezető. A prioritás 2 alatti érték csak akkor releváns, ha minden előző érték, beleértve a prioritás 1-et is, több eszközön is ugyanaz. Ez előfordulhat két azonos típusú eszköz telepítéseknel, amelyeknek a felhasználó azonos értéket állított be a prioritás 1-hez. Ebben az esetben a prioritás 2 határozza meg, hogy melyik lesz a fő vezető, és melyik a tartalék.

Fontos megjegyezni, hogy néhány eszköz nem kínál lehetőséget a felhasználónak ezen értékének megadására. Ehelyett egyszerűen a *Preferált Vezető* megjelölésével rendelkeznek. Technikailag ezek a termékek rögzített értéket használnak bejelentő üzeneteikben, amit a gyártó határoz meg. Ezért még mindig lehetséges, hogy egy másik PTP vezetőnél beírva egy még alacsonyabb értéket, felülbíráljatja az ilyen típusú eszközt. Néhány eszköz támogatja azt a beállítást is, amit *Csak Követő* néven ismerünk. Ebben az esetben amikor ez engedélyezve van, az adott eszköz sosem próbálja meg átvenni a vezetői szerepet az PTP hálózaton.

3.1.4. Mintavételi frekvencia és bitmélység

Az audio over IP rendszereknél a kifogástalan működéshez elengedhetetlen a számunkra megfelelő mintavételi frekvencia és bitmélység meghatározása.

Ezek a paraméterek alapvetően befolyásolják az audio minőségét és a hálózati teljesítményt. Fontos figyelembe venni az átviteli kapacitást, valamint az egyes eszközök maximális mintavételi frekvenciáját és bitmélységét. Amennyiben a hálózat nem képes a megfelelő sávszélesség biztosítására, a hálózatunk instabillá válhat, hangkimaradások és megszakadások, legrosszabb esetben a hálózat teljes összeomlása is előfordulhat. A gyakran alkalmazott 48 kHz-es mintavételi frekvencia széles hangsávot biztosít, és kompatibilis a legtöbb professzionális hangtechnikai alkalmazással. Nemrégiben kezdett el jobban elterjedni szélesebb körben is a 96 kHz-es mintavételi frekvencia, ami nagyobb részleteséget és jobb hangminőséget eredményez, de cserébe nagyobb sávszélességet igényel. A sávszélesség kiszámítása a következő képlettel történik:

$$\text{Sávszélességigény} = \text{Mintavételi Frekvencia} \times \text{Bit Mélység} \times \text{Csatornák Száma} \quad (3.1)$$

Ezzel a formulával könnyen és gyorsan kiszámíthatjuk, hogy a rendszerünknek mekkora sávszélességre lesz szüksége. Tehát ha egy 64x64 csatornás rendszerünk van, 96 kHz-es mintavételi frekvenciával és 24 bites bitmélységgel, akkor a sávszélességünk a következő lesz:

$$96000 \times 24 \times 64 \times 2 = 294912000 \text{bit/s} = 294,912 \text{Mbit/s} \quad (3.2)$$

A hálózatunkat nem centizhetjük ki, minden kell egy bizonyos tartalékot hagyni a hálózatban. A korábbiakban már említett módon, jelen esetben javasolt egy legalább 30 százalékos túlméretezést alkalmazni nem csak elméletben hanem gyakorlatban is. Tehát a fenti példában a sávszélességünk a következő lesz:

$$96000 \times 24 \times 64 \times 2 \times 1.3 = 383385600 \text{bit/s} = 383,3856 \text{ Mbit/s} \quad (3.3)$$

A számítások alapján egy átlagos 1 Gbit/s (1 Gbit/s = 1000 Mbit/s) sávszélességű hálózaton ez a rendszer már megfelelően működhet. A bitmélység a hangsáv digitális reprezentációját határozza meg, és az adatok pontosságát befolyásolja. Általában 16 vagy 24 bitmélységű rendszerek használatosak az audio over IP területén, de a Dante rendszerek a 32 bites bitmélységet is támogatják. A 16 bites reprezentáció megfelelő lehet olyan alkalmazásokhoz, ahol a nagy dinamikatartomány nem kritikus. A 24 bites felbontás lehetőséget nyújt a pontosabb és részletesebb hangátvitelhez, általában zenei stúdiókban és előzenei környezetekben. Végül a 32 bites bitmélység a legmagasabb jelenleg elérhető minőséget biztosítja, de a sokkal nagyobb sávszélesség igénye miatt elsősorban csak a

kiemelten professzionális stúdiókban limitáltan használják, de általában a 24 bites bit-mélységű rendszerek is tökéletesen megfelelnek.

3.1.5. Késleltetés

Amennyiben egy csomag például 1 ms (milliszekundum) hanganyagot tartalmaz, a kapcsolat késleltetése mindenkor nagyobb lesz, mint 1 ms. A küldőnek először 1 ms hangot kell pufferennie, mielőtt beleteszi egy csomagba, majd elküldi a hálózaton. Ezt követi a hálózaton történő utazás ideje az összes kapcsolóval, mielőtt végül eljutna a fogadó eszköz pufferébe.

1. Csomag idő
2. Utazási idő a hálózaton
3. Fogadási puffer

A gyakorlatban a *link offset* technikai kifejezés egyenlő a késleltetés fogalmával. A felhasználó felelőssége, hogy olyan *link offsetet* válasszon, amely elég hosszú, hogy a fogadó puffer soha ne ürüljön ki, és ezáltal soha ne szakadjon meg a folyamatos hangátvitel.

3.1.6. IP címek és maszkok

Egy hálózaton belül minden eszköznek egyedi címre van szüksége annak érdekében, hogy a csomagok sikeresen elérjék céljukat és elkerüljük a csomagok ütközését egymással. Egy ilyen cím lehet kifejezetten a hardverrel kapcsolatos (MAC-cím) vagy egy konfigurálható cím (IP-cím).

3.2. IP-cím hozzárendelési módszerek [1]

Az IP-címeket háromféleképpen lehet hozzárendelni egy eszközhöz:

- **Felhasználói kézi beállítás:** Ez dokumentációt és felhasználói fegyelmet igényel annak érdekében, hogy egy adott IP-címet csak egyszer használjanak ugyanabban a hálózatban. Ez lehet a preferált megközelítés állandó telepítések esetén, mivel lehetővé teszi az IP-címek rendelésének bizonyos struktúrájának követését.
- **DHCP szerver általi eszközhöz rendelés:** Ez egy rugalmas, mégis strukturált módja az IP-címek elosztásának a hálózaton belül. Egy hoszt 'DHCP módban' megpróbálja megtalálni a megfelelő DHCP szervert, és minden szükséges IP-konfigurációt egy szabványosított módon szerez be. Egy felhasználó ellenőrizheti a

DHCP szerverben észlelt eszközöket és azok IP-címeit. Az adminisztrátor konfigurálhatja úgy, hogy csak bizonyos IP-cím-tartományt osztanak ki, míg másokat kézi rendelésre tartalékolnak.

- **Hoszt általi önkiosztással:** Ez a mechanizmus még *Zeroconfig* néven ismert, és csak kis telepítésnél működik a korlátai miatt, mivel az összes eszköz egy alhálózatban van, és nem csatlakozhat más alhálózatokhoz.

Egy adott eszköz IP-címéről való információ beszerzése alapvetően kissé nehéz lehet, ha az nem jelenik meg egy kijelzőn vagy egy konfigurációs felületen. Azonosítani, hogy két IP-cím ugyanabba az alhálózatba tartozik-e, nem lehetséges a hozzájuk tartozó alhálózati maszkok ellenőrzése nélkül. Ha egy csomag cél IP-címe nem ugyanabban az alhálózatban van, a küldő eszköznek a router IP-címére kell irányítania, ahelyett hogy közvetlenül a fogadó eszközhöz küldené. Két hoszt ugyanabban az alhálózaton belül hasonló IP-címekkel rendelkezik, csak az utolsó számjegyekben különbözik. Az első részt hálózati címkének nevezik, a másodikat, amely az eszköz számára egyedi, hoszcímkének. A kettő közötti szétválasztást az alhálózati maszkban a ‘0’-s számjegyek pozíciója jelzi. A hálózati címkét az alhálózati maszkban egy ‘0’-nál nagyobb érték jelzi, míg a hoszcím a maradék jobb oldal, ahol az alhálózati maszk ‘0’-át jelzi.

Host A

	Network Address	Host Address
IP address	192.168.020.079	
Subnet mask	255.255.255.000	

3.3. ábra. Host A

Host B

	Network Address	Host Address
IP address	192.168.020.182	
Subnet mask	255.255.255.000	

3.4. ábra. Host B

Host A Host B Host B ugyanabban az alhálózatban van, mint Host A, mert mindenki ugyanazt a hálózati címkét használja (192.168.020). Az IP-cím hálózati része az a rész, ahol az alhálózati maszk 255-ös értéket mutat. Ezen két eszköz között egy router sem szükséges.

Host C

	Network Address	Host Address
IP address	192.168.134.061	
Subnet mask	255.255.255.000	

3.5. ábra. Host C

Host C más alhálózatban van, mint Host A és B, mert különbözik a hálózati címében (192.168.134, nem pedig 192.168.020). Host C nem tud csomagokat cserélni A és B esz-

közökkel egy router nélkül. Annak érdekében, hogy ez az eszköz kommunikálhasson A és B-vel, más IP-címet kell kapnia, kezdve a 192.168.134... címmel. Vagy más alhálózati maszk is választható az egész beállításhoz, például 255.255.0.0. A feljegyzett alhálózati maszkok decimális jelölése dot-decimális jelölésnek nevezik. Azért, hogy az információt rövidebben jelezzék, gyakran használt alternatív módszer a CIDR vagy perjeljelölés. Az IP-cím után azonnal következő perjel után az alhálózati maszkot a ‘0’-nál nagyobb értékeket mutatva jelöli meg. Ez a jelölés az alhálózati maszk bináris formájára utal, tehát a ‘255’ a ‘11111111’ -nek felel meg. A fenti példákban az alhálózati maszkok tehát bináris formájukban 24 ‘1’-t tartalmaznak. A fenti példában szereplő hosztok CIDR jelölése:

- **Host A:** 192.168.020.182/24
- **Host B:** 192.168.020.079/24
- **Host C:** 192.168.134.61/24

A routereket használó és több alhálózatot összekapcsoló telepítések a az OSI modell 3. rétegen működnek. Ez a modell hét rétegre osztja a hálózatok általános funkcionalitását, mindenek között egy adott készletet ír le a hálózati eszközök által nyújtott funkcionalitásokról. Gondolva itt elsősorban a csomagok továbbításáról a megfelelő címzett felé.

Az összes jelenlegi IT eszköz követi ezt a jól meghatározott absztrakciós rétegkonceptiót, hogy elősegítse a gyártók közötti interoperabilitást. A 3. rétegen működő telepítések értelmezhetik az IP-címeket, az alhálózati maszkokat, és így továbbítani tudják a csomagokat az alhálózatok között. Az itt tárgyalta összes technológia képes ilyen forgatókönyvvel működni. Ezzel szemben néhány technológia korlátozott a 2. rétegre. Ez azt jelenti, hogy a csomagjaikat kizárolag MAC-címek alapján szállítják, és nem tartalmaznak alhálózati információkat. Ennek eredményeként a 2. rétegű hálózatokat nem lehet több alhálózatokra bontani, a csomagjaikat nem lehet routerek által továbbítani, és ezáltal a skálázhatóságuk korlátozott. Az egyik népszerű példa a 2. rétegű hálózatokra a már említett TSN/Milan, valamint a CobraNet. Egy alhálózat egy logikai szegmens egy adott hálózaton belül. Az ilyen szegmenseket különféle okokból hoznak létre, ideértve elsősorban az adminisztratív és biztonsági szempontokat. A hálózati adminisztrátor egy készlet szabályt alkalmazhat egy alhálózatra, míg más szabályokat választhat egy másikra. A routerek képesek összekapcsolni az alhálózatokat, így a hosztok csomagokat cserélhetnek az alhálózati határok átlépése nélkül. Egy routernek megfelelően konfigurálva kell lennie a hálózati útvonalak létrehozásához ezek között az alhálózatok között. Ezzel szemben egy tipikus kapcsoló nem képes összekapcsolni az alhálózatokat. Virtuális LAN készítése (VLAN) egy másik módszer a hálózat szegmentálására. Rugalmasabbá teszi a rendszereket, csökkenti a kapcsolatlan rendszerek közötti fölösleges kommunikációt. Szemben az alhálózatokkal, ez egy biztonságosabb módja is a hosztok elkülönítésére egymástól.

3.2.1. Hálózati topológiák

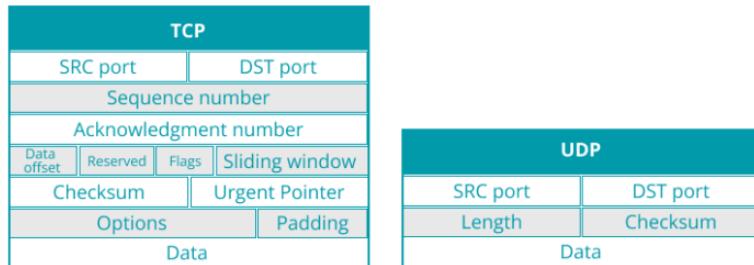
A csomópontok különböző módon kapcsolódhatnak össze. A topológia meghatározása az egyik legfontosabb döntés, amelyet egy hálózat tervezésekor hozni kell. A csillag topológia sok szempontból preferált megoldás. Több hoszt egy útválasztó eszközön, például egy kapcsolóhoz vagy routerhez csatlakozik. A mai hálózatok gyakran két csillagszintet kombinálnak. Ezt gerinc/levél architektúrának nevezik. A központi kapcsoló/router (gerinc) általában több forgalmat továbbít, mint a perifériális kapcsoló (levél). Ha a gerinc és a levél közötti nagy sávszélességű kapcsolat nem képes egyszerre továbbítani az összes hoszt forgalmát, akkor ez a tervezési forma blokkoló. Az ellentéte egy nem blokkoló hálózattervezés, ahol a nagy sávszélességű kapcsolatok képesek az összes a hozzájuk csatlakoztatott hoszt teljes forgalmát folyamatosan továbbítani. A gyűrű topolónak több interfésze is lehet. Legalább kettőre van szükség egy gyűrű topológia megvalósításához. minden két csomópont közötti kapcsolat teljes sávszélességet kínál, és a csomópontokra hárul a feladat, hogy továbbítsák a csomagokat a gyűrűn belül. Ebben az értelemben mindegyik csomópont úgy működik, mint egy kapcsoló, csomagokat továbbítva a két interfésze között. A gyűrű topológia választása gyakran ésszerű, amikor nagy távolságokat kell áthidalni, és a kapcsolatok költségesek. Gyakorlati példák a különböző helyszínek közötti hálózatok, de gyűrűket alkotnak olyan eszközök csatlakoztatására is, amelyek esetében nincs hely egy további kapcsoló számára. A gyűrű topológiák beépített redundanciát kínálnak minden eszközön hozzáférhetünk, még akkor is, ha egy kapcsolat elszakad. A megfelelő hálózat kialakításához még elengedhetetlenek a nem blokkoló kapcsolók. A nem blokkoló architektúra egészében azt jelenti, hogy nem a kapcsolók a szűk keresztmetszet. Tehát képesek kezelni az összes rájuk táplált forgalmat, csak a szabvány port sebessége a korlát.

3.2.2. Unicast és Multicast

Amikor egy eszköz csomagot küld egy másik eszköznek, ezt unicast mechanizmusnak nevezzük. Egy ilyen kapcsolatnak pontosan egy küldője és egy fogadója van. Az unicast használhatja a Transmission Control Protocol (TCP)-t, ahol a fogadó minden egyes csomag sikeresült átvételéről visszaigazolást küld a küldőnek. Ha a visszaigazolás nem érkezik meg, a küldő automatikusan újraküldi a csomagot. Az UDP (User Datagram Protocol) egy alternatíva a TCP-nek. Ebben az esetben a küldő bízik abban, hogy a csomagok sikeresen megérkeznek a fogadóhoz. Nincs visszaigazolás, és ha a csomag elveszik, a tartalma is elveszik. Ez az jelenti, hogy az UDP nem annyira megbízható? Valójában nem, csak más felhasználásra hozták létre. Bár ez sokak számára váratlan lehet, valójában ez a preferált átviteli mód a szakmai audio hálózatok számára. Mivel a késleltetésnek alacsonynak kell lennie, nem engedhető meg a csomagok újraküldése, mert az értékes időt

vesz igénybe, és ezzel növelné az általános időkésleltetést. Az élő redszernél csomag-
vesztés esetén a legjobb, ha folytatjuk a következő audio minták lejátszását, anélkül hogy
megpróbálnánk helyreállítani az előzőt. A menedzselhető switchek és végpontok tudják
logolni a csomagvesztésekét, így monitorozható a hálózat állapota amennyiben probléma
merülne fel.

