

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 10.

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	9
2.1.3.2. Késleltetés mérése	9
2.1.4. Mintavételi frekvencia és bitmélység	10
2.1.5. Késleltetés	11
2.1.6. IP címek és maszkok	11
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)	16
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	18
2.4.2.1. Több mintavételi ráta és bitmélység	18
2.4.2.2. Hálózati topológiák	19
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	34

3.2.2.	Allen & Heath digitális keverőrendszer	35
3.2.3.	Dante audio szerver	36
3.2.4.	Dante hálózat kialakítása és optimalizálása	37
3.2.4.1.	Dante Controller	37
3.2.4.2.	IP kiosztás	37
3.2.5.	Dante rendszer monitorozása	38
3.2.6.	A rendszer mérése	38
3.2.7.	A rendszer monitorozása	40
4.	Üzemeltetési tapasztalatok és továbbfejlesztési lehetőségek	42
4.1.	Üzemeltetési tapasztalatok	42
4.2.	Továbbfejlesztési lehetőségek	42
4.2.1.	További eszközök integrálása	42
4.2.1.1.	Shure Axient Digital rendszer	43
4.2.2.	Bővítés nagyobb interfészre	43
Köszönnetnyilvánítás		45
Ábrák jegyzéke		47
Táblázatok jegyzéke		48
Irodalomjegyzék		48
Függelék		50

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

Az 1990-es évek végén a professzionális hangtechnika fokozatosan elmozdult a hagyományos pont-pont digitális átviteli rendszerekről (mint az AES/EBU vagy MADI) az IP-alapú megoldások irányába, például az AES67 szabvány felé. Ez az új, csomagalapú hálózati technológia jelentős rugalmasságot hozott a hangrendszer terén, valamint lehetőséget adott a vezérlés és monitorozás bővítésére. Ennek köszönhetően a meglévő telepítések könnyen bővíthetők és frissíthetők szoftveres konfigurációk révén, így a rendszer idővel további funkciókkal gazdagodhat, anélkül, hogy fizikai módosításokat kellene végezni.

Az IP-alapú rendszerek egyik legnagyobb előnye, hogy a jelutak már nem kötődnek egy-egy fizikai kábelhez, ami azt jelenti, hogy néhány kattintással megváltoztathatók a hálózati beállítások anélkül, hogy fizikai átrendezésekre vagy dedikált audioroute hardverekre lenne szükség. A csomagokba szervezett adatátvitel lehetővé teszi, hogy az audiojelek automatikusan elérjenek a kívánt célállomásokhoz az IT hálózaton keresztül.

A CobraNet, amelyet a Cirrus Logic 1996-ban vezetett be, az első széles körben használt audio-over-ethernet technológiának tekinthető. Ezt a rendszert számos helyen alkalmazzák, mint például kongresszusi központokban, színházakban, koncerttermekben, repülőtereken és vidámparkokban. Noha a CobraNet még mindig megtalálható bizonyos telepítésekben, magas késleltetése és korlátozott skálázhatósága miatt nem ideális élő hangosítási rendszerekhez, stúdiófelvéttelekhez vagy rádiós alkalmazásokhoz.

A 2000-es évek közepén jelent meg az Audinate által kifejlesztett Dante rendszer, amely a Digital Audio Network Through Ethernet' rövidítése. A Dante jelentős előrelépést hozott a korábbi audio-over-IP technológiákhoz képest, különösen a használhatóság és a szabványos hálózati infrastruktúrával való kompatibilitás terén. A Dante nagy előnye a széleskörű hardveres ökoszisztemája, amely több száz gyártó által gyártott több ezer eszközzel működik együtt.

Mielőtt a Dante elérte volna piacvezető pozícióját, az AVB (Audio Video Bridging) technológia is nagy figyelmet kapott. Bár az AVB eredetileg a hang- és videóalkalmazásokhoz készült, más iparágak, például az autóipar és az ipari automatizálás is átvették ezt a technológiát, és egy általánosabb nevet kapott: TSN (Time Sensitive Network), amely az időérzékeny hálózatokat fedi le.

A Milan munkacsoporthoz, amely audio- és videorendszerek gyártóiból áll, finomhangolt specifikációt dolgozott ki a professzionális audio- és videorendszerek számára, amelyet

Milan néven ismerhetünk. Ez a specifikáció egy TSN-alapú verzió, amelynek fő célja az interoperabilitás biztosítása a különböző audio- és videorendszerök között.

Az IP-alapú hálózatokra való átállás hasonló folyamatként írható le, mint amikor az analóg hangtechnikáról áttértek a digitális megoldásokra. Kezdetben csak néhány úttörő telepítés használja az új technológiát, és ezek kezdetben kezelési vagy megbízhatósági problémákat mutathatnak a hagyományos rendszerekkel szemben. Azonban, ahogy a technológia fejlődik, ezek a hiányosságok fokozatosan megszűnnek.

Az IT-alapú hálózatok bizonyos szempontból alapvetően eltérnek a hagyományos audió útvonalaktól. Először is, a szokásos IT hálózatok nem feltétlenül felelnek meg az audió rendszerekre jellemző szigorú időzítési követelményeknek. A hálózati csomagok továbbítása során egyes csomagokat más, párhuzamosan haladó csomagok késleltethetnek, ami az audióadatok esetében hallható időbeli eltérésekhez vezethet. Ezzel szemben a hagyományos audiókábelek használata esetén a továbbítási időzítés stabil és állandó marad.

Továbbá, az IT-alkalmazások esetében a csomagvesztés nem jelent komoly problémát, mivel az elveszett adatokat a rendszer automatikusan újraküldi. Az audió alkalmazásoknál viszont kulcsfontosságú, hogy a csomagok már az első alkalommal hibamentesen megérkezzenek, mivel az újraküldésre nincs elegendő idő. Egy-egy elveszett csomag azonnal hallható zavarokat, megszakításokat okozhat az audiófolyamban.

A csomagvesztés gyakori oka lehet a hálózati linkek túlterheltsége vagy a túl kicsi puffermérét. Ezért az audióhálózatok tervezésekor ügyelni kell arra, hogy minden felhasználó számára elegendő sávszélesség álljon rendelkezésre, még teljes terhelés mellett is. Amennyiben biztosítva van az adatcsomagok időben történő továbbítása, a hálózat stabil és hosszú távon megbízhatóan működhet. Ugyanakkor érdemes a hálózatot megfelelő mértékben túlméretezni annak érdekében, hogy minden csomag időben célba érjen, anélkül, hogy a kapcsolók bonyolult finomhangolására lenne szükség.

Ez azt jelenti, hogy olyan IT-hálózatokat kell kiépíteni, amelyek dedikált sávszélességet biztosítanak az audió alkalmazások számára, és elkerülik az egyéb, általános célú alkalmazásokkal való közös használatot.

Az audio-over-IP technológiák többsége azon a feltételezésen alapul, hogy az alapjául szolgáló hálózat megbízhatóan üzemel, tehát nem fordul elő csomagvesztés, és a csomagok nem ütköznek jelentős mértékben más adatforgalommal a hálózati kapcsoló eszközökön. Azonban bizonyos hálózatok esetében, különösen ha az audióadatokat más típusú forgalommal, például általános internetes forgalommal vegyítik, kulcsfontosságú lehet, hogy az audió- és szinkronizációs csomagok elsőbbséget élvezzenek más típusú adatátvitelhez képest, például a webes böngészéshez viszonyítva. Szerencsére a mai, kereskedelmi forgalomban kapható kapcsolók többsége képes ilyen típusú prioritás beállítására, így biztosítható az audiórendszerek zavartalan működése.

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 hatékonyúság 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 audioalkalmazások többségénél alapvető fontosságú a különböző eszközök szinkronizált működése. Különösen lényeges a mikrofonok és hangszórók közötti fázishelyesség biztosítása. Ha egy erősítőhöz több hangszer csatlakozik, és az összes csatorna adata egyetlen hangcsomagban érkezik meg, nem áll fenn annak a veszélye, hogy a csatornák fáziskésessel működnének, mivel az audio minták a hálózati átvitel során nem torzulhatnak egymáshoz képest.

Ezzel szemben, számos olyan alkalmazás létezik, ahol több erősítő és processzor egymástól függetlenül kapja a hangcsomagokat, ugyanakkor továbbra is szükséges, hogy az audiojelek fázishelyesen legyenek reprodukálva. Ilyen esetekben ugyanazt a hangcsomagot több hálózati eszköz is megkapja és puffereli, és ezeket a jeleket pontosan ugyanabban az időpontban kell lejátszaniuk, hogy elkerüljék az időzítési eltéréseket.

Mivel az IT-hálózatokban nincsenek szigorúan meghatározott időzítési előírások a csomagok továbbítási és érkezési idejére, az audió hálózatokban külön szinkronizációs mechanizmusra van szükség. Ez egy jelentős kihívás, amelyet minden audio-over-IP technológiának meg kell oldania.

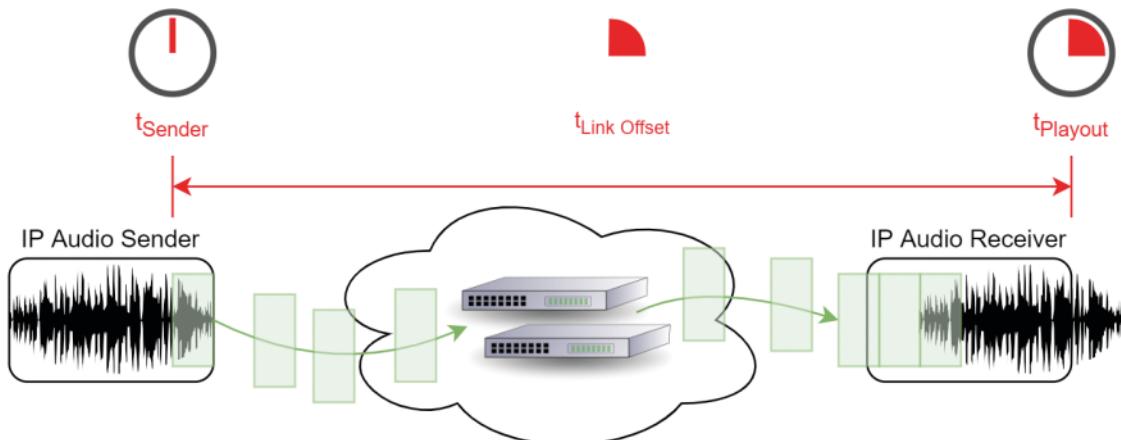
A szinkronizációt az audió hálózatokon belül a Precision Time Protocol (PTP) segítségével valósítják meg, amely biztosítja, hogy az összes eszköz pontosan szinkronban legyen. Ennek értelmében minden hálózati eszköz belső órája (PTP követő) egy központi referenciaórához (PTP vezető) igazodik. A PTP vezető szerepét bármely olyan audióeszköz betöltheti, amely alkalmas erre a feladatra, vagy egy speciálisan erre a célra fejlesztett eszköz, amely pontos időreferenciát szolgáltat. A vezetőt vagy manuálisan választják ki, vagy egy szabványos automatikus mechanizmus alapján történik a kiválasztás.

Az audio adók és vevők számára az alapvető követelmény az, hogy pontosan ehhez az időreferenciához szinkronizáljanak. Amikor egy audio csomagot elküldenek, időbelyeggel lábják el, amely a küldési időt jelöli. A vevőkben egy előre meghatározott időeltolást, úgynevezett linkeltolást állítanak be, amely biztosítja a megfelelő pufferelést és a zökkenőmentes lejátszást. Így a hang lejátszása akkor történik, amikor a küldési idő és a linkeltolás összeadódik, biztosítva ezzel a pontos időzítést.

