VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA, MARIBOR

DIPLOMSKO DELO

AKUSTIKA KONTROLNE SOBE V ZVOČNEM STUDIU KOT POMEMBEN ELEMENT KOMUNICIRANJA S POSLUŠALCEM

Kandidat: Nenad Patkovič

Študent študija ob delu

Številka indeksa: 11190122617

Program: Višješolski program MULTIMEDIJI

Mentor: Zlatko MIHALJČIČ, univ.dipl.soc.

Maribor, november 2009

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKE NALOGE

Podpisani **Nenad Patkovič**, št. indeksa **11190122617**, izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom

Akustika kontrolne sobe v zvočnem studiu
kot pomemben element komuniciranja s poslušalcem

ki sem jo napisal pod mentorstvom **Zlatka Mihaljčiča.**

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predložena diplomska naloga izključno rezultat mojega dela;
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia;
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli kot mojih lastnih – kaznivo po Zakonu o avtorskih in sorodnih pravicah (UL št. 16/2007 – v nadaljevanju ZASP), prekršek pa podleže tudi ukrepom VSŠ Academia, skladno z njenimi pravili.

Skladno z 32. členom ZASP dovoljujem VSŠ Academia objavo diplomske naloge na spletnem portalu šole.

Kraj in datum: Podpis študenta:

ZAHVALA

Mentorju Zlatko Mihaljčiču se zahvaljujem za potrpežljivost in strokovno vodenje pri pisanju diplome.

Iskrena hvala ravnateljici Mirjani Ivanuši za vzpodbudo, pomoč in jeklene živce.

Zahvala gre tudi moji družini, ki je potrpežljivo čakala, da zaključim študij.

Hvala sošolcem in vsem ostalim, ki so mi kakorkoli pomagali na poti do zaključka študija.

POVZETEK

Akustika prostora za kritično poslušanje je izjemno pomemben element komuniciranja s poslušalcem, ki si želi slišati čim bolj nevtralen zvok, ki ga potem lahko zanesljivo analizira in z njim manipulira.

Namen takšnega prostora je čim večja univerzalnost poslušalskega območja, ki omogoča zanesljivo translacijo zvočnega produkta v druge življenjske prostore, prav tako pa tudi na različne medije.

Soba sama po sebi pomeni zaprt prostor, ki ima svoje lastne specifične fizikalne lastnosti in posledično vpliva, kako se zvok v njej obnaša. Zaprt prostor povzroča prevelike deviacije v frekvenčnem in reverberacijskem spektru, ki onemogoča kritično analiziranje, manipulacijo in s tem kvaliteto zvočnega produkta.

V zadnjih desetletjih je prišlo do resnejših raziskav in psihoakustičnih ugotovitev, kako ušesom in možganom zagotoviti čim bolj primeren prostor za kritično poslušanje, temu primerno zvočno manipulacijo in dobro translacijo.

Naloga ni lahka, filozofij in akustičnih principov je več in se nenehno dopolnjujejo, spreminjajo in razvijajo. Temu je posvečena ta diplomska naloga.

Ključne besede:

Akustika, kontrolne sobe, modalne frekvence, akustični elementi, absorberji, difuzorji, tipi akustičnih dizajnov

ABSTRACT

Room acoustics for critical listening in the control room of the studio complex is an extremely important element for the listner, who only by hearing the sound as neutrally as possible can preform proper analisations and manipulations of the sound.

The purpuse of an acoustically optimised space is to be able to translate an audio production to different media and listening circumstances.

A room is a closed space, wich has its own set of physical limitations when it comes to sound, and therefore has a big effect on the behaveour of the sound in space. A closed space has huge deviations of the frequency and reverberation spectrum, wich in turn manipulate the sound we are trying to reproduce to a point, where no critical analysis can be made and thus no sound manipulations can be trusted.

In the last few decades there has been a huge increase of our knowledge about psychoacoustics, the science of how the brain precieves a sound. With this knowledge it is possible to improve on a room and it's acoustic properties.

The task is not easy, there are many different philosophys and principles when it comes to optimizing room acoustics, and they continuously change and often merge into one another. This is the subject of this thesis.

Key words:

Acoustics, Control room, Modal frequencys, acoustic elements, absorbers, diffusors, acoustical design principles

KAZALO:

1. UVOD 10
1.1. Opredelitev obravnavane zadeve 11
1.2. Namen, cilji in osnovne trditve 12
1.3. Predpostavke in omejitve raziskave 13
1.4. Predvidene metode raziskovanja 14
2. AKUSTIKA 15
2.1. Kakšen pomen ima akustika v zvočnem studiu 15
2.2. Parametri, ki odločilno vplivajo na akustiko zvočnega studia 16
2.2.1. Velikost snemalnega prostora in reverberacija 16
2.2.2. Modalne frekvence, razmerja stranic in geometrija prostora 20
2.2.3. Kakšna popačenja se pojavljajo v zaprtih prostorih 24
2.2.4. Klimatizacija prostorov 25
2.2.5. Kriterij hrupa 26
3. OSNOVNI AKUSTIČNI ELEMENTI ZVOČNEGA STUDIA 29
3.1. Absorberji zvoka in različni tipi le-teh 29
3.1.1. Porozni absorberji 30
3.1.2. Kotni absorberji 31
3.1.3. Membranski absorberji 31
3.1.4. Membranski perforirani absorberji 32
3.1.5 Membranski mikroperforirani absorberji 33
3.1.6 Helmholtzev resonatorski absorber 36
3.1.7. Cilindrični in polcilindrični absorberji 37
3.1.8. Aktivni elektronsko uravnavani absorberji 40
3.2. Difuzorji zvoka 41
3.2.1. Geometrične strukturirane površine 42
3.2.2. Phase grids of Helmholtz resonators 42
3.2.3. Maximum length (ML) difuzorji 43
3.2.4. Mikro perforirani difuzorji 43
3.2.5. Schroederjevi difuzorji 44
4. OSNOVNI PRINCIPI DIZAJNA PROSTOROV ZA KRITIČNO POSLUŠANJE 49
4.1. Petdeseta leta prejšnjega stoletja 52
4.2. Šestdeseta leta prejšnjega stoletja 53
4.3. Sedemdeseta leta prejšnjega stoletja – Non-Environment dizajn – N-E 55
4.4. Osemdeseta leta prejšnjega stoletja: Live End Dead End dizajn – LEDE 58
4.5. Osemdeseta leta prejšnjega stoletja: Controled Image Design – CID 61
4.6. Osemdeseta leta prejšnjega stoletja: Reflection Rich Zone – RRZ 65
4.7. Osemdeseta leta prejšnjega stoletja: Reflection Free Zone dizajn – RFZ 67
4.8. Devetdeseta leta prejšnjega stoletja: Early Sound Scattering dizajn – ESS 70
4.8.1. Vpliv mešalne mize na akustiko prostora 75
4.9. Devetdeseta leta prejšnjega stoletja: The Moulton Room dizajn 78
4.10. Dvajseto stoletje: Ambient Anechoic; Ambechoic Surround Sound Environment dizajn 82
4.11. Dvajseto stoletje: iRoom; Immersive Surround Environment dizajn 85
4.12. Dvajseto stoletje: Front To Back – FTB dizajn 86
5. POVZETEK O AKUSTIČNIH DIZAJNIH 89
6. ZAKLJUČEK O AKUSTIKI 90
7. LITERATURA IN VIRI 91
7.1. Literatura 91

7.2. Viri s spleta 91
7.3. Predlagani spletni forumi za avdio entuziaste 92

KAZALO SLIK:

Slika 1: Regije zvoka 17
Slika 2: Grafično ponazorjena zahtevana reverberacija prostorov glede na njihovo uporabo . 18
Slika 3: Rast reverberacije nizkih frekvenc 18
Slika 4: Odmevni čas 19
Slika 5: Grafična ponazoritev resonančne frekvence sobe 20
Slika 6 a, b, c: Prikaz aksialnih, tangencialnih in poševnih refleksij 21
Slika 7: Boltovo področje 22
Slika 8: Najbolj »priljubljena« razmerja stranic prostorov v akustiki 23
Slika 9: Razporeditev frekvenc v prostoru 24
Slika 10: Absorpcija zvoka in vlažnost zraka 26
Slika 11: NC krivulje 28
Slika 12: Optimizacija zračnega žepa 30
Slika 13: Primer poroznega absorberja 30
Slika 14: Kotni porozni absorber 31
Slika 15: Membranski kotni 31
Slika 16: Princip membrane pri kotnem membranskem absorberju 31
Slika 17: Oscilacija membrane 32
Slika 18: Realtraps MondoTrap 32
Slika 19: RPG Plate 32
Slika 20: RPG Broadband 32
Slika 21: Binarno perforiran membranski in širokopasovni absorber 33
Slika 22: Osnovna konstrukcija: mikroperforirana plošča, zrak in rigidna stena 34
Slika 23: Profil: hitrost zvoka. Levo: običajen Helmholtzev resonator, desno: mikroperforiran absorber 34
Slika 24: Primer mikroperforirane plošče 35
Slika 25: Še en primer takšnega absorberja 35
Slika 26: Primer stropa akustično obdelanega dvorišča 35
Slika 27: Binarno mikroperforiran absorber in poli difuzor hkrati 36
Slika 28: Grafični prikaz principa delovanja 37
Slika 29: Slot Helmholtzev resonator 37
Slika 30: Helmholtzeve resonatorje so uporabljali že v srednjem veku v zidovih cerkva 37
Slika 31: Princip delovanja Tubetrapsov 38
Slika 32: Mobilni snemalni prostor 39
Slika 33: Primer kontrolne sobe 39
Slika 34: Pogled prereza »Tube Trap« 40
Slika 35: Princip absorber/difuzor 40
Slika 36: Shematski prikaz aktivnega absorberja E-trap 41
Slika 37: Različne geometrijske strukture 42
Slika 38: Polcilindrični elementi 42
Slika 39: Piramidalni difuzorji 42
Slika 40: Princip »Phase grids« 43

Slika 41: Enodimenzionalen ML difuzor s sekvenco N = 7 43
Slika 42: Dvodimenzionalen ML difuzor s sekvenco N = 7 43
Slika 43: Primer mikroperforiranega difuzorja 44
Slika 44: Enačba za izračun minimalne in maksimalne difuzirane frekvence 45
Slika 45: Trostopenjski QRD difuzor 45
Slika 46: Princip trostopenjske konstrukcije za čim širše območje difuzije 45
Slika 47: Velik zidan QRD difuzor 46
Slika 48: Sodoben 2D difuzor 46
Slika 49: Kombinacija QRD in »cilindričnih« oblik 47
Slika 50: QRD hibrid s separatorji 47
Slika 51: Kombinacija PRD tipa in cilindričnih oblik 47
Slika 52: Primer nenavadnega difuzorja 47
Slika 53: Večfraktalni 2D difuzor 48
Slika 54: Večfraktalni 2D difuzor s separatorji 48
Slika 55: Primerjava uniformnosti difuzijskega polja glede na različne akustične elemente 49
Slika 56: Obnašanje refleksij pred tretmajem in po tretmaju pri RFZ dizajnu 51
Slika 57: Objektivne in subjektivne ugotovitve akustikov, kako zaznavamo zvok 51
Slika 58: Takratni studio Billa Putnama 52
Slika 59: Pionir Bill Putnam pri delu 52
Slika 60: Tloris N-E dizajna 56
Slika 61 a, b: Ogromni »bass trapi« na stropu 57
Slika 62: Primer N-E kontrolne sobe 57
Slika 63: Princip LEDE dizajna 59
Slika 64: Primer LEDE dizajna 3D pogled 60
Slika 65: Prva LEDE kontrolna soba 60
Slika 66: CAD programska rešitev 62
Slika 67: Prikazane refleksivne površine 62
Slika 68:. Končna študija oblik površin prostora za prototipno CID kontrolno sobo B12; 63
Slika 69: Končana prototipna CID kontrolna soba B12 64
Slika 70: Detajl sprednje stene prototipne CID kontrolne sobe B12 64
Slika 71: Ena redkih slik edine obstoječe RRZ kontrolne sobe: The Complex Studios LA 65
Slika 72: Še en detajl, kako izgledajo difuzorji okoli “sweet spota” 66
Slika 73: Uporabljeni so bili 2D QRD difuzorji 66
Slika 74: Princip RFZ dizajna 67
Slika 75: Princip surround RFZ kontrolne sobe 68
Slika 76: Kombinirani dizajn in uporaba stranskih binarnih slot resonatorjev/absorberjev 69
Slika 77: Interferenca dveh izvorov zvoka 71
Slika 78: Gracieland studio danes 73
Slika 79: Sprednji difuzijski del Gracieland studia 73
Slika 80: Martin Price studio, ki pa je imel bolj poenostavljeno geometrijo in nižje stroške pri konstrukciji 74
Slika 81: LBS Stockport studio ima poenostavljen še sprednji difuzijski del, vendar še zmeraj uporablja koristi difuzivnega sprednjega dela 74
Slika 82: Tipično poslušalsko območje v kontrolni sobi 75
Slika 83: Efekt mešalne mize, vizualni prikaz: direkten zvok, odboj od mize in odboj od tal 76
Slika 84: Frekvenčni odzivi v poslušalski poziciji s tremi različnimi mešalnimi mizami 77
Slika 85: Izračunan frekvenčni odziv treh različnih razdalj od izvora zvoka brez mešalne mize 77
Slika 86: Tipične refleksije v majhni sobi in njegova razlaga v časovnem okviru 50 ms 79
Slika 87: Približen primer sobe ca. 2.4 m x 3.4 m x 5.4 m 81

Slika 88: Akustična meritev v poslušalski poziciji 84
Slika 89: Blackbird studios; dizajn George Massenburg Labs – GML soba 84
Slika 90: Shematski prikaz predvidene postavitve akustičnih elementov 85
Slika 91: Tloris projekta 87
Slika 92: Stranski ris projekta 87
Slika 93: Končana kontrolna – mastering soba, sprednji del, vidna jeklena sprednja površina 88
Slika 94: Zadnja stena in 2D difuzorji 88
Slika 95: Obnašanje direktnega zvoka, ranih in kasnih refleksij v različnih akustičnih tipih prostorov 89

KAZALO TABEL:

Tabela 1: Akustične distorzije v prostoru in predlagan princip njihovega reševanja 25
Tabela 2: Tabelarični prikaz konstrukcije Skyline difuzorja 47

1. UVOD

Minilo je nekaj več kot 13 let, odkar aktivno spremljam področje akustike v poslušalskih prostorih. Sprva nisem vedel, zakaj me je prav to v tolikšni meri navdušilo. Sedaj vem: najpomembnejša stvar je, da lahko zvok kritično slišimo in ocenjujemo, šele nato je pomembna elektronska oprema. Izjemno interesantna pa je tudi psihoakustika človeka oziroma kako ušesa in možgani sploh dojemajo zvok.

Vedno znova me je presenečalo, da zvočni mojstri, tudi izjemno izkušeni, velikokrat temu ne posvečajo dovolj pozornosti. Marsikateri to celo skoraj povsem zanemarjajo. Vlagajo velike količine denarja in truda v nabavo nove elektronske opreme, da bi dobili vedno boljše zvočne rezultate, pa niti prav ne slišijo, kaj resnično ta ali ona naprava naredi z zvokom.

Če se nekdo želi ukvarjati z zvočno produkcijo, si mora urediti tudi delovni prostor, ki mu bo omogočil pogoje za kvalitetno in kritično poslušanje zvoka, kar je pravzaprav predmet profesije. Kako bi recimo lahko delal biolog brez primernega laboratorija ali kako bi slaboviden voznik lahko upravljal vozilo brez očal?

Morda pa bo ta diplomska naloga koga pritegnila, mu pomagala razjasniti nekaj osnovnih pojmov in namen akustike ter ga celo vzpodbudila, da si ustvari primeren delovni prostor, četudi je namenjen ljubiteljskemu ustvarjanju glasbe ali pa zgolj kvalitetnemu poslušanju vsemogočih zvočnih stvaritev kar v domačem teatru.

1.1. Opredelitev obravnavane zadeve

Primeren akustični tretma prostora spada v osnovno in primarno zahtevo avdio studia. Zvočni studio je praviloma zmeraj **zaprt prostor**. Tudi sama arhitekturna akustika se v osnovi deli na akustiko zaprtih in **odprtih prostorov**. Odprti prostori so bolj pomembni za recimo koncerte na prostem, nas pa zanima, kaj se dogaja z zvokom v zaprtem oz. omejenem prostoru.

Zvok se v zaprtih prostorih odbija tako dolgo, dokler se njegova moč ne porazgubi pod slušno mejo. Vsak prostor ima zato tudi svoj **specifičen odmevni čas in odzivnost**: večji je prostor – večji je lahko odmevni čas in obratno. Neskončno število odbojev definira unikatnost prostora in njegovo zvočno in fizično prostorskost – **reverberacija prostora**.

Na zvok vpliva tudi sama **geometrija prostora**, le-ta določa osnovne **modalne**/**resonančne frekvence** prostora, te pa določajo tudi svoje nadaljnje **harmonične vrednosti** in **distorzije**. Obstajajo raziskave različnih strokovnjakov, ki so odkrili različne primerne proporcije (razmerja višine, dolžine in širine) prostorov, kjer imajo modalne frekvence manjši vpliv na zvok in s tem na njegovo **pretirano koloracijo/obarvanost**.

Še ena poglavitna in potrebna lastnost zvočnega studia je – **tišina**. Prostori, ki bodo namenjeni snemanju izvorov zvoka, morajo vsekakor biti po določenih kriterijih kar se da tihi, drugače bomo moteče zvočne vplive iz okolice tudi zajeli na posnetku. Če to ni naš nameren namen, se je temu potrebno nekako izogniti**; rešitve** najdemo seveda **v gradbeništvu**.

Pogledali bomo še **znane različne dizajne akustičnih tretmajev** (in nekaj iz zgodovine razvoja principa dizajnov) za minimalizacijo koloracije prostora in osnovni modularni princip dizajna tehnične **kontrolne sobe**.

To so osnovni vodiči – parametri, po katerih bomo skušali urediti in kontrolirati obnašanje zvoka v prostoru, namenjenem poslušanju zvočnega snemanja in predvajanju.

1.2. Namen, cilji in osnovne trditve

Namen diplomske naloge je **osvestiti** ljudi, ki delajo v zvočnem studiu, o **pomenu akustičnega tretmaja** prostora, ki je namenjen **kritičnemu poslušanju** in **sprotni analizi** zajemanja zvoka, saj drugače človeški **možgani niso sposobni nevtralno presojati,** kako naj se zvoki medsebojno prepletajo, ko se zvok meša, in narediti iz velikega števila različnih zvokov končen miks, ki je primeren za poslušanje **na različnih sistemih** in okoljih...

Ker namreč živimo v razviti digitalni in industrijski dobi, so tehnični pripomočki za zajemanje, snemanje in mešanje zvoka dosegljivi zelo široki množici ljudi, in ker že vsak povprečen glasbenik (pa tudi drugi entuziasti) želi imeti svoj **domači studio**, žal skoraj vsi **zanemarjajo pomen akustike**. Mnogo raje vložijo v **tehnične pripomočke**, ki so pa seveda brez primerne akustike zvočnega studia **sekundarnega pomena**.

Zanemarjajo ga pa tudi **nekateri priznani** zvočni **mojstri**, ki na osnovi izkušenj menijo, da lahko njihovi **možgani pretentajo fizikalne** omejitve/**zakone**, ki jih določa specifičen delovni prostor. **Žal ni tako**. Resda jim pri tem **pomagajo dolgoletne izkušnje** in po principu **šablonskega dela** lahko marsikaj **predvidijo,** a **izdelek ne bo tako kvaliteten,** kot bi lahko bil.

Cilj je torej čim bolj celovito in preprosto prikazati tematiko akustike kontrolne sobe v zvočnem studiu **brez** pretiranega potrebnega teoretičnega **predznanja bralca** in **osvestiti** ljudi, ki se s tem ukvarjajo, da je to **predpogoj** za **kvalitetne** zvočne **stvaritve**.

Lahko **trdimo**, da je **zvok**, ki se **meša** v **akustično** pravilno **tretiranem** prostoru, mnogo **kvalitetneje** zmešan in da imajo ustvarjeni končni miksi **dobro translacijo** na drugih sistemih in v drugih prostorih, kjer poslušajo **končni poslušalci**, torej: v povprečnih dnevnih sobah, kopalnici, avtomobilu, slušalkah, različnih javnih prostorih... Drugače povedano, povsod, kjer ljudje poslušajo zvočne posnetke, se morajo le-ti **slišati** kar se da **optimalno**, **glede** na to, da se **zvok** prvovrstno **meša** v **drugačnem** prostoru/**okolju**, kot poslušalec posluša.
Rešitev se seveda zdi nemogoča...

Obstajajo **različni tipi** akustičnih **dizajnov** studiev, vsak ima svoje **prednosti** in **pomanjkljivosti.** Za **odločitev** o **primernem** tipu **dizajna** v **specifično** podanem **problemu**/projektu je potrebnih mnogo izkušenj in teoretičnega predznanja.

Nekateri si **pomagajo** tudi **tako**, da ko **mešajo** zvok, **mikse preposlušajo** na **več** različnih zvočnikih, v **drugih prostorih**, ki smo jih prej omenjali, **naredijo** potem **kompromis**, kar pa je seveda izjemno **nepraktično** in **neprofesionalno** ter **časovno, finančno** in **kvalitativno neprimerno**.

1.3. Predpostavke in omejitve raziskave

Predpostavko, »da je za kvalitetno mešanje zvokov in tudi njihovo snemanje potreben **primeren prostor**, tudi **primerno akustično tretiran,** saj **omogoča kvalitetno produkcijo** in **kvalitetno translacijo** na druge sisteme, prostore ter okolja,« bom čim bolj enostavno in pobliže prikazal.

Omejitev glede raziskave praktično ni, saj je v današnjem času »širokopasovne informatike« ogromno dostopnih informacij. Le v roke je potrebno vzeti kvalitetne vire in jih proučiti, nato pa praktično uporabiti pridobljeno znanje. Seveda izkušen akustik lahko projekt popelje še stopničko dve višje, ta diplomska naloga je lahko samo dobronamerna vstopnica v svet studijske akustike, pa tudi resnega domačega kina.
Dobrodošli!

