

Széchenyi István Egyetem
Gépészszmérnöki, Informatikai és Villamosmérnöki Kar
Informatika Tanszék

SZAKDOLGOZAT

Székely Dániel

Mérnökinformatikus BSc

2024

SZAKDOLGOZAT

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

Székely Dániel

Mérnökinformatikus BSc

2024

FELADATKIÍRÁS

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

Nyilatkozat

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

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

Győr, 2024. április 20.

Székely Dániel
hallgató

Kivonat

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

Abstract

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

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

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	2
1.1. A kezdetek	2
1.1.1. Téma választás	2
2. Hangtechnikai alapok	4
2.1. Mikrofon típusok	4
2.1.1. Dinamikus mikrofon	4
2.1.2. Kondenzátor mikrofon	5
2.2. ADC és DAC konverterek - mintavételezés	5
2.3. Pontsugárzó hangforrás	5
2.4. LineArray hangforrás	5
3. Audio over IP rendszerek bemutatása	6
3.1. Bevezetés az Audio over IP világába	6
3.1.1. Előnyök és hátrányok	7
3.1.2. Fázishelyesség	8
3.1.3. Szinkronizáció	9
3.1.3.1. Jitter kompenzáció	10
3.1.3.2. Késleltetés mérése	10
3.1.4. Mintavételi frekvencia és bitmélység	11
3.1.5. Késleltetés	12
3.1.6. IP címek és maszkok	12
3.2. IP-cím hozzárendelési módszerek	12
3.2.1. Hálózati topológiák	15
3.2.2. Unicast és Multicast	15
3.2.3. Eszköz- és Adatfolyam-felfedezés	16
3.2.4. Redundancia	17
3.2.4.1. Spanning Tree Protocol (STP)	17
3.2.4.2. Link Aggregáció	17
3.2.4.3. Adatfolyam redundancia	17
3.3. AES67	18
3.4. Audinate Dante	18
3.4.1. A Dante hálózatok áttekintése	18
3.4.2. Dante hálózatok technikai részletei	19
3.4.2.1. Több mintavételi ráta és bitmélység	19
3.4.2.2. Hálózati topológiák	20
3.4.2.3. Késleltetés	20
3.4.2.4. Órajel	21
3.4.3. Összehasonlítás a hagyományos hangrendszerrel	21
3.4.4. Firmware frissítés	22
3.4.5. Chipek	23

4. Rendszertervezés és telepítés elő környezetben	24
4.1. Követelmények	24
4.2. Rendszerterv	24
4.2.1. Martin Audio Wavefront Precision hangrendszer	26
4.2.1.1. Martin Audio Display 2.3.4 b1 tervező szoftver [3]	26
4.2.1.2. Martin Audio VU-NET rendszer szoftver [7]	35
4.2.1.3. Mélyláda rendszer	35
4.2.2. Allen & Heath digitális keverőrendszer	36
4.2.3. Shure ULXD digitális vezeték nélküli mikrofonrendszer	37
4.2.4. Dante audio szerver	37
4.2.5. Dante hálózat kialakítása és optimalizálása	38
4.2.5.1. Dante Controller: Hálózati mátrix	38
4.2.5.2. Dante Controller: Eszköz nézet	38
4.2.5.3. IP kiosztás	38
4.2.5.4. Dante Controller: Órajel nézet	39
4.3. Rendszermérések és monitorozás	39
4.3.1. Dante rendszer monitorozása	39
4.3.1.1. Dante Controller: Hálózati állapot nézet	39
4.3.1.2. Dante Controller: Események nézet	39
4.3.2. Cardioid mélyláda rendszer mérése	39
4.3.3. Mélyláda és Line Array fázishelyesség	39
4.3.4. Rendszer hangnyomás szint és frekvencia átvitel mérése	39
5. Üzemeltetési tapasztalatok és továbbfejlesztési lehetőségek	40
5.1. Üzemeltetési tapasztalatok	40
5.2. Továbbfejlesztési lehetőségek	40
5.2.1. További eszközök integrálása	40
5.2.2. Bővítés nagyobb interfészre	41
Köszönetnyilvánítás	43
Ábrák jegyzéke	44
Táblázatok jegyzéke	45
Irodalomjegyzék	45
Függelék	47

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, mivel azelőtt csak egyszerű csengők voltak felszerelve az épületben. Szükség volt hangsugárzókra, erősítőkre, mikrofonokra, és egyéb kiegészítőkre. A rádió működtetése is az én feladatom lett két másik barátommal együtt, az iskolával kapcsolatos híreket és információkat mondtuk be rövid szünetekben, a hosszabb szünetekben pedig zenéket játszottunk. Mindeközben zeneiskolába is beiratkoztam, ahol ütőhangszeresként tanultam egészen egyetemi tanulmányaim kezdetéig. A több mint tíz év alatt, sok új ismeretet és tapasztalatot szereztem, amit a későbbiekben mint zenész 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 kezdtem el komolyabban foglalkozni a hangtechnika világával komolyabb szinten. A fizika tanárommal ugyanis korábban nem csak a sulirádiót működtettük, hanem az összes sulibulit és rendezvényt a faluban mi szolgáltuk ki technikailag. Ezért mivel már középiskolába jártam, a későbbiekben egy feltörekvő fiatalos és modern gondolkodású magánvállalkozáshoz ajánlott be engem, mivel a fiatal és motivált munkaerőt kerestek. (TéDÉ Rendezvények) Már az első munkalehetőségnél éreztem, hogy ez egy nagyon jó lehetőség számomra, mindenkihez szeretnék ebben a szakmában dolgozni. A cég fő profilja a hangrendszerek kiépítése és üzemeltetése volt, de későbbiekben már a fénytechnikával és színpadtechnikával is el kezdtünk foglalkozni. Ettől kezdve kezdtem el aktívan dolgozni a rendezvényiparban a hangrendszerek világában. Az évek során egyre több tapasztalatot szereztem. Évente több mint száz rendezvényen tudtam folyamatosan fejlődni, rutint és ismeretséget szerezni a szakmában.

1.1.1. Téma választás

A hangrendszerek világa az elmúlt években nagy változáson ment keresztül. A digitális technika térhódítása a hangtechnikában is megjelent, és egyre több fajta megoldás jelent meg a piacon. A digitális fejlesztésekben mi sem szerettünk volna kimagadni, hogy hangtechnikai apparátusunk korszerű és versenyképes maradjon. Ekkor jött a fejlesztési ötlet, egy olyan rendszert tervezni, amely teljes mértékben digitális alapokra helyezi a je-

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

2. fejezet

Hangtechnikai alapok

Annak érdekében, hogy a későbbi fejezetekben a hangtechnikai rendszerek működését és tervezését megérthessük, először szükséges a hangtechnikai alapok ismerete. Ez a fejezet a későbbi fejezetekben használt alapfogalmakat definiálja röviden és tömören.

2.1. Mikrofon típusok

A mikrofon egy eszköz, amely az akusztikus energia hangterét elektromos energiává alakítja át. Az eszköz érzékelheti a hangnyomást vagy a hangnyomás gradiensét, amely arányos a hangsebességgel (mindkettő kombinációja a hangintenzitásnak). Négy különböző átalakítótípus létezik, amelyeket reciprok transzducerekként használhatunk mikrofonokhoz (valamint hangszórókhoz):

- Kapacitív transzducer
- Piezoelektronos transzducer
- Dinamikus transzducer
- Mágneses transzducer

Az említett összes transzducer lehetővé teszi a mechanikai rezgések elektromos rezgésekké történő átalakítását, miközben különböző elveket követnek. Az első kettő esetében az elektromos mező változása van használatban, míg az utolsó kettő esetében egy vezetőben keletkező áram indukciója a mágneses térben történő vezetékmozgás révén, vagy a mágneses fluxus változása egy tekercsen. Elsősorban a négy említett transzducer közül kettőt a kapacitív és a dinamikus transzducert használjuk gyakorlati jelentőséggel a rendezvénytechnikában.

2.1.1. Dinamikus mikrofon

A dinamikus mikrofonok a legelterjedtebb mikrofonok a hangtechnikában. A hangnyomás mechanikai rezgéseiit alakítják elektromos jelekké, elve, hogy egy membrán mely egy tekercsre van rögzítve, és ez mágneses mezőben mozog. A membrán rezgése a tekercsben elektromos feszültséget indukál, amely a hangjelet reprezentálja. Nagyon strapabíróak és megbízhatóak, széles körben használják őket élő hangosításban és stúdiótechnikában. Hártyára a kisebb frekvenciaátvitel és a nagyobb torzítás.

2.1.2. Kondenzátor mikrofon

A kondenzátor mikrofonok a nagyobb frekvenciaátvitellel rendelkező mikrofonok, és a nagyobb dinamikatartományt is képesek lefedni. A hangnyomás a membrán rezgései egy kondenzátorban változó kapacitásként alakítja át, amelynek egyik eleme a membrán, a másik pedig egy fix elektromosan töltött lemez. A membrán rezgései a kapacitás változását okozzák, amely a hangjelet reprezentálja. A kondenzátor mikrofonok nagyon érzékenyek, és nagyon jó hangminőséget biztosítanak. Azonban a kondenzátor mikrofonoknak van néhány hátránya is, például az áramellátás szükségessége, a magasabb ár és a nagyobb méretek.

2.2. ADC és DAC konverterek - mintavételezés

A mintavételezés olyan folyamat, amely során egy analóg hangjelet 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 fájlméretet is eredményez.

Az ADC (Analog-to-Digital Converter) konverter az analóg hangjelet digitális jelkékké alakítja át, míg a DAC (Digital-to-Analog Converter) konverter a digitális jeleket visszaalakítja analóg hangjelekké. A professzionális ADC és DAC konverterek fontosak a hangminőség szempontjából, mivel ezek nagyban határozzák meg a hang minőségét.

2.3. Pontsugárzó hangforrás

A pontsugárzó hangforrások azok a hangfalak, amelyeket olyan módon modelleznek, mint ha a hang egyetlen pontból származna, és a hangnyomás arányosan csökken a távolsággal. Ez a modell elsősorban olyan hangfalak esetében alkalmazható, amelyek önállóan működnek, például hangfalak dobozokban vagy mennyezetbe szerelve. Ezt a modellt főként olyan helyeken használják, ahol könnyen kell elérni a hangerősítést, például előadótermekben vagy kis koncerttermekben. Amikor több hangforrás kombinálódik, például kétutas hangfalrendszerben, a transzducerek közötti kombináció bonyolultabb irányítottságot eredményez a fizikai távolság és a szűrőhálózat kölcsönhatása miatt. Ennek eredményéért az irányítottság frekvenciától függően változik, ami kihívást jelent a hangrendszer tervezése során.

2.4. LineArray hangforrás

A LineArray hangforrások olyan hangfalrendszer, amelyekben több hangdoboz egymás fölött van elrendezve, hogy egy közös lineáris hangforrást alkossanak. Ezt a technikát használják nagyobb hangosítási telepítéseknel, mivel egyetlen hangfal nem elegendő a szükséges hangteljesítmény eléréséhez és a közönségterület lefedéséhez. Ezeket a rendszereket DSP-kkel finomhangolják az egyes hangdobozok válaszának beállításához, lehetővé téve például a függőleges irányítottság változtatását. Ez segít a hangot pontosan irányítani a közönség felé anélkül, hogy túlzottan felkavarná a termet. A DSP-vezérelt hangszórórendszer tervezése számítógépes eszközöket igényel, amelyek lehetővé teszik a hangszórók viselkedésének részletes szimulációját a teremmel összefüggésben, és optimalizálják a haneloszlást a kívánt irányban.

