

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 tanszékvezető által aláírt lapot kell belefűzni (ezen oldal *helyett*, ez az oldal csak útmutatás).

Nyilatkozat

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

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

Győr, 2024. szeptember 11.

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
1.2. Téma választás	2
2. Audio over IP rendszerek bemutatása	4
2.1. Bevezetés az Audio over IP világába	4
2.1.1. Előnyök és hátrányok	6
2.1.2. Fázishelyesség	6
2.1.3. Szinkronizáció	8
2.1.3.1. Jitter kompenzáció	8
2.1.3.2. Késleltetés mérése	9
2.1.4. Mintavételi frekvencia és bitmélység	9
2.1.5. Késleltetés	10
2.1.6. IP-címek és maszkok	10
2.2. IP-cím hozzárendelési módszerek	11
2.2.1. Hálózati topológiák	13
2.2.2. Unicast és Multicast	14
2.2.3. Eszköz- és Adatfolyam-felfedezés	15
2.2.4. Redundancia	15
2.2.4.1. Spanning Tree Protocol (STP)	15
2.2.4.2. Link Aggregáció	16
2.2.4.3. Adatfolyam redundancia	16
2.3. AES67	16
2.4. Audinate Dante	17
2.4.1. A Dante hálózatok áttekintése	17
2.4.2. Dante hálózatok technikai részletei	17
2.4.2.1. Több mintavételi ráta és bitmélység	18
2.4.2.2. Hálózati topológiák	18
2.4.2.3. Késleltetés	19
2.4.2.4. Órajel	19
2.4.3. Összehasonlítás a hagyományos hangrendserekkel	20
2.4.4. Firmware frissítés	21
2.4.5. Chipek	21
3. Rendszertervezés és telepítés elő környezetben	23
3.1. Követelmények	23
3.2. Rendszerterv	23
3.2.1. Martin Audio Wavefront Precision hangrendszer	25
3.2.1.1. Martin Audio Display 2.3.4 b1 tervező szoftver [3]	25
3.2.1.2. Martin Audio VU-NET rendszer szoftver [7]	34
3.2.1.3. Mélyláda rendszer	36

3.2.2.	Allen & Heath digitális keverőrendszer	37
3.2.3.	Dante audio szerver	38
3.2.4.	Dante hálózat kialakítása és optimalizálása	38
3.2.4.1.	Dante Controller	38
3.2.4.2.	IP kiosztás	39
3.2.5.	Dante rendszer monitorozása	40
3.2.6.	A rendszer mérése	40
3.2.7.	A rendszer monitorozása	41
4.	Üzemeltetési tapasztalatok és továbbfejlesztési lehetőségek	43
4.1.	Üzemeltetési tapasztalatok	43
4.2.	Továbbfejlesztési lehetőségek	43
4.2.1.	További eszközök integrálása	43
4.2.1.1.	Shure Axient Digital rendszer	44
4.2.2.	Bővítés nagyobb interfészre	44
Köszönnetnyilvánítás		46
Ábrák jegyzéke		49
Táblázatok jegyzéke		49
Irodalomjegyzék		49
Függelék		51

1. fejezet

Bevezetés

1.1. A kezdetek

Kisgyermek koromtól kezdve érdekelnek a hangtechnikához fűződő eszközök és azok elméleti-gyakorlati működése. Első élményeim egyike közé tartozik az, amikor szüleim egy új fajta rádiólejátszót vásároltak otthonra, amelyen már nem csak a rádióadásokat lehetett hallgatni, hanem lejátszhatóak voltak kazetták is. A készüléket akkoriban jobban tudtam kezelní gyermekként, mint a szüleim, egyértelmű volt már akkoriban is, a technika és a zene iránti érdeklődésem.

Ezek után általános iskolában a fizika tanárommal együtt kezdtük el a sulirádió működtetését, amelynek a telepítési részében is részt vetttem. Korábban az egyszerű klasszikus csengők voltak felszerelve az épületben. Szükség volt hangsugárzókra, erősítőkre, mikrofonokra, és egyéb kiegészítőkre. A rádió működtetése is az én feladatom lett két barátommal együtt, az iskolával kapcsolatos híreket és információkat mondta be röviden a szünetekben, hosszabb szünetekben pedig zenéket is 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. Előbbiekbén említett tanárommal ugyanis korábban nem csak a sulirádiót működtettük, hanem az összes sulibulit és helyi rendezvényt mi szolgáltuk ki technikailag. Mikor már középiskolába jártam, egy feltörekvő fiatalos és modern gondolkodású magánvállalkozáshoz ajánlottak be engem, ahol fiatal és motivált munkaerőt kerestek.

Már az első munkalehetőségnél éreztem, hogy ez egy nagyon jó lehetőség lehet a számomra, mindenki szeretné ebben a szakmában tevékenykedni. A cég fő profilja a hangrendszerek rendezvényekre való kiépítése és üzemeltetése volt, de későbbiekben bővült a portfólió és már fénytechnikával és színpadtechnikával is el kezdett foglalkozni. Ettől a ponttól kezdve kezdtem el aktívan dolgozni a rendezvényiparban és a hangrendszerek világában. Az évek során egyre több tapasztalatot szereztem. Évente több mint száz rendezvényen tudtam folyamatosan fejlődni, rutint és ismeretséget szerezni a szakmában.

1.2. Téma választás

A hangrendszerek világa az elmúlt évtizedekben nagy változásokon ment keresztül. A digitális technika térhódítása a hangtechnikában is megjelent, és egyre több fajta új

megközelítés jelent meg a piacon. Ezekből a fejlesztésekben mi sem szerettünk volna kimaradni, hogy hangtechnikai apparátusunk korszerű és versenyképes maradjon.

Ekkor jött a fejlesztési ötlet, egy olyan rendszert tervezni, amely teljes mértékben digitális alapokra helyezi a jelenlegi hibrid megoldásunkat. A cégevezetőtől azt a feladatot kaptam mint leendő informatikus mérnök, hogy tervezzék egy olyan rendszert, amely megoldja a jelenlegi hibrid rendszerünk teljes digitális megoldásra való átállását. Az alapvető szempontok közé tartozott, hogy a rendszer legyen könnyen skálázható, bővíthető, valamint a jelenlegi rendszert minden tekintetben műlja felül.

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

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

2. fejezet

Audio over IP rendszerek bemutatása

2.1. Bevezetés az Audio over IP világába

A 1990-es évek végén a szakmai hangipar jelentős elmozduláson ment keresztül, amikor a pont-pont digitális átvitel formátumokról, mint az AES/EBU és a MADI, áttért az IP-alapú szabványokra, például az AES67-re. Ez a csomag alapú hálózati megoldás jelentős rugalmasságot és kibővített vezérlési valamint monitorozási képességeket biztosít a hangrendszerek számára. Lehetővé teszi, hogy egy már meglévő telepítés későbbi szoftverkonfigurációkkal és frissítésekkel alkalmazkodóvá és bővíthetővé váljon. A gyártók ezen felül új funkciókkal is kiegészíthetik a meglévő eszközöket különböző esetekben.

Az IP-alapú megközelítésnek köszönhetően a jelutak már nem kötődnek szoros kapcsolatban a fizikai kábelekhez; a jelátviteli utak bármikor egyszerű egérkattintásokkal módosíthatók, elkerülve a fizikai átrendezést vagy dedikált audio útválasztó hardverek szükségességét. A csomagorientált átvitel természeténél fogva az audiojelek automatikusan eljutnak a kívánt helyre az IT hálózaton keresztül.

Az első sikeres audio-over-Ethernet hálózatmegoldásként általában a Cirrus Logic által 1996-ban bevezetett CobraNetet tartják számon. Számos audio telepítés alapját képezi, beleértve kongresszusi központokat, színházakat, koncerttermeket, repülőtereket és vidámparkokat. Bár a CobraNet még ma is széles körben alkalmazott, magas késleltetési problémái és korlátos mérethatékonyisége miatt nem ideális választás élő hangrendszerek, stúdiófelvételek és rádió létesítmények számára.

Körülbelül tíz évvel később az ausztrál Audinate cég által kifejlesztett Dante, amely a „Digital Audio Network Through Ethernet” rövidítése, új szintre emelte az audio-over-IP technológiákat. A Dante számos jelentős előnyvel rendelkezik az első generációs technológiákhoz képest, beleértve a jobb használhatóságot és a magasabb kompatibilitást a szabványos hálózati infrastruktúrákkal. A Dante hatalmas hardveres ökoszisztemára épít, amely több ezer eszközt tartalmaz, különböző gyártóktól.

A Dante domináns pozícióját megelőzően az AVB (Audio Video Bridging) nevű technológia körüli várakozások is jelentősek voltak. Az AVB technológiát más iparágak, mint például az autóipar és az ipari automatizálás is átvették, és általánosabb néven ismerték el, mivel nem csupán hang- és videóalkalmazásokhoz kapcsolódik. Az AVB-t a gyártók fejlesztőcsoportja, az AVnu Alliance, időérzékeny hálózat (TSN - Time Sensitive Network) néven ismerte el.

Ezt követően a Milan munkacsoport, amely audio/video gyártókból álló konzorcium, kidolgozott egy finomhangolt specifikációt a professzionális audio/video rendszerek

számára, amely Milan néven ismert. Ez a specifikus TSN verzió az audio/video szolgáltatók közötti interoperabilitásra összpontosít.

Az IP-alapú hálózatokra való átállás az analóg hangról digitális hangra való áttéréssel vonható párhuzamba. Az átmeneti időszakban kezdetben csupán néhány telepítés használta az új technológiát, ami kezdetben problémákat okozhatott a kezelés vagy a megbízhatóság terén, összehasonlítva a hagyományos, régebbi megoldásokkal. Ezek a problémák azonban a technológia fejlődésével fokozatosan megszűnnek.

Az IT hálózatok működése több szempontból eltér a hagyományos audio útválasztási módszerektől. Először is, a standard IT hálózatok nem úgy vannak kialakítva, hogy szigorú időzítési követelményeket teljesítsenek, amelyek az audio alkalmazások esetében jellemzőek. Egy hálózati környezetben az adatcsomagok útját más csomagok is akadályozhatják, ami jelentős időbeli eltéréseket okozhat az érkezési időben. Ezzel szemben a hagyományos audio kábelek esetében az adatok továbbításának időzítése nem változik meg a kábel mentén.

Másodszor, az IT alkalmazásoknál egy csomag elvesztése általában elfogadható, mivel az elveszett adatcsomagokat automatikusan újraküldik. Az audio alkalmazásokban azonban a késleltetés minimalizálása érdekében elengedhetetlen, hogy a csomagok első alkalommal a megfelelő helyre érkezzenek, mivel nincs elegendő idő az újraküldéshez. Ha néhány csomag elveszik, az azonnali megszakításokat és kimaradásokat okozhat, amelyek hallhatóak.

A csomagvesztés egyik gyakori oka a hálózati linkek túlterheltsége, illetve a túl alacsony pufferméret. Az audiohálózatokat úgy kell tervezni, hogy elegendő sávszélesség álljon rendelkezésre minden felhasználó számára egyidejű használat esetén is. Amennyiben ez a feltétel teljesül, és a csomagkiszállítás időben történik, ahogy az audio alkalmazások megkívánják, a hálózat elméletileg hosszú távon stabilan működhet.

Mindezek ellenére célszerű a hálózatot túlbiztosítani úgy, hogy minden csomag időben megérkezzen, elkerülve a további finomítások szükségeségét a kapcsolók konfigurációjában. Ez konkrétan azt jelenti, hogy olyan IT hálózatokat kell kialakítani, amelyek elegendő sávszélességgel rendelkeznek és kizárolag audio alkalmazások számára vannak fenntartva, elkerülve, hogy azok általános minden nap alkalmazásokkal keveredjenek.

Az audio-over-IP technológiák többsége azon alapfeltevésre épít, hogy a háttérben működő hálózat megbízhatóan teljesít. Ez magában foglalja a csomagvesztés teljes hiányát és a súlyos csomagütközések elkerülését a kapcsoló hardveren. Bizonyos hálózatokban, különösen olyan esetekben, amikor az audio forgalmat más típusú forgalommal, például internetes bongészéssel kombinálják, kiemelt jelentőséggel bírhat az audio és szinkronizációs csomagok elsőbbségi kezelése. Ennek célja, hogy az audio adatok zavartalanul érkezzenek meg, minimalizálva a késleltetést és biztosítva a megfelelő szinkronizációt. Ezt a funkciót a legtöbb modern kereskedelmi forgalomban elérhető kapcsoló támogatja.

Példa audio over IP hálózatokra:

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



2.1. ábra. Audinate Dante logó

2.1.1. Előnyök és hátrányok

Az IT hálózatok alkalmazása hangkapcsolatokra nézve számos előnyt kínál:

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

Ugyanakkor az audio-over-IP hálózatok felhasználói számos kihívás előtt állnak:

- Azért mert általában több hangmintát egy csatornából egy csomagba helyeznek el a hatékonyság érdekében, adott minimális késleltetés adódik, mivel az küldőnek meg kell várnia, hogy a hangminták rendelkezésre álljanak, mielőtt azokat átküldené a hálózaton. Ez a késleltetés általában magasabb, mint a pont-pont digitális hangszabványok esetében, de optimalizált csomagformátumok és hálózati beállítások segítségével minimalizálható és nagyon jól közelíthető.
- Mivel az IT hálózatok nem meghatározottak a csomagok út idejét tekintve, egy biztonsági tartományt, azaz egy audio buffer-t kell beszúrni a fogadó végén. Ez a buffer további késleltetést eredményez. Minél kevesebb csomagütközés van jelen a hálózatban, annál inkább csökkenthető ez a biztonsági tartomány és ezzel a késleltetés.
- Az audio csomagformátumok változatossága miatt növekszik a komplexitás, ami azt jelenti, hogy a fogadóknak és küldőknek azonos beállításokkal kell rendelkezniük. Az audio-over-IP technológia komplexitása jelentősen magasabb, mint az előző technológiáké. Az iparág még mindig jelentős munkát végez annak érdekében, hogy csökkentse ezt a komplexitást a felhasználók számára, bevezetve intelligens és felhasználóbarát szoftvermegoldásokat az audiohálózatok kezelésére.

2.1.2. Fázishelyesség

Az audio alkalmazások esetében kritikus jelentőségű a több eszköz szinkronizált működése, különösen a mikrofonok és hangszórók közötti fázispontosság biztosítása. Amennyiben egy erősítőhöz több hangszóró csatlakozik, és az összes csatorna egyetlen hangcsomagban érkezik, nincs veszélye annak, hogy a csatornák egymással ellentétes fázisban működjenek, mivel a hangminták az átvitel során nem változnak el egymáshoz képest.

Azonban a modern alkalmazásokban, ahol több erősítő és processzor függetlenül kap hangcsomagokat, továbbra is szükség van arra, hogy az audiojeleket pontos fázispontossággal reprodukálják. Ennek érdekében az audio csomagokat több hálózati eszköz is fogadhatja, pufferelheti és azonos időben kell lejátszania őket.