Packet Formats



3.6. ábra. TCP és UDP összehasonlítás [15]

Audio alkalmazásokban gyakran szükség van arra, hogy egy audio jelet több helyre párhuzamosan fogadjanak, például egy mikrofonjel, amelyet párhuzamosan továbbítanak a front-of-house és a monitoring keverőpultoknak. Akár egy harmadik hely is létezhet, például egy felvező eszköz. Amikor a küldő unicast módban továbbítja a csomagokat, az audio jel három csomagként érkezik azonos tartalommal, de különböző címzettekkel. Ez felesleges processzor terhelést jelent a küldő eszköz számára, és emellett külön sávszélességet is foglal el mindenhol célhoz. Ezt lehet optimalizálni a multicast használatával. Számos előnye van, ideértve a küldőre nehezedő kevesebb processzor terhelést és az általános forgalom csökkenését a hálózaton. A küldő multicast címekre címezi a csomagokat, és nem hoszt címekre. Nem tudja, a csomagok címzettjeit. A multicast címek hasonlóak a rádiófrekvenciákhoz: bárki, aki érdeklődik, bekapcsolhatja és fogadhatja a tartalmat. A küldő csak egyszer helyezi az audio adatokat egy csomagba, elküldi egy multicast címre, és a vevőknek kell tudniuk, melyik multicast címre akarnak hallgatni. A multicast címek alapvetően nem kapcsolódnak alhálózatokhoz, mivel nem kapcsolódnak a csomópontokhoz és az IP-címekhez. Ezért a multicast csomagok áthaladnak az alhálózatokon, ha csak nincsenek elkülönítve VLAN-okkal. Amennyiben a hálózatunk nem kizárolag az audio jelek továbbítására készült speciálisan, néhány eszköz lehet a hálózaton, amelyeknek semmi közük az audiohoz. Ezért fontos, hogy a multicast forgalom csak azokhoz a hosztokhoz jusson el, amelyek érdeklődnek iránta. Ennek a megoldása az IGMP snooping, tehát az Internet Csoportkezelési Protokoll. Az összes tárgyalt audio hálózati technológia alapértelemezzen támogatja az IGMP snooping-ot. Ha be van kapcsolva a kapcsolóban, akkor a multicast-csomagok csak azokon az interfészeken kerülnek elküldésre, ahol a csatlakoztatott hosztktól időszakos IGMP kérések érkeznek. Ha nincs beérkező kérés, akkor a megfelelő multicast leáll, így nem jut felesleges forgalom a kapcsolatra. Az IGMP sno-

opingot egyfajta zsilippel lehetne összehasonlítani, amely alapértelmezetten zárvan van, és csak kérésre nyílik meg. Erősen ajánlott az IGMP snooping bekapcsolása egy multicast hálózatban minden egyes kapcsolóban. Azonban egy hálózatban kizárálag csak egy darab IGMP Querier lehet aktív, mivel az összes többi kapcsoló az aktív IGMP Querier-től kapja az információkat. Enélkül a multicast úgy fog viselkedni mint egy broadcast, ami nagy mennyiségű felesleges forgalmat eredményez, ezzel szennyezve a hálózatot. Tehát a unicast a legjobb késleltetési teljesítményt nyújtja, és a kapcsolók számára a legkönnyebben mozgatható. A multicast pedig jobb sávszélesség-kezelést kínál, ahogy a csatornaszám és a sávszélességünk is nő.

3.2.3. Eszköz- és Adatfolyam-felfedezés

Az AES67 audió szabvány nem határozza meg, hogyan fedezhetik fel egymást a hálózati eszközök, vagy hogy mely adatfolyamok érhetők el a hálózaton. Az összes ismert technológia a bonjour vagy mDNS mechanizmust használja eszközeik számára az egymásról való értesítésre. minden eszköz fix és ismert multicast cím (224.0.0.251) felé küld üzeneteket, amiket más eszközök is elérnek, így értesülnek egymás létezéséről a hálózatban. Ennek a mechanizmusnak egyik korlátja az, hogy nem működik nagy telepítésekben, ahol több alcímen vagy VLAN-on vannak különböző eszközök. Ezen esetekre a gyártók kifejlesztettek saját megoldásokat (például Audinate a Dante Domain Manager-t) vagy követik az audio/video NMOS szabványt a felismeréshez és kapcsolatkezeléshez. Az audio adatfolyamokat a gyártótól függően két mechanizmus egyikével fedezik fel. Ahogy az eszközök felfedezésénél, minden eszközök is előre meghatározott multicast címet használ az adatfolyam-információk terjesztésére, hogy a címzettek megtalálják az elérhető adatfolyamokat és azok paramétereit:

- Session Announcement Protocol (SAP) - minden Dante termék által használt (Multicast cím: 239.255.255.255)
- Bonjour / mDNS - minden más technológiában használt (Multicast cím: 224.0.0.251)

Szerencsére a jelenlegi termékek többsége lehetővé teszi minden eszközök által használt SAP protokoll alkalmazását, így minden eszközök is előre meghatározott multicast címet használ az adatfolyam-információk terjesztésére, hogy a címzettek megtalálják az elérhető adatfolyamokat és azok paramétereit.

3.2.4. Redundancia

Az audiohálózatok kezdeti napjaiban egyes felhasználók kétkedtek az IT hardverek megbízhatóságában. Annak ellenére, hogy ezek a széles körben elterjedt IT-berendezések

jól beváltak és gyakran megbízhatóbbnak viszonyulnak, mint a hagyományos audioberezések. Emellett a legtöbb hálózati komponens több diagnosztikai és monitorozási mechanizmust kínál a berendezések hibájának gyors felismeréséhez és megoldásához.

3.2.4.1. Spanning Tree Protocol (STP)

Ha a kapcsolókat úgy kötik össze, hogy hurok jön létre, fennáll annak a veszélye, hogy a csomagok végtelenül áramlanak a hurokban. Ezt a *visszacsatoló hurok* jelenséget a hálózati hardver automatikusan észleli az STP segítségével, és ha hurokra bukan, a kapcsoló automatikusan kikapcsolja egyik kapcsolatot. Az STP-t továbbá felhasználhatják a rendszerben történő véletlen kapcsolatvesztések elleni védelmére is, beleértve a kábelszakadásokat is.

Ez abból a megközelítésből áll, hogy szándékasan létrehoznak hurkokat egyes végpontok között, majd a rendszer inaktiválja az egyiket. Ha valamelyik kábel véletlenül kiesik, a rendszer másodpercen belül észleli ezt, és újraaktiválja a passzív kapcsolatot. Ebben az időszakban az audio néhány másodpercig ugyan megszakad, de még mindig sokkal gyorsabb, mint a manuális hibakeresés és az új kábel telepítése, ha arra egyáltalán van lehetőségünk. A legtöbb rendszerben az STP alapértelmezetten engedélyezve van. Nélküle broadcast 'viharok' alakulnának ki, ami konkrétan felemészti a sávszélességet.

3.2.4.2. Link Aggregáció

Ha egy adott kapcsolat különösen fontos egy telepítésben, két vagy több kábelt párhuzamosan lehet csatlakoztatni a biztonság érdekében. Bár az ilyen link aggregáció fő célja két kapcsoló közötti sávszélesség növelése, ez is egy költséghatékony módszer lehet a kapcsolat véletlen leválasztásának vagy kábelszakadás elleni védelmére. Tipikus eset például egy színpad, amely a FOH keverőhöz csatlakozik. A kapcsolóknak minden két végén ugyanúgy kell konfigurálni: két vagy több interfészről kell kijelölni Link Aggregációs Csoportként, és azok egyetlen interfésként jelennek meg a kapcsolón. Gyakorlatban a linkaggregáció alkalmazása a kábelproblémák csökkentése érdekében nagyon hasznos lehet egyszerűsége miatt, hiszen a felhasználónak csak egy további kábelt kell biztosítania, és azonosítania kell a kapcsolók konfigurációját minden két végén. Ugyanakkor az éppen aktív kábel leválasztásakor előfordulhat, hogy az audioátvitel néhány másodpercig itt is megszakad, mielőtt a kapcsoló az alternatív kapcsolatot aktiválna.

3.2.4.3. Adatfolyam redundancia

A legbiztonságosabb de egyben legdrágább módja a redundancia megvalósításának egy hálózatban az, ha két különálló audiohálózatot hozunk létre, két független utat biztosítva a küldő és a fogadó között. Ebben a felállásban minden csomópontnak két hálózati interfészről kell biztosítani. A küldő két azonos audio tartalommal rendelkező csomagot

hoz létre, mindenketőre azonos PTP-időbelyegzőt nyom, majd elküldi mindenket hálózaton. A fogadó végén mindenket csomagot fogadják és kicsomagolják. Még akkor is, ha az egyik csomag elveszik, a megmaradt csomag tartalmazza az összes információt, és biztosítja, hogy az audio zavartalanul folytatódjon. Valójában ez a mechanizmus az egyetlen megközelítés egy hálózatban a véletlenszerű csomagvesztés kompenzálsára anélkül, hogy meg kellene ismételni azokat a küldőtől és ezzel késleltetést hozzáadva a rendszerhez. Ezzel a hangkimaradás problémáját is meg lehet oldani, mivel a redundáns csomagok egyikének elvesztése esetén a másik csomagot használja a fogadó, így ez a procedúra észrevehetetlen a felhasználó számára.

3.3. AES67 [1]

Az AES67 szabvány szerint az összes eszköznek meg kell felelnie az alábbi minimális specifikációknak:

- Unicast és multicast támogatása
- UDP/RTP protokollok használata
- DSCP címkék beállítása meghatározott értékekre, QoS támogatás
- Nincs meghatározott automatikus eszköz- és adatfolyam-felfedezés
- PTPv2 szabvány használata az időszinkronizációhoz
- PTP profil Standard (a gyakorlatban a Dante jelenleg magasabb szinkronizációs rátát igényel)
- Küldőknek ki kell adniuk egy SDP fájlt
- A fogadóknak érteniük kell egy SDP fájlt
- A fogadó puffernek legalább 3 ms hangot kell tudnia tárolni
- Adatfolyam formátumok
- Egytől nyolc csatorna (a küldő választhat egy fix számot, de a fogadóknak képesnek kell lenniük rugalmasan fogadni bármelyik lehetőséget).
- 24 bites és 16 bites felbontás (a küldő választhat egyet, de a fogadóknak mindenketőr érteniük kell)
- 48 kHz mintavételi frekvencia 1 ms csomagidő (48 minta)

- A multicast címek 239.0.0.0 és 239.255.255.255 között vannak

A szabványban sok további paraméter és érték szerepel, de ezek nem szerepelnek a fent felsorolt minimális követelmények között.

3.4. Audinate Dante [1]

3.4.1. A cégről [3]

Az Audinate a professzionális AV hálózati technológiák vezető globális szolgáltatója, az AV és IT rendszerek konvergenciájában játszik kulcsszerepet Dante platformjával.

Az Audinate gyökerei Sydney-ben találhatók, ahol egy kis mérnökcsoport a Motorola Kutatólaboratóriumában fejlesztett új technológiákat. A Motorola 2003-ban bezárta a létesítményt, de néhány mérnök tovább dolgozott a Nemzeti Információs és Kommunikációs Technológiai Intézzettel (NICTA), egy ausztrál kormányzati kutatóintézettel karoltve, amely az ipari növekedést elősegítő innovatív technológiák fejlesztését támogatta. A cég irányvonala Aidan Williams, társalapító és technológiai igazgató érdeklődése a zene iránt határozta meg, míg IT-szakértői szemlélete kijelölte a technológiáit utat.

2006-ban a NICTA felismerte a technológia potenciálját, és az Audinate kivált az intézményből, hogy kereskedelmi forgalomba hozza Dante hálózati technológiáját. A csapat 2008-ban talált rá egy korai támogatóra Bruce Jackson személyében, aki a Dolby Labs élő hangosztályának alelnöke volt. A Dante technológia gyorsan elterjedt a professzionális audioiparban, számos jelentős eseményen és helyszínen, köztük az olimpiai játékokon és nagy zenei koncerteken alkalmazták.



3.7. ábra. Az Audinate logója

2014-re már több mint 170 gyártó használta a Dante technológiát, és a termékek száma meghaladta a 675-öt. 2016-ra az Audinate új termékeket mutatott be, például a Dante Analog Output Module-t, amely lehetővé tette az analóg eszközök csatlakoztatását a Dante hálózathoz. 2017-ben a Dante Domain Manager és a Dante Broadway is piacra került, melyek tovább bővítették a technológia alkalmazási lehetőségeit.

Az évek során az Audinate folyamatosan növekedett és új termékekkel jelentkezett, mint például a Dante AVIO adapterek 2018-ban, valamint a Dante AV technológia 2019-ben, amely integrálta az audio- és videojelek hálózaton kereszthüvely továbbítását. 2020-ban,

a globális járvány idején, a Dante AV termékek új lehetőségeket nyitottak meg az otthoni munkavégzés és biztonságos konferenciatermi megoldások számára.

2024-re az Audinate több mint 600 gyártóval kötött licencszerződést, és a Dante technológiát több mint 4000 termékben használják, beleértve az AV és IT rendszerek teljes integrálását és kezelését, világszerte.

3.4.2. A Dante hálózatok áttekintése

A 2020-2021-es Covid-19 járvány során lehetőségem volt részt venni egy átfogó Dante kurzuson, amelyet a Dante technológia fejlesztője, az Audinate szervezett. A kurzus részletes betekintést nyújtott a Dante hálózatok működésébe. E fejezetben a belsős oktatónyagokat is fel fogom felhasználni, amelyeket a kurzus alatt kaptam. Ezek a dokumentumok csak a kurzus résztvevői számára elérhetőek, így konkrét dokumentumként nem publikálhatóak.

A Dante hálózatok a digitális hangátviteli technológia egy korszerű formáját képviselik, amely lehetővé teszi a hang elosztását és irányítását szabványos Ethernet alapú hálózatokon keresztül. Az ausztrál Audinate által kifejlesztett Dante technológia IP hálózatokat használ a magas minőségű, alacsony késleltetésű hangátvitel biztosítására az eszközök között.

Ez a rendszer jelentős előnyöket nyújt a hagyományos analóg hangrendszerekhez képest, beleértve a nagyobb rugalmasságot és skálázhatóságot, valamint lehetőséget ad a hangrendszerek integrálására meglévő IT infrastruktúrákba.

A Dante technológia széles körben elterjedt, többek között a koncerthangosítás, rádiózás, stúdiófelvételek, vállalati környezetek és konferenciaközpontok területén. Támogatja a különböző hangformátumokat és mintavételi rátákat, és lehetővé teszi akár több száz hangcsatorna egyidejű átvitelét egyetlen hálózaton keresztül. Továbbá, a Dante rendszerek távolról vezérelhetők és monitorozhatók, ami jelentősen megkönnyíti a komplex hangrendszerek beállítását és kezelését.

3.4.3. Dante hálózatok technikai részletei

A Dante hanghálózatok két alapvető elemből épülnek fel: a Dante eszközökből és a Dante hálózatokból. A Dante eszközök speciálisan a Dante protokollhoz készült hangszerök, mint például hangkártyák, erősítők és hangládák. Ezek az eszközök szabványos Ethernet kábeleken és kapcsolókon keresztül csatlakoznak a Dante hálózathoz.

A hálózat konfigurálása az Audinate Dante Controller szoftver segítségével történik, amely lehetővé teszi a hang elosztását és irányítását az eszközök között. A szoftver lehetőséget ad az eszközök távoli vezérlésére és monitorozására. A Dante hanghálózatok különböző hangformátumokat és mintavételi rátákat támogatnak, és képesek egyszerre

több száz hangcsatorna átvitelére egyetlen hálózaton keresztül. Továbbá, a technológia fejlett funkciókat is biztosít, mint a Dante Domain Manager (DDM), amely a biztonságos hangátvitelt szolgálja, és a Dante Virtual Soundcard (DVS), amely számítógépes hanglejátszást és felvételt lehetővé téve.

Amennyiben több eszköz hangot küld egy adott végpontra a hálózaton, az alapértelmezett működés szerint a csomagok felgyülemlése esetén az elsőként érkezők előnyben részesülnek. A Dante hanghálózatok Quality of Service (QoS) támogatást is nyújtanak, amely a prioritások kezelését biztosítja. Ezáltal a hangátvitel előnyt élvezhet más hálózati forgalommal szemben, csökkentve a hálózati torlódás esélyét és biztosítva a minimális késleltetést valamint a magas minőséget. Körülbelül 70 százalékos hálózati szaturációnál már javasolt a QoS alkalmazása, míg 100 Mbps sebességű hálózatok esetén a jitter csökkentésében is segít.

3.4.3.1. Több mintavételi ráta és bitmélység

A rendszer képes egyidejűleg több bitmélysséget kezelní. Ennek informatikai háttere a következő képpen néz ki: Ha egy 32 bites hangforrásunk van, de a másik eszköz csak 24 bites hangot tud fogadni, akkor a Dante a 32 bites hangot 24 bitesre tudja alakítani. Amint a példában látszik, 32 bites hangból úgy kaptunk 24 bites hangot, hogy egyszerűen

3.1. táblázat. 32 bites és 24 bites hangminták

Hangminták	Bitmélység
11110000 11110000 11110000 11110000	32 bites
11110000 11110000 11110000	24 bites

csak elhagytuk az utolsó 8 bitet. Ez a folyamat visszafelé is működik, ha 24 bites hangot kell 32 bites hanggá alakítani, akkor az utolsó 8 bitet 0-val kell feltölteni. A mintavétele-

3.2. táblázat. 24 bites hangból 32 bites hang

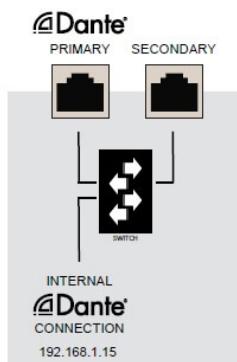
Hangminták	Bitmélység
11110000 11110000 11110000	24 bites
11110000 11110000 11110000 00000000	32 bites

zási frekvencia eltérése csak akkor kezelhető, ha a bitmélység is különbözik. Amennyiben a bitmélység megegyezik, de a mintavételezési frekvencia eltér, a rendszer nem képes a hang megfelelő továbbítására. Ez a mechanizmus egy egyszerű mechanikai példával érthető és szemléltethető. Képzeljünk el két fogaskereket: ha a mintavételezési frekvencia azonos, de a bitmélység eltérő, akkor a fogaskerekek egymásba illeszthetőek, és csupán a fogaskerekek mélysége fog eltérni. Viszont, ha a mintavételezési frekvencia eltérő, a fogaskerekek nem illeszthetőek egymásba, így a hang továbbítása lehetetlenné válik. Ebben az esetben szükség van egy konverterre, amely képes a két fogaskereket összeilleszteni.