3. fejezet

Audio over IP rendszerek bemutatása

3.1. Bevezetés az Audio over IP világába

A 90-es évek vége óta a szakmai hangipar elmozdult a pont-pont digitális átviteli formátumoktól (például AES/EBU vagy MADI) az IP-alapú szabványok felé (például AES67). Ez a csomag alapú hálózati megoldás hatalmas rugalmasságot hozott, valamint kibővíttető vezérlési és monitorozási képességeket biztosít hangrendszer számára. Lehetőséget teremt arra, hogy egy fizikailag már meglévő telepítés későbbi szoftverkonfigurációval és frissítésekkel alkalmazkodóvá és bővíthetővé váljon. A gyártó különböző esetekben akár teljesen új funkciókkal is kiegészítheti a már meglévő eszközöket. A jelutak az IP alapú megközelítés miatt már nem kötődnek 1:1 fizikai kábelekhez, 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 az IT hálózaton keresztül. A Cirrus Logic által 1996-ban bevezetett CobraNetet általában az első sikeres audio-over-ethernet hálózat-implementációnak tekintik, és számos audio telepítés alapját képezi. Ezek közé tartoznak különböző kongresszusi központok, színházak, koncerttermek, repülőterek és vidámparkok. Bár ma is sok CobraNet telepítés létezik, magas késleltetési problémák és korlátozott méréthatékonyúság miatt nem ideális élő hang, stúdiófelvételek és rádió létesítmények számára. A mintegy tíz évvel később megjelent egy ausztrál cég az Audinate, és az általuk kifejlesztett Dante a Digital Audio Network Through Ethernet'. Dante több jelentős előnyvel rendelkezik az első generációs audio-over-IP technológiákhoz viszonyítva. Ezek közé értve a jobb használhatóságot és magasabb kompatibilitást a szabványos hálózati infrastruktúrával. A Dante egy hatalmas hardveres ökoszisztemából profitál, több száz gyártó által gyártott ezernél is több eszközzel. Mielőtt a Dante elérte volna jelenlegi domináns pozíóját, nagy várakozás volt egy AVB (Audio Video Bridging) nevű technológia körül. Más iparágak, például az autóipar és az ipari automatizálás, átvették az AVB-t, és általánosabb nevet adtak neki, mivel az már nem csak hang és videóalkalmazásokhoz kapcsolódik. Az AVB-t a gyártók fejlesztőcsoportja, az AVnu Alliance időrézékeny hálózat (TSN) néven nevezte el. Később a Milan munkacsoport, 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. Ez nem a TSN alapján történt, mivel a TSN-hez speciális IT hardver szükséges az audio követelmények kezeléséhez, és csak korlátozott számú kapcsolómodell támogatja a TSN-t. Az átmenet az IP hálózatokra összehasonlítható az analóg hangról a digitális hangra való átmenet-

tel. 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 nincs kialakítva szigorú időzítési követelmények teljesítésére, amelyek általában az audio esetében jellemzőek. Egy hálózati környezetben az adatcsomagok útját más csomagok is akadályozhatják, ami jelentős időbeli változást eredményezhet az érkezési időben. A hagyományos audio kábelek esetében az adatok továbbításának időzítése nem változott meg a kábel által. Másodszor, egy csomag elvesztése elfogadhatónak tűnhet és tűnik a szokásos IT alkalmazások esetében, mivel azok automatikusan újraküldésre kerülnek, ha elvesznek. Az audio alkalmazások esetében a késleltetés minimalizálása érdekében létfontosságú, hogy a csomagok az első alkalommal a korrekt helyre érkezzenek meg, mivel egyáltalán nincs elegendő idő az újraküldéshez. Ha néhány csomag elveszik, az azonnal hallható megszakításokat és kimaradásokat okoz. A csomagvesztés gyakori oka a linkek túlterhelése, vagy a túl alacsony pufferméret. Az audióhálózatokat oly módon kell kialakítani, hogy elegendő sávszélesség álljon rendelkezésre minden felhasználójuk számára. Ha ez teljesül, és a csomagkiszállítás időben történik, ahogyan az audio alkalmazások igénylik, akkor a hálózatunk már elméletileg képes stabilan működni. Érdemes túlbiztosítani a hálózatot oly mértékben, hogy minden csomag időben megérkezzen, anélkül, hogy további finomításra lenne szükség a kapcsolók konfigurációjában. Konkrétan ez azt jelenti, hogy olyan IT hálózatokat kell építeni elegendő sávszélességgel, és kizárálag az audio alkalmazások számára kell használni, tehát ne keveredjenek általános minden napirendi alkalmazásokkal. A legtöbb audio-over-IP technológia abból indul ki, hogy az alapul szolgáló hálózat megfelelően fog működni. Gondolva itt arra, hogy nincsen csomagvesztés, nincs súlyos ütközés más csomagokkal a kapcsoló hardveren. Néhány hálózatban, különösen ha az audio és más forgalmat keverik, fontos lehet az audio és szinkronizációs csomagoknak elsőbbséget biztosítani másokkal szemben, például az internethoz kötött szolgáltatókkal.

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 a hangkapcsolatok hozzáadásához vagy módosításához anélkül, hogy a kábeleket cserélnénk.
- Az IT viszonylag alacsony áron széles skálájú funkciót kínál.

- Az alkalmazkodás és integráció az IT hálózati infrastruktúrába specifikus audio vagy videokábelek alkalmazása nélkül.
- Videójel és vezérlési adatok továbbíthatók ugyanazon infrastruktúrán keresztül.

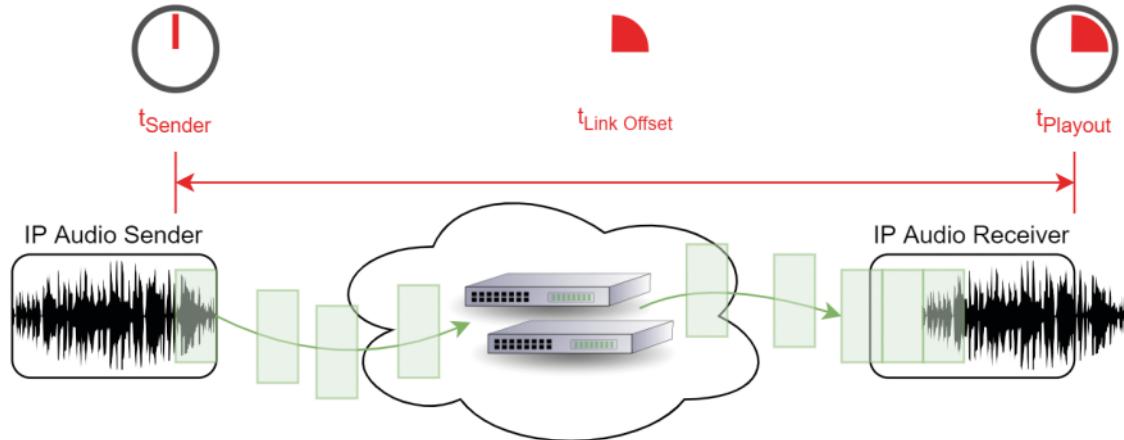
Ugyanakkor az audio-over-IP hálózatok felhasználóit számos kihívás előtt állítják:

- 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 hangsabványok 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 beszűrni a fogadó végén. Ez a buffer további késleltetést eredményez. Minél kevesebb csomagütközés van jelen a hálózatban, annál inkább csökkenhető 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 csökkentsse ezt a komplexitást a felhasználó számára, bevezetve intelligens és felhasználóbarát szoftvermegoldásokat az audiohálózatok kezelésére.

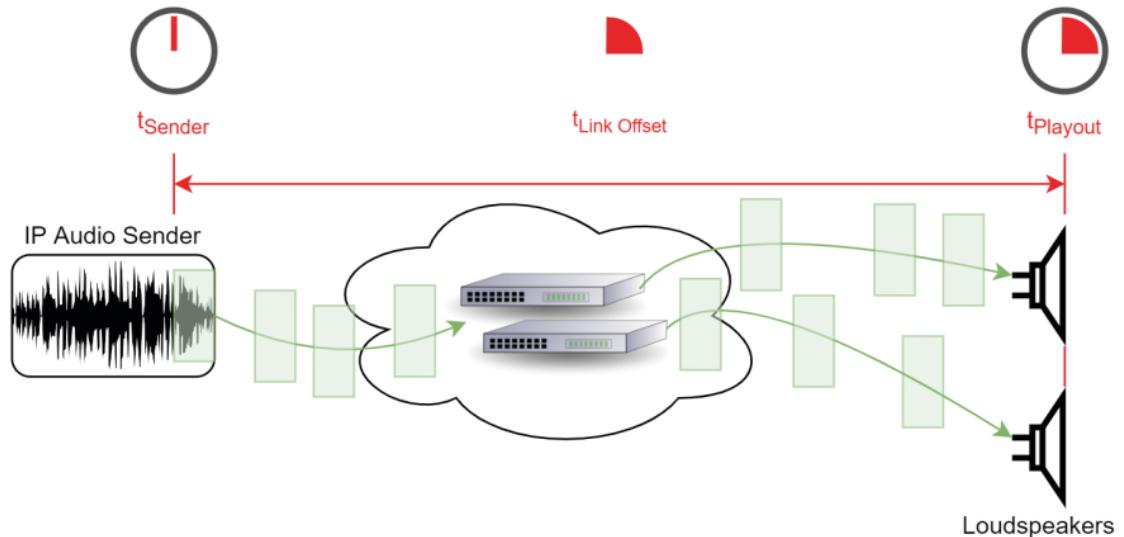
3.1.2. Fázishelyesség

A legtöbb audio alkalmazásban kritikus a több eszköz szinkronizált viselkedése. Elengedhetetlen a mikrofonok vagy hangszórók közötti fázispontosság. 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 egyre több alkalmazásban több erősítő és processzor függetlenül kap hangcsomagokat, miközben továbbra is szükség van arra, hogy pontosan reprodukálják az audiojeleket egyező fázispontossággal. Ezért egy adott audio csomagot több hálózati eszköz is megkaphatja, pufferelheti, és ezeket pontosan ugyanabban az időben kell lejátszania. Mivel nincsenek szoros időzítési specifikációk az IT hálózatokban a csomagok továbbításának és megérkezésének időpontjára vonatkozóan, az audiohálózatoknak mindenkorral szinkronizációs módszert kell biztosítaniuk. Ez egy fontos, de új probléma a hálózatokban, amellyel az összes audio-over-IP technológiának foglalkoznia kell. Az audiohálózaton belül minden eszköz abszolút időben szinkronizált a Precision Time Protocol (PTP) szerint. Ez azt jelenti, hogy belső óráik (PTP követők) egy referenciaóra eszközből (PTP vezető) származnak. Ez az eszköz bármilyen audioeszköz lehet, amely biztosítja ezt a funkciót, vagy akár egy speciálisan erre a célra kifejlesztett termék 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 csomag küldési pillanatában egy időbelyegzővel látják el. A felhasználó állandó időeltolást állít be az összes vevőnél, ez a linkeltolás. Amikor egy csomag megérkezik egy vevőhöz, a pufferben marad, amíg lejátszára 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 vevőeszközön 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. Szerencsére ez a koncepció elterjedt és jelenleg minden audiohálózati szabványban és a videóban is használatos.



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



3.3. ábra. Fáziskoherencia azonos kapcsolati eltolással [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/E-BU vagy MADI segítségével szinkronizálták. A fogadók közvetlenül képesek voltak azokból az formátumokból frekvenciájukat és fázisukat kinyerni, mivel valamiféle *impulzust* biztosítottak, ami jelzi a pillanatot, amikor egy audio minta létrejön vagy lejátszódik, például analóg-digitális konverterek esetében. Az PTP csomagok kicsik és nem tartják fel a forgalomat sokáig, de fontos, hogy a kapcsolókban a lehető legmagasabb prioritással továbbítsák

őket. Ez végül növelni fogja a szinkronizáció pontosságát. A QoS-hez (Quality of service) kapcsolódóan ez azt jelenti, hogy a PTP csomagokat még a hangnál is magasabb prioritással kell kezelni. Az összes hálózati eszközöt ugyanazon naptári időpontra szinkronizálják a Precision Time Protocol (PTP) segítségével. Ennek az időnek a kiindulása egy olyan eszköz, amelyet óraleadernek neveznek, míg az ehhez igazodó eszközöket óra követőknek hívják. minden eszköznek meg kell hozzá generálnia a kívánt hagyományos órát (például 96 kHz), amelyet a PTP-n keresztül kapott abszolút időből származtat. Ez a belső óra a *médiaóra*. Ha a gyártó megfelelően implementálja, minden eszköz médiaórájának pontosan ugyan annyinak kell lennie a frekvencia és fázis terén. A magas pontosság technikailag elérhető, de kihívást jelent az audio gyártók számára. Ezért a PTP szinkronizált eszközök közötti fázispontosság minőségtől függően változhat. Elfogadható változásnak tekinthető ha az kisebb mint $<1 \mu\text{s}$, azaz 1 mikroszekundum. Mivel az IT hálózatok nem elégé 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 sorai természetükből adódóan ez az információ nem mindenkor meg 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)