Edina **omejitev** je le pri dokazovanju tega (razen gledanja rezultatov akustičnih meritev...), saj se je potrebno na lastna ušesa prepričati, kako je delati z zvokom v primernem ali neprimernem prostoru, in prav tako, kako je pomembno, da so tudi poslušalski prostori čim bolj primerni za poslušanje – vedno bolj popularni in dostopni »home theater« sistemi in tudi obstoječa akustika v prostoru, kjer je sistem postavljen.
Ampak tudi za njih veljajo enaka fizikalna načela in predstavljeni akustični principi, torej bodo koristni tudi za zahtevnejše poslušalce, ki želijo čim bolj kvalitetno doživeti dimenzijo zvoka.

1.4. Predvidene metode raziskovanja

Pri pisanju diplomskega dela bom uporabljal predvsem **teoretično** tujo strokovno literaturo in **spletne vire**, v veliko pomoč pa mi bo tudi **znanje**, ki sem si ga pridobil v času **samoiniciativnega učenja** akustike, pri gradnji treh lastnih in svetovanju desetinam studiev po Sloveniji in ozemljih bivše Jugoslavije.

Priložil bom tudi nekaj rezultatov oz. **slikovno** pokazal **praktično** zgrajen studio in podal povezave do predelanih studiev, katerim sem svetoval in jih vodil ter usmerjal pri specifičnem projektu, saj vsak prostor zahteva prilagojen način in situaciji primeren akustični dizajn, tudi proračun za specifičen projekt je seveda prevečkrat odločujoč faktor ... žal.
»**Ekspresnih«** ali **univerzalnih rešitev** pa žal **ni**!

2. AKUSTIKA

Akustika je fizikalna znanstvena veda, ki se ukvarja s fiziološkimi in fizikalnimi pojavi v zraku (lom, odboj, uklon, vpijanje, razpršitev in zvočni pojavi). V širšem pomenu je eksperimentalna in teoretična veda o zvoku in njegovemu širjenju, v ožjem pomenu pa veja znanosti, ki se ukvarja z zvokom v posameznih prostorih (tudi na prostem), kot so sobe in gledališča. Akustični inženiring se ukvarja z načini upravljanja z zvokom v arhitekturi in gradbeništvu, proučuje obvladovanje odmeva zvoka, zvočno izolacijo in zmanjšanje ropota. (vir: http://sl.wikipedia.org/wiki/Akustika)

2.1. Kakšen pomen ima akustika v zvočnem studiu

Primeren **akustični tretma** prostora spada v **osnovno** in **primarno opremo avdio studia**. Zvočni studio je praviloma zmeraj **zaprt prostor**. Tudi sama arhitekturna akustika se v osnovi deli na akustiko zaprtih in **odprtih prostorov**. Odprti prostori so bolj pomembni za recimo »open air« tipe koncertov in ozvočenj, nas pa zanima, kaj se dogaja z zvokom v zaprtem oz. omejenem prostoru.

Zvok se v zaprtih prostorih odbija tako dolgo, dokler se njegova moč ne porazgubi pod slušno mejo. Vsak prostor ima zato tudi svoj **specifičen odmevni čas in odzivnost**: večji je prostor – večji je odmevni čas in obratno. Neskončno število odbojev definira unikatnost prostora in njegovo zvočno in fizično prostorskost – **reverberacija prostora**.

Na zvok vpliva tudi sama **geometrija prostora**, le-ta določa osnovne **resonančne frekvence** prostora, te pa določajo tudi svoje nadaljnje **harmonične vrednosti**. V pomoč so nam lahko raziskave različnih strokovnjakov, ki so odkrili različne primerne proporcije (razmerja višine, dolžine in širine) prostorov, kjer imajo **modalne frekvence** najmanjši vpliv na zvok in s tem na njegovo pretirano **koloracijo/obarvanost**.

Čeprav se morda marsikomu zdi odnos med **vlago v prostoru** in obnašanjem zvoka nepovezan, pa ni tako. Na zvok izredno vpliva **kvaliteta zraka – medija,** ki z valovanjem svojih molekul sploh omogoča prenos zvoka, kakršnega poznamo. Če bi bil v prostoru vakuum, ne bi bilo osnovnih prenašalcev vibracij/valovanj; zato je v vesolju popolna tišina.

Ker se z večurnim delom v zaprtih prostorih spreminja kvaliteta zraka in s tem prej omenjene lastnosti zvoka, je potrebno nujno poskrbeti za ustrezno **klimatiziranje prostora**.

Še ena poglavitna in potrebna lastnost zvočnega studia je – **tišina**. Prostori, ki bodo namenjeni snemanju izvorov zvoka, morajo vsekakor biti po določenih kriterijih kar se da tihi, drugače bomo moteče zvočne vplive iz okolice tudi zajeli na posnetku. Če to ni naš nameren namen, se je temu potrebno nekako izogniti; **rešitve najdemo v gradbeništvu**.

Pogledali bomo še **osnovne akustične elemente** za minimalizacijo koloracije prostora in osnovne principe dizajna tehnične **kontrolne sobe**.

To so osnovni vodiči – parametri, po katerih bomo skušali urediti in kontrolirati obnašanje zvoka v prostoru, namenjenem zvočnemu snemanju in predvajanju.

2.2. Parametri, ki odločilno vplivajo na akustiko zvočnega studia

V veliki meri se je **moč ogniti** oz. bolje rečeno omiliti neizprosne **koloracije zvoka**, ki posledično izhajajo iz vpliva zaprtega prostora nanj. To je mogoče le v začetnih fazah **projektiranja prostorov**, tako rekoč od lokacije in temeljev dalje. Če smo pa omejeni na že izgrajen/obstoječ prostor, pa je potrebno prostor analizirati in naknadno akustično tretirati.

2.2.1. Velikost snemalnega prostora in reverberacija

Od velikosti snemalnega prostora je odvisen tudi odmevni čas oz. reverberacija sobe. **Večja je soba, daljši je** lahko **odmevni čas**, **manjša** kot je **soba, krajši** naj bi bil **odmevni čas**, saj nas lahko spominja na efekt »kopalnice«. Vendar je odmevni čas možno kontrolirati z dodanimi absorpcijskimi in difuzijskimi elementi.

Zanimiva je primerjava med slišnimi regijami zvoka. Slišni zvočni spektrum lahko razdelimo na različne cone oz. regije (slika 1) glede na to, kako se obnaša zvočno valovanje. V mislih imejmo, da je 20 Hz val, velik ca. 17m, 20 kHz pa val, velik le ca. 0.25 cm.
V regiji A (regija nizkih frekvenc) dominira normalno valujoče obnašanje zvoka – slika 1, v regiji B (vmesna cona) dominira difuzija in difrakcija zvoka, v regiji C pa dominira obnašanje

zvoka v prispodobi svetlobnega žarka (vpadni kot je enak izpadnemu). Modalne resonance padajo, ko se pomikamo skozi regije – od A do C.
V regiji X se ne kažejo modalni efekti. To ne pomeni, da ne morejo frekvence, nižje od 343/2L, obstajati v prostoru, ampak da je ta zvok brez ojačanih modalnih frekvenc prostora – torej je odzivnost sobe relativno »revna«, slaba in z mnogo distorzijami oz. popačenji samega zvoka.

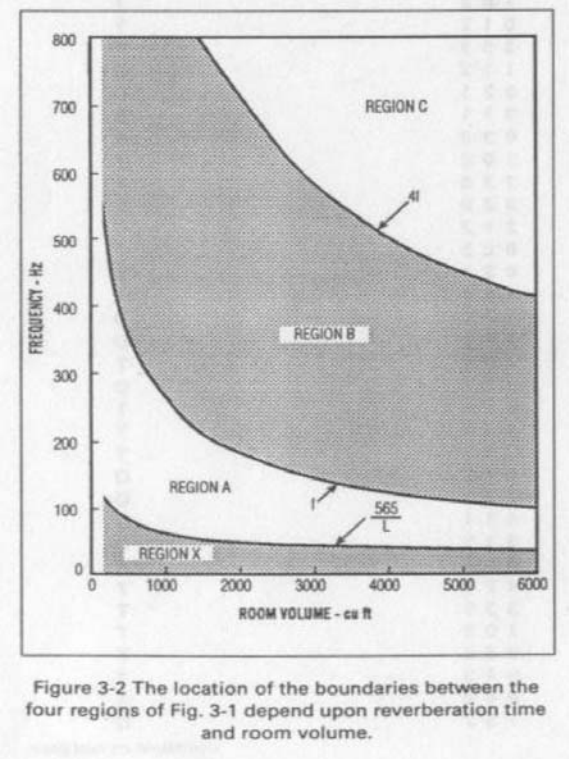
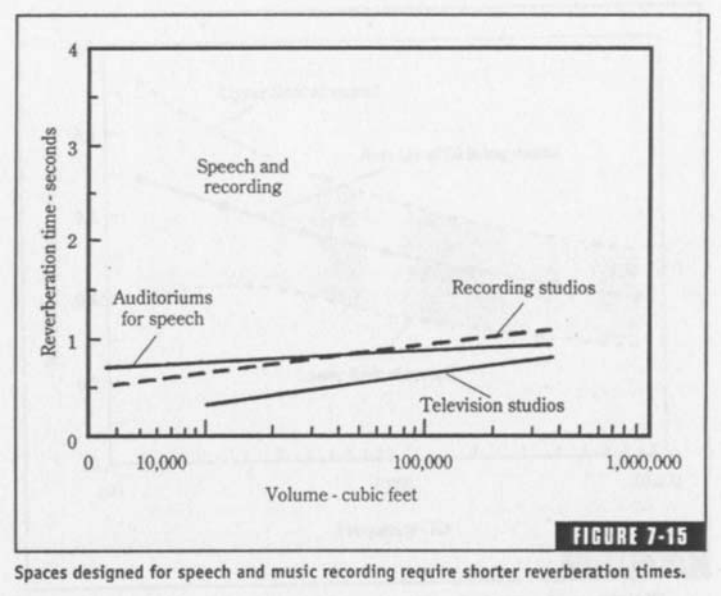


Figure 3-2 The location of the boundaries between the four regions of Fig. 3-1 depend upon reverberation time and room volume.

Slika 1: Regije zvoka
Vir: Ballou, Glen: Handbook for Sound Engineers, Howard W. Sams & Co., 1991, str. 46.

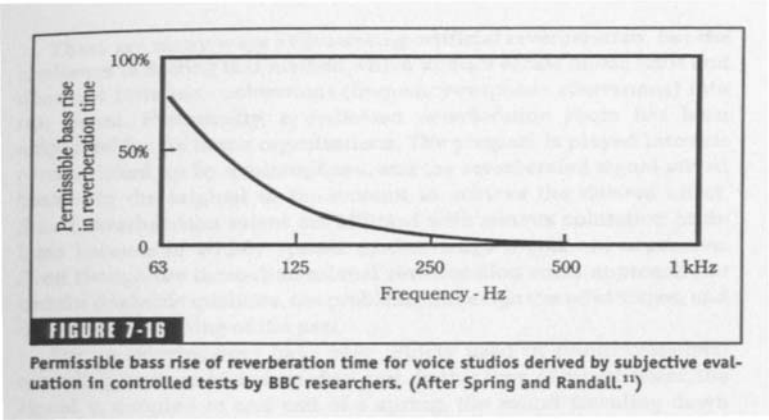
Že v osnovi je dobro izbrati primerne dimenzije prostora, da se izognemo prevelikim dodatnim akustičnim posegom. Veliki prostori so namreč težavni za vzdrževanje in potrebno akustično instalacijo, da se reverberacija umiri do ugotovljenih želenih standardnih mej (slika 2). Primeren povprečen odjek, ki naj bi bil čim bolj konsistenten skozi cel slišni zvočni spektrum, je za **kontrolne sobe** približno **med 0.2 do 0.4 sek**.

Kjer se snemajo **glasbila,** pa je lahko **prostor** »**zelo živ**« in je to bolj odvisno od »zahtev« posamezne zvrsti glasbe.



Slika 2: Grafično ponazorjena zahtevana reverberacija prostorov glede na njihovo uporabo
Vir: Alton F. Everest: The Master Handbook of Acoustics, McGraw-Hill, 2001, str. 153.

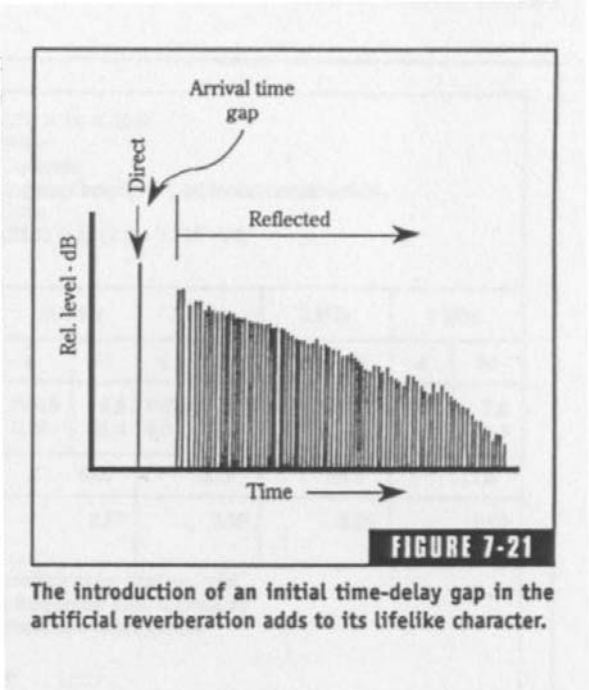
Majhni prostori pa imajo druge probleme: odmevni čas je kratek in zajeti zvok zelo neprijeten. Takšni prostori imajo preveliko gostoto prvih odjekov, kar seveda slišno vpliva na pretirano koloracijo zvoka. Tudi nizke frekvence so mnogo bolj prezentne.
Prostori, namenjeni snemanju in predvajanju zvoka, lahko imajo tudi **povišanje odjeka v nižjih frekvencah** (slika 3), saj smo tega pri zaprtih prostorih že nagonsko vajeni, ko smo še živeli v jamah in kasneje v grajenih prostorih – **psihoakustika**.



Slika 3: Rast reverberacije nizkih frekvenc
Vir: Alton F. Everest: The Master Handbook of Acoustics, McGraw-Hill, 2001, str. 154.

Na sliki 4 je ponazorjen klasični odmevni čas. Na levi lahko vidimo, kako je ponazorjen direkten zvok, za njim (arrival time delay gap) pa lahko vidimo mnogo odbojev od različnih sten prostora. Če je časovna razlika med direktnim zvokom in kasnejšimi odbijajočimi refleksijami večja od ca. 50 ms (običajno omenjajo mejo **ca. 35, 40 ms**), ljudje začnemo

percepirati zvok kot **eho** oz. ponavljajoči se zvok. Ta pojav imenujemo **precedens efekt*** ali **Haasov* efekt** in je domena človeškega dojemanja zvoka – psihoakustike oz. princip **reagiranja človeških možganov** na zvok.



Slika 4: Odmevni čas
Vir: Alton F. Everest: The Master Handbook of Acoustics, McGraw-Hill, 2001, str. 159.

**Precedens efekt – v reverberacijskem okolju zvok prihaja do ušes po različnih poteh. Čeprav direktnemu zvoku sledijo številne refleksije, ki bi bile slišne v izolaciji, prvi dospeli val dominira v več aspektih na percepcijo. Precedens efekt se nanaša na skupino fenomenov, za katere se misli, da so vpletene glede razrešitve zaznave in lokalizacije med direktnim zvokom in refleksijo. Znan je tudi pod izrazom Haasov efekt.*
Vir: http://www.waisman.wisc.edu/~litovsky/papers/1999-3.pdf

**Precedens efekt – je psihoakustični fenomen, kjer prvi akustični signal, ki doseže uho, zatre zmožnost slišati druge signale, kot so eho in reverberacija, ki dospejo nekje okoli 40 ms po inicialnem signalu: zagotovi, da zamaknjeni signal ni značajno glasnejši kot inicialni signal.*
Signal, ki prispe po 40-50 ms, je slišen kot eho. Imenuje se tudi »echo suppression« ali »Haas effect«.
Vir: http://www.sfu.ca/sonic-studio/handbook/Precedence_Effect.html

2.2.2. Modalne frekvence, razmerja stranic in geometrija prostora

Najprej je potrebno določiti osnovne **resonančne frekvence prostora**/sobe (pogoj je pravokotna oblika prostora). Pri tem nam pomaga **Rayleighova enačba** (1896):

f = c /2L

c = hitrost zvoka ca. 343 m/s (odvisno od stopnje vlage v prostoru)

L = dolžina izbrane stranice prostora (dolžina, širina ali višina)

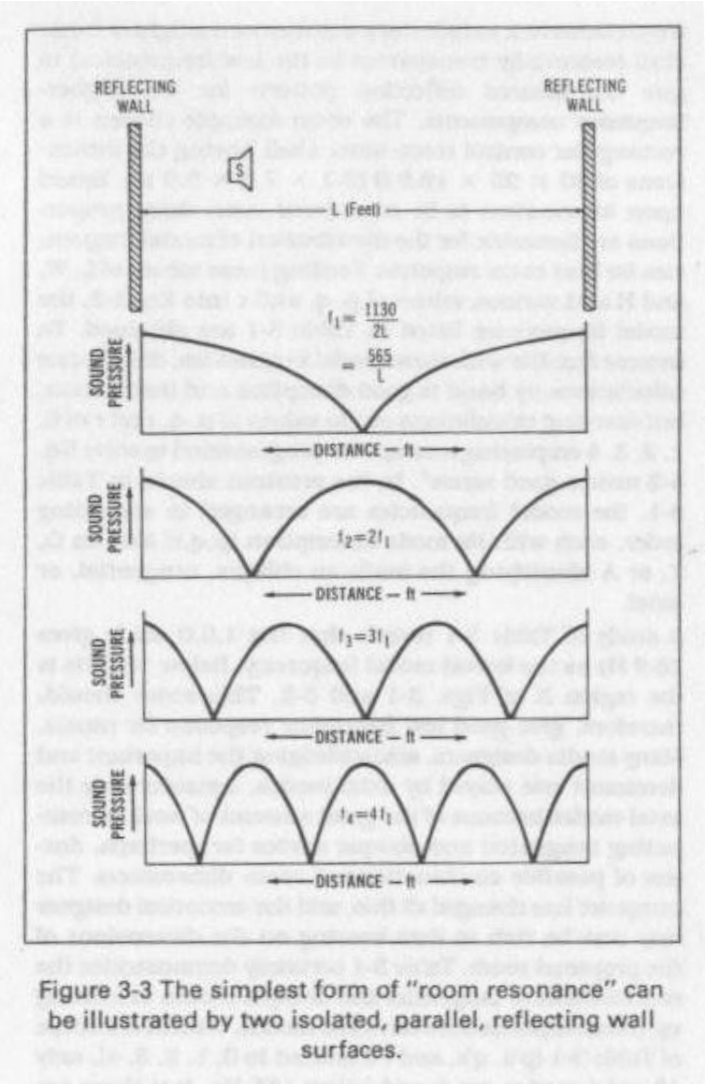
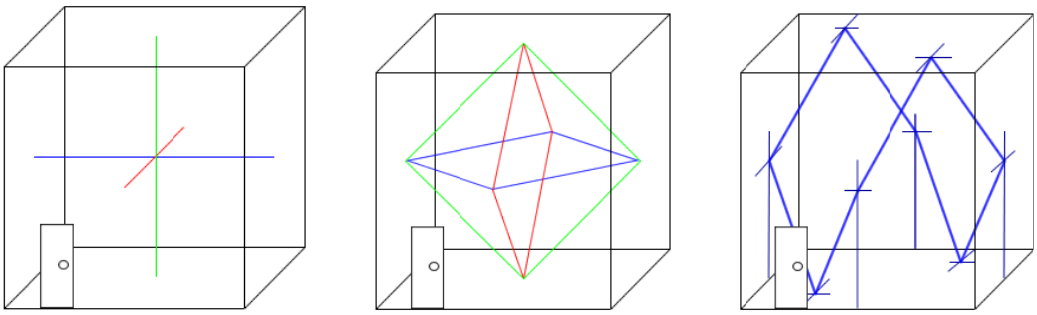


Figure 3-3 The simplest form of "room resonance" can be illustrated by two isolated, parallel, reflecting wall surfaces.

Slika 5: Grafična ponazoritev resonančne frekvence sobe
Vir: Ballou, Glen: Handbook for Sound Engineers, Howard W. Sams & Co., 1991, str. 47.

Iz te preproste enačbe lahko izračunamo vse **modalne resonančne frekvence sobe**. Seveda je za ta namen potrebno v enačbo za parameter dolžine vnesti: enkrat dolžino, drugič širino in tretjič višino prostora, nato pa za vsako osnovno resonančno frekvenco posebej izračunamo še njihove nadaljnje harmonične vrednosti (X 2, X 3, X 4...).

Tako dobimo **aksialne** – osne (refleksije med dvema nasprotnima površinama), **tangencialne** – prečne (refleksije med štirimi površinami) in posredne/ **poševne**/»oblique« (refleksija med vsemi šestimi površinami) modalne frekvence. **Največji vpliv na akustiko prostora imajo osne – aksialne frekvence**, tangencialne so približno pol manj močne od osnih, poševne pa za pol šibkejše kakor tangencialne, a seveda vseeno niso niti najmanj zanemarljive!



Slika 6 a, b, c: Prikaz aksialnih, tangencialnih in poševnih refleksij
Vir: http://www.marktaw.com/recording/Acoustics/AcousticsCrashCourse1-Mod.html

Pri preračunavanju prostora je potrebno vseeno upoštevati »grafične seštevke« vseh treh naštetih vrst modalnih frekvenc in sčasoma so ugotovili, da so določena razmerja stranic pravokotnega prostora primernejša od drugih, saj so skupne modalne frekvence mnogo bolj razporejene med seboj po frekvenčni osi. Modalne frekvence pa povzročajo tudi efekt, znan pod izrazom modal ringing: http://www.realtraps.com/video_resonance.htm.
Z različnimi eksperimenti so se ukvarjali akustiki in matematiki skozi stoletja, nekateri so odkrili **priporočljive proporcije** – razmerja stranic **pravokotnega prostora**.