Mivel az IT hálózatok nem rendelkeznek szigorú időirásokkal a csomagok továbbításának és megérkezésének időpontjára vonatkozóan, az audiohálózatoknak szinkronizációs megoldásokat kell alkalmazniuk. Ez új kihívást jelent az audio-over-IP technológiák számára, amelyet minden ilyen rendszernek kezelnie kell.

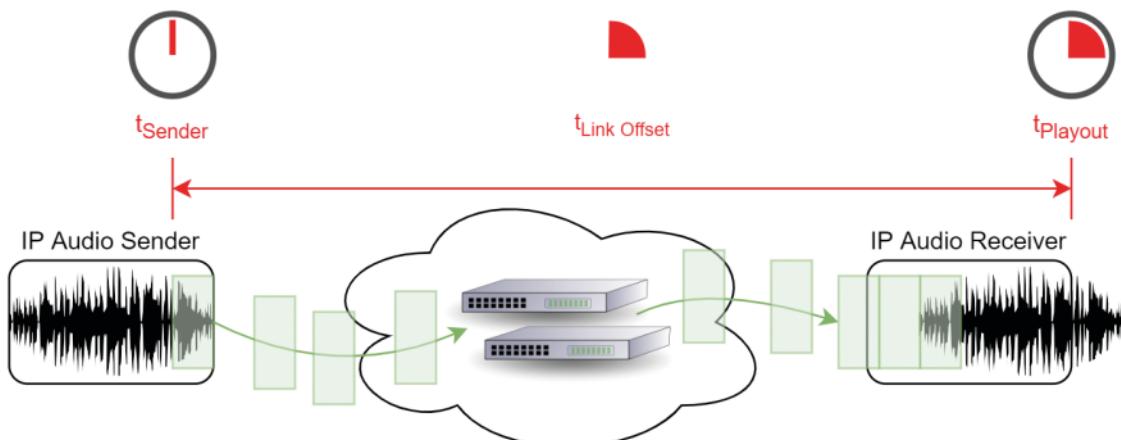
Az audiohálózaton belül minden eszköznek pontosan szinkronizált állapotban kell lennie a Precision Time Protocol (PTP) szabvány szerint. Ez azt jelenti, hogy az eszközök belső órái (PTP követők) egy referenciaórából (PTP vezető) származnak. A referenciaóra lehet bármelyik audioeszköz, amely támogatja ezt a funkciót, vagy egy kifejezetten erre a céllra tervezett készülék, amely pontos PTP órát biztosít. A vezető eszköz felhasználói beállítások vagy automatizmus választja ki. minden eszköz, legyen az audio adó vagy vevő, végső soron az adott időhöz való pontos szinkronizációt követeli meg.

A hangcsomag küldési időpontját időbényegzővel látják el. A felhasználó egy állandó időeltolást, úgynevezett linkeltolást, állít be az összes vevőnél. Amikor egy csomag megérkezik egy vevőhöz, a pufferben tárolódik, amíg le nem játszik. Így az audio lejátszási időpontja a küldési idő és a linkeltolás összegeként határozható meg.

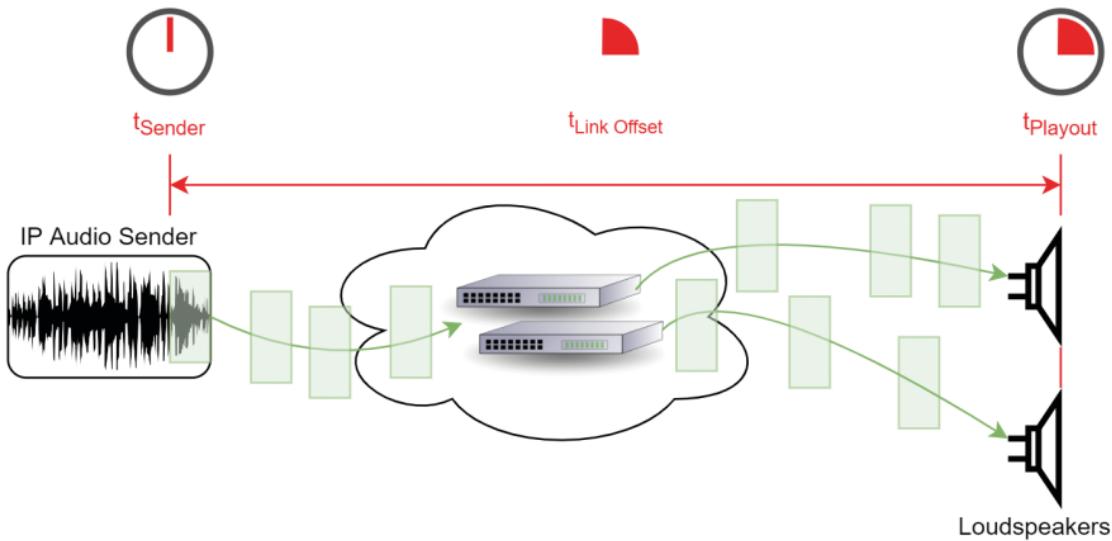
Minden vevő két feltétel mellett érheti el egymás között a fázispontosságot:

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

A linkeltolást az érintett összes kapcsolat legrosszabb esetű késleltetése alapján kell meghatározni. Javasolt, hogy a váratlan csomagkiszállítási idők eltérései miatt egy kis engedményt is beiktassunk, ami azt jelenti, hogy valamivel hosszabb időt kell biztosítani az átlagos csomagfeldolgozási időnél. Ez a megközelítés széles körben elterjedt, és jelenleg minden audiohálózati szabványban alkalmazásra kerül.



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



2.3. ábra. Fáziskoherencia azonos kapcsolati eltolással [1]

2.1.3. Szinkronizáció

Az IP-alapú küldők és fogadók szinkronizációja elengedhetetlen az alacsony késleltetéssel történő működéshez. A hagyományos audio technológiákban az eszközök szinkronizálása külön *word clock* kapcsolatokkal vagy szinkronizált audioformátumokkal, például AES/EBU vagy MADI révén történt.

A fogadók közvetlenül ki tudják nyerni a frekvenciát és a fázist az ilyen formátumokból, mivel ezek biztosítanak egy *impulzust*, amely jelzi, amikor egy audio minta létrejön vagy lejátszódik, például az analóg-digitális konverterek esetében. A PTP csomagok kis méretűek, és nem jelentős forgalmat generálnak, de elengedhetetlen, hogy a kapcsolók a lehető legmagasabb prioritással továbbítsák őket. Ez végső soron növeli a szinkronizáció pontosságát.

A QoS (Quality of Service) keretein belül a PTP csomagokat a hangadatoknál is magasabb prioritással kell kezelni. Az összes hálózati eszközöt a Precision Time Protocol (PTP) segítségével szinkronizálják ugyanazon naptári időpontra. Az időreferencia egy olyan eszköztől származik, amelyet óraleadernek neveznek, míg az ehhez igazodó eszközöket óra követőknek hívják.

Minden eszköznek generálnia kell a kívánt hagyományos órát az abszolút időből, amelyet a PTP-n keresztül kapott. Ez a belső óra a *médiaóra*. Ha a gyártó megfelelően implementálja, minden eszköz médiaórájának pontosan ugyanannak kell lennie frekvencia és fázis tekintetében. A magas pontosság technikailag elérhető, de kihívást jelent az audio gyártók számára. Ennek megfelelően a PTP szinkronizált eszközök közötti fázispontosság minőségtől függően változhat. Elfogadható eltérésnek tekinthető, ha az kisebb mint 1 μ s (1 mikroszekundum).

Mivel az IT hálózatok nem rendelkeznek kellő determinisztikus jellemzőkkel a csomagok kézbesítésének időpontját illetően, a készülékek pontos szinkronizációja kifinomult megközelítést igényel. A PTP követők feladata két hatás kompenzációja, amelyek bármilyen hálózati környezetben előfordulhatnak:

2.1.3.1. Jitter kompenzáció

A PTP vezető által megadott jelenlegi időt a szinkronizációs üzenetekben az összes követő egy ismert multicast címen (224.0.1.129) keresztül kapja. A hálózati környezetből

adódóan az információ nem mindenkor érkezik állandó késleltetéssel a vevőkhöz. Ez a jelenség csomag jitter vagy csomag késleltetési változás (PDV) néven ismert, amelyet minden PTP követőnek kompenzálnia kell. Az audio hálózatok általában 1-8 üzenet/mp szinkronizálási arányt használnak, ahol a nyolc üzenet csak kompatibilitás céljából ajánlott.

2.1.3.2. Késleltetés mérése

A követők egyik kulcsfontosságú feladata a csomagkésleltetés mérése a vezető és a követő között, hogy korrigálják a szinkronizációs üzenetek időpontját. Ehhez pontos időmérés szükséges, amely megmutatja, mennyi időbe telik egy csomag átvitele a hálózaton. Ez a mérés tartalmazza a kábelek és kapcsolók késleltetését is. A kábelhossz és a kapcsolók száma nem lényeges, csak a végső késleltetés. A PTP időnek az összes követő között nanoszekundum pontossággal ugyanannak kell lennie.

A PTP rendszerek számára alapvető, hogy a késleltetés mindenkor irányban állandó és szimmetrikus maradjon: a vezetőtől a követőig és vissza. A késleltetést a követő két üzenet cseréjével méri: a késleltetési kérés és a késleltetési válasz révén. Ezt általában a szinkronizálási aránnyal azonos gyakorisággal végezik.

A hálózaton több eszköz is képes lehet PTP vezetőként működni, ezért a szabvány szabályokat határozzott meg a vezető kiválasztására. Ezt a szabályt a Best Master Clock Algorithm (BMCA) néven ismerjük, amely a Legjobb Mesteróra Algoritmus.

Minden vezetőképes eszköz képes bejelentő üzeneteket küldeni a prioritásairól és az oszcillátor pontosságáról. Ezenkívül figyelnie kell a többi eszköz bejelentő üzeneteire is. Ha egy másik eszköz jobb minőséget képvisel, az eszköz leállítja vezetőként való bejelentkezését. Ellenkező esetben rendszeresen küldi saját üzeneteit, mintegy *szívverésként* jelezve aktív állapotát.

Ezeket az üzeneteket az announce intervallumnak nevezett időközönként küldik el. A bejelentő üzenetek *szívverésként* szolgálnak, jelezve, hogy a jelenlegi mester még működőképes. Ha a kapcsolat megszakad, az összes egység vár egy bizonyos időt (bejelentő időtúllépés), amíg elküldik bejelentő üzeneteiket, majd újra végrehajtják a kiválasztási folyamatot. A vezetőváltás idején a követőknek folytatniuk kell saját oszcillátoruk működését, az audio lejátszás megszakítása nélkül.

A bejelentő üzenetekben szereplő minőség két beállítható értéket tartalmaz: prioritás 1 és prioritás 2. Mindkettő értéke 0 és 255 között változhat, ahol a 0 a legjobb. Ha egy prioritás 1 érték kisebb egy eszközön, mint a többi eszközön, az lesz a vezető. A prioritás 2 csak akkor fontos, ha a prioritás 1 értékek megegyeznek több eszközön. Ez előfordulhat két azonos típusú eszköz esetén, ahol a felhasználó ugyanazt az értéket állította be a prioritás 1-hez. Ebben az esetben a prioritás 2 határozza meg a fő vezetőt és a tartalékokat.

Fontos megjegyezni, hogy néhány eszköz nem kínál lehetőséget a felhasználó számára ezen értékek megadására. Ezek az eszközök a *Preférált Vezető* megjelöléssel rendelkeznek, amely rögzített értéket használ bejelentő üzeneteikben, amit a gyártó határoz meg. Ennek ellenére lehet, hogy egy alacsonyabb értéket megadva egy másik PTP vezető felülbírálik ezt a típusú eszközt. Néhány eszköz támogatja a *Csak Követő* beállítást is, amely lehetővé teszi, hogy az eszköz soha ne próbálja átvenni a vezetői szerepet a PTP hálózaton.

2.1.4. Mintavételi frekvencia és bitmélység

Az audio over IP rendszerek optimális működéséhez kulcsfontosságú a megfelelő mintavételi frekvencia és bitmélység kiválasztása. E paraméterek jelentős hatással vannak az audio minőségre és a hálózati teljesítményre. Fontos figyelembe venni az átviteli kapacitást, valamint az eszközök maximális mintavételi frekvenciáját és bitmélységét. Ha a hálózat nem képes biztosítani a szükséges sávszélességet, az instabilitást,

hangkimaradást vagy a hálózat teljes összeomlását okozhatja. Az audio rendszerekben gyakran alkalmazott 48 kHz-es mintavételi frekvencia széles hangsávot biztosít és kompatibilis a számos professzionális hangtechnikai alkalmazással. Az utóbbi időben egyre szélesebb körben elterjedt a 96 kHz-es mintavételi frekvencia, amely nagyobb részletességet és jobb hangminőséget nyújt, viszont nagyobb sávszélességet igényel. A sávszélesség kiszámításához az alábbi képlet használható:

$$\text{Sávszélesség igény} = \text{Mintavételi Frekvencia} \times \text{BitMélység} \times \text{Csatornák Száma} \quad (2.1)$$

E formulával gyorsan meghatározhatjuk a szükséges sávszélességet. Például egy 64x64 csatornás rendszer, 96 kHz-es mintavételi frekvenciával és 24 bites bitmélysséggel a következő sávszélességet igényli:

$$96000 \times 24 \times 64 \times 2 = 294912000 \text{ bit/s} = 294,912 \text{ Mbit/s}(\text{nyers adatfolyam}) \quad (2.2)$$

A hálózat tervezésekor minden szükséges némi tartalék, ezért a korábban említett 30 százalékos túlméretezést érdemes gyakorlatban is alkalmazni. Így a fenti példa alapján a szükséges sávszélesség:

$$294912000 \text{ bit/s} \times 1.3 = 383385600 \text{ bit/s} = 383,386 \text{ Mbit/s}(\text{teljes sávszélesség}) \quad (2.3)$$

E számítások alapján egy 1 Gbit/s (1000 Mbit/s) sávszélességű hálózat elegendő a rendszer zavartalan működéséhez, feltéve hogy az audio adatok kezelésére van dedikálva. A bitmélység határozza meg a digitális hangminőséget, és az adatok pontosságát. Az audio over IP területén jellemzően 16 vagy 24 bitmélyiséggű rendszerek terjedtek el, de a Dante rendszerek támogatják a 32 bites bitmélyiséget is. A 16 bites reprezentáció elegendő lehet olyan alkalmazásokhoz, ahol a dinamikatartomány nem kritikus, míg a 24 bites felbontás pontosabb és részletesebb hangátvitelt biztosít, ideális zenei stúdiókban és élőzenei környezetekben. A 32 bites bitmélység a legmagasabb minőséget nyújtja, de nagyobb sávszélességet igényel, így főként professzionális stúdiókban alkalmazzák. Általában azonban a 24 bites bitmélység bőven megfelel az elvárásoknak.