3.1.3.2. Késleltetés mérése

A követő második kulcsfontosságú feladat a vezető és a követő közötti csomagkésleltetés mérése a vezető által a szinkronizációs üzenetekben kapott idő kijavításához. Ehhez szükség van arra az időmérésre, amelyek azt mutatja meg számunkra, hogy a hálózati út során mennyi időbe telik egy csomag átvitele. Ez a mérés magában foglalja az összes közöttük lévő összetevő késleltetését, beleértve a kábeleket és kapcsolókat is. A vezető és a követő közötti kábelhossz és a kapcsolók száma nem számít, csak a végső érték. A PTP időnek az összes követő között ugyanannak kell lennie nanoszekundum pontossággal. Az egyetlen feltétel a PTP számára, hogy a késleltetés mindenkor irányban, a vezetőtől a követőig és fordítva, 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 előbbieken már említett 1 és 8 alkalom között. Mivel egy vezetőnek minden egyes követővel üzenetet kell cserélnie, van egy maximális követőszámra vonatkozó korlátja. Sajnálatos módon ez nincs egyértelműen meghatározva, mivel ez az érték a használt üzenetebességektől függ. 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 állít 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 an-

nounce 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 az 0 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 ugyanaz. Ez előfordulhat két azonos típusú eszköz telepítéseknél, 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, felül bírálhatja az ilyen típusú eszközöt. 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 rendszerekben 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 hálózatnak instabil váltatható, hangkimaradások és megszakadások, legrosszabb esetben a hálózat 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 részletességet és jobb hangminőséget eredményez, de cserébe nagyobb sávszélességet igényel. A sávszélesség kiszámítása a következő képlettel történik:

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

Ezzel a formulával könnyen és gyorsan kiszámíthatjuk, hogy a rendszerünknek makkora 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:

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

Mivel a hálózatunkat a Dante által ajánlott méretezés szerint szeretnénk kialakítani, legalább 30 százalékos túlméretezést kell alkalmaznunk. Tehát a fenti példában a sávszélességünk a következő lesz:

$$294912000 \text{ bit/s} * 1.3 = 383385600 \text{ bit/s} = 383,3856 \text{ Mbit/s} (\text{teljessávszélesség}) \quad (3.3)$$

A számítások alapján egy átlagos 1 Gbit/s (1 Gbit/s = 1000 Mbit/s) sávszélességű hálózaton ez a rendszer már megfelelően működhet. Érdemes a hálózatunkat túlbiztosítani, hogy a rendszerünk a legnagyobb terhelés alatt is megfelelően működjön. 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. Ugyanakkor a 24 bites felbontás lehetőséget nyújt a pontosabb és részletesebb hangátvitelhez, általában zenei stúdiókban és előzenei környezetekben. A 32 bites bitmélység a legmagasabb minőséget biztosítja, de a sokkal nagyobb sávszélesség igénye miatt elsősorban csak a kiemelten professzionális stúdiókban használják.

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 pufferelnie, 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 történjen meg a hang megszakítása.

3.1.6. IP címek és maszkok

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

3.2. IP-cím hozzárendelési módszerek

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 szerveret, és minden szükséges IP-konfigurációt egy jól 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. Szoftveres eszközök elérhetők az eszközök jelenlétének szkennelésére IP-cím-tartományokban, de az IT osztályok gyakran tiltják az ilyen eszközök használatát.

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 eszközön 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, hosztcímkének. 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 hosztcím 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	

3.4. ábra. Host A

Host B

	Network Address	Host Address
IP address	192.168.020.182	
Subnet mask	255.255.255.000	

3.5. 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 nem szükséges.

Host C

	Network Address	Host Address
IP address	192.168.134.061	
Subnet mask	255.255.255.000	

3.6. ábra. Host C

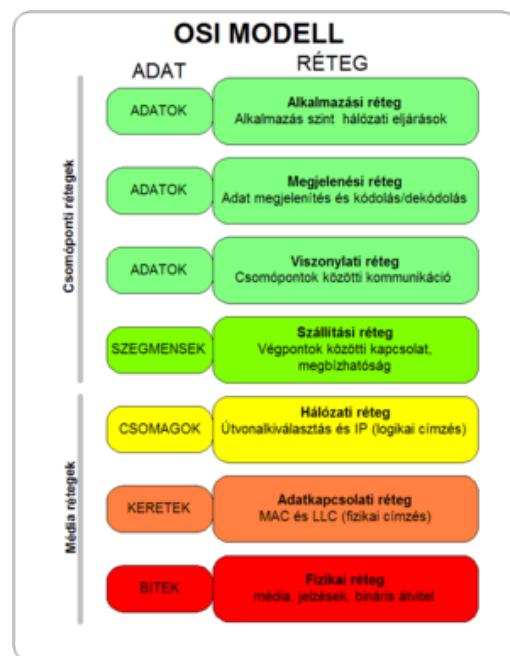
Host C más alhálózatban van, mint Host A és B, mert különbözik a hálózati címében (192.168.134, nem pedig 192.168.020). Host C nem tud csomagokat cserélni A és B eszközökkel egy router nélkül. Annak érdekében, hogy ez az eszköz kommunikálhasson A és B-vel, más IP-címet kell kapnia, kezdve a 192.168.134... 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. rétegén működnek. Ez a modell hét rétegre osztja a hálózatok általános funkcionalitását, mindegyik egy adott készletet ír le a hálózati eszközök által nyújtott funkcionálisokról. Gondolva itt elsősorban a csomagok továbbításáról a megfelelő címzett felé. Az összes jelenlegi IT eszköz követi ezt a jól meghatározott absztrakciós rétegkoncepciót, hogy elősegítse a gyártók közötti interoperabilitást. A 3. rétegen működő telepítések értelmezhetik az IP-címeiket, az alhálózati maszkokat stb., és így továbbítani tudják a csomagokat az alhálózatok között. Az itt tárgyalta összes technológia képes ilyen forgatókönyvekben 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 valamelyest korlátozott. Az egyik népszerű példa a 2. rétegű hálózatokra a már említett TSN/Milan, valamint a CobraNet.



3.7. ábra. Az OSI modell

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. Egy virtuális LAN (VLAN) egy másik módszer a hálózat szegmentálására. Rugalmasabbá teszi a rendszereket, csökkeni 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 a preferált megoldás. Több hoszt egy útválasztó eszközökhöz, 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), mivel a szegmensek közötti legtöbb forgalom áthaladhat rajta. 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 továbbítani. A gyűrű topológiának 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 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 eszközökhöz hozzáférhetünk, még akkor is, ha egy kapcsolat elszakad. A megfelelő hálózat kialakításához még elengedhetetlenek a nem blokkoló kapcsolók. A nem blokkoló architektúra azt jelenti, hogy nem a kapcsoló a szűk keresztmetszet. Tehát képes kezelni az összes rá táplált forgalmat, csak a 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 gyakran használja a Transmission Control Protocol (TCP)-t, ahol a fogadó minden egyes csomag sikeresít 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 egy más eszköz más felhasználásra. Bár ez váratlan lehet, ez valójában a preferált átviteli mód a szakmai audio hálózatok számára. Mivel az időkésletetés alacsonynak kell lennie, nem engedhető meg a csomagok újraküldése, mert az időt vesz igénybe, és ezzel növelné az általános időkésletetést. Az élő audio csomagvesztés esetén a legjobb, ha folytatjuk a következő audio minták lejátszását, anélkül hogy megpróbálnánk helyreállítani az előzőt. A menedzselhető switchek és végpontok tudják logolni a csomagvesztéseket, így moniterezhető a hálózat állapota. Az 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 címzési címekkel. Ez felesleges processzor terhelést jelent a küldő eszköz számára, és emellett sávszélességet foglal el minden hálózat 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 címeli a csomagokat, és nem hoszt címekre. Nem tudja, melyik címzetteknek érkeznek meg a csomagok. 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 tudniuk kell, hogy a multicast címre akarnak hallgatni. A multicast címek alapvetően nem kapcsolódnak a hálózatokhoz, mivel nem kapcsolódnak a csomópontokhoz és az IP-címekhez. Ezért a multicast csomagok áthaladnak az alhálózatokon, ha csak nincsenek elkülönítve VLAN-akkal. Amennyiben a hálózatunk nem kizárálag 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 (Internet Csoportkezelési Protokoll). Az összes tárgyalt audio hálózati technológia alapértelmezetten támogatja az IGMP snooping-ot. Ha be van kapcsolva a kapcsolóban, akkor a multicast-csomagok csak azokon az interfészeken kerülnek elküldésre, ahol a csatlakoztatott hosztoktól időszakos IGMP kérések érkeznek. Ha nincs beérkező kérés, akkor a megfelelő multicast leáll, így nem jut felesleges forgalom a kapcsolaton. Az IGMP snoopingot egyfajta zsírlepelhetne összehasonlítani, amely alapértelmezetten zárva van, és csak kérésre nyílik meg. Erősen ajánlott az IGMP snooping bekapcsolása egy multicast hálózatban minden kapcsolóban. Azonban egy hálózatban csak egy darab IGMP Querier lehet aktív, mivel az összes többi kapcsoló az aktív IGMP Querier-től kapja az információkat. Enélkül a multicast úgy viselkedni mint egy broadcast, ami nagy mennyiségű felesleges forgalmat eredményez. Összefoglalva, 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 sávszélesség) 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 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. Ezen esetekre a gyártók kifejlesztettek saját megoldásokat (például Audinate a Dante Domain Manager) 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, mindenkor 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 mindenkit protokoll egyidejű aktiválását, így egy adott audio adatfolyam minden mechanizmuson keresztül párhuzamosan bejelenthető.

3.2.4. Redundancia

Az audiohálózatok kezdeti napjaiban egyes felhasználók kételkedtek az IT hardverek megbízhatóságában. Annak ellenére, hogy a széles körben elterjedt IT-berendezések jól beváltak és gyakran megbízhatóbbak, mint a hagyományos audioberendezések. Emellett a legtöbb IT-hálózati komponens több diagnosztikai 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 az ‘visszacsatoló hurok’ jelenséget a hálózati hardver automatikusan észleli az STP segítségével, és ha hurokra bukan, a kapcsoló automatikusan kikapcsol egyik kapcsolatot. Az STP-t továbbá felhasználhatják a rendszer véletlen kapcsolatvesztések elleni védelemre is, beleértve a kábelvágásokat is.

Abból a megközelítésből áll, hogy szándékosan létrehoznak hurkokat, majd a rendszer inaktiválja az egyiket. Ha valamelyik kábel véletlenül kiesik, a rendszer másodperceken belül észleli ezt, és újraaktiválja a passzív kapcsolatot. Ebben az időszakban az audio néhány másodpercig megszakad, de még mindig sokkal gyorsabb, mint a manuális hibakeresés és az új kábel telepítése. A legtöbb rendszerben az STP alapértelmezetten engedélyezve van. Nélküle broadcast ’viharok’ alakulnának ki, ami 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 költséghatékony módszer lehet egy kapcsolat véletlen leválasztásának vagy kábelvágásának biztosítására. Tipikus eset például egy színpad, amely egy keverőhöz csatlakozik. A kapcsolóknak minden két végén ugyanúgy kell konfigurálni: két vagy több interfész 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 a kábelt lekapcsoláskor előfordulhat, hogy az audioátvitel néhány másodpercig megszakad, mielőtt a kapcsoló 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 hoznak létre, két független utat biztosítva a küldő és a fogadó között. Ebben a felállásban minden csomópontnak két hálózati interfész kell biztosítania. A küldő két azonos audio tartalommal rendelkező csomagot hoz létre, mindenkorra azonos PTP-időbényegzőt nyom, majd elküldi minden két hálózaton. A fogadó végén minden két 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 folytatódik. Valójában ez a mechanizmus az egyetlen megközelítés egy hálózatban a véletlenszerű csomagvesztés kompenzációjára anélkül, hogy meg kellene ismételni azokat a küldőtől és ezzel késleltetést hozzáadva a rendszerhez.