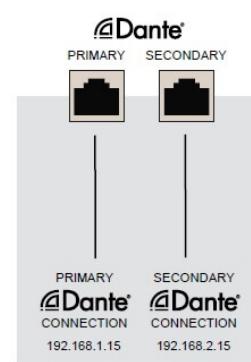
Fontos megjegyezni, hogy a több mintavételi ráta együttes működése érdekében egységes órajel szükséges minden mintavételi frekvenciához.

3.4.3.2. Hálózati topológiák

A Dante rendszerek alapvetően két üzemmódban működhettek. Az egyik az ún. switched (kapcsolt) mód, ahol az eszközökön található két Ethernet port egyetlen hálózatot alkot. Ebben a módban lehetőséget biztosítunk Daisy Chain (füzéres) topológia kialakítására, ahol az egyik eszköz a következőhöz csatlakozik, és így tovább. Emellett csillagtopológia is létrehozható, ahol minden eszköz egy központi kapcsolóhoz csatlakozik.



3.8. ábra. Kapcsolt mód



3.9. ábra. Redundáns mód

A másik üzemmód a redundant (redundáns) üzemmód, amelyben az eszközök két Ethernet portja két különálló hálózatot alkot. Ez a konfiguráció biztosítja, hogy a hálózat redundant módon van kialakítva, így ha az egyik rész meghibásodik, a másik automatikusan átvállalja annak szerepét. Bizonyos Dante eszközök rendelkeznek egy harmadik Ethernet porttal, amelyet konfigurálási és vezérlési feladatokra használnak.

3.4.3.3. Késleltetés

A késleltetés az az időtartam, amely szükséges egy folyamat végrehajtásához, például a bemeneti oldalon beérkező hangjel feldolgozásához és annak megjelenéséhez a kimeneti oldalon. A késleltetés mérésére két fő mértékegységet használunk:

$$1 \text{ másodperc} = 1000 \text{ milli másodperc}, \text{ azaz } 1 \text{ ms} = 0.001 \text{ s} \quad (3.4)$$

$$1 \text{ másodperc} = 1000000 \text{ mikro másodperc}, \text{ azaz } 1\mu\text{s} = 0.000001 \text{ s} \quad (3.5)$$

A Dante eszközök lehetőséget biztosítanak a késleltetés teljesítményének meghatározására. A 0.1 milliszekundumos késleltetés az, amely már biztosítja a kapcsoló lépést. Ha két eszköz késleltetése eltérő, akkor a nagyobb érték számít irányadónak. Egy megfelelően beállított modern Dante hálózatban a késleltetés körülbelül 1 ms értéket vesz fel, ami azt

jelenti, hogy például egy dobos először hallja a hangszerét a fülmonitoron, mint a saját dobját.

3.4.3.4. Órajel

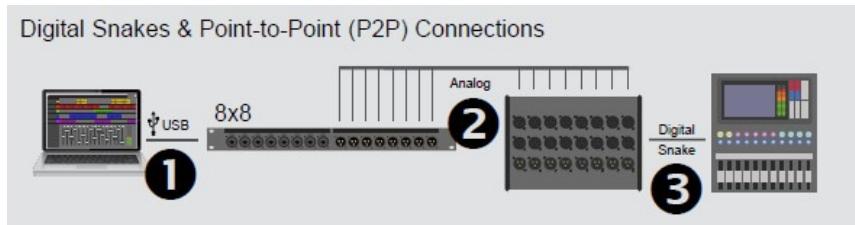
Minden eszköz egy rendkívül pontos dátum/idő órát követ, amely biztosítja az idő szinkronizációját és az egységes sebességet. De mi a helyzet a terjedési késéssel? Miért vannak szinkronban a Dante eszközök? A PTP (Precision Time Protocol) késleltetési kéresek (Delay Requests) indít, amelyek segítségével kiszámítják a hálózat késleltetését. Az eszközök az információátvitel késését is kompenzálják. A Dante automatikusan kiválaszt egy óra vezetőt, és minden csak egyetlen óra vezető létezik, függetlenül a mintavételi rátától. Szükség esetén külső óra vezetőt is beállíthatunk. A rendszer nem szinkronizál újra, hanem beállítja a sebességet és kompenzálja a hálózati késést. A Dante által végzett tesztelések és tapasztalatok alapján igazolt, hogy az időzítés szinkronban marad, még akkor is, ha az óra perceken keresztül teljesen eltűnik.

3.4.4. Összehasonlítás a hagyományos hangrendszerekkel [1]

A hagyományos hangrendszerek általában analóg kábeleken és csatlakozókon alapulnak a hangjelek eszközök közötti továbbítására. E rendszerek gyakran korlátozottak a rugalmasság, a skálázhatóság, valamint az egyidejűleg kezelhető hangcsatornák számát tekintve. Továbbá, a beállításuk és kezelési folyamatuk bonyolultabb lehet, mivel minden egyes hangcsatorna külön kábel és csatlakozást igényel. Ezzel szemben a Dante hálózatok jelentős előnyöket kínálnak: lényegesen több hangcsatorna támogatására képesek, lehetővé téve a nagy és összetett hangrendszerek egyszerű beállítását és kezelését. A Dante rendszer emellett képes hosszú távolságokon továbbítani a hangot anélkül, hogy a minőség romlana. Ezzel szemben a hagyományos analóg rendszerek hosszú kábelek használata során hajlamosak zajra és jelveszteségre, míg a digitális hangjelek, amelyeket Ethernet hálózatokon továbbítanak, minimális minőséghibákkal érhetők el nagy távolságokra.

3.3. táblázat. Digital Snake és DigitalAVNetwork Jelút opciók

Kérdés	Pont-pont között	Hálózati megoldás
Hová megy a jel?	Lineáris kábelút	Bárhol a hálózaton
Hogyan változtassuk meg a jelútvonalat?	Mozgassuk a kábelt	Egy egérkattintással
Szétválaszthatjuk-e a jeleket?	Nem	Igen - a hálózaton
Megosztható-e a kábel más jelekkel?	Nem	Igen - közös infrastruktúra



3.10. ábra. Digital Snake és Pont-pont közötti (P2P) kapcsolatok



3.11. ábra. Dante hálózati megoldás

A rugalmasság és a skálázhatóság további kulcsfontosságú előnye a Dante hanghálózatoknak a hagyományos analóg hangrendszerekkel szemben. Képesek alkalmazkodni különböző hangkonfigurációkhoz és követelményekhez. Könnyű eszközöket hozzáadni vagy eltávolítani, megváltoztatni a hangjelek útvonalát, és a rendszert újra konfigurálni szükség esetén. Ez lehetővé teszi testreszabott audio-megoldások létrehozását, amelyeket az adott alkalmazás vagy környezet speciális igényeihez lehet igazítani.

3.4.5. Firmware frissítés

A Dante eszközök két típusú firmware-rel rendelkeznek: a Dante Firmware-rel és az Eszköz Firmware-rel. A rendszer megfelelő működése érdekében előfordulhat, hogy minden firmware-t frissíteni kell. A frissítések összehangolt verziói biztosítják a legjobb kompatibilitást és működést. A szükséges verziók pontos meghatározásához a gyártóval való konzultáció ajánlott.

Az eszközkategóriák között különbségek lehetnek a frissítési eljárásokban. Bizonyos eszközök esetén alternatív frissítési módszerek állnak rendelkezésre, míg a Dante Updater szoftver egy széles körben alkalmazott eszköz, amely segíti a frissítési folyamatok egyszerűsítését. A Dante Updater rendszeresen ellenőrzi az online adatbázisokat, és értesít a legfrissebb firmware verziókról.

A firmware frissítési folyamat megkönnyítése érdekében ajánlott a Dante Firmware Update Manager használata, amely lehetővé teszi a frissítési fájlok importálását, például ha a gyártó közvetlenül biztosít firmware fájlokat. Sikertelen frissítés esetén vészhelyzeti helyreállítási eljárások állnak rendelkezésre, amelyek biztosítják az eszköz biztonságos helyreállítását.

A Dante eszközök támogatják a vegyes firmware verziókat, lehetővé téve az eltérő verziók együttműködését. Ezt a funkciót rendszeres automatizált regressziós tesztelés biztosítja, amely a különböző firmware verziók közötti kompatibilitást ellenőrzi.

4. fejezet

Rendszertervezés és telepítés elő környezetben

4.1. Követelmények

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

- Teljesen digitális megoldás kialakítása.
- Redundáns rendszer kialakítása biztosítva a folyamatos működést.
- Rugalmas felépítés, amely lehetővé teszi a könnyű alkalmazkodást változó körülményekhez.
- Könnyen bővíthető struktúra kialakítása a jövőbeli igényekhez való gyors reagálás érdekében.
- Magasabb hangminőség és hangnyomás elérése a korábbi rendszerrel összehasonlítva.
- Jobb lefedettség és egyenletes hangvisszaadás biztosítása a közönség területén.
- A piacon lévő termékekhez képest viszonylag költséghatékony megoldás kidolgozása.
- Legyen hosszú távon egy kompetitív és korszerű rendszer.
- Megbízható és kiforrott technológiára épüljön.

4.2. Rendszerterv és kivitelezés

A cég alapítása óta Martin Audio termékeket használ, a régi W8LM rendszerrel nagyon elégedettek voltunk, ebből kifolyólag, a választás márka szempontjából nem is volt kérdéses. A Martin új rendszerei a Wavefront Precision sorozat szériás végfokai pedig a Dante hálózatot használja a digitális hangátvitelhez. Így a választás a Dante protokollra esett, ezért a szakdolgozatomban megtervezésre kerülő hangrendszer lelke ez a protokoll lesz. Hangládák szempontjából a Martin Audio Wavefront Precision szériás termékein belül kétfajta rendszerre is esett választás. Ezekről a későbbieken részletesen lesz szó. Mivel teljes mértékben digitális rendszer 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. [5] 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.



iKON°

4.1. ábra. Martin Audio iK42 végfok



iKON°

4.2. ábra. Martin Audio iK81 végfok

A végfokrendszer fő vezérlő protokolla miatt szükség lesz még egy CAT5E alapú összeköttetésre, ami az egyes végfokokat köti össze egy hálózatba a switcheken keresztül. (VU-NET protokoll) minden egyes végfokrackban két MikroTik 24 portos switch lesz. Ezekre az eszközökre készítettem egy unified konfigurációt, amely minden olyan felesleges biztonsági beállítást kikapcsol, amelyekre egy normál internetes hálózatban szükség lenne, de egy zárt hálózatban ahol kizárolag a Dante eszközök kommunikálnak egymással, ezek a beállítások csak felesleges terhelést jelentenének a hálózaton. Valamint amennyiben még több eszközt szeretnénk a hálózatra kötni, akkor a switchek gyorsan üzembe helyezhetők, mivel a konfiguráció már előre készen áll, csak fel kell tölteni a beállításokat, valamint firmware-t egyeztetni. Az egyik switch a Dante elsődleges hálózatát fogja kizárolag kezelni. A másik switch a Dante másodlagos hálózatát, és a VU-NET hálózatot fogja kezelni. Ez a két alhálózat VLAN szegmensekbe lesz elkülönítve, hogy

a hálózat biztosan stabil legyen, ne fordulhassanak elő csomagütközések. A rendszer kábelezése egyedileg készített Neutrik EtherCon csatlakozóval ellátott CAT5E és CAT6A kábelekből fog állni. A kábelek készítésekor a T568B szabvány szerinti kábelrendezést alkalmazom, mivel a T568B jobb átviteli teljesítményt és interferencia védelmet nyújt a hosszú távú használat során. Nem szükséges a T568A szabvány által nyújtott plusz kompatibilitás a régi hálózatokkal, mivel egy teljesen új modern hálózatot fogunk kiépíteni. A csatlakozók felhelyezésekor a szabványnak megfelelően járok el, milliméterre pontosan, hogy a kábelek a lehető legjobb minőségűek legyenek. Ez a CAT6A kábeleknél különösen fontos, mivel a CAT6A kábelek még nagyobb frekvencia tartományban képesek adatokat továbbítani, mint a CAT5E kábelek, ezért jobban érzékenyek a külső interferenciákra. A végfokokból egy egyedi patch panel segítségével vezetjük ki a végpontokat, hogy ne az eszköz saját csatlakozóját degradáljuk a sokszori csatlakoztatás során, hanem a patch panelen lévőt, melyet amennyiben szükséges könnyen cserélhetünk. Valamint az eszközön lévő csatlakozó egy szabványos RJ45 csatlakozó nem pedig egy Neutrik EtherCon csatlakozó. Számunkra ez is fontos, mivel a Neutrik csatlakozók strapabíróbbak, és a kábelvégek is jobban védettek a sérülésektől, és nehezen vagy egyáltalán nem lehet véletlenül kihúzni a csatlakozót a helyéről. Az egyes végfokrakkerek összeköttetésért egy hibrid kábel lesz a felelős, amelyben négy darab CAT6A kábel van, mindegyik véget külön színkóddal látjuk el, annak érdekében, hogy gyorsan és egyértelműen tudjuk azonosítani a kábeleket, amikor egy adott helyszínen építjük össze a felszerelést, akár sok-sok óra munka után fáradtan. A zöld szín jelzi majd a Dante elsődleges hálózatot, a kék szín a Dante másodlagos hálózatot, a piros szín a VU-NET hálózatot, a fekete vég pedig egy tartalék kábel lesz, amennyiben valamelyik kábel megsérülne, vagy egyéb okból nem működne. Mivel az előbbiekben már említett 24 portos switcheket használjuk, ezért ha vendég vagy bérelt eszközöket szeretnénk a hálózatra kötni, akkor a switcheckben található portokból ki tudjuk választani a megfelelő VLAN szegmenst, és a hozzá tartozó portokat, így szabványos RJ45 csatlakozóval ellátott kábeleket Ethercon nélkül is tudunk használni. Mindegyik rack hátuljában található még egy Wi-Fi router is, amely általában a VU-NET hálózatra kapcsolódik, így a teljes rendszer vezérlése Wi-Fi-n keresztül is lehetséges lesz. A Dante patch-et általában vezetékes módon fogjuk elkészíteni, de amennyiben készülékkünk nem rendelkezik RJ45 csatlakozóval, ami sajnos manapság egyre gyakoribb, akkor a Wi-Fi router segítségével is tudjuk konfigurálni a shared mode bekapcsolásával a Dante vezérlőben. Az FOH (Front of House) pultot szintén egy hibrid kábel fogja összekötni a végfokrakkerekkel, amelyben viszont már csak két darab CAT5E, két darab DMX és egy darab 230V-os tápkábel lesz. Ezzel a megoldással időt és helyet spórolunk, az építésnél, mivel nem kell külön-külön vezetékeket kihúzni, elég egy kábelt, amelyben minden szükséges vezeték benne van. Tehát összefoglalva három egymástól teljesen elkülönített hálózatot

fogunk kiépíteni a rendszer kiszolgálására, a Dante elsődleges és másodlagos hálózatot, valamint a VU-NET hálózatot.