2.1.5. Késleltetés

Ha egy csomag például 1 ms hanganyagot tartalmaz, a kapcsolat késleltetése minden nagyobb lesz, mint 1 ms. A küldőnek először 1 ms hangot kell pufferennie, mielőtt az adatokat csomagba rendezi és elküldi. Ezt követően a csomag hálózati utazása az összes kapcsolóval, mielőtt végül a fogadó eszköz pufferébe érkezne, további késleltetést eredményez.

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

A gyakorlatban a *link offset* kifejezés azonos a késleltetés fogalmával. A felhasználó feladata, hogy olyan link offsetet válasszon, amely elegendő a fogadó puffer folyamatos telítettségének biztosítására, így elkerülhetők a hangkimaradások.

2.1.6. IP-címek és maszkok

Hálózati környezetben minden eszköznek egyedi címre van szüksége, hogy a csomagok célba érhessenek, és elkerülhetők legyenek a csomagütközések. Ez a cím lehet hardverrel kapcsolatos (MAC-cím) vagy konfigurálható (IP-cím).

2.2. IP-cím hozzárendelési módszerek

Az IP-címek hozzárendelése három módszer egyikével történhet:

- **Kézi beállítás:** Ez a módszer dokumentációt és felhasználói figyelmet igényel annak érdekében, hogy egy adott IP-címet csak egyszer használjanak egy hálózaton belül. Állandó telepítések esetén előnyös lehet, mivel könnyen nyomon követhető az IP-címek kiosztásának struktúrája.
- **DHCP szerver általi hozzárendelés:** Ez a rugalmas és strukturált módszer az IP-címek kiosztására a hálózaton belül. Egy eszköz „DHCP módban” próbálja megtalálni a DHCP szervert, és automatikusan beszerzi a szükséges IP-konfigurációkat. Az adminisztrátor beállíthatja a DHCP szervert úgy, hogy csak bizonyos IP-cím-tartományokat oszt ki, míg másokat kézi rendelésre tartalékol.
- **Önkiosztás:** Ezt a mechanizmust *Zeroconfig* néven is ismerjük. Kisebb telepítések esetén használható, mivel az összes eszköz ugyanabban az alhálózatban van, és nem csatlakozhat más alhálózatokhoz.

Egy eszköz IP-címének információja nehezen nyerhető ki, ha az nem jelenik meg kijelzőn. Annak megállapítása, hogy két IP-cím azonos alhálózatba tartozik-e, csak az alhálózati maszkok ellenőrzésével lehetséges. Ha a cél-IP-cím nem ugyanabban az alhálózatban van, a csomagot a router IP-címére kell irányítani, nem közvetlenül a fogadó eszközhöz. Két eszköz ugyanabban az alhálózatban használhat hasonló IP-címeket, csupán az utolsó számjegyek eltérőek. Az alhálózati maszk ‘0’-s számjegyei jelzik a hálózati és hoszcímek szétválasztását. A hálózati címkét az alhálózati maszk ‘0’-nál nagyobb értéke jelzi, míg a hoszcím a maradék rész, ahol az alhálózati maszk ‘0’-t jelöl.

Host A

	Network Address	Host Address
IP address	192.168.020.079	
Subnet mask	255.255.255.000	

Host B

	Network Address	Host Address
IP address	192.168.020.182	
Subnet mask	255.255.255.000	

2.4. ábra. Host A

2.5. ábra. Host B

Host A és Host B ugyanazon alhálózatba tartoznak, mivel azonos hálózati címkét használnak (192.168.020). Az IP-cím hálózati része az a rész, ahol az alhálózati maszk 255-ös értéket mutat. E két eszköz között router nem szükséges.

Host C

	Network Address	Host Address
IP address	192.168.134.061	
Subnet mask	255.255.255.000	

2.6. ábra. Host C

Host C eltérő alhálózatban található, mint Host A és B, mivel a hálózati cím (192.168.134) eltér a többi eszköz címétől (192.168.020). Host C nem tud csomagokat

cserélni A és B eszközökkel router nélkül. Az eszköz kommunikációjához más IP-címet kell kapnia, például 192.168.134... címet, vagy más alhálózati maszkot kell használni, például 255.255.0.0.

Az alhálózati maszkok decimális jelölése dot-decimális formátumú. Az alternatív módszer, a CIDR vagy perjeljelölés rövidebben reprezentálja az alhálózati maszkot, a perjel után megadva az alhálózati maszk bitjeinek számát. Ez a jelölés az alhálózati maszk bináris formáját tükrözi, ahol a '255' érték a '11111111' binárisnak felel meg. Az előző példákban az alhálózati maszkok bináris formájukban 24 '1'-et tartalmaznak.

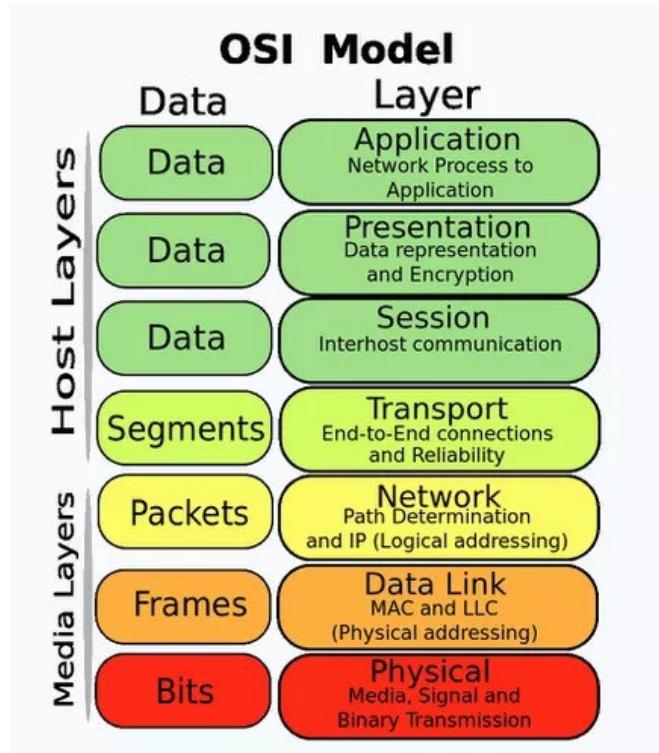
A fenti példában szereplő hosztok CIDR jelölése:

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

A routerek használata és az alhálózatok összekapcsolása a hálózati rendszerek OSI modelljének harmadik rétegén alapul. Az OSI modell hét rétegre osztja a hálózati funkciókat, mindegyik réteg egy specifikus funkcionálitás halmazt ír elő a hálózati eszközöknél. Főként a csomagok célba juttatásáról van szó, ahol az eszközök a megfelelő címzett felé továbbítják az adatokat.

A modern informatikai eszközök ezt a jól definiált absztrakciós rétegmodellt követik, hogy biztosítsák az interoperabilitást a különböző gyártók között. Az OSI modell harmadik rétegén működő rendszerek képesek az IP-címek és alhálózati maszkok kezelésére, ami lehetővé teszi a csomagok alhálózatok közötti továbbítását. Az ilyen technológiák mindegyike ezen alapelvek szerint működik. Ezzel szemben léteznek olyan technológiák is, amelyek kizárolag a második réteg szintjén működnek.

Ezek a technológiák csak MAC-címek alapján képesek a csomagok továbbítására, alhálózati információk nélkül. Ennek következtében a második rétegű hálózatok nem oszthatók több alhálózatra, a csomagok nem továbbíthatók routerek által, így a skálázhatóságuk jelentősen korlátozott. Példaként említhetjük a már ismertetett TSN/Milan és CobraNet hálózati megoldásokat, amelyek a második réteg technológiákat alkalmazzák.



2.7. ábra. Az OSI modell

Az alhálózatok a hálózaton belüli logikai szegmensek, amelyek különböző indokok miatt jönnek létre, például adminisztratív és biztonsági okokból. A routerek lehetőséget biztosítanak az alhálózatok közötti összekapcsolásra, lehetővé téve ezzel a hosztok számára, hogy csomagokat cseréljenek anélkül, hogy elhagynák az alhálózati határokat. Fontos, hogy a hálózati útvonalak helyesen legyenek konfigurálva az alhálózatok közötti kommunikáció biztosítása érdekében. Ezzel szemben a klasszikus kapcsolók nem rendelkeznek azzal a képességgel, hogy az alhálózatokat összekapcsolják.

A virtuális LAN (VLAN) létrehozása egy alternatív módszert jelent a hálózat szegmentálására. Ez a megközelítés növeli a rendszer rugalmasságát és csökkenti a nem szükséges kommunikációt a nem kapcsolódó rendszerek között. A VLAN-ok nem csupán az alhálózatoknál biztonságosabb módszert nyújtanak a hosztok elválasztására, hanem további biztonsági előnyöket is biztosítanak.

2.2.1. Hálózati topológiák

A csomópontok összekapcsolási módjai eltérőek lehetnek, és a hálózat tervezésekor a topológia kiválasztása az egyik legfontosabb döntés. A csillag topológia számos szempontból előnyös megoldásnak bizonyul. Ebben a konfigurációban több hoszt csatlakozik egy központi útválasztó eszközhez, például kapcsolóhoz vagy routerhez. A mai modern hálózatok gyakran két szintű csillag topológiát alkalmaznak, amelyet gerinc/levél architektúráként is ismerünk. A központi kapcsoló vagy router (gerinc) általában nagyobb forgalmat kezel, mint a perifériális kapcsoló (levél). Ha a gerinc és a levél közötti nagy sávszélességű kapcsolat nem képes egyszerre kezelni az összes hoszt forgalmát, akkor ez a tervezési forma blokkolóvá válhat. Ezzel szemben egy nem blokkoló hálózattervezés esetén a nagy sávszélességű kapcsolatok képesek kezelni az összes csatlakoztatott hoszt teljes forgalmát. A gyűrű topológia esetében a csomópontok közötti kapcsolatok száma általában legalább kettő, és minden kapcsolat teljes sávszélességet biztosít. A csomópontok feladata,

hogy továbbítsák a csomagokat a gyűrűn belül, így minden csomópont olyan szerepet tölt be, mint egy kapcsoló, amely a csomagokat két interfész között továbbítja. A gyűrű topológia gyakran megfelelő választás lehet nagy távolságok áthaladására, különösen akkor, ha a kapcsolatok költségesek. Gyakorlati példák közé tartoznak a különböző helyszínek közötti hálózatok, valamint olyan eszközök csatlakoztatása, ahol nincs hely további kapcsolók számára. A gyűrű topológiák beépített redundanciát nyújtanak, lehetővé téve az eszközök elérését még akkor is, ha egy kapcsolat megszakad. A megfelelő hálózati kialakításhoz elengedhetetlenek a nem blokkoló kapcsolók is. A nem blokkoló architektúra azt jelenti, hogy a kapcsoló nem jelenti a szűk keresztmetszetet, így képes kezelni az összes rá táplált forgalmat, ahol csupán a port sebessége képezheti a korlátot.

2.2.2. Unicast és Multicast

Amikor egy eszköz adatcsomagot küld egy másik eszköznek, unicast módszert alkalmaz. Ez a kommunikációs forma egyetlen küldőt és egyetlen fogadót jelent. Az unicast kapcsolatok gyakran a Transmission Control Protocol (TCP) révén történnek, ahol a fogadó minden egyes csomag sikeres átvételéről visszaigazolást küld a küldőnek. Ha a visszaigazolás nem érkezik meg, a küldő automatikusan újraküldi a csomagot. Alternatívaként az User Datagram Protocol (UDP) használata is lehetséges, ahol a küldő feltételezi, hogy a csomagok sikeresen eljutnak a fogadóhoz. Ebben az esetben nincs visszaigazolás, és ha a csomagok elvesznek, az adatok is elvesznek. Ez az UDP megbízhatatlanságát jelenti? Valójában nem, csupán más alkalmazási esetre van optimalizálva. Bár meglepő lehet, de az UDP gyakran preferált az audio hálózatokban, ahol az alacsony késleltetés elengedhetetlen. Az újraküldés időigényes lenne, ami növelné az általános késleltetést. Elő audio esetén a legjobb megoldás az, ha folytatjuk a következő minták lejátszását anélkül, hogy próbálnánk helyreállítani az elveszett adatokat. A kezelhető switchek és végpontok képesek naplózni a csomagvesztéseket, lehetővé téve ezzel a hálózat állapotának monitorozását.

Az audio alkalmazások gyakran igénylik, hogy egy audio jel párhuzamosan több helyen is megjelenjen, például egy mikrofonjel esetében, amelyet egyszerre továbbítanak a front-of-house és a monitoring keverőpultokhoz, esetleg egy harmadik helyre is, mint például egy felvétő eszköz. Ha a küldő unicast módban továbbítja a csomagokat, az audio jel három különböző csomagban érkezik meg, azonos tartalommal, de eltérő címekkel. Ez felesleges processzor terhelést okoz a küldő eszköz számára, és több sávszélességet is igénybe vesz. Az optimalizálás érdekében a multicast módszer alkalmazása javasolt, amely csökkenti a küldő eszközeinek processzor terhelését és a hálózati forgalmat. A multicast címekre történő címzés lehetővé teszi, hogy a küldő csupán egyszer helyezze el az audio adatokat egy csomagban, és azt egy multicast címre küldje. A vevőknek csak annyit kell tudniuk, hogy mely multicast címre akarnak figyelni. A multicast címek nem kapcsolódnak alhálózatokhoz vagy IP-címekhez, így a multicast csomagok áthaladnak az alhálózatokon, ha nem vannak VLAN-akkal elkülönítve.

Ha a hálózat nem kizárálag audio jelek továbbítására van kialakítva, lehetnek olyan eszközök is, amelyek nem kapcsolódnak az audiohoz. Ezért fontos, hogy a multicast forgalom csak az érdeklődő hosztokhoz jusson el. Ezt az IGMP snooping (Internet Group Management Protocol) segítségével érhetjük el. Az audio hálózati technológiák általában támogatják az IGMP snooping-ot. Ha a kapcsolóban aktiválva van, akkor a multicast csomagok csak azokon az interfészeken kerülnek továbbításra, ahol a csatlakoztatott hosztok IGMP kéréseket küldenek. Ha nincs ilyen kérés, a multicast leáll, elkerülve a felesleges forgalmat. Az IGMP snoopingot egy zsíliphez hasonlíthatjuk, amely alapértelmezés szerint zárva van, és csak kérésre nyílik meg. Erősen ajánlott az IGMP snooping aktiválása minden kapcsolóban egy multicast hálózatban. Fontos azonban, hogy csak egy aktív IGMP Querier lehet a hálózatban, mivel az összes többi kapcsoló tőle

kapja az információkat. Ha nincs aktív IGMP Querier, a multicast továbbítása broadcast formájában történhet, ami jelentős felesleges forgalmat eredményezhet.