3.3. AES67

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 mindenkor 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

3.4.1. A Dante hálózatok áttekintése

A 2020 - 2021-es Covid-19 járvány alatt lehetőségem volt egy széleskörű átfogó Dante kurzusra beiratkozni, amelyet a Dante gyártója, az Audinate szervezett. A kurzus egy átfogó mély áttekintést nyújtott a Dante hálózatokról. Ebben a fejezetben a fő forrásomnak a belső oktatónyagot fogom használni, amelyet a kurzus során kaptam, pontos és részletes információkat nyújtva a Dante hálózatokról. Ez a dokumentum csak azok számára elérhető, akik részt vettek a kurzuson. A Dante hanghálózatok digitális hanghálózati technológiát képviselnek, amely lehetővé teszi a hang elosztását és útválasztását a szabványos Ethernet hálózatokon keresztül. Az ausztrál Audinate vállalat fejlesztette ki a Dante-t, amely a szabványos Internet Protocol (IP) hálózatokat használja a magas minőségű, alacsony késleltetésű hangátvitelhez eszközök között. Ez lehetővé tesz nagyobb rugalmasságot és skálázhatóságot a hagyományos analóg hangrendszerhez képest, valamint biztosítja a hangrendszer integrálását egy meglévő IT infrastruktúrába. A Dante hanghálózatokat

széles körben alkalmazzák, ideértve a koncerthangosítást, rádiózást, stúdiófelvételeket, vállalati és konferenciaközpontokat, és még sok másat. A technológia támogat számos hangformátumot és mintavételi rátát, és lehetővé teszi akár több száz hangcsatorna egyidejű átvitelét egyetlen hálózaton keresztül. Emellett a Dante hanghálózatok távolról is vezérelhetők és monitorozhatók, megkönyítve a nagy, összetett hangrendserek beállítását és kezelését.



3.8. ábra. Audinate Dante fantázia ábra

3.4.2. Dante hálózatok technikai részletei

A Dante hanghálózatok két fő komponensből állnak: Dante eszközök ből és Dante hálózatokból. A Dante eszközök olyan hangeszközök, amelyeket kifejezetten a Dante protokollhoz terveztek, mint például hangkártyák, erősítők és hangszórók. Ezeket az eszközöket szabványos Ethernet kábelekkel és kapcsolókkal lehet csatlakoztatni a Dante hálózathoz. A hálózatot az Audinate Dante Controller szoftverrel lehet konfigurálni, amely lehetővé teszi a hang elosztását és útválasztását az eszközök között. A szoftver továbbá lehetővé teszi az eszközök távoli vezérlését és monitorozását a hálózaton. Ezek a hanghálózatok támogatnak számos hangformátumot és mintavételi rátát, és képesek egyszerre több száz hangcsatorna átvitelére egyetlen hálózaton keresztül. A technológia továbbá támogat olyan fejlett funkciókat, mint a Dante Domain Manager (DDM) a biztonságos hangátvitelhez, valamint a Dante Virtual Soundcard (DVS) a számítógépes alapú hanglejátszáshoz és felvételhez. Tegyük fel, hogy több eszköz is küld hangot egy adott végpontra a hálózaton. Alapesetben, ahogy a csomagok felgyülemlenek, az elsőként érkezőket, elsőként szolgálják ki elvet alkalmazzák. A Dante hanghálózatok Quality of Service (QoS) támogatást is nyújtanak, a prioritások kezelésére. Ezzel biztosítható a hangátvitel elsőbbse más hálózati forgalommal szemben. Ez segít minimalizálni a hálózati torlódás lehetőségét és biztosítani, hogy a hangátvitel minimális késleltetéssel és magas minőségen történjen. Körülbelül 70 százalékos hálózati szaturációnál már ajánlott a QoS használata. Valamint 100 Mbps-es hálózatoknál segít a jitter csökkenésében.

3.4.2.1. Több mintavételi ráta és bitmélység

A rendszer képes egyidejűleg több bitmélységet kezelni. 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 alakítani.

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

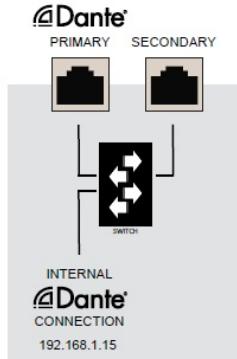
Amint a példában látszik, 32 bites hangból úgy kaptunk 24 bites hangot, hogy egyszerűen csak elhagytuk az utolsó 8 bitet. Ez a folyamat visszafelé is működik, ha 24 bites hangot kell 32 bites hanggá alakítani, akkor az utolsó 8 bitet 0-val kell feltölteni.

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

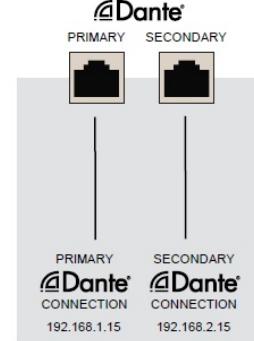
Mintavételezési frekvencia eltérést csak abban az esetben tudja kezelni, ha a bitmélység is eltérő. Amennyiben a bitmélység azonos, de a mintavételezési frekvencia eltérő, akkor a rendszer nem képes a hangot továbbítani. Ez a mechanizmus egy egyszerű mechanikai példával jól megérhető és leírható. Tegyük fel van két fogaskerekünk. Amennyiben a mintavételezési frekvencia azonos, és a bitmélység eltérő, akkor a fogaskerekek egymásba illeszthetők és csak a fogaskerekek mélysége fog eltérni. Amennyiben a mintavételezési frekvencia eltérő, akkor a fogaskerekek nem illeszthetők egymásba, és nem tudjuk továbbítani a hangot. Ebben az esetben már egy konverterre lesz szükségünk, amely képes a két fogaskereket összeilleszteni számunkra. Egy fontos kitétel van ahhoz, hogy a több mintavételi ráta egyszerre megfelelően működjön, az pedig az egységes órajel az összes mintavételi frekvenciához.

3.4.2.2. Hálózati topológiák

A Dante rendszerek alapvetően kétféle módban tudnak üzemelni. Az első a switched (kapcsolt) mód, amelyben az eszközökön található két Ethernet port egy hálózatot alkot. Ebben a módban tudunk Daisy Chain (füzéres) topológiát kialakítani, amelyben az egyik eszköz a másikhoz csatlakozik, és így tovább. Továbbá csillagtopológiát is kialakíthatunk, amelyben minden eszköz egy központi kapcsolóhoz csatlakozik.



3.9. ábra. Kapcsolt mód



3.10. ábra. Redundáns mód

A másik mód a redundant (redundáns) mód, amelyben az eszközökön található két Ethernet port két különálló hálózatot alkot. Ebben a módban a hálózat redundantás kialakítású, és a hálózat egyik része automatikusan átveszi a másik rész szerepét, ha az meghibásodik. Néhány Dante eszköznek létezik egy harmadik Ethernet portja, amelyet konfigurálási és vezérlési célokra használnak.

3.4.2.3. Késleltetés

A késleltetés az az idő, amely szükséges a folyamat végrehajtásához. Például az idő amíg a bemeneti oldalon egy hangjel feldolgozásra kerül, és a kimeneti oldalon megjelenik. Két

fő mértékegységet használunk a késleltetés mérésére:

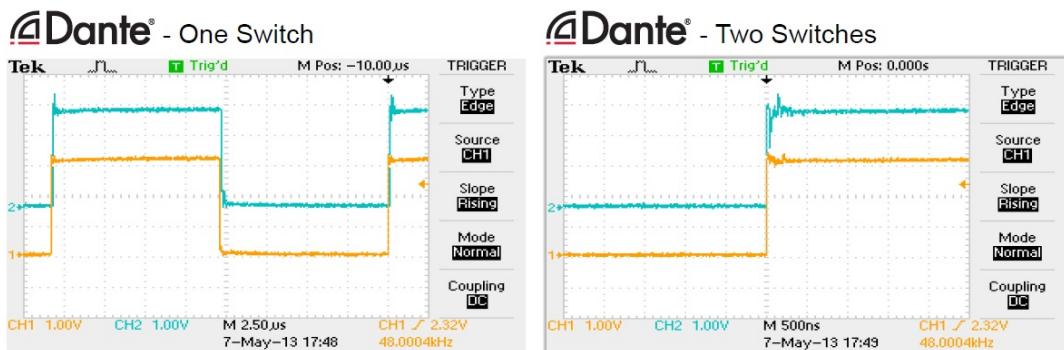
$$1 \text{ másodperc} = 1000 \text{ milli másodperc}, \text{ azaz } 1 \text{ ms} = 0.001 \text{ s} \quad (3.4)$$

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

A Dante eszközök lehetővé teszik a késleltetés teljesítményének meghatározását. A 0.1 milliszekundumos késleltetés az a késleltetés, amely már kapcsoló lépés biztos. Ha két eszköz különböző késleltetésű, akkor a nagyobb érték lesz az irányadó. Egy megfelelően konfigurált modern Dante hálózatban a késleltetés 1 ms körüli értéket vesz fel. Ez azt is jelenti, hogy például egy dobos előbb hallja a hangszerét a fülmonitoron, mint a saját dobját.

3.4.2.4. Órajel

Minden eszköz egy nagyon-nagyon pontos Dátum/Idő órát követ. Szinkronizálnak az időhöz és állítják a sebességet, hogy egységes legyen. Mi a helyzet a terjedési késéssel? Miért vannak szinkronban a Dante eszközök? A PTP (Precision Time Protocol) késleltetési kéresekkel (Delay Requests) ad ki, amelyek kiszámítják a hálózat késleltetését. Az eszközök az információváltás késését is kompenzálják. A Dante automatikusan választ óra vezetőt. Mindig csak egy óra vezető lesz, függetlenül a mintavételi rátától. Beállíthatunk külső óra vezetőt is amennyiben szükséges. Nem szinkronizál újra, hanem beállítja a sebességet és kompenzálja a hálózati késést. A Dante által végzett tesztelések és tapasztalatok alapján bebizonyosodott, hogy az időzítés szinkronban marad akkor is, ha az óra perceken keresztül teljesen eltűnik.



3.11. ábra. Dante órajel

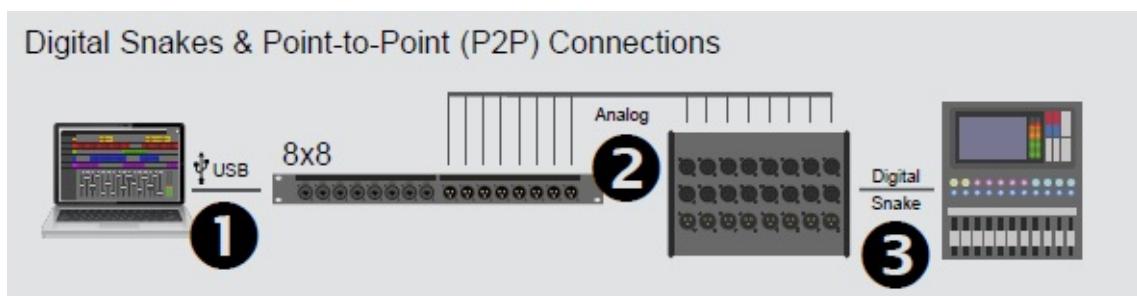
3.4.3. Összehasonlítás a hagyományos hangrendszerekkel

A hagyományos hangrendszerek általában analóg kábelekre és csatlakozókra támaszkodnak a hangjelek eszközök közötti átviteléhez. Ezek a rendszerek korlátozottak lehetnek rugalmasságban, skálázhatóságban és az egyidejűleg átvihető hangcsatornák számában. Emellett hajlamosak bonyolultabbá válni a beállítás és kezelés szempontjából, mivel minden hangcsatornához külön kábel és csatlakozás szükséges. A Dante hanghálózatok jóval több hangcsatornát is támogatnak, mint a hagyományos analóg rendszerek, és távolról is vezérelhetők és monitorozhatók, lehetővé téve a nagy, összetett hangrendszerek könnyű beállítását és kezelését. A Dante hanghálózatok további előnye, hogy képesek hangot továbbítani hosszú távolságokon anélkül, hogy a minőség romlana. A hagyományos analóg rendszerek zajra és jelveszteségre hajlamosak hosszú kábelek esetén, míg a digitális hang-

jelek, amelyeket az Ethernet hálózatokon továbbítanak, minimális minőségveszteséggel juthatnak el nagy távolságokra.

3.1. 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



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



3.13. ábra. Dante hálózati megoldás

A rugalmasság és a skálázhatóság további kulcsfontosságú előnye a Dante hanghálózatoknak a hagyományos analóg hangrendszerrel szemben. Képesek alkalmazkodni különböző hangkonfigurációhoz 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.

3.4.4. Firmware frissítés

A Dante eszközök rendelkeznek Dante Firmware és Eszköz Firmware-el. Lehet, hogy minden kettőt frissíteni kell. Kérjük, forduljon a gyártóhoz a párosított verziótéről. Néhány eszköz sorozat más módszerekkel frissíthető. A Dante Updater hasznos lehet a frissítések nyomon követéséhez és telepítéséhez. A rendszer ellenőrzi az online adatbázisunkat, hogy tájékoztassa Önt az elérhető frissítések rövid leírásáról. A Dante firmware könnyen frissíthető. A Dante Firmware Update Manager továbbra is aktuális. Importálja a firmware fájlokat, ha firmware-t kap egy gyártótól. Ha a frissítés nem sikerül, rendelkezünk vészhelyzeti helyreállítási módszerrel. A Dante eszközök erős támogatást nyújtanak a vegyes firmware verziókhoz.