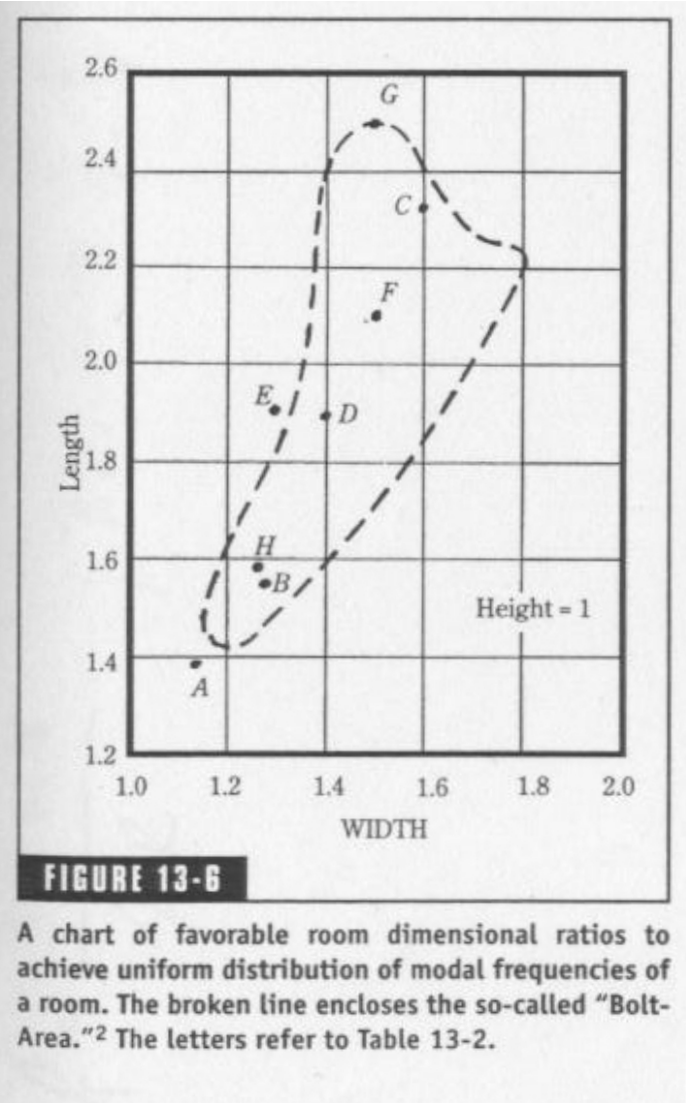


FIGURE 13-6

A chart of favorable room dimensional ratios to achieve uniform distribution of modal frequencies of a room. The broken line encloses the so-called "Bolt-Area."[2] The letters refer to Table 13-2.

Slika 7: Boltovo področje
Vir: Alton F. Everest: The Master Handbook of Acoustics, McGraw-Hill, 2001, str. 276.

Orientirali so se na pravokotne prostore, zato ker imajo najbolj predvidljive in preprosto izračunljive modalne frekvence. Nekateri so izračunali tudi razmerja, ki ne padejo v **Boltovo predlagano področje** (slika 7), a so vseeno akustično privlačna.
Več o tem na povezavi: http://forum.studiotips.com/viewtopic.php?p=5570.

V prostoru, ki bi imel **stene ovalne ali konveksne**, bi se zvok obnašal izredno **nepredvidljivo**. Kar seveda ni ovira za dober akustični prostor, saj teorijo lahko kaj hitro dopolnimo z **akustičnimi meritvami**, vendar je treba vedeti, da se tudi vsaka skupina frekvenc obnaša drugače. Pravokotni prostori so tudi finančno cenejši in hitreje izgrajeni. Iskati vrsto kritičnih frekvenc v nepredvidljivem prostoru ni najbolj smiselno.

Table 13-2. Rectangular room dimension ratios for favorable mode distribution.

Author		Height	Width	Length	In Bolt's range?
1. Sepmeyer[5]	A	1.00	1.14	1.39	No
	B	1.00	1.28	1.54	Yes
	C	1.00	1.60	2.33	Yes
2. Louden[6]	D	1.00	1.4	1.9	Yes
3 best ratios	E	1.00	1.3	1.9	No
	F	1.00	1.5	2.5 ↘ 2.1(?)	Yes
3. Volkmann[3], 2 : 3 : 5	G	1.00	1.5	2.5	Yes
4. Boner[4] 1: $\sqrt{2}$: $\sqrt{4}$	H	1.00	1.26	1.59	Yes

Slika 8: Najbolj »priljubljena« razmerja stranic prostorov v akustiki
Vir: Alton F. Everest: The Master Handbook of Acoustics, McGraw-Hill, 2001, str. 277.

Skoraj **anatema** v akustiki so tudi **sobe** popolnoma **v obliki kocke** – saj imajo vse stranice enako dolžino. Pri takšnem prostoru bi se zato **vse modalne frekvence potrojile**. Če že moramo uporabiti takšno sobo, ji moramo čim bolj zreducirati osnovne resonančne frekvence oz. jo izredno primerno akustično izolirati.

Mnogi akustiki se tudi izogibajo prostorom s poševnimi in nagnjenimi stenami, saj se tudi pri teh geometrijah frekvence nepredvidljivo »nabirajo« v prostoru.
Predvidljivost »nabiranja« frekvenc v prostoru je namreč zelo koristna informacija; na primer **nizke frekvence se v pravokotnih prostorih najpogosteje »zbirajo« v kotih**, kjer se dotikajo dve ali tri stranice prostora. Ojačanje zvoka, kjer se stikata recimo dve stranici, je tudi po 6 dB, v trikotih pa tudi več. Na naslednji povezavi lahko vidimo, kako se nizke frekvence nabirajo glede na izbrane dimenzije stranic prostora:
http://www.hunecke.de/en/calculators/room-eigenmodes.html.
Tam se zato dodajajo absorberji za nizke frekvence. Obstajajo tudi posebne kombinirane absorber/difuzor metode...

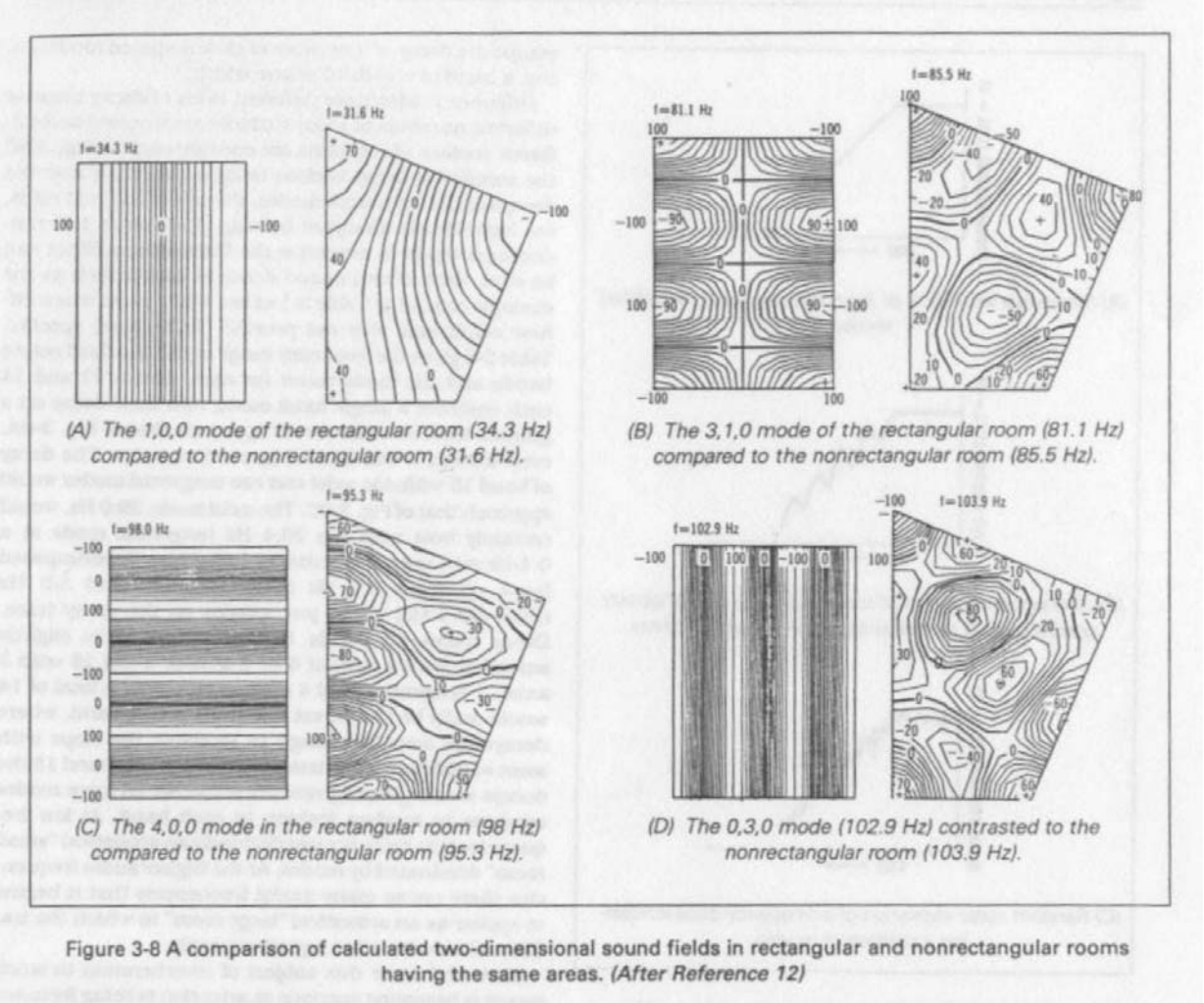


Figure 3-8 A comparison of calculated two-dimensional sound fields in rectangular and nonrectangular rooms having the same areas. *(After Reference 12)*

Slika 9: Razporeditev frekvenc v prostoru
Vir: Ballou, Glen: Handbook for Sound Engineers, Howard W. Sams & Co., 1991, str. 55.

2.2.3. Kakšna popačenja se pojavljajo v zaprtih prostorih

V **zaprtih prostorih se,** kot smo prej videli, **pojavljajo** različne **distorzije** ali popačenja, kot je **modalno zvonjenje** in resonance (modal ringing).

Pojavljajo se tudi različne anomalije v zaprtem prostoru, kot je **comb filtering** – http://www.realtraps.com/video_comb.htm, ki je posledica **stoječih valov** (kako do njih pride, pojasnjuje naslednja povezava: http://www.walter-fendt.de/ph14yu/stwaverefl_yu.htm), in še druge posledice, kot so **fazni zamiki** in problemi s **polarnostjo**. Najbolj na hitro opazen je recimo **flutter echo**. Najlažje ga je slišati, če plosknete z rokami in se sliši kot hiter tresoči »ping pong« odmev. Povzročajo ga **vzporedne stene**.

Tudi postavitev izvorov zvoka oz. zvočnikov v prostoru predstavlja svojevrsten problem in težave...

FREKVENCA	AKUSTIČNE DISTORZIJE	
	PROBLEM	REŠITEV
Pod 200 Hz		
	Modalne resonance	1. Dimenzija prostora 2. Postavitev poslušalca in izvorov zvoka 3. Absorpcija
	Speaker-Boundary Interference	1. Postavitev poslušalca in izvorov zvoka 2. Absorpcija
Nad 200 Hz		
	Comb Filtering	1. Absorpcija 2. Difuzija 3. Postavitev refleksivnih površin
	Slaba difuzija	1. Difuzija 2. Refleksija 3. Postavitev akustičnih elementov

Tabela 1: Akustične distorzije v prostoru in predlagan princip njihovega reševanja
Vir: http://www.rpginc.com

2.2.4. Klimatizacija prostorov

Omeniti velja tudi kakovost zraka. **Molekule zraka** so (njihove prenašajoče vibracije) **krive**, da sploh **slišimo zvok**. Pod **vodo je recimo zvok mnogo hitrejši**, saj je gostota prenašalnega medija večja; in točno to je razlog, zakaj moramo prostor, namenjenem za snemanje ali predvajanje zvoka, **konstantno oskrbovati z enakomerno kvaliteto zraka**. Če je ne, se nam vlaga v zraku spreminja in s tem **absorpcija zvoka,** ki jo **povzroča vlaga v prostoru**.

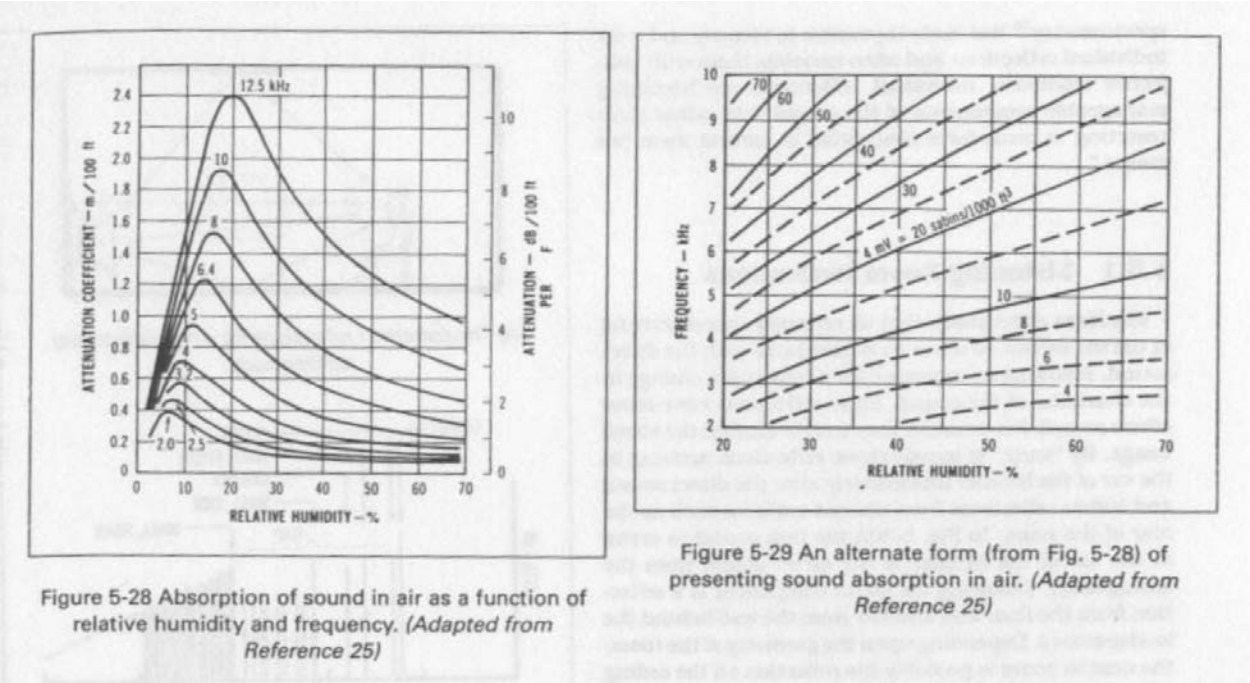


Figure 5-28 Absorption of sound in air as a function of relative humidity and frequency. *(Adapted from Reference 25)*

Figure 5-29 An alternate form (from Fig. 5-28) of presenting sound absorption in air. *(Adapted from Reference 25)*

Slika 10: Absorpcija zvoka in vlažnost zraka
Vir: Ballou, Glen: Handbook for Sound Engineers, Howard W. Sams & Co., 1991, str. 127.

Omenimo lahko tudi **neprijetno zatohlo vzdušje v prostoru**, ki neposredno vpliva na **ustvarjalce** – izvore zvoka. Recimo da imamo moderatorja, ki mora dalj časa povezovati oddajo, ali pevca, ki se na vso moč trudi »ujeti« pravi ton, pri tem pa ga še ovira nekvaliteten zrak. Glasbenikom tudi **ni prijetno** ustvarjati v takšnem prostoru.
Vendar ko dodamo **klimatizacijske naprave,** smo s tem tudi povzročili **povečanje** nivoja **hrupa** v snemalnem prostoru. Zato obstajajo specialni klimatizacijski **difuzorji zraka**, ki čim bolj razpršijo gibajoči hrupni zrak, prihajajoč iz izhodne šobe **klimatizacijske naprave**, pa tudi sam **pretok zraka** mora imeti primerno **nizko hitrost** in **zadosten pretok**. Napravam, ki se uporabljajo v studiih, rečemo tudi **HVAC:** http://en.wikipedia.org/wiki/HVAC.

2.2.5. Kriterij hrupa

Hrup prihaja od **nezaželenih virov zvoka** in nam ni ljub pri snemanju, saj je lahko slišen pri predvajanju, **omejuje** namreč **dinamični razpon posnetka**.
Snemalni prostor mora **biti izoliran od okoliških izvorov hrupa**. Za to obstajajo posebni grobi gradbeni posegi, kot so plavajoča tla (ni zvočnih mostov med stenami, podom, stropom...), dvojne stene, napolnjene z gosto izolacijo (double leaf wall)... Narediti moramo tako rekoč **sobo v sobi**. Skratka, sobo je potrebno izolirati od vseh morebitnih zunanjih

motečih elementov, ne samo zvočno slišnih, temveč **tudi vibracijskih**. Ko to dosežemo glede na izbrane kriterije in standarde, pa se moramo lotiti tudi **morebitnih izvorov** motečih zvokov in vibracij v samem prostoru, kompleksu, poslopju. To so lahko sama snemalna oprema, ventilacija, klimatizacija, ogrevalna tehnika, steklene površine, obstoječe stene, ki so nepravilno tretirane, kanalizacijske in vodoinštalaterske napeljave, zunanja in notranja **elektromagnetna sevanja**...
Na take stvari običajno niti ne pomislimo.

Za snemalne prostore se **kriterij** najnižjega nivoja **hrupa nenehoma zaostruje**. Za to so »krivi« **novi nosilci**/mediji **zvoka** in novi digitalni snemalniki, ki omogočajo **večji dinamični razpon** oz. skoraj »brezšumno« snemanje zvoka. Tako je bil še pred desetimi leti povprečen NC kriterij ca. 30-35 (Noise Criteria), dandanes pa pada proti 20, »high end« studii pa dosegajo tudi **NC15**. Pod NC20 je slišna meja za kontinuiran hrup. Takšne zahteve za snemalne studie izpolnjujejo predvsem tam, kjer se ukvarjajo z **najzahtevnejšo produkcijo,** kot je recimo **klasična glasba**. Ta ima tudi **največji dinamični razpon** od vseh glasbenih zvrsti.

Za takšen dosežek »**tišine**« v snemalnem prostoru so potrebni **temeljiti**, izredno strokovni gradbeni posegi in neverjetne količine **izolacije**. Namreč **zaustaviti 20Hz zvočni val**, ki ima fizično več kot **17 m premera,** je skoraj nemogoče brez posebnih metod.

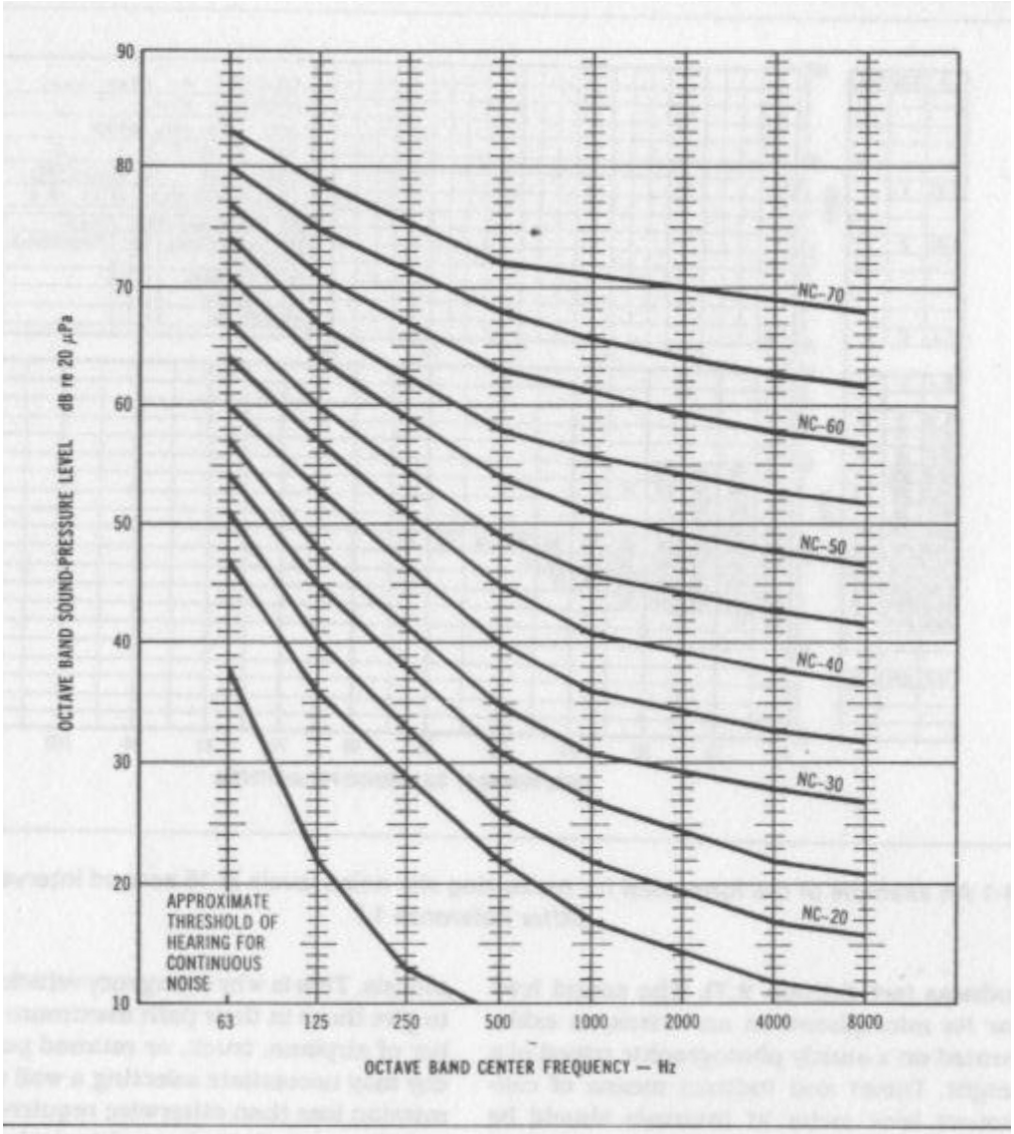


Figure 4-4 Noise criteria (NC) curves.

Slika 11: NC krivulje
Vir: Ballou, Glen: Handbook for Sound Engineers, Howard W. Sams & Co., 1991, str. 73.