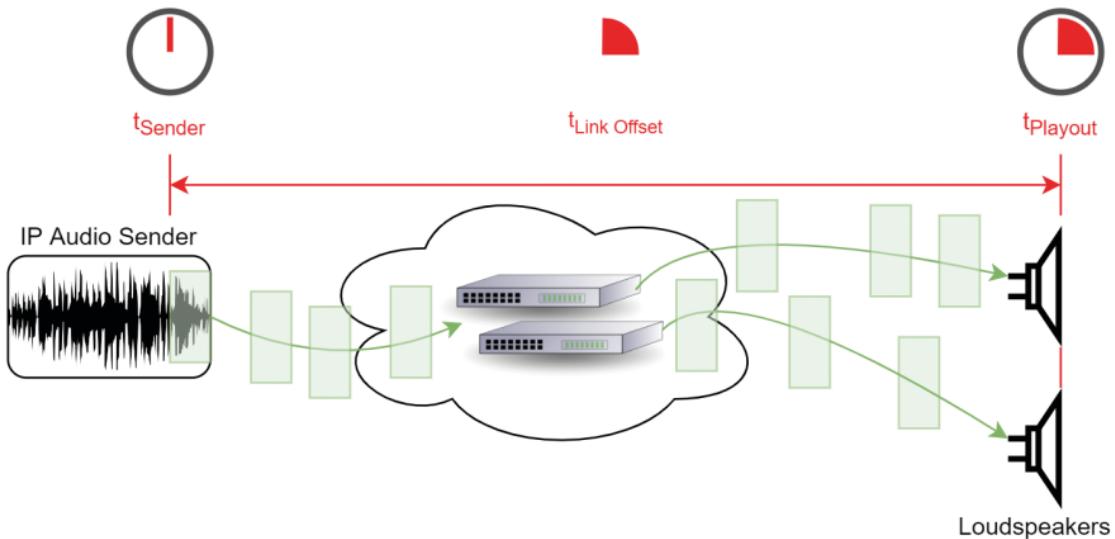
Minden vevő két feltétel mellett érheti el egymás között a fázispontosságot:

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

Az audiohálózatokban alkalmazott linkeltolást mindenkorában a legnagyobb várható késleltetés alapján kell beállítani az összes érintett kapcsolat esetében. Fontos, hogy némi tartaléket is hozzárendeljünk a beállított értékhez, amely lehetővé teszi az esetleges, váratlan csomagkiszállítási időingadozások kezelését. Ez azt jelenti, hogy a feldolgozási idő átlagánál valamivel hosszabb időkeretet hagyunk. Szerencsére ez a megközelítés már széles körben elterjedt, és minden modern audiohálózati szabványban alkalmazásra került.



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



2.3. ábra. Fáziskoherencia azonos kapcsolati eltolással [1]

2.1.3. Szinkronizáció

Az audiohálózatokban alkalmazott linkeltolást mindenkorra a legnagyobb várható késleltetés alapján kell beállítani az összes érintett kapcsolat esetében. Fontos, hogy némi tartalékot is hozzárendeljünk a beállított értékhez, amely lehetővé teszi az esetleges, váratlan csomagkiszállítási időingadozások kezelését. Ez azt jelenti, hogy a feldolgozási idő átlagánál valamivel hosszabb időkeretet hagyunk. Szerencsére ez a megközelítés már széles körben elterjedt, és minden modern audiohálózati szabványban alkalmazásra került.

Az IP alapú küldők és vevők precíz szinkronizációja kulcsfontosságú a minimális késleltetéssel történő működés érdekében. A hagyományos audioeszközök esetében ez a szinkronizáció jellemzően különálló word clock kapcsolaton keresztül, vagy szinkronizált audioformátumok, például AES/EBU vagy MADI segítségével történik. Ezek a rendszerek egyértelmű jelet biztosítottak a mintavételi időpontra vonatkozóan, amely lehetővé tette a vevők számára a frekvencia és fázis pontos kinyerését, például analóg-digitális átalakítók esetében.

A PTP (Precision Time Protocol) csomagok kis méretűek, így nem terhelik jelentősen a hálózatot, azonban elengedhetetlen, hogy a hálózati eszközökben kiemelt prioritással kerüljenek továbbításra. Ez hozzájárul a szinkronizációs pontosság javításához. A QoS (Quality of Service) szabályok keretein belül a PTP csomagoknak még magasabb prioritást kell kapniuk, mint a hangátvitel során használt csomagoknak, hogy biztosítsák a pontos időzítést az egész hálózatban.

Az összes hálózati eszköz a PTP segítségével egyetlen referenciaidőponthoz igazodik. Ezt az időt egy úgynevetű óravezető (PTP leader) eszköz határozza meg, míg a többi eszköz óra követőként szinkronizálódik hozzá. minden eszköz ebből az abszolút időből generálja a saját belső óráját, amit médiaórának nevezünk. A gyártóknak gondoskodniuk kell arról, hogy a médiaóra frekvenciája és fázisa pontosan megegyezzen minden eszköz esetében, amely a hálózatban működik. Bár technikailag elérhető a magas fokú pontosság, ennek megvalósítása jelentős kihívást jelent az audioeszközök gyártó vállalatok számára. A szinkronizáció minősége eszközönként változhat, azonban elfogadhatónak tekinthető, ha a fáziskésés mértéke nem haladja meg az 1 mikroszekundumot.

Mivel az IT-hálózatok nem determinisztikusak a csomagok érkezési idejének tekintetében, az eszközök pontos szinkronizálása összetett megoldásokat követel meg.

A PTP követők fő feladata két hatás kompenzálása, amelyek bármilyen hálózat esetén előfordulhatnak:

2.1.3.1. Jitter kompenzáció

A PTP vezető által küldött szinkronizációs üzenetekben szereplő aktuális időt minden követő eszköz megkapja egy ismert multicast cím (224.0.1.129) segítségével. A hálózati infrastruktúra és a kapcsolók sajátosságai miatt azonban ez az információ nem minden érkezik meg egyenletes késleltetéssel a vevőkhöz. A késleltetés ingadozása a csomag jitter, illetve csomag késleltetési változás (Packet Delay Variation, PDV) nevű jelenség, amelyet minden PTP követőnek képesnek kell lennie kompenzálni. Az ilyen típusú hálózatokban az audioeszközök jellemzően 1–8 szinkronizációs üzenetet dolgoznak fel másodpercenként, ahol a 8-as érték az interoperabilitás biztosítása érdekében van ajánlva.

2.1.3.2. Késleltetés mérése

A „követő” második alapvető feladata a „vezető” és a „követő” közötti csomagkésleltetés mérésére irányul. Ez a késleltetés mérés szükséges ahhoz, hogy a vezető által küldött szinkronizációs üzenetekben szereplő időpontok pontosak legyenek. A mérés célja annak meghatározása, hogy mennyi időbe telik egy csomag átvitele a hálózaton keresztül, beleértve minden hálózati eszközt, mint például kábeleket és kapcsolókat. A vezető és a követő közötti kábelhossz és kapcsolók száma nem befolyásolja a mérés eredményét; az egyedüli tényező a végső késleltetési idő. A Precision Time Protocol (PTP) esetében a késleltetés minden követő között nanoszekundumos pontossággal egységes kell legyen.

A PTP működéséhez elengedhetetlen, hogy a késleltetés mindenkorban, tehát a vezetőtől a követőig és vissza, konstans és szimmetrikus legyen. A késleltetés mérése a követő által történik, amely a késleltetési kérés és válasz üzenetek váltásával történik. Ezt a mérést rendszerint a szinkronizálási aránnyal megegyező gyakorisággal végzik.

Mivel a hálózaton több eszköz is képes lehet PTP vezetőként működni, a szabvány előírásokat határozz meg a vezető kiválasztására. Ezt az eljárást a Legjobb Mesteróra Algoritmus (Best Master Clock Algorithm, BMCA) szabályozza.

Minden vezetőként potenciálisan alkalmazható eszköznek lehetősége van bejelentő üzeneteket küldeni, amelyek tartalmazzák prioritásait és oszcillátoruk pontosságát. Az eszközöknek figyelemmel kell kísérniük más eszközök bejelentő üzeneteit is. Amennyiben más eszközök által küldött üzenetek jobb minőséget jeleznek, az eszköz leállítja a vezetői szerepről való bejelentkezést. Ha viszont az üzenetek nem mutatnak jobbat, az eszköz folyamatosan küldi saját bejelentő üzeneteit, ezzel jelezve, hogy aktív vezetőként működik.

A bejelentő üzeneteket az announce intervallumnak nevezett időközönként küldik ki. Ezek az üzenetek funkcionálthatnak „szívverésként” is, amely biztosítja, hogy a jelenlegi mester még minden működőképes. Ha a kapcsolat megszakad, az eszközök várnak egy bizonyos ideig (bejelentő időtúllépés), mielőtt újra elküldik bejelentő üzeneteiket, és ismételjük meg a vezető kiválasztási folyamatot. A vezetőváltás során a követőknek folytatniuk kell saját oszcillátoruk működését, biztosítva, hogy az audiofolyam ne szakadhasson meg.

A bejelentő üzenetekben két érték található, amelyeket a felhasználó állíthat be: prioritás 1 és prioritás 2. Mindkét érték 0 és 255 közötti tartományban változhat, ahol a 0 a legmagasabb prioritást jelöli. Ha az egyik eszköz prioritás 1 értéke alacsonyabb, mint más eszközöké, akkor az az eszköz válik a vezetővé. A prioritás 2 értéke csak akkor lényeges, ha több eszköz prioritás 1 értéke megegyezik. Ez előfordulhat, ha két azonos típusú eszköz ugyanazon prioritás 1 értéket használ. Ebben az esetben a prioritás 2 határozza meg a fő vezetőt és a tartalék vezetőt.

Fontos megjegyezni, hogy bizonyos eszközök nem engedélyezik a felhasználó számára a prioritási értékek megadását. Ezek az eszközök „Preferált Vezető” megjelöléssel rendelkeznek, és fix értéket használnak, amit a gyártó állít be. Ezért lehetséges, hogy egy másik PTP vezető alacsonyabb érték megadásával felülbírálhatja az ilyen eszközt. Néhány eszköz támogatja a „Csak Követő” beállítást is, amely esetén az eszköz sohasem próbálja meg átvenni a vezetői szerepet a PTP hálózaton.

2.1.4. Mintavételi frekvencia és bitmélység

Az audio over IP rendszerek megbízható működéséhez elengedhetetlen a megfelelő mintavételi frekvencia és bitmélység pontos meghatározása.

Ezek a paraméterek jelentős hatással vannak az audio minőségére és a hálózati teljesítményre. Fontos figyelembe venni a hálózati átviteli kapacitást, valamint az egyes eszközök által támogatott maximális mintavételi frekvenciát és bitmélységet. Amennyiben a hálózat nem képes biztosítani a szükséges sávszélességet, instabillá válhat, ami hangkimaradásokhoz, megszakadásokhoz, vagy legrosszabb esetben a hálózat teljes összeomlásához vezethet.

