

# PROTOKOL Z MĚŘENÍ

## Měření, diagnostika a optimalizace zvukového systému Velké haly Starez Arény Vodova

### ADRESA/MĚŘENÝ OBJEKT:

Starez Aréna Vodova (Velká hala)  
Vodova 108  
602 00 Brno

### KLIENT:

STAREZ – SPORT, a.s.  
Křídlovická 911/34  
603 00 Brno

### EVIDENČNÍ ČÍSLO:

2200541

### DATUM MĚŘENÍ:

Listopad – prosinec 2022

### ZPRACOVAL:

Ing. David Kurc

SIGNATURE:



### KONTROLOVAL:

Ing. Martin Vondrášek

SIGNATURE:



### MĚŘENÍ PŘÍTOMNI:

Ing. David Kurc,  
Petr Juříček,  
Petr Lisa

## MĚŘICÍ VYBAVENÍ

Vybavení	SN
Mikrofony Earthworks HDM High-definition microphone M30 – 3ks	5861, 5862, 5863
Calibrator GRAS, typ 42AG	279488
Laser length meter Leica, type DISTO D510	1050834401
Thermo-hydro-barometer COMET, D4130	16910276
PC Dell Latitude 5411	-
Zvuková karta Roland OCTA-CAPTURE	-
Mikrofonní stativy K&M – 3ks	-
Kabeláž	-

*Před a po měření bylo provedeno justování mikrofونů – bez odchylky.*

## Literatura

- [1] RATIONAL ACOUSTICS, Smaart v8 User Guide. Release 8.3, 2018, 206 stran. Dostupné z: <https://support.rationalacoustics.com/168699-Smaart-v8-Documentation> (EN)
- [2] MCCARTHY, Bob. Sound systems: design and optimization. Third edition. New York: Focal press, Taylor & Francis group, 2016, xx, 579 stran. ISBN 978-0-415-73099-0 (EN)
- [3] EVEREST, F. Alton. Master handbook of acoustics. 4. vyd. McGraw-Hill/TAB Electronics. 615 stran. 2001. ISBN 978-0071603324 (EN)
- [4] RAICHEL, Daniel R., Science and application of acoustic, second edition. Springer Science+Business Media, Inc. 647 stran. 2006. ISBN: 978-0387-26062-4 (EN)
- [5] DAVIS, Don, Eugene PATRONIS, Pat BROWN a Glen BALLOU. Sound system engineering. Fourth edition. New York: Focal press, Taylor & Francis group, 2013, 626 stran. ISBN 978-0-240-81846-7 (EN)
- [6] ISO 3382-2:2009 Acoustics — Measurement of room acoustic parameters — Part 2: Reverberation time in ordinary rooms — Technical Corrigendum 1
- [7] DIN 18041:2016-03 – Acoustic quality in rooms – Specifications and instructions for the room acoustic design, English translation of DIN 18041:2016-03
- [8] Dokumentace stávajícího stavu AV techniky Starež Arena Vodova – Velká hala, Pracovní verze\_00

**PARAMETRY PROSTORU**

<b>Kapacita</b>	5500 míst (2900 k sezení)
<b>Materiál povrchů</b>	konvenční stavební materiály (beton, ocel, plast, dřevo), palubovka
<b>Materiál sedadel</b>	plastová sedadla
<b>Akustické úpravy</b>	stropní konstrukce podvěšena akustickými širokopásmovými absorbéry
<b>Akustika</b>	subjektivně vysoká doba dozvuku 2,6 s, maximum cca 3,3 s v pásmu 2000 Hz

**PŘEDMĚT MĚŘENÍ**

Předmětem měření byl hlavní zvukový systém Velké haly Starež Areny Vodova, který slouží k ozvučení tribun a hrací plochy haly při sportovních a jiných událostech. Tento systém sestává z reproduktorových soustav (reprosoustav, reproboxů) značky Ministr (označení typu není známo), které jsou rozděleny do 4 okruhů. Jednotlivé okruhy jsou buzeny zesilovači Peavey PV-1500 a Peavey PV 2000. O řízení úrovně signálů se stará audio distributor Ministr MK, který je do zesilovače PV-1500 navíc připojen přes digitální zpožďovací linku The T.racks DL 2/318. Jako hlavní vstupní signál pro audio distributor je z mixážního pultu Behringer 2642 využívána hlavní stereo sběrnice, která je do distributoru vedena přes eliminátor zpětné vazby Sabine FBX solo SL-820.

Z uživatelského hlediska funguje celý zvukový systém jako tzv. blackbox, tedy funguje samostatně bez nutnosti obsluhy běžným uživatelem. Aktuálně jako uživatelské rozhraní pro běžnou obsluhu slouží pomocná mixážní konzole Behringer Xenyx802, jejíž hlavní výstupní kanály L/R jsou přes přípojně místo pod časomírou v hale připojeny do hlavního mixážního pultu Behringer 2642.

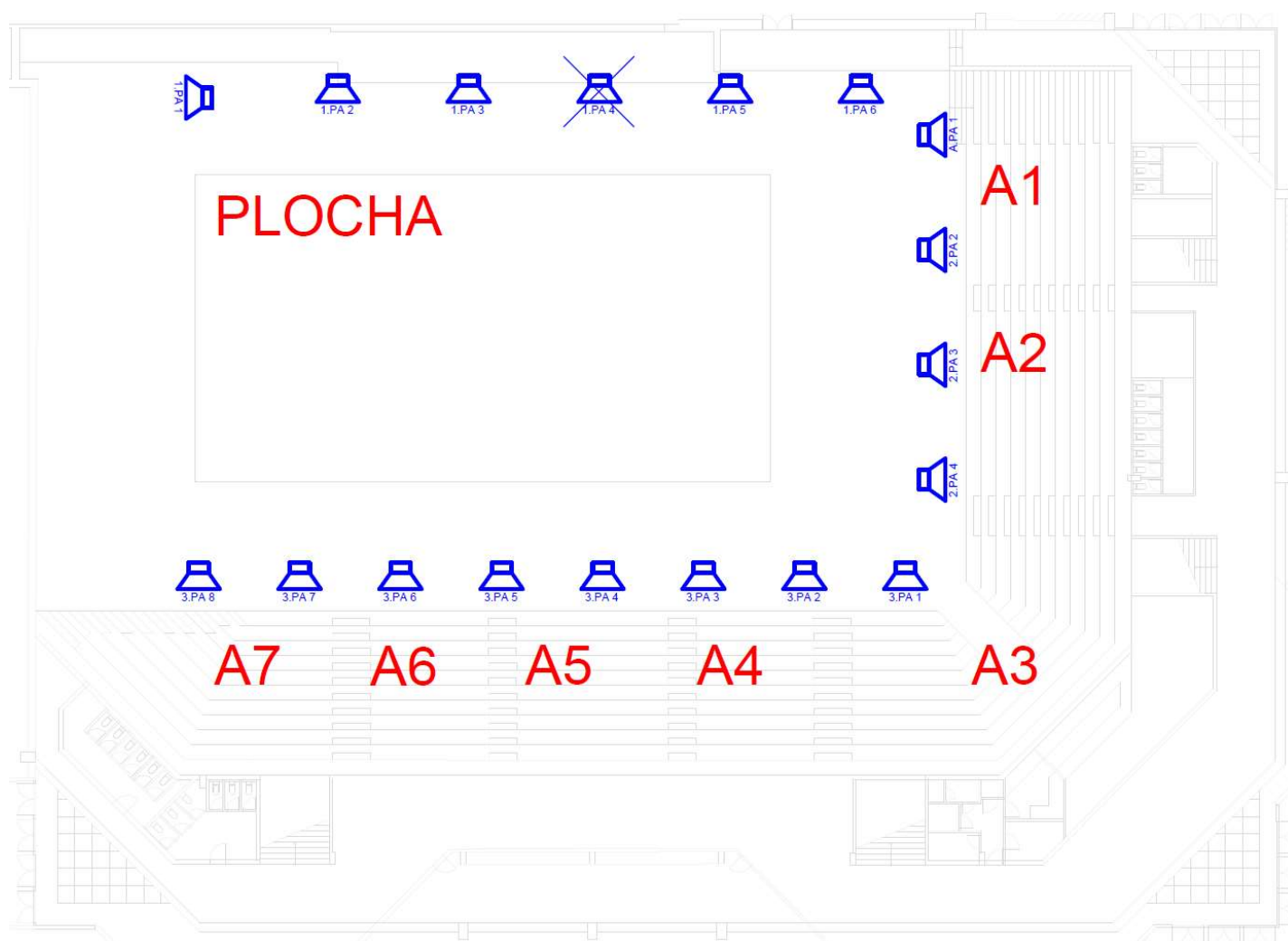
Konkrétní typy koncových prvků zvukového systému a jejich detailní propojení je uvedeno v tabulce níže a v dokumentaci stávajícího stavu [8]. Označení reproboxů a jejich návaznost na jednotlivé okruhy ozvučení a sektory, které obsluhují viz Tabulka č. 1 a Obrázky č. 1.

**PRVKY HLAVNÍHO ZVUKOVÉHO SYSTÉMU**

<b>Zvukový distributor</b>	Ministr MK
<b>Zesilovače</b>	Peavey PV-1500, Peavey PV 2000
<b>Reproduktorové soustavy</b>	Ministr (18 ks)
<b>Zvuková mixážní konzole</b>	Behringer 2642
<b>Ostatní vybavení</b>	The T-racks DL 2/318 stereo delay Sabine FBX solo SL-820 feedback destroyer

Tabulka č. 1 – Označení reproboxů, přiřazení reproboxů k jednotlivým okruhům ozvučení, sektorům hlediště, zesilovačům a výstupním kanálům audio distributoru

Okruh ozvučení	Sektor hlediště	Označení reproboxů	Typ reproboxů	Zesilovač	Zóna - výst. kanál distributoru
Hlavní tribuna lichá	A3 - A7 B5 - B9	3.PA1, 3.PA3, 3.PA5, 3.PA7	Ministr	Peavey PV-1500	1
Hlavní tribuna sudá	A3 - A7 B5 - B9	3.PA2, 3.PA4, 3.PA6, 3.PA8	Ministr	Peavey PV-1500	2
Boční tribuna	A1 - A3 B1 - B5	2.PA1, 2.PA2, 2.PA3, 2.PA4	Ministr	Peavey PV 2000	3
Hrací plocha	Hrací plocha A3 - A7	1.PA1, 1.PA2, 1.PA3, 1.PA4, 1.PA5, 1.PA6	Ministr	Peavey PV 2000	4



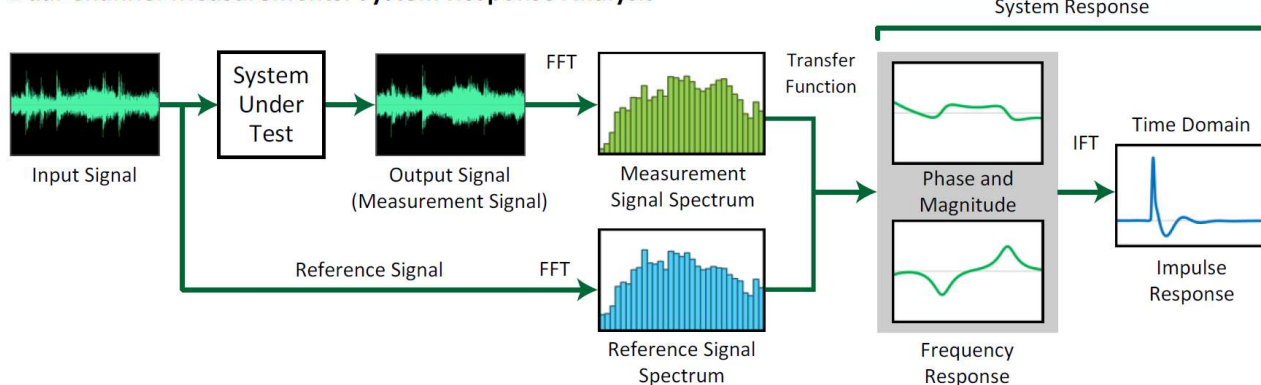
Obrázek č. 1 – Pohled na schematické umístění jednotlivých reprosoustav vzhledem k zónám (okruhům) ozvučení a sektorům hlediště, které pokrývají akustickým tlakem

## POSTUP MĚŘENÍ

Pro měření zvukového systému byl použit následující měřicí řetězec. Jako hlavní analyzátor byl využit software Rational Acoustics SMAART v8. Pro připojení do zvukového systému a připojení mikrofonů k analyzátoru bylo využito osmi-kanálové zvukové rozhraní (zvuková karta) Roland OCTA-CAPTURE. Pomocí Smaart byl generován testovací měřicí signál, růžový šum, který byl přes výstup zvukové karty poslán na vstup zvukového systému, tedy na vstupy jednotlivých zesilovačů pro účely diagnostiky jednotlivých reprosoustav a následně na vstup audio distributoru pro měření a optimalizaci celého systému. Zároveň byl z výstupu zvukové karty měřicí signál rozdělen a veden zpět na vstup zvukové karty, kde sloužil jako referenční signál pro zpracování dvoukanálovou metodou FFT analýzy, jak je popsáno v [1]. Blokové schéma dané metody měření je zobrazeno na Obrázku č. 3.

Testovací měřicí signál byl poté veden elektronickým řetězcem zvukového systému přes zvukový procesor a zesilovače až do reproduktorových soustav, kde byl vyzářen do prostoru haly v podobě akustické energie. V prostoru byl testovací signál snímán měřicím mikrofónem připojeným ke vstupu zvukové karty a přiveden zpět na analyzátor Smaart a pomocí dvoukanálové FFT analýzy porovnán s referenčním signálem. Výsledkem je modulová a fázová frekvenční charakteristika celého systému.