3. OSNOVNI AKUSTIČNI ELEMENTI ZVOČNEGA STUDIA

Akustični elementi za **absorpcijo** in **difuzijo** slišnega zvoka se nenehno razvijajo in postajajo vse učinkovitejši in komercialno dostopnejši. Ti elementi tudi **minimalizirajo** določene **negativne efekte (distorzije)**, ki jih **povzročajo zaprti prostori** (comb filtering, flutter echo...), ki izjemno degradirajo zvok.
Namen »**dobre referenčne akustike**« – predvsem v poslušalnici/kotrolni sobi/miks sobi – je doseči akustično čim bolj nevtralen prostor in obenem **simulirati čim bolj povprečen poslušalski prostor**, kot je recimo povprečna dnevna soba ali ozvočenje v avtomobilu.
Obenem pa mora poslušalnica omogočati čim bolj **natančno, linearno zvočno sliko** skozi ves slišni zvočni spektrum, prav tako pa doseči kontrolirano **reverberacijo** ca. **0,2–0,35** sekunde.
Naloga zato sploh ni preprosta.

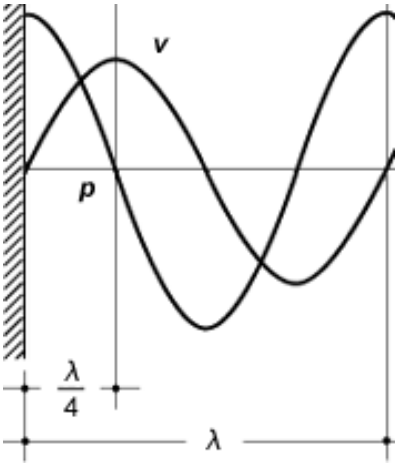
3.1. Absorberji zvoka in različni tipi le-teh

Absorberji nam služijo, da **vpijajo zvok** oz. delujejo na določena frekvenčna območja.
Ponavadi so v prostoru določene kritične frekvence in območja.
Zato poznamo **širokopasovne** in **ozkopasovne** absorberje, ki so tangirani, da vplivajo na določena frekvenčna območja.
Absorber dejansko spreminja **kinetično energijo** zvoka v **toplotno**, s svojo gosto **vlaknasto** ali **odprto celično** strukturo.
Veliki studii imajo podobne sisteme **integrirane v stenah** in stropu prostora. Tukaj so prikazani **modularni akustični absorberji**, ki so tudi mobilni in enostavni za uporabo.
Z določeno metodologijo je možno z njimi prav tako **doseči uniformno reverberacijo** in **absorpcijo** skozi slišen zvočni spekter. Absorpcija, zadovoljiva do **ca. 40-60 Hz,** je mogoča s takšnimi in podobnimi modularnimi sistemi, ki so debeli povprečno le **ca. 10-20 cm**, vendar je predpogoj, da jih imate količinsko zadosti. Prav to pa ni najbolj poceni. Po enakem principu si jih lahko izdelamo tudi sami, če le imamo dovolj časa, znanja, volje in spretnosti, žal za le malo nižjo ceno od komercialne.
Da ne bo pomote, s takšnimi sistemi se da narediti **popolnoma profesionalen studio**, po vseh zahtevanih **akustičnih normativih**.

3.1.1. Porozni absorberji

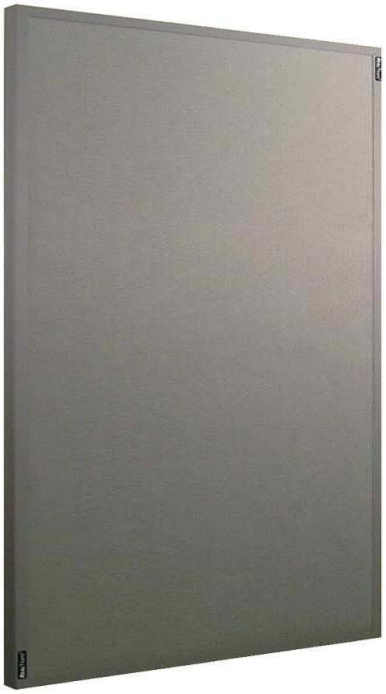
So lahko iz **vlaknastega** materiala, kot je kamena volna, steklena, bombažna, poliestrska ali pa **odprtocelične pene**. Absorbirajo tako, da **zadušijo zvočno energijo** z oscilacijo svojih delcev in **medsebojnim trenjem**. **Zvok** spremenijo v **toploto,** kar pa se ne občuti.
Porozni absorberji so povsem **pasivni** akustični elementi.

Najbolj **efektivni** so, ko je porozen material/plošča/absorber oddaljen od stene, kjer je največja hitrost zvoka in najmanjši pritisk, to je na **¼ valovne dolžine** – λ izbrane frekvence. Ta teorija ni najbolj praktična, saj je porozen absorber **širokopasoven** in deluje skozi čim večji zvočni spekter in ga je seveda nesmiselno optimizirati za vse valovne dolžine...
Da ne teoretiziramo preveč: v praksi se porozen material **distancira od stene** za toliko, kolikor je **debela plošča** poroznega materiala.
Porozen material je ponavadi uokvirjen (les, kovinski profili...) in preoblečen v **akustično** propustno **tkanino**, ki ima nalogo, da **zadržuje** morebitne prosto leteče **mikro delce** materiala, da vseeno še »diha«/prepušča zrak in ima seveda **dekoracijsko** nalogo, da lepše izgleda.



Slika 12: Optimizacija zračnega žepa

p – zvočni pritisk
v – hitrost zvoka
λ – valovna dolžina



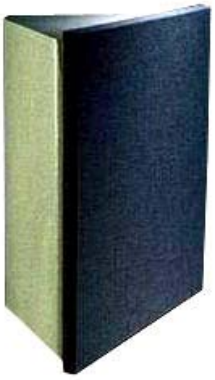
Slika 13: Primer poroznega absorberja

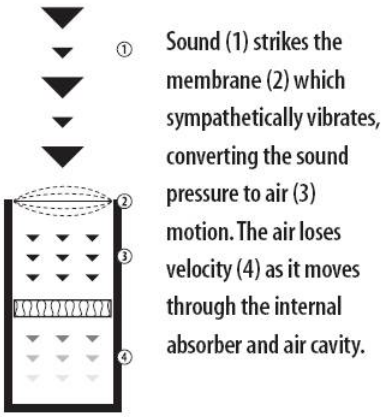
Vir: http://www.ethanwiner.com/acoustics.html

3.1.2. Kotni absorberji

So absorberji enake sestave kakor porozni in se jih namesti v kot, kjer se **rade nabirajo nizke frekvence**. Nekateri imajo tudi **membrane** iz plastike, aluminija, lesa..., da lahko seže tudi v **zelo nizka frekvenčna** območja.







Slika 14: Kotni porozni absorber

Slika 15: Membranski kotni

Slika 16: Princip membrane pri kotnem membranskem absorberju

Vir: http://www.gikacoustics.com/gik_tri_trap.html in http://www.rpginc.com/products/modexcorner/index.htm

3.1.3. Membranski absorberji

Kot je moč videti na sliki 18, membranski absorber s pomočjo **vibracije**/oscilacije membrane pretvarja **kinetično zvočno** energijo v **toploto**. Temu se reče **mass-spring** sistem. Ponavadi se podlagajo pod membrano že omenjeni porozni materiali. Membrana je lahko s poroznim materialom direktno dušena, to pomeni, da je porozni material prilepljen nanjo ali pa je vmes distanca. Vse skupaj je neprodušno integrirano na steno.

Takšen absorber je že **aktivne** vrste in se lahko dokaj natančno **določi targetirano frekvenčno** območje, katere frekvence naj duši. Torej **ni širokopasovni** kakor porozni. Pri

teh absorberjih je potrebno zelo dobro vedeti, kaj delaš, aktivni elementi namreč **radi dodajo** prostoru **specifičen zvok**, ki **ni nevtralen**, kar naj bi veljalo za prostor za **kritično poslušanje** zvoka.



Slika 17: Oscilacija membrane
Vir: http://www.mh-audio.nl/Helmholtzabsorber.asp

Da se ta »aktivnost« in stranski efekti dokaj ublažijo, je možno porozen material, prilepljen na membrano (**dušena membrana**), distancirati od stene, da ni nepredušno. Če se mu še **perforira** nosilni okvir, dosežemo mnogo **večjo frekvenčno širino** absorpcije. Izkoristek materiala se lahko s **perforacijo** dvigne tudi **za** dodatnih **50 odstotkov**! Paziti pa je treba, iz kakšnega materiala je membrana in celotna konstrukcija, zaradi že omenjenih morebitnih stranskih efektov.



Slika 18: Realtraps MondoTrap



Slika 19: RPG Plate



Slika 20: RPG Broadband

Vir: http://www.realtraps.com/products.htm, http://www.rpginc.com/products/modexbroadband/Modex-Broadband.pdf, http://www.rpginc.com/products/modexplate/Modex-Plate.pdf.

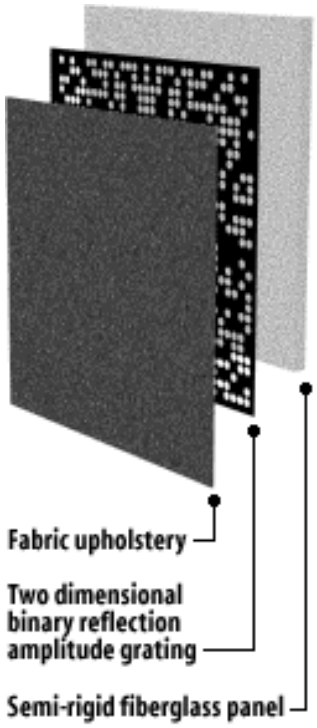
3.1.4. Membranski perforirani absorberji

Perforacija same **membrane** še dodatno ublaži **efekt membrane** in še **razširi** območje absorpcije na **območje višjih frekvenc**.

Perforacija nudi tudi **difuzijske lastnosti** zaradi **varijacij** v **impedanci površine** (izmenjujoča se refleksija in absorpcija), vendar običajna **uniformna**/enakomerna perforacija ne nudi uniformne difuzije, ki privede do **aliasing efekta** (http://www.stanford.edu/class/ee368b/Projects/panu/pages/aliasing.html**)**; le-ta je prisoten

tudi pri drugih strokovnih vejah, recimo računalniški grafiki – http://en.wikipedia.org/wiki/Aliasing.

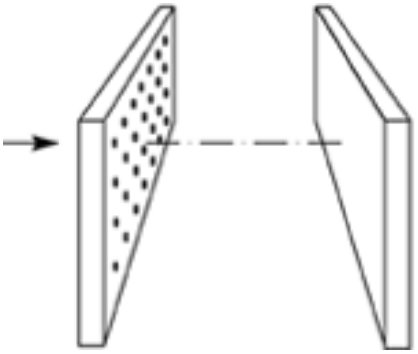
Perforacija pa je lahko izvedena po posebnem matematičnem modelu, dvodimenzionalnem **binarnem** refleksijskem »amplitude grating« načinu s pomočjo »kitajskega izreka o ostankih« oz. »**Chinese remainder theorem**« – http://en.wikipedia.org/wiki/Chinese_remainder_theorem, ki omogoči spodobno difuzijsko polje. Takšen primer absorberja/difuzorja je npr. »Binary Amplitude Diffsorbor« – BAD.



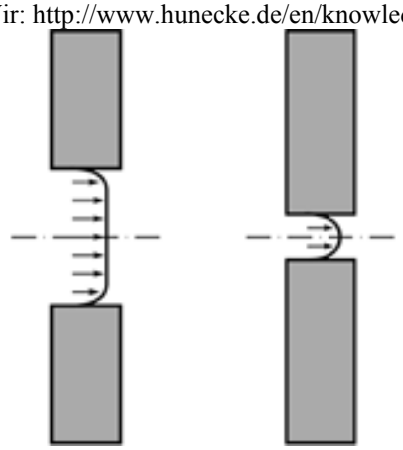
Slika 21: Binarno perforiran membranski in širokopasovni absorber
Vir: http://www.rpginc.com/products/badpanel/index.htm

3.1.5 Membranski mikroperforirani absorberji

Mikroperforirani absorberji so sestavljeni iz **mikroperforirane plošče** z malimi luknjicami (0.1 inče–0.5 inče), za njo je zrak in nato stena, torej imamo nekakšen zaprt **zračni žep**/»air gap«. Ko **zvok udari** ob takšno naluknjano ploščo, **zračna masa** v **luknjicah** plošče **oscilira**, zaprti zračni žep pa se obnaša kot elastičen amortizer. Natančneje o tem pojavu na povezavah: http://www.nagata.co.jp/news/news0505-e.htm in http://www.nagata.co.jp/news/news0507-e.htm.



Slika 22: Osnovna konstrukcija: mikroperforirana plošča, zrak in rigidna stena
Vir: http://www.hunecke.de/en/knowledge/absorbers/mpa.html

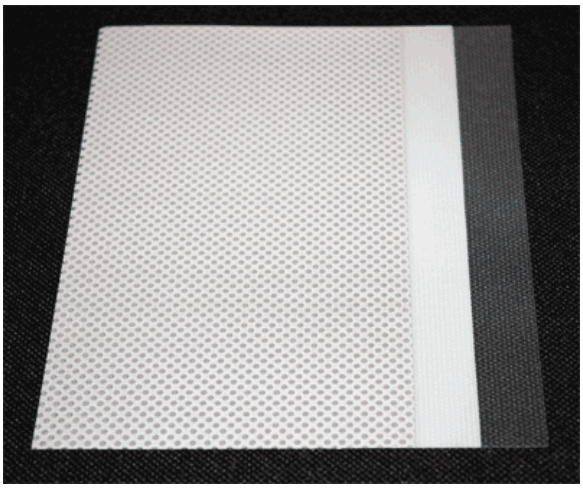


Slika 23: Profil: hitrost zvoka. Levo: običajen Helmholtzev resonator, desno: mikroperforiran absorber
Vir: http://www.hunecke.de/en/knowledge/absorbers/mpa.html

Material je lahko karkoli: od lesa do prozornih plastičnih plošč. Izbira materiala za ploščo, debelina, elastičnost... so odvisni od tega, katero frekvenčno področje želimo absorbirati. Ta princip absorbcije je zanimiv tudi zaradi možne **izbire materialov**, lahko so tudi **prozorni**! Vendar če perforirana plošča nima za seboj, tam kjer je predviden zračni žep, poroznega materiala, takšen absorber absorbira ozek pas frekvenc, dodana izolacija pa to delovanje zelo razširi. V bistvu sedaj nastajajo kombinacije binarno mikroperforiranih plošč, ki jih še ukrivijo in nastane hibridni binarno mikroperforiran absorber in polydifuzor hkrati.

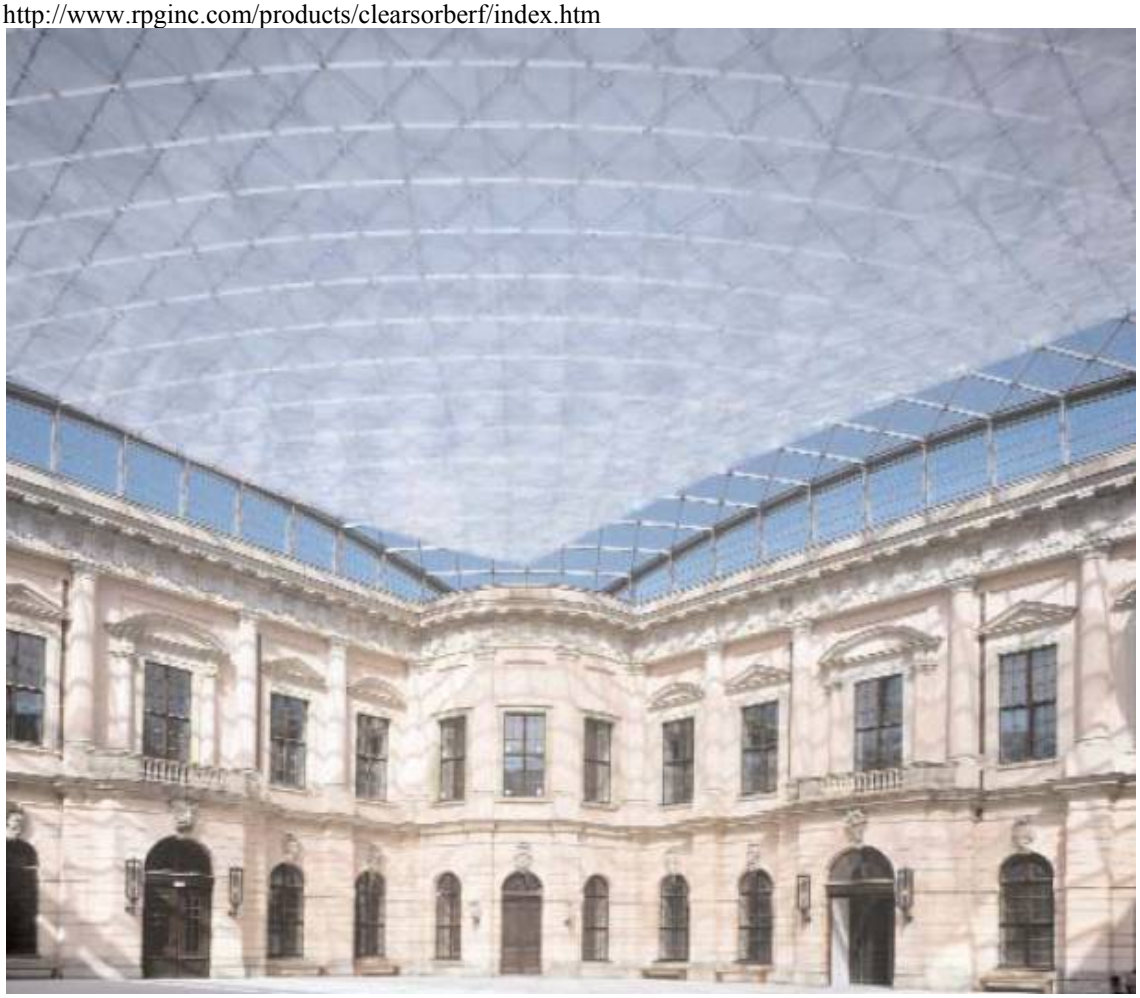


Slika 24: Primer mikroperforirane plošče



Slika 25: Še en primer takšnega absorberja

Vir: http://www.rpginc.com/products/clearsorberd/index.htm in
http://www.rpginc.com/products/clearsorberf/index.htm



Slika 26: Primer stropa akustično obdelanega dvorišča
Vir: http://www.rpginc.com



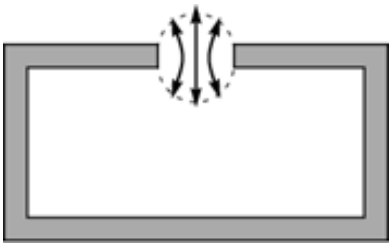
Slika 27: Binarno mikroperforiran absorber in poli difuzor hkrati
Vir: http://www.rpginc.com

3.1.6 Helmholtzev resonatorski absorber

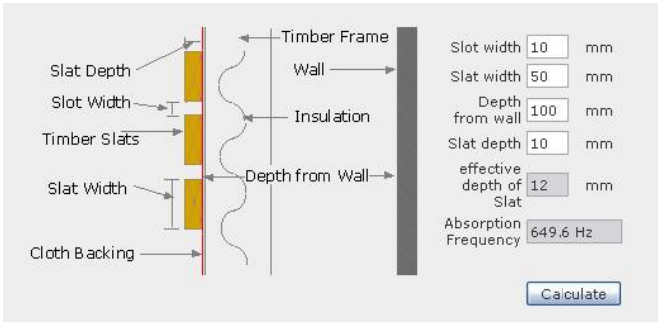
Hermann von **Helmholtz** je nekje 1850 leta ugotovil, da ima **zaprt** omejen prostor **z odprtino** specifično **resonančno frekvenco**, ki hkrati **absorbira** to frekvenco. Tudi steklenica recimo je primer takšnega absorberja. Ta absorber je **aktivne vrste** in ima **ozek** frekvenčni pas **absorpcije**.

Za ta učinek so vedeli že graditelji srednjeveških cerkva na Švedskem in Danskem.
Več informacij je na povezavi: http://en.wikipedia.org/wiki/Helmholtz_resonator.
Dandanes se uporabljajo Helmholtzevi **panelni absorberji**. V bistvu so to **perforirani paneli**/plošče, vmes imajo porozen material in so nepredušno zaprti.

Da se razširi takšna selektivna absorpcija določenih frekvenc, so izumili še **Slot** Helmholtzeve **resonatorje**, ki imajo lesene letve med seboj distancirane, kar določa frekvenco, enako kot procent perforacije pri panelnem Helmholtzevem abosrberju.
Več na povezavi: http://www.mh-audio.nl/Helmholtzabsorber.asp.

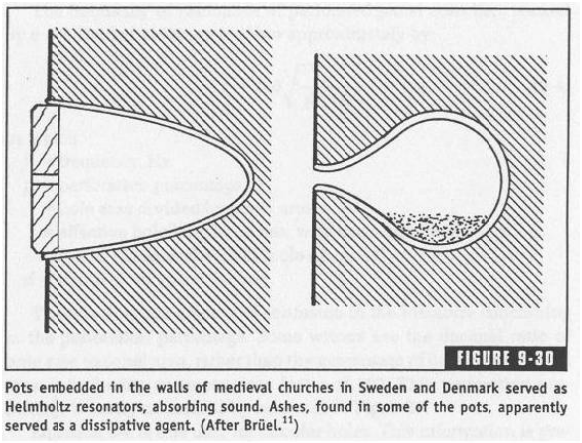


Slika 28: Grafični prikaz principa delovanja



Slika 29: Slot Helmholtzev resonator

Vir: http://www.mh-audio.nl/Helmholtzabsorber.asp



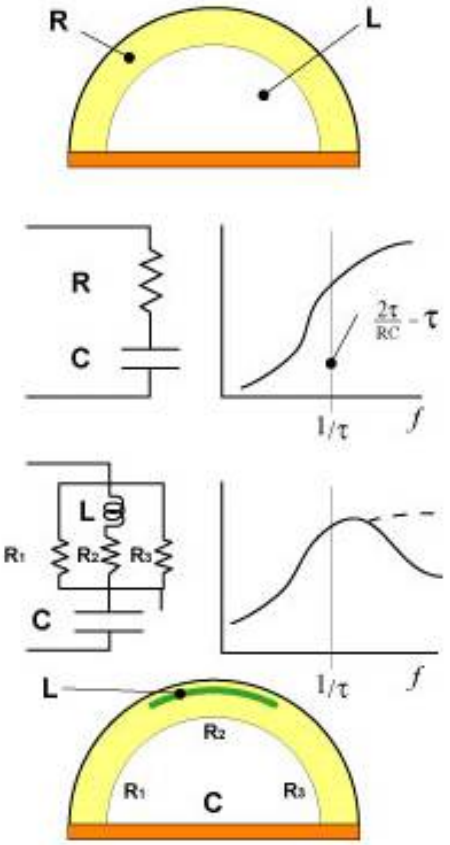
Slika 30: Helmholtzeve resonatorje so uporabljali že v srednjem veku v zidovih cerkva
Vir: Alton F. Everest: The Master Handbook of Acoustics, McGraw-Hill, 2001, str. 211.