A gyakran alkalmazott 48 kHz-es mintavételi frekvencia széles hangszagot biztosít, és általában kompatibilis a legtöbb professzionális hangtechnikai alkalmazással. Az utóbbi időben egyre nagyobb népszerűségnak örvend a 96 kHz-es mintavételi frekvencia is, amely fokozott részletességet és jobb hangminőséget nyújt. Azonban fontos megjegyezni, hogy a 96 kHz-es mintavételi frekvencia nagyobb sávszélességet igényel, ami hatással lehet a hálózat teljesítményére. A sávszélesség kiszámítása a következő képlettel történik:

$$\text{Sávszélességigény} = \text{Mintavételi Frekvencia} * \text{Bit Mélység} * \text{Csatornák Száma} \quad (2.1)$$

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

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

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

$$294912000 \text{bit/s} * 1.3 = 383385600 \text{bit/s} = 383,3856 \text{Mbit/s} (\text{teljes sávszélesség}) \quad (2.3)$$

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

2.1.5. Késleltetés

Amennyiben egy csomag 1 ms (milliszekundum) hosszúságú hanganyagot tartalmaz, a kapcsolat késleltetése minden meghaladja az 1 ms értéket. Először a küldő eszköznek 1 ms-nyi hanganyagot kell pufferelnie, mielőtt azt csomagba helyezi és továbbítja a hálózaton. Ezt követi a csomag hálózati utazási ideje, amely magában foglalja az összes áthaladási pontot, például kapcsolókat, mielőtt a csomag végül elérné a célpont eszköz pufferét.

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

A gyakorlatban a „link offset” technikai kifejezés azonos jelentéssel bír, mint a késleltetés. A felhasználó feladata, hogy olyan link offsetet állítson be, amely biztosítja, hogy a fogadó puffer soha ne ürüljön ki, ezáltal megelőzve a hang megszakadását.

2.1.6. IP címek és maszkok

Egy hálózaton belül minden eszköznek egyedi címre van szüksége ahhoz, hogy a csomagok sikeresen célba érjenek, és elkerülhetők legyenek a csomagok ütközései. Az egyedi címek lehetnek hardverhez kötődő címek (MAC-címek) vagy konfigurálható címek (IP-címek).

2.2. IP-cím hozzárendelési módszerek

Az IP-címeket háromféleképpen lehet hozzárendelni egy eszközhöz:

- **Felhasználói kézi beállítás:** Ez dokumentációt és felhasználói figyelmet igényel annak érdekében, hogy egy adott IP-címet csak egyszer használjanak ugyanabban a hálózatban. Ez lehet a preferált megközelítés állandó telepítések esetén, mivel könnyen tudjuk az IP-címek kiosztásának bizonyos struktúráját követni.
- **DHCP szerver általi eszközhöz rendelés:** Ez egy rugalmas, mégis strukturált módja az IP-címek elosztásának a hálózaton belül. Egy hoszt 'DHCP módban' megpróbálja megtalálni a megfelelő DHCP szervert, és minden szükséges IP-konfigurációt egy szabványosított módon szerez be. Egy felhasználó ellenőrizheti a DHCP szerverben észlelt eszközöket és azok IP-címeit. Az adminisztrátor konfigurálhatja úgy, hogy csak bizonyos IP-cím-tartományt osztanak ki, míg másokat kézi rendelésre tartalékolnak.
- **Hoszt általi önkiosztással:** Ez a mechanizmus még *Zeroconfig* néven ismert, és csak kis telepítésnél működik a korlátai miatt, mivel az összes eszköz egy alhálózatban van, és nem csatlakozhat más alhálózatokhoz.

Egy adott eszköz IP-címének megismerése kihívást jelenthet, ha az nem látható egy kijelzőn. Az IP-címek azonosítása és annak meghatározása, hogy két cím azonos alhálózathoz tartozik-e, nem lehetséges az alhálózati maszkok ellenőrzése nélkül.

Amennyiben egy csomag cél-IP-címe nem található azonos alhálózaton belül, a küldő eszköznek a csomagot a router IP-címére kell irányítania, nem pedig közvetlenül a fogadó eszközhöz.

Az alhálózaton belül a hasonló IP-címek csak az utolsó számjegyekben térnek el egymástól. Az IP-cím első része, amely a hálózati címkét jelöli, és a második része, amely a hosztcímkét képviseli, az alhálózati maszk segítségével különíthető el. Az alhálózati

maszkban a 0'-val jelölt pozíciók határozzák meg a hálózati címkét, míg a hoszcím a maradék, 0'-val jelölt rész bal oldalán található. A hálózati címkét az alhálózati maszkban egy 0'-nál nagyobb érték jelzi, míg a hoszcím a maradék 0'-val jelölt pozíciókban található.

Host A

	Network Address	Host Address
IP address	192.168.020.079	
Subnet mask	255.255.255.000	

2.4. ábra. Host A

Host B

	Network Address	Host Address
IP address	192.168.020.182	
Subnet mask	255.255.255.000	

2.5. ábra. Host B

Host A és Host B ugyanazon alhálózatban találhatóak, mivel mindenkető azonos hálózati címkét használ (192.168.020). Az IP-cím hálózati részét az alhálózati maszk 255-ös értéke határozza meg. E két eszköz között tehát nincs szükség routerre.

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 viszont eltérő alhálózaton helyezkedik el, mivel a hálózati címében eltérés van (192.168.134 a 192.168.020 helyett). Ennek következtében Host C nem képes közvetlen csomagcserére Host A-val és Host B-val router nélkül. A kommunikációhoz Host C-nek olyan IP-címet kell kapnia, amely a 192.168.134... tartományba esik, vagy az alhálózati maszkot is módosítani kell, például 255.255.0.0-ra.

Az alhálózati maszkok decimális jelölését dot-decimális formátumnak nevezzük. Az információk rövidebb jelölésére gyakran alkalmazzák a CIDR (Classless Inter-Domain Routing) vagy perjel alapú jelölést. Ez a jelölés az IP-cím után következő perjel után az alhálózati maszkot 0'-nál nagyobb értékekkel tünteti fel. A CIDR jelölés az alhálózati maszk bináris formájára utal, például a 255' a 11111111'-nek felel meg. A példák alapján az alhálózati maszkok bináris formájukban 24 1'-et tartalmaznak. A fenti példában szereplő hosztok CIDR jelölése:

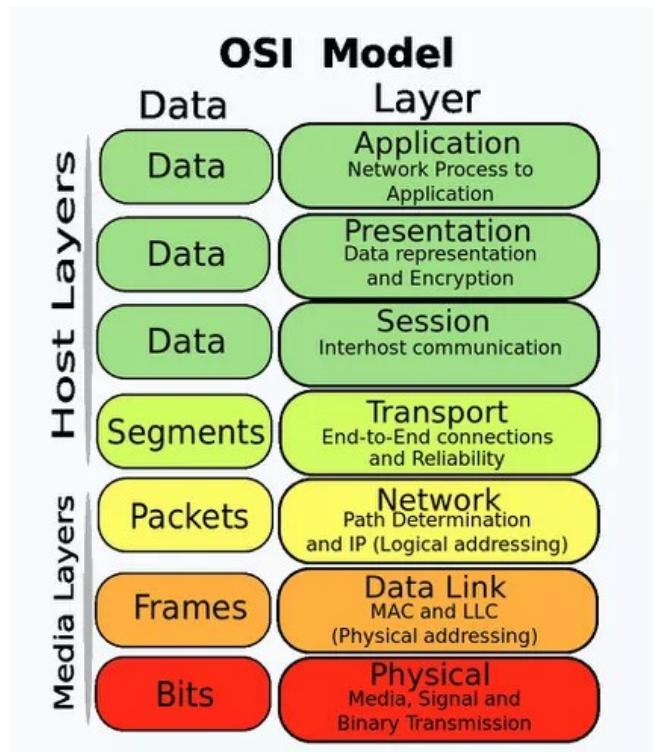
- **Host A:** 192.168.020.182/24
- **Host B:** 192.168.020.079/24
- **Host C:** 192.168.134.61/24

A routerek alkalmazása során és több alhálózat összekapcsolására szolgáló telepítések az OSI modell harmadik rétegén működnek. Ez a modell a hálózati funkcionálitást hétre bontja, ahol minden egyik réteg egy adott szolgáltatási készletet határoz meg a hálózati eszközök által biztosított funkciókról. A harmadik réteg feladata a csomagok célba juttatása a megfelelő címzett felé.

Az összes modern IT eszköz követi ezt az absztrakciós rétegkonceptiót, amely biztosítja a gyártók közötti interoperabilitást. A harmadik réteghez tartozó telepítések

képesek az IP-címek és az alhálózati maszkok értelmezésére, amely lehetővé teszi a csomagok továbbítását az alhálózatok között. Az ilyen típusú technológiák képesek a kívánt működésre. Ezzel szemben bizonyos technológiák csupán a második rétegre korlátozódnak.

Ez azt jelenti, hogy a csomagok továbbítása kizárolag MAC-címek alapján történik, és nem tartalmaznak alhálózati információkat. Ennek következtében a második rétegű hálózatokat nem lehet több alhálózatra bontani, a csomagok továbbítása nem végezhető routerek által, ami jelentős mértékben korlátozza a skálázhatóságot. A második rétegű hálózatok egyik ismert példája a TSN/Milan és a CobraNet.



2.7. ábra. Az OSI modell

Az alhálózat egy logikai egységet jelent egy adott hálózaton belül. Az alhálózatok létrehozása többféle célt szolgál, például adminisztratív és biztonsági okokból. A routerek feladata az alhálózatok összekapcsolása, lehetővé téve ezzel, hogy a hosztok csomagokat cseréljenek anélkül, hogy elhagynák saját alhálózatukat. Az alhálózatok közötti forgalom irányításához a megfelelő hálózati útvonalak konfigurálása szükséges.

Ezzel szemben a hagyományos kapcsolók nem képesek alhálózatok összekapcsolására. Alternatív megoldásként a virtuális LAN (VLAN) használata lehetővé teszi a hálózat szegmentálását. A VLAN létrehozása növeli a rendszer rugalmasságát, és csökkenti a különböző rendszerek közötti felesleges kommunikációt. Emellett a VLAN-ok biztonságosabb módot nyújtanak a hosztok egymástól való elkülönítésére, szemben az alhálózatokkal.

2.2.1. Hálózati topológiák

A csomópontok különböző módszerekkel kapcsolódhatnak egymáshoz, és a topológia kiválasztása az egyik legfontosabb döntés a hálózat tervezése során. A csillag topológia széles körben alkalmazott megoldás, amelyben több hoszt egy központi eszközönél, például kapcsolóhoz vagy routerhez csatlakozik. A modern hálózatok gyakran alkalmaznak kettős csillagtopológiát, amelyet gerinc/levél architektúrának neveznek. Ebben a struktúrában a

központi eszköz (gerinc) általában több adatforgalmat kezel, mint a perifériális eszközök (levél). Amennyiben a gerinc és a levél közötti nagy sávszélességű kapcsolat nem képes egyszerre kezelni az összes hoszt forgalmát, a rendszer blokkolhat. Az ellentétes megközelítés a nem blokkoló hálózattervezés, ahol a nagy sávszélességű kapcsolatok képesek kezelni a hozzájuk csatlakoztatott hosztok teljes forgalmát.