4.2.1. Martin Audio Wavefront Precision hangrendszer

4.2.1.1. Martin Audio Display 2.3.4 b1 tervező szoftver [4]

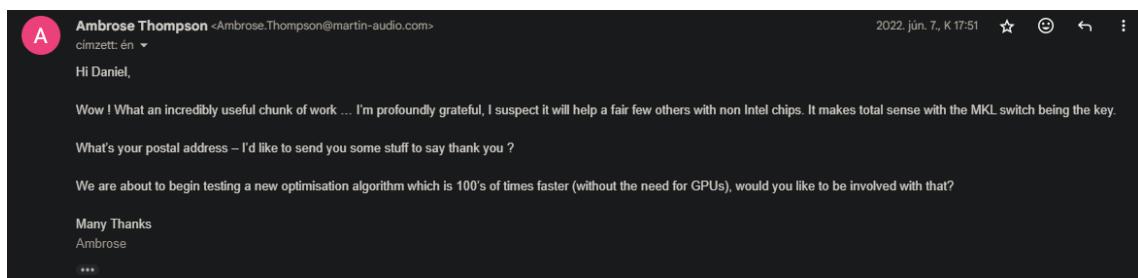
Mielőtt bele fognánk a tervezési folyamatba, fontos megemlíteni, hogy a szoftver eredetileg Intel alapú processzorokra lett tervezve és MatLab alapú. Ebből fakadóan AMD Ryzen processzorokon habár elindult a szoftver, de nem volt stabil és a számítások során minden esetben összeomlott, és használhatatlanul 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 szoftvermérnökkel való e-mail-es beszélgetésünk során megköszönte a probléma megoldását, és nemsokkal a megoldásom megosztása után a hivatalos oldalra is felekeült 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

```

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



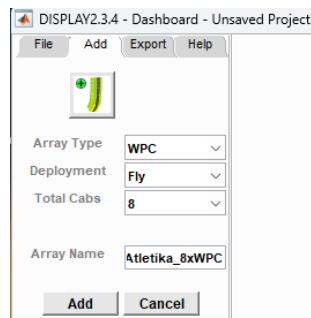
4.3. ábra. E-mail a Martin Audio szoftvermérnökétől

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 középmagas tartományt (+2,-2) külön kezeljük, 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. [9]



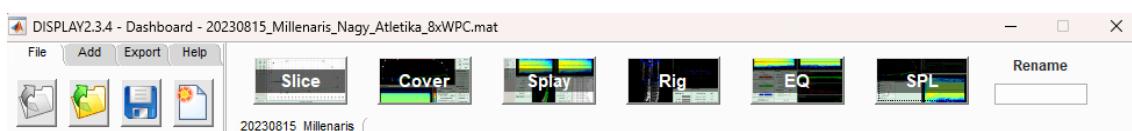
4.4. ábra. Martin Audio WPC LineArray modul

A program megnyitásakor a legelső lépés, hogy kiválasztjuk a termékpálettából a megfelelő hangrendszeret. Jelen esetben az előbbiekben említett WPC-t. A produkcíó 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 mennyiséget, ez az esetünkben már említett 8 darab. A hozzáadás gombra kattintva elénk kerül a fő kezelőfelület, ahol a hangrendszeret tudjuk lépésről lépésre tervezni.



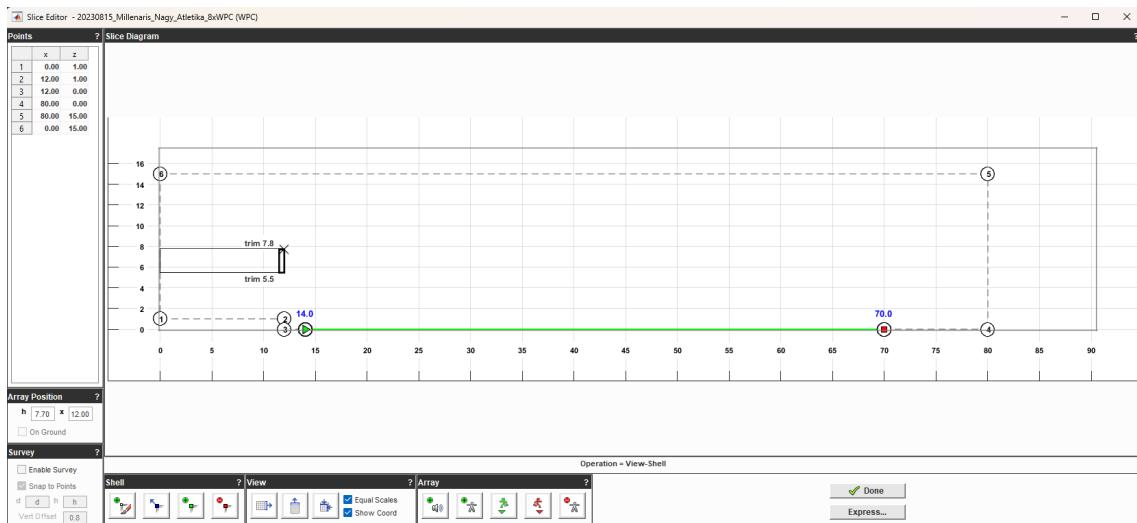
4.5. ábra. Display 2.3.4 b1 kezdőképernyője (WPC)

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 lépésekkel kell követni)



4.6. 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 egyes 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 színpadon 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 helyeznünk magát a hangrendszert a teremben, és meg kell határozunk 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.



4.7. 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 lépésekben elkészített rajzunkon definiálhatunk a program számára három fő régiót.

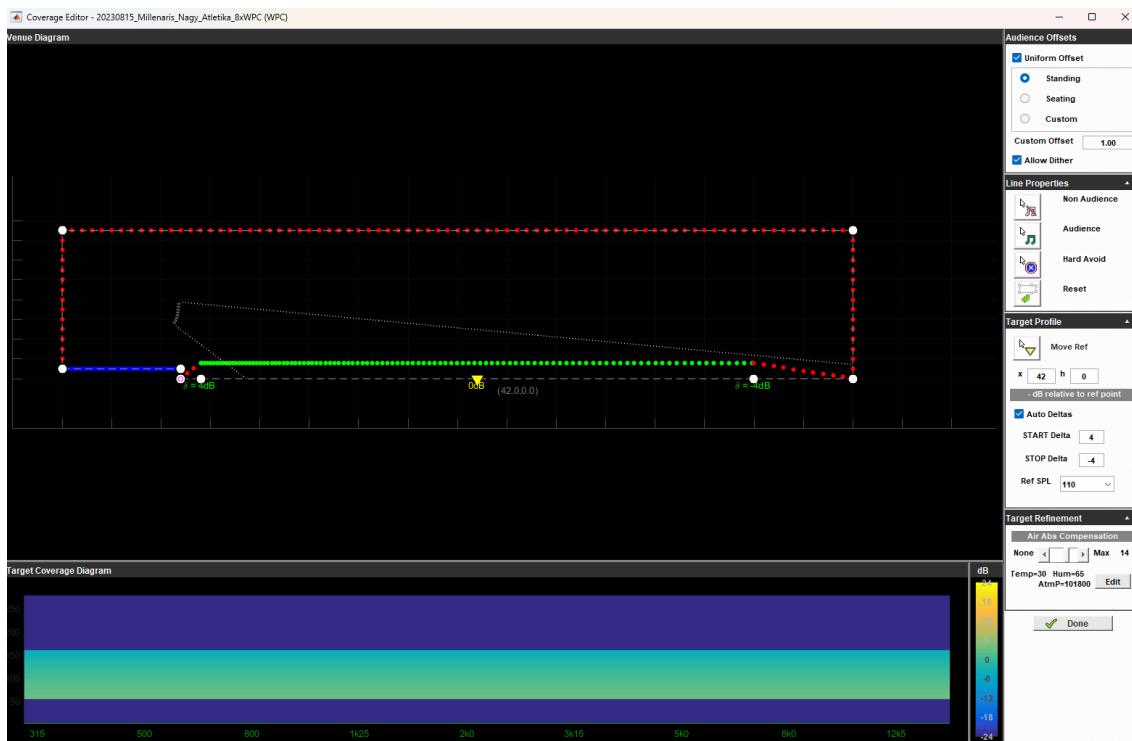
Ezek az alábbiak:

- „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

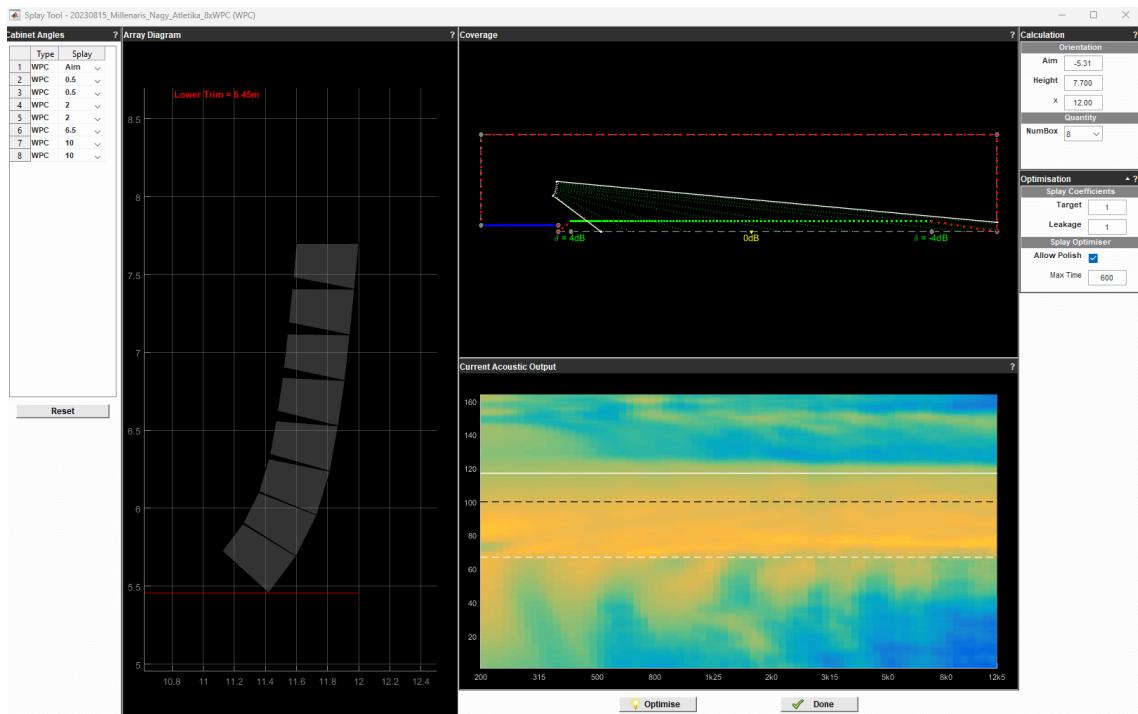
Jelen esetben a fő hangrendszeren nem jelöltem meg a „Hard Avoid” területet, mivel a teremben az első olyan felület ami a hangvisszaverődést okozna már olyan távol helyezkedik el a hangrendszertől, hogy a hangvisszaverődés már nem okoz problémát. A következő lépéseket előkészítve meg kell határoznunk 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 pozicionálva 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 kapunk maximális kompenzációt, de a rendszernek legalább 17dB headroom-ra van szüksége, hogy egyenes response-t 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 alapból 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 valószínűsséggel magasabb lesz ennél. A légnyomás értékét pedig a helyi időjárás jelentésből vettettem, ami azon a napon 101800 Pa volt. Ezek beállítása után mivel az adott hangládához a gyári levegő veszteség kom-

penzációs beállítások nagyon jók, ezért nem változtattam rajtuk, a 14-es érték egyenletes és dinamikus hangvisszaadást biztosít.



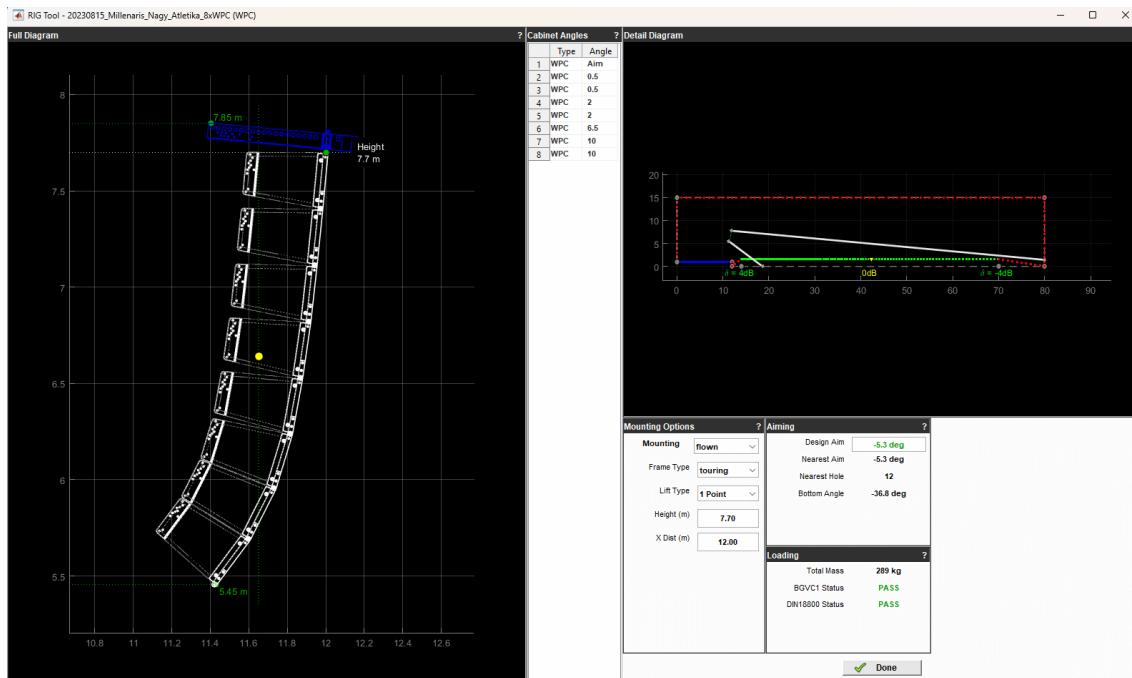
4.8. ábra. Display 2.3.4 b1 „Cover” kezelőfelülete (WPC)

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 fokolási szögek beállításával. A szoftver által biztosított optimalizációs algoritmus a lehető legjobb lefedettségre törekzik 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 területének 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 finomhangolja a splay szögeket az első próbálkozás után. Ezt az opciót előnyös bekapcsolni, mivel a szoftver így pontosabb eredményt tud produkálni, ezért ezt a beállítást mindenkor 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.



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

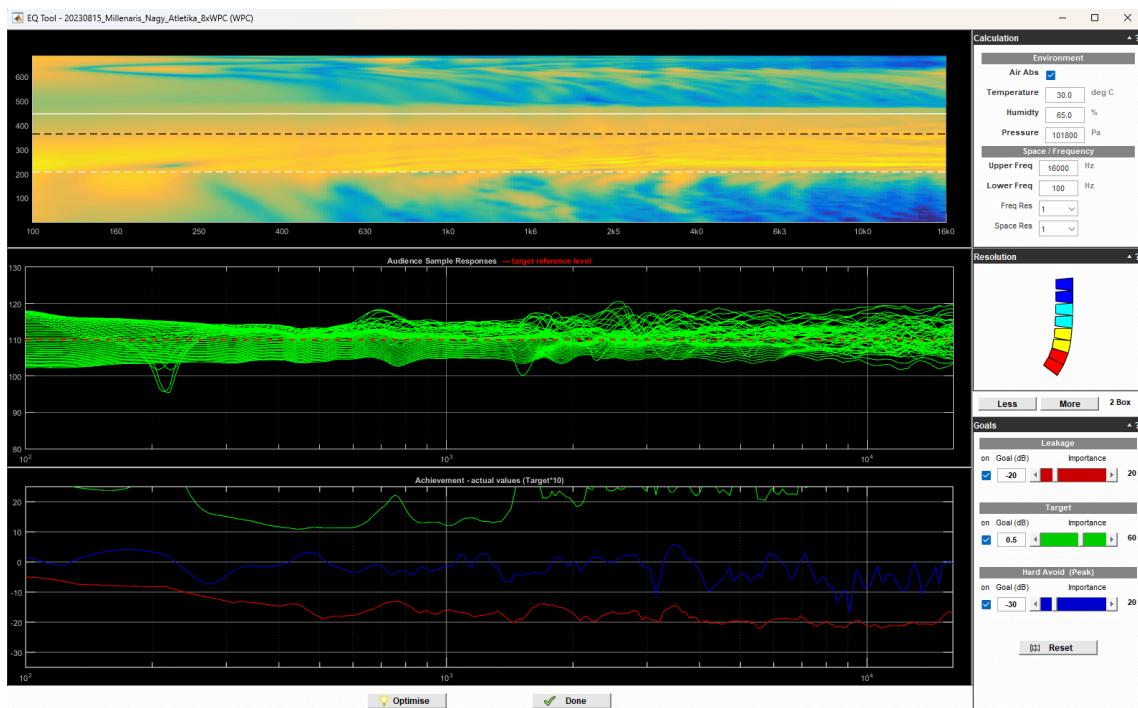
A következő lépés a „Rig” kezelőfelületen történik. Ez a felület elsősorban az eddig elkészített rendszerünket fogja megjeleníteni térben. Elsődleges beállítási paraméter ezen a panelen, hogy egy vagy két pontos rögzítést szeretnénk-e használni. Jelen esetben egy pontos rögzítést fogunk használni. Amennyiben 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 függessztéséhez és összeszereléséhez az összes információ megtalálható itt. Gondolva itt a riggvas fokolási helyére, a lánkok közti szögekre, a rendszer legfelső és legalsó pontjára. Ezeken 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 függessztést tesz lehetővé. Ezek után a rendszert az említett paramétrek alapján összeépítjük, figyelve az összes program által megadott információra.



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

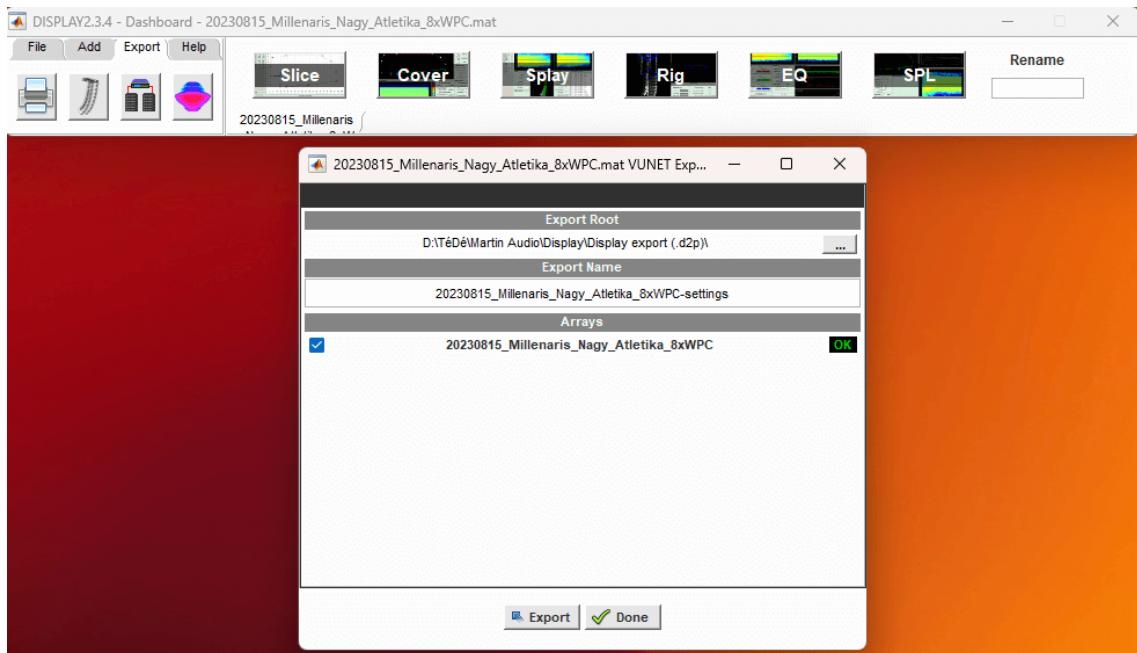
Az utolsó lépés mielőtt ki tudnánk menteni a tervezett rendszert, az a „EQ” kezelőfelületen történik. Ha a „Cover” kezelőfelületen már megadtuk a környezeti változókat, akkor ezt már nem kell újra megtennünk, mivel a szoftver automatikusan átveszi az ott megadott értékeket. Beállíthatjuk az alsó és felső 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 leg pontosabban 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 hármasával is hajtsuk. Ennek költséghatékonyiségi és rugalmassági előnyei vannak, viszont a hangvisszaadás kevésbé lesz egyenletes. Jelen esetben az arany középutat választottam, és párosával fogom hajtani a ládákat. Így a WPC rendszer összesen 4 darab iK42 végfokot fog igényelni, ami 16 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 előbbiekbén 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 minden résznek megadhatjuk mekkora hangnyomás értéket szeretnénk elérni a tervezett területen. Ezeket az értékeket nem szükséges módosítani, mivel a gyári értékek megfelelők, 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 eltérésekéről.



4.11. 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 későbbiekbén.



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

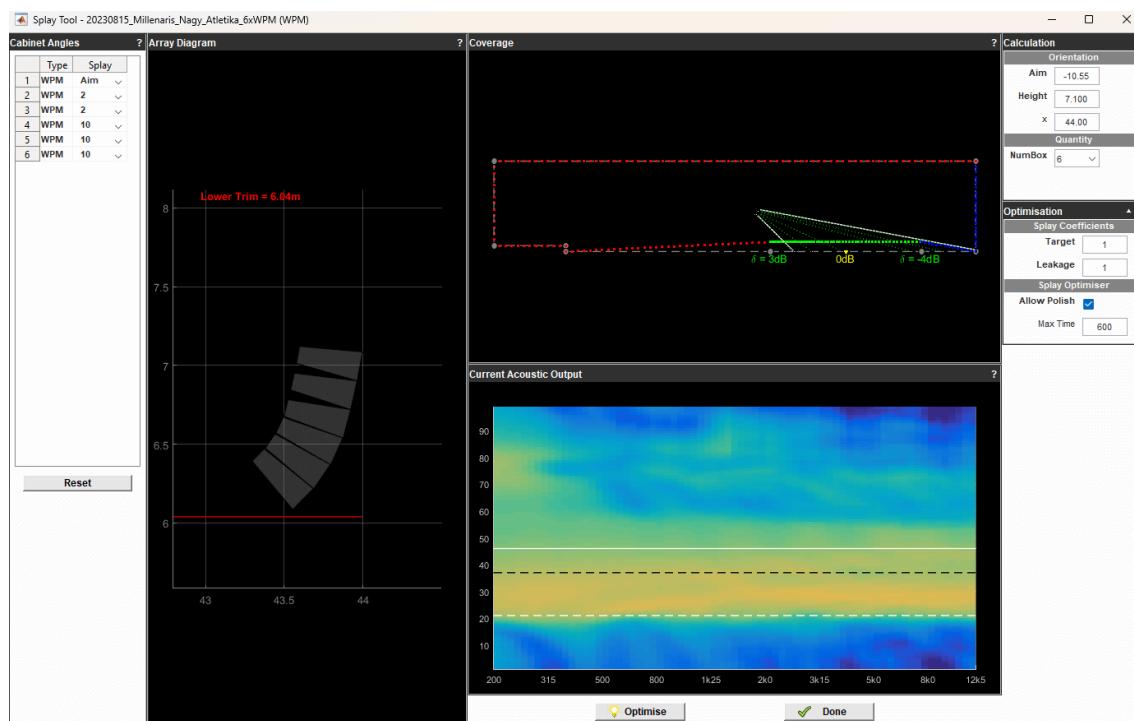
A fő hangrendszer megtervezése után a következő részegység aminek a tervét el kell készíteni, az a Delay hangrendszer. A Delay hangrendszer a fő hangrendszerrel együtt fog működni, és a közönségtér hátsó-közép részétől kezdve fogja kiegészíteni azt. Erre azért van szükség, mert a csarnokban a közönség 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). Maximában 130 dB hangnyomás szintet tud biztosítani, nagy előnye ennek a fajta rendszernek a súly-teljesítmény aránya, mivel egy darab láda mindössze 14 kilogramm. [10]



4.13. ábra. Martin Audio WPM LineArray modul

A tervezési fázisok nagy része megegyezik az előbbi rendszer tervezésével, ezért ezeket a részeket nem ismétlek meg. A hangsúlyt az 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 találhatóak, 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 hajthatóak legyenek. Ez persze nem jár kompromisszumok nélkül, a hangvisszaadás egyenletesebb ha egyesével hajtjuk a lánkat, és ezt meg is tudjuk tenni, mivel rendelkezésünkre áll 2 db iK81 végfok erre a célra. Végeredményben tökéletesen kielégítő hangvisszaadást fog produkálni mint kiegészítő egység.



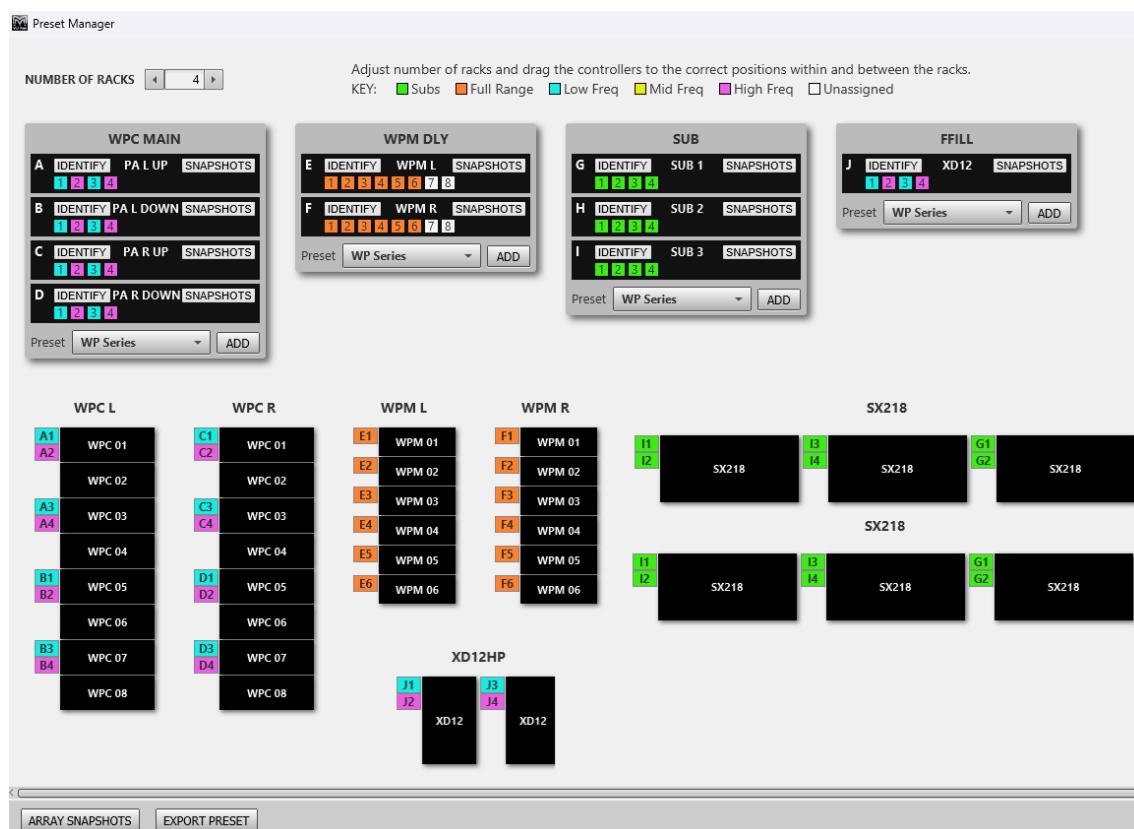
4.14. ábra. Display 2.3.4 b1 „Splay” kezelőfelülete (WPM)

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

4.2.1.2. Martin Audio VU-NET rendszer szoftver [8]

Első és legfontosabb feladatunk, hogy az összes végfoknak egyedi IP címet adjunk a hálózaton. Enélkül a rendszerünk használhatatlan lesz, mivel a VU-NET szoftver nem fog tudni kommunikálni a végfokokkal. Ezután győződjünk meg, hogy számítógépünk ugyan abban az alhálózatban és cím tartományban van mint a többi eszköz. Miután már

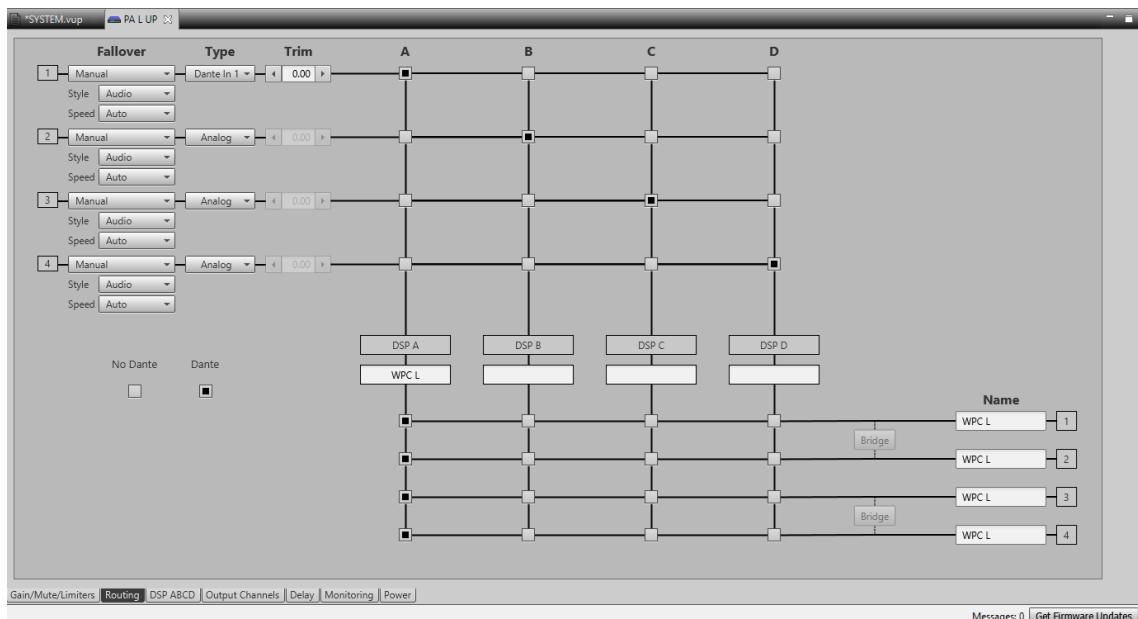
rendelkezünk az összes számunkra szükséges rendszer patch fájljával, el tudjuk kezdeni felütni a végfokparkot amelyek a hangszórókat fogják hajtani. Tehát a következő lépések a VU-NET szoftverben történnek a végfokok beállításával. A VU-NET szoftver egy olyan alkalmazás, amely lehetővé teszi a Martin Audio hangrendszer teljes körű vezérlését és monitorozását. Jelen esetben az iK42 és iK81 típusú eszközöket fogjuk tudni kezelni. Rendszerünk ha minden összeszámolunk, akkor 8 darab iK42 és 2 darab iK81 végfokot fog tartalmazni. Ebből 4 db iK42 a WPC LineArray rendszert, 2 db iK81 a WPM LineArrayt, 3 db iK42 az SX218 mélylánát, és 1 db iK42 a FrontFill hangfalakat (XD12) fogja hajtani. A „Discover Devices” gombra kattintva a szoftver megkeresi az összes végfokot a hálózaton, és megjeleníti azokat a cím szerint növekvő sorrendben. Szinkronizáció után szabadon vezérelhetővé válnak az eszközök. Egy kiválasztott eszközre jobb egérgombbal kattintva megjelenik egy menü, ahol az „Open Preset Manager” opcióra kattintva betölthetjük az előre elkészített és gyári preseteket. Az alábbi képen látható az a felület ahol bele kell tölteni a preseteket az egyes erősítőkbe külön-külön.



4.15. ábra. VU-NET rendszer áttekintő diagram

Így már szépen látható, hogy a rendszerünk hogyan fog kinézni, és melyik végfok melyik csatornán mit fog hajtani. Ez kábelezés és rendszerstruktúra szempontjából is nagyon fontos információ, mivel kizárolag a megfelelő helyre kötött hangládákkal fog megszólalni helyesen a rendszer. Ezen felül ha valamit rossz helyre kábelezünk le, tegyük

fel egy mélyládát hajtó végfokra egy Line Array modult, akkor a benne lévő hangszórók nagy valószínűséggel tönkremennek ha terhelés alá kerülnek. Tehát fontos a precíz és átgondolt munkavégzés. A hibák elkerülése után is hasznos számunkra a rendszer áttekintő diagram, mivel ha valami nem működik a rendszerben, akkor könnyen és gyorsan megtalálhatjuk a hibát, és azonosíthatjuk a hibás komponenst. Miután sikeresen betöltöttük az összes presetet amire szükségünk van, be kell állítanunk, hogy az erősítők milyen forrásból fognak jelet kapni. A következő lépésben a „Routing” fülön be kell állítanunk, hogy az input csatorna Dante hálózatról fogja kapni a jelet. Ez a beállítás a következőképpen néz ki:



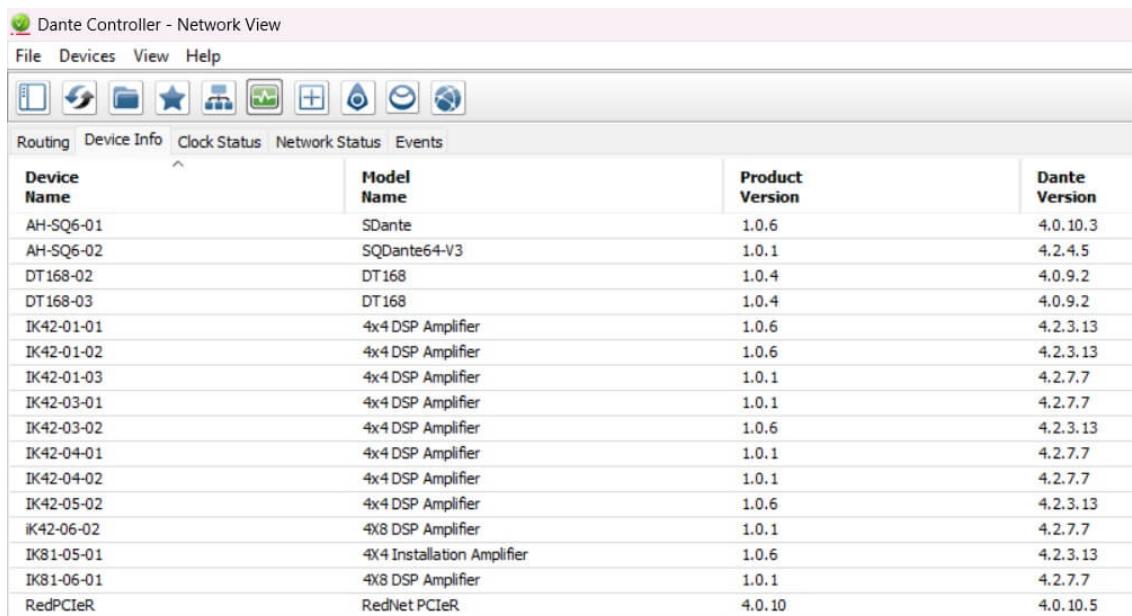
4.16. ábra. VU-NET Dante routing

Most, hogy a megfelelő alapbeállításokat elvégeztük, a rendszer készen áll arra, hogy zajjal, például Pink Noise-al teszteljük. Ezalatt a rendszer minden egyes komponensét külön-külön lehallgatjuk, és ellenőrizzük, hogy minden egyes hangszóró megfelelően működik-e. Ha rendellenességet észlelünk, akkor azonnal kikapcsoljuk a rendszert, és megnézzük, hogy mi okozza a problémát. Ha a probléma nem oldható meg, akkor a rendszert nem szabad tovább használni, és az adott komponenst cserélni kell. Ha minden rendben van, akkor a rendszer készen áll a további feladatokra, mivel még koránt sem értünk a végére a folyamatnak. A programba a mérési és optimalizálási folyamat közben még sok beállítást kell elvégezni, amelyekről a későbbiekben lesz szó.

4.2.2. Dante hálózat kialakítása és optimalizálása

4.2.2.1. Dante Controller

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 üzembiztoság és a kritikus hibák minimalizálása miatt. A másik lehetőség a „*switched*” pedig eszközök láncrendszerének kiépítését 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.



Device Name	Model Name	Product Version	Dante Version
AH-SQ6-01	SDante	1.0.6	4.0.10.3
AH-SQ6-02	SQDante64-V3	1.0.1	4.2.4.5
DT168-02	DT168	1.0.4	4.0.9.2
DT168-03	DT168	1.0.4	4.0.9.2
IK42-01-01	4x4 DSP Amplifier	1.0.6	4.2.3.13
IK42-01-02	4x4 DSP Amplifier	1.0.6	4.2.3.13
IK42-01-03	4x4 DSP Amplifier	1.0.1	4.2.7.7
IK42-03-01	4x4 DSP Amplifier	1.0.1	4.2.7.7
IK42-03-02	4x4 DSP Amplifier	1.0.6	4.2.3.13
IK42-04-01	4x4 DSP Amplifier	1.0.1	4.2.7.7
IK42-04-02	4x4 DSP Amplifier	1.0.1	4.2.7.7
IK42-05-02	4x4 DSP Amplifier	1.0.6	4.2.3.13
IK42-06-02	4X8 DSP Amplifier	1.0.1	4.2.7.7
IK81-05-01	4X4 Installation Amplifier	1.0.6	4.2.3.13
IK81-06-01	4X8 DSP Amplifier	1.0.1	4.2.7.7
RedPCleR	RedNet PCIeR	4.0.10	4.0.10.5

4.17. ábra. Dante hálózat állapot nézet

4.2.2.2. IP kiosztás

A rendszer képes automatikusan IP címeket osztani az egyes eszközöknek, ezzel meggyorsítva a munkafolyamatot. Viszont ez nem bizonyul jó megoldásnak. Egy fixen előre megtervezett rendszer praktikusabb és üzembiztosabb megoldás, ha minden eszköznek manuálisan mi adjuk meg 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

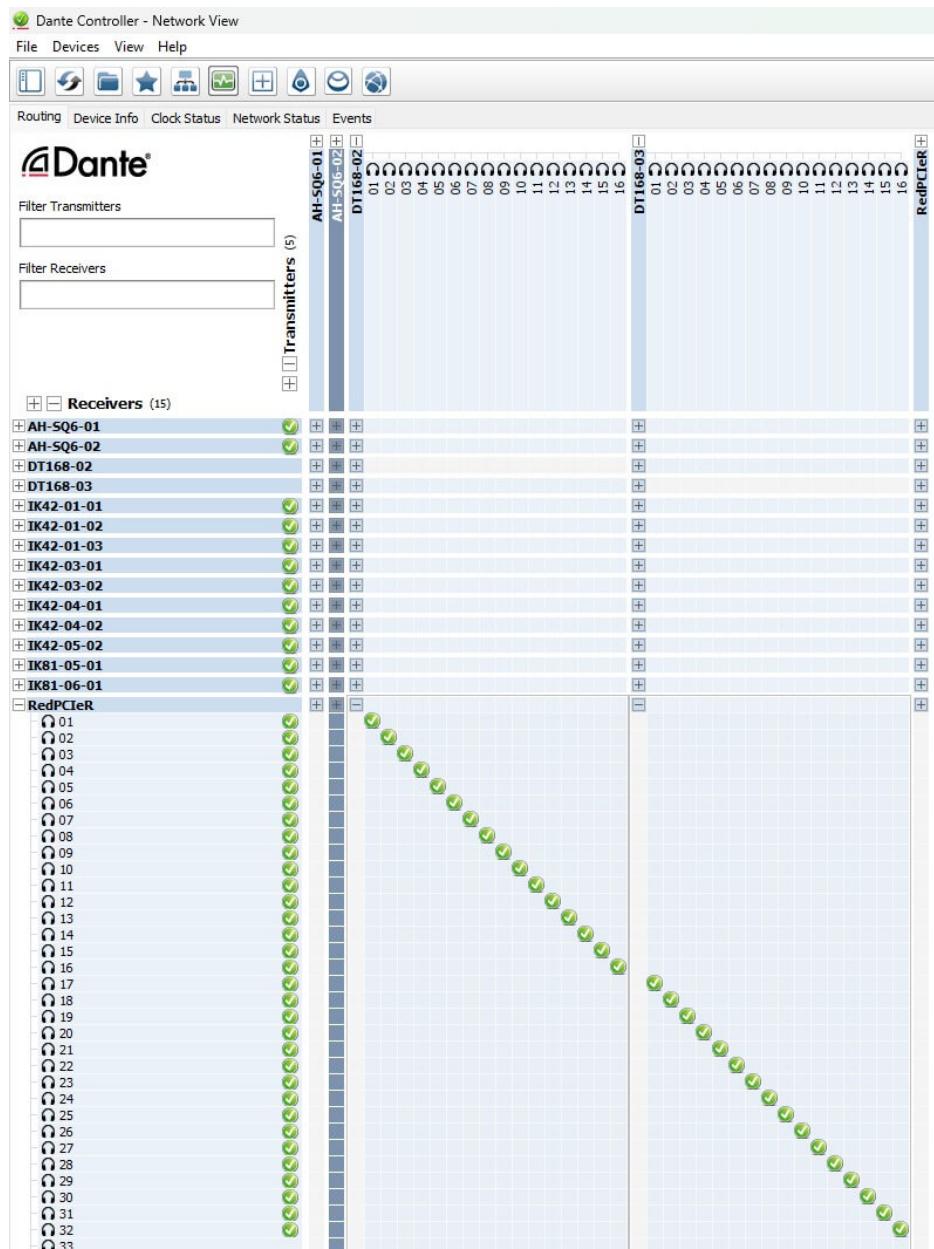
dolgozó összes munkatárs számára látható, aki a rendszerrel foglalkozik. Így amennyiben új eszköz kerül a hálózatra, vagy egy eszköz IP címét valamilyen okból meg kell változtatni, egyszerűen elérhető a szükséges naprakész információ. A kiosztás logikája a következőképpen néz ki: A Dante Primary hálózat a 192.168.1.X címeket használja, a Secondary hálózat pedig a 192.168.2.X címeket. A két hálózat között nincsen semmilyen kapcsolat, és egymástól teljesen függetlenek hardveresen és szoftveresen is. A Vu-Net vezérlés a 192.168.100.X címeket használja, és egy switchen keresztül üzemel a secondary hálózaton, viszont a két hálózat között nincsen átfedés, az előbbiekben már említett módon függetlenek egymástól. Az eszközök egyedi címei pedig az alábbi módon kerültek kiosztásra: Vegyük példának a 192.168.1.111-es címet, a 111-ben az első számjegy arra utal, hogy egy végfokról van szó, minden végfok 1XX címet kap. A második számjegy az eszköz rack száma, a harmadik pedig az eszköz sorszáma a rackben felülről lefelé. Tehát az előbbi cím a következőt jelenti számunkra: Az 1-es sorszámu végfokrackban lévő legfelső végfok. A keverőpultok a címezés elején 1-től indulva 20-ig kapnak címeket. A stageboxok 30-tól 50-ig kapnak címeket. Ezeken felül a háló legvégre vannak kiosztva a speciális eszközök melyek nem mindig vannak a rendszerben, de ha mégis akkor azoknak is megvan a saját címük. A háló 250-es címén helyezkedik el a Dante Audio szerver.

	Eszköz	Dante Elsőleges	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	-	-	-	Titkos információ	Titkos információ	-	-
SQ6_01	SQ6 (01)	192.168.1.10	192.168.2.10	255.255.255.0	-	-	-	Titkos információ	Titkos információ	-	-
SQ6_02	SQ6 (02)	192.168.1.20	192.168.2.20	255.255.255.0	-	-	-	Titkos információ	Titkos információ	-	-
QU-SB_01	QU-SB (01)	-	-	-	-	-	-	Titkos információ	Titkos 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 IK42 MID IK42 DOWN	192.168.1.111 192.168.1.112 192.168.1.113	192.168.2.111 192.168.2.112 192.168.2.113	255.255.255.0	192.168.100.111 192.168.100.112 192.168.100.113	PA_WP_01_P PA_WP_01_S	DHCP	Titkos információ	Titkos információ	192.168.100.1	192.168.100.10-49
PA WPC 03	IK42UP IK42DOWN	192.168.1.131 192.168.1.132	192.168.2.131 192.168.2.132	255.255.255.0	192.168.100.131 192.168.100.132	PA_WP_03_P PA_WP_03_S	DHCP	Titkos információ	Titkos információ	192.168.100.1	192.168.100.10-49
PA WPC 04	IK42UP IK42DOWN	192.168.1.141 192.168.1.142	192.168.2.141 192.168.2.142	255.255.255.0	192.168.100.141 192.168.100.142	PA_WP_04_P PA_WP_04_S	DHCP	Titkos információ	Titkos információ	192.168.100.1	192.168.100.10-49
PA WPC 05	IK81UP IK42DOWN	192.168.1.151 192.168.1.152	192.168.2.151 192.168.2.152	255.255.255.0	192.168.100.151 192.168.100.152	PA_WP_05_P PA_WP_05_S	DHCP	Titkos információ	Titkos információ	192.168.100.1	192.168.100.10-49
Audio Szerverek											
AMD_Prof	LiveProfessor	192.168.1.250	192.168.2.250	255.255.255.0	-	-	-	-	-	-	-

4.18. ábra. Dante eszközök IP címei a hálózaton

Ezen a felületen tudjuk a hálózaton összekapcsolni a különböző hang vevőket és adókat. Egy nagy rendszerben a konfigurálása rendkívül nagy odafigyelést és precíziót igényel, pontosan tudnunk kell mit, hogyan és miért kötünk össze. Amennyiben hibásan konfiguráljuk a hálózatot, rendellenességek léphetnek fel a hangrendszerben, amelyeket később nagyon nehéz és időigényes lehet kijavítani. Hibás konfiguráció esetén előfordulhat, hogy egyes kimenetek másolat, vagy egyáltalán nem érkeznek meg a végpontokhoz. Amint az alábbi képen látható, és a korábbiakban már említett 64x64-es kimeneti és be-menetű mátrix-al tudunk garázdálkodni. Mivel egy általam tervezett produkcióban minden

szükség van egy L-R, egy SUB, és egy mono mátrixra, ezért a hálózatot a végéről kezdem el szaturálni. A L a 61-es, a R a 62-es, a SUB a 63-as, a mono mátrix pedig a 64-es kimenetekre lesz kötve. Így az állandó kimenetek átláthatóan és logikusan lesznek elrendezve, és nem kell mindenkoruknak keresgálni, hogy melyik kimenet melyik eszközhöz tartozik. Mivel a jelenlegi rendszerben 2 darab DT 168-es stagebox található, ezért az 1-16 kimeneteket a két stageboxra kötöm, logikusan 1-8 a 02-es sorszámról és 8-16 a 03-as sorszámról. Ezek lesznek majd a fülmonitorok kimeneti pontjai, és a színpadon lévő zenészeknek fogják a jelet továbbítani. (A fülmonitorokat ezen a rendezvényen a zenészek saját maguk biztosították, és csak a jelet kellett továbbítani.) Ezzel az FOH keverőket sikeresen összekötöttük végfokokkal, és a monitor keverőket a fülmonitorokkal. Viszont még nem tudunk egyetlen egy bementet sem kezelni, mivel a keverők bemeneti mátrixa még üres. A rendszerbe integrált audioserver felelős a jelek elsődleges fogadásáról és továbbításáról. A DT168-as stageboxokba beérkező hangot először továbbítjuk az audioserverre, ahol aztán a szükséges feldolgozásokat elvégezve továbbítja a jelet az FOH keverő felé. A monitor keverőnek is szüksége van a jelekre, ezért a stageboxokból érkező jeleket szintén továbbítjuk de ebben az esetben direktben a monitor keverőbe, az audioserver közbeiktatása nélkül. Ez azért fontos mert az audioserver egy minimálisan késleltetett jelet továbbít, ami a monitor keverőnél nem kívánatos, mivel a zenészeknek a lehető legkevesebb késleltetésre van szükségük. Erről a későbbiekben a mérésekkel bővebben lesz szó. Így most már a 32 bemenetünket is tudjuk használni, és a rendszerünk készen áll a további konfigurációkra.



4.19. ábra. Hálózati mátrix - Audioserver patch

A következőkben meg kell adnunk az audio hálózatunk master órajelét. Ehhez az órajelhez szinkronizál a többi eszközünk a hálózaton. Az időszinkronizáció kulcsfontosságú élőzenei produkcióknál, a mi esetünkben a keverőpult lesz a master órajel, Ő fogja a hálózatot vezérelni. A felületen egyszerűen bepipáljuk a „*Preferred leader*” opción a keverőpult mellett, és a hálózat többi eszköze automatikusan ehhez az órajelhez szinkronizálódik. Az órajelen kívül a késleltetési értékeket is be kell állítanunk. A default érték minden eszköznél jelen esetben 1 ms, mivel ennél az értéknél a legtöbb eszköz képes probléma nélkül működni. Ez az érték azonban nem minden esetben optimális, ezért fontos, hogy minden eszköz késleltetését ellenőrizzük és beállítsuk. Amennyiben problémákat, zavaró pattanásokat vagy hangkimaradásokat tapasztalunk, akkor a késleltetési

értékeket növelni kell mindaddig, amíg a probléma nem szűnik meg. Fontos megjegyezni, hogy a késleltetési értékek növelésével egyre több és több időt vesz igénybe a jelek feldolgozása, előzenei produkcióknál ez kritikus. A mi esetünkben mivel az útválasztók is kifejezetten csak erre a célra vannak használva és semmiféle más adatforgalmat nem bonyolítanak, a 1 ms-os késleltetési érték csökkenthető is akár a felére is. Rövid kábelhosszak esetén egyes eszközök között akár 0.25 ms-os késleltetési értéket is beállíthatunk amennyiben hosszúávon nagy biztonsággal stabil a hálózat. Jelen esetben a stabil működés érdekében 1 ms-os késleltetési értéket tartottam meg.

4.2.2.3. Dante rendszer monitorozása

Miután végeztünk a hálózat konfigurációjával, a munkánk nem ér véget, hiszen a rendszer működését folyamatosan monitorozni kell. minden egyes eszköznél a „*Lantecy*” oldalon láthatjuk az aktuális és átlagos késleltetési értékeket.



4.20. ábra. DT 168 stagebox késleltetési értékeinek monitorozása