Összefoglalva, a unicast a legjobb késleltetési teljesítményt nyújtja, és a kapcsolók számára a legkönnyebben kezelhető. Ezzel szemben a multicast jobb sávszélesség-kezelést biztosít, különösen amikor a csatornaszám és a sávszélesség növekszik.

2.2.3. Eszköz- és Adatfolyam-felfedezés

Az AES67 audió szabvány nem tartalmaz specifikációt arra vonatkozóan, hogyan ismerhetik fel egymást a hálózati eszközök, illetve mely adatfolyamok állnak rendelkezésre a hálózaton. A rendelkezésre álló technológiák közül mindegyik a Bonjour vagy mDNS mechanizmust alkalmazza az eszközök értesítésére. minden eszköz fix multicast címet (224.0.0.251) használ, amelyre üzeneteket küld, hogy a többi eszköz értesüljön a hálózaton belüli jelenlétéiről. Ennek a mechanizmusnak az egyik korlátja, hogy nem működik hatékonyan nagyobb telepítések esetén, ahol több alhálózat vagy VLAN van jelen. Az ilyen helyzetek kezelésére a gyártók saját megoldásokat dolgoztak ki (például Audinate Dante Domain Manager) vagy követik az audio/video NMOS szabványt a felismerés és a kapcsolatkezelés terén. Az audio adatfolyamok felfedezését a gyártótól függően két mechanizmus egyikével valósítják meg. Az eszközök felfedezéséhez hasonlóan minden esetben előre meghatározott multicast címet alkalmaznak az adatfolyam-információk terjesztésére, hogy a címzettek rátaláljanak az elérhető adatfolyamokra és azok paramétereire:

- Session Announcement Protocol (SAP) - minden Dante termék használja (Multicast cím: 239.255.255.255)
 - Bonjour / mDNS - minden más technológia alkalmazza (Multicast cím: 224.0.0.251)

Szerencsére a legtöbb modern termék lehetővé teszi mindenki protokoll egyidejű aktiválását, így egy adott audio adatfolyam párhuzamosan bejelenthető mindenki mechanizmuson keresztüli.

2.2.4. Redundancia

Az audiohálózatok korai időszakaiban néhány felhasználó kétségekkel tekintett az IT hardverek megbízhatóságára. Annak ellenére, hogy az IT-berendezések széleskörű alkalmazása során gyakran bizonyították megbízhatóságukat, és sok esetben még a hagyományos audioberendezéseknel is jobb teljesítményt nyújtanak, továbbra is fontos a redundancia biztosítása. Az IT-hálózati komponensek általában több diagnosztikai eszköz kínálnak, amelyek lehetővé teszik a hibák gyors felismerését és kezelését.

2.2.4.1. Spanning Tree Protocol (STP)

Amikor a kapcsolókat úgy konfigurálják, hogy hurkot alkossanak, fennáll a veszélye annak, hogy a csomagok végtelen ciklusban keringenek a hurokban. Ezt a problémát a hálózati hardver automatikusan őszeli az STP (Spanning Tree Protocol) segítségével. Az STP a hurok detektálása esetén automatikusan letilt egy kapcsolatot. Az STP nemcsak a hurok jelenség kezelésére használható, hanem a véletlenszerű kapcsolatvesztések, például kábelvágások esetén is nyújt védelmet.

A mechanizmus szándékosan hoz létre hurkokat, majd, ha egy kábel véletlenül kiesik, a rendszer gyorsan észleli ezt, és aktiválja a passzív kapcsolatot. Ez a folyamat néhány másodperces audio megszakítást eredményezhet, azonban ez még mindig jelentősen

gyorsabb, mint a manuális hibaelhárítás és új kábel telepítése. Az STP alapértelmezetten engedélyezett a legtöbb rendszerben. Enélkül broadcast "viharok" keletkeznének, amelyek jelentős sávszélesség-veszteséget és hálózati túlterhelést okoznának.

2.2.4.2. Link Aggregáció

Ha egy kapcsolat különösen kritikus egy telepítés során, akkor két vagy több kábelt párhuzamosan lehet csatlakoztatni a megbízhatóság növelése érdekében. A link aggregáció elsődleges célja a sávszélesség növelése két kapcsoló között. Ezen kívül költséghatékony megoldást nyújt a kapcsolat véletlen leválasztása vagy kábelvágás esetén. Például egy színpad, amely egy keverőhöz csatlakozik, gyakran alkalmazza ezt a megközelítést. A kapcsolóknak minden két végén azonos konfigurációra van szükség: két vagy több interfész Link Aggregációs Csoportként kell kijelölni, amelyek egyetlen interfésként jelennek meg a kapcsolóban. Gyakorlatban a link aggregáció segíthet csökkenteni a kábelproblémákat. Az egyszerűsége miatt a felhasználónak csak egy további kábelt kell biztosítania és konfigurálnia kell a kapcsolókat minden oldalon. Azonban a kábel leválasztása esetén az audioátvitel néhány másodpercig megszakadhat, mielőtt a kapcsoló aktiválja az alternatív kapcsolatot.

2.2.4.3. Adatfolyam redundancia

A legbiztonságosabb, de legdrágább módja a redundancia biztosításának egy hálózatban az, ha két teljesen független audiohálózatot építenek ki, amely két különálló utat biztosít a küldő és a fogadó között. Ebben a konfigurációban minden csomópontnak két hálózati interfész kell rendelkezésre bocsátania. A küldő két azonos audio tartalommal rendelkező csomagot generál, minden két interfészre azonos PTP-időbelyeget alkalmaz, majd elküldi minden hálózaton keresztül. A fogadó végén minden interfész csomagot fogadják és feldolgozzák. Még ha az egyik csomag elveszik is, a megmaradt csomag tartalmazza az összes szükséges információt, és biztosítja az audio zavartalan folytatását. Ez a mechanizmus az egyetlen módja a véletlenszerű csomagvesztés kompenzációjának anélküli, hogy a küldőtől újraküldés által késleltetést okozna a rendszerben.

2.3. AES67

Az AES67 szabvány szerint minden eszköznek teljesítenie kell a következő alapvető követelményeket:

- Unicast és multicast kommunikáció támogatása
- UDP/RTP protokollok alkalmazása
- DSCP címkék beállítása előírt értékekre, QoS támogatás
- Nincs előírt automatikus eszköz- és adatfolyam-felfedezés
- PTPv2 szabvány használata az időszinkronizációhoz
- PTP profil: Standard (a gyakorlatban a Dante magasabb szinkronizációs rátát igényel)
- Küldőknek SDP fájlt kell generálniuk
- A fogadóknak képesnek kell lenniük SDP fájlok értelmezésére

- A fogadóknak legalább 3 ms hangpufferrel kell rendelkezniük
- Adatfolyam formátumok
- 1-8 csatorna (a küldő választhat fix számot, a fogadóknak viszont rugalmasnak kell lenniük)
- 24 bites és 16 bites felbontás (a küldő választ, de a fogadóknak mindenkorral kezelniük kell)
- 48 kHz mintavételi frekvencia, 1 ms csomagidő (48 mintával)
- Multicast címek: 239.0.0.0 és 239.255.255.255 között

A szabvány további paramétereket és értékeket is tartalmaz, azonban ezek nem tartoznak a fent említett minimális követelmények közé.

2.4. Audinate Dante

2.4.1. A Dante hálózatok áttekintése

A 2020-2021-es Covid-19 járvány során lehetőségem volt részt venni egy átfogó Dante kurzuson, amelyet a Dante technológia fejlesztője, az Audinate szervezett. A kurzus részletes betekintést nyújtott a Dante hálózatok működésébe. E fejezetben a belső oktatóanyagokat fogom felhasználni, amelyeket a kurzus alatt kaptam. Ezek a dokumentumok csak a kurzus résztvevői számára elérhetők, így konkrét dokumentumként nem publikálhatók. Ebből következően ezen írásokat konkrét hivatkozások nélkül fogom felhasználni, mivel hivatkozásuk nem lehetséges. Viszont fontos megjegyezni, hogy a fejezetben szereplő ábrák és információk az Audinate tulajdonát képezik.

A Dante hanghálózatok digitális hangátviteli technológiát képviselnek, amely lehetővé teszi a hang elosztását és irányítását szabványos Ethernet hálózatokon keresztül. Az ausztrál Audinate vállalat által kifejlesztett Dante technológia az IP hálózatokat használja a magas minőségű, alacsony késleltetésű hangátvitelhez az eszközök között. Ez a rendszer nagyobb rugalmasságot és skálázhatóságot biztosít a hagyományos analóg hangrendszerhez képest, valamint lehetővé teszi a hangrendszer integrálását meglévő IT infrastruktúrába. A Dante hanghálózatok széles körben alkalmazottak, beleértve a koncerthangosítást, rádiózást, stúdiófelvételeket, vállalati környezeteket és konferenciaközpontokat. A technológia több hangformátumot és mintavételi rátát támogat, és akár több száz hangcsatorna egyidejű átvitelét is lehetővé teszi egyetlen hálózaton keresztül. Emellett a Dante rendszerek távolról vezérelhetők és monitorozhatók, amely megkönnyíti a komplex hangrendszer beállítását és kezelését.

2.4.2. Dante hálózatok technikai részletei

A Dante hanghálózatok két fő komponensből állnak: Dante eszközökből és Dante hálózatokból. A Dante eszközök olyan hangszerök, amelyeket kifejezetten a Dante protokollohoz terveztek, mint például hangkártyák, erősítők és hangládák. 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 szoftverrel tudjuk az eszközöket távoli vezérléssel elérni és monitorozni 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.

2.4.2.1. 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 tudja alakítani.

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

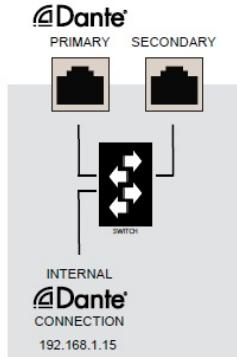
Amint a példában látszik, 32 bites hangból úgy kaptunk 24 bites hangot, hogy egyszerűen csak elhagytuk az utolsó 8 bitet. Ez a folyamat visszafelé is működik, ha 24 bites hangot kell 32 bites hanggá alakítani, akkor az utolsó 8 bitet 0-val kell feltölteni.

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

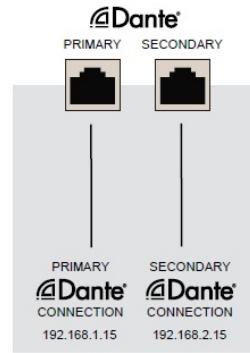
Mintavételezési frekvencia eltérést csak abban az esetben tudja kezelni, ha a bitmélység is eltérő. Amennyiben a bitmélység azonos, de a mintavételezési frekvencia eltérő, akkor a rendszer nem képes a hangot továbbítani. Ez a mechanizmus egy egyszerű mechanikai példával jól megérhető és leírható. Tegyük fel van két fogaskereünk. 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.

2.4.2.2. 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.



2.8. ábra. Kapcsolt mód



2.9. 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 redundáns 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.

2.4.2.3. Késleltetés

A késleltetés az az idő, amely szükséges egy 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:

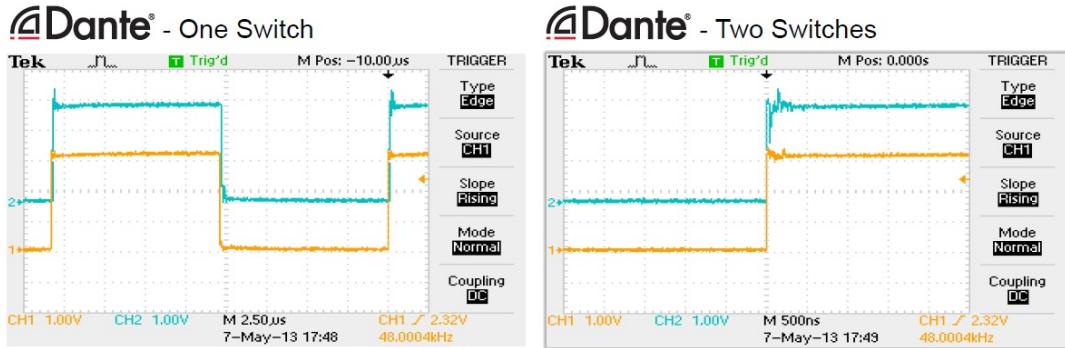
$$1 \text{ másodperc} = 1000 \text{ milli másodperc}, \quad \text{azaz} \quad 1 \text{ ms} = 0.001 \text{ s} \quad (2.4)$$

$$1 \text{ másodperc} = 1000000 \text{ mikro másodperc}, \quad \text{azaz} \quad 1\mu\text{s} = 0.000001 \text{ s} \quad (2.5)$$

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.

2.4.2.4. 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 kéréseket (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.



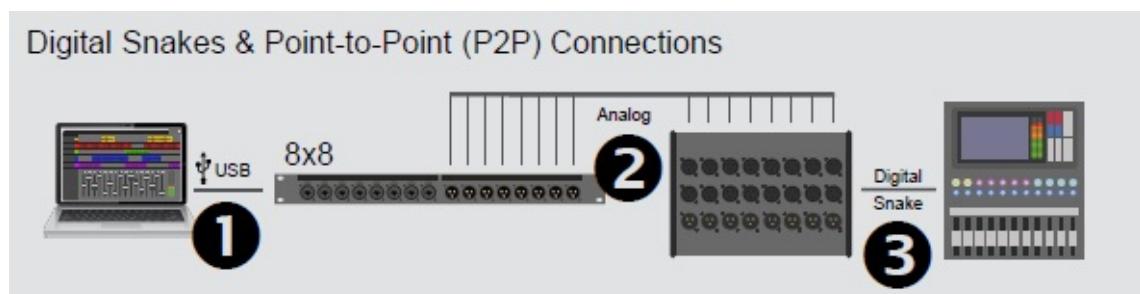
2.10. ábra. Dante órajel

2.4.3. 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, 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 hangjelek, amelyeket az Ethernet hálózatokon továbbítanak, minimális minőségyeszteséggel juthatnak el nagy távolságokra.

2.1. 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



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



2.12. ábra. Dante hálózati megoldás

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

2.4.4. Firmware frissítés

A Dante eszközök rendelkeznek Dante Firmware és Eszköz Firmware-el. Lehet, hogy minden eszközön frissíteni kell. Kérjük, forduljon a gyártóhoz a párosított verziókért. 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 frissítésekről. 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.

2.4.5. 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 eszközöket 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

3. fejezet

Rendszertervezés és telepítés előkörnyezetben

3.1. 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.