Mérnökeink automatizált regressziós tesztelést végeztek a korábbi firmware kiadásokkal szemben.

3.4.5. Chipek

A Dante hálózatok változatos chipekkel építhetők fel. Az Audinate számos különböző chipet kínál a Dante hálózatok létrehozásához, melyek eltérő hangcsatorna-számot és egyéb funkciókat támogatnak. A Dante chipek különféle méretekben és árkategóriákban elérhetők, lehetővé téve a gyártók számára, hogy különféle méretű és árú Dante eszközököt fejlesszenek ki, így képesek kielégíteni a különböző piaci igényeket. A Dante chipek segítik a gyártókat abban, hogy gyorsan és hatékonyan hozzanak létre Dante-kompatibilis eszközöket, és könnyedén integrálják azokat a saját termékeikbe.

Chip	Leírás
	Dante Ultimo-X - 0x4, 2x2, 4x0
	Dante Broadway - 16x16
	Dante Brooklyn II - 64x64
	Dante PCIe-R - 128x128
	Dante HC (High Capacity) - 512x512
	Dante Shared Processor - IP Core 512x512 FPGA and Dante Embedded Platform 64x64 X86/ARM
	Dante AV - V:1, A:8

4. fejezet

Rendszertervezés és telepítés előkörnyezetben

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 elérésének lehetősége 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

A szakdolgozatomban megtervezésre kerülő hangrendszer lelke a Dante protokoll lesz. Hangládák szempontjából a Martin Audio Wavefront Precision szériás termékeire esett a választás. Mivel teljes mértékben digitális rendszert elérése volt a cél, ezért a Dante modullal rendelkező Martin Audio iKON iK42 és iK81 végfokok tökéletesen illeszkedtek a rendszerbe. Mindkét végfok csúcskategóriás teljesítményt és hangminőséget nyújt, és a D kategóriás erősítőknek köszönhetően rendkívül kis helyet foglalnak el a rack-ben miközben kiváló hatásfok mellett képesek nagy teljesítményt leadni. A két erősítő között két fundamentális különbség van, az iK42 négy kimeneti csatornával rendelkezik, 20.000 W teljesítmény leadása mellett. Ezzel szemben az iK81 nyolc kimeneti csatornával rendelkezik, 10.000 W teljesítménnyel. [4] A végfokokat a Dante hálózaton keresztül fogjuk jelölődni, így a hagyományos analóg XLR, vagy AES kábelezés helyett két CAT5E kábellel (a redundancia miatt) tudjuk a végfokokat a hálózatra kötni.



iKON

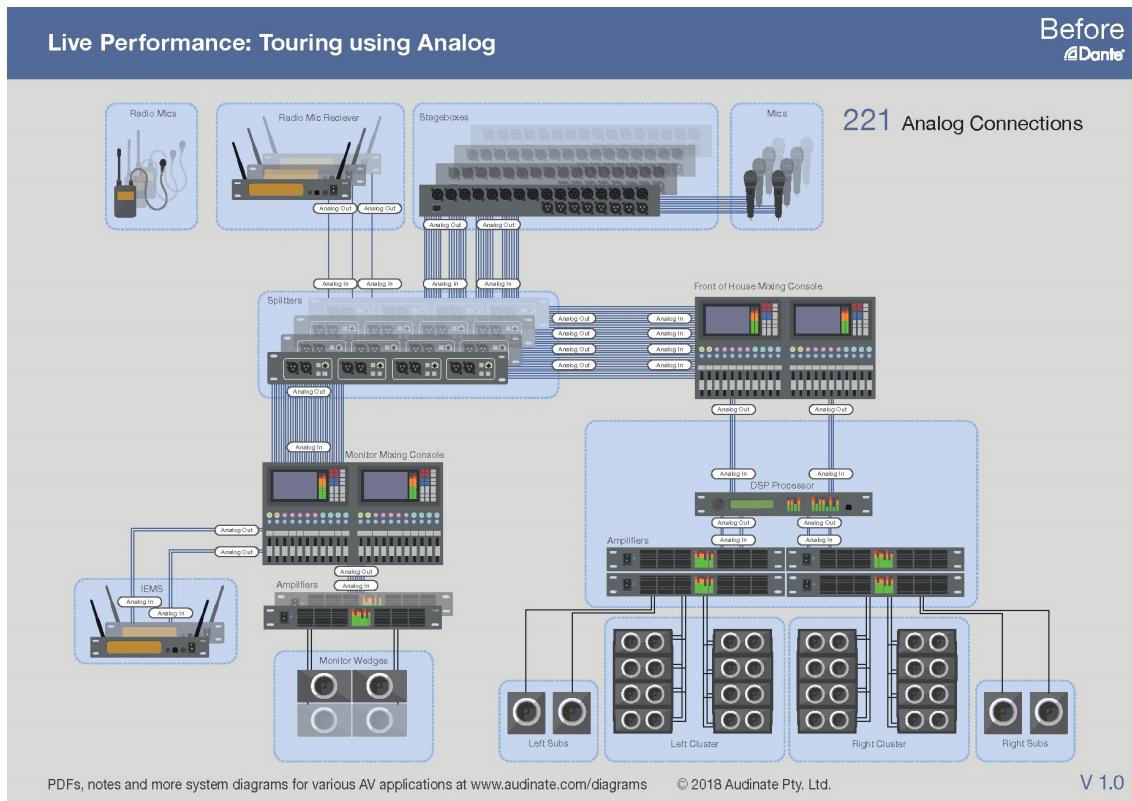
4.1. ábra. Martin Audio iK42 végfok



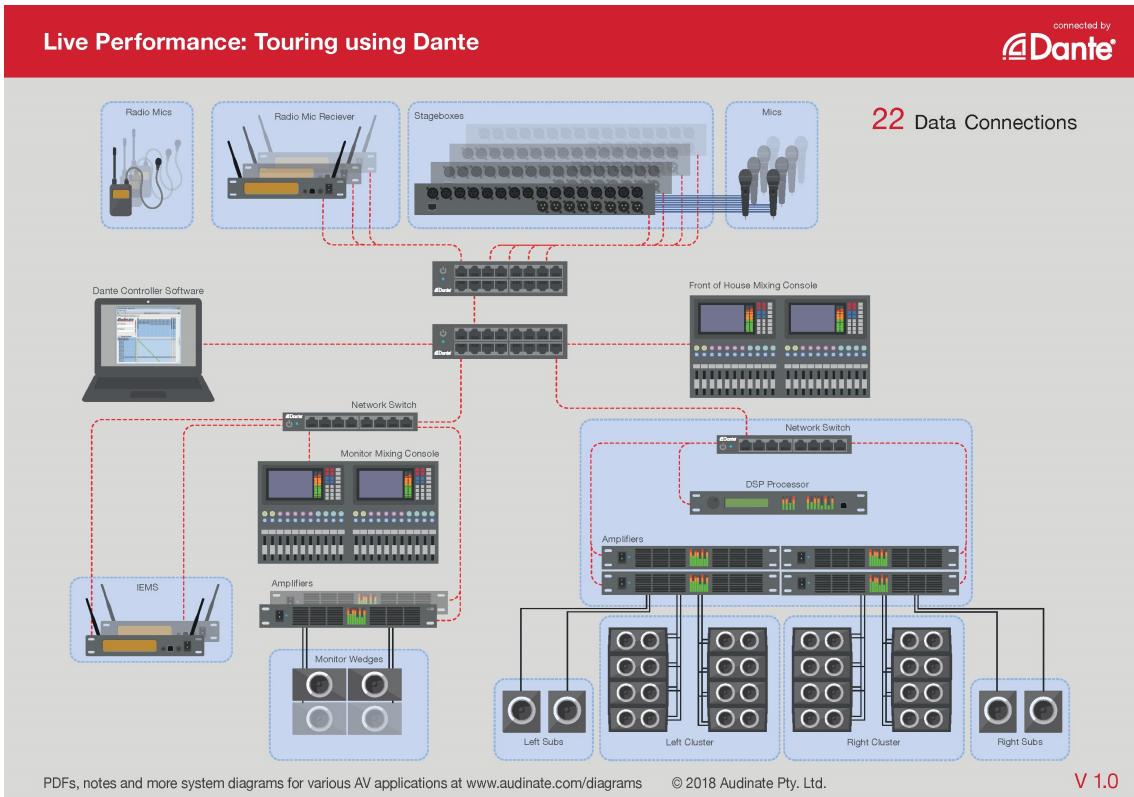
iKON

4.2. ábra. Martin Audio iK81 végfok

A végfokrendszer fő vezérlő protokollja miatt szükség lesz még egy CAT5E alapú összeköttetésre, ami az egyes végfokokat köti össze egy hálózatba a switcheken keresztül. (VU-NET protokoll) minden egyes végfokrakban két MikroTik 24 portos switch lesz. 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 szegmensekkel lesz elkülönítve, hogy a hálózat biztonságos és stabil legyen. 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.



4.3. ábra. Hagyományos analóg kábelezés [2]



4.4. ábra. Dante digitális kábelezés [2]

4.2.1. Martin Audio Wavefront Precision hangrendszer

4.2.1.1. Martin Audio Display 2.3.4 b1 tervező szoftver [3]

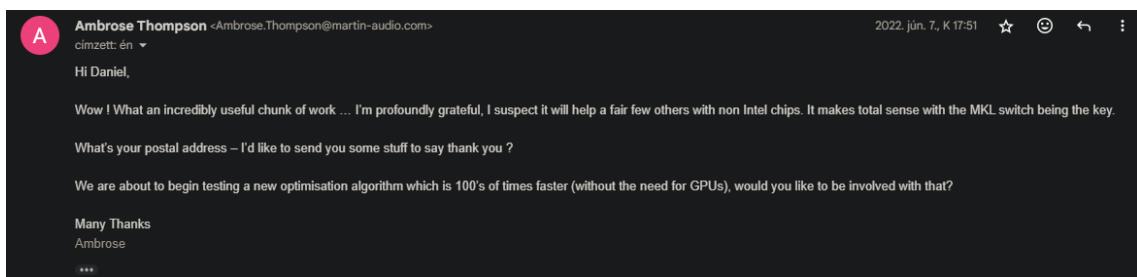
Mielőtt bele fognánk a tervezési folyamatba, fontos megemlíteni, hogy a szoftver eredetileg Intel alapú processzorokra lett tervezve és MatLab alapú. Ebből fakadóan AMD Ryzen processzorokon habár elindult a szoftver, de nem volt stabil és a számítások során minden esetben összeomlott, és használhatatlanul lassú volt. Személy szerint a saját gépem amivel dolgoztam sajnos ilyen processzorral van szerelve ezért muszáj volt megoldást találni a problémára. A Martin Audio hivatalos szoftveres támogatásához fordultam először, de sajnos nem tudtak segíteni. Ezért a szoftver használatához sok belefektetett óra olvasás után sikerült egy olyan MatLab CMD parancsot találnom, amivel a szoftver elindul és használható. Miután rájöttem a probléma gyökerére, ezt megosztottam velük, hogy a jövőben másoknak ne kelljen ezzel a problémával szembesülniük. A hiba az alábbi volt. Az új AMD Ryzen processzorok másfajta utasításkészletet használnak. Ebből kifolyólag a MatLab 2015-s runtime alapú szoftver adta alaputasításokat nem tudta értelmezni a CPU. A vezető szoftvermérnökkel való e-mail-es beszélgetésünk során megköszönte a probléma megoldását, és nemsokkal a megoldásom megosztása után a hivatalos oldalra is feleke-rült 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 továb-bi 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



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

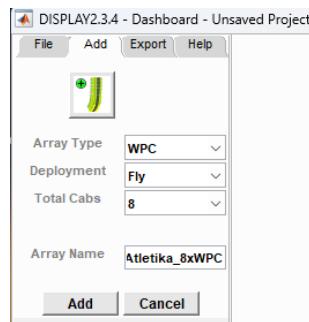
Most, hogy már a szoftver használható és teljes mértékben működőképes, kezdjük el a tervezést. A modellezés során a budapesti Millenáris B csarnoka lesz a referencia helyszín. Két LineArray rendszert fogunk tervezni, mivel a terem hosszúsága és a lefedettség növelése miatt szükségünk lesz Delay kiegészítésre a fő hangrendszerhez. Első lépéssben 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, a négy pólusú Neutrik Speakon csatlakozókon keresztül. A láda maximális hangnyomás szintje 135 dB, és 65 Hz-től 18 kHz-ig terjed a frekvencia átvitele +- 3 dB pontossággal. [8]



4.6. ábra. Martin Audio WPC LineArray modul

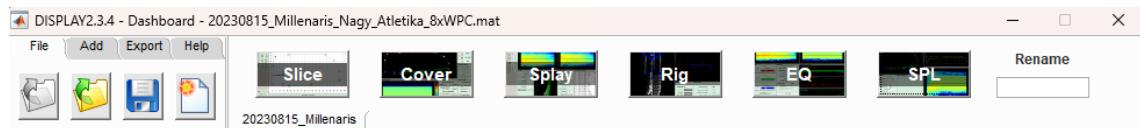
A program megnyitásakor a legelső lépés, hogy kiválasztjuk a termékpálettából a megfelelő hangrendszert. Jelen esetben az előbbiekben említett WPC-t. A produkcíó igényei, a nagy létszámú közönség és a ládamennyiség miatt a rendszert „*riggelni*” fogjuk. (maximálisan 6 darab WPC-t lehet „*stackelni*”, 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 a elénk kerül a fő kezelőfelület, ahol a hangrendszert tudjuk lépésről lépésre tervezni.