Amennyiben ez az érték a konfigurált késésnél alacsonyabb, akkor a rendszerünk stabilan működik. Ha azonban magasabb, vagy néha drasztikusan közel kerül ehhez az értékhez akkor azonnal cselekednünk kell, mivel azt kockáztatjuk, hogy a rendszerünk instabil lesz, és a produkción közben problémák léphetnek fel. Egy élő produkciónál a hangkimadás vagy kiszámíthatatlan pattanások megengedhetetlenek, és az egész rendezvényre rá nyomja a bélyegét. Miután az egyes eszközök értékeit ellenőriztük, átválthatunk egy átfogó hálózat nézetre, a „*Network Status*” fülre, ahol az összes eszköz késleltetési értékeit egyszerre láthatjuk. Ezen kívül még elérhető metrikák:

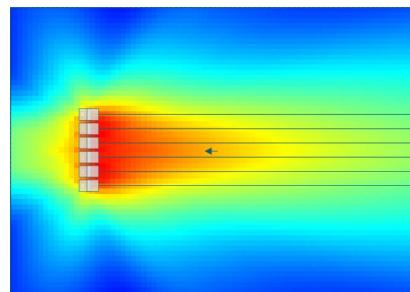
- Az elsődleges és másodlagos hálózaton haladó adatfolyam mennyisége és állapota
- Voltak-e csomagvesztések
- Egyes eszközök kapcsolásának állapota

4.2.3. 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. [7] Jelen esetben 12 darab ilyen láda fogja biztosítani a megfelelő mély tartományt a rendezvényen.



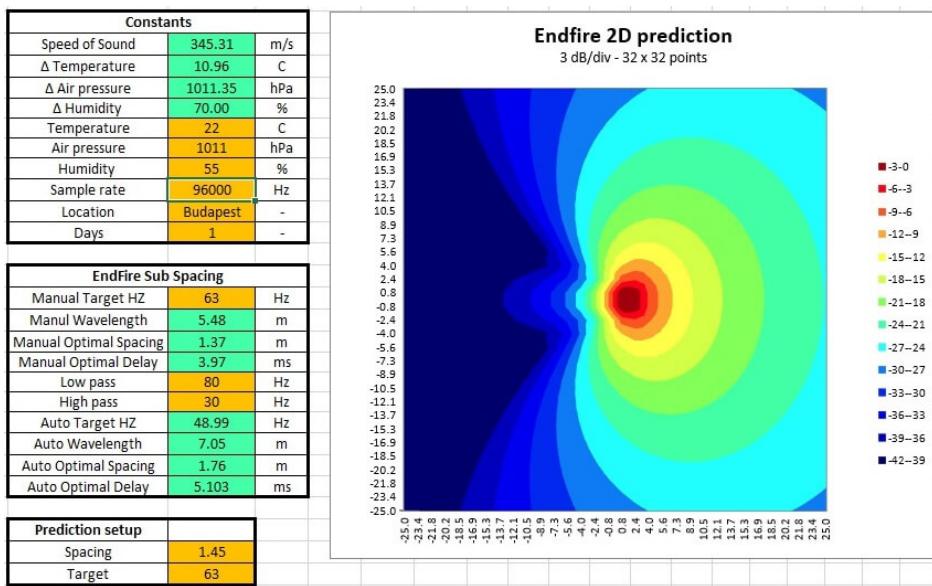
4.21. ábra. Martin Audio SX218



4.22. ábra. SX218 mélyláda rendszer

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. [16] [6] 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 éppen aktuális hőmérsékletet, páratartalmat, légnyomást, amiből kiszámolható a hangsebesség, ezáltal még tovább optimalizálható a rendszer, mivel nem egy előre átlagos fix értéket használunk, hanem az aktuális körülményekhez igazítjuk a rendszert. Amennyiben a helyszínen rendelkezünk mérőeszközökkel, melyek képesek pontosan mérni a hőmérsékletet, páratartalmat és légnyomást, akkor ezeket az értékeket is be tudjuk állítani a táblázatban. 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. A program pontosan kiszámolja számunkra a beállított paramétereknek megfelelően hogyan kell megépíteni, vagyis fizikailag elhelyezni a ládákat, valamint az összes időzítési értéket is megkapjuk mellé. A program hosszútávú használata során kiderült, hogy szinte század milliszekundum pontossággal megkapjuk a várt eredményt amit méréssel is el-

lenőriztünk, és a két eredmény között aligha volt eltérés. Ezzel a munkafolyamatunkat nagyban felgyorsítottuk, és a munkánk precizitását is megtartottuk.



4.23. ábra. EndFire hangleképezés predikció

4.2.4. Allen & Heath digitális keverőrendszer

A jelenlegi rendszer két keverőpultot fog tartalmazni, egyet a fő hangrendszerhez, és egyet a monitorrendszerhez. Mindkét keverőpult Allen & Heath SQ-6 típusú digitális keverőpult lesz. A pultok 96 kHz-es mintavételezési frekvenciával operálnak és 48 csatornát képesek maximálisan kezelni, melyek közül 24 csatornával rendelkezik fizikailag beépített mikrofon előerősítővel. A konzolokon található 16 programozható gomb, 25 fader melyek 6 rétegben helyezkednek el és a felhasználó személyre szabhatja őket a saját igényei szerint. Emellett 12 sztereó mix áll a rendelkezésünkre, melyeket szintén a felhasználó konfigurálhat saját igényei szerint. A sztereó mixek testreszabásával tudunk csoportokat is létrehozni. A konzolokon 8 sztereó effekt motort is megtalálunk, ezekbe a virtuális effekt processzorokba a pulton található ingyenes és fizetős pluginokat tudjuk betölteni. (amennyiben megvásároltuk a fizetős csomagokat, jelen rendszerben ezek nincsenek megvásárolva) További előnye a platformnak, hogy egy 32x32 csatornás USB audio interfésszel rendelkezik, így a számítógéphez csatlakoztatva egy nagy felbontású hangkártyaként is használhatjuk. [13]



4.24. ábra. Allen & Heath SQ-6 digitális keverőpult

Az I/O bővítőkártyák közül a rendszerben minden két pultban megtalálható egy darab SQ Dante kártya ami 64x64 csatorna kezelésére képes. Az A&H SQ szériás pultjai csak egy darab I/O bővítőkártyát tudnak kezelni, de léteznek olyan rendszerek mint például az Avantis és a dLive szériás pultok, amelyek több I/O bővítőkártyát is tudnak kezelni. Jelen esetben ez teljes mértékben felesleges, mivel a rendszerben kizárolag a Dante protokollra támaszkodunk.



4.25. ábra. A&H SQ Dante kártya



4.26. ábra. A&H DT168 Dante stagebox

4.2.5. Dante audio szerver

Ez a kiegészítő szerver egység lehetővé teszi bármilyen alacsony késleltetéssel dolgozó VST3 plugin használatát a rendszerben élő környezetben. Olyan komplex funkciionalitásokat is elérhetünk, amelyek a keverőpulton csak limitáltan, vagy egyáltalán nem elérhetők. Gondolva itt a dinamikus EQ használatára, különböző kompressziós technikákra (például Opto, Multiband Compressor). 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 rendkívül alacsony késleltetési értékek mellett is képes legyen késés nélkül a csatornák feldolgozására. Amennyiben nem si-

kerül 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.



4.27. ábra. Focusrite RedNet PCIe kártya

Szoftveres oldalról a gépen egy speciális Windows 11 rendszer került telepítésre. A neve *Ghost Spectre Windows 11 Superlite SE*, amely egy teljesítmény és tárhely optimalizált Windows 11 verzió. A szakdolgozat írásakor elérhető legfrissebb stabil verzióját használtam fel, ami a 23H2-es 22631.3593 verziószámú. A rendszerben csak a legsükségesebb alap szoftverek vannak telepítve, és a többi alkalmazás, amely nem szükséges a rendszer működéséhez, törölve lett. A lehető legkevesebb erőforrást használja, miközben egy stabil és megbízható munkakörnyezetet biztosít. A frissítések automatikusan letiltásra kerültek, hogy a rendszer ne legyen kitéve a Windows frissítések által okozott esetleges hibáknak, valamint a világhálóra való csatlakozás is letiltásra került. Kizárolag külső adathordozókról lehet adatokat átvinni a rendszerbe. A számunkra szükséges drivereket és programokat kizárolag így tudjuk telepíteni a rendszerbe. Mivel az FOH pult Dante patchet nézve nem csatlakozik direktben a stageboxokhoz, hanem az audioserveren keresztül, ezért a stageboxok előerősítőit az audioserveren keresztül tudjuk szabályozni. Erre a célra az Allen & Heath DT Preamp Control nevű szoftverét használjuk, amely a stageboxokat tudja szabályozni, valamint a stageboxok firmware frissítését is lehetővé teszi. minden egyes csatornára beállíthatjuk a kívánt Gain értéket, tudunk PAD-et kapcsolni, valamint a Phantom tápot is tudjuk be és kikapcsolni. (A PAD egy olyan kapcsoló, amely a 20 dB-es csillapítást kapcsol a bemeneten, ha a bemeneti jel túl erős lenne, és ezáltal elkerülhető a torzítás. A Phantom táp pedig a tápellátást igénylő mikrofonok számára szükséges 48V-ot biztosítja.)



4.28. ábra. DT 168 stagebox előerősítő szabályozó felülete

A DAW szoftverek közül a rendszerben az audioström által fejlesztett Live Professor szoftver található, amely egy VST host szoftver. Képes több VST plugin egyidejű futtatására, és a pluginokat a felhasználó igényei szerint rendszerezni, csoportosítani. Kifejezetten live használatra lett tervezve a kezdetektől fogva, ezáltal sok olyan funkciót tartalmaz, mi egy FOH mérnök számára könnyebbé teszi a használatot. Például a pluginokat láncokba tudjuk rendezni, és ezeket a láncokat egy gombnyomással be és kikapcsolni, automatizálni. MIDI vezérlésre is képes, így például a keverőpulttal egy USB kábelrel való összekötés után tudjuk vezérelni a szoftvertben lévő paramétereket a keverőpult soft gombjaival. (ezek személyre szabható gombok) Mielőtt azonban használnánk a programot, fontos a megfelelő beállítások elvégzése, hogy a rendszerünk stabilan működjön. Első és legfontosabb feladat az audio hardver és driver kiválasztása, valamint a megfelelő buffer méret beállítása a mintavételezési frekvenciával együtt. Jelen esetben ez a RedNet PCIe kártya lesz, és a buffer méret a lehető legkisebb, 32 minta lesz, ASIO driverrel, 96 kHz-es mintavételezési frekvenciával. Így mind a 128x128 csatorna márás rendelkezésünkre áll a használatra. A buffer méret azért lehet ennyire alacsony, mivel a számítógép hardveres erőforrásai ezt lehetővé teszik, és a rendszer képes a 32 minta buffer méretet stabilan tartani. A buffer méret csökkentésével a késleltetés is csökken, azonban a processzor terhelése is nő, ezért fontos a megfelelő hardveres erőforrások biztosítása. A szoftverben beállíthatjuk hány párhuzamos szálban történjenek a számítások, mivel a rendszerben lévő processzor 24 szálas, ezért a programot 24-re konfiguráljuk, így a processzor kihasználtsága optimális lesz. Valamint a Windows Scheduler Prioritását is a legmagasabbra állítjuk, ami a Realtime Prioritás, így a rendszer a lehető legnagyobb prioritással fogja kezelni a programot. Az alábbi képen látható egy minta plugin lánc, melyet egy vokál csatornát képvisel. A láncban található egy SSLG Channel Strip, egy Primary Source Expander,

egy CLA-76 Compressor, egy Waves Tune Real-Time és egy FabFilter Pro-Q3. Ezek a pluginok együttesen képesek egy vokál csatornát teljesen átalakítani, és a kívánt hangzást elérni. A felső sávban látható a Processing Time, ami azt mutatja, hogy a rendszer mennyi idő alatt képes a jelet feldolgozni. Mellette látható a már említett 32 minta buffer méret, és a 96 kHz-es mintavételezési frekvencia. Ami viszont számunkra a legfontosabb, a mellette lévő két kis téglalap. A Live Professor képes észlelni a hangkimaradásokat, és ezeket a téglalapot pirosra váltni, ha a rendszer nem képes a beállított buffer méretet stabilan tartani. (Elsőnek narancssárga figyelmeztetést kapunk, ha közel járunk a buffer méret határához.) Mivel jelen esetben a rendszer stabilan működik, a téglalapok zöld színűek, és a Processing Time is a beállított értéken belül van.

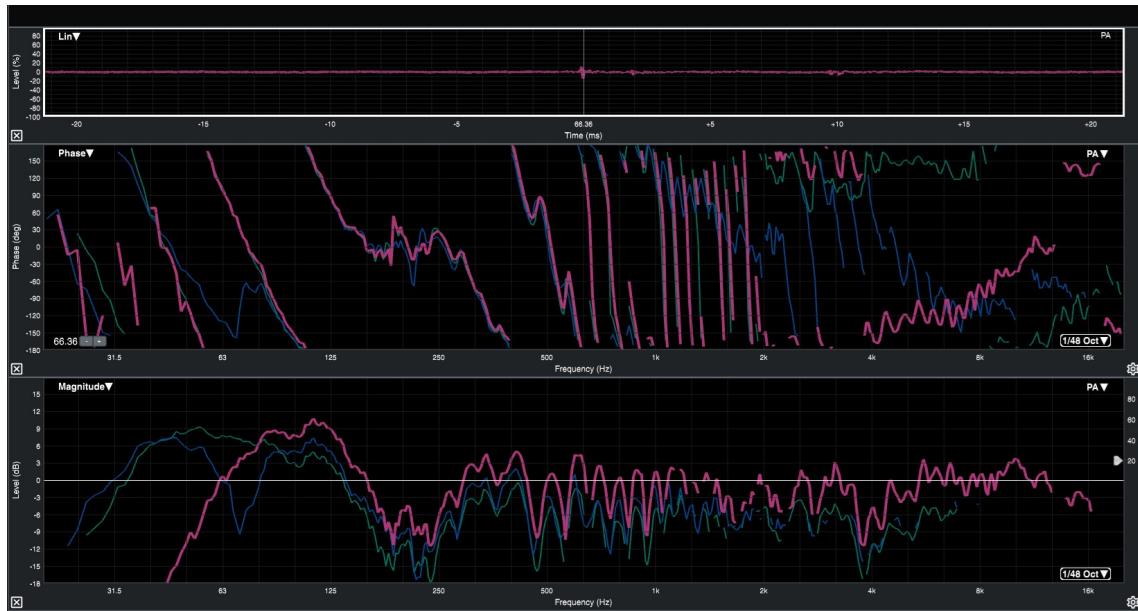


4.29. ábra. Waves és FabFilter Audio pluginok

4.2.6. A rendszer mérése

A rendszermérések elkészítésére a Rational Acoustics által fejlesztett Smaart nevű szoftvert fogom használni, mivel az iparágban ez a legelterjedtebb és legmegbízhatóbb szoftver a mérések pontos elvégzésére. A szoftver legújabb verzióját fogom használni, ami az írás pillanatában a 'Smaart Suite 9.4.1' verzió. Első lépésként a számítógéphez csatlakoztatott hangkártyát kell konfigurálni, hogy el tudjunk kezdeni méréseket végezni. Jelen esetben a hangkártya maga a keverőpult, aminek az USB interfésze egy 32x32-es kapcsolatra képes a számítógéppel. A mérőmikrofon egy Behringer ECM8000 típusú mérőmikrofon lesz, ami XLR csatlakozóval kapcsolódik a keverőhöz, a mikrofon tápellátását a keverőpult biztosítja 48V fantomtáppal. Annak érdekében, hogy a mérés működőképes legyen, a mikrofont a keverőpulton be kell szintezni, minden processzálást kikapcsolni. A mikrofon kimenetét utána Direct Out móddal el kell küldeni az USB interfészre, ahol a Smaart szoftver fogja tudni a jelet feldolgozni. Ezen kívül egy másik bemenetre is szükség lesz a keverőpulton, ahol a Smaart szoftver a referencia jelet fogja küldeni, ezt szintén Direct Out módban vissza kell küldeni a számítógépre. Tehát a példa kedvéért még egy-