### Dual-Channel Measurements: System Response Analysis



Obrázek č. 2 – Blokové schéma dvoukanálové FFT analýzy [1]. Blok „System Under Test“ v našem případě zahrnuje zvukový systém Velké haly Starež Arény Vodova

Měření bylo rozděleno do tří etap:

1. Analýza stávajícího stavu jednotlivých reprosoustav
2. Analýza stávajícího nastavení zvukového systému
3. Optimalizace nastavení zvukového systému

## VÝSLEDKY MĚŘENÍ A OPTIMALIZACE

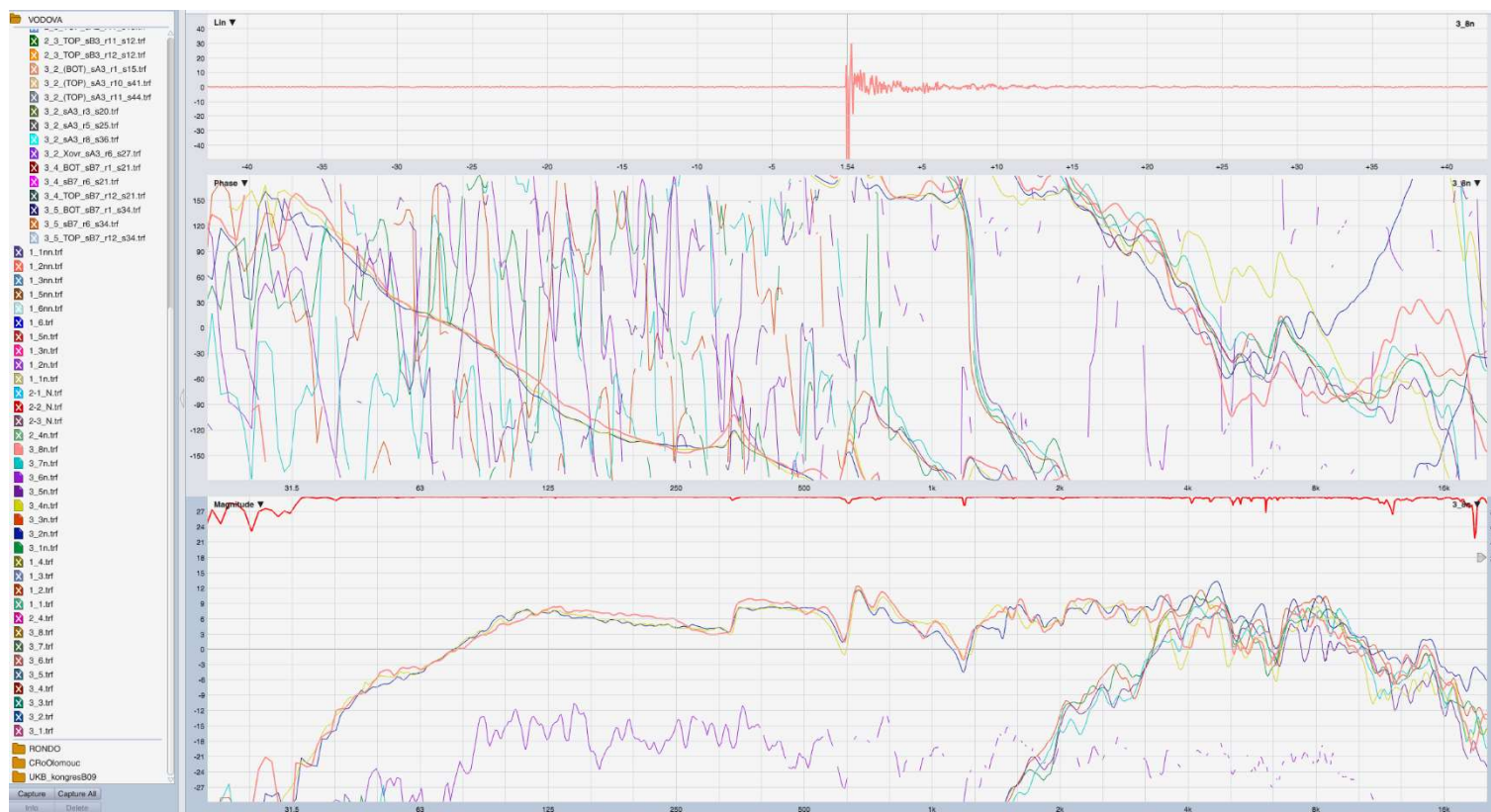
### 1. Analýza stávajícího stavu jednotlivých reprosoustav

Abychom byli schopni zjistit stav jednotlivých reprosoustav je třeba eliminovat vliv akustiky prostoru haly na měření. V této etapě tedy bylo nutné měřicí mikrofon umístit do vzdálenosti cca 1 m od reproduktorové soustavy v její akustické ose. Toho bylo dosaženo pomocí teleskopické mikrofonní tyče, která byla spuštěna s mikrofonem před reproduktor ze servisní lávky v konstrukci nad reproboxy. Relativně stejného umístění mikrofonu před každým jednotlivým reproboxem bylo dosaženo nalezením akustické osy prvního reproboxu na daném výstupním kanálu zesilovače a poté nalezením stejné relativní pozice před každým dalším jednotlivým reproboxem na stejném výstupním kanálu zesilovače porovnáním průběhu jeho fázové frekvenční charakteristiky a celkové úrovně vyzařovaného akustického tlaku s prvním měřeným reproboxem.

V některých případech se lišilo prostorové uspořádání parazitních objektů, které mají vliv na odrazy zvuku, v prostoru před reproboxem. Jedná se o ocelové konstrukce, kotvicí prvky, apod. Vzhledem k jejich charakteru a velikosti v porovnání s vyzařovanou vlnovou délkou zvukového signálu však na výsledky měření neměly zásadní vliv, kromě drobného zvlnění dané frekvenční charakteristiky, zejména na vyšších frekvencích.

Pro účely vzájemného porovnávání stavu reproboxů bylo ponecháno původní nastavení procesoru a zesilovačů, sledovány byly pouze odchylky v jednotlivých charakteristikách reproboxů, které jsou buzeny identickým zvukovým signálem.

Srovnání změřených modulových a fázových frekvenčních charakteristik je uvedeno v následujících obrázcích. Jedná se o screenshoty grafů fázové a modulové frekvenční charakteristiky změřené v jednotlivých měřicích bodech v akustické ose reprosoustav a ve vzdálenosti cca 1m od krycí mřížky reprosoustav.

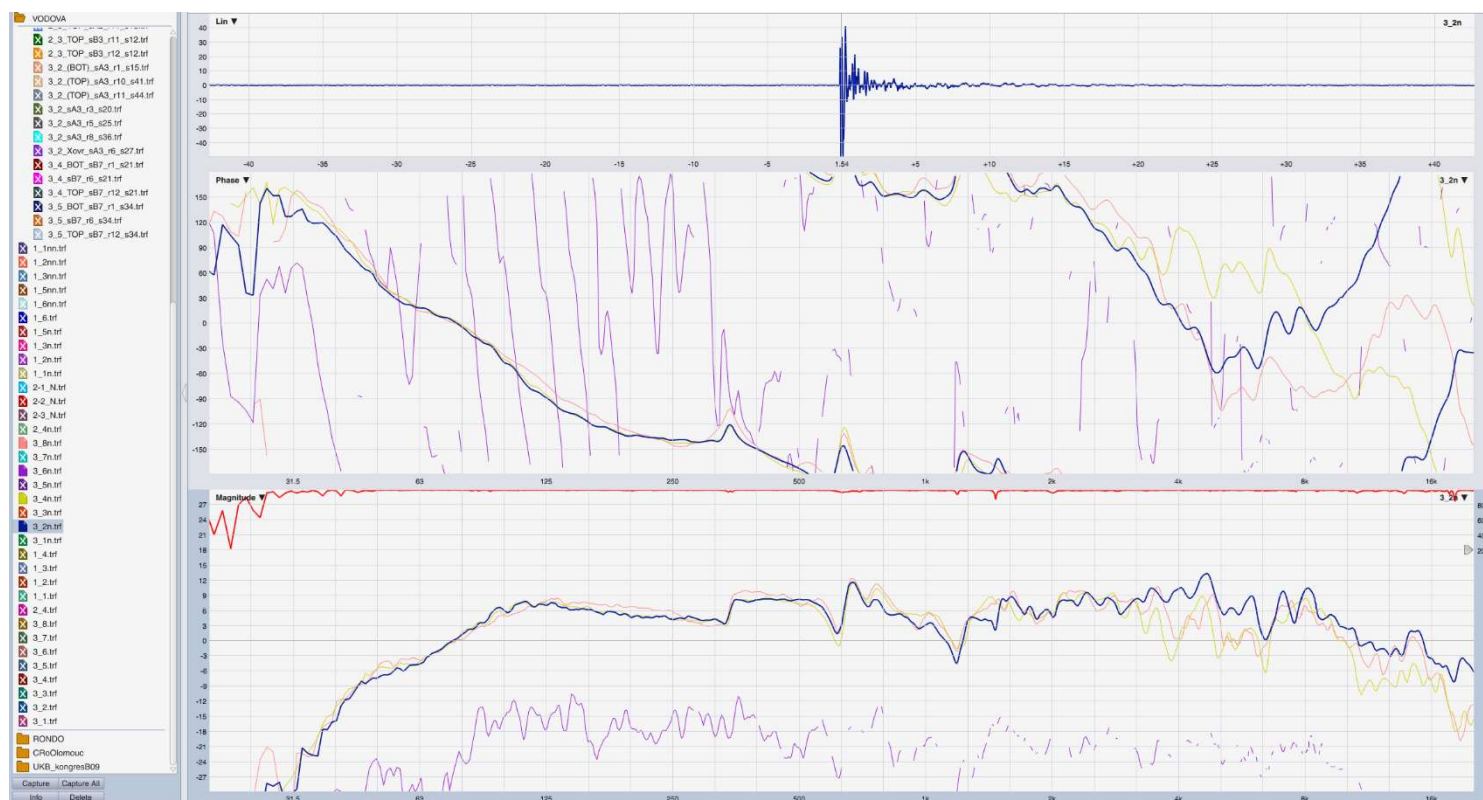


Obrázek č. 3 – Porovnání fázových a modulových frekvenčních charakteristik přímého měření reprosoustav 3.PA1-3.PA8, které zajišťují ozvučení Hlavní tribuny, tedy sektorů A3 - A7 a B5 - B9; měřeno v blízkém poli ve vzdálenosti cca 1 m v akustické ose reprosoustavy

Na Obrázku č. 3 můžeme pozorovat anomálii křivek 3\_1, 3\_3, 3\_5 a 3\_7 (tedy průběhů lichých reprosoustav) oproti křivkám 3\_2, 3\_4 a 3\_8 (tedy průběhům sudých reprosoustav). Od frekvence cca 4 kHz dolů začíná modulová frekvenční charakteristika lichých křivek oproti sudým křivkám rapidně klesat. Tento jev ukazuje na absenci hlubokých a středních frekvencí na reprosoustavách s lichým označením, tedy reprosoustavách č. 3.PA1, 3.PA3, 3.PA5 a 3.PA7. Obdobnou anomálii vykazují i fázové frekvenční charakteristiky těchto reprosoustav na intervalu frekvencí pod 4 kHz, kde jednotlivé průběhy mají spíše náhodný charakter, což je způsobeno silně sníženou úrovní koherence měření, místy až pod 20 %.

Bohužel datové listy daných reprosoustav Ministr, vzhledem k jejich značnému stáří, již nejsou k dispozici. Dle diagnostiky však budou pravděpodobně obsahovat pasivní crossover pro dělení jednotlivých pásem na frekvenci kolem 3,5 kHz. Výše zmíněné anomálie tedy ukazují na defekt reprosoustav č. 3.PA1, 3.PA3, 3.PA5 a 3.PA7, které mají nefunkční středobasový měnič pro vyzařování spodního pásma frekvencí pod 4 kHz. Během diagnostiky byla testována i konfigurace buzení těchto reprosoustav jiným kanálem zesilovače. I v tomto případě se ale anomálie projevila, můžeme tedy s jistotou tvrdit, že defekt je na straně jednotlivých reprosoustav.





Obrázek č. 4 – Porovnání fázových a modulových frekvenčních charakteristik přímého měření reprosoustav č. 3.PA2, 3.PA4, 3.PA6 a 3.PA8, které zajišťují ozvučení Hlavní tribuny, konkrétně sektorů A3 - A7 a B5 - B9; měřeno v blízkém poli ve vzdálenosti cca 1 m v akustické ose reprosoustavy