3.2. 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 rackben 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 jellel ellátni, így a hagyományos analóg XLR, vagy AES kábelezés helyett két CAT5E kábelkellett (a redundancia miatt) tudjuk a végfokokat a hálózatra kötni.



iKON

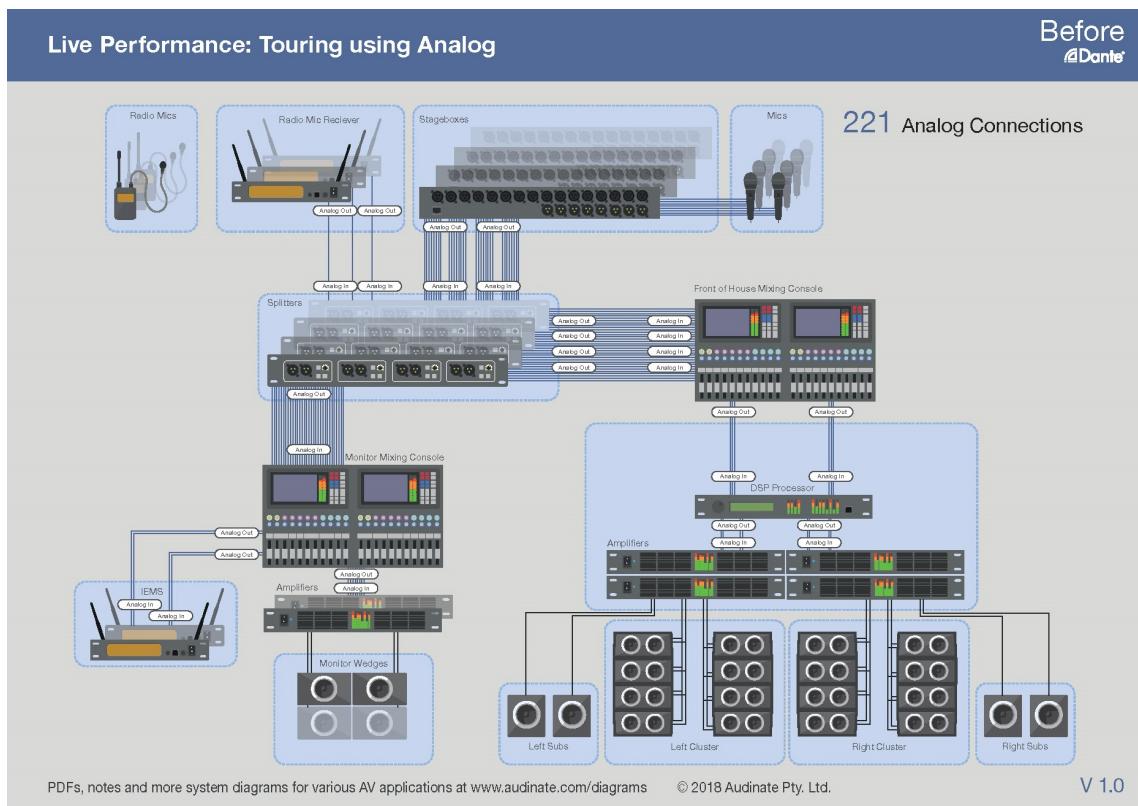
3.1. ábra. Martin Audio iK42 végfok



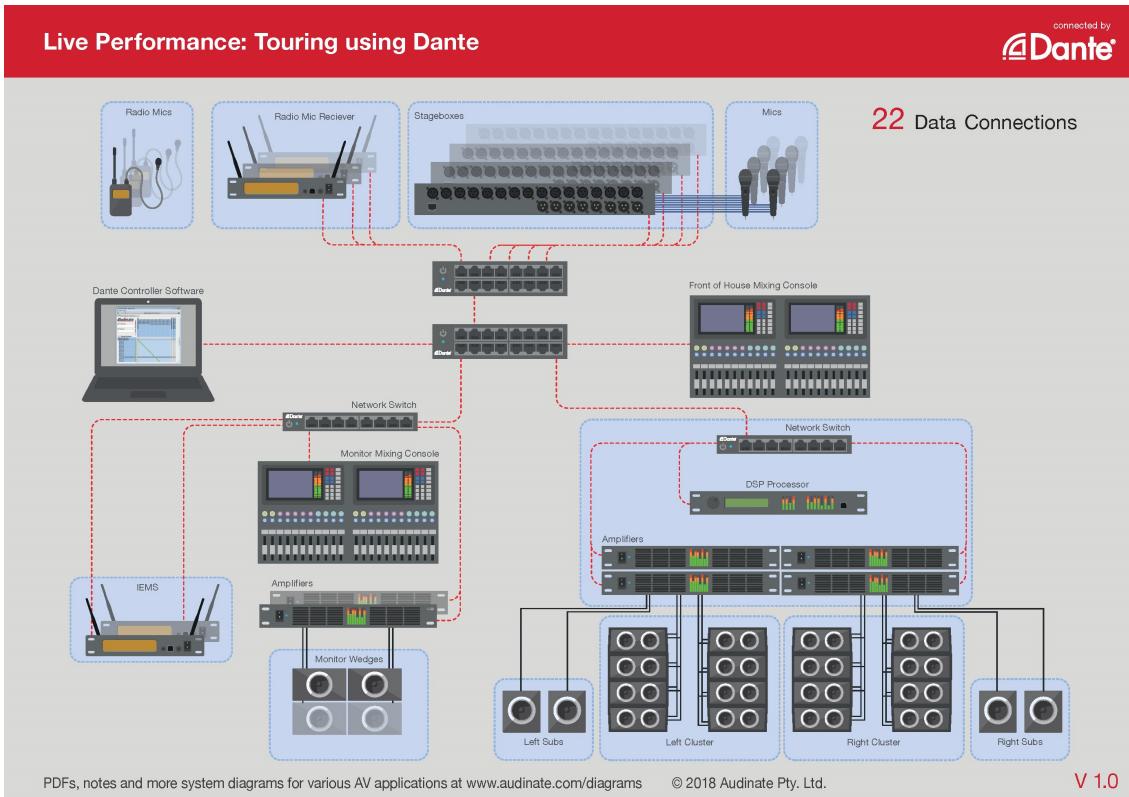
iKON

3.2. 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 végfokrackingben 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 elkülnöítve, 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. Tehát összefoglalva három egymástól teljesen elkülönített hálózatot fogunk kiépíteni a rendszer kiszolgálására.



3.3. ábra. Hagyományos analóg kábelezés [2]



3.4. ábra. Dante digitális kábelezés [2]

3.2.1. Martin Audio Wavefront Precision hangrendszer

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

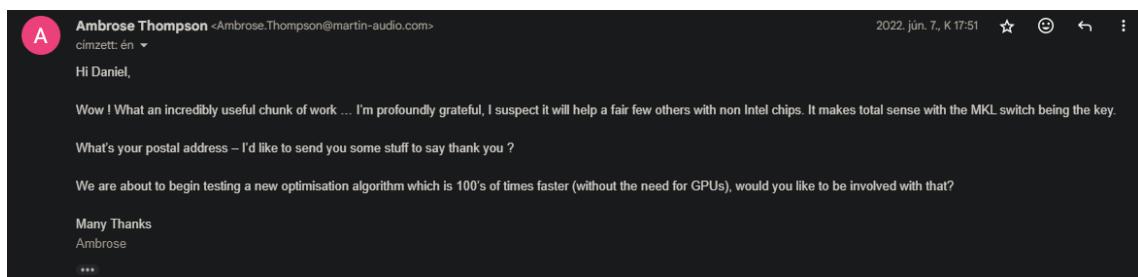
Mielőtt bele fognánk a tervezési folyamatba, fontos megemlíteni, hogy a szoftver eredetileg Intel alapú processzorokra lett tervezve és MatLab alapú. Ebből fakadóan AMD Ryzen processzorokon habár elindult a szoftver, de nem volt stabil és a számítások során minden esetben összeomlott, és használhatatlanul 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 felekerült az indító parancsfájl. Az e-mailben további kollaborációra is adott lehetőséget. A kompatibilitási problémát rögtön a script elején megoldottam, mivel a következő parancs megadásával már használhatóvá válik a program: set MKL_DEBUG_CPU_TYPE=5

Ez a sor a program vezérlését AVX2-re állítja át, és mivel ezt az utasításkészletet már ismeri az AMD Ryzen processzor is ezért a probléma már a múlté. Az indító fájl további sorai optimalizálások a számítások gyorsítására, és a párhuzamosítására, ezzel jobban kihasználva a rendelkezésre álló hardver erőforrásokat.

```
@echo off
set PATH=%PATH%;C:\Program Files\Martin Audio\Display2_3_4_b1\application
```

```
set MKL_DEBUG_CPU_TYPE=5
set options=optimoptions('ga','UseParallel',true,'UseVectorized',false)
set options=optimoptions('gamultiobj','UseParallel',true,'UseVectorized',false)
set options=optimoptions('paretosearch','UseParallel',true)
set options=optimoptions('particleswarm','UseParallel',true,'UseVectorized',false)
set options=optimoptions('patternsearch','UseParallel',true,'UseCompletePoll',true,
    'UseVectorized',false)
set options=optimoptions('surrogateopt','UseParallel',true)
set GPUAcceleration=on
start "Martin Audio" Display2_3_4_b1.exe
pause
```

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



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

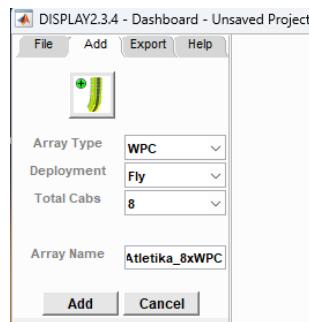
Most, hogy már a szoftver használható és teljes mértékben működőképes, kezdjük el a tervezést. A modellezés során a budapesti Millenáris B csarnoka lesz a referencia helyszín. Két LineArray rendszert fogunk tervezni, mivel a terem hosszúsága és a lefedettség növelése miatt szükségünk lesz Delay kiegészítésre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



3.6. ábra. Martin Audio WPC LineArray modul

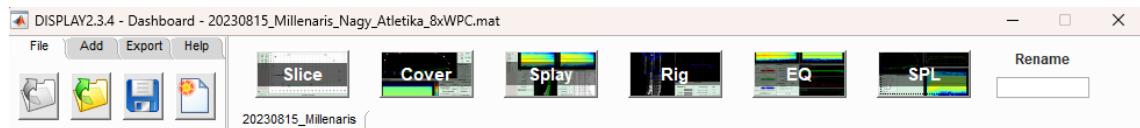
A program megnyitásakor a legelső lépés, hogy kiválasztjuk a termékpallettából a megfelelő hangrendszert. Jelen esetben az előbbiekben említett WPC-t. A produkciónyílásai, a nagy létszámos közönség és a látadamenyiség miatt a rendszert „*riggelni*” fogjuk. (maximálisan 6 darab WPC-t lehet „*stacklni*”, 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.



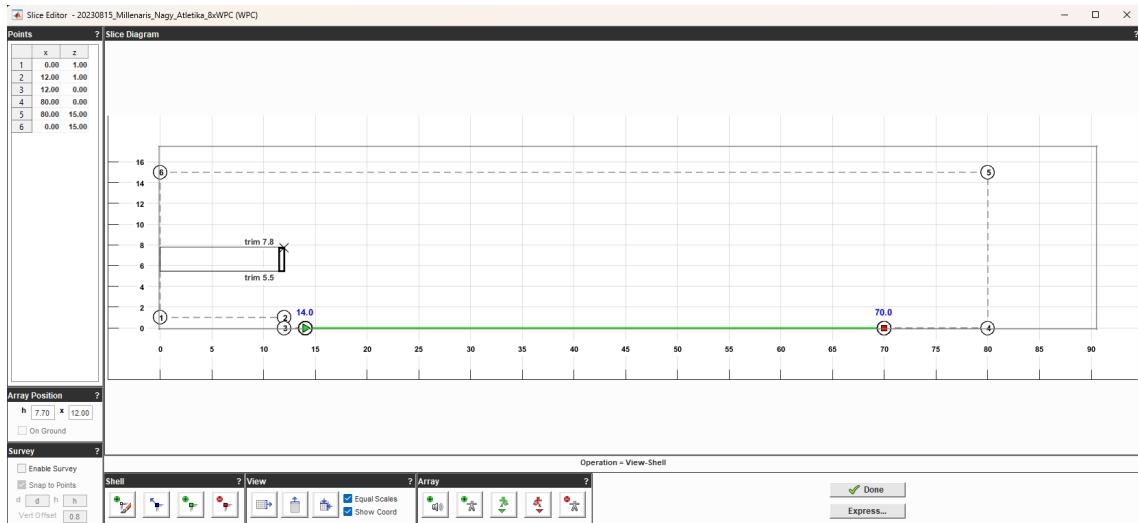
3.7. ábra. Display 2.3.4 b1 kezdőképernyője (WPC)

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)



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

A „Slice” panelen meghatározzuk a rendszer fizikai pozíóját 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 méreteteket 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 magasabba szeretnénk emelni, a jobb lefedettség érdekében. A másik fontos paraméter az optimalizációhoz, a közönség területének meghatározása. Kezdő és végpont segítségével tudjuk a területet meghatározni, ahol a hallgatóközönség tartózkodni fog.