szer: Local Input 1: Behringer ECM8000 mérőmikrofon, majd Direct Out Output USB 1-re. USB Input 1: Smaart szoftver referencia jele, majd Direct Out Output USB 2-re. Az első mérés amit végezni fogok a rendszeren a mélyláda rendszer mérése lesz. Az EndFire konfigurációban elhelyezett mélyláda rendszer mérése során a cél az, hogy maximalizáljuk a hangnyomást a közönség távolabbi részein is, miközben hátrafelé kioltást érünk el. Ezen felül fontos a rendszer nyitása is, ha túl keskeny sávban működik, akkor a középső területek hangnyomása túl magas lesz, a szélső területeken pedig túl alacsony. Tehát a feladat adott, hogy a rendszer a lehetőségekhez mérten egyenletes hangnyomást biztosítson a teljes területen. Fontos, hogy a mérési környezet a lehetőségekhez mérten minél csendesebb legyen, valamint ne legyenek olyan tárgyak a nézőtéren, amelyek a rendszer elő működése közben nem lesznek jelen és mérés közben a mért hangot visszaverik. Ezzel minimalizálhatjuk a hibákat és a mérések pontatlanságát, valamint a mérés reprezentatívabb lesz. Mivel a mélyláda rendszer és a Main PA fizikai elhelyezkedésük miatt (A Main PA riggel van, míg a mélyládák a földön helyezkednek el) egy adott távolságra vannak egymástól, fontos, hogy a két rendszer fázishelyes és időhelyes legyen. Amennyiben a rendszer fázishelytelen, a rendszer elemei egymás ellen dolgoznak, kioltást okozva, és ezzel csökkentve a hangnyomást. Ezenkívül hiába van fázisban a rendszer, fontos, hogy a két rendszer időben is helyes legyen. Előfordulhat, hogy fázisban vagyunk de 180 fokkal el vagyunk tolva az egyik irányba, így a mélyek vagy késnek vagy előbb érnek a hallgatóhoz ezzel rongálva a hangképet. Aggodalomra azonban nincs ok, mivel megfelelő szakértelemmel és a megfelelő mérési eszközökkel ezek a problémák orvosolhatóak, ezzel biztosítva a kiváló hangminőséget a rendezvényen. Az alábbiakban a mérési eredmények láthatóak. Fontos megjegyezni, hogy a mérési eredmények csak a mérés helyszínén érvényesek, és a mérési körülményektől függően változhatnak. Az ábrán a következőket láthatjuk különböző színekkel jelölve: - A kék szín a teljes rendszer viselkedése mérés nélkül. - A zöld szín a teljes rendszer viselkedése mérés után. - A magenta szín csak a main PA rendszer viselkedése.



4.30. ábra. SUB - TOP mérések

Az ábrán egyértelműen látható, hogy a rendszer mérése után a hangnyomás szintje jelentősen nőtt, a crossover frekvencia környékén 57-87 Hz között. A kék mérésnél egy óriási beesést láthatunk 70 Hz-nél, ami azt jelzi számunkra, hogy a rendszer nincs fázisban és időben. A korrekt időértékek beállítása után a zöld színű mérésnél egyértelműen látható, hogy a hangnyomás szintje jelentősen nőtt, és a 70 Hz-es beesés teljes mértékben eltűnt, sőt a hangnyomás szintje a crossover frekvencia környékén jelentősen nőtt. Ez azt jelzi számunkra, hogy a rendszer fázishelyes és időben is helyes már, készen áll a produkcíora. A frontfill mérését a Smaart-ba beépített delay finder segítségével fogom elvégezni. Elsőnek elhelyezzük a mérőmikrofont a megfelelő helyen, ahová a main PA és a frontfill rendszer hangja is érkezik. Ezután a delay finder segítségével elsőnek megmérjük a main PA rendszer hangját, majd ezek után a frontfill rendszert. A delay finder segítségével a két rendszer közötti késleltetési értéket automatikusan kiszámolja a szoftver, és megkapjuk mint idő delta értéket. Az alábbi képen látható, hogy a késleltetés delat értéke 15.41 ms, tehát a frontfill rendszert kell 15.41 ms-el késleltetni, hogy a két rendszer fázisban és időben is helyes legyen.



4.31. ábra. FrontFill - TOP mérések

4.2.7. A rendszer monitorozása

Az időzítési értékek megfelelő beállítása után a rendszer hangnyomásának monitorozása a fontos. A rendszer monitorozására a Smaart szoftverben található SPL monitor funkciót fogom használni. Ehhez szükséges egy kalibrált mikrofon, amelynek a kalibrációs értékeit a Smaart szoftverben be kell állítani. Ez általában egy 94 dB-es referencia hangnyomás szintet jelent 1 kHz-en, melyet egy mikrofon kalibrációs eszközzel tudunk elvégezni ami képes pontosan kiadni ezt a hangnyomás szintet. Így a mérési értékek pontosak lesznek, és a rendszer hangnyomás szintjét valósan tudjuk mérni. Többféle módszerrel lehet a hangnyomás szintet monitorozni, jelen esetben hármat választottam ki: - dB SPL C Slow => A frekvencia súlyozott hangnyomás szintet mutatja, a mikrofon érzékenységéhez igazítva. - dB SPL A Slow => A frekvencia súlyozott hangnyomás szintet mutatja, az emberi hallás érzékenységéhez igazítva. - dB Leq 1 => A hangnyomás szint átlagértékét mutatja 1 perces időtartamra.



4.32. ábra. SPL monitorozás a produkciók közben

5. fejezet

Üzemeltetési tapasztalatok és továbbfejlesztési lehetőségek

5.1. Üzemeltetési tapasztalatok és a végeredmény

Ahogy már a modellezés során a korábbiakban említettem, a budapesti Millenáris B csarnoka volt a referencia helyszín, ahol a rendszert élesben telepítettem egy rendezvény idejére. A képek magukért beszélnek, tökéletesen működött, a hangminőség kiváló volt, a hangnyomás szint pedig a tervezett értékeknek megfelelően alakult. A mélyláda részegység és a Main PA LineArray fázishelyes és időben is helyes volt, a frontfill kiengészítő késleltetése is megfelelően beállításra került, a teljes hangkép kiegyensúlyozott volt. A rendszer működése során nem voltak hibák, stabilan működött a teljes rendezvény alatt. Nem voltak csomagvesztések a hálózaton, egyetlen egyszer sem kellett a másodlagos redundáns hálózatra váltani probléma miatt. A szoftveres megoldások is kiválóan működtek, a számítógép stabilan futott a rendelkezésre álló hardveres erőforrásokkal. A mérések is pontosak voltak, minden egységét sikerült beállítani a megfelelő értékekre. A terem akusztikája alapvetően visszhangosnak mondható, mivel a teremben sok kemény felület található, beton, fém és üveg felületek, amelyek a hangot visszaverik. Ehhez még hozzá járul a rendkívül magas belmagasság is, ami szintén nem könnyítette meg a munkát. A tervezett rendszer azonban jól teljesített, a visszhangot sikerült minimalizálni, és a legutolsó sorban is tisztán és egyenletesen hallható volt. A fellépő zenekar és lemezlovas is meg volt elégedve, dicsértek nagy öröömre minden aspektusból. Végül a megrendelő teljes mértékben elégedett volt a szolgáltatással, ezáltal a projekt sikeresnek mondható. Összefoglalva minden komponens megfelelően végezte a rá bízott feladatot, és a rendszer stabilan kihagyás nélkül működött a teljes üzemiidő alatt.



5.1. ábra. A szakdolgozat szerzője a megépített WPC Line Array mögött emelés előtt

5.2. Továbbfejlesztési lehetőségek

5.2.1. További eszközök integrálása

A Dante networking keresztrendszer lehetővé teszi a rendszerünk folyamatos bővítését a hálózati limitációk megfelelő kezelésével. Bővítésekor figyelembe kell venni a még rendelkezésre álló, a sávszélességet és a késleltetés mértékét. Amennyiben tarjuk magunkat ezekhez a paraméterekhez, bővítése nem okozhat problémát, és megfelelő overhead mellett elméletileg a teljes hálózatot is szaturálhatjuk mindenféle probléma nélkül. A Martin Audio Wavefront sorozatú hangfalak skálázható felbontása lehetővé teszi, hogy bővítésekor a már meglévő hangrendszerünket több végfokkal hajtva tovább növeljük az egyenletes hangzást, a térbeli teljesítőképességet. Ez javítja a rendszer hangminőségét, frekvenciafelbontását és az adott területen való pontosabb hanglemezszámot. Ebből kifolyólag nagy fejlesztés lehet a jövőben az egy ládás felbontásra való kibővítés. Ez azt jelenti, hogy az összes Line Array egységet külön-külön végfok csatornával hajtjuk meg. További fejlesztés a rendszerben a LineArray hangfalak számának növelése megfelelő számú végfok egységgel, amely tovább növeli az összeteljesítményt és a maximálisan lefedhető területet.

5.2.1.1. Shure Axient Digital rendszer

A Shure Axient Digital vezeték nélküli mikrofon szett a szakma egyik legjobb vezeték nélküli mikrofonrendszerére. Kiváló hangminőséget, megbízhatóságot és rugalmasságot kínál, és a Dante hálózaton keresztül könnyen integrálható a már meglévő rendszerbe. A jelenlegi Shure ULXD vezeték nélküli mikrofonjaink is kiváló minőségűek, azonban sajnálatos módon csak 48 kHz-es mintavételezési frekvenciával rendelkezik, míg az Axient Digital rendszer 96 kHz-es mintavételezési frekvencián működik. Ezáltal a hangminőség jelentősen javulna a rendszerben, valamint így integrálhatóvá válna direkt módon a Dante hálózaton keresztül a keverőbe, így nem lenne szükség a hangot analóg jelekké alakítani, majd vissza. Ezáltal a hangminőség még kevésbé romlik. Mint az eddigi Dante eszközünket, ezt is a Dante Controller segítségével könnyen konfigurálhatjuk, akár egy fixen kijelölt csatornáartományban, amelyet a keverőpulton is könnyen beállíthatunk. Így mikor rendezvényre érkezünk, plug and play módon azonnal használhatjuk a mikrofonokat, nem kell a csatornákat újra összpárosítani. A Shure Wireless Workbench segítségével a mikrofonokat könnyen monitorozhatjuk, és a rendszer állapotát is ellenőrizhetjük távolról is. Ez a bővítés jelentős költségekkel jár, így a bővítés előtt alaposan mérlegelni kell, hogy valóban szükséges-e.



5.2. ábra. Shure Axient Digital vezeték nélküli mikrofon rendszer

5.2.1.2. Allen & Heath ME Personal Mixing System