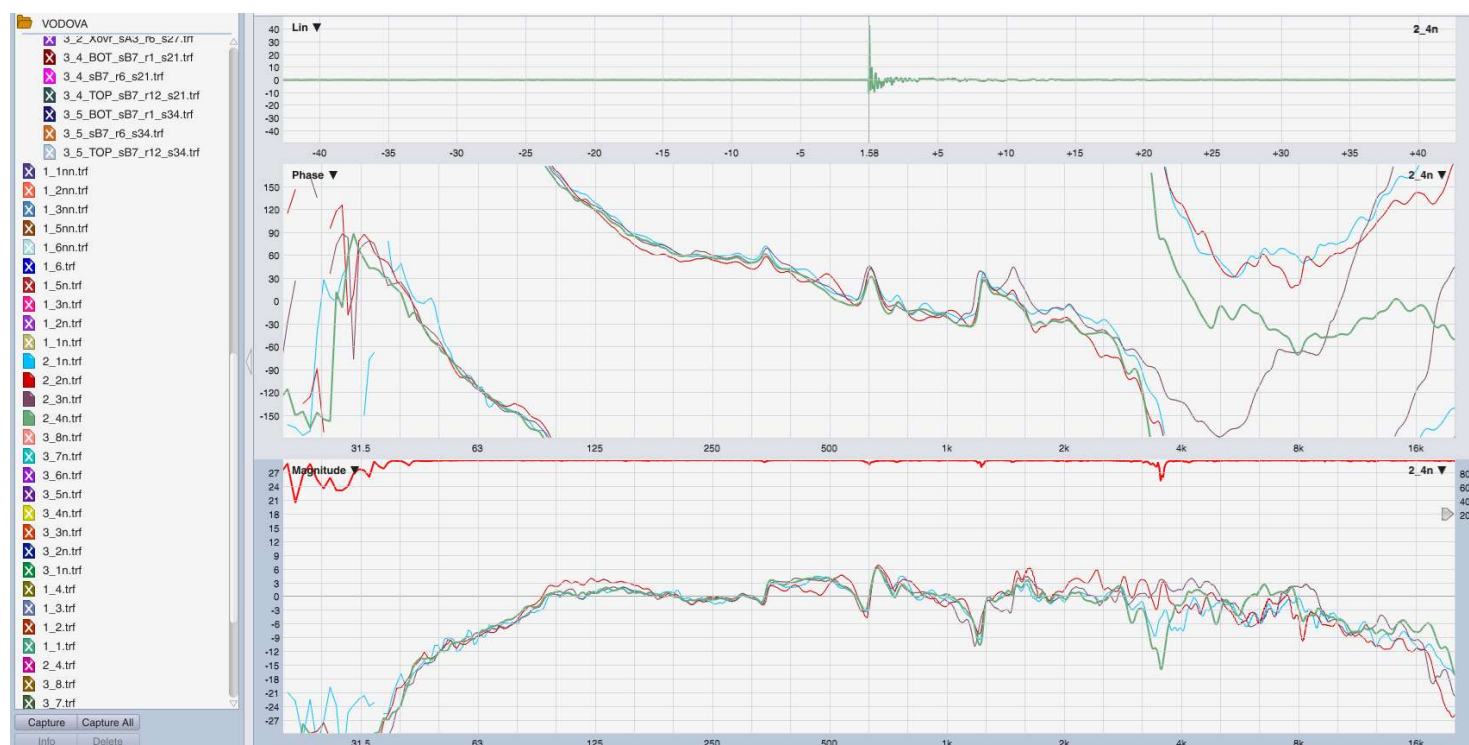
Na Obrázku č. 4 můžeme pozorovat průběhy frekvenčních charakteristik sudých reprosoustav č. 3.PA2, 3.PA4 a 3.PA8, které jsou v pořádku a nevykazují známky zhoršené reprodukce zvukového signálu. U reprosoustavy 3.PA6 však pozorujeme, že modulová křivka (fialová barva) se vykresluje o cca 20 dB níže a pouze na pásmu nízkých frekvencí do 500 Hz. Tento jev značí pouze přeslechy z okolních reprosoustav, které při měření také přehrávají testovací signál, protože jsou buzeny stejným kanálem zesilovače. Reprosoustava 3.PA6 je tedy kompletně mimo provoz, což bylo následně potvrzeno i subjektivním poslechem.

Na Obrázku č. 5 jsou uvedeny pouze průběhy frekvenčních charakteristik vadných lichých reprosoustav č. 3.PA1, 3.PA3, 3.PA5, 3.PA7, které mají z důvodu defektu omezenou reprodukci zvukového signálu na pásmo frekvencí od 3,5 kHz.

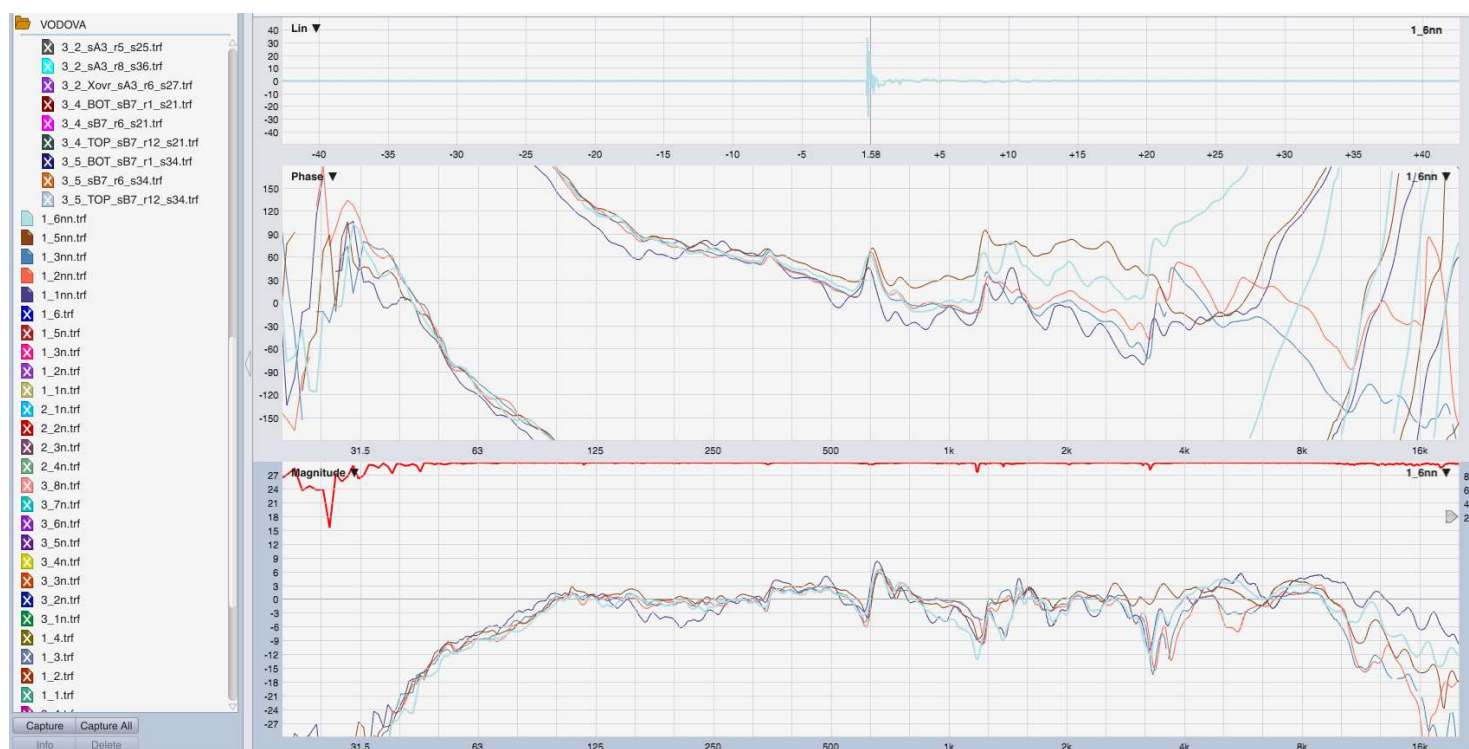


Na Obrázku č. 6 jsou zobrazeny průběhy frekvenčních charakteristik reprosoustav 2.PA1, 2.PA2, 2.PA3, 2PA4, které obsluhují Boční tribuny. Na křivkách lze pozorovat, že mají všechny obdobný tvar obálky s drobnými odchylkami v intervalu max 6 dB, což je způsobeno proměnlivou relativní vzdáleností reproboxu od měřícího mikrofonu (dle možností přístupu teleskopické tyče s mikrofonem skrz konstrukce z horního nosníku) a odlišným rozložením překážek (nosníků ocelové konstrukce, krycího textilního závěsu, ...) v prostoru před jednotlivými reprosoustavami a tedy jiným rozložením lokálních zvukových odrazů. Tyto odchylky v měření lze zanedbat a tím všechny reprosoustavy můžeme prohlásit za plně funkční.

AVT Group a.s. V Lomech 2376/10a 149 00 Praha 4 9/23



Obrázek č. 6 – Porovnání fázových a modulových frekvenčních charakteristik přímého měření reprosoustav 2.PA1, 2.PA2, 2.PA3 a 2PA4, které zajišťují ozvučení Boční tribuny, tedy sektorů A1 - A3 a B1 - B5; měřeno v blízkém poli ve vzdálenosti cca 1 m v akustické ose reprosoustavy



Obrázek č. 7 – Porovnání fázových a modulových frekvenčních charakteristik přímého měření reprosoustav 1.PA1, 1.PA2, 1.PA3, 1.PA5, 1.PA6, které zajišťují ozvučení Hrací plochy a spodní části sektorů A3 - A7 Hlavní tribuny; měřeno v blízkém poli ve vzdálenosti cca 1 m v akustické ose reprosoustavy

## 2. Analýza stávajícího nastavení zvukového systému

Ve stávajícím stavu bylo zapojení systému realizováno dle blokového schématu na Obrázku č. 8. V průběhu diagnostiky systému byla zjištěna řada změn zapojení techniky oproti původnímu schématu. Základními rozdíly jsou zejména:

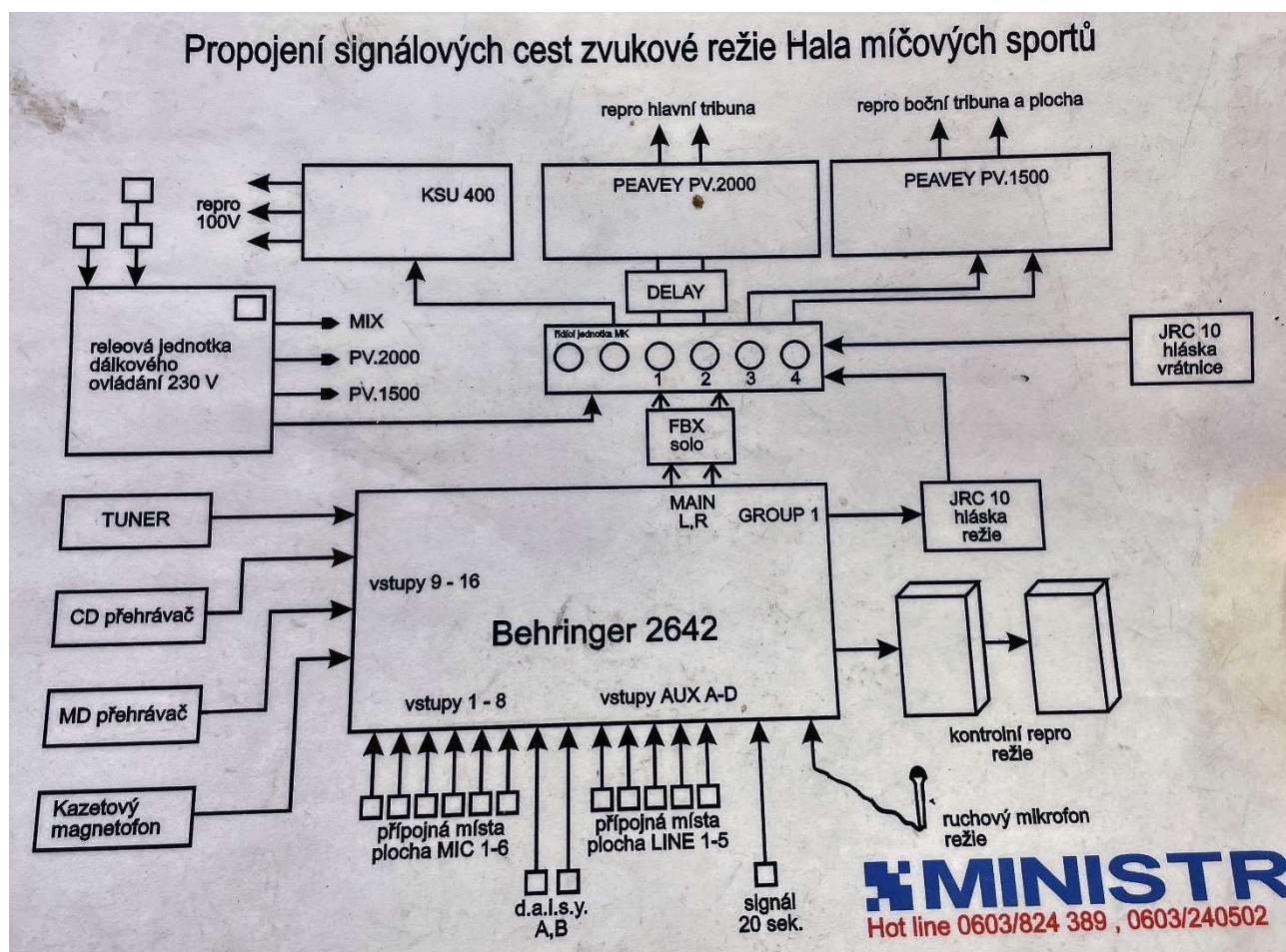
- Záměna zesilovačů Peavey pro ozvučení Hlavní tribuny a Boční tribuny/Hrací plochy,
- záměna zapojení výstupních kanálů audio distributoru Ministr MK
- nefunkční zesilovač Seak KSU 400 pro buzení 100V systému v zázemí Velké haly,
- odpojení zařízení Tuner, CD přehrávač, MD přehrávač, Kazetový magnetofon od mixážního pultu,
- nefunkční JRC 10 hlásky,
- nefunkční/odpojený ruchový mikrofón režie,
- a zřejmě další změny, které však nebyly předmětem diagnostiky hlavního zvukového systému.

Významným faktorem, který ovlivňuje kvalitu zvukové reprodukce a zároveň srozumitelnosti reprodukováné řeči jsou textilní závěsy/plachty, zavěšené na ocelových konstrukcích v těsné blízkosti reprosoustav. Tyto slouží k selektivnímu zakrývání částí hlediště, které nejsou využívány. V rámci zvukového systému jsou však umístěny nešťastně přímo v poli vyzařovací charakteristiky jednotlivých reprosoustav mezi reprosoustavami a hledištěm, tedy jednotlivými posluchači. Zakrytí v rámci jednotlivých sektorů se liší, někde je situace horší, někde lepší. Vždy závisí na vertikálním umístění posluchače v rámci sektoru. Obecně samozřejmě platí, že tam, kde je zamezena přímá viditelnost posluchače v hledišti na nejbližší reprosoustavu (tzn. reprosoustava je skryta za textilií – viz Obrázek 9), tam se srozumitelnost zhoršuje.