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

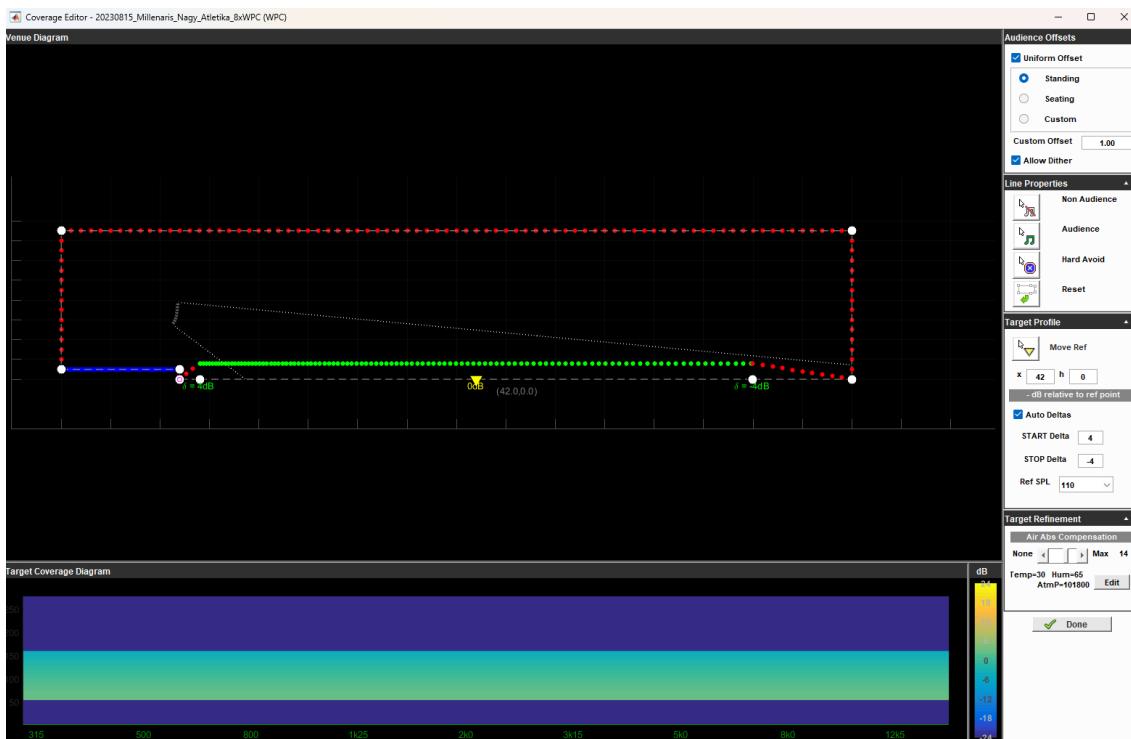
A következő lépések a „Cover” kezelőfelületen történnek. Első és legfontosabb beállítás amit el kell végezni, hogy a hallgatóság az esemény során ülni vagy állni fog-e. Lehetőségünk van a nézőteret különböző részekre is osztani, amennyiben a rendezvény során különböző helyeken eltérő típusú részeket 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 hangrendszer 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 dB 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

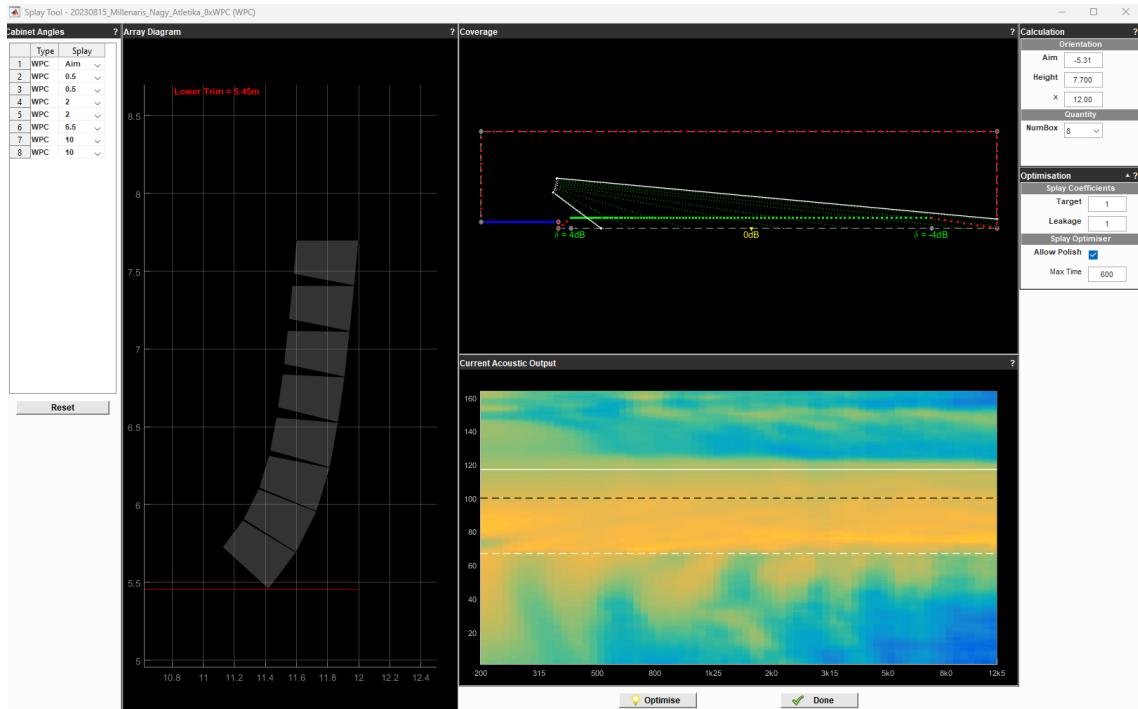
szüksége a magas frekvenciákon, és kifutna a dinamika tartalékból, ezért jobb megoldás, ha a magas frekvenciák fokozatosan csökkennek a távolság növekedésével. Beállíthatjuk a levegő veszteség kompenzációját, teljesen balra állítva nincs kompenzáció (figyelmen kívül hagyva a levegő abszorpcióját). Teljesen 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.



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

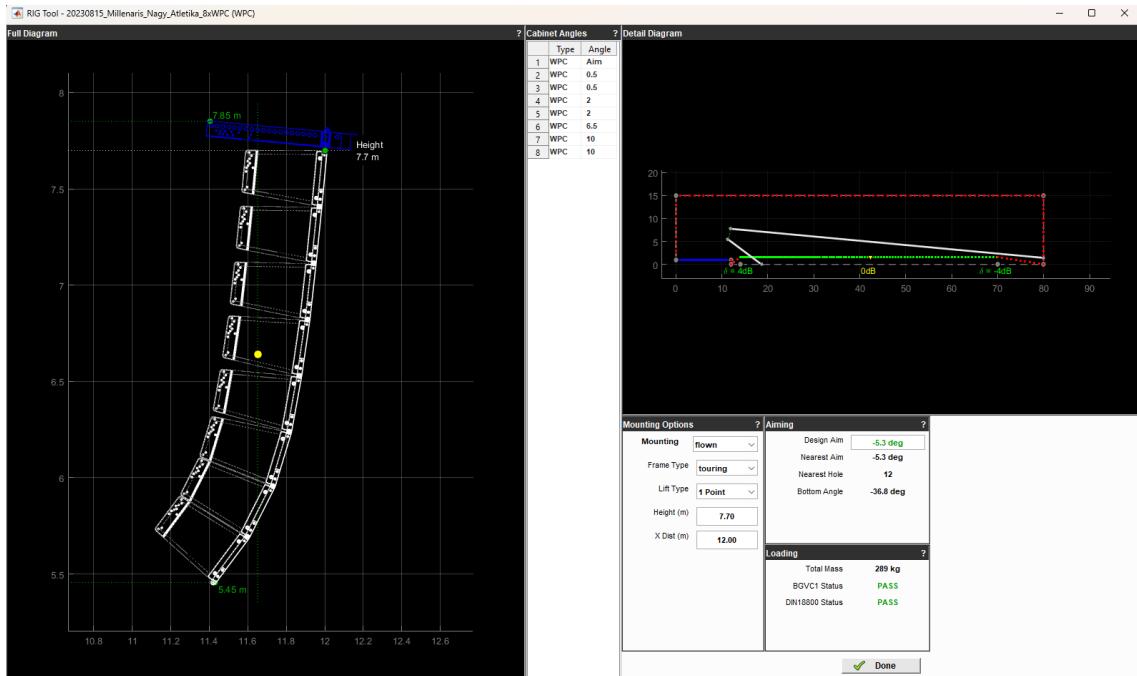
Miután a „*Cover*” kezelőfelületen elvégeztük a szükséges beállításokat, a „*Splay*” kezelőfelületen folytatjuk a tervezést. Az optimalizáció ezen részén a hangrendszer fogjuk a hallgatószám területére irányítani, a fokolási szögek beállításával. A szoftver által biztosított optimalizációs algoritmus a lehető legjobb lefedettségre törekzik a tervezett területen. Lehetőség van az optimalizáció súlyozási tényezőinek beállítására, de jelen esetben a gyári beállításokat használtam. Amennyiben módosítani szeretnénk a súlyozást a „*Target*” és a „*Leakage*” mezőkben tudjuk megadni a súlyozási tényezőket. A „*Target*” mezőben megadott érték a közönség terület súlyozása, a „*Leakage*” mezőben megadott érték pedig a közönség területén kívül eső szivárgás súlyozása. Az „*Allow*

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



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

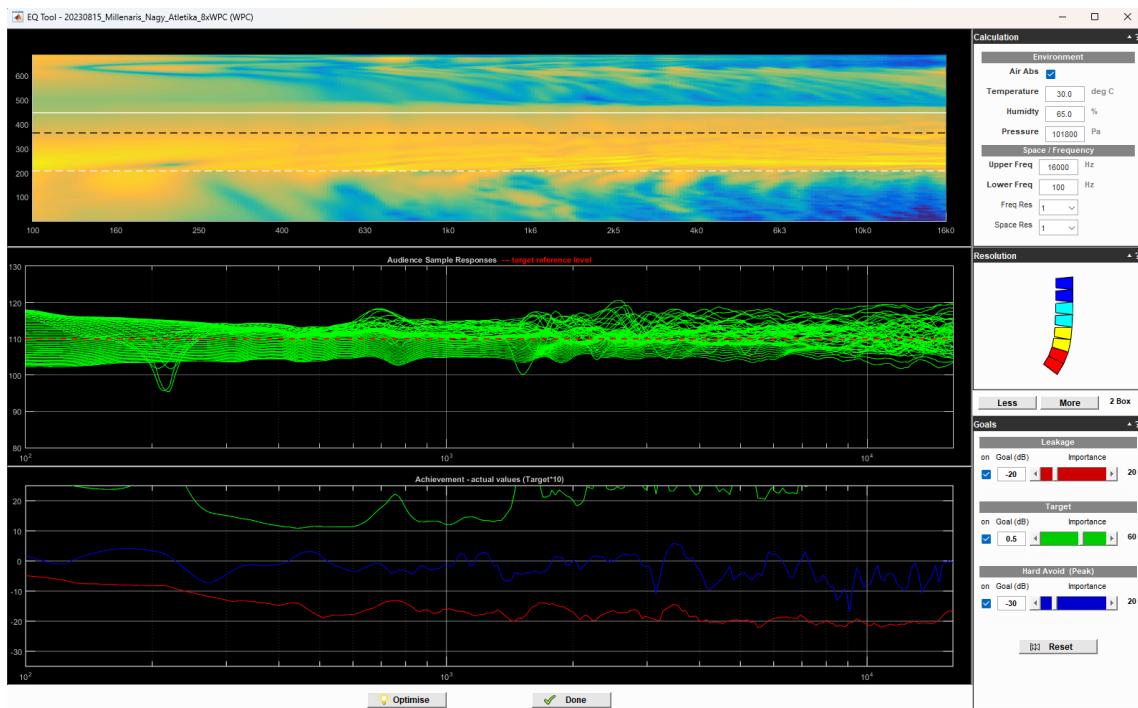
A következő lépés a „Rig” kezelőfelületen történik. Ez a felület elsősorban az eddig elkészített rendszerünket fogja megjeleníteni térben. Elsődleges beállítási paraméter ezen a panelen, hogy egy vagy két pontos rögzítést szeretnénk-e használni. Jelen esetben egy pontos rögzítést fogunk használni. Amennyiben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



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

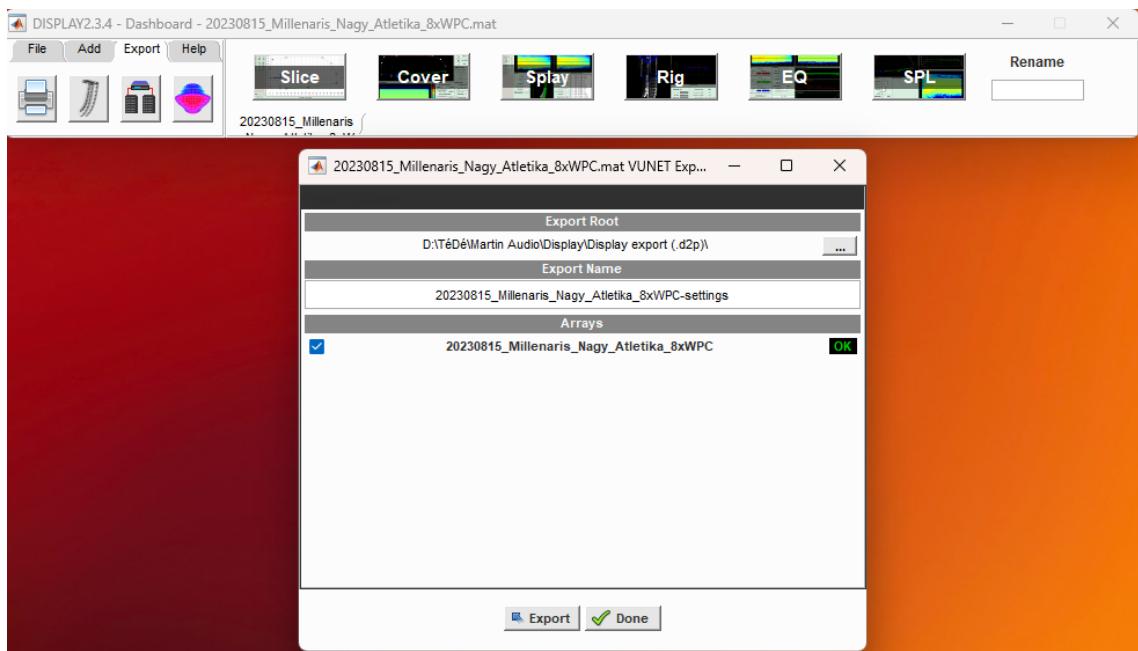
Az utolsó lépés mielőtt ki tudnánk menteni a tervezett rendszert, az a „EQ” kezelőfelületen történik. Ha a „Cover” kezelőfelületen már megadtuk a környezeti változókat, akkor ezt már nem kell újra megtennünk, mivel a szoftver automatikusan átveszi az ott megadott értékeket. Beállíthatjuk az alsó és felső 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 legpontosabban szeretném elvégezni. A gyári érték mindegyiknél a kettő. Minél pontosabbak a számítások, annál jobban fog viselkedni a rendszer a valóságban és egyenletesebb hangvisszaadást fog produkálni. Ha már a kiegyszűlyozott 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 lánát 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 lánát. Így a WPC rendszer összesen 4 darab iK42 végfokot fog igényelni, ami 16 darab végfokcsatornát jelent. A WPC rendszer csak iK42 végfokkal hajtható, a 8 csatornás iK81 végfokkal nem kompatibilis. Lehetőség van az optimalizációs algoritmus befolyásolására is, a három 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 eltérésekéről.



3.13. 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.