Az Allen & Heath ME Personal Mixing System egy korszerű és kivételesen rugalmas megoldás az előadók számára, amely lehetővé teszi az egyéni monitorkeverést. Ez különösen fontos olyan helyzetekben, ahol a színpadon több zenész dolgozik együtt, és mindegyikük egyedi monitor igényekkel rendelkezik, ezek most már általában fülmonitorok. Az Allen & Heath ME rendszer három fő komponensből áll: a ME-U disztribúciós hubból, a ME-500 személyi keverőegységből, valamint a Dante hálózati kompatibilitást biztosító M-DANTE kártyából. A ME-U egy 10 portos disztribúciós hub, amely lehetővé teszi több ME-500 keverőegység egyszerű és gyors csatlakoztatását. A rendszer egyik kiemelkedő előnye, hogy minden csatlakoztatott eszköz egyetlen CAT5 Ethernet kábelben keresztül kapja a tápellátást és az audiojelet is, ami jelentősen egyszerűsíti a telepítést és az üzemeltetést. A ME-U támogatja a különböző digitális audió hálózati formátumokat, többek között a Dante protokollt is, amelyet az M-DANTE kártya biztosít. Az M-DANTE kártya lehetővé teszi, hogy a ME rendszer integrálódjon a Dante alapú hálózati audió rendszerekkel.



5.3. ábra. A&H ME-U disztribúciós hub



5.4. ábra. A&H M-DANTE kártya

5.2.1.3. Martin Audio WPL LineArray rendszer

Amennyiben egy sokkal nagyobb rendezvényről van szó, és a jelenlegi rendszerünk már nem tudná lefedni a területet, akkor egy nagyobb szériás LineArray beszerzése is szükséges lehet. A Martin Audio WPL sorozatú lánctalájai a jelenleg elérhető legnagyobb terméke a Wavefront Precision sorozatban. Ebben az esetben a fő rendszert a WPL képviselné és WPC lenne az in-out fill. A WPM szériás lánctalák pedig delayként szolgálnának a

terület hátsó részén. Viszont az említett teljes rendszerbővítésnek óriási költségei vannak, így bővítése előtt alaposan mérlegelni kell, megtérül-e a befektetés hosszabb távon.



5.5. ábra. Martin Audio WPL LineArray modul

5.2.2. Bővítés nagyobb interfészre és keverőpultra

Tegyük fel, hogy egy szimfonikus zenekar koncertjét szeretnénk hangosítani, ahol a zenekar tagjainak száma meghaladja a 64 főt és mindenki dedikált mikrofonnal rendelkezik. Ebben az esetben a 64x64-es Dante interfész már nem elegendő, mivel a zenekar tagjainak száma meghaladja a csatornaszámot. Ebben az esetben a rendszer bővítésére van szükség. Így az Allen & Heath SQ sorozatú keverőpultjai már nem elegendőek, mivel ezekbe a keverőkbe ez az interfész a maximális. Ebben az esetben egy nagyobb csatornaszámú keverőpultot kell választanunk, amelyek közül a az Avantis és a dLive sorozatú keverők jöhettek szóba. Ezek már kaphatóak 128x128-as Dante interfésszel is, így megnovelve a csatornaszámot. Azonban ezek a keverők jelentősen magasabb árkategóriába tartoznak, mint az SQ sorozatú keverők, így a bővítés költsége is nagyobb lesz. A keverőpultok fejlesztése mellett szükséges további stageboxokat is beszerezni az igényelt csatornaszám eléréséhez.



5.6. ábra. Allen & Heath dLive S7000 keverőpult

5.3. Összefoglalás

Jelenlegi munkám során megalkotott és optimalizált rendszerre alapozva, további tanulmányaim, legyen az egy mesterképzés vagy egy doktori kutatás keretein belül, célom nem csupán a rendszer továbbfejlesztése, hanem a témaban rejlő további lehetőségek feltárása, a technológia alkalmazhatóságának kiterjesztése, valamint az e téren szerzett tudományos ismeretek bővítése is, amelyek mind hozzájárulhatnak az audiorendszerek és az élő zenei produkciók új szintre emeléséhez.

Köszönnetnyilvánítás

Szeretném őszinte hálámat és köszönetemet kifejezni belső konzulensemnek, Paál Dávidnak, aki a szakdolgozat megírásában nyújtott felbecsülhetetlen segítségével, szakértelmével és támogatásával végigkísért. Külső konzulensemnek, Tamás Dávidnak szintén mély hálával tartozom az általa munkámra szánt számos óráért, amelyeket gondos átnézésre, hasznos visszajelzések adására fordított, és hálás vagyok türelméért, valamint megértéséért. Valamint megtiszteltetés volt számomra, hogy ez a hangrendszer a szakdolgozatom keretein belül valósulhatott meg.

Ezúton szeretnék külön köszönetet mondani Prof. Dr. Wersényi Györgynek a hangtechnikával kapcsolatos értékes megjegyzéseiért és segítségéért, amelyek jelentősen hozzájárultak a dolgozatom szakmai minőségéhez.

Köszönetet szeretnék mondani a TéDÉ Rendezvényeknél dolgozó kollégáimnak is, akik minden ötletemet, legyen az bármilyen különleges, támogatták, és segítettek azok megvalósításában. A közös munka eredménye önmagáért beszél a sok pozitív visszajelzés és sikeres rendezvény után. Szintén köszönettel tartozom a BG Event Kft. munkatársainak, mivel a szakdolgozatban feldolgozott hangrendszer a cég által biztosított rendezvényen valósulhatott meg.

A csapattal végzett munkából szerzett tapasztalatok és élmények értékes betekintést nyújtottak a mérnöki szakma gyakorlati oldalába. Rávilágítottak arra, hogy a valóságban gyakran másképp alakulnak a dolgok, mint ahogy azt a tervezés során elképzeljük. Megtanultam alkalmazkodni, gyorsan reagálni a változásokra és kihívásokra, valamint nagy hangsúlyt fektetni a csapatmunkára. Emellett lehetőséget kaptam arra is, hogy szakdolgozatomhoz releváns adatokat gyűjtsek és felhasználjak, továbbá a sok raktári workshop nélkül a dolgozat nem jöhetett volna létre. Támogatásuk és bátorításuk a projekt minden szakaszában rendkívül értékes volt.

Végezetül, de nem kevésbé fontos módon, szeretném megköszönni minden barátomnak és családtagnak a szakdolgozatom elkészítése során nyújtott állandó támogatásukat és bátorításukat. Értékes meglátásaik és építő jellegű visszajelzései kulcsszerepet játszottak a szakdolgozat sikerében. Hálás vagyok az irántam tanúsított kitartó támogatásukért és biztatásukért ezen az úton.

Ábrák jegyzéke

2.1.	Pulse Code Modulation (PCM) folyamat [14]	5
2.2.	A-, C- és Z-súlyozás [11]	8
2.3.	Pontsugárzó rendszer	9
2.4.	Line Array rendszer	9
2.5.	DSP-vezérelt Line Array [1]	10
3.1.	Audinate Dante logó	13
3.2.	A kapcsolati eltolás meghatározza a késleltetést [1]	15
3.3.	Host A	20
3.4.	Host B	20
3.5.	Host C	20
3.6.	TCP és UDP összehasonlítás [15]	23
3.7.	Az Audinate logója	27
3.8.	Kapcsolt mód	30
3.9.	Redundáns mód	30
3.10.	Digital Snake és Pont-pont közötti (P2P) kapcsolatok	32
3.11.	Dante hálózati megoldás	32
4.1.	Martin Audio iK42 végfok	35
4.2.	Martin Audio iK81 végfok	35
4.3.	E-mail a Martin Audio szoftvermérnökétől	38
4.4.	Martin Audio WPC LineArray modul	39
4.5.	Display 2.3.4 b1 kezdőképernyője (WPC)	39
4.6.	Display 2.3.4 b1 fő kezelőfelülete (WPC)	39
4.7.	Display 2.3.4 b1 „Slice” kezelőfelülete (WPC)	40
4.8.	Display 2.3.4 b1 „Cover” kezelőfelülete (WPC)	42
4.9.	Display 2.3.4 b1 „Splay” kezelőfelülete (WPC)	43
4.10.	Display 2.3.4 b1 „Rig” kezelőfelülete (WPC)	44
4.11.	Display 2.3.4 b1 „EQ” kezelőfelülete (WPC)	45
4.12.	Display 2.3.4 b1 exportáló kezelőfelülete (WPC)	46
4.13.	Martin Audio WPM LineArray modul	46
4.14.	Display 2.3.4 b1 „Splay” kezelőfelülete (WPM)	47

4.15. VU-NET rendszer áttekintő diagram	48
4.16. VU-NET Dante routing	49
4.17. Dante hálózat állapot nézet	50
4.18. Dante eszközök IP címei a hálózaton	51
4.19. Hálózati mátrix - Audioserver patch	53
4.20. DT 168 stagebox késleltetési értékeinek monitorozása	54
4.21. Martin Audio SX218	55
4.22. SX218 mélyláda rendszer	55
4.23. EndFire hangleképezés predikció	56
4.24. Allen & Heath SQ-6 digitális keverőpult	57
4.25. A&H SQ Dante kártya	57
4.26. A&H DT168 Dante stagebox	57
4.27. Focusrite RedNet PCIe kártya	58
4.28. DT 168 stagebox előerősítő szabályozó felülete	59
4.29. Waves és FabFilter Audio pluginok	60
4.30. SUB - TOP mérések	62
4.31. FrontFill - TOP mérések	63
4.32. SPL monitorozás a produkciók közben	63
 5.1. A szakdolgozat szerzője a megépített WPC Line Array mögött emelés előtt	65
5.2. Shure Axient Digital vezeték nélküli mikrofon rendszer	67
5.3. A&H ME-U disztribúciós hub	67
5.4. A&H M-DANTE kártya	67
5.5. Martin Audio WPL LineArray modul	68
5.6. Allen & Heath dLive S7000 keverőpult	68

Táblázatok jegyzéke

3.1. 32 bites és 24 bites hangminták	29
3.2. 24 bites hangból 32 bites hang	29
3.3. Digital Snake és DigitalAVNetwork Jelút opciók	31

Irodalomjegyzék

- [1] Wolfgang Ahnert – Dirk Noy (szerk.): *Sound Reinforcement for Audio Engineers*. Abingdon, Oxon and New York, NY, 2023, Routledge, 12–842. p. ISBN 978-1-032-11518-4 (hbk).
- [2] Pető Andrea: Kétcsatornás tömörített és tömörítetlen digitális hangjelek minőségi vizsgálata. URL <http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/PAND.pdf>. Megnyitva: 2024.11.11.
- [3] Audinate: Audinate history. URL <https://www.audinate.com/company/history>. Megnyitva: 2024.09.11.
- [4] Martin Audio: *Display v2.3 USER GUIDE v1.5*.
URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/Display-2.3-User-Guide-v1.5.pdf>. Megnyitva: 2024.01.04.
- [5] Martin Audio: *iKON Amplifier User Guide*.
URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/iKON-Amplifier-User%20Guide.pdf>. Megnyitva: 2024.01.04.
- [6] Martin Audio: Subwoofer calculator. URL <https://martin-audio.com/support/subwoofer-calculator>. Megnyitva: 2024.01.08.
- [7] Martin Audio: *SX Subwoofer User Guide*. URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/SX-Subwoofer-User-Guide.pdf>. Megnyitva: 2024.01.04.
- [8] 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>. Megnyitva: 2024.01.04.
- [9] Martin Audio: *WPC User Guide*.
URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/WPC-User-Guide.pdf>. Megnyitva: 2024.01.04.

- [10] Martin Audio: *WPM User Guide*.
URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/WPM-User-Guide.pdf>. Megnyitva: 2024.01.04.
- [11] NTI Audio: db weights. URL <https://www.nti-audio.com/Portals/0/pic/en/Sound-Pressure-Level-Frequency-Weightings.jpg>. Megnyitva: 2024.09.16.
- [12] Geers: Hangerő és decibel. URL <https://www.geers.hu/blog/hallasvedelem/hangero-es-decibel/>. Megnyitva: 2024.11.11.
- [13] Allen & Heath: Sq series. URL <https://www.allen-heath.com/hardware/sq>. Megnyitva: 2024.01.08.
- [14] Shah Nurun Nabi: Pulse code modulation (pcm). URL <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=k7L52z-IQmQ>. Megnyitva: 2024.09.16.
- [15] Trueconf: Tcp and udp.
URL <https://trueconf.com/blog/wp-content/uploads/2022/01/packet-formats-1-690x294.png>. Megnyitva: 2024.09.17.
- [16] Merlijn van Veen: Calculators. URL <https://www.merlijnvanveen.nl/en/calculators>. Megnyitva: 2024.01.08.