A gyűrű topológia szintén egy népszerű megoldás, amely több interféssel rendelkezhet. A gyűrű topológia megvalósításához legalább két interfész szükséges. minden két csomópont közötti kapcsolat teljes sávszélességet biztosít, és a csomópontok feladata a csomagok továbbítása a gyűrűn belül. Ebben a rendszerben minden csomópont olyan módon működik, mint egy kapcsoló, amely csomagokat továbbít a két interfésze között. A gyűrű topológia gyakran választott megoldás nagy távolságok áthaladására és költséges kapcsolatok esetén. Gyakorlati alkalmazásai közé tartoznak a különböző helyszínek közötti hálózatok, illetve olyan eszközök összekapcsolása, ahol nincs hely további kapcsolók elhelyezésére. Ezen kívül a gyűrű topológiák beépített redundanciát nyújtanak, lehetővé téve a hozzáférést minden eszközhöz még akkor is, ha egy kapcsolat megszakad.

A megfelelő hálózati kialakításhoz alapvető fontosságúak a nem blokkoló kapcsolók is. A nem blokkoló architektúra azt jelenti, hogy a kapcsoló nem jelent szűk keresztmetszetet a rendszerben. Ez azt jelenti, hogy képes kezelni az összes rá érkező forgalmat, ahol csupán a port sebessége szabhat határt.

2.2.2. Unicast és Multicast

Amikor egy eszköz adatcsomagot küld egy másik eszköznek, ezt unicast módszernek nevezik. Ilyenkor a kapcsolatnak pontosan egy küldője és egy fogadója van. Az unicast gyakran a Transmission Control Protocol (TCP) segítségével történik, ahol a fogadó minden egyes csomag sikeres átvételéről visszaigazolást küld a küldőnek. Ha a visszaigazolás nem érkezik meg, a küldő automatikusan újraküldi a csomagot.

Az UDP (User Datagram Protocol) egy alternatív megoldás a TCP-hez képest. Az UDP esetében a küldő nem kap visszaigazolást a csomagok megérkezéséről, így bízik abban, hogy a csomagok sikeresen eljutnak a fogadóhoz. Ha egy csomag elveszik, annak tartalma is elveszik. Ez nem jelenti azt, hogy az UDP kevésbé megbízható, csupán más célokra lett tervezve.

Bár ez meglepő lehet, az UDP gyakran előnyösebb a szakmai audio hálózatokban. Az alacsony késleltetés érdekében nem megengedett a csomagok újraküldése, mivel ez időt igényelne, ami növelné az általános késleltetést. Az élő audio esetén a csomagvesztés kezelése során a legjobb, ha azonnal folytatjuk a következő audio minták lejátszását, anélkül hogy megpróbálnánk helyreállítani az elveszett csomagokat. A menedzselhető switchek és végpontok lehetővé teszik a csomagvesztések naplázását, így nyomon követhető a hálózat állapota.

Az audio alkalmazások gyakran megkövetelik, hogy egy audio jelet párhuzamosan több helyszínre továbbítsanak, például egy mikrofonjelet, amelyet egyszerre továbbítanak a front-of-house és a monitoring keverőpultokhoz, esetleg egy harmadik helyszínre, például egy felvétő eszközre is.

Amikor a küldő unicast módban küldi el a csomagokat, az audio jel három külön csomagként érkezik azonos tartalommal, de eltérő címzésekkel. Ez felesleges terhelést jelent a küldő eszköz számára és sávszélességet foglal el minden hálózat célhoz. Az optimalizálás érdekében a multicast használata ajánlott. A multicast előnyei közé tartozik a csökkentett processzorterhelés a küldő eszközön és az általános forgalom csökkentése a hálózaton. A küldő multicast címekre küldi a csomagokat, nem pedig egyedi hoszt címekre. Nem tudja, melyik címzettek kapják meg a csomagokat. A multicast címek hasonlóak a rádiófrekvenciákhoz: bárki, aki érdekelt, fogadhatja a tartalmat. A küldő

csak egyszer helyezi el az audio adatokat egy csomagban, és elküldi egy multicast címre. A vevőknek tudniuk kell, melyik multicast címre szeretnék hallgatni. A multicast címek nem kapcsolódnak közvetlenül az alhálózatokhoz vagy az IP-címekhez, ezért a multicast csomagok áthaladnak az alhálózatokon, hacsak nincsenek elköltöztetve VLAN-on keresztül.

Ha a hálózat nem kizárolag audio jelek továbbítására van tervezve, előfordulhat, hogy olyan eszközök is csatlakoznak hozzá, amelyek nem kapcsolódnak az audiohoz. Ennek elkerülésére fontos, hogy a multicast forgalom csak az arra érdeklődő hosztokhoz jusson el. Ezt az IGMP snooping (Internet Group Management Protocol snooping) használatával lehet megoldani. Az IGMP snooping lehetővé teszi, hogy a kapcsolók csak azokon az interfészeken küldjék el a multicast csomagokat, ahol az érdeklődő hosztok időszakosan IGMP kéréseket küldenek. Ha nincs beérkező kérés, a megfelelő multicast leáll, így elkerülhető a felesleges forgalom. Az IGMP snooping hasonló egy zsíliphez, amely alapértelmezetten zárva van, és csak kérésre nyílik meg. Erősen ajánlott az IGMP snooping aktiválása minden kapcsolóban egy multicast hálózatban. Fontos megjegyezni, hogy egy hálózatban csak egy IGMP Querier lehet aktív, mivel az összes többi kapcsoló tőle kapja az információkat. Az IGMP Querier hiányában a multicast forgalom broadcastként viselkedhet, ami jelentős felesleges forgalmat eredményezhet.

Összefoglalva, az unicast biztosítja a legjobb késleltetési teljesítményt, és a kapcsolók számára a legjobban kezelhető. Ezzel szemben a multicast hatékonyabb sávszélesség-kezelést kínál, különösen a csatornaszám és a sávszélesség növekedésével.

2.2.3. Eszköz- és Adatfolyam-felfedezés

Az AES67 audiostandard nem határozza meg, hogyan történik a hálózati eszközök felfedezése, illetve mely adatfolyamok érhetők el a hálózaton belül. Jelenleg az ismert technológiák közül mindegyik a Bonjour vagy mDNS mechanizmusokra támaszkodik az eszközök közötti értesítések kezelésére.

Az eszközök általában egy fix multicast cím (224.0.0.251) felé küldik az értesítéseket, amelyeket más eszközök fogadnak, így tájékozódnak egymás jelenlétééről a hálózaton. Ennek a megközelítésnek azonban vannak korlátai: nem működik hatékonyan nagyobb telepítésekben, ahol több alhálózat vagy VLAN van jelen. Ezen kihívások kezelésére a gyártók saját megoldásokat fejlesztettek ki, mint például az Audinate Dante Domain Manager, vagy az audio/video NMOS szabványt alkalmazzák a felfedezés és a kapcsolatkezelés érdekében.

Az audio adatfolyamok felfedezése gyártónként eltérő mechanizmusokat használ. Mindkét esetben előre meghatározott multicast címek segítségével terjesztik az adatfolyamokkal kapcsolatos információkat, lehetővé téve, hogy a címzettek megtalálják az elérhető adatfolyamokat és azok paramétereit:

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

Szerencsére a jelenlegi termékek többsége lehetővé teszi minden protokoll egyidejű aktiválását, így egy adott audio adatfolyam minden protokollon keresztül párhuzamosan bejelenthető.

2.2.4. Redundancia

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

beváltak és gyakran megbízhatóbbak, mint a hagyományos audioberendezések. Emellett a legtöbb IT-hálózati komponens több diagnosztikai mechanizmust kínál a berendezések hibájának gyors felismeréséhez és megoldásához.

2.2.4.1. Spanning Tree Protocol (STP)

Ha a kapcsolókat úgy kötik össze, hogy hurok jön létre, fennáll annak a veszélye, hogy a csomagok végtelenül áramlanak a hurokban. Ezt az ‘visszacsatoló hurok’ jelenséget a hálózati hardver automatikusan észleli az STP segítségével, és ha hurokra bukkan, a kapcsoló automatikusan kikapcsolja az egyik kapcsolatot. Az STP-t viszont felhasználhatják a rendszer véletlen kapcsolatvesztések elleni védelmére is, beleértve a kábelvágásokat is.

Abból a megközelítésből áll, hogy szándékasan létrehoznak hurkokat, majd a rendszer inaktiválja az egyiket, ha valamelyik kábel véletlenül kiesik, a rendszer másodperceken belül észleli ezt, és újraaktiválja a passzív kapcsolatot. Ebben az időszakban az audio néhány másodpercig megszakad, de még mindig sokkal gyorsabb, mint a manuális hibakeresés és az új kábel telepítése. A legtöbb rendszerben az STP alapértelmezetten engedélyezve van. Nélküle broadcast ‘viharok’ alakulnának ki, ami felemészti a sávszélességet, és túlterheli a hálózatot.

2.2.4.2. Link Aggregáció

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

2.2.4.3. Adatfolyam redundancia

A legbiztonságosabb de egyben legdrágább módja a redundancia megvalósításának egy hálózatban az, ha két különálló audiohálózatot hoznak létre, két független utat biztosítva a küldő és a fogadó között. Ebben a felállásban minden csomópontnak két hálózati interfész kell biztosítania. A küldő két azonos audio tartalommal rendelkező csomagot hoz létre, mindenkor azonos PTP-időbényezőt nyom, majd elküldi mindenkor hálózaton. A fogadó mindenkor csomagot fogadják és kicsomagolják. Még akkor is, ha az egyik csomag elveszik, a megmaradt csomag tartalmazza az összes információt, és biztosítja, hogy az audio zavartalanul folytatódik. Valójában ez a mechanizmus az egyetlen megközelítés egy hálózatban a véletlenszerű csomagvesztés kompenzálsára anélkül, hogy meg kellene ismételni azokat a küldőtől és ezzel késleltetést hozzáadva a rendszerhez.

2.3. AES67

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

- Unicast és multicast támogatása
- UDP/RTP protokollok használata
- DSCP címkek beállítása meghatározott értékekre,QoS támogatás
- Nincs meghatározott automatikus eszköz- és adatfolyam-felfedezés
- PTPv2 szabvány használata az időszinkronizációhoz
- PTP profil Standard (a gyakorlatban a Dante jelenleg magasabb szinkronizációs rátát igényel)
- Küldőknek ki kell adniuk egy SDP fájlt
- A fogadóknak érteniük kell egy SDP fájlt
- A fogadó puffernek legalább 3 ms hangot kell tudnia tárolni
- Adatfolyam formátumok
- Egytől nyolc csatorna (a küldő választhat egy fix számot, de a fogadóknak képesnek kell lenniük rugalmasan fogadni bármelyik lehetőséget).
- 24 bites és 16 bites felbontás (a küldő választhat egyet, de a fogadóknak mindenkor érteniük kell)
- 48 kHz mintavételi frekvencia 1 ms csomagidő (48 minta)
- A multicast címek 239.0.0.0 és 239.255.255.255 között vannak

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

2.4. Audinate Dante

2.4.1. A Dante hálózatok áttekintése

A 2020 - 2021-es Covid-19 járvány alatt lehetőségem volt egy széleskörű Dante kurzusra beiratkozni, amelyet a Dante gyártója, az Audinate szervezett. A kurzus egy átfogó mély áttekintést nyújtott a Dante hálózatokról. Ebben a fejezetben fő forrásomnak a belső oktatónyagot fogom használni, amelyet a kurzus során kaptam, pontos és részletes információkat nyújtva a Dante hálózatokról. Ezek a dokumentumok csak azok számára elérhetőek, akik részt vettek a kurzuson, ebből kifolyólag nem publikusak.