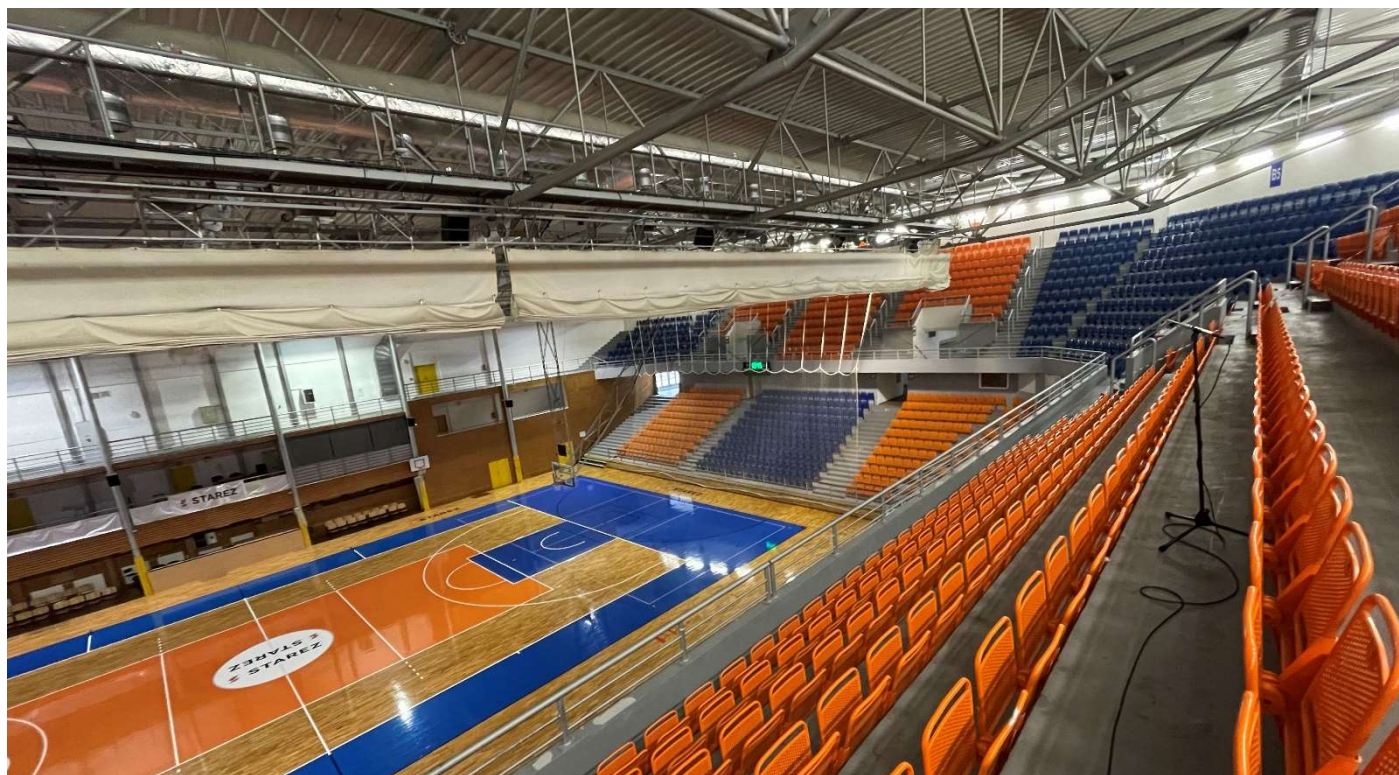
V rámci kvality zvukového pokrytí tribun jednotlivými zónami reprosoustav byla změřena/testována frekvenční charakteristika v několika referenčních místech hlediště, vždy ve vertikální ose analyzované reprosoustavy. V aktuálním stavu zvukového systému musí každá reprosoustava kompletně pokrýt „svůj“ sektor hlediště ve vertikálním směru, a to ve spodní části tribuny (sektor A), i v horní části tribuny (sektor B). Na křivky změřené v poslechové rovině (ve vzdáleném poslechovém bodě) už má významný vliv akustika prostoru haly, zvuková pohltivost atmosféry a také příspěvek akustického tlaku ze sousedících reprosoustav ve sdruženém poli (uncoupled array uspořádání). Proto je pozorovatelné významnější zvlnění charakteristik než v předchozích měřeních v blízkém poli ve vzdálenosti 1 m.

Na Hlavní tribuně je situace s textilním závěsem méně významná, protože spodní část (sektory A) je zvukově (kromě sudých a lichých reproduktorů zóny 3 nad Hlavní tribunou) částečně pokryta i reproduktory zóny 1 nad Hrací plochou. Na Vedlejší tribuně je vliv krytí reprosoustav textilií výraznější. Srovnání křivek měřených na Vedlejší tribuně v sektoru B3, řada 12, sedadlo 12 (oranžová křivka) a v sektoru A2, řada 6, sedadlo 18 (zelená křivka) je uvedeno na Obrázku č. 10. Z průběhů můžeme pozorovat, že rozdíl mezi křivkami od 1 kHz výše je až 6 dB a zároveň koherence je u oranžové křivky velmi špatná. To znamená, že v místě měření oranžové křivky (tedy sektor A2 vertikálně zhruba uprostřed) je daný reproduktor slyšet zhruba s poloviční hlasitostí a srozumitelnost je výrazně zhoršena – zvukové odrazy od okolních stěna a překážek jsou slyšet dominantně oproti přímému zvuku. Porovnání jednotlivých referenčních měřicích bodů na Hlavní tribuně v rámci sektorů A, B a A/B dohromady je uvedeno v Obrázcích č. 11, 12 a 13.



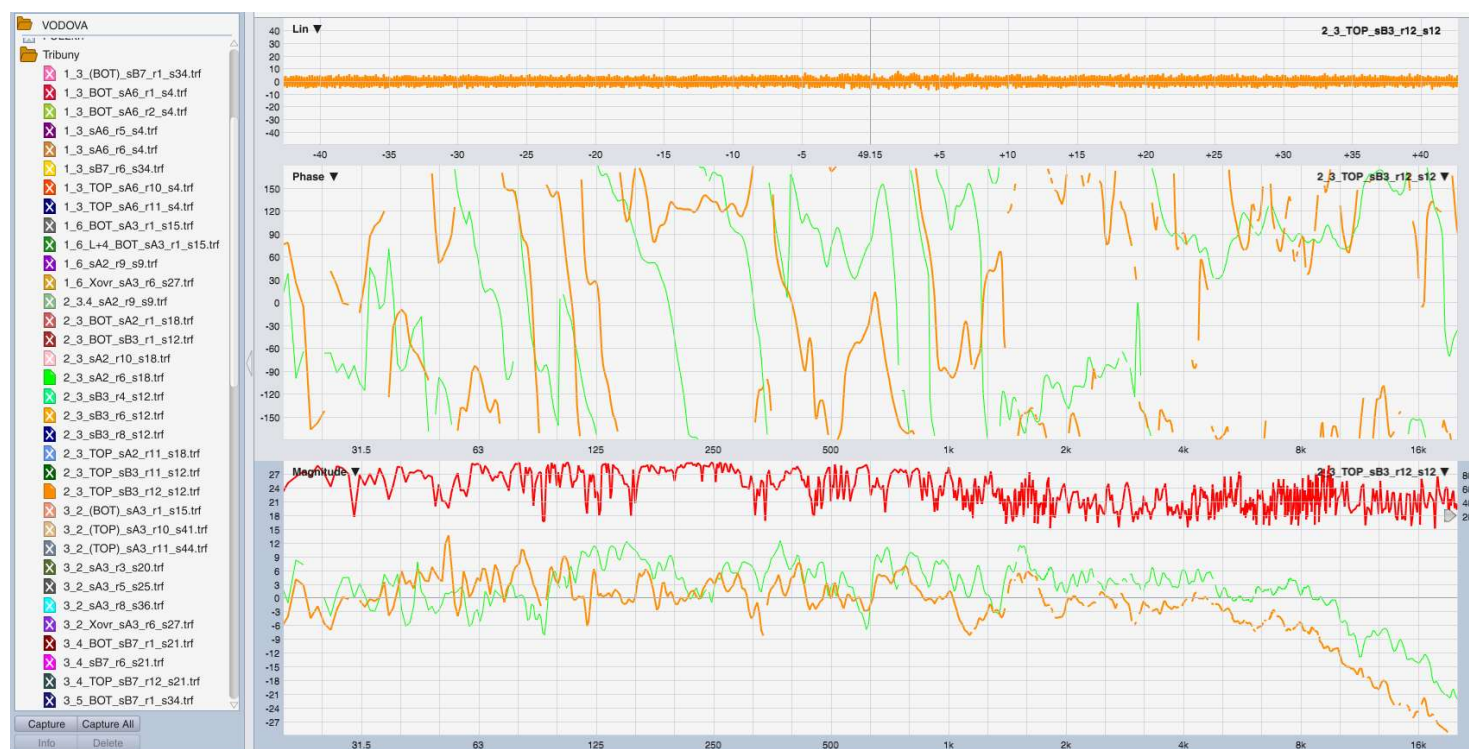


Obrázek č. 8 – Původní blokové schéma systému ozvučení Velké haly Starez Arény Vodova

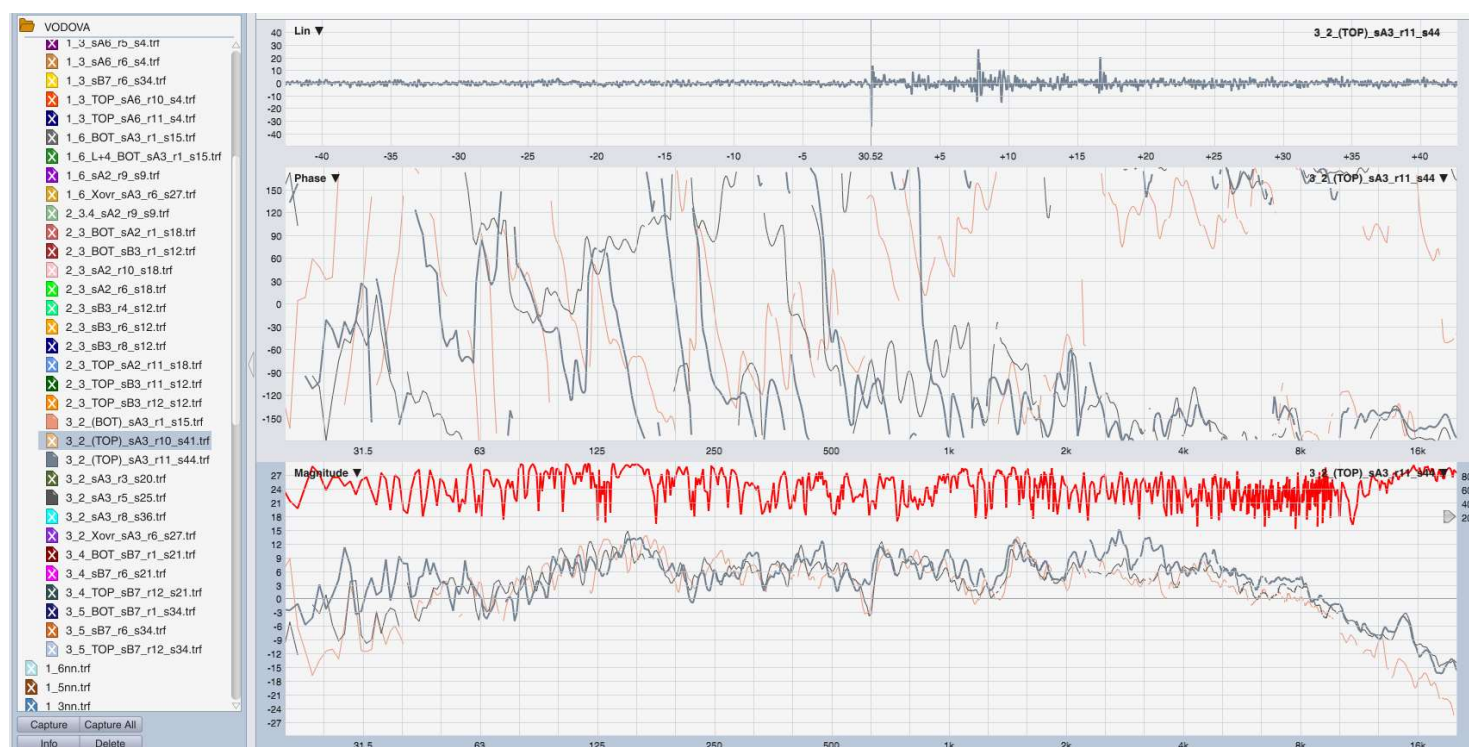


Obrázek č. 9 – Umístění textilního závěsu mezi reprosoustavami a posluchači na tribunách