3.1.7. Cilindrični in polcilindrični absorberji

Obstajajo pa še cilindrični in polcilindrični (Poly-Cylindrical) absorberji (tudi difuzorji). Narejeni so iz **poroznega materiala,** recimo kamene volne srednje gostote, **zvitega v krog**, vmes je **zrak**, ki je **zaprt** na **dnu** in na **vrhu** cilindra, kar ustvarja **razliko v impedanci**... Na takšnem principu delujejo absorberji podjetja ASC acoustics, so pa cilindrični in polcilindrični absorberji in difuzorji znani že zelo dolgo in jih uporabljajo v marsikateri akustični dvorani na svetu, seveda so premeri le-teh zelo veliki, in ne majhni in mobilni kakor ti...

TUBETRAP TECHNICAL DETAILS

Unlike any other bass trap, the physics behind the TubeTrap are based on a capacitive-resistive circuit. The acoustic capacitor (C) is the air chamber inside. The bigger it is, the more efficient the TubeTrap is at low frequencies. The acoustic resistance (R) is DC impedance matched to the radiation (LC) impedance of a freely radiating soundwave. Because of this design feature, the TubeTrap is more than 100% efficient.



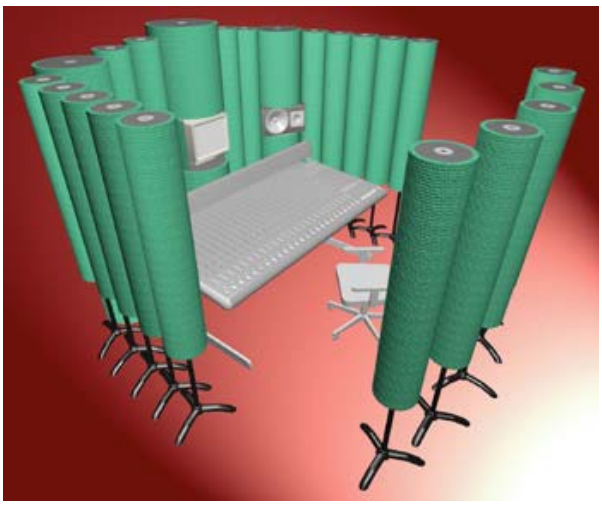
Another unique feature is the adjustable diffusion grid built into the TubeTrap. The specular diffusion panel that covers half of the TubeTrap is an acoustic choke (L) which is sized, ported and mass loaded to backscatter the treble range.

Slika 31: Princip delovanja Tubetrapsov
Vir: http://www.tubetrap.com/technical.htm

Na eni strani imajo perforirano membrano, ki nad 400 Hz reflektira zvok in je tudi policilindrični difuzor.

Po učinkovitosti se kosa s perforiranimi membranskimi absorberji, vendar mora biti premer vsaj 20- ali 24- inčen oz. vsaj 50 ali 60 centimetrov.

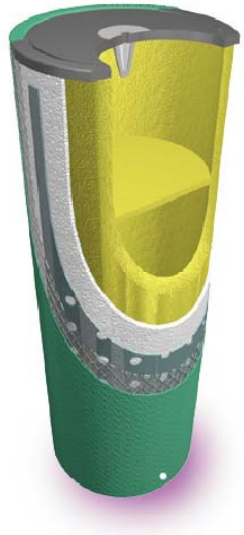


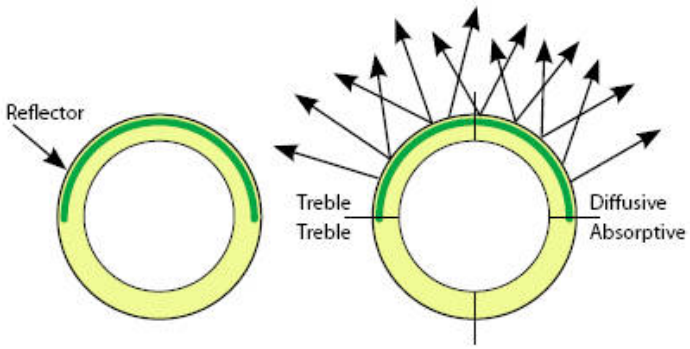


Slika 32: Mobilni snemalni prostor

Vir: http://www.asc-studio-acoustics.com

Slika 33: Primer kontrolne sobe

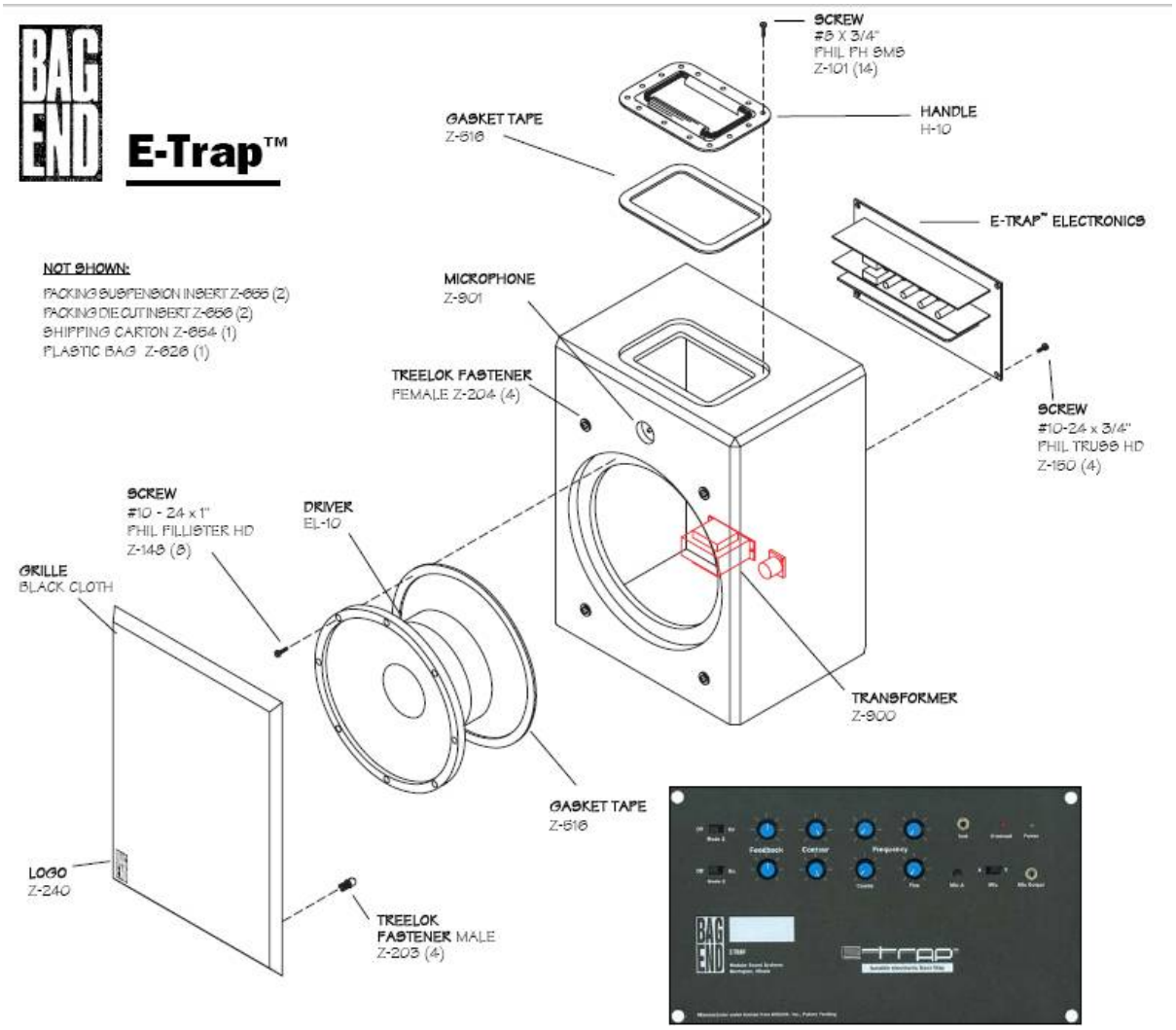




Slika 34: Pogled prereza »Tube Trap« Slika 35: Princip absorber/difuzor
Vir: http://www.asc-studio-acoustics.com/studiotrap-flyer.pdf

3.1.8. Aktivni elektronsko uravnavani absorberji

Za na konec bi še predstavil popolnoma **aktivni absorber**, ki se ga nastavi glede na to, kateri **ozki** frekvenčni **pas** si želite **absorbirati**. V principu gre za **elektronsko napravo**, ki deluje enako kot **zvočnik**, le da ima **mikrofon**, ki lovi zvok in **izniči izbrane frekvence**. **Postavitev** teh elementov je zelo **težka**. **Priporočljiv** je le za **najnižje frekvence,** kjer prej opisani absorberji ne morejo doseči absorpcije, ker bi morali biti debeli tudi več metrov. Če si lahko privoščite meter/dva debele pasivne absorberje, je to seveda mnogo bolje kot ta rešitev.



Slika 36: Shematski prikaz aktivnega absorberja E-trap
Vir: http://www.bagend.com/ETrap.htm in http://www.bagend.com/bagend/downloads/ETrap.pdf

3.2. Difuzorji zvoka

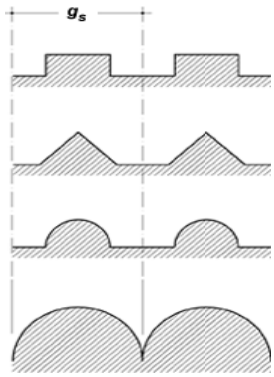
Difuzor zvoka je lahko vsaka nepravilnost v geometriji, ki povzroči, da se **zvok razprši**, **prerazporedi refleksije** po prostoru. Difuzor tudi **zvočno poveča prostor,** kakor je dejansko fizično velik.

Že v srednjeveških koncertnih sobanah so jih uporabljali in vedeli, da pomagajo pri enakomernejši razporeditvi zvoka po prostoru. Seveda so bili videti kot bogata **dekoracija**, raznovrstni **ornamenti,** kot so **rozete** in različne **figure**.

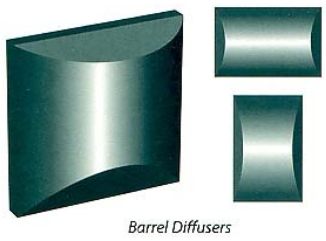
Struktura difuzorja mora omogočati, da odbije **čim več zvočne energije,** vendar v kar se da **različne smeri**.
S stoletji pa so prišli do fizikalnih dognanj in tudi difuzorji se razvijajo. Difuzorji so tudi najbolj **zapleteno teoretično področje** v akustiki.

3.2.1. Geometrične strukturirane površine

Reflektirajo slučajen zvok **difuzno**, če je njihova dimenzija dovolj velika glede na zvočno dolžino. Večja kot je struktura, večje frekvence bo difuziral. Recimo 1 mm sovpada s 340 kHz, 1 cm pa s 34 kHz, to je že ultrasonično področje, ki ga človek ne sliši (le do 18, 20 kHz, in še to mladi ljudje...).
Torej morajo biti **dovolj visoki, dolgi in široki**. So **difuzorji** in **reflektorji** obenem.
Zelo se uporabljajo, **polcilindrične (»**Poly-Cylindrical«) strukture, sploh v **velikih prostorih**/koncertnih dvoranah, zahtevajo pa **mnogo distance**, da se razvije **optimalno difuzijsko polje**; če je poslušalec preblizu, ni kvalitetnega difuzijskega polja.



Slika 37: Različne geometrijske strukture



Slika 38: Polcilindrični elementi

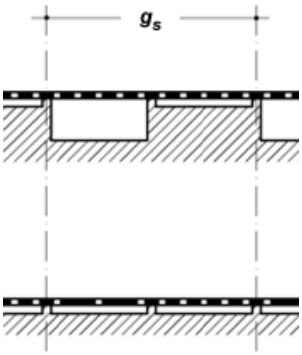


Slika 39: Piramidalni difuzorji

Vir: http://www.acousticalresources.com/Public/sitemap.html

3.2.2. Phase grids of Helmholtz resonators

Periodične strukture s **spremenljivo impedanco** stene imenujemo »phase grids«.
Različno izračunani Helmholtzevi **resonatorji,** vgrajeni v stene prostora, povzročajo **fazne razlike** reflektiranega zvoka. Poleg spremenljive impedance lahko **različen reflekcijski faktor** (različna perforacija plošč) tudi nudi **difuzijske karakteristike**.
Takšni absorberji/difuzorji niso najbolj posrečena rešitev za uporabo v prostorih za kritično poslušanje, kot sem že omenjal pri opisu Helmholtzevega resonatorja.



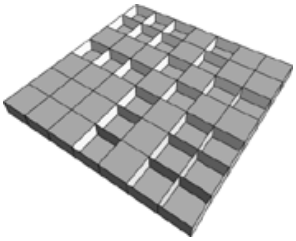
Slika 40: Princip »Phase grids«
Zgoraj - »Phase grids«, sestavljen iz različno izračunanih Helmholtzevih resonatorjev, torej enaka perforacija in različna globina/različen volumen
Spodaj - Različna stopnja perforacije, enaka globina/volumen
Vir: http://www.hunecke.de/en/knowledge/diffusors/phase-grids.html

3.2.3. Maximum length (ML) difuzorji

So sestavljeni iz sekvenc števil **+1 in -1**, ki se **periodično ponavljajo** na nekem izbranem **praštevilu N**, kar določa **specifično zaporedje**. Učinkovitost povečajo separatorji med prekati. Ti difuzorji so **omejeni** na **ozek** frekvenčni **pas** delovanja in so predhodniki sodobnejših difuzorjev.



Slika 41: Enodimenzionalen ML difuzor s sekvenco N = 7

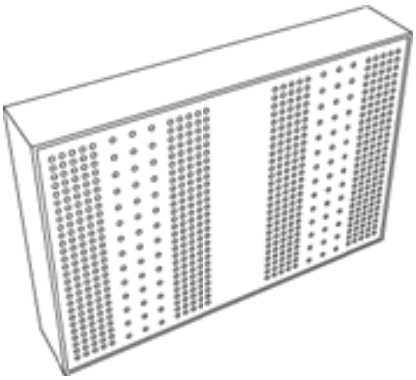


Slika 42: Dvodimenzionalen ML difuzor s sekvenco N = 7
Vir: http://www.hunecke.de/en/knowledge/diffusors/maximum-length-diffusors.html

3.2.4. Mikro perforirani difuzorji

Princip delovanja je opisan pri prej omenjenih mikroperforiranih **membranskih absorberjih** v kombinaciji s teorijo »**phase grids**« Helmholtzevih **resonatorjev**.
Tudi ti v svoji osnovni konstrukciji **niso** najbolj **primerni** v kritičnih **poslušalnicah**, se pa pogosto uporabljajo v **konferenčnih** dvoranah, **predavalnicah**. Ne nudijo dovolj **uniformne** difuzije in povzročajo **aliasing efekt**. Če bi bila plošča perforirana po principu omenjenih

BAD panelov in ukrivljena, bi se te pomanjkljivosti v veliki meri zreducirale in se lahko po karakteristikah približajo Schroederjevim difuzorjem, ki veljajo za najbolj dodelane.



Slika 43: Primer mikroperforiranega difuzorja
Vir: http://www.hunecke.de/en/knowledge/diffusors/mpd.html

3.2.5. Schroederjevi difuzorji

Dr. **Manfred Schroeder** je nemški fizik, ki je ogromno prispeval k **akustiki** in računalniški grafiki. Je **pionir** pri »maximum length difuzorjih«, ki jih je razvijal dalje. Tako je prišel do **Quadratic Residue Dufuzorjev** – QRD in **Primitive Roots Difuzorjev** – PRD.
Teorija delovanja teh tipov difuzorjev temelji na matematični teoriji (pra)števil (http://en.wikipedia.org/wiki/Number_Theory) in je prezahtevna za opis v tej diplomski nalogi.

V osnovi ima takšen tip difuzorja **praštevilo** (7, 11, 13, 17, 19, 23, 27...), na katerem **temelji konstrukcija** specifičnega **difuzorja**, le-to pa določa **dolžino** posamezne **sekvence**, ki se nato **periodično ponavlja**.
Efekt takšnega akustičnega elementa je, da **razprši zvok** čim bolj **uniformno** po prostoru in »randomizira«/**naključno** »premeša« tudi **odmevne čase**.

Table 3-5 Illustrative Design of Reflection Phase-Grating Diffusors

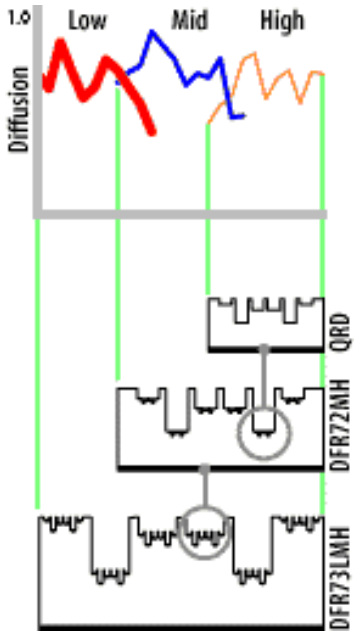
Parameters	Fig. 3-17		Fig. 3-20
	Example A	Example B	
N = number of wells per period	7	7	7
S_{max} = largest sequence number	4	4	4
d_{max} = Assumed maximum well depth, inches	6"	12"	54"
W = Assumed well width, in.	1"	1"	16"
c = speed of sound = 13,560 in/sec	13,560	13,560	13,560
$f_{min} = \frac{(S_{max})(c)}{(2)(N)(d_{max})}$ (12)	646 Hz	323 Hz	72 Hz
$f_{max} = \frac{c}{(2)(W)}$	6,780	6,780	424
Relative well depths for the sequence:			
0	0	0	0
1	1.5"	3"	13.5"
4	6"	12"	54"
2	3"	6"	27"
2	3"	6"	27"
4	6"	12"	54"
1	1.5"	3"	13.5"

Slika 44: Enačba za izračun minimalne in maksimalne difuzirane frekvence
Vir: Ballou, Glen: Handbook for Sound Engineers, Howard W. Sams & Co., 1991



Slika 45: Trostopenjski QRD difuzor

Vir: http://www.rpginc.com/products/diffractal/index.htm



Slika 46: Princip trostopenjske konstrukcije za čim širše območje difuzije

Za res nizke frekvence so **difuzorji** lahko tudi tako veliki (slika 47):

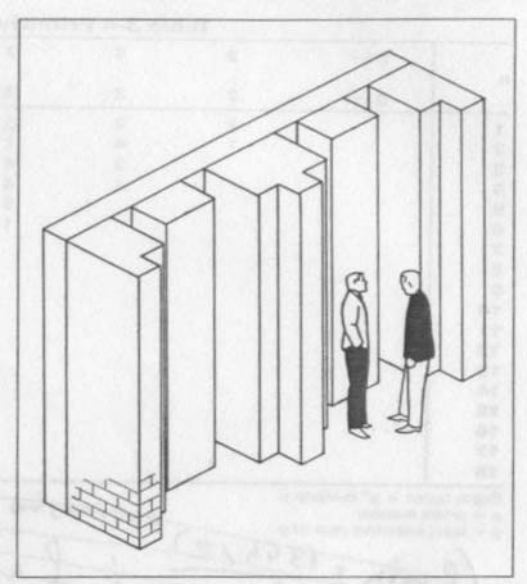


Figure 3-20 A large quadratic-residue diffusor for diffusing low-frequency sound of the order of 100 Hz. These have been used at the rear of control rooms behind other diffusors of higher-frequency sound. This diffusor utilizes two periods of the p = 7 sequence of Table 3-3.



Slika 47: Velik zidan QRD difuzor
Vir: Ballou, Glen: Handbook for Sound Engineers Howard W. Sams & Co., 1991, str. 64

Slika 48: Sodoben 2D difuzor
Vir: http://www.rpginc.com/products/skyline/index.htm

Kako daleč so prišli difuzijski elementi po zahtevnosti teorije in izdelave, sta vzgled enodimenzionalen trostopenjski »Diffractal« difuzor in dvodimenzionalen »Skyline« podjetja RPG. Difuzor Skyline temelji na praštevilu 157 in ima kar **156 različno dolgih sekvenc**.

TABLE 5

5	151	70	73	38	80	61	21	69	137	24	34	22
110	25	127	36	51	33	86	148	105	31	57	120	13
65	79	125	7	23	98	8	116	112	54	155	128	129
17	11	81	154	35	115	19	40	109	89	113	147	12
60	85	55	91	142	18	104	95	43	74	131	94	107
64	143	111	118	141	82	90	49	4	58	56	27	156
152	6	87	84	119	77	96	136	88	20	133	123	135
47	132	30	121	106	124	71	9	52	126	100	37	144
92	78	32	150	134	59	149	41	45	103	2	29	28
140	146	76	3	122	42	138	117	48	68	44	10	145
97	72	102	66	15	139	53	62	114	83	26	63	50
93	14	46	39	16	75	67	108	153	99	101	130	1

Tabela 2: Tabelarični prikaz konstrukcije Skyline difuzorja
Vir: http://www.rpginc.com/products/skyline/index.htm

V zadnjem času pa se pojavljajo tudi hibridni tipi difuzorjev, ki združujejo različne teorije in ideje...