A Dante hanghálózatok digitális hanghálózati technológiát képviselnek, amely lehetővé teszi a hang elosztását és útválasztását a szabványos Ethernet hálózatokon keresztül. Az ausztrál Audinate vállalat fejlesztette ki a Dante-t, amely a szabványos Internet Protocol (IP) hálózatokat használja a magas minőségű, alacsony késleltetésű hangátvitelhez eszközök között. Ez lehetővé tesz nagyobb rugalmasságot és skálázhatóságot a hagyományos analóg hangrendszerhez képest, valamint biztosítja a hangrendszer integrálását egy meglévő IT infrastruktúrába. A Dante hanghálózatokat széles körben alkalmazzák, ideértve a koncerthangosítást, rádiózást, stúdiófelvételeket, vállalati és konferenciaközpontokat, és még sok más. A technológia támogat számos hangformátumot és mintavételi rátát, és lehetővé teszi akár több száz hangcsatorna egyidejű átvitelét egyetlen hálózaton keresztül. Emellett a Dante hanghálózatok távolról is vezérelhetők és monitorozhatók, megkönyítve a nagy, összetett hangrendserek beállítását és kezelését.

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 rátá és bitmélység

A rendszer képes egyidejűleg több bitmélységet kezelni. Ennek informatikai háttere a következő képpen néz ki. Ha egy 32 bites hangforrásunk van, de a másik eszköz csak 24 bites hangot tud fogadni, akkor a Dante a 32 bites hangot 24 bitesre alakítani.

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

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

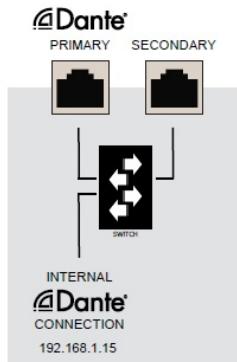
Hangminták	Bitmélység
11110000 11110000 11110000	24 bites
11110000 11110000 11110000 00000000	32 bites

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

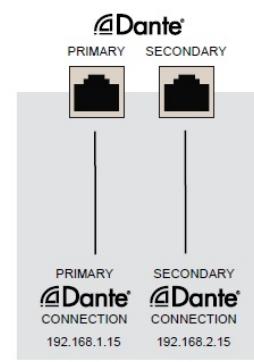
van ahhoz, hogy a több mintavételi ráta egyszerre megfelelően működjön, az pedig az egységes órajel az összes mintavételi frekvenciához.

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 (füzérés) 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:

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

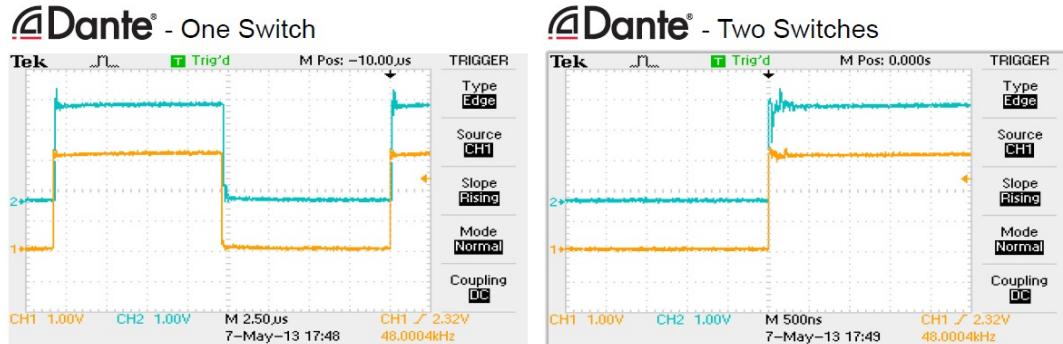
$$1 \text{ másodperc} = 1000000 \text{ mikro másodperc}, \quad \text{azaz} \quad 1\mu\text{s} = 0.000001 \text{ s} \quad (2.5)$$

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 mintavételei rátától. Beállíthatunk külső óra vezetőt is amennyiben szükséges. Nem szinkronizál újra, hanem beállítja a sebességet és kompenzája 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.



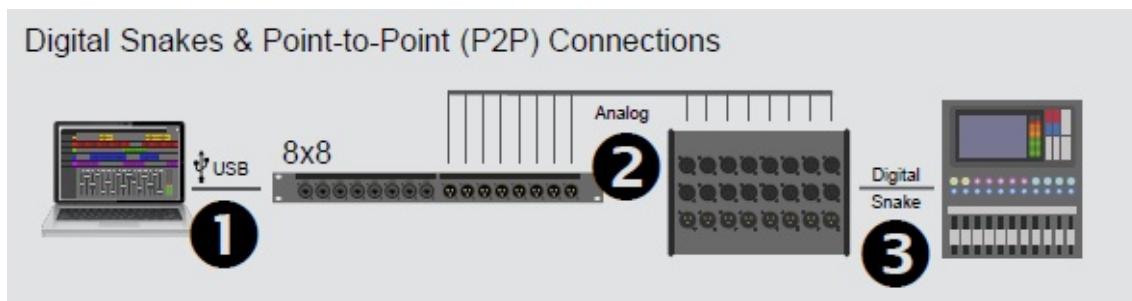
2.10. ábra. Dante órajel

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 minőségszélekkel 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 jelút vonalát?	Mozgassuk a kábelt	Egy egérkattintással
Szétválasztatjuk-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

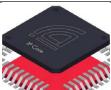
A rugalmasság és a skálázhatóság további kulcsfontosságú előnye a Dante hanghálózatoknak a hagyományos analóg hangrendszerekkel szemben. Képesek alkalmazkodni különböző hangkonfigurációkhoz és követelményekhez. Könnyű eszközöket hozzáadni vagy eltávolítani, megváltoztatni a hangjelek útvonalát, és a 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 méretben 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

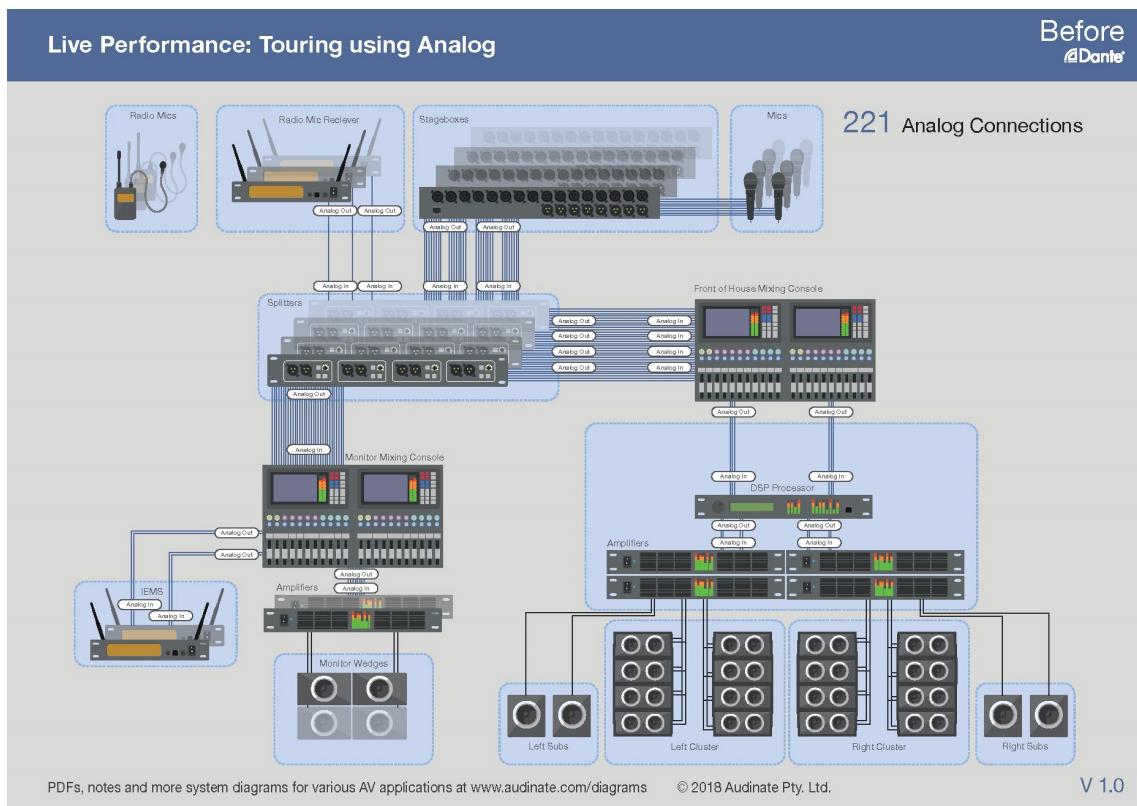
3.1. ábra. Martin Audio iK42 végfok



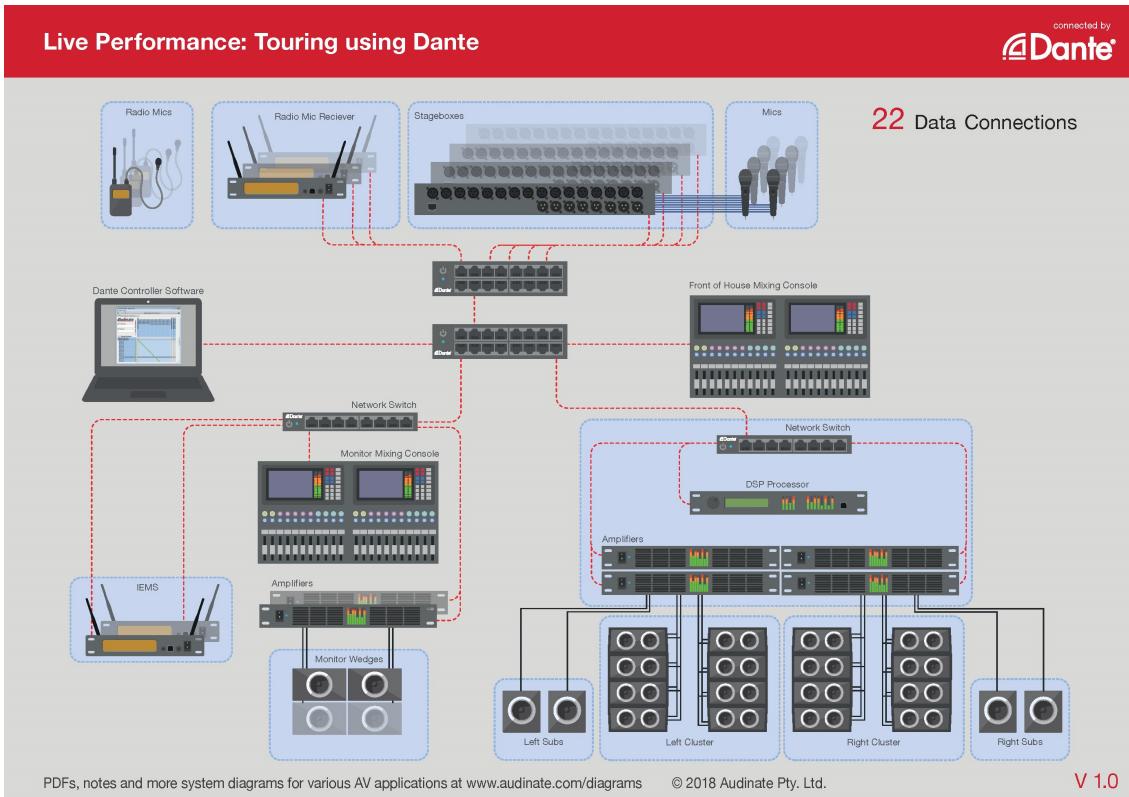
iKON

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.