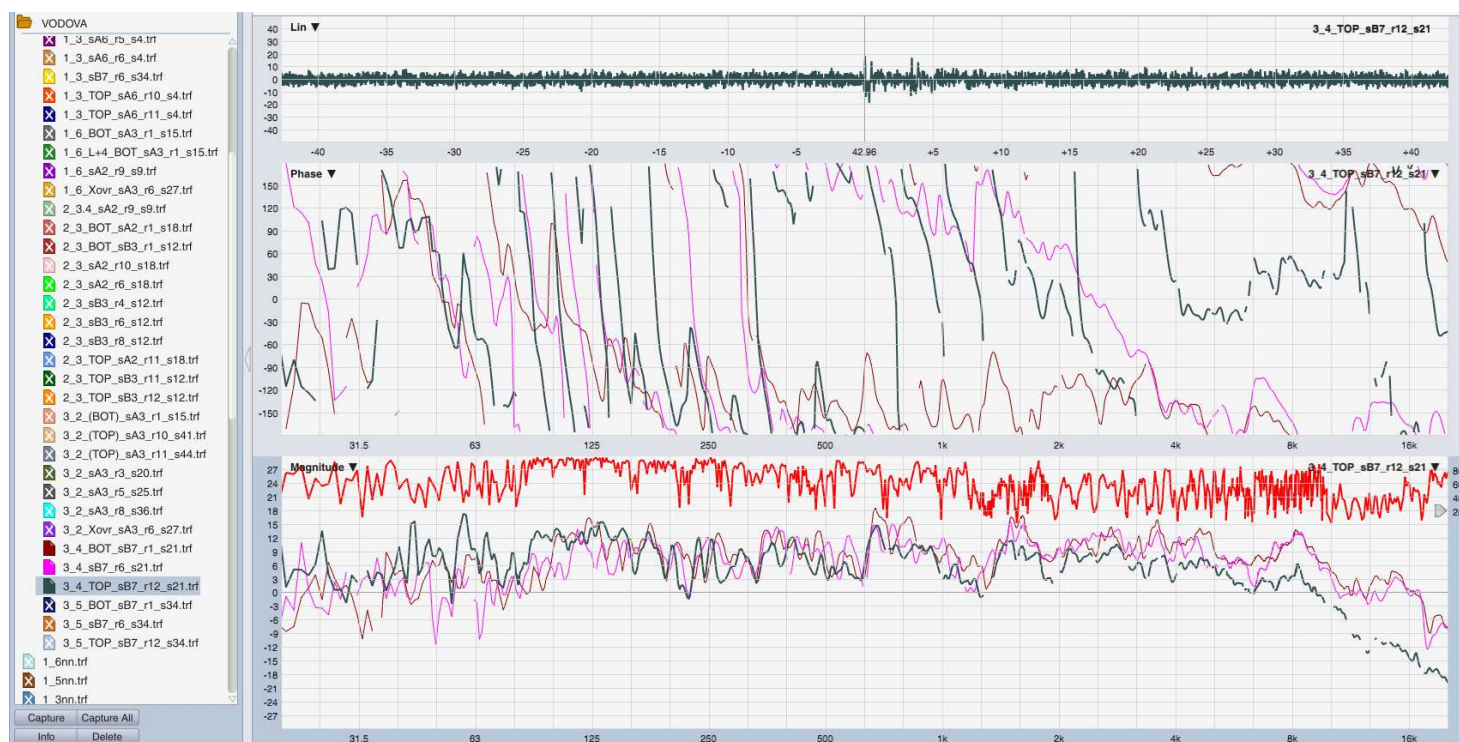




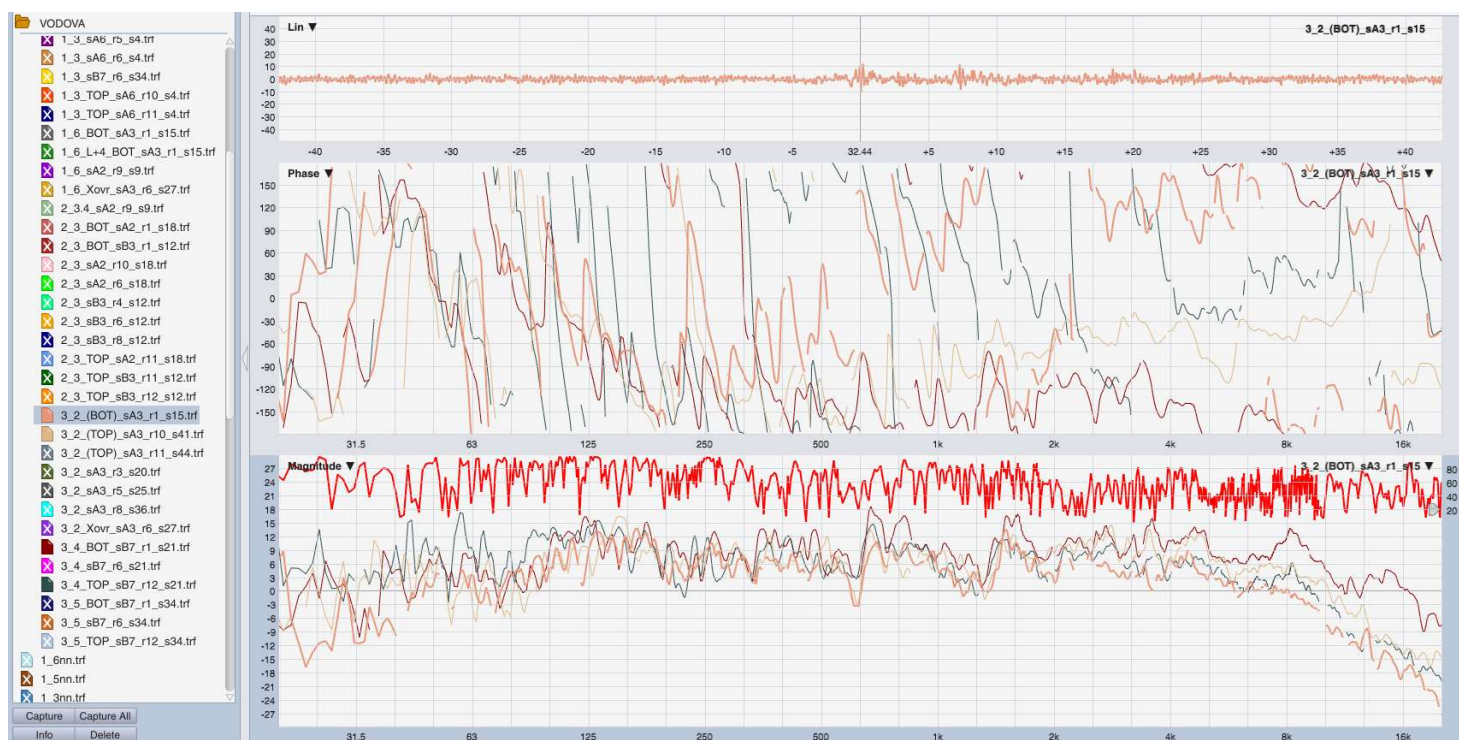
Obrázek č. 10 – Porovnání fázových a modulových frekvenčních charakteristik měření reprosoustav zóny 2, které zajišťují ozvučení Boční tribuny – porovnání vlivu textilního závěsu před reprosoustavami; měřeno v sektoru B3, ř.12, s.12 (oranžová) a v sektoru A2, ř.6, s.18 (zelená) v akustické ose reprosoustavy



Obrázek č. 11 – Porovnání fázových a modulových frekvenčních charakteristik měření reprosoustav zóny 3, které zajišťují ozvučení Hlavní tribuny; měřeno v akustické ose reprosoustavy dole v sektoru A3, ř.1 (oranžová), ř.5 (zelená), ř.11 (šedá)



Obrázek č. 12 – Porovnání fázových a modulových frekvenčních charakteristik měření reprosoustav zóny 3, které zajišťují ozvučení Hlavní tribuny; měřeno v akustické ose reprosoustavy nahoře v sektoru B7, ř.1 (červená), ř.6 (růžová), ř.12 (zelená)



Obrázek č. 13 – Porovnání fázových a modulových frekvenčních charakteristik měření reprosoustav zóny 3, které zajišťují ozvučení Hlavní tribuny; měřeno v akustické ose reprosoustavy dole i nahoře v sektoru A3 a B7, ř.1 dole (oranžová), ř.10 dole (běžová), ř.1 nahoře (červená), ř.12 nahoře (zelená)



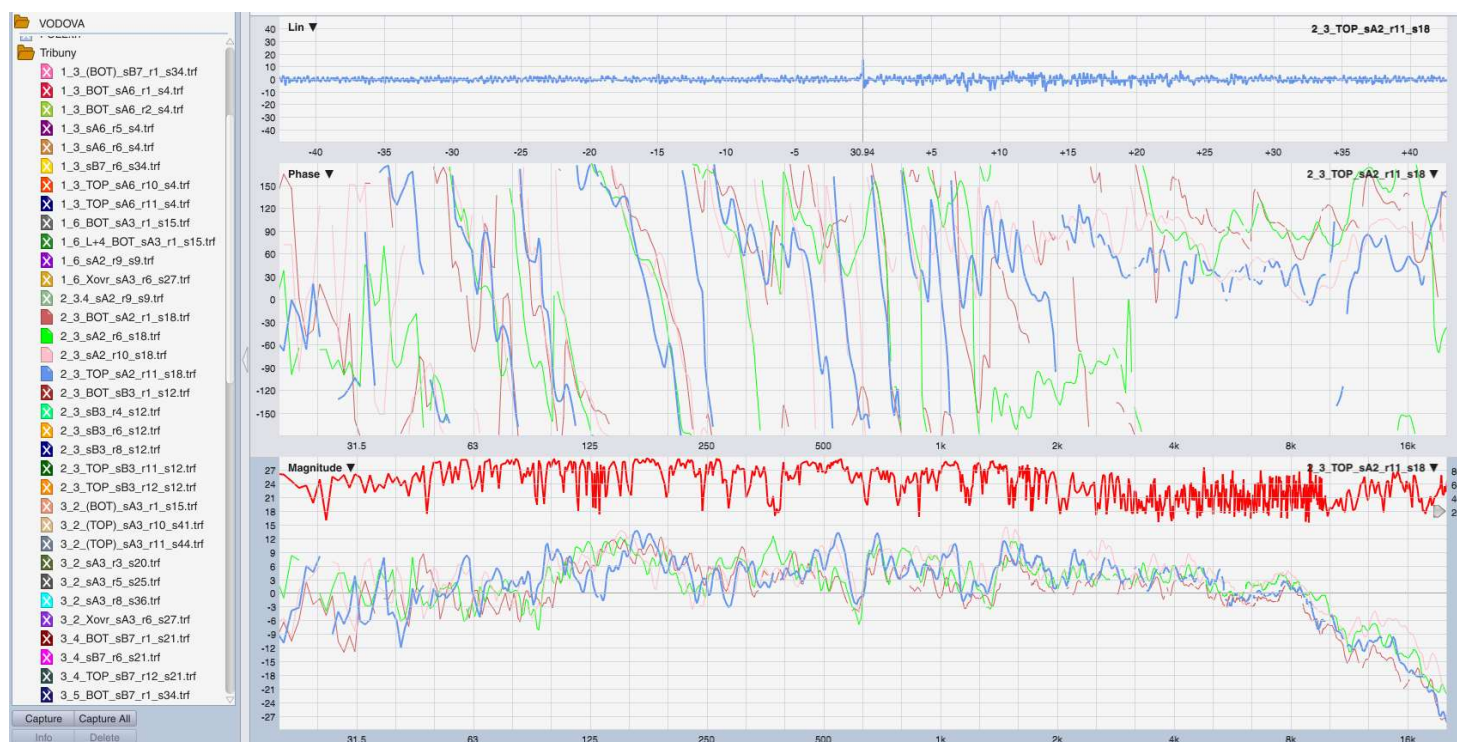
Z Obrázku č. 11 je patrné, že v první řadě dolní části Hlavní tribuny má měřená křivka pokles cca o 4 dB na vysokých frekvencích od 4 kHz. To je zřejmě způsobeno pozicí reprosoustav nad tribunou, kdy je první řada už mimo hranici vyzařovací charakteristiky těchto reprosoustav. Vyšší řady sektorů A Hlavní tribuny jsou reprosoustavami nad Hlavní tribunou pokryty stejnoměrně – řada 11 má oproti řadě 5 zdvih v pásmu od 2 do cca 8 kHz, který je pravděpodobně způsobený „dutinou“ pod balkonem v horní části sektorů A, která není nijak akusticky ošetřena a odraženou zvukovou energii vrací zpět do hlediště.

Obrázek č. 12 ukazuje situaci v horní části Hlavní tribuny. V první řadě sektoru B je pozice, která je nejbližší zavěšeným reprosoustavám, z křivek tedy můžeme pozorovat zdvih na středních pásmech kolem 1 kHz. S křivkou měřenou v řadě 6 se však příliš neliší, pokrytí je tedy relativně rovnoměrné. Rozdíl nastává až ve vyšších řadách sektoru B, kde se dostáváme opět na hranici vertikální vyzařovací charakteristiky reprosoustav, tedy měřené místo je na hranici pokrytí a křivka vykazuje pokles cca 3 - 6 dB na frekvencích od 1,5 kHz výše.

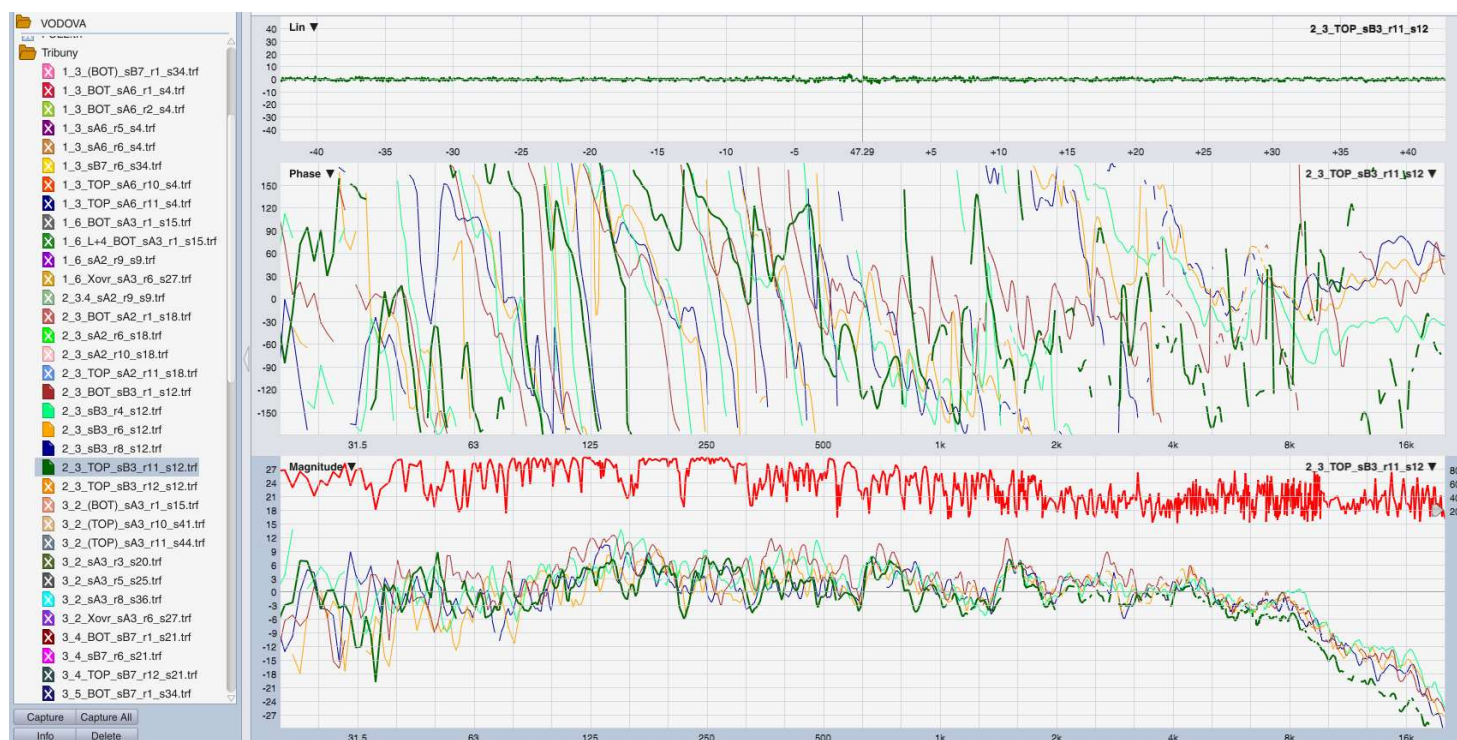
V Obrázku č. 13 srovnáváme situaci na Hlavní tribuně dole a nahoře – tedy mezi sektory A a B, které jsou oba vertikálně pokryty vždy jednou point-source reprosoustavou zavěšenou nad Hlavní tribunou. V tomto srovnání vidíme, že nejhorší pokrytí je v první řadě u palubovky, tedy v ř. 1 sektoru A. Úroveň akustického tlaku vyzářená reprosoustavou zde má útlum vyšších frekvencí až o 8dB oproti horní tribuně, sektoru B. Je zde i o cca 3 dB nižší akustický tlak než v poslední řadě sektoru B. Úroveň v řadě 10 dolního sektoru A je cca srovnatelná s úrovní v poslední řadě 12 horního sektoru B. V nižších řadách horního sektoru B je úroveň přímého akustického tlaku nejvyšší. Dále je z měření patrná snížená úroveň koherence v celém dolním sektoru A oproti hornímu sektoru B – zde hraje roli jak větší vzdálenost od reprosoustav v dolní části, tak přítomnost textilního závěsu, který na Hlavní tribuně kryje přímou viditelnost reprosoustav ze sektorů A.