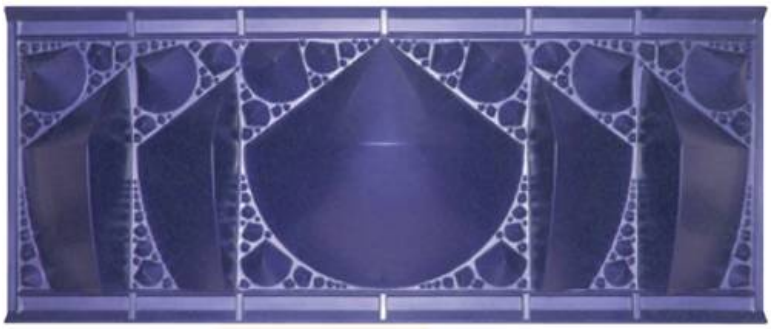
Slika 49: Kombinacija QRD in »cilindričnih« oblik
Vir: http://www.diffusor.com



Slika 50: QRD hibrid s separatorji

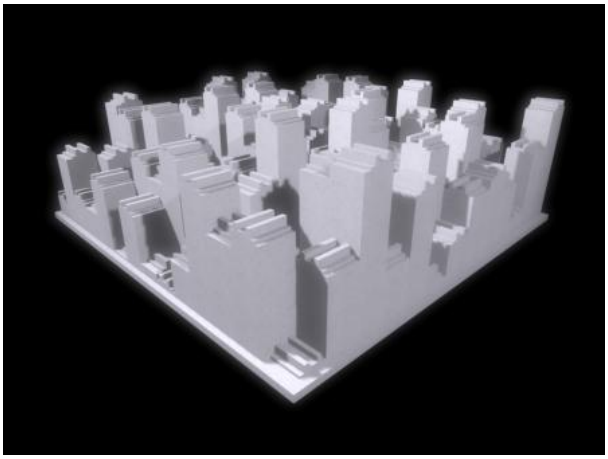


Slika 51: Kombinacija PRD tipa in cilindričnih oblik



Slika 52: Primer nenavadnega difuzorja

Vir: http://www.gikacoustics.com/gik_d1_diffusor.html in
http://www.goldenacoustics.com/Products/Product%20Line/E18Full.htm



Slika 53: Večfraktalni 2D difuzor



Slika 54: Večfraktalni 2D difuzor s separatorji

Vir:
http://www.ingenieriadesonido.com/productos_show.php?idcat=2D%20Diffusor%20/%20Difusor%202D&idprod=65 in http://www.diffusor.com/Goldenhorn.htm

En najnovejših hibridnih dizajnov difuzorjev je **RPG Waveform® Bicubic**, ki združuje princip 2D difuzorja in aperiodično modulacijo asimetrične forme. Nudi še boljšo časovno in prostorsko disperzijo. Več informacij na: http://www.rpginc.com/products/bicubic/index.htm.

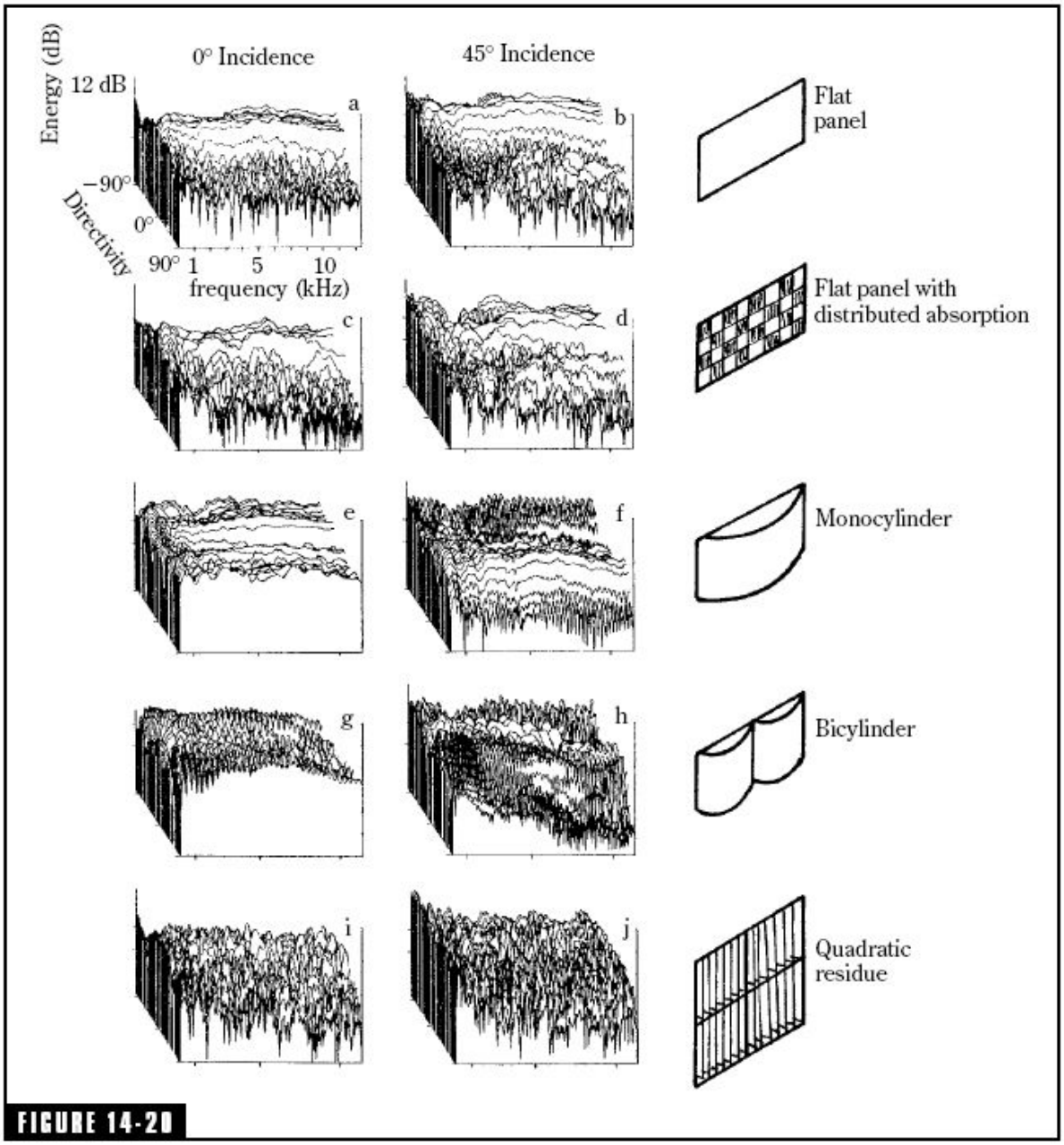


FIGURE 14-20

Energy-frequency-directivity plots comparing diffusion from (a,b) a flat panel, (c,d) a flat panel with distributed absorption, (e,f) monocylinder, (g,h) bicylinder, and (i,j) quadratic-residue diffusor. These plots compare many of the early attempts at diffusion with modern quadratic-residue diffusors. *Peter D'Antonio, RPG Diffusor Systems, Inc. and Acoustical Society of America, Inc.*

Slika 55: Primerjava uniformnosti difuzijskega polja glede na različne akustične elemente
Vir: Alton F. Everest: The Master Handbook of Acoustics, McGraw-Hill, 2001

Kakor je razvidno, **QRD,** prav tako pa **PRD** difuzorji, zagotavljajo **najkvalitetnejšo uniformno** in **koherentno difuzijsko polje** od vseh ostalih solucij.

4. OSNOVNI PRINCIPI DIZAJNA PROSTOROV ZA KRITIČNO POSLUŠANJE

Akustiki oziroma studijski dizajnerji nenehno **iščejo rešitev**, da bi bil **prostor** za **kritično poslušanje** čim bolj »**nevtralen**« in ne bi dodajal kakršnekoli koloracije, ki jo povzročajo distorzije v specifičnem prostoru, a da je vseeno čim bolj **udoben** za večurno dnevno delo.

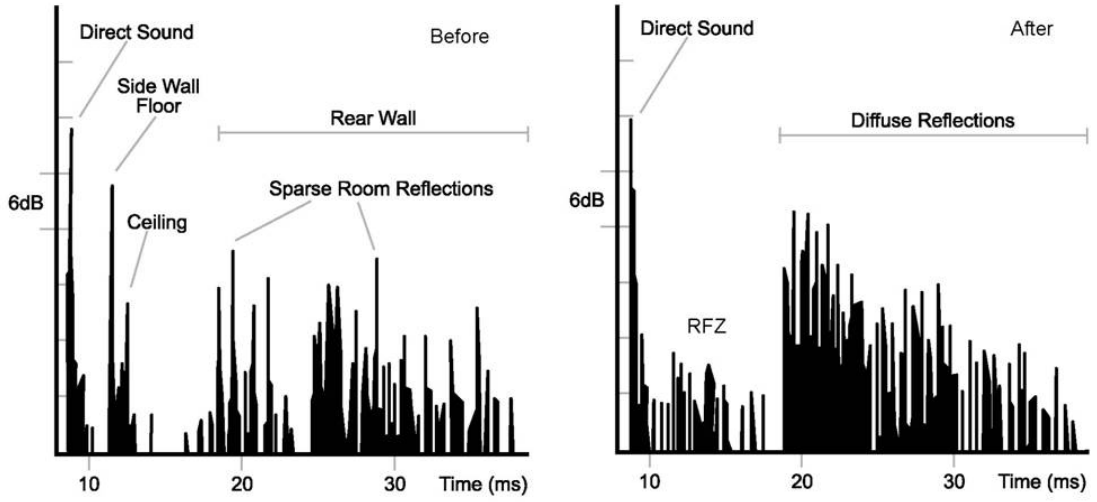
Takšen **prostor z ozvočenjem** skupaj kot celota je v bistvu **osnovno** delovno **orodje zvočnega mojstra**. Slišati mora, kaj dela; kako sliši, ko se snema, kako sestavlja zvočne sledi, jih medsebojno meša, dodaja efekte, balansira miks in daje prostor posameznim inštrumentom v zvočni sliki...

Po drugi strani pa naj bi **prostor** »oponašal« **povprečno poslušalsko okolje** (to je pa lahko dnevna soba, kopalnica, avtomobil, telovadnica, slušalke...), da bi se v vseh situacijah reproduciran zvok najoptimalneje slišal.

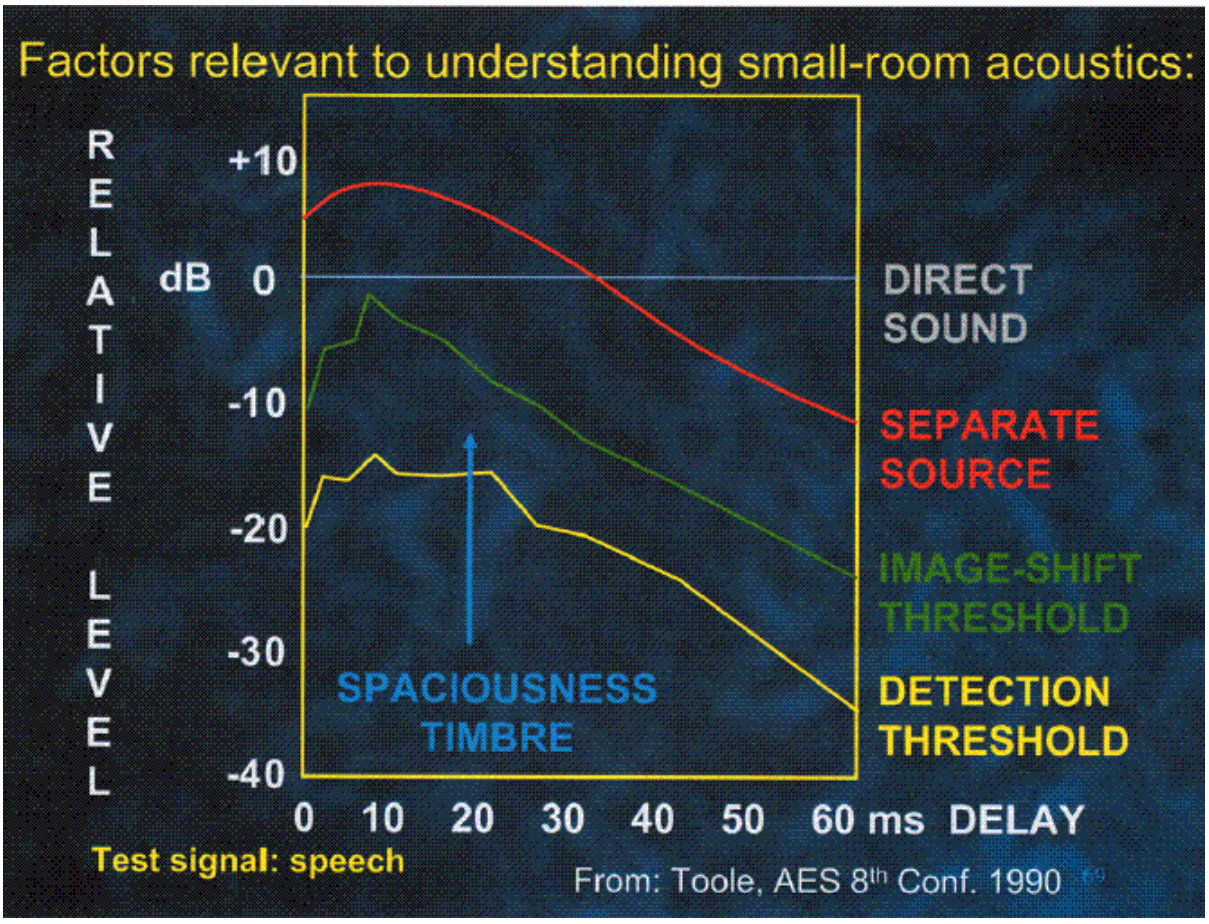
Skozi **različne principe** tretmajev kontrolnih sob so **opažali** nekatere **parametre**, ki pomembno vplivajo na **psihoakustiko** človeka oz. kako **človek** sploh **dojema zvok** v prostoru s svojimi ušesi in možgani. Dodobra je pripomogel tudi razvoj **merilne tehnike**.

Tako so prišli do danes do nekaterih zanimivih spoznanj.
Primeren povprečen odjek **RT60** (v kolikšnem času pade moč refleksij pod 60 dB), ki naj bi bil čim bolj enakomeren skozi cel slišen zvočni spekter, je za **kontrolne sobe** približno **med 0.20 do ca. 0.40 sekunde**.

Če je časovna razlika med direktnim zvokom in kasnejšimi odbijajočimi se refleksijami večja od ca. 50 milisekund (običajno omenjajo mejo približno **35, 40 ms**), ljudje začnemo percepirati zvok kot **eho** oz. ponavljajoči se zvok. Ta pojav imenujemo **Haasov efekt** in je domena človekovega dojemanja zvoka – psihoakustike oz. princip **reagiranja človeških možganov** glede na slišan zvok. Tudi vedno novejše ugotovitve prihajajo na plano, različni akustični dizajni pa rešujejo probleme vsak po svoje.



Slika 56: Obnašanje refleksij pred tretmajem in po tretmaju pri RFZ dizajnu
Vir:
http://www.acoustics.salford.ac.uk/student_area/bsc3/room_acoustics/Design2%20%20requirements%20for%20small%20rooms.doc



Slika 57: Objektivne in subjektivne ugotovitve akustikov, kako zaznavamo zvok
Vir: http://www.rpginc.com/

4.1. Petdeseta leta prejšnjega stoletja

Skoraj vsi tipi dizajnov in največ dela na področju akustike kontrolnih sob je bilo narejenih v **ZDA**. Tam je bilo tudi največ res ogromnih privatnih studiev in založb, zato se je tudi toliko vlagalo, **eksperimentiralo** in prihajalo do nekih **smernice**. Do resnega razmaha v dizajnu kontrolnih sob pa je prišlo šele v 50. letih, ko so prešli z **monofoničnega** na **stereofoničen** zvok, pa tudi studijska tehnika je iz leta v leto postajala naprednejša.

Opažali so, da je v **prostoru potrebna** čim večja **simetrija,** ker drugače ni stabilne stereo slike, večja **kvaliteta zvočnikov**, večja **moč**, **linearnejši** frekvenčni **odziv** in njihova **lokacija** v samem prostoru ter nenazadnje je potrebno dobršno **povečanje** velikosti in **kubikaže** kontrolnih **prostorov**.

Akustični materiali in principi, ki so jih poznali, so bili težke zavese, tepihi, perforirane lesene in mavčne plošče, kamena volna, resonatorji in polcilindrični elementi, ki so preusmerjali zvok. Z **absorpcijo nizkih frekvenc** se še **niso ukvarjali**. Elementi so bili bolj kot ne naključno nametani in kaj kmalu so opazili, da s takšnimi prostori niso več zadovoljni, saj se niso več mogli zanašati samo na lastna ušesa.

S prvimi eksperimenti uporabe stereofonskega sistema sta začela **Bill Putnam** (horn modificirani zvočniki in njihova postavitev »**over the windows**«) in **Michael Rettinger**, ki je skušal čim bolj **zreducirati nizke frekvence** v prostoru.



Slika 58: Takratni studio Billa Putnama



Slika 59: Pionir Bill Putnam pri delu

Vir: http://history.sandiego.edu/GEN/recording/studios.html in http://www.soundonsound.com/sos/oct04/articles/rocketscience.htm

4.2. Šestdeseta leta prejšnjega stoletja

Takrat se je pojavila **nova generacija kontrolnih sob,** ki jih je pričel dizajnirati **Tom Hidley**, pionir studijske akustike. Ideja se mu je porodila, ko je delal kot zvočni inženir v enem od hollywoodskih studiev. S sodelavci so preživljali odmore v udobnem prostoru nad studiom. Tam so imeli znane klasične zvočnike, da so poslušali glasbo in se sproščali.
Ugotovil je, da so ti **zvočniki** v tem prostoru, ki **hemisferično emitirajo** zvok, **najboljše,** kar je **slišal**. To je nato hotel **izvesti** tudi v **kontrolni sobi**.

Tako je sčasoma prišel do naslednjih **zaključkov**:

- potrebna je **simetrija** vzdolž osi poslušanja zaradi **stabilne stereo slike**;
- brez **prvih refleksij** od **stropa**;
- brez **kasnejših refleksij** od **zadnje stene**;
- **kratka reverberacija,** vključno z območjem **nizkih frekvenc**;
- **zvočniki,** vgrajeni v sprednjo steno (**flush mount** metoda).

Torej **leva** in **desna stena** sta **bili refleksivni,** prav tako **tla** in **sprednja stena,** v katero so bili **vgrajeni zvočniki**, vse **ostale površine** pa močno **absorpcijsko tretirane**.
Praktično je bilo to, da **sprednja stena** dovoljuje imeti **studijsko okno**, skozi katero je lahko zvočni inženir gledal v snemalni del studia.

Pojavljati so se začeli **dvomi** med pionirji studijske akustike glede **netretirane leve** in **desne stene,** saj je to omogočalo **prve refleksije**, ki maskirajo oz**. motijo direkten zvok** iz zvočnikov, in povzročalo **distorzije**. V prvih Hidleyjevih dizajnih se je nekajkrat pojavila tudi izbočena reflektivna površina nad mešalno mizo, nato je v kasnejših dizajnih ta ideja zamrla.
Da je **dosegel** čim večjo **absorpcijo nizkih** frekvenc, je uporabljal **mineralno volno** v obliki velikih **palic**/stebrov, ki so bili **vertikalno obešeni** eden poleg drugega na višini 2-3 metrov na stropu. Tako je dosegel **učinkovito absorpcijo** tudi do **50 Hz**. Takrat se je rodil znameniti izraz v studijski akustiki »**bass trap**« oz. zanka/past za nizke frekvence.

Leta 1982 je bil najet, da dizajnira novo kontrolno sobo za dansko nacionalno koncertno halo, imenovano Studio 1. Ker je bila koncertna hala grajena leta 1946 in je bila prvotna kontrolna soba nesimetrična, kar je bilo tipično za takratne čase, so bili prisiljeni najti drug velik in

primernejši prostor za to. **Hidleyjeve ideje** so še **modificirali** danski **arhitekti**, da bi se soba bolje **vključila** v celoten **interier** stavbe.

Te **modifikacije** so dale Hidleyju **nove smernice** za njegov lasten **tip prostora**. Ponovno je bil najet za drug studio za dansko nacionalko, ki je bil namenjen moderni pop produkciji. Pri tem studiu je vse svoje dotedanje ideje, izkušnje in zaključke vključil v **posodobljen dizajn**. Sedaj je bila situacija takšna:

- **zvočniki, vgrajeni** v sprednjo **steno**;
- »**bass trapi**« na **stropu** in v **zadnjem delu** prostora;
- **sprednje stranske** stene in **sprednja stena** do neke meje **absorpcijske**;
- del **zadnjih stranskih** površin je bil **reflektiven,** tako da je to omogočalo **diagonalno povrnitev refleksij** nazaj k zvočnemu inženirju...

Kar nekaj novih sprememb, zakaj pa?
Leta 1978 sta Hidley in njegova firma Westlake Audio delala zelo uspešne studijske komplekse za velike naročnike. Medtem se je zainteresiral za novo, takrat revolucionarno **merilno tehniko,** imenovano **Time Delay Spectrometry** – TDS, ki mu je omogočala nov **vpogled** v **frekvenčno sliko** in **spremenila** dotedanje **zamisli**. S to merilno metodo je lahko izmeril **frekvenčno krivuljo** prostorov na **samem kraju** (imenovala se je »**house curve**«), saj je bila **dotedanja merilna tehnika** preveč **okorna** in **uporabna** samo v namenskih **laboratorijih**. To metodo si je izmislil **Richard Heyser** v poznih šestdesetih za druge namene in tudi drugi pionirji so pričeli uporabljati novo tehnologijo, med drugimi **Don** in **Carolyn Davis** ter **Chips Davis**.

Začela se je **doba računalniško dizajniranih kontrolnih prostorov**, **akustičnega merjenja** in **analize** v prostoru samem in **resnejših kontroliranih testiranj zvočnikov**.
Tako je Hidley spoznal, da **sprednje** trde **refleksivne površine** omogočajo **prve refleksije,** kar povzroča v frekvenčni sliki velike **deviacije,** oz. tako imenovana »**house curve**« **ni** bila **primerna** za zvočnega inženirja v njegovem delovnem prostoru.

4.3. Sedemdeseta leta prejšnjega stoletja – Non-Environment dizajn – N-E

Leta 1975 se je Hidleyju pridružil še **Philip Newell** in še nadalje sta spreminjala, **prilagajala** in optimizirala ta tip **akustičnega dizajna**. Non-Environment oz. **N-E dizajn** se je kar nekaj časa prilagajal in popravljal od studia do studia. Zmeraj je ostal pri **osnovni tezi**, da se sliši čim čistejši **direktni zvok** iz **zvočnikov**, ki so **vgrajeni** v sprednji **zid**, **prostor** pa da je čim bolj **nevtralen** oz. **mrtev**. Ne omogoča toliko reverberacije in drugih smernic kakor pri drugih tipih dizajnov in psihoakustičnih ugotovitev.