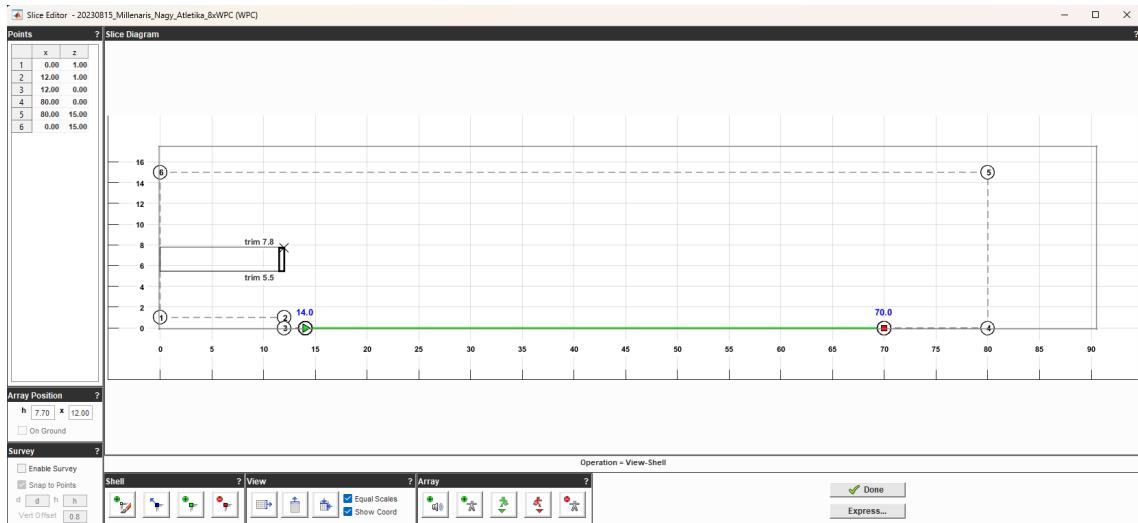
4.7. ábra. Display 2.3.4 b1 kezdőképernyője (WPC)

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



4.8. 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 színpadod és a színpad mögötti területet is. A rajznak tartalmazni kell azokat a falfelületeket is amelyeknél a hangvisszaverődést minimalizálni szeretnénk, ennek az optimalizáció későbbi fázisában lesz jelentősége. A terem pontos rajza után még két fontos paramétert kell megadni ezen a felületen. El kell helyeznünk magát a hangrendszert a teremben, és meg kell határoznunk milyen magasra szeretnénk a rendszert emelni. Mivel a csarnok rendkívül hosszú, és a adottságai megengedik, ezért a rendszert minél magasabbra szeretnénk emelni, a jobb lefedettség érdekében. A másik fontos paraméter az optimalizációhoz, a közönség területének meghatározása. Kezdő és végpont segítségével tudjuk a területet meghatározni, ahol a hallgatóközönség tartózkodni fog.



4.9. 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 hangrendszerrel nem jelöltet 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,

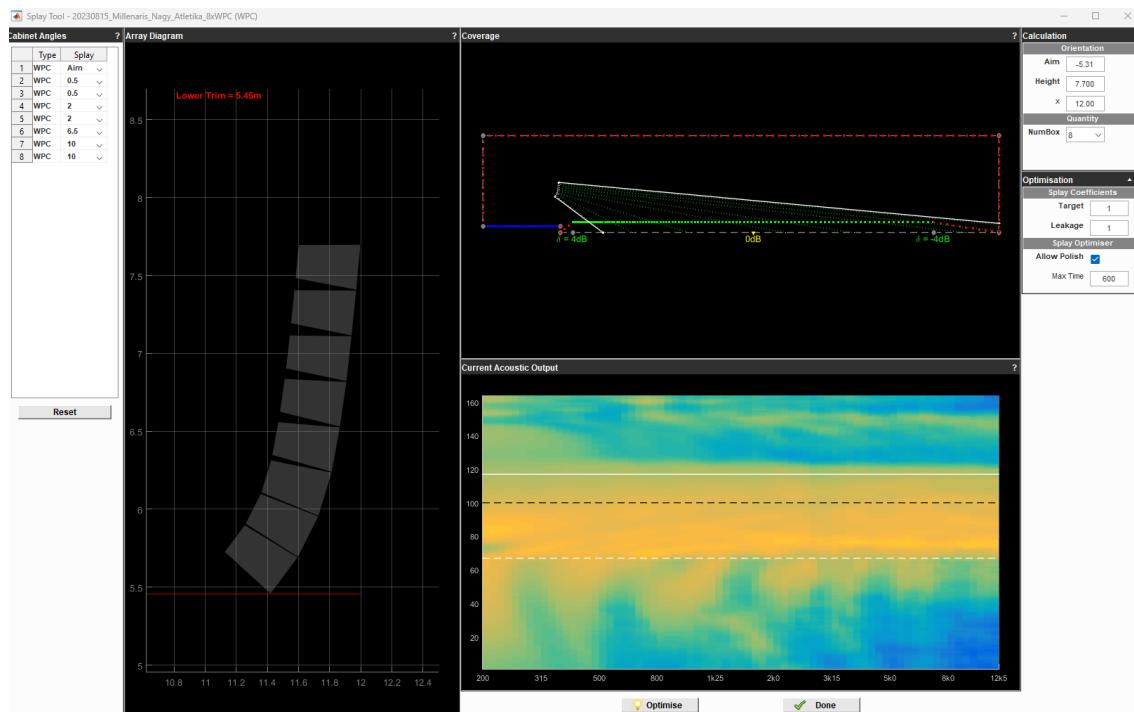
és kifutna a dinamika tartalékból, ezért jobb megoldás, ha a magas frekvenciák fokozatosan csökkennek a távolság növekedésével. Beállíthatjuk a levegő veszteség kompenzációját, teljesen balra állítva nincs kompenzáció (figyelmen kívül hagyva a levegő abszorpcióját). Teljesen jobbra állítva a maximális kompenzáció (a rendszernek 17dB headroom-ra van szüksége, hogy egyenes választ kapjunk). Viszont ezekből az következik, hogyha túlságosan sok a kompenzáció, akkor a rendszernek nem lesz elég dinamika tartaléka, és a hang torzulni fog. A változások hatását a „*Target Response*” ábrán láthatjuk. Ahhoz, hogy a számítások pontosak legyenek, elengedhetetlen, hogy pontosan megadjuk a környezeti változókat, a hőmérsékletet, a páratartalmat és a légnyomást. Ezeket a paramétereket a „*Edit*” gombra kattintva tudjuk megadni. Jelen esetben mivel a teremben 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 valószínűséggel 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 beállítások nagyon jók, ezért nem változtattam rajtuk, a 14-es érték egyenletes és dinamikus hangvisszaadást biztosít.



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

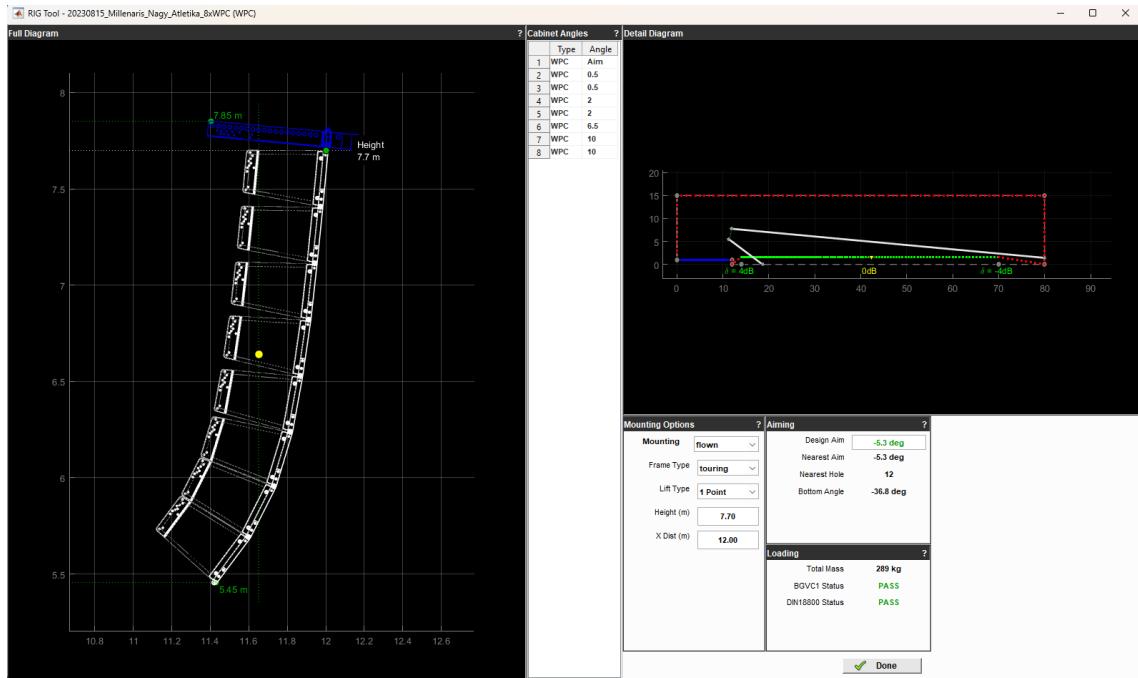
Miután a „*Cover*” kezelőfelületen elvégeztük a szükséges beállításokat, a „*Splay*” kezelőfelületen folytatjuk a tervezést. Az optimalizáció ezen részén a hangrendszert fogjuk a hallgatószám területére irányítani, a fokolási szögek beállításával. A szoftver által biztosított optimalizációs algoritmus a lehető legjobb lefedettségre törekszik a tervezett területen. Lehetőség van az optimalizáció súlyozási tényezőinek beállítására, de jelen esetben a gyári beállításokat használtam. Amennyiben módosítani szeretnénk a súlyozást a „*Target*” és a „*Leakage*” mezőkben tudjuk megadni a súlyozási tényezőket. A „*Target*” mezőben megadott érték a közönség terület súlyozása, a „*Leakage*” mezőben megadott érték pedig a közönség területén kívül eső szivárgás súlyozása. Az „*Allow Polish*” opció engedélyezi a szoftvernek, hogy egy második körben finom hangolja a splay szögeket az első próbálkozás

után. Ezt az opciót előnyös bekapcsolni, mivel a szoftver így pontosabb eredményt tud produkálni, ezért ezt a beállítást mindig használom. A „*Max Time*” mezőben megadhatjuk, hogy a szoftvernek mennyi idő álljon rendelkezésére az optimalizáció elvégzéséhez. Mivel a mai modern számítógépek olyan gyorsak, hogy a szoftver általában 1-2 perc alatt elvégzi az optimalizációt, ezért ezt az értéket nem szoktam módosítani. A „*Max Time*” mezőben megadott érték másodpercben értendő.