Situaci na Vedlejší tribuně mapují Obrázky č. 14, 15 a 16. Shrnutí situace ve spodní části Vedlejší tribuny, sektoru A, mapuje Obrázek č. 14, kde vidíme nejnižší úroveň opět v řadě 1, střed sektoru je poměrně vyrovnaný a v řadě 11 je patrný vliv dutiny pod balkonem, která zvukový signál částečně degraduje. Dle Obrázku č. 15 je úroveň akustického tlaku vyzářeného reprosoustavami nad Vedlejší tribunou od 1. do 9. řady poměrně vyrovnaná, od 10. řady nahoru nastává útlum až 4 dB. Obrázek č. 16 ukazuje na Vedlejší tribuně rozdílnou situaci než na Hlavní tribuně. První řada spodního sektoru A, která je zde méně mimo pokrytí reprosoustavy v porovnání s Hlavní tribunou, je srovnatelná s první řadou horního sektoru B, která je více ovlivněna textilním závěsem před reprosoustavou. Největší útlum pak vykazují horní řady sektoru B, které jsou mimo pokrytí reprosoustav a navíc zastíněny textilií. Vliv textilního závěsu celkově v sektoru B Vedlejší tribuny koherenci na vysokých frekvencích značně snižuje a zhoršuje tedy srozumitelnost a kvalitu zvukové reprodukce.

Obrázek č. 17 ilustruje frekvenční charakteristiku reprosoustav zóny 1, tedy umístěných nad Hrací plochou, měřenou ve spodní části Hlavní tribuny, tzn. v sektoru A. Z křivek pozorujeme, že tyto reprosoustavy budou přispívat k celkovému akustickému tlaku v těchto sektorech od řady 1 až přibližně po řadu 6. Od šesté řady už budou významně dominovat reprosoustavy zavěšené nad Hlavní tribunou. To je vzhledem k tomu, že přední řady jsou shora reproduktory nad Hlavní tribunou nedostatečně pokryty, žádoucí stav. V Obrázku č. 18 následně můžeme pozorovat rozdíl akustického tlaku reproduktorů nad Hrací plochou a nad Hlavní tribunou, měřený v místě tzv. crossoveru, tedy v 1. řadě, kde se zvukový signál z obou reprosoustav bude pojit. Rozdílné úrovně akustického tlaku zde musíme ošetřit, tomu se budeme věnovat v následující kapitole v rámci optimalizace nastavení systému.

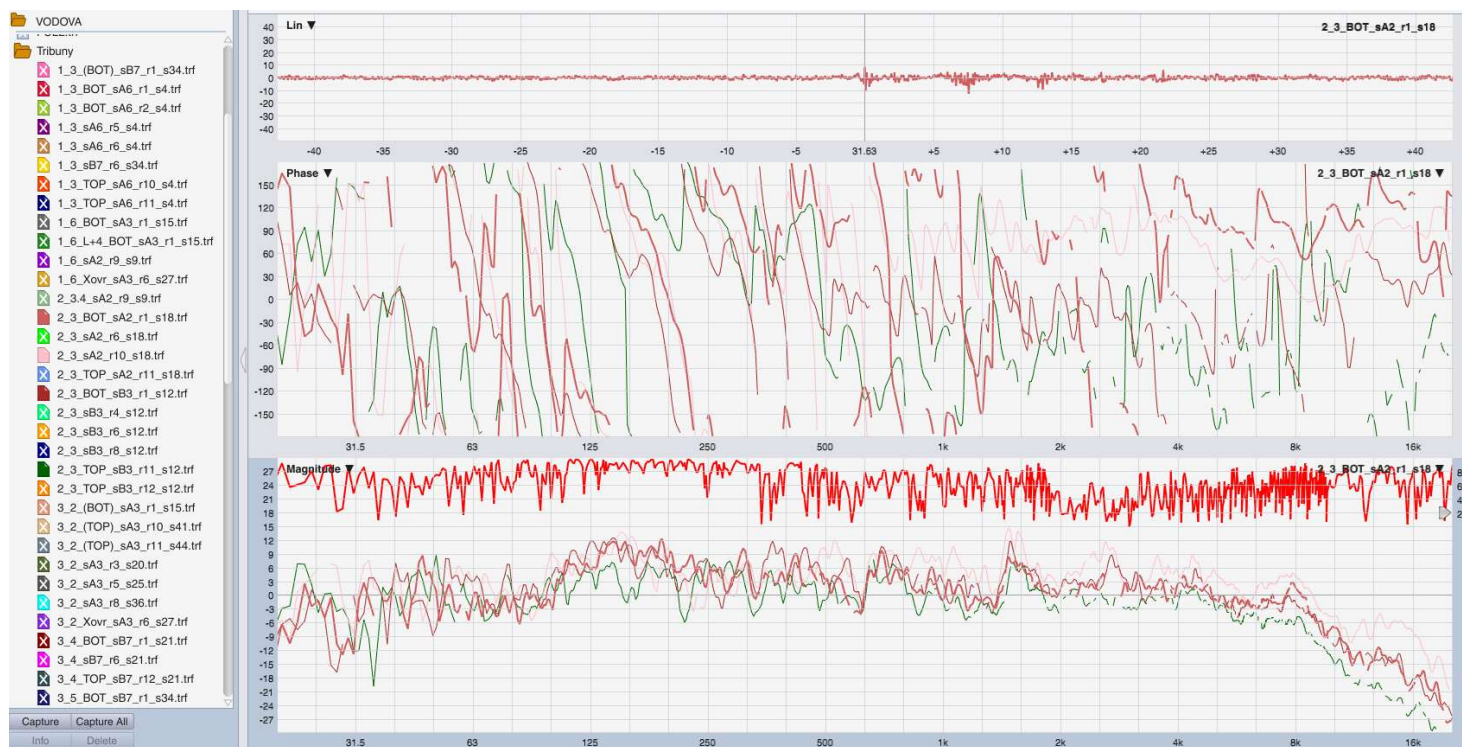


Obrázek č. 14 – Porovnání fázových a modulových frekvenčních charakteristik měření reprosoustav zóny 2, které zajišťují ozvučení Vedlejší tribuny; měřeno v akustické ose reprosoustavy dole v sektoru A2, ř.1 (červená), ř.6 (zelená), ř.10 (růžová), ř.11 (modrá)

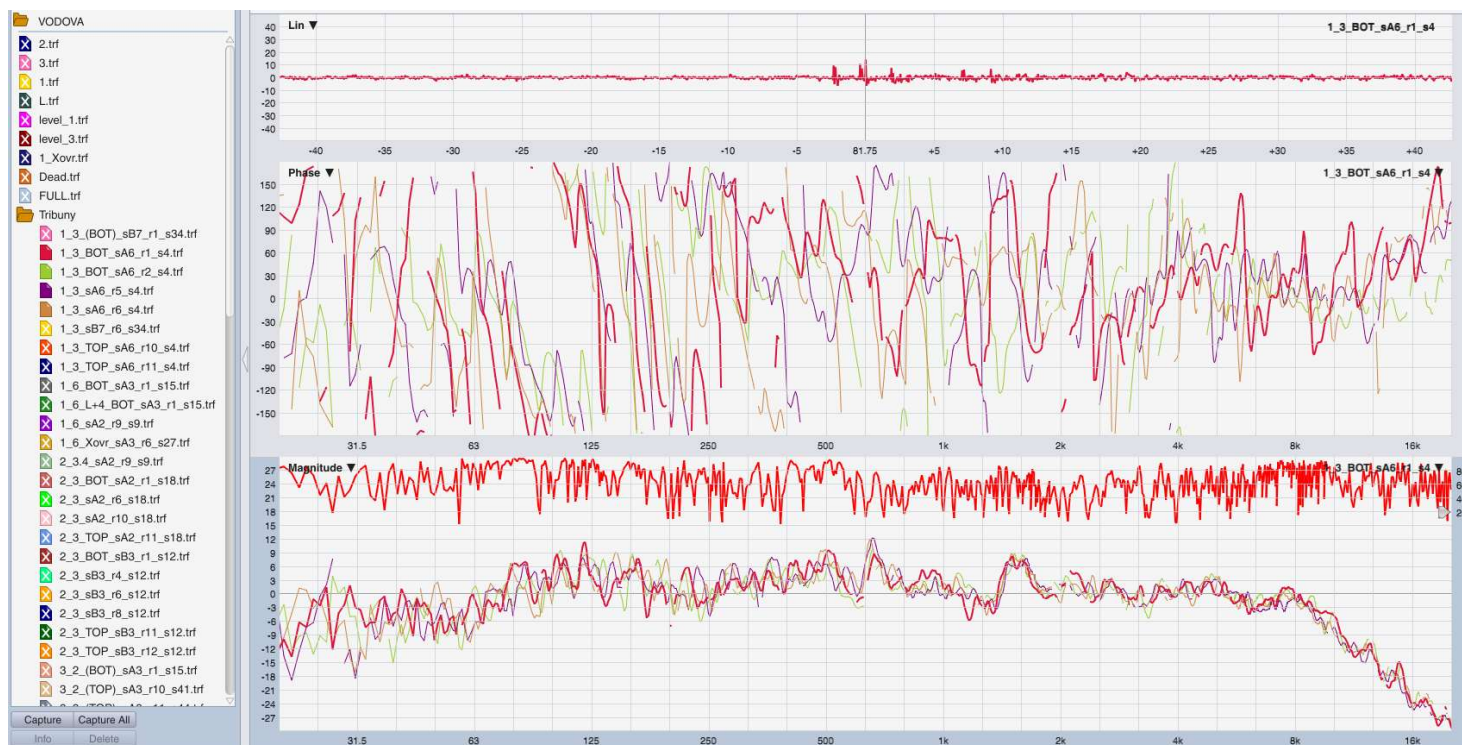


Obrázek č. 15 – Porovnání fázových a modulových frekvenčních charakteristik měření reprosoustav zóny 2, které zajišťují ozvučení Vedlejší tribuny; měřeno v akustické ose reprosoustavy nahoře v sektoru B3, ř.1 (červená), ř.4 (světle zelená), ř.6 (oranžová), ř.8 (modrá), ř.11 (tmavě zelená)

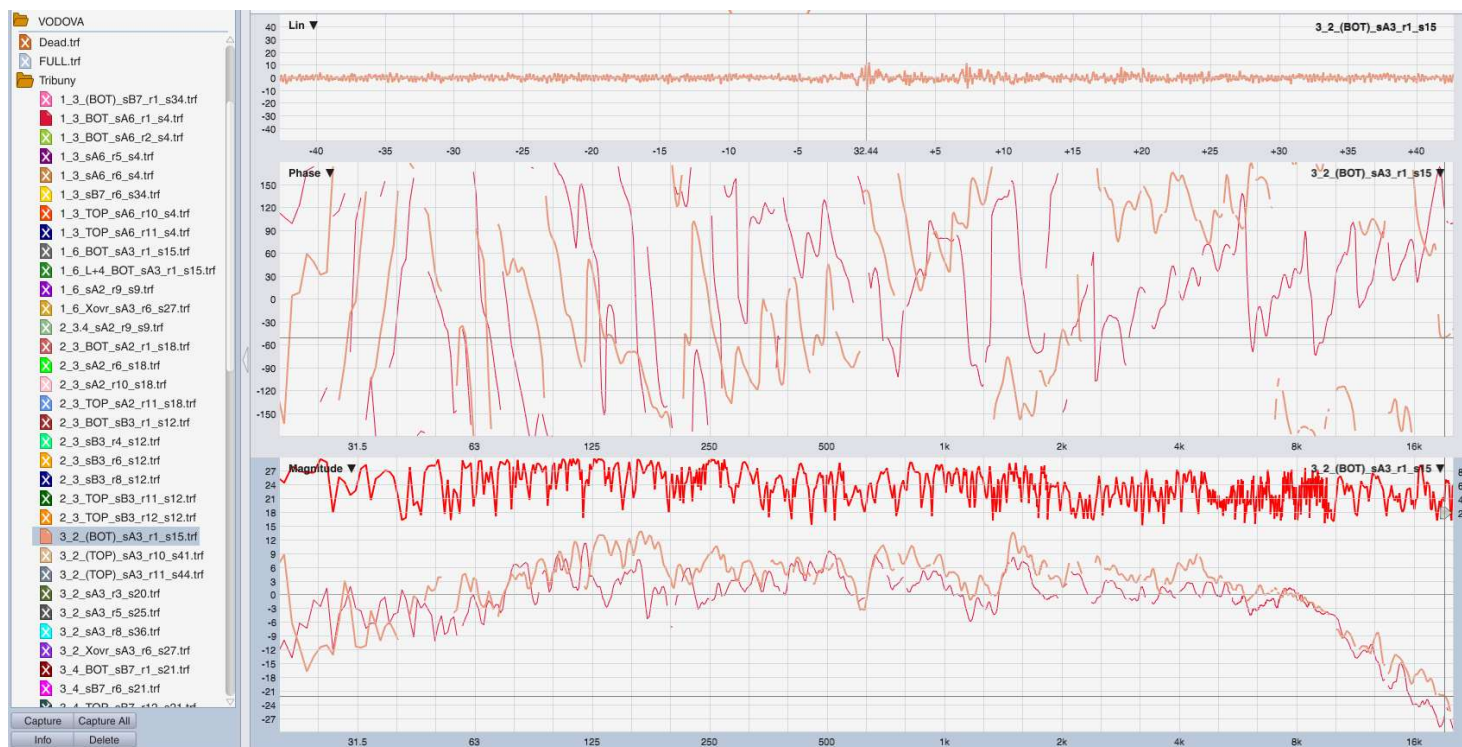




Obrázek č. 16 – Porovnání fázových a modulových frekvenčních charakteristik měření reprosoustav zóny 2, které zajišťují ozvučení Vedlejší tribuny; měřeno v akustické ose reprosoustavy dole i nahoře v sektoru A2 a B3, ř.1 dole (oranžová), ř.10 dole (béžová), ř.1 nahoře (červená), ř.12 nahoře (zelená)