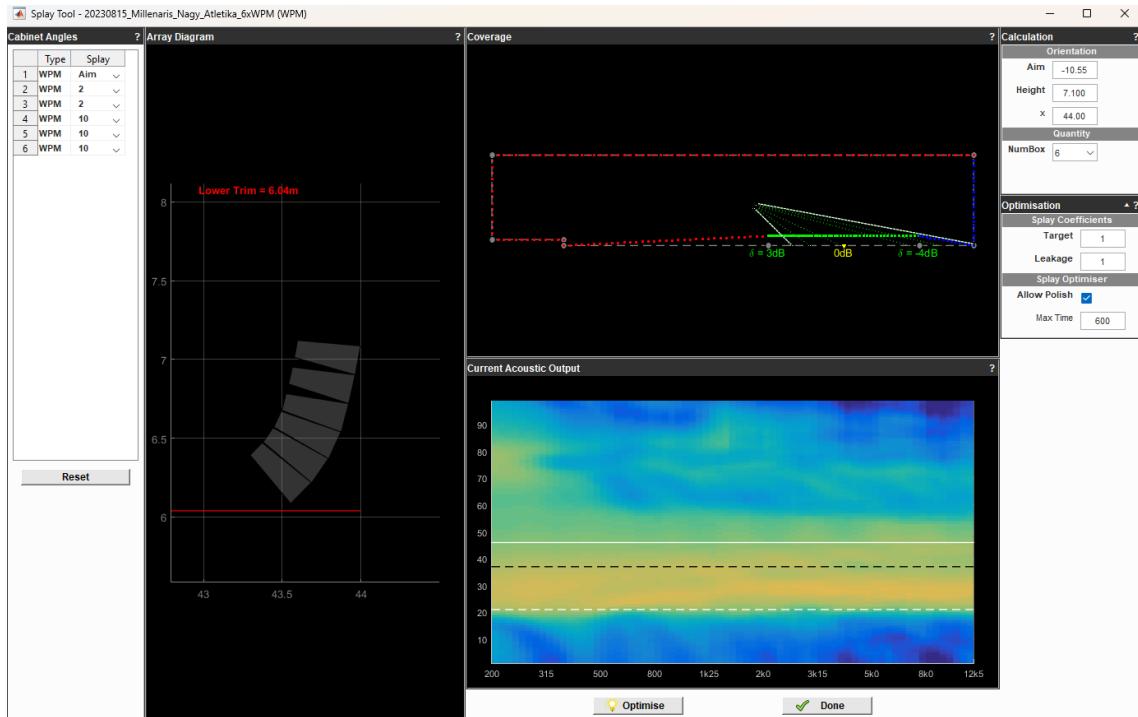
3.14. ábra. Display 2.3.4 b1 exportáló kezelőfelülete (WPC)

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). Maximásan 130 dB hangnyomás szintet tud biztosítani, nagy előnye ennek a fajta rendszernek a súly-teljesítmény aránya, mivel egy darab láda mindössze 14 kilogramm. [9]



3.15. 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 egyenletereiből 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. A WPM-eket tudjuk egyesével is hajtani, mivel rendelkezésünkre áll 2 db iK81 végfok.

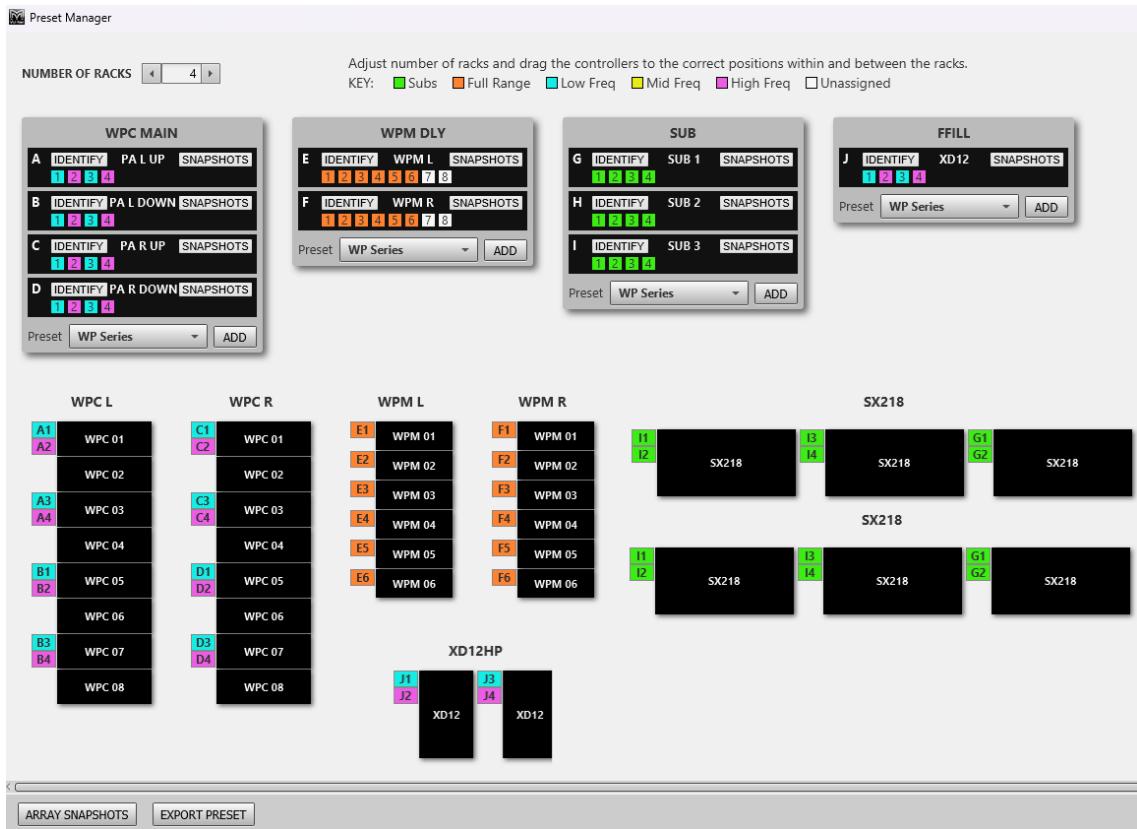


3.16. ábra. Display 2.3.4 b1 „*Splay*” kezelőfelülete (WPM)

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

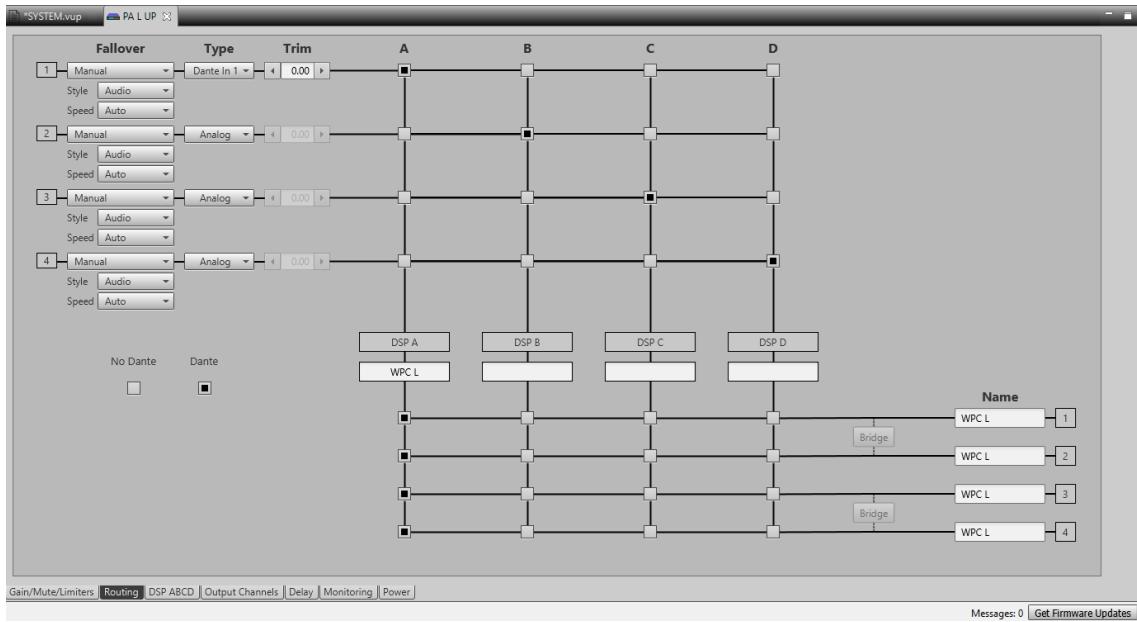
3.2.1.2. Martin Audio VU-NET rendszer szoftver [7]

Miután már rendelkezünk az összes számunkra szükséges rendszer patch fájljával, el tudjuk kezdeni felütni a végfokparkot amelyek a hangszórókat fogják hajtani. Tehát a következő lépések a VU-NET szoftverben történnek a végfokok beállításával. A VU-NET szoftver egy olyan alkalmazás, amely lehetővé teszi a Martin Audio hangrendszerek teljes körű vezérlését és monitorozását. Jelen esetben az iK42 és iK81 típusú eszközöket fogjuk tudni kezelní. Rendszerünk ha minden összeszámolunk, akkor 8 darab iK42 és 2 darab iK81 végfokot fog tartalmazni. Ebből 4 db iK42 a WPC LineArray rendszert, 2 db iK81 a WPM LineArrayt, 3 db iK42 az SX218 mélyládákat, és 1 db iK42 a FrontFill hangfalakat (XD12) fogja hajtani. Az alábbi képen látható az a felület ahol bele kell tölteni a preseteket az egyes erősítőkbe külön-külön.



3.17. ábra. VU-NET rendszer áttekintő diagram

Így már szépen látható, hogy a rendszerünk hogyan fog kinézni, és melyik végfok melyik csatornán mit fog hajtani. Ez kábelezés és rendszerstruktúra szempontjából is nagyon fontos információ, mivel kizárolag a megfelelő helyre kötött hangládákkal fog megszólalni helyesen a rendszer. Ezen felül ha valamit rossz helyre kábelezünk le, tegyük fel egy mélyládat hajtó végfokra egy Line Array modult, akkor a benne lévő hangszórók nagy valószínűséggel tönkrementenek ha terhelés alá kerülnek. Tehát fontos az precíz és átgondolt munkavégzés. A hibák elkerülése után is hasznos számunkra a rendszer áttekintő diagram, mivel ha valami nem működik a rendszerben, akkor könnyen és gyorsan megtalálhatjuk a hibát, és azonosíthatjuk a hibás komponenst. Miután sikeresen betöltöttük az összes presetet amire szükségünk van, be kell állítanunk, hogy az erősítők milyen forrásból fognak jelet kapni. A következő lépésekben a routing fülön be kell állítanunk, hogy az input csatorna Dante hálózatról fogja kapni a jelet. Ez a beállítás a következőképpen néz ki:

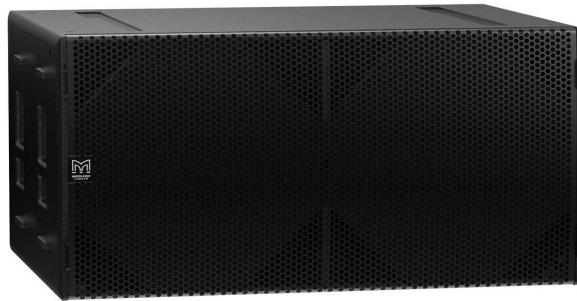


3.18. ábra. VU-NET Dante routing

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

3.2.1.3. Mélyláda rendszer

A mélyláda hangja hosszabb hullámhosszú, mint a többi komponensé, ezért az optimális helymeghatározásuk és elhelyezésük kulcsfontosságú a megfelelő hangzás érdekében. A rendszerben a Martin Audio SX218 típusú mélyládáit fogjuk használni. Ezek a ládák dupla 18"-os mély hangszórókkal vannak felszerelve, 2000W AES és 8000W csúcsteljesítményre képesek, és maximálisan 144 dB hangnyomás szintet tudnak biztosítani. [6] Jelen esetben 12 darab ilyen láda fogja biztosítani a megfelelő mély tartományt a rendezvényen.



3.19. 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.

3.2.2. Allen & Heath digitális keverőrendszer

A jelenlegi rendszer két keverőpultot fog tartalmazni, egyet a fő hangrendszerhez, és egyet a monitor rendszerhez. Mindkét keverőpult 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]



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

Az I/O bővítőkártyák közül a rendszerben mindenki 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 kizárálag a Dante protokollra támaszkodunk.



3.21. ábra. A&H SQ Dante kártya



3.22. ábra. A&H DT168 Dante stagebox

3.2.3. Dante audio szerver

Ez a kiegészítő szerver egység lehetővé teszi bármilyen alacsony késleltetéssel dolgozó VST3 plugin használatát a rendszerben elő környezetben. Olyan komplex funkcionálisokat 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 funkcionálisokkal, 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 memoriával, és a Focusrite RedNet PCIe kártya veszi fel a harcot a komplex hangfeldolgozási feladatokkal. Ezekre a hardverekre azért esett a választás, mert mivel a Dante kártya 128 csatornát tud kezelni, (az épített rendszer 64 csatornás, de a bővítés lehetősége fent áll) erős számítási kapacitásra van szükség, hogy a rendszer a beállított késleltetési értékek mellett is képes legyen késés nélkül a csatornák feldolgozására. Amennyiben nem sikerül a jelet a beállított időn belül produkálni, furcsa zavaró pattogó hangokat hallhatunk, vagy rosszabb esetben hangkimaradás is előfordulhat. Ezért fontos a megfelelő hardveres erőforrások biztosítása, és a pontos beállítások elvégzése. A példában szereplő rendszer kifogástalanul képes elvégezni a feladatát, és a beállított 1 ms-os késleltetési értéket is képes folyamatosan tartani.



3.23. ábra. Focusrite RedNet PCIe kártya

3.2.4. Dante hálózat kialakítása és optimalizálása

3.2.4.1. Dante Controller

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. Mielőtt neki álnánk konfigurálni az adott eszközt, fontos eldöntenünk, hogy milyen módban szeretnénk használni. Lehetőségünk van két fő mód közül választani, a redundáns és a váltott mód közül. A „*redundant*” mód mint ahogy azt a neve is sugallja redundáns kommunikációt

valósít meg az eszközök között szoftveresen és hardveresen egyaránt. Az összes Dante kártya a jelenlegi rendszerben gyári konfigurációban két RJ45-s csatlakozóval rendelkezik. Jelen esetben ezt a módot választjuk az üzembiztoság és a kritikus hibák minimalizálása miatt. A másik lehetőség a „switched” pedig eszközök láncolását teszi egyszerűbbé. Amennyiben a redundancia nem elsődleges szempont számunkra, nem kell minden egyes eszköz mögé switch, hanem a másodlagos RJ45 port direktbe köti az arra csatlakoztatott eszközt az elsődleges hálózatra. Így gyorsabban és költséghatékonyabban tudjuk kiépíteni a hálózatot, azonban a redundancia lehetősége megszűnik.