Zvočniki so **vgrajeni** v **sprednjo steno** zato, da **emitirajo zvok** v prostor čim bolj **hemisferično,** in ne omnisferično. To ima nekaj prednosti pred prostostoječimi zvočniki: **minimalizirajo** se zvočne **difrakcije**, **zmanjšajo** se **refleksije** od **robov** zvočnika, **vgrajeni** skoraj v **kote** sprednjega zida se tako zmanjša »**comb filtering**« (izničevanje oz. ojačevanje zvočnih valov – **http://www.walter-fendt.de/ph14yu/stwaverefl_yu.htm**) **med zvočnikom** in **sprednjo steno**, **poveča** obseg emitiranih **spodnjih frekvenc**, ki jih lahko zvočnik oddaja. Prednosti je kar nekaj, kar pa **ne pomeni**, da **drugi dizajni** ne morejo **biti kos** tem **problemom**.

Leta 1980 je ta akustični dizajn nekako bolj uradno poimenovan kot **Non-Environment kontrolna soba**, standardna izbira so postali **zvočniki Kinoshita.**

Leta **1991** se je dizajn bolj ali manj **dokončno zastavil**. Sedaj sta **sprednji betonski zid** z **vgrajenimi zvočniki** Kinoshita in težka lesena **tla** edini **refleksivni površini**, vse **ostale površine** pa **absorpcijske** do zelo nizkih frekvenc, vse tja do 40 Hz, so pa tudi nedokumentirane in nedokazane izjave, ki trdijo, da vse do 20 in še manj Hz, kar že posega v infrasonično območje.

Leta **1998** pa je Hidley šel še naprej in predstavil tudi **kontrolno sobo** z vgrajenim surround **5.1 zvočniškim sistemom**, torej za ustvarjanje in produkcijo zvočnih stvaritev v 5.1 tehniki. Efektivna absorpcija pa naj bi bila vse tja do 24 Hz.

Takšna **soba** je zelo suha (zelo **malo reverberacije**) in se z mnogimi lastnostmi spogleduje s **semianehoičnimi** prostori, ki so tudi **zelo nevtralni,** a prav zaradi tega **neudobni** za večurno

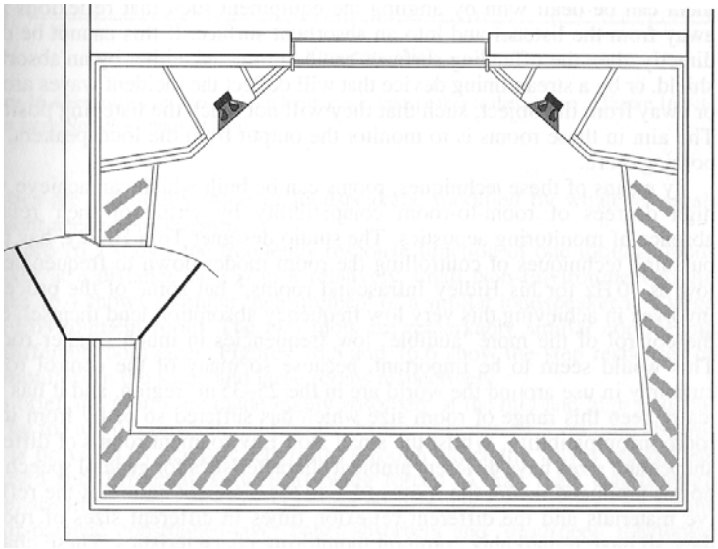
delo. Nekako **nenaravni**. Človek ima namreč še iz jamskega obdobja možgane navajene na zaprte reverberantne prostore. Refleksivna tla in sprednja stena ta občutek nekoliko omilita.

Se pa v **takšnih** kontrolnih **sobah** zelo **jasno sliši,** kaj se počne z zvokom, **zvočna slika** je zelo **stabilna** in **detajlna**. Vsaka **sprememba** je hitro **opazna**.
Ker ima soba zelo **veliko absorpcije** vse do zelo nizkih frekvenc, **zahteva velik prostor**, ki je na koncu, ko je **tretiran, mnogo manjši**. To tudi pomeni **večji** finančni **vložek** v akustični tretma, **višje** najemne **stroške** prostorov ali višji kredit (mnogo kvadratov).

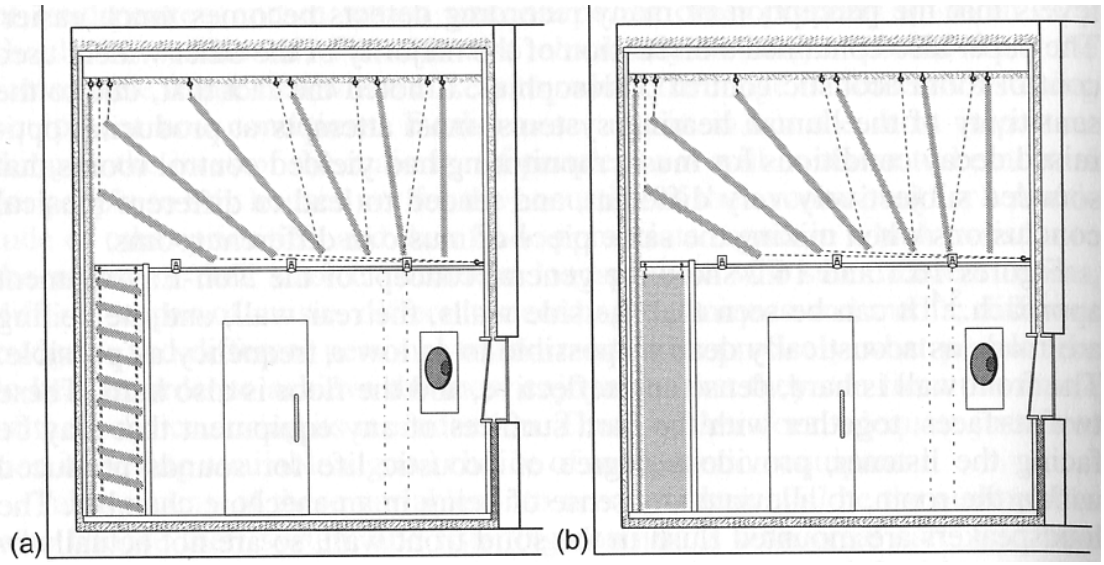
Nekateri **kritizirajo** tudi, da so **miksi,** narejeni v takšnih prostorih, preveč živi oz. je naknadno dodano **preveč reverberacije**, ker je **prostor** preveč **mrtev** in **možgani** narekujejo **preveč** dodanih **reverb** efektov.

Čeprav so takšni tipi prostorov nekoliko sporni prav zaradi prenizke reverberacije, omogočajo zelo **zanesljivo translacijo** v druge **N-E** kontrolne **sobe**.

Torej edina, a ne majhna pomanjkljivost je ta, da je ta tip dizajna **odličen** za kritično **poslušanje**, je pa **manj primeren,** ko gre miks v **običajne** življenjske **prostore**... Če bi še domače poslušalnice bile narejene po tem principu, bi bil to lahko res odličen standard. Tega pa ni pričakovati, da bomo kdaj doživeli.



Slika 60: Tloris N-E dizajna



Slika 61 a, b: Ogromni »bass trapi« na stropu
Vir:
http://www.acoustics.salford.ac.uk/student_area/bsc3/room_acoustics/Design2%20%20requirements%20for%20small%20rooms.doc



Slika 62: Primer N-E kontrolne sobe
Vir: http://philipnewell.net/img/sonobox.jpg

4.4. Osemdeseta leta prejšnjega stoletja: Live End Dead End dizajn – LEDE

Don, **Carolyn** in **Chips Davis** so leta **1979** predstavili čisto nov princip tretiranja kontrolne sobe. Dizajn je nastal na osnovi izsledkov, ki so jih dobili s **TDS** testiranjem in analizo podatkov in ugotovitvami s področja **psihoakustike**. S psihoakustiko in eksperimenti so se ukvarjali še Helmut Haas (že prej), Pudie Rogers, Mike Baron, Bill Martens, Gary Kendall...

Dotedanja akustična praksa so bili zelo **mrtvi prostori,** v katerih **ni prijetno** delati. Torej je nekako potrebno **omogočiti refleksijam**, da ustvarijo **prijetnejše vzdušje**, vendar kako, da **ne kvarijo zvočne slike**? Ideja je bila, da zvočni mojster v svojem »**sweet spotu**« oz. na mestu, kjer dela in posluša, sliši **najprej direkten zvok** iz zvočnikov, **zgodnjih refleksij** pa naj **ne bo** v **sprednjem delu** prostora. Zato je sprednji del **zadušen** mrtvi del – **Dead End**. **Refleksije**, ki **prihajajo** od **zadnjega dela** prostora, pa **omogočajo kasnejše refleksije** – **Live End**.

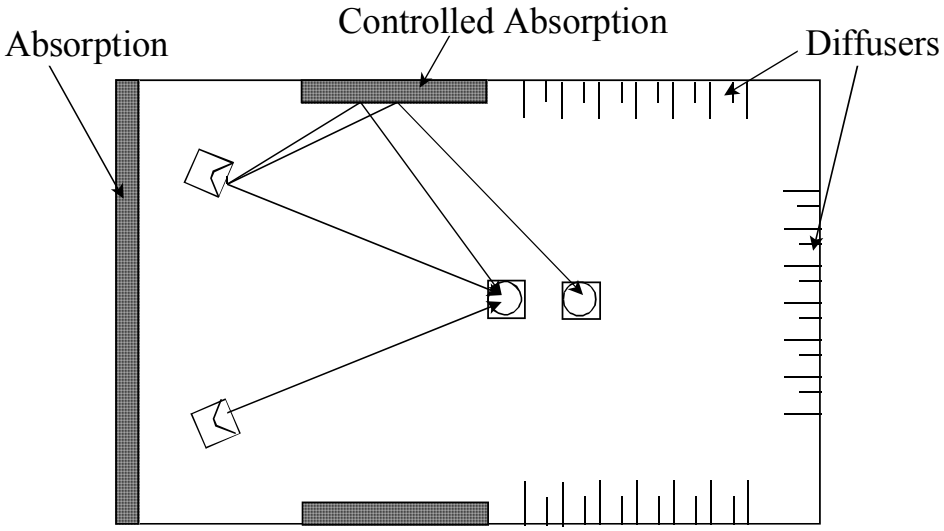
Sprednji del prostora, kjer so **prostostoječi zvočniki** in kamor je obrnjen poslušalec, je torej **Dead End** – prostor je zadušen z **absorpcijskim materialom**, ki skrajno minimalizira **zgodnje refleksije** in s tem zmanjša koloracijo, ki bi bila povzročena s fizičnimi lastnostmi prostora ter bi **posegala** v **razločnost direktnega zvoka**. **Live End** je približno **zadnja polovica prostora**, ki se razprostira od hrbta poslušalca do zadnje stene, in **omogoča kasnejšim refleksijam,** da se lahko vračajo v **poslušalsko območje**. Ta prostor je tretiran z **difuzorji**: zadnja stena, stranske stene in strop. Tla so po vsej površini reflektivna, ponavadi obdelana s parketom.

Zadnja stena torej ne sme biti ravna, ampak so si pomagali z **difuzorji,** tako da so **refleksije razpršene** po **prostoru** in **času** čim bolj **uniformno**. Drugače bi prihajalo do »**comb filtering**« efekta oz. ojačevanja in izničevaja frekvenc ter med zadnjima stranskima stenama do **»flutter« eha**, ki ga povzročajo **vzporedne stene** . V veliko pomoč so jim bili dokaj novi **QRD** in **PRD** difuzorji, na katerih je delal **dr. Manfred Schroeder** in nekoliko kasneje **dr. Peter D'Antonio**.

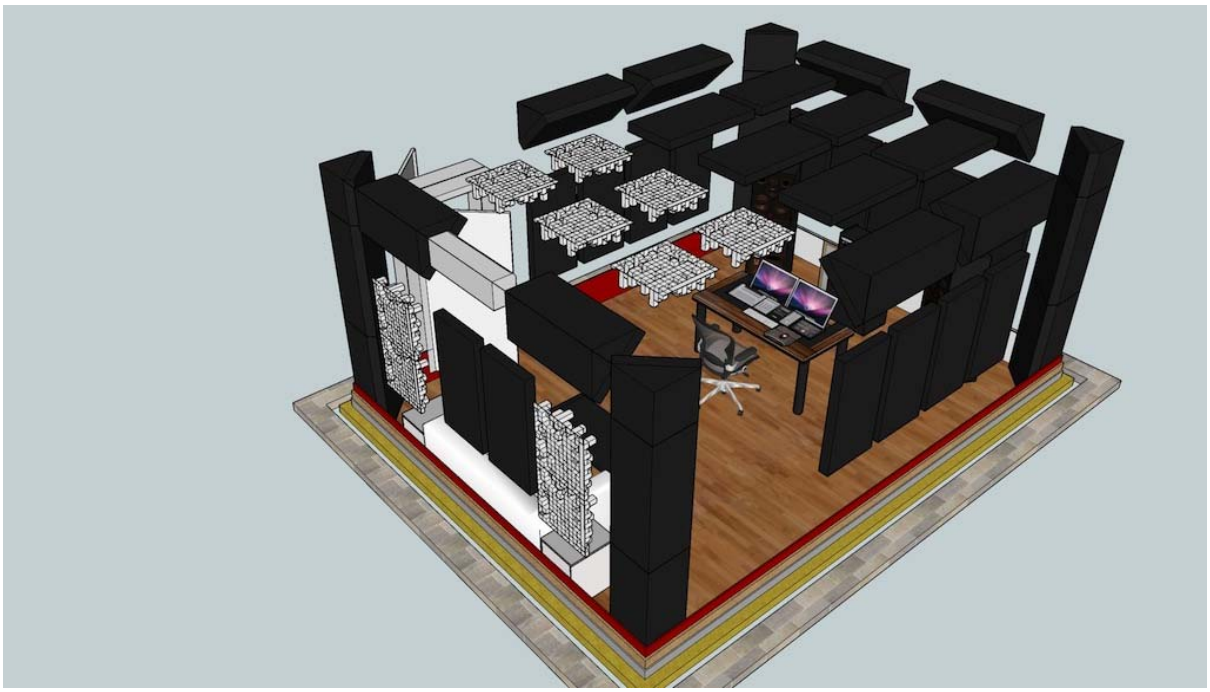
Skrivnost je torej bila v »**initial time delay gapu**« oz. **časovnemu zamiku** med **direktnim**/prvim dospelim **zvokom** in **tišjimi (10 dB in več...) razpršenimi odbitimi refleksijami** od **zadnjih površin** prostora. S tem je pogojena neka minimalna globina/dolžina

prostora, da kasnejše refleksije prispejo šele po **18 ms** in čim bolj enakomerno postopoma padajo do ca. **35, 40 ms**. Ta čas **omogoča možganom**, da **ločijo akustiko** samega prostora in jo **ignorirajo**. Temu psihoakustičnemu pojavu se reče **Haasov efekt**.
Če je **zadnja stena preblizu** oz. je prostor premajhen, da bi bil omogočen takšen časovni zamik refleksij, je **bolje,** da je ta **stena** tudi **absorpcijska**.

Rezultat je (relativno) **nevtralna soba** in tudi v **druge** kvalitetne **LEDE prostore** se **zvok** zelo **dobro prenaša**. **Simetrija** je seveda **pomembna** in **kontrolirana reverberacija** (ca. **0.2-0.4 sekunde**) do **nizkih frekvenc**. **LEDE** princip je zelo hitro **postal** zelo **popularen tip** dizajna kontrolne **sobe**.



Slika 63: Princip LEDE dizajna
Vir:
http://www.acoustics.salford.ac.uk/student_area/bsc3/room_acoustics/Design2%20%20requirements%20for%20small%20rooms.doc



Slika 64: Primer LEDE dizajna 3D pogled
Vir: http://www.planetaudio.si/portal/index.php?showtopic=1507&st=330&start=330



Slika 65: Prva LEDE kontrolna soba
Vir: http://www.primacoustic.com/acou-lede.htm

4.5. Osemdeseta leta prejšnjega stoletja: Controled Image Design – CID

Kot že omenjeno, so skoraj vsi dizajni nastali v ZDA, ker so tam bile največje založbe in studii, s tem pa tudi finance za eksperimentiranje. En **tip dizajna** pa je nastal v **Angliji**. Zamislil si ga je leta **1992 Bob Walker,** ki je bil zaposlen na **BBC**-ju in imel priložnost razviti **sodoben prostor** za **kritično poslušanje**.

Ideja je bila za tiste čase zelo kreativna, kajti **N-E prostori delujejo** povsem **obratno**. Ideja je bila **podobna LEDE** in še bolj leto, dve kasnejšemu **RFZ** dizajnu: **ustvariti poslušalsko območje** v prostoru, ki **ne bi bilo moteno** s **prvimi refleksijami**. Zamislil si je, da so **sprednje površine** studia takšne oblike, da **preusmerijo zvok** iz zvočnikov **izven poslušalskega območja**. Izjemno podobno kot kasneje opisan RFZ dizajn, le da **ne potrebuje tolikšnih količin absorpcijskega materiala** in **omogoča** še **višje reverberacijske čase** tudi do dobre 0.4 sekunde, kar pa je **enako** kot v **povprečnih** domačih **dnevnih sobah**. Zamisel je bila tudi, da **kasnejše refleksije** pridejo **15-20 dB tišje** od izvornega zvoka in v **času 20 ms**.

Pristop je bil čisto **geometrične narave** prostora, nekako **ustvariti krog** okoli miks pozicije, postavljenima prostostoječima zvočnikoma od spredaj je potrebno **nekako preprečiti**, da bi **refleksije radiirale** v to območje/**krog**. Vprašanje je bilo, **kakšne površine bi to omogočile**.

Pomagal si je s **CAD** programom, saj se je že začela **doba računalnikov**. Dobil je izrisane **zanimive oblike**. Nekaj je še naknadno modificiral in dobil značilne oblike sprednje stene, stranskih sten in stropa.

Nato je sledila **izdelava prototipne kontrolne sobe** in **meritve**. Meritve so na srečo **potrdile teoretična predvidevanja**. Uporabljali so merilni sistem **MLSSA**, ki je bil podoben **TDS**-ju, toda ta je lahko uporabljal **kontrolirane impulze**. Tako so lahko **koncept dokumentirali** in **dokazali**, da so praktično **uresničili teoretične zamisli**.

Tako je nastala soba z značilnimi lomljenimi oblikami sprednjih površin prostora.
BBC je imel svoje **standardne prostostoječe zvočnike,** tako da je **prostor projektiran** tako za **prostostoječe** kot za **vgrajene** (flush mounted) v sprednjo steno.
Žal se ta akustični dizajn **ni uporabljal zunaj BBC-jevih prostorov**, bilo je zgrajenih **nekaj desetin** takšnih **kontrolnih sob** in marsikatera še dandanes uspešno opravlja svojo funkcijo.

Uradnih primerjanj žal ni zaslediti, je pa bilo začrtanih v tem konceptu **nekaj zanimivih pogledov** na problem, predvsem da **ni potrebno** toliko **ogromnega** prostora za **absorpcijski material** in s tem **manjši prostori in stroški,** povezani s tem.

In mogoče **najpomembnejše**: **CID dizajn** nudi **akustično percepcijo bližje** realni **povprečni dnevni sobi kot** kontrolne **sobe**, ki **imajo** zelo **neenakomerno razporeditev absorpcijskega** materiala in izjemno **nizke reverberacijske čase**.