Obrázek č. 17 – Porovnání fázových a modulových frekvenčních charakteristik měření reprosoustav zóny 1 umístěných nad Hrací plochou, které zajišťují ozvučení spodní části Hlavní tribuny; měřeno v akustické ose reprosoustavy, dole v sektoru A, ř.1 (červená), ř.2 (zelená), ř.5 (modrá), ř.6 (oranžová)



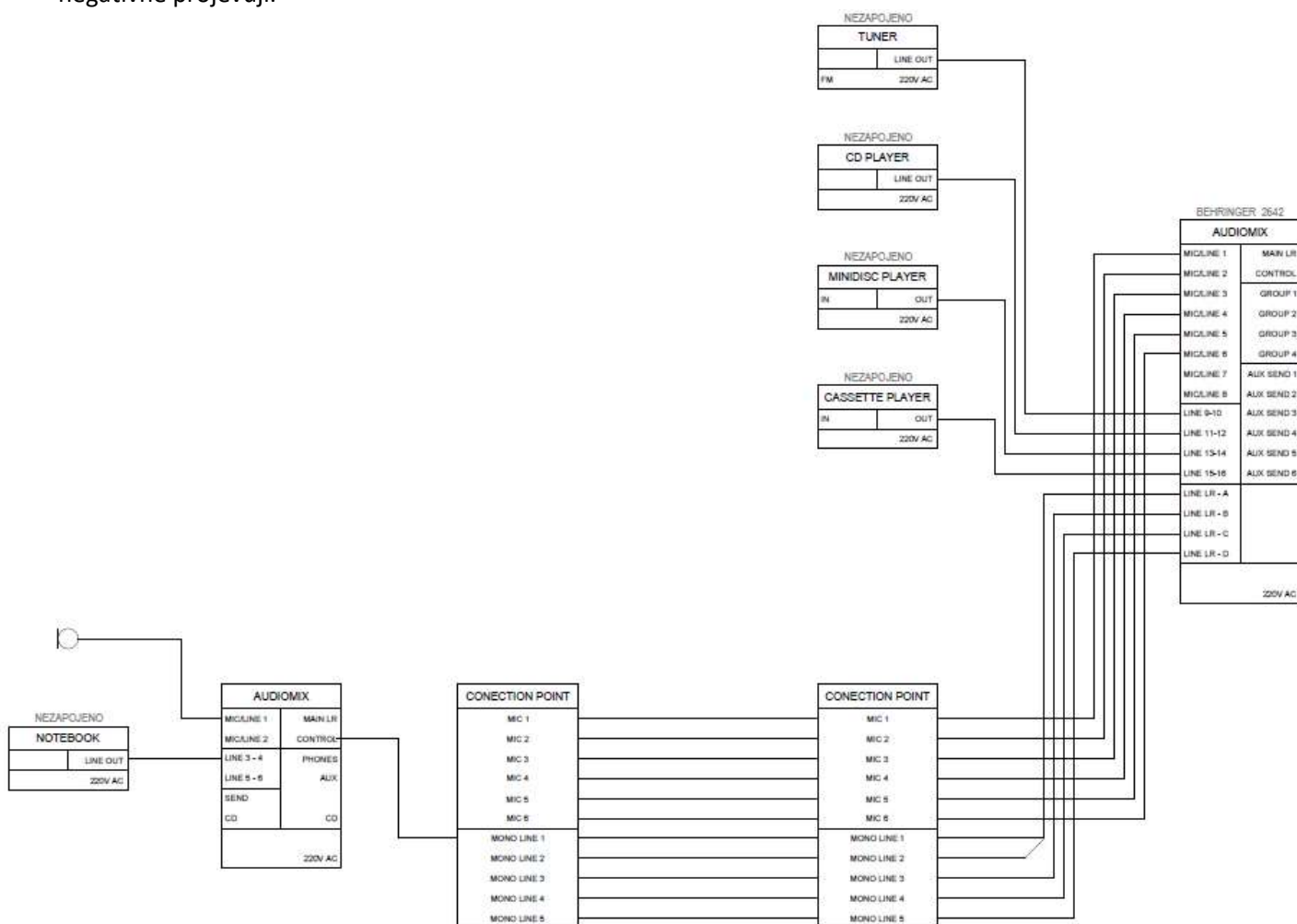
Obrázek č. 18 – Porovnání fázových a modulových frekvenčních charakteristik měření reprosoustav zóny 1 umístěných nad Hrací plochou, a zóny 3, umístěných nad Hlavní tribunou, které zajišťují ozvučení spodní části Hlavní tribuny; měřeno v akustické ose reprosoustavy, dole v sektoru A, v řadě 1; repro zóna1 (červená), repro zóna3 (oranžová)

#### • Optimalizace nastavení zvukového systému

Absence procesoru pro management reprosoustav, který by zahrnoval audio matici, crossover filtry, parametrické ekvalizéry, delay, limitory a další bloky potřebné ke zpracování zvukového signálu, bohužel znemožňuje současný zvukový systém výrazněji optimalizovat. Na základě změřených dat však bylo provedeno alespoň základní nastavení, které pomocí stávajících zvukových zařízení systému lze ovlivnit.

Na Obrázku č. 19 je uvedeno schéma zapojení stávajícího zvukového systému aktualizované dle stavu, ve kterém se systém nacházel v době měření a analýzy (viz také viz dokumentace a schéma v [8]). Jak bylo popsáno výše, v aktuálním stavu jsou z mixážního pultu odpojeny všechny přehrávače medií. Jediným zdrojem zvuku je doplňkový mixážní pult Behringer Xenix802 připojený přes přípojně místo v zázemí pro časoměřiče. Do tohoto zařízení je dále připojen mikrofón a případně další zařízení pro přehrávání hudby. Nastavení ekvalizeru na jednotlivých kanálech malého mixážního pultu, kde jsou zesílena zejména nízké a střední frekvence, zřejmě odpovídá skutečnosti, že na Hlavní tribuně polovina reprosoustav kvůli defektu tato pásma vůbec nereprodukuje a další reprosoustava je kompletně mimo provoz. Hlavní tribuna je v některých sektorech tedy pokryta pouze reprosoustavami nad Hrací plochou, to však s dostatečným akustickým tlakem platí pouze do cca řady 6 dolních sektorů A. Reprosoustavy zóny 1 (nad Hrací plochou) jsou od Hlavní tribuny relativně daleko a ve vyšších řadách začínají dominovat zvukové odrazy nad přímým zvukovým signálem, tzn. srozumitelnost a kvalita poslechu se výrazně zhoršuje. Navíc jedna z reprosoustav nad Hrací plochou je

otočena do stěny a další byla demontována úplně. Tyto skutečnosti se v daných sektorech samozřejmě negativně projevují.



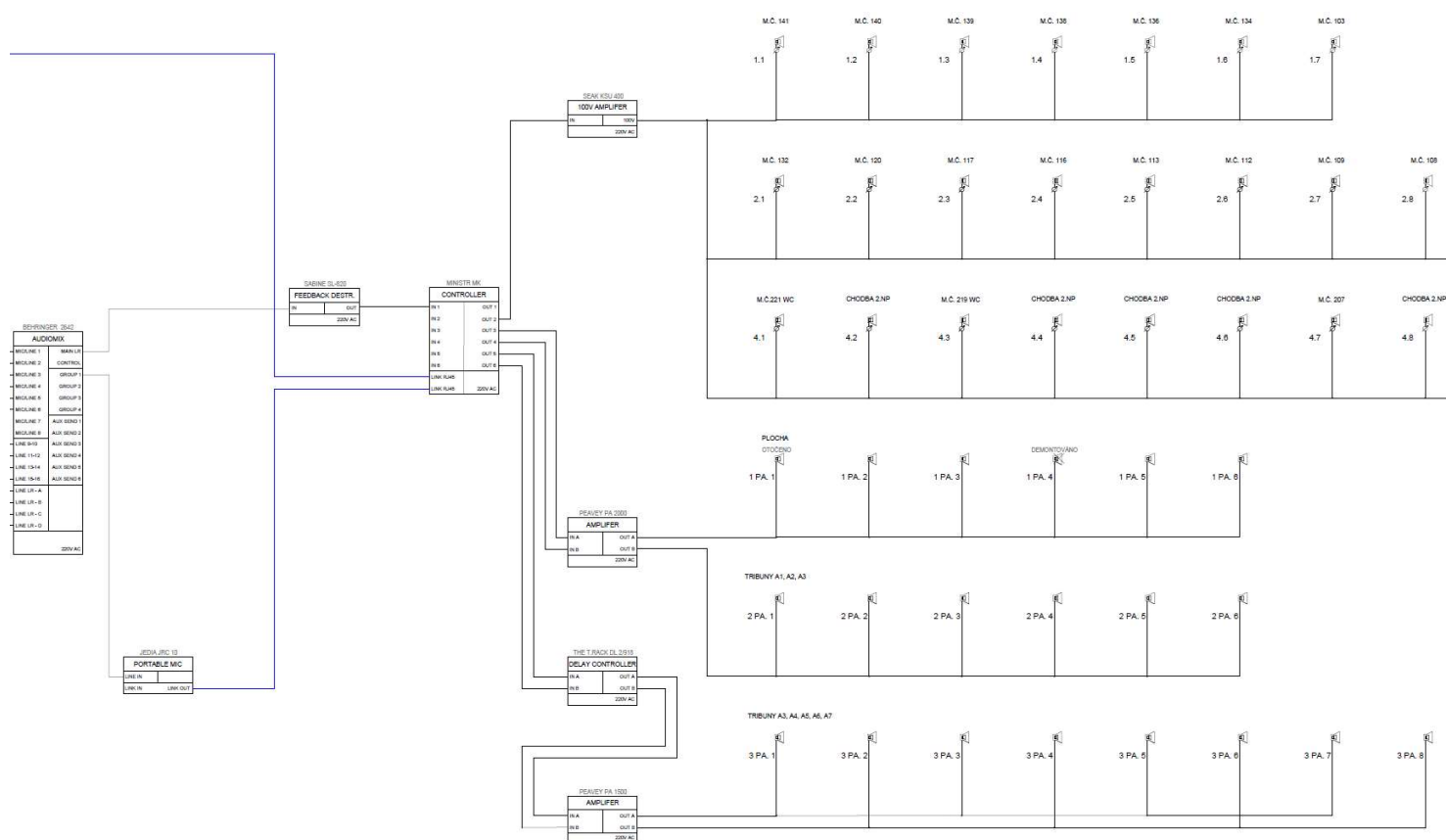
Obrázek č. 19 – Aktualizované blokové schéma systému ozvučení Velké haly Starež Arény Vodova dle současného stavu – zapojení koncových audio zařízení do mixážního pultu vč. přípojných míst

Ideální cílová modulová frekvenční charakteristika, které by se měl ideální zvukový systém v poslechových rovinách přibližovat, je uvedena na Obrázku č. 21. V daných podmínkách s aktuálním zvukovým systémem však nejsme schopni dosáhnout výsledné charakteristiky ležící uvnitř tolerančního pásma, naznačeného na Obrázku č. 20 v celém spektru slyšitelných frekvencí. Reálným cílem je tedy nastavení signálového řetězce tak, abychom se cílové křivce maximálně přiblížili, ale zároveň respektovali možnosti systému při zachování výkonové rezervy a stávajícího umístění jednotlivých prvků a struktury zapojení.