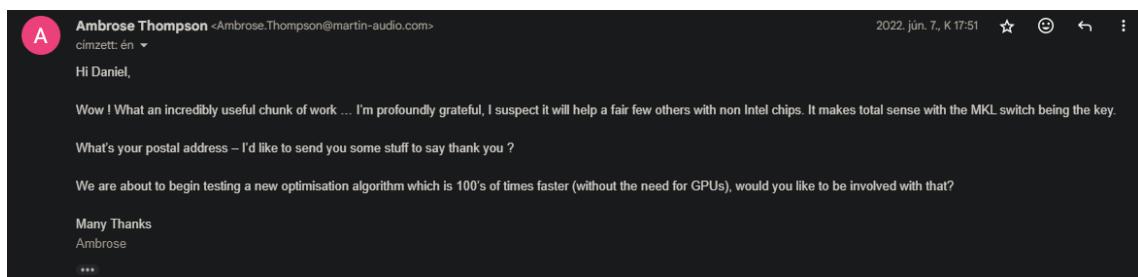
```
@echo off
set PATH=%PATH%;C:\Program Files\Martin Audio\Display2_3_4_b1\application
```

```

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

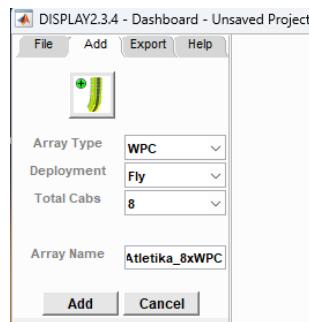
Most, hogy már a szoftver használható és teljes mértékben működőképes, kezdjük el a tervezést. A modellezés során a budapesti Millenáris B csarnoka lesz a referencia helyszín. Két LineArray rendszert fogunk tervezni, mivel a terem hosszúsága és a lefedettség növelése miatt szükségünk lesz Delay kiegészítésre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

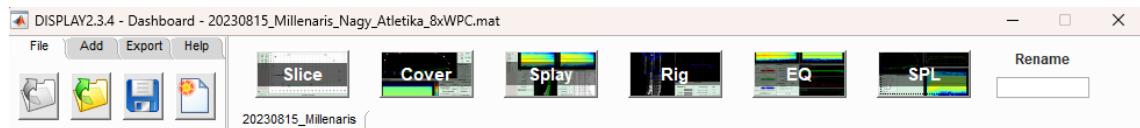
A program megnyitásakor a legelső lépés, hogy kiválasztjuk a termékpálettából a megfelelő hangrendszeret. Jelen esetben az előbbiekbén említett WPC-t. A produkción igényei, a nagy létszámú közönség és a ládamennyisége miatt a rendszert „riggelni” fogjuk. (maximálisan 6 darab WPC-t lehet „stackelni”, azaz a földre vagy mélyládákra helyezni) A helyszín felmérése után a hangrendszer „riggelése” lehetséges, mivel a csarnokban található tartószerkezet biztonságosan és tartósan képes elviselni a rendszer súlyát. A telepítés

módja kiválasztása után megadjuk a szoftvernek a tervezni való hangláda mennyiséget, ez az esetünkben már említett 8 darab. A hozzáadás gombra kattintva a elénk kerül a fő kezelőfelület, ahol a hangrendszert tudjuk lépésről lépésre tervezni.



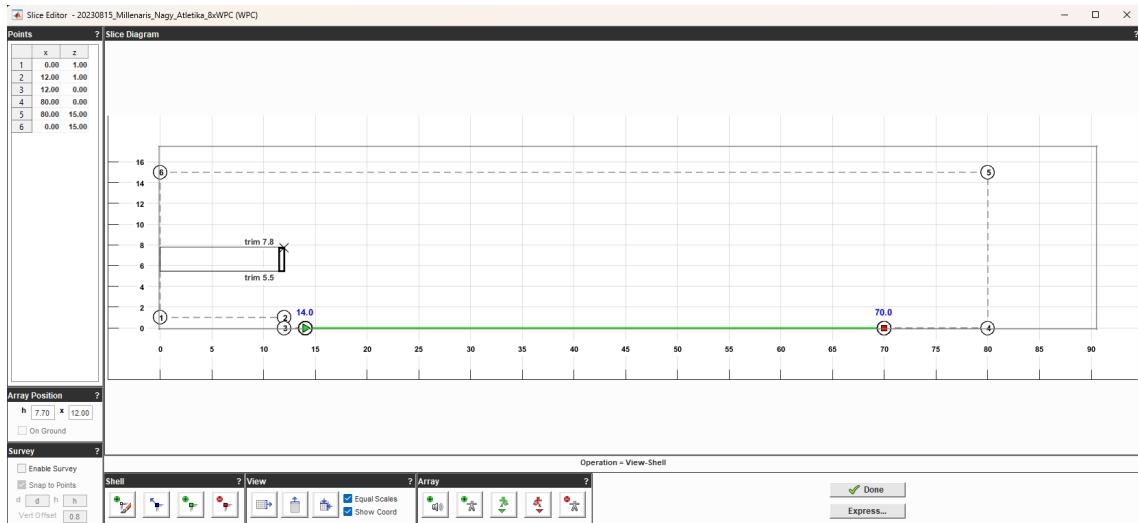
3.7. ábra. Display 2.3.4 b1 kezdőképernyője (WPC)

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)

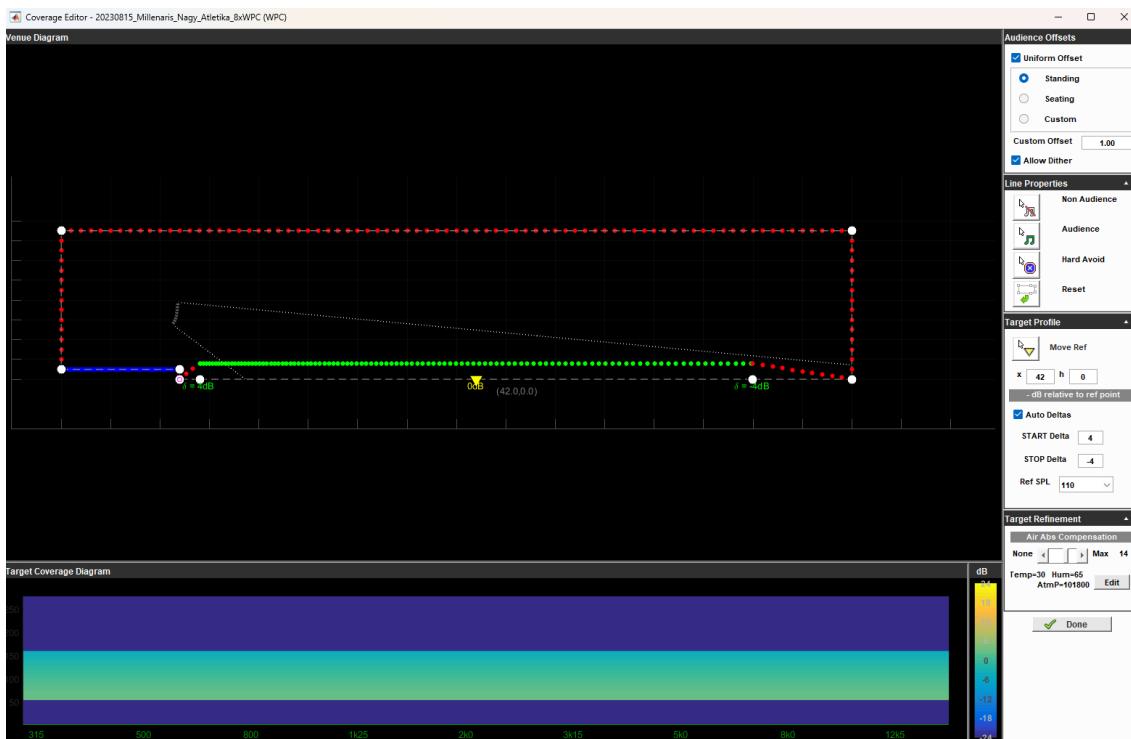
A következő lépések a „Cover” kezelőfelületen történnek. Első és legfontosabb beállítás amit el kell végezni, hogy a hallgatóság az esemény során ülni vagy állni fog-e. Lehetőségünk van a nézőteret különböző részekre is osztani, amennyiben a rendezvény során különböző helyeken eltérő típusú részeket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

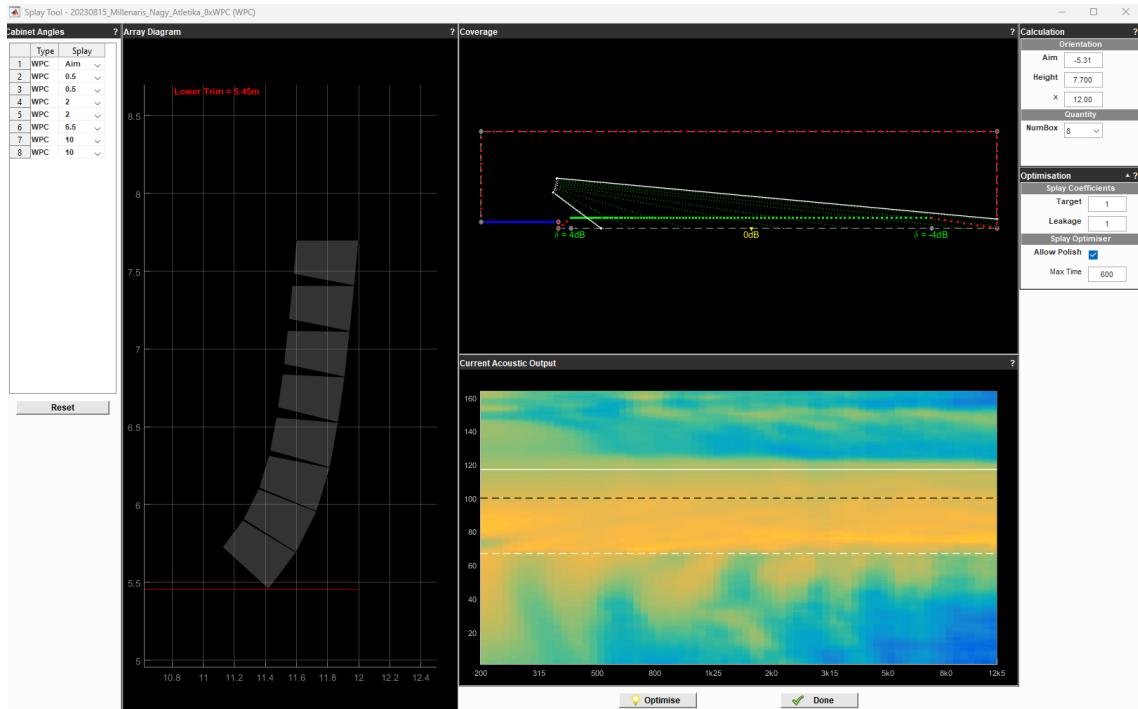
szüksége a magas frekvenciákon, és kifutna a dinamika tartalékból, ezért jobb megoldás, ha a magas frekvenciák fokozatosan csökkennek a távolság növekedésével. Beállíthatjuk a levegő veszteség kompenzációját, teljesen balra állítva nincs kompenzáció (figyelmen kívül hagyva a levegő abszorpcióját). Teljesen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

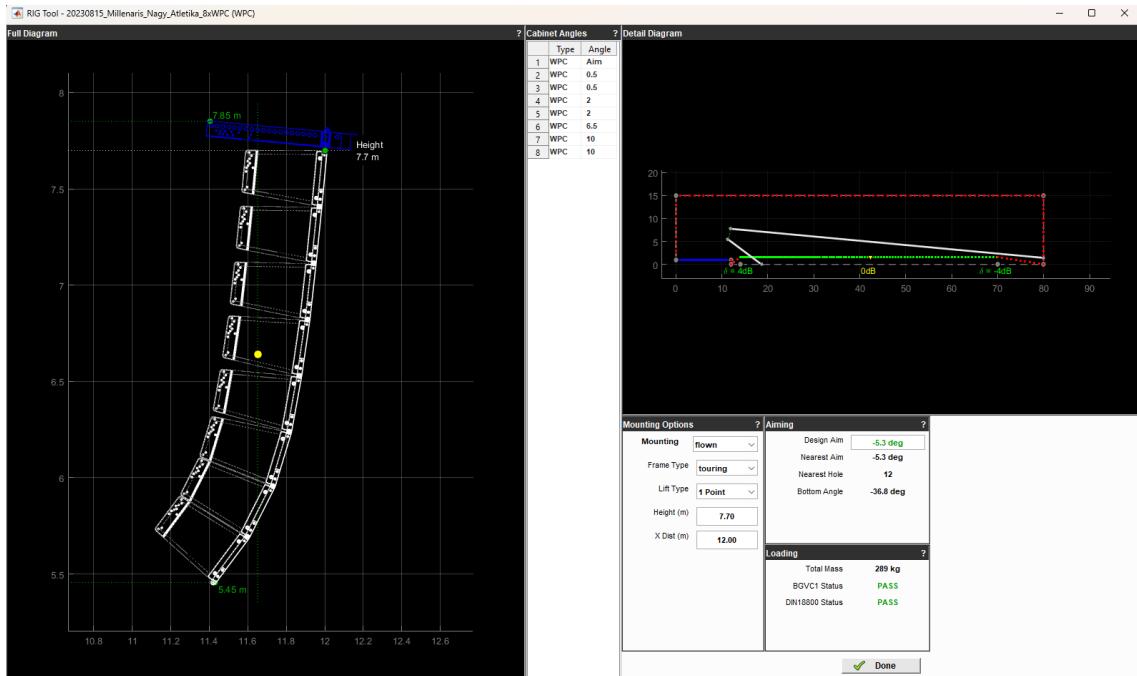
Miután a „*Cover*” kezelőfelületen elvégeztük a szükséges beállításokat, a „*Splay*” kezelőfelületen folytatjuk a tervezést. Az optimalizáció ezen részén a hangrendszer fogjuk a hallgatószám területére irányítani, a fokolási szögek beállításával. A szoftver által biztosított optimalizációs algoritmus 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)

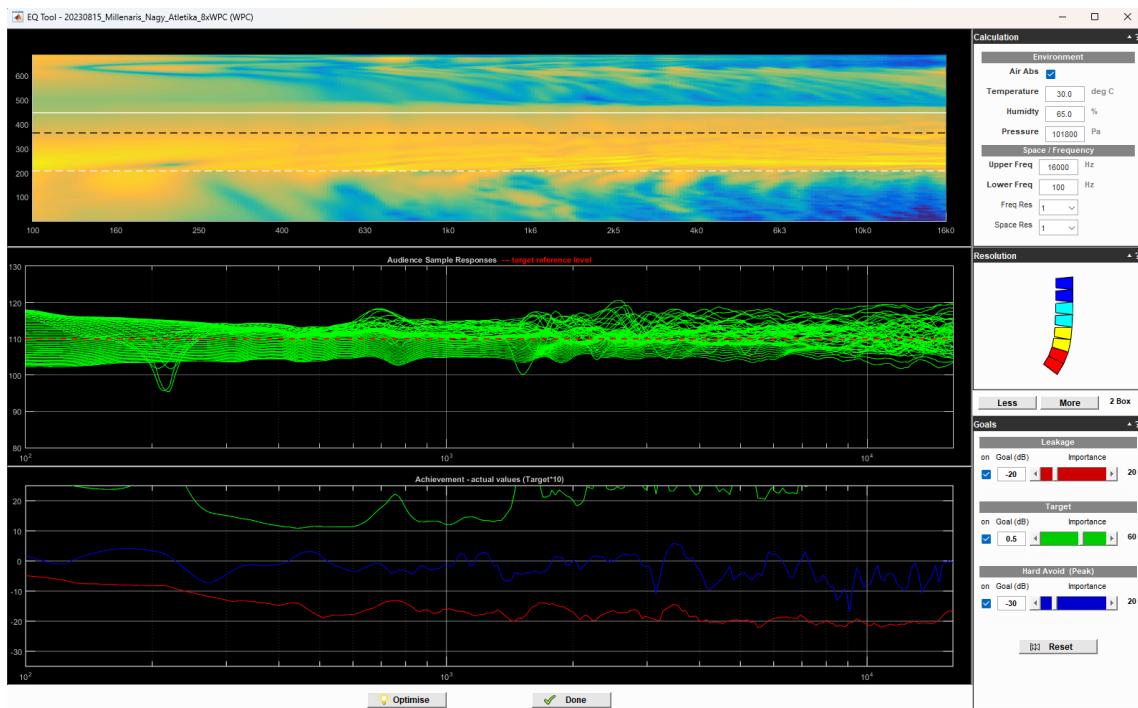
A következő lépés a „Rig” kezelőfelületen történik. Ez a felület elsősorban az eddig elkészített rendszerünket fogja megjeleníteni térben. Elsődleges beállítási paraméter ezen a panelen, hogy egy vagy két pontos rögzítést szeretnénk-e használni. Jelen esetben egy pontos rögzítést fogunk használni. Amennyiben 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 látás 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)

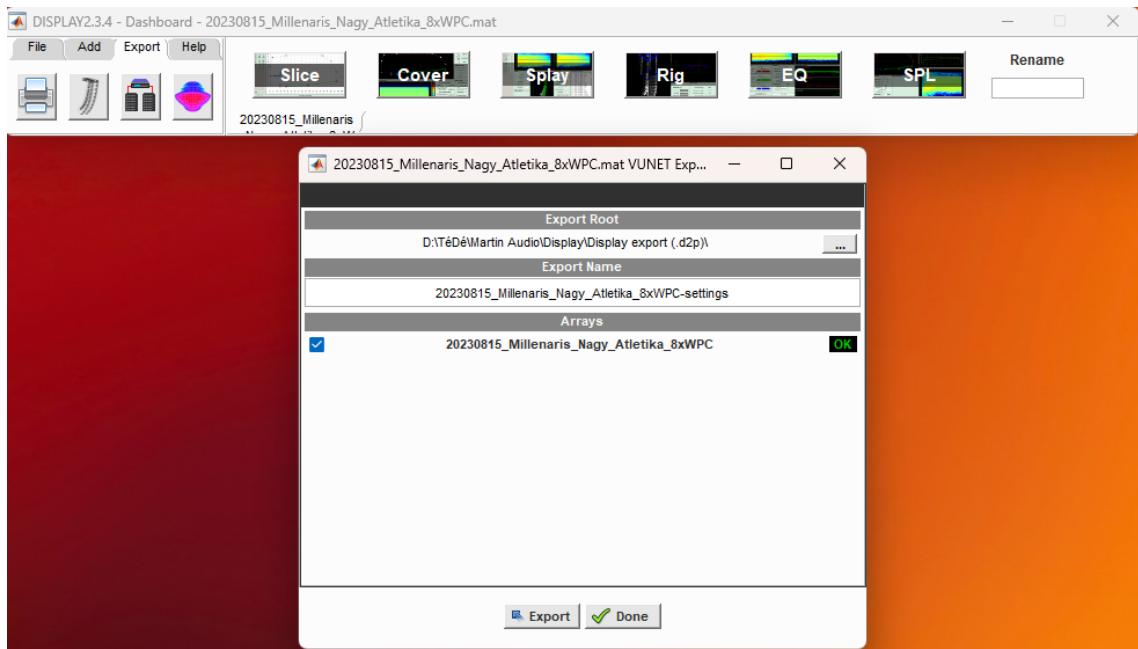
Az utolsó lépés mielőtt ki tudnánk menteni a tervezett rendszert, az a „EQ” kezelőfelületen történik. Ha a „Cover” kezelőfelületen már megadtuk a környezeti változókat, akkor ezt már nem kell újra megtennünk, mivel a szoftver automatikusan átveszi az ott megadott értékeket. Beállíthatjuk az alsó és felső 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 kiegyensúlyozott hangvisszaadásnál tartunk, akkor a „Resolution” panelen meg kell adnunk, hogy milyen konfigurációban szeretnénk használni a rendszert. A WPC szériás hangládákat tudjuk akár egyesével hajtani, azaz egy láda egy végfok csatorna párral (mivel Bi-Amp hangládáról beszélünk). De a gyártó lehetőséget biztosít arra is, hogy a lánckat 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 lánckat. Így a rendszer összesen 3 darab iK42 végfokot fog igényelni, ami 12 darab végfokcsatornát jelent. A WPC rendszer csak iK42 végfokkal hajtható, a 8 csatornás iK81 végfokkal nem kompatibilis. Lehetőség van az optimalizációs algoritmus befolyásolására is, a három előbbiekben már definiált súlyozási tényezők segítségével. A fő hangsúlyt a „Target” súlyozásra helyeztem, mivel a közönség területén szeretném a lehető legjobb hangvisszaadást elérni, ezért 60%-os súlyozást adtam neki. A „Hard Avoid” és a „Leakage” súlyozását 20%-ra állítottam. Továbbá minden résznek megadhatjuk mekkora hangnyomás értéket szeretnénk elérni a tervezett területen. Ezeket az értékeket