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

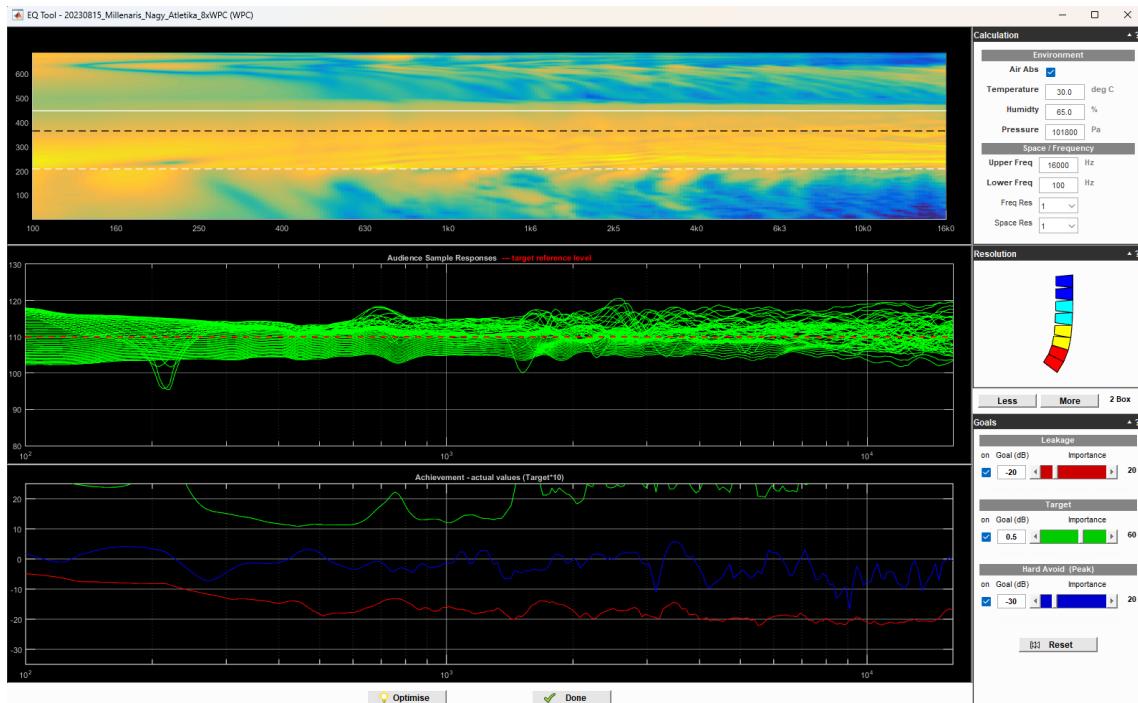
A következő lépés a „*Rig*” kezelőfelületen történik. Ez a felület elsősorban az eddig elkészített rendszerünket fogja megjeleníteni térben. Elsődleges beállítási paraméter ezen a panelen, hogy egy vagy két pontos rögzítést szeretnénk-e használni. Jelen esetben egy pontos rögzítést fogunk használni. Amennyiben valamilyen okból szeretnénk változtatni a rendszer fizikai elhelyezkedésén, még megtehetjük, de ez a lépés ezen a ponton már nem ajánlott. Bárminely 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 legsalsó pontjára. Ezeken az információkon kívül még a rendszer súlyát és sílypontját is megkapjuk. Esetünkben a teljes súly 289 gramm, amit a csarnok tartószerkezete biztonságosan elbír, valamint az egy tonnás emelőkapacitású láncos emelők is képesek biztonságosan emelni. A sílypont a rendszer relatíve közepén helyezkedik el, ami stabil függessztést tesz lehetővé. Ezek után a rendszert az említett paraméterek alapján össze építjük, figyelve az összes program által megadott információra.



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

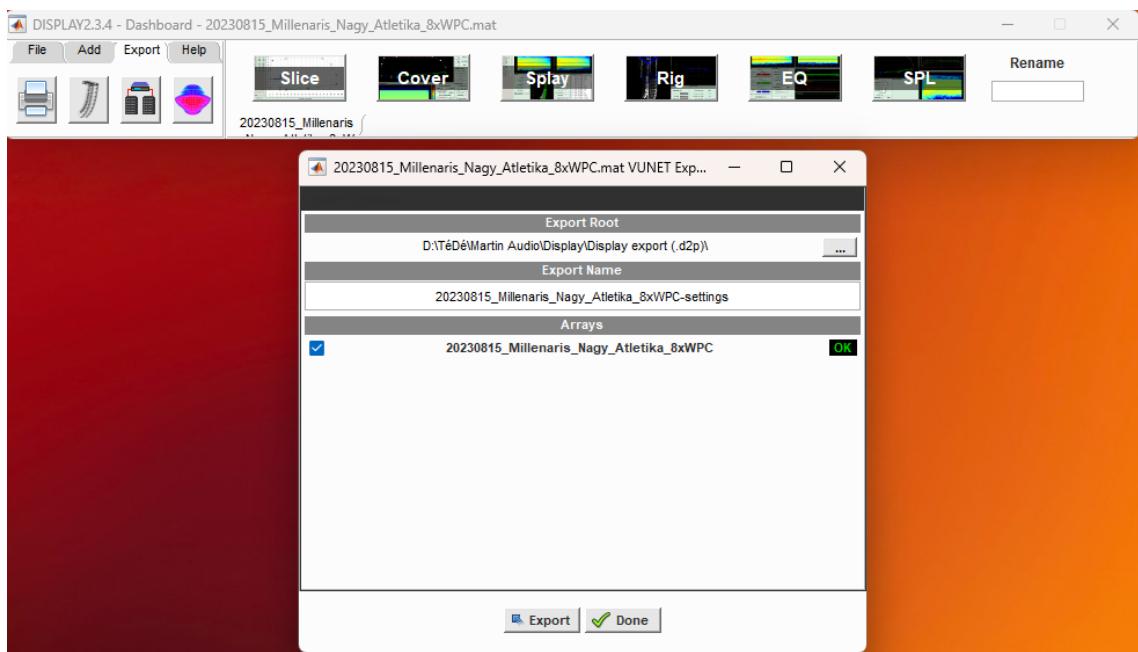
Az utolsó lépés mielőtt ki tudnánk menteni a tervezett rendszert, az a „EQ” kezelőfelületen történik. Ha a „Cover” kezelőfelületen már megadtuk a környezeti változókat, akkor ezt már nem kell újra megtennünk, mivel a szoftver automatikusan átveszi az ott megadott értékeket. Beállíthatjuk az alsó és felső 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 szeretné 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 rendszer összesen 3 darab iK42 végfokot fog igényelni, ami 12 darab végfokcsatornát jelent. A WPC rendszer csak iK42 végfokkal hajtható, a 8 csatornás iK81 végfokkal nem kompatibilis. Lehetőség van az optimalizációs algoritmus befolyásolására is, a három előbbiekben 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 eltérésekről.



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

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



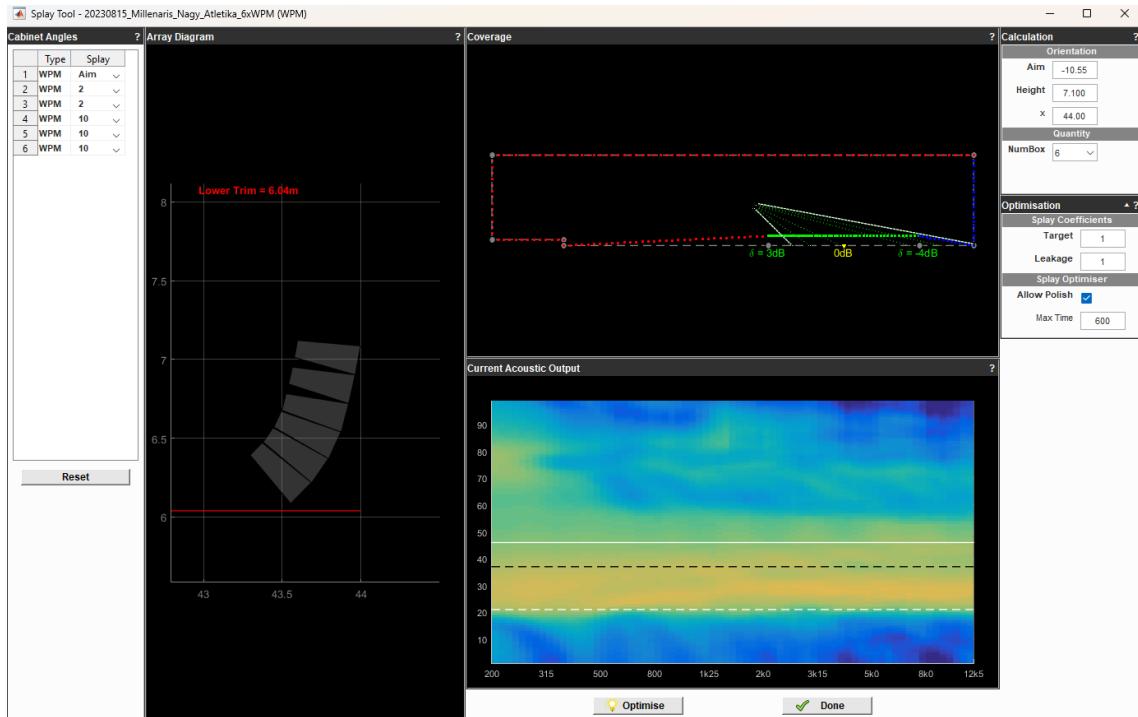
4.14. ábra. Display 2.3.4 b1 exportáló kezelőfelülete (WPC)

A fő hangrendszer megtervezése után a következő részegység aminek a tervét el kell készíteni, az a Delay hangrendszer. A Delay hangrendszer a fő hangrendszerrel együtt fog működni, és a közönségtér hátsó-közép részétől kezdve fogja kiegészíteni azt. Erre azért van szükség, mert a csarnokban a közönség ezen része olyan távolságra helyezkedik el, hogy a WPC rendszer már nem tudja a megfelelő hangnyomás szintet egyenletesen biztosítani. Ezt a feladatot a Wavefront Precision sorozatból a WPM típusú hangládák fogják ellátni, oldalanként 6-6 darab LineArray modullal. Ez a láda egy két utas passzív hangrendszer, 2 darab 6.5"-os mély hangszóróval (LF) és 3 darab 1.4"-es magas hangszóróval (HF). Maximálisan 130 dB hangnyomás szintet tud biztosítani, nagy előnye ennek a fajta rendszernek a súly-teljesítmény aránya, mivel egy darab láda mindössze 14 kilogramm. [9]



4.15. ábra. Martin Audio WPM LineArray modul

A tervezési fázisok nagy része megegyezik az előbbi rendszer tervezésével, ezért ezeket a részeket nem ismétlem meg. A hangsúlyt a eltérésekre helyezem, és azokat fogom részletezni. A fő különbség a „*Cover*” kezelőfelületen történik, ahol a „*Hard Avoid*” területet kell megjelölni. Ezen a rajzon már radikálisan szükség van erre a funkcióra, mivel a közönség területén kívül eső területen beton nagy felületek 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 lenne, ha egyesével hajtanánk a látákat, de a jelenlegi rendszerben hármasával fogom hajtani a látákat, mivel ez a legköltséghatékonyabb megoldás, és végeredményben így is kielégítő hangvisszaadást fog produkálni mint kiegészítő egység.



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

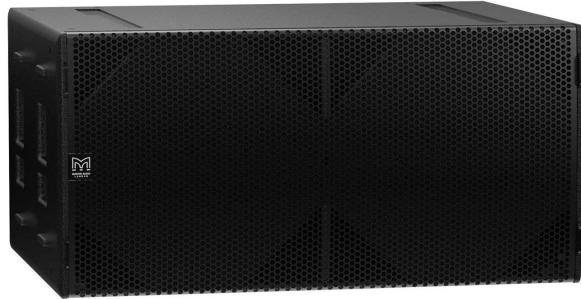
Az előbbiekben már tárgyalt exportáló felületen az összes többi optimalizációs lépést követően mentjük az elkészített tervet a WPC rendszerhez hasonlóan.