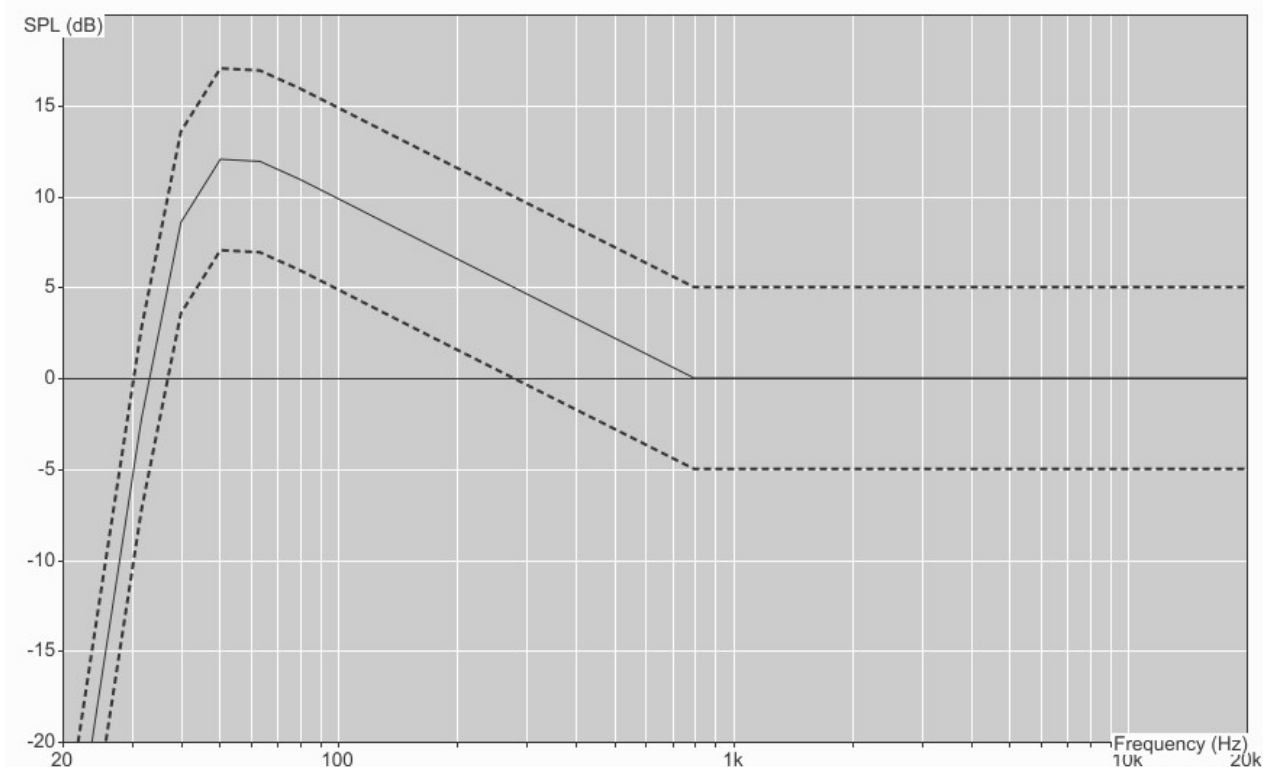
Pro optimalizaci nastavení zvukového systému bylo provedeno několik kroků:

- Vyrovnání úrovní hlasitosti jednotlivých zón v daných poslechových sektorech tribun,
- vytvoření akustického crossoveru mezi reprosoustavami zón 1 a 3 v dolním sektoru Hlavní tribuny,
- nalezení a nastavení optimálního zpoždění reprosoustav zóny 1 pro doplnění akustického tlaku a zlepšení koherence přímého zvukového signálu na Hlavní tribuně,
- vyřazení z provozu vadných audio zařízení, která mohla způsobit poškození reprosoustav.



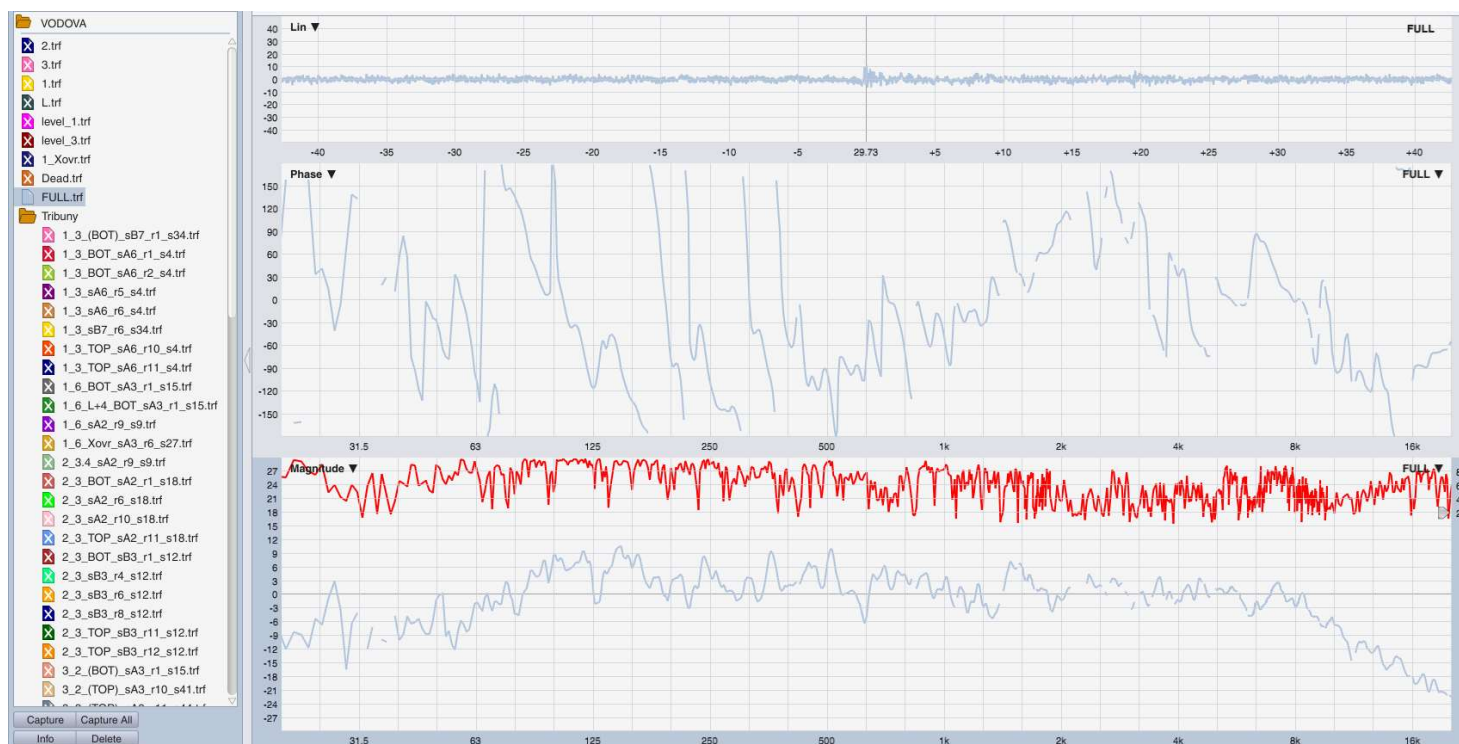


Obrázek č. 20 – Aktualizované blokové schéma systému ozvučení Velké haly Starež Arény Vodova dle současného stavu – zapojení hlavního zvukového systému, propojení reprosoustav do jednotlivých zón



Obrázek č. 21 – Cílová (referenční) křivka ideálního modulové frekvenční odezvy zvukového systému v poslechovém prostoru včetně vyznačeného tolerančního pásma  $\pm 6$  dB





Obrázek č. 22 – Výsledná frekvenční charakteristika zvukového systému měřená ve vzdáleném poli  
reprosoustav v sektoru A Hlavní tribuny

Frekvenční charakteristika na Obrázku č. 22 reprezentuje výsledné nastavení zvukového systému, které je maximálním možným přiblížením k cílové křivce popsané výše (viz Obrázek č. 21) pomocí úprav nastavení parametrů distribuce signálu. Při nastavení bylo v rámci možností instalované techniky zároveň zajištěno zachování dostatečné výkonové rezervy tak, aby komponenty systému nebyly při standardním uživatelském provozu na hraně svých schopností a nehrozilo jejich poškození. Při nastavení byl kladen důraz na kvalitu srozumitelnosti řeči a transparentnost zvukového projevu, tedy na maximální linearitu zvukového systému v celém spektru. Vzhledem k distribuovanému charakteru reprosoustav systému (uncoupled array uspořádání) bylo cílem spíše vyrovnat průměrnou modulovou frekvenční charakteristiku poslechového prostoru v intervalu frekvencí od 300 Hz do 8 kHz.

Pro kvalitnější reprodukci hlubokých a středních frekvencí, resp. přiblížení se k cílové křivce frekvenční charakteristiky v tomto pásmu, by bylo nutné doplnění zvukové energie hlubokých frekvencí. Reprosoustavy Ministr mají počátek průběhu frekvenční charakteristiky kolem 90 Hz. Chybějí však subwoofery, které by byly určeny pro rozšíření frekvenční charakteristiky stávajících širokopásmových reprosoustav k nízkým kmitočtům.

## ZÁVĚR

Při měření a ověření stavu jednotlivých reprosoustav bylo zjištěno, že 5 z 8 reprosoustav Ministr (konkrétně lichá čísla 3.PA1, 3.PA3, 3.PA5, 3.PA7 a 3.PA6), určených pro ozvučení Hlavní tribuny, jsou vadné. 3.PA1, 3.PA3, 3.PA5 a 3.PA7 mají omezenou reprodukci nízkých a středních frekvencí do cca 4 kHz z důvodu nefunkčních středo-basových měničů. Navíc jedna ze sudých reprosoustav zóny 3, konkrétně č. 3.PA6 je zcela mimo provoz. Tento stav má významný vliv na srozumitelnost řeči a kvalitu poslechu hudebního programu v sektorech hlediště A3 - A7 a B5 - B9 Hlavní tribuny, obsluhovaných těmito vadnými reprosoustavami. Nejhuře je na tom sektory A6, B8 a část B7, nad kterým se nacházejí 2 vadné a jedna zcela nefunkční reprosoustava vedle sebe. Pro dosažení správné funkce zvukového systému důrazně doporučujeme servis/výměnu těchto vadných reprosoustav. Ostatní měřené reproduktorové soustavy můžeme na základě srovnávací diagnostiky prohlásit za plně funkční. Při diagnostice byla dále zjištěno, že kompletní systém 100V zvukového rozvodu pro zázemí je mimo provoz kvůli vadnému 100V zesilovači Seak KSU 400.

Z hlediska srozumitelnosti řeči je zásadní obzvláště pásmo frekvencí od 300 Hz do 8 kHz, tedy hlavním cílem je doplnit zvukovou energii alespoň v tomto intervalu frekvencí. Na základě měření a poznatků získaných z analýzy původního systému byla v rámci možností instalovaných audio zařízení upravena konfigurace jednotlivých bloků řetězce zvukového systému. Úroveň akustického tlaku jednotlivých zón reprosoustav v referenčních bodech poslechového prostoru byla vyrovnána. V rámci možností bylo maximálně dosaženo vyrovnané frekvenční charakteristiky reflektující referenční cílovou tónovou křivku a poměry zvukové spektrální energie. Hodnota zpoždění v rámci vytvořeného akustického crossoveru mezi reproduktorovými zónami 1 a 3 na Hlavní tribuně byla změřena a nastavena na hodnotu 47ms. Zařízení Sabine FBX solo bylo nastaveno na průchozí mód Bypass z důvodu nadbytečnosti a nepříznivého ovlivnění kvality výstupního zvukového signálu. Zvukový procesor Behringer Sharc DSP110 byl odpojen a vyřazen z provozu z důvodu vady v konektoru nebo vnitřním audio okruhu – způsoboval výrazný brum a ohrožoval tak reprosoustavy zapojené na konci zvukového řetězce. V rámci malého obslužného mixážního pultu na pracovišti časoměřičů byla konfigurace zachována i v novém nastavení z hlediska zpětné kompatibility uživatelské obsluhy. V budoucnu by však bylo vhodné eliminovat tato zařízení složitá na obsluhu laickým uživatelem za techniku s co nejméně možnostmi nastavení, která má pouze předpřipravené režimy fungování přizpůsobené požadavkům obsluhy.

V rámci procesu optimalizace bylo snahou docílit rovnoměrného pokrytí poslechového prostoru akustickým tlakem a rovnoměrnosti spektrálního charakteru reprodukce zvukového signálu ve všech bodech hlediště. Bylo dosaženo relativně vyrovnané průměrné modulové frekvenční charakteristiky systému ( $\pm 6$  dB) v pásmu frekvencí cca od 85 Hz do 8,5 kHz ve většině poslechové plochy hlediště (mimo sektory s vadnými reprosoustavami) při zachování dostatečné výkonové rezervy jednotlivých prvků zvukového systému.

Při orientačním měření srozumitelnosti řeči pomocí zvukoměru NTi XL2 bylo zjištěno, že situace je v celé poslechové ploše (kromě míst obsluhovaných vadnými reprosoustavami) relativně vyrovnaná a na hranici normativních požadavků. Měření však nebylo provedeno za plného provozu včetně hlukového pozadí v podobě zvukové kulisy diváků a hluku ze sportovního výkonu na hrací ploše. Přesné měření a vyhodnocení hodnot STI však nebylo předmětem tohoto protokolu.

Pro další vylepšení výsledků reprodukce zvukového systému by bylo vhodné upravit infrastrukturu zapojení jednotlivých reprosoustav a použít alespoň základní audio procesor, který má k dispozici potřebné nástroje pro úpravu audio signálu, viz předchozí kapitola. Dále by bylo vhodné revidovat umístění reprosoustav ve

spojitosti s pozicí textilního závěsu a modernizovat způsob zavěšení jednotlivých reprosoustav v rámci ocelové konstrukce dle aktuálních bezpečnostních norem. Tyto zásahy však vyžadují použití vysokozdvížné techniky nad hrací plochou, práce zkušeného riggerského týmu techniků, konzole a kotvicí materiál pro zavěšení systému a další. Bylo by také vhodné doplnit zvukový systém o subwooferové reprosoustavy, jejichž počet a umístění by byl schopen pokrýt výkonové požadavky na nízkofrekvenční pásmo frekvenční charakteristiky zvukového systému v majoritní části poslechové plochy. Obecně je otázkou, zda by na základě životnosti techniky, v případě plánování většího montážního/servisního zásahu, nebyla ekonomicky výhodnější i kompletní modernizace kabelových tras, přípojných míst a koncových prvků zvukového systému za techniku v aktuálním standardu a reprosoustavy s výkonem, frekvenční a vyzařovací charakteristikou lépe vyhovující potřebám sportovní haly, případně využitelné pro externí pronájmy jako doplněk ozvučení společenských a kulturních akcí. V neposlední řadě by bylo vhodné, kdyby hlavní zvukový systém zároveň splňoval normativní požadavky na evakuační rozhlas, který aktuálně v budově chybí.