nem szükséges módosítani, mivel a gyári értékek megfelelők, de ha mégis szeretnénk, akkor megtehetjük. A paraméterezés után az optimalizáció után megkapjuk a teljes rendszer EQ beállítását és vizuális ábrázolást kapunk a referencia értéktől való 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.



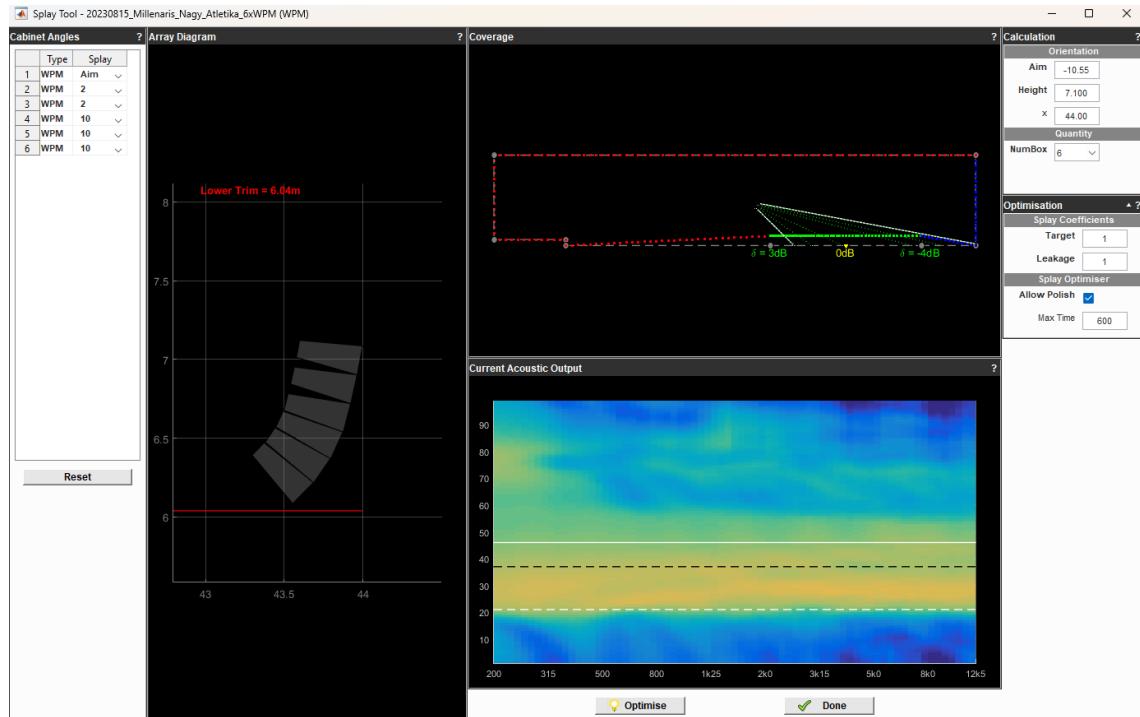
3.14. ábra. Display 2.3.4 b1 exportáló kezelőfelülete (WPC)

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 egyenlesebb lenne, ha egyesével hajtanánk a ládákat, de a jelenlegi rendszerben hármasával fogom hajtani a ládákat, mivel ez a legköltséghatékonyabb megoldás, és végeredményben így is kielégítő hangvisszaadást fog produkálni mint kiegészítő egység.



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

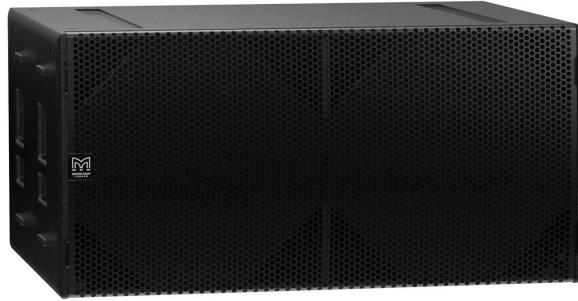
Az előbbiekben már tárgyalt exportáló felületen az összes többi optimalizációs lépést követően mentjük az elkészített tervet a WPC rendszerhez hasonlóan.

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

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

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.



3.17. ábra. Martin Audio SX218 mélyláda

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

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 sztereóm mixek 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]



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

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



3.19. ábra. A&H SQ Dante kártya



3.20. 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 memóriával, és a Focusrite RedNet PCIe kártya veszi fel a harcot a komplex hangfeldolgozási feladatokkal. Ezekre a hardverekre azért esett a választás, mert mivel a Dante kártya 128 csatornát tud kezelni, (az épített rendszer 64 csatornás, de a bővítés lehetősége fent áll) erős számítási kapacitásra van szükség, hogy a rendszer a beállított késleltetési értékek mellett is képes legyen késés nélkül a csatornák feldolgozására. Amennyiben nem sikerül a jelet a beállított időn belül produkálni, furcsa zavaró pattogó hangokat hallhatunk, vagy rosszabb esetben hangkimaradás is előfordulhat. Ezért fontos a megfelelő hardveres erőforrások biztosítása,

és a pontos beállítások elvégzése. A példában szereplő rendszer kifogástalanul képes elvégezni a feladatát, és a beállított 1 ms-os késleltetési értéket is képes folyamatosan tartani.



3.21. 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 állnánk konfigurálni az adott eszközt, fontos eldöntenünk, hogy milyen módban szeretnénk használni. Lehetőségünk van két fő mód közül választani, a redundáns és a váltott mód közül. A „*redundant*” mód mint ahogy azt a neve is sugallja redundáns kommunikációt valósít meg az eszközök között szoftveresen és hardveresen egyaránt. Az összes Dante kártya a jelenlegi rendszerben gyári konfigurációban két RJ45-s csatlakozóval rendelkezik. Jelen esetben ezt a módot választjuk az üzembiztoság és a kritikus hibák minimalizálása miatt. A másik lehetőség a „*switched*” pedig eszközök 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 eszközöt 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 meggysorsítva 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 táblázathban 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 sorszámú végfokrackben lévő legfelső

végfok. A keverőpultok a címezés elején 1-től indulva 20-ig kapnak címeket. A stageboxok 30-tól 50-ig kapnak címeket. Ezeken felül a háló legvégére vannak kiosztva a speciális eszközök melyek nem minden vannak a rendszerben, de ha mégis akkor azoknak is megvan a saját címük. A háló 250-es címén helyezkedik el a Dante Audio szerver.

	Eszköz	Dante Elsőleges	Dante Másodlagos	Maszk	Ethernet IP	Switch Neve	Switch IP	Groove Neve/SSID	Jelszó	Groove IP	DHCP tartomány
Pultok											