4.2.1.2. Martin Audio VU-NET rendszer szoftver [7]

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

4.2.1.3. Mélyláda rendszer

A mélyláda hangja hosszabb hullámhosszú, mint a többi komponensé, ezért az optimális helymeghatározásuk és elhelyezésük kulcsfontosságú a megfelelő hangzás érdekében. A rendszerben a Martin Audio SX218 típusú mélyládáit fogjuk használni. Ezek a ládák dupla 18"-os mély hangszórókkal vannak felszerelve, 2000W AES és 8000W csúcsteljesítményre képesek, és maximálisan 144 dB hangnyomás szintet tudnak biztosítani. [6]



4.17. ábra. Martin Audio SX218 mélyláda

A „SUB” tervezést egy általam készített Excel kalkulátor segítségével végzem el. Ez a táblázat egyesíti a Martin Audio és Merlin van Veen által készített kalkulátorokat (S.A.D), valamint kiegészítésre került további modulokkal és funkciókkal. [11] [5] A egy EndFire konfigurációs mélyláda elrendezést terveztem. (Egy EndFire Pack = két láda egymás előtt adott távolságra és késleltetési értékkel) A táblázatba megadhatjuk, hogy éppen helyileg hol van a rendezvény, és egy időjárás API segítségével megkapjuk az adott napra/napokra a teljes időjárás előrejelzést. Majd ezekből egy adott időintervallumra átlagolva megkapjuk az optimális értékeket a tervezéshez. A program kiszámolja, hogy milyen távolságra kell a ládákat helyezni egymástól előrefelé, valamint mekkora „delay” értéket kell alkalmazni. Majd az egyes EndFire Pack-ok egymáshoz képesti távolságot oldalirányban és azok közötti delay értéket is megkapjuk. A „SUB array”-t 63 Hz-re optimalizáltam, mivel ez az a frekvenciatartomány, ahol a mélyláda rendszer a legtöbb energiát tudja leadni.

4.2.2. Allen & Heath digitális keverőrendszer

A jelenlegi rendszer két keverőpultot fog tartalmazni, egyet a fő hangrendszerhez, és egyet a monitor rendszerhez. 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 rétegen 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 sztereómixek testreszabásával tudunk csoportokat is létrehozni. A konzolokon 8 sztereó effekt motort is megtalálunk, ezekbe a virtuális effekt processzorokba a pultokon 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. [10]



4.18. 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.



4.19. ábra. A&H SQ Dante kártya



4.20. ábra. A&H DT168 Dante stagebox

4.2.3. Shure ULXD digitális vezeték nélküli mikrofonrendszer

Manapság egy rendezvényen elengedhetetlen a vezeték nélküli mikrofonok használata.

4.2.4. Dante audio szerver

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

rendszer a beállított késleltetési értékek mellett is képes legyen késés nélkül a csatornák feldolgozására. Amennyiben nem sikerül a jelet a beállított időn belül produkálni, furcsa zavaró pattogó hangokat hallhatunk, vagy rosszabb esetben hangkimaradás is előfordulhat. Ezért fontos a megfelelő hardveres erőforrások biztosítása, és a pontos beállítások elvégzése. A példában szereplő rendszer kifogástalanul képes elvégezni a feladatát, és a beállított 1 ms-os késleltetési értéket is képes folyamatosan tartani.



4.21. ábra. Focusrite RedNet PCIe kártya

4.2.5. Dante hálózat kialakítása és optimalizálása

4.2.5.1. Dante Controller: Hálózati mátrix

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

4.2.5.2. Dante Controller: Eszköz nézet

Mielőtt neki állnánk konfigurálni az adott eszközt, fontos eldöntenünk, hogy milyen módon 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 láncolását teszi egyszerűbbé. Amennyiben a redundancia nem elsődleges szempont számunkra, nem kell minden egyes eszköz mögé switch, hanem a másodlagos RJ45 port direktbe köti az arra csatlakoztatott eszközt az elsődleges hálózatra. Így gyorsabban és költséghatékonyabban tudjuk kiépíteni a hálózatot, azonban a redundancia lehetősége megszűnik.

4.2.5.3. IP kiosztás

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

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

4.22. ábra. Dante eszközök IP címei a hálózaton

4.2.5.4. Dante Controller: Órajel nézet

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

4.3. Rendszermérések és monitorozás

4.3.1. Dante rendszer monitorozása

4.3.1.1. Dante Controller: Hálózati állapot nézet

4.3.1.2. Dante Controller: Események nézet

4.3.2. Cardioid mélyláda 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 9.2.1' verzió. Első lépéssben a számítógéphez csatlakoztatott hangkártyát kell konfigurálni, hogy el tudjunk kezdeni méréseket végezni. Jelen esetben a hangkártya egy 'Focusrite Scarlett 2i2' típusú interfész lesz, ami egy USB-s csatlakozással kapcsolódik a géphez. A mérőmikrofon egy 'XYZ' típusú mérőmikrofon lesz, ami XLR csatlakozóval kapcsolódik a hangkártyához, valamit a hangkártya kimeneti csatornája szintén XLR csatlakozással kapcsolódik a már részletesebben bemutatott Allen & Heath SQ-6 digitális keverőrendszerhez. Az első mérés amit végezni fogok a rendszeren a mélyláda rendszer mérése lesz. 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.

4.3.3. Mélyláda és Line Array fázishelyesség

Mivel a mélyláda rendszer és a Main PA egymástól egy adott távolságra vannak, fontos, hogy a két rendszer fázishelyes legyen.

4.3.4. Rendszer hangnyomás szint és frekvencia átvitel mérése

5. fejezet

Üzemeltetési tapasztalatok és továbbfejlesztési lehetőségek

5.1. Üzemeltetési tapasztalatok

A megvalósított rendszer üzemeltetése a tervezett módon történt. A rendszer tökéletesen megfelelt a kitett elvárásoknak, és üzemeltetése során nem tapasztaltunk semmilyen rendellenességet. A teljesítménye és megbízhatósága is megfelelőnek bizonyult, nem voltak csomagvesztések a hálózaton, egyetlen egyszer sem kellett a másodlagos redundáns hálózatra váltani, nem fordultak elő kiugró késések, minden eszköz bőven a beállított buffer méretben belül maradt. minden komponens megfelelően végezte a rá bízott feladatot, és a rendszer stabilan kihagyás nélkül működött a teljes üzemiidő alatt.

5.2. Továbbfejlesztési lehetőségek

5.2.1. További eszközök integrálása

A Dante networking keresztrendszer lehetővé teszi a rendszer folyamatos bővítését a hálózati limitációk megfelelő kezelésével. A rendszer bővítésekor figyelembe kell venni a még rendelkezésre álló, a sávszélességet és a késleltetést mértékét. Amennyiben tarjuk magunkat ezekhez a paraméterekhez, a rendszer 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 a rendszer bővítésekor a már meglévő hangrendszerünket több végfokkal hajtva tovább növeljük a rendszer teljesítőképességét. A korábbiakban már említett felbontás növelés javítja a rendszer hangminőségét, frekvenciafelbontását és az adott területen való pontosabb hanglemezszintet. Ebből kifolyólag nagy fejlesztés lehet a jövőben a rendszer egy lánchid felbontásra való kibővítése. 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 a rendszer teljesítményét és a maximálisan lefedhető területet.



5.1. ábra. Martin Audio WPL LineArray modul

Amennyiben egy sokkal nagyobb rendezvényről van szó, és a jelenlegi rendszerünk már nem tudná lefedni a területet, akkor a rendszer bővítése mellett egy nagyobb szériás LineArray rendszer beszerzése is szükséges lehet. A Martin Audio WPL sorozatú ládái 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 rendszer. A WPM szériás ládák pedig delayként szolgálnának a terület hátsó részén. Viszont az említett teljes rendszerbővítésnek jelentős költségei vannak, így a rendszer bővítése előtt alaposan mérlegelni kell, hogy valóban szükséges-e a rendszer bővítése, megtérül-e a befektetés hosszabb távon.

Ha a megrendelő igényli, akkor a rendszerhez különböző rögzítő eszközökkel is beszerezhetünk. Lehetőségünk van megfelelő rögzítővel akár sávonként felvételt készíteni a koncertekről, amelyeket később visszahallgathatunk, vagy akár további feldolgozásra is továbbíthatunk. Emellett persze érdemes az élőben készült fő mix-et is rögzíteni a biztonság kedvéért.

Ha a jövőben több vezeték nélküli mikrofonra is szükségünk lenne, akkor a rendszer bővítése során érdemes lehet nagyobb vezeték nélküli mikrofon rendszert is beszerezni. A jelenlegi rendszert a Shure Axient Digital sorozatú rendszerekkel lehetne bővíteni, amelyek kiváló minőségű vezeték nélküli mikrofonokat kínálnak, és a Dante hálózaton keresztül könnyen integrálhatóak a már meglévő rendszerbe. Ez a rendszer is jelentős költségekkel jár, így a bővítés előtt alaposan mérlegelni kell, hogy valóban szükséges-e a rendszer bővítése.

5.2.2. Bővítés nagyobb interfészre

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 elegendők, 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 jöhetsznek szóba. Ezek a keverők már kaphatóak 128x128-as Dante interfésszel is, így megnövelte 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.



5.2. ábra. Allen & Heath dLive S7000 keverőpult

Köszönetnyilvánítás

Ábrák jegyzéke

3.1.	Audinate Dante logó	7
3.2.	A kapcsolati eltolás meghatározza a késleltetést [1]	9
3.3.	Fáziskohärenz azonos kapcsolati eltolással [1]	9
3.4.	Host A	13
3.5.	Host B	13
3.6.	Host C	13
3.7.	Az OSI modell	14
3.8.	Audinate Dante fantázia ábra	19
3.9.	Kapcsolt mód	20
3.10.	Redundáns mód	20
3.11.	Dante órajel	21
3.12.	Digital Snake és Pont-pont közötti (P2P) kapcsolatok	22
3.13.	Dante hálózati megoldás	22
4.1.	Martin Audio iK42 végfok	25
4.2.	Martin Audio iK81 végfok	25
4.3.	Hagyományos analóg kábelezés [2]	25
4.4.	Dante digitális kábelezés [2]	26
4.5.	E-mail a Martin Audio vezető szoftvermérnökétől	27
4.6.	Martin Audio WPC LineArray modul	27
4.7.	Display 2.3.4 b1 kezdőképernyője (WPC)	28
4.8.	Display 2.3.4 b1 fő kezelőfelülete (WPC)	28
4.9.	Display 2.3.4 b1 „Slice” kezelőfelülete (WPC)	29
4.10.	Display 2.3.4 b1 „Cover” kezelőfelülete (WPC)	30
4.11.	Display 2.3.4 b1 „Splay” kezelőfelülete (WPC)	31
4.12.	Display 2.3.4 b1 „Rig” kezelőfelülete (WPC)	32
4.13.	Display 2.3.4 b1 „EQ” kezelőfelülete (WPC)	33
4.14.	Display 2.3.4 b1 exportáló kezelőfelülete (WPC)	33
4.15.	Martin Audio WPM LineArray modul	34
4.16.	Display 2.3.4 b1 „Splay” kezelőfelülete (WPM)	35
4.17.	Martin Audio SX218 mélyláda	36
4.18.	Allen & Heath SQ-6 digitális keverőpult	37
4.19.	A&H SQ Dante kártya	37
4.20.	A&H DT168 Dante stagebox	37
4.21.	Focusrite RedNet PCIe kártya	38
4.22.	Dante eszközök IP címei a hálózaton	39
5.1.	Martin Audio WPL LineArray modul	41
5.2.	Allen & Heath dLive S7000 keverőpult	42

Táblázatok jegyzéke

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] Audinate: Application diagrams for dante systems.
URL https://my.audinate.com/sites/default/files/Live_Performance_Touring_Venue_Audio_System_Diagrams_Dante.pdf. Accessed on: 2024.02.25.
- [3] Martin Audio: *Display v2.3 USER GUIDE v1.5*. URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/Display-2.3-User-Guide-v1.5.pdf>. Accessed on: 2024.01.04.
- [4] Martin Audio: *iKON Amplifier User Guide*. URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/iKON-Amplifier-User%20Guide.pdf>. Accessed on: 2024.01.04.
- [5] Martin Audio: Subwoofer calculator.
URL <https://martin-audio.com/support/subwoofer-calculator>. Accessed on: 2024.01.08.
- [6] Martin Audio: *SX Subwoofer User Guide*. URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/SX-Subwoofer-User-Guide.pdf>. Accessed on: 2024.01.04.
- [7] Martin Audio: *VU-NET 2.2 User Guide v4.7*. URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/VU-NET%202.2%20User%20Guide%20v4.7.pdf>. Accessed on: 2024.01.04.
- [8] Martin Audio: *WPC User Guide*.
URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/WPC-User-Guide.pdf>. Accessed on: 2024.01.04.
- [9] Martin Audio: *WPM User Guide*.
URL <https://martin-audio.com/downloads/userguides/WPM-User-Guide.pdf>. Accessed on: 2024.01.04.
- [10] Allen & Heath: Sq series.
URL <https://www.allen-heath.com/hardware/sq>. Accessed on: 2024.01.08.
- [11] Merlijn van Veen: Calculators.
URL <https://www.merlijnvaneen.nl/en/calculators>. Accessed on: 2024.01.08.

Függelék