3.2.4.2. IP kiosztás

A rendszer képes automatikusan IP címeket osztani az egyes eszközöknek, ezzel meggyorsítva a munkafolyamatot. Viszont ez nem bizonyul jó megoldásnak. Egy fixen előre megtervezett rendszer praktikusabb és üzembiztosabb megoldás, ha minden eszköznek manuálisan mi adjuk meg a címét a hálózaton. A tervezett rendszerben minden egyes eszköznek fix IP címet adtam, hogy könnyen és logikusan átlátható legyen az előbb említett előnyökön kívül. A címeket egy online is elérhető Excel táblázatban tároltam, hogy amennyiben szükség van rá bármikor könnyen elérhető legyen. Ez a táblázat a cégnél dolgozó összes munkatárs számára látható, aki a rendszerrel foglalkozik. Így amennyiben új eszköz kerül a hálózatra, vagy egy eszköz IP címét valamilyen okból meg kell változtatni, egyszerűen elérhető a szükséges naprakész információ. A kiosztás logikája a következőképpen néz ki: A Dante Primary hálózat a 192.168.1.X címeket használja, a Secondary hálózat pedig a 192.168.2.X címeket. A két hálózat között nincsen semmilyen kapcsolat, és egymástól teljesen függetlenek hardveresen és szoftveresen is. A Vu-Net vezérlés a 192.168.100.X címeket használja, és egy switchen keresztül üzemel a secondary hálózaton, viszont a két hálózat között nincsen átfedés, az előbbiekbén már említett módon függetlenek egymástól. Az eszközök egyedi címei pedig az alábbi módon kerültek kiosztásra: Vegyük példának a 192.168.1.111-es címet, a 111-ben az első számjegy arra utal, hogy egy végfokról van szó, minden végfok 1XX címet kap. A második számjegy az eszköz rack száma, a harmadik pedig az eszköz sorszáma a rackben felülről lefelé. Tehát az előbbi cím a következőt jelenti számunkra: Az 1-es sorszámu végfokrackben lévő legfelső végfok. A keverőpultok a címezés elején 1-től indulva 20-ig kapnak címeket. A stageboxok 30-tól 50-ig kapnak címeket. Ezekben felül a háló legvégre vannak kiosztva a speciális eszközök melyek nem mindig vannak a rendszerben, de ha mégis akkor azoknak is megvan a saját címük. A háló 250-es címén helyezkedik el a Dante Audio szerver.

	Eszköz	Dante Elsődleges	Dante Másodlagos	Maszk	Ethernet IP	Switch Neve	Switch IP	Groove Neve/SSID	Jelszó	Groove IP	DHCP tartomány
Pultok											
SQ5_01	SQ5 (01)	192.168.1.1	192.168.2.1	255.255.255.0	-	-	-	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	-	-	-	-	-	-	-

3.24. ábra. Dante eszközök IP címei a hálózaton

Meg kell adnunk az audio hálózatunk master órajelét. Ehhez az órajelhez szinkronizál a többi eszköz. Az időszinkronizáció kulcsfontosságú előzenei produkcióknál. A mi esetünkben a keverőpult lesz a master órajel, Ő fogja a hálózatot vezérelni. A felületen egyszerűen bepipáljuk a „*Preferred leader*” opciót a keverőpult mellett, és a hálózat többi eszköze automatikusan ehhez az órajelhez szinkronizálódik. Az órajelen kívül a késleltetési értékeket is be kell állítanunk. A default érték minden eszköznél jelen esetben 1 ms, mivel ennél az értéknél a legtöbb eszköz képes probléma nélkül működni. Ez az érték azonban nem minden esetben optimális, ezért fontos, hogy minden eszköz késleltetését ellenőrizzük és beállítsuk. Amennyiben problémákat, zavaró pattanásokat vagy hangkimaradásokat tapasztalunk, akkor a késleltetési értékeket növelni kell mindenkor, amíg a probléma nem szűnik meg. Fontos megjegyezni, hogy a késleltetési értékek növelésével egyre több és több időt vesz igénybe a jelek feldolgozása, előzenei produkcióknál ez kritikus. A mi esetünkben mivel az útválasztók is kifejezetten csak erre a célla vannak használva és semmiféle más adatforgalmat nem bonyolítanak, a 1 ms-os késleltetési érték csökkenthető is akár a felére is. Rövid kábelhosszak esetén egyes eszközök között akár 0.25 ms-os késleltetési értéket is beállíthatunk amennyiben hosszúávon nagy biztonsággal stabil a hálózat.

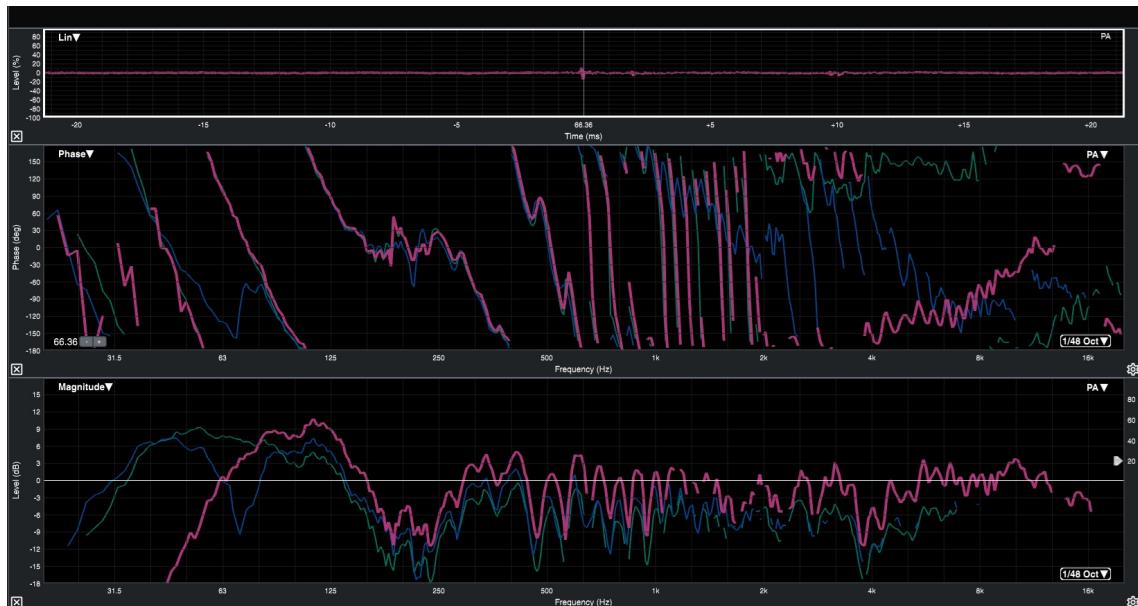
3.2.5. Dante rendszer monitorozása

3.2.6. A rendszer mérése

A rendszermérések elkészítésére a Rational Acoustics által fejlesztett Smaart nevű szoftvert fogom használni, mivel az iparágban ez a legelterjedtebb és legmegbízhatóbb szoftver a mérések pontos elvégzésére. A szoftver legújabb verzióját fogom használni, ami az írás pillanatában a ’Smaart Suite 9.4.1’ verzió. Első lépéssben a számítógéphez csatlakoztatott hangkártyát kell konfigurálni, hogy el tudjunk kezdeni méréseket végezni. Jelen esetben a hangkártya maga a keverőpult, aminek az USB interfésze egy 32x32-es kapcsolatra képes a számítógéppel. A mérőmikrofon egy Behringer ECM8000 típusú mérőmikrofon lesz, ami XLR csatlakozóval kapcsolódik a keverőhöz, a mikrofon tápellátását a keverőpult biztosítja 48V fantomtáppal. Annak érdekében, hogy a mérés működőképes legyen, a mikrofont a keverőpulton be kell szintezni, minden processzálást kikapcsolni. A mikrofon kimenetét utána Direct Out móddal el kell küldeni az USB interfészre, ahol a Smaart szoftver fogja tudni a jelet feldolgozni. Ezen kívül egy másik bemenetre is szükség lesz a keverőpulton, ahol a Smaart szoftver a referencia jelet fogja küldeni, ezt szintén Direct Out módban vissza kell küldeni a számítógépre. Tehát a példa kedvéért még egyszer: Local Input 1: Behringer ECM8000 mérőmikrofon, majd Direct Out Output USB 1-re. USB Input 1: Smaart szoftver referencia jele, majd Direct Out Output USB 2-re.

Az első mérés amit végezni fogok a rendszeren a mélyláda rendszer mérése lesz. Az EndFire konfigurációban elhelyezett mélyláda rendszer mérése során a cél az, hogy maximalizáljuk a hangnyomást a közönség távolabbi részein is, miközben hátrafelé kioltást érünk el. Ezen felül fontos a rendszer nyitása is, ha túl keskeny sávban működik, akkor a középső területek hangnyomása túl magas lesz, a szélső területeken pedig túl alacsony. Tehát fel van adva a lecke, hogy a rendszer a lehetőségekhez márten egyenletes hangnyomást biztosítson a teljes területen. Fontos, hogy a mérési környezet a lehetőségekhez márten minél csendesebb legyen, valamint ne legyenek olyan tárgyak a nézőtéren, amelyek a rendszer elő működése közben nem lesznek jelen és mérés közben a mért hangot visszaverik. Ezzel minimalizálhatjuk a hibákat és a mérések pontatlanságát, valamint a mérés reprezentatívabb lesz. Mivel a mélyláda rendszer és a Main PA fizikai elhelyezkedésük miatt (A Main PA riggel van, míg a mélyládák a földön helyezkednek el) egy adott távolságra vannak egymástól, fontos, hogy a két rendszer fázishelyes és időhelyes legyen. Amennyiben a rendszer fázishelytelen, a rendszer elemei egymás ellen

dolgoznak, kioltást okozva, és ezzel csökkentve a hangnyomást. Ezenkívül hiába van fázisban a rendszer, fontos, hogy a két rendszer időben is helyes legyen. Előfordulhat, hogy fázisban vagyunk de 180 fokkal el vagyunk tolva az egyik irányba, így a mélyek vagy késnek vagy előbb érnek a hallgatóhoz ezzel rongálva a hangképet. Aggodalomra azonban nincs ok, mivel megfelelő szakértelemmel és a megfelelő mérési eszközökkel ezek a problémák orvosolhatóak, ezzel biztosítva a kiváló hangminőséget a rendezvényen. Az alábbiakban a mérési eredmények láthatóak. Fontos megjegyezni, hogy a mérési eredmények csak a mérés helyszínén érvényesek, és a mérési körülményektől függően változhatnak. A reflexiók és a mérési bizonytalanság mennyisége infidecimális a mérési eredményben. Az ábrán a következőket láthatjuk különböző színekkel jelölve: - A kék szín a teljes rendszer viselkedése mérés nélkül. - A zöld szín a teljes rendszer viselkedése mérés után. - A magenta szín csak a main PA rendszer viselkedése.



3.25. ábra. SUB - TOP mérések

Az ábrán egyértelműen látható, hogy a rendszer mérése után a hangnyomás szintje jelentősen nőtt, a crossover frekvencia környékén 57-87 Hz között. A kék mérésnél egy óriási beesést láthatunk 70 Hz-nál, ami azt jelzi számunkra, hogy a rendszer nincs fázisban és időben. A korrekt időértékek beállítása után a zöld színű mérésnél egyértelműen látható, hogy a hangnyomás szintje jelentősen nőtt, és a 70 Hz-es beesés teljes mértékben eltűnt, sőt a hangnyomás szintje a crossover frekvencia környékén jelentősen nőtt. Ez azt jelzi számunkra, hogy a rendszer fázishelyes és időben is helyes már, készen áll a produkcióra.

3.2.7. A rendszer monitorozása

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

igazítva. - dB SPL A Slow => A frekvencia súlyozott hangnyomás szintet mutatja, az emberi hallás érzékenységéhez igazítva. - dB Leq 1 => A hangnyomás szint átlagértékét mutatja 1 perces időtartamra.



3.26. ábra. SPL monitorozás a produkción körben

4. fejezet

Üzemeltetési tapasztalatok és továbbfejlesztési lehetőségek

4.1. 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.

4.2. Továbbfejlesztési lehetőségek

4.2.1. 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 lánchalmaz 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.

4.2.1.1. Shure Axient Digital rendszer



4.1. 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 eszközöket 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.

4.2.2. 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 jöhetsz a szóba. Ezek a keverők már kaphatóak 128x128-as Dante interfésszel is, így megnövelve 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 elérésséhez.



4.2. ábra. Allen & Heath dLive S7000 keverőpult

Köszönetnyilvánítás

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

Köszönetet szeretnék mondani a TéDÉ Rendezvényeknél dolgozó kollégáimnak is, akik minden ötletemet, legyen az bármilyen különleges, támogatták, és segítettek azok megvalósításában. A közös munka eredménye önmagáért beszél a sok pozitív visszajelzés és sikeres rendezvény után.

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

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



4.3. ábra. A szakdolgozat szerzője a megépített WPC Line Array mögött az adott rendezvényen

Ábrák jegyzéke

2.1.	Audinate Dante logó	6
2.2.	A kapcsolati eltolás meghatározza a késleltetést [1]	7
2.3.	Fáziskohärenz azonos kapcsolati eltolással [1]	8
2.4.	Host A	11
2.5.	Host B	11
2.6.	Host C	11
2.7.	Az OSI modell	13
2.8.	Kapcsolt mód	19
2.9.	Redundáns mód	19
2.10.	Dante órajel	20
2.11.	Digital Snake és Pont-pont közötti (P2P) kapcsolatok	20
2.12.	Dante hálózati megoldás	21
3.1.	Martin Audio iK42 végfok	24
3.2.	Martin Audio iK81 végfok	24
3.3.	Hagyományos analóg kábelezés [2]	24
3.4.	Dante digitális kábelezés [2]	25
3.5.	E-mail a Martin Audio vezető szoftvermérnökétől	26
3.6.	Martin Audio WPC LineArray modul	26
3.7.	Display 2.3.4 b1 kezdőképernyője (WPC)	27
3.8.	Display 2.3.4 b1 fő kezelőfelülete (WPC)	27
3.9.	Display 2.3.4 b1 „Slice” kezelőfelülete (WPC)	28
3.10.	Display 2.3.4 b1 „Cover” kezelőfelülete (WPC)	29
3.11.	Display 2.3.4 b1 „Splay” kezelőfelülete (WPC)	30
3.12.	Display 2.3.4 b1 „Rig” kezelőfelülete (WPC)	31
3.13.	Display 2.3.4 b1 „EQ” kezelőfelülete (WPC)	32
3.14.	Display 2.3.4 b1 exportáló kezelőfelülete (WPC)	32
3.15.	Martin Audio WPM LineArray modul	33
3.16.	Display 2.3.4 b1 „Splay” kezelőfelülete (WPM)	34
3.17.	VU-NET rendszer áttekintő diagram	35
3.18.	VU-NET Dante routing	36
3.19.	Martin Audio SX218 mélyláda	36
3.20.	Allen & Heath SQ-6 digitális keverőpult	37
3.21.	A&H SQ Dante kártya	38
3.22.	A&H DT168 Dante stagebox	38
3.23.	Focusrite RedNet PCIe kártya	38
3.24.	Dante eszközök IP címei a hálózaton	39
3.25.	SUB - TOP mérések	41
3.26.	SPL monitorozás a produkciók közben	42
4.1.	Martin Audio WPL LineArray modul	44
4.2.	Allen & Heath dLive S7000 keverőpult	45

4.3. A szakdolgozat szerzője a megépített WPC Line Array mögött az adott rendezvényen	47
---	----

Táblázatok jegyzéke

2.1. Digital Snake és DigitalAVNetwork Jelút opciók	20
---	----

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