SQ5_01	SQ5 (01)	192.168.1.1	192.168.2.1	255.255.255.0	-	-	-	Titkos információ	Titkos információ	-	-
SQ6_01	SQ6 (01)	192.168.1.10	192.168.2.10	255.255.255.0	-	-	-	Titkos információ	Titkos információ	-	-
SQ6_02	SQ6 (02)	192.168.1.20	192.168.2.20	255.255.255.0	-	-	-	Titkos információ	Titkos információ	-	-
QU-SB_01	QU-SB (01)	-	-	-	-	-	-	Titkos információ	Titkos információ	-	-
Boxok											
DT168_01	DT168 (01)	192.168.1.31	192.168.2.31	255.255.255.0	-	DT168_01_P	DHCP	-	-	-	-
DT168_02	DT168 (02)	192.168.1.32	192.168.2.32	255.255.255.0	-	DT168_01_S	DHCP	-	-	-	-
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 Szerek											
AMD_Prof	LiveProfessor	192.168.1.250	192.168.2.250	255.255.255.0	-	-	-	-	-	-	-

3.22. 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 eszközön jelen esetben 1 ms, mivel ennél az értéknél a legtöbb eszköz képes probléma nélkül működni. Ez az érték azonban nem minden esetben optimális, ezért fontos, hogy minden eszköz késleltetését ellenőrizzük és beállítsuk. Amennyiben problémákat, zavaró pattanásokat vagy hangkimaradásokat tapasztalunk, akkor a késleltetési értékeket növelni kell mindaddig, amíg a probléma nem szűnik meg. Fontos megjegyezni, hogy a késleltetési értékek növelésével egyre több és több időt vesz igénybe a jelek feldolgozása, előzenei produkcióknál ez kritikus. A mi esetünkben mivel az útválasztók is kifejezetten csak erre a cédra 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 hosszútávon nagy biztonsággal stabil a hálózat.

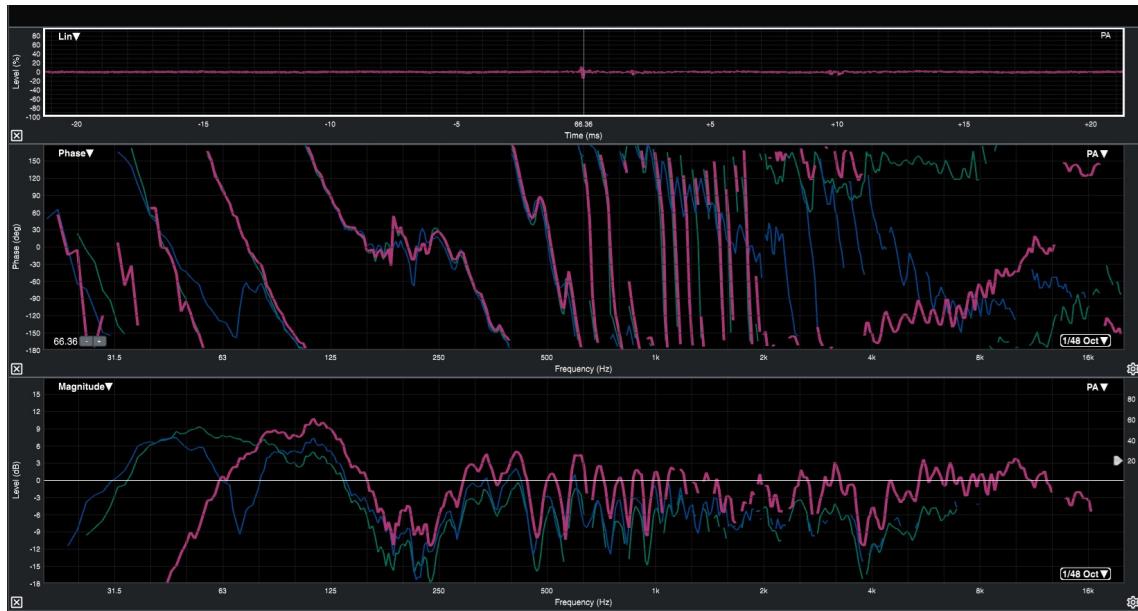
3.2.5. Dante rendszer monitorozása

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 mérten egyenletes hangnyomást biztosítson a teljes területen. Fontos, hogy a mérési környezet a lehetőségekhez mérten minél csendesebb legyen, valamint ne legyenek olyan tárgyak a nézőtéren, amelyek a rendszer elő működése közben nem lesznek jelen és mérés közben a mért hangot visszaverik. Ezzel minimalizálhatjuk a hibákat és a mérések pontatlanságát, valamint a mérés reprezentatívabb lesz. Mivel a mélyláda rendszer és a Main PA fizikai elhelyezkedésük miatt (A Main PA riggel van, míg a mélyládák a földön helyezkednek el) egy adott távolságra vannak egymástól, fontos, hogy a két rendszer fázishelyes és időhelyes legyen. Amennyiben a rendszer fázishelytelen, a rendszer elemei egymás ellen dolgoznak, kioltást okozva, és ezzel csökkentve a hangnyomást. Ezenkívül hiába van fázisban a rendszer, fontos, hogy a két rendszer időben is helyes legyen. Előfordulhat, hogy fázisban vagyunk de 180 fokkal el vagyunk tolva az egyik irányba, így a mélyek vagy késnek vagy előbb érnek a hallgatóhoz ezzel rongálva a hangképet. Aggodalomra azonban nincs ok, mivel megfelelő szakértelemmel és a megfelelő mérési eszközökkel ezek a problémák orvosolhatóak, ezzel biztosítva a kiváló hangminőséget a rendezvényen. Az alábbiakban a mérési eredmények láthatóak. Fontos megjegyezni, hogy a mérési eredmények csak a mérés helyszínén érvényesek, és a mérési körülményektől függően változhatnak. 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.



3.23. ábra. SUB - TOP mérések

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

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 hármát 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.



3.24. ábra. SPL monitorozás a produkciók közben

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 lánzával 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	5
2.2. A kapcsolati eltolás meghatározza a késleltetést [1]	7
2.3. Fáziskohärenz azonos kapcsolati eltolással [1]	8
2.4. Host A	12
2.5. Host B	12
2.6. Host C	12
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	21
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. Martin Audio SX218 mélyláda	35
3.18. Allen & Heath SQ-6 digitális keverőpult	36
3.19. A&H SQ Dante kártya	36
3.20. A&H DT168 Dante stagebox	36
3.21. Focusrite RedNet PCIe kártya	37
3.22. Dante eszközök IP címei a hálózaton	38
3.23. SUB - TOP mérések	40
3.24. SPL monitorozás a produkciók közben	41
4.1. Martin Audio WPL LineArray modul	43
4.2. Allen & Heath dLive S7000 keverőpult	44
4.3. A szakdolgozat szerzője a megépített WPC Line Array mögött az adott rendezvényen	46

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