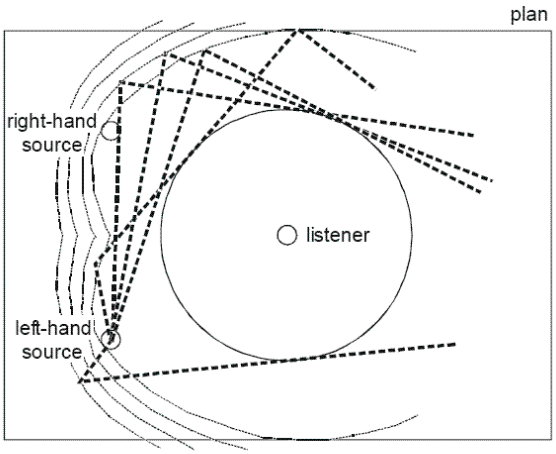


Fig. 2 - Typical output from computer, showing limiting reflector angle guide lines

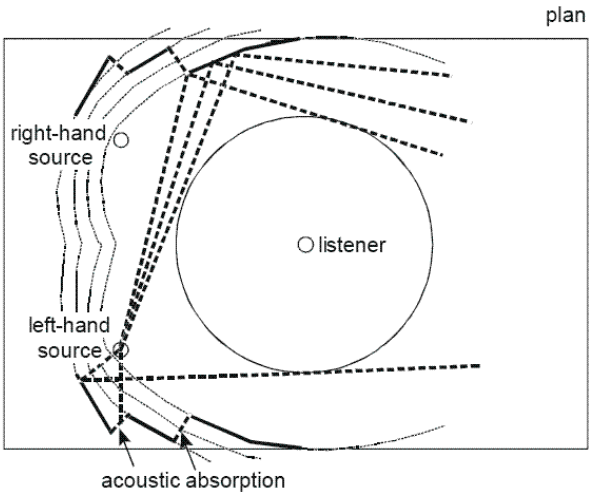
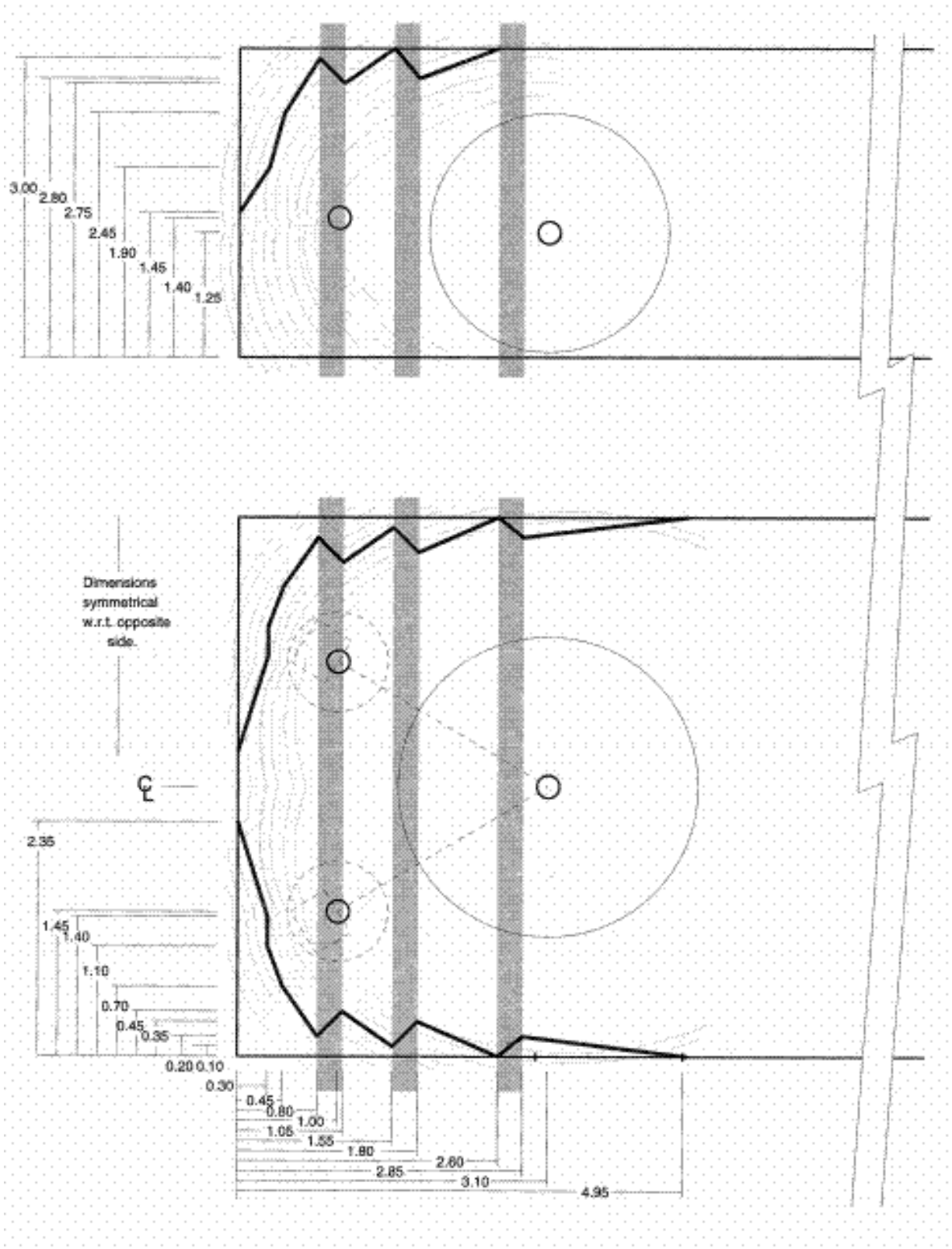
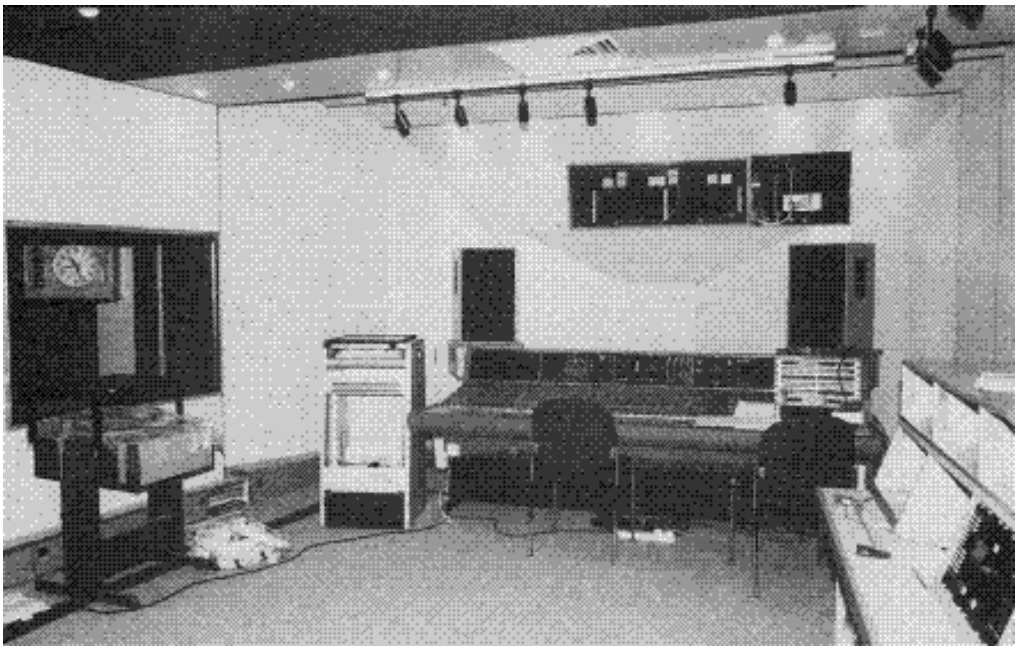


Fig. 3 - Reflecting panels fitted to guide lines.

Slika 66: CAD programska rešitev Slika 67: Prikazane refleksivne površine
Vir: http://downloads.bbc.co.uk/rd/pubs/reports/1995-04.pdf



Slika 68:. Končna študija oblik površin prostora za prototipno CID kontrolno sobo B12; kotirane mere so podane v metrih
Vir: http://downloads.bbc.co.uk/rd/pubs/reports/1995-04.pdf



Slika 69: Končana prototipna CID kontrolna soba B12
Vir: http://downloads.bbc.co.uk/rd/pubs/reports/1995-04.pdf



Slika 70: Detajl sprednje stene prototipne CID kontrolne sobe B12
Vir: http://downloads.bbc.co.uk/rd/pubs/reports/1995-04.pdf

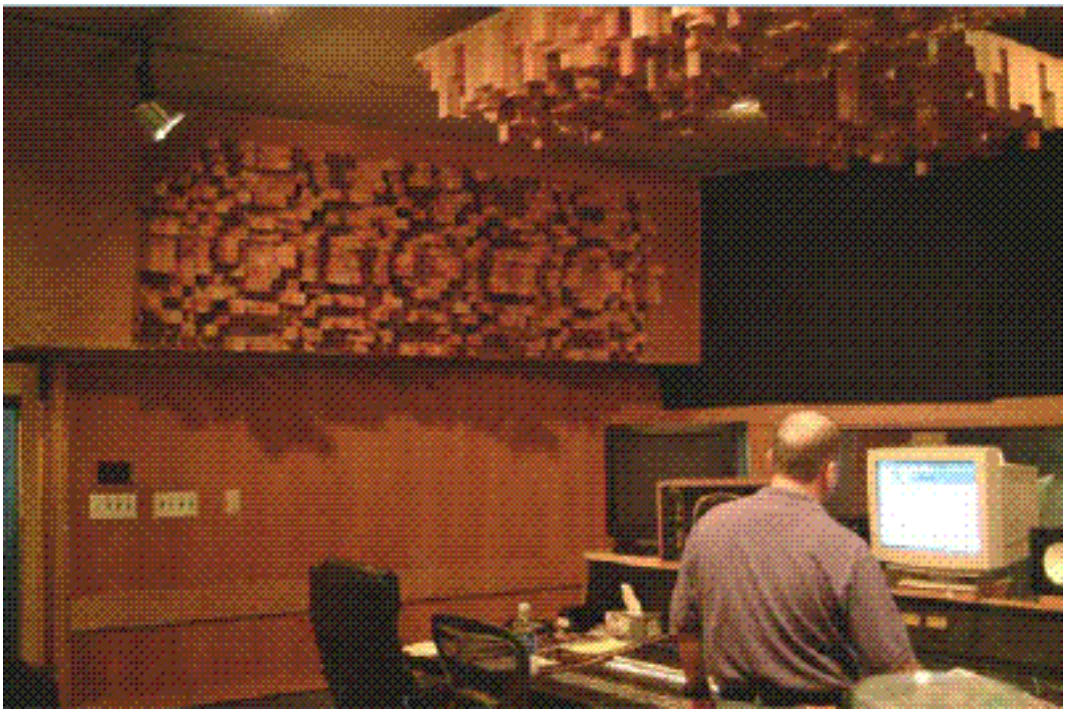
4.6. Osemdeseta leta prejšnjega stoletja: Reflection Rich Zone – RRZ

Leta **1993** si je **Georg Massenburg** zamislil in naredil nekaj drugačnega, inovativnega in predvsem **drznega tudi** za **današnje čase**. Reševanje **problema prvih refleksij** se je lotil z **uporabo** naprednejših **difuzorjev,** kot so Manfred Schroederjevi, ki so bili prvenstveno namenjeni za dvorane, s teoretično pomočjo **dr. Peter D'Antonia** in novejšega dizajna. V studiu »**The Complex**« v Los Angelesu je naročniku **naredil kontrolno sobo** za »Studio B«, kjer je namesto, da bi se refleksije absorbirale ali preusmerile, **namestil** kompleksne **difuzorje levo** in **desno** ter **nad delovnim prostorom** zvočnega mojstra. Tako so **prve refleksije premešane skozi prostor in čas**. Ta dizajn **ni vključeval** »**delay gapa**« in so **refleksije** v »**sweet spotu**« **kontrolirano enakomerno padajoče** skozi čas.
Podrobnejših informacij, kakšne rešitve so še uporabljene na drugih površinah, ni na voljo.

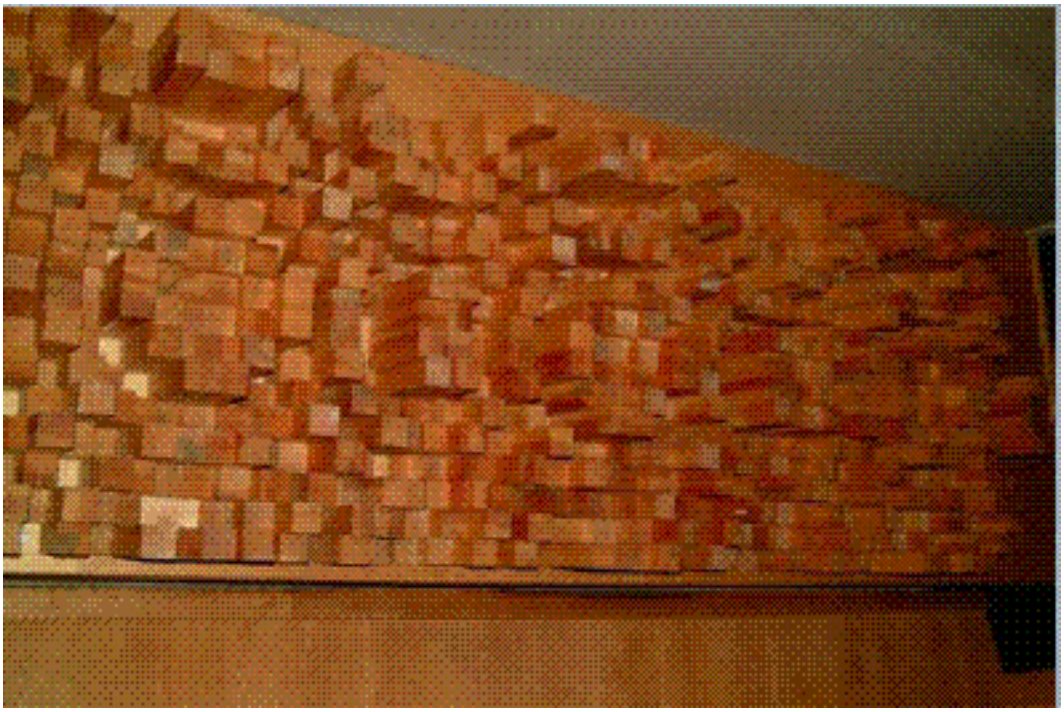
Danes je s **sodobno merilno tehnologijo** znano, da specifičen **difuzor potrebuje** specifičen **prostor**, da **razvije optimalno difuzno polje,** kar pri tem dizajnu ni upoštevano.
Narejena je bila **le ta kontrolna soba te vrste**. Je pa bila **odlična iniciacija** za **nove ideje** in **nove pristope**.



Slika 71: Ena redkih slik edine obstoječe RRZ kontrolne sobe: The Complex Studios LA
Vir: http://www.thecomplexstudios.com/studiob.html



Slika 72: Še en detajl, kako izgledajo difuzorji okoli “sweet spota”
Vir: http://www.rpginc.com

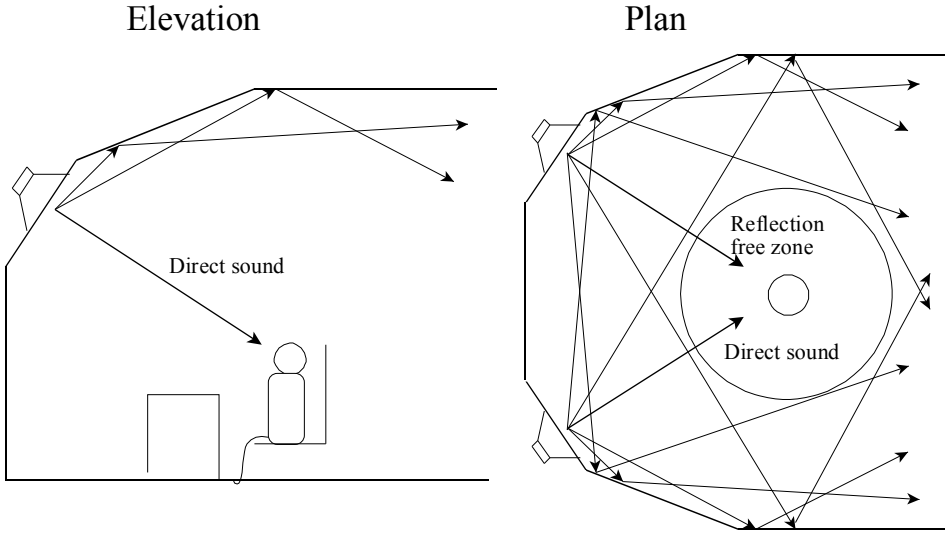


Slika 73: Uporabljeni so bili 2D QRD difuzorji
Vir: http://www.rpginc.com

4.7. Osemdeseta leta prejšnjega stoletja: Reflection Free Zone dizajn – RFZ

Leta 1984 je **dr. Peter D'Antonio** in njegovo podjetje **RPG** ustvaril prvo **RFZ** kontrolno sobo – Underground Studio v Marylandu. Gre za nekakšno **nadgrajevanje LEDE** dizajna in se zelo spogleduje s prej opisanim **BBC-**jevim **CID** dizajnom. **Cilj je enak**: ustvariti **območje** poslušanja, kjer **ni prvih refleksij**. Da se je **izognil** uporabi **absorberjev,** so **sprednje stene** močno **naklonjene,** tako da **zvok** od zvočnikov **preusmerijo** v **zadnji del** prostora mimo glave poslušalca. Da **ni** uporabljal **absorpcije**, da bi uklonil prve refleksije, je pripisati **psihoakustičnim eksperimentom**, ki so indicirali, da je **zvočna slika** pri LEDE dizajnu **nekoliko majhna**, kakor da bi zvok prihajal iz točke v prostoru.

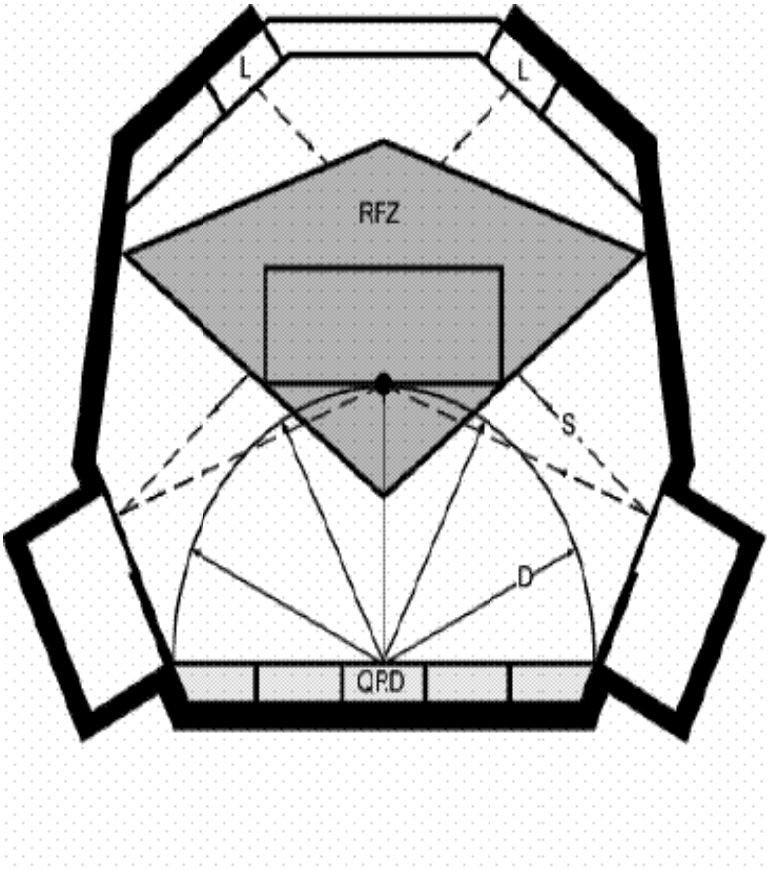
RFZ dizajn torej **ustvari področje poslušanja**, kjer **ni motečih refleksij**. Je **konstrukcijsko** bolj **zapleten**, saj zahteva gradbene posege; **stranice sobe** – stene in strop v **prvi polovici prostora** (kjer je izvor zvoka) – **so nagnjene** pod izračunanim kotom (CAD projektiranje). Na zadnji steni prostora so **difuzorji**, ki **preusmerijo refleksije** in jih **razpršijo nazaj** po prostoru, kar omogoči že opisano primerno reverberacijo in primeren časoven zamik.



Slika 74: Princip RFZ dizajna
Vir:
http://www.acoustics.salford.ac.uk/student_area/bsc3/room_acoustics/Design2%20%20requirements%20for%20small%20rooms.doc

Zvočniki so vgrajeni v stene, da se izkoristijo prednosti »flush mount« metode. Ta tip prostora je postal izjemno priljubljen po celem svetu. V takšnih prostorih je nastalo ogromno legendarnih albumov. **Peter D'Antonio** je naredil tudi **5.1** surround **RFZ** kontrolno, saj

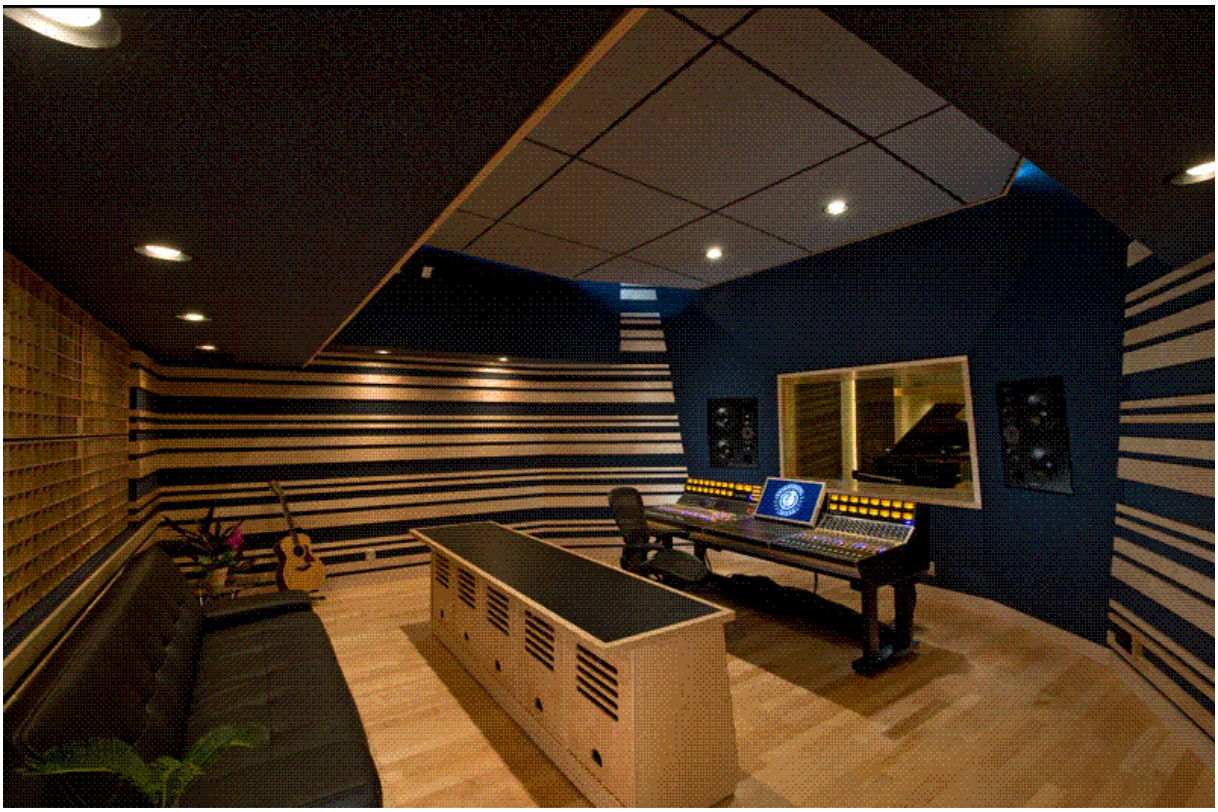
današnja doba narekuje uporabo takšnih sistemov tudi v povprečnih kinematografih, domačih teatrih... Uporabil je **kombinacijo absorberjev** in **difuzorjev** na **ključnih točkah**.



Slika 75: Princip surround RFZ kontrolne sobe
Vir: http://www.rpginc.com

Ta pristop **omogoča stabilno stereo sliko,** a je **primeren** za frekvence od **500** do **5000 Hz**, saj se **pod 500 Hz** zvok ne obnaša kot žarek, ampak je **valovanje nizkih frekvenc** vedno bolj **omnidirekcionalno**, torej v vse smeri. Tako imenovani »**sweet spot**« je **zelo majhen** in je omejen zgolj na področje zvočnega mojstra. **Poslušalci,** postavljeni ob **zadnji steni,** dobijo **popačeno sliko,** saj so **preblizu difuzorjev**. Če se v prostor za hrbtom naknadno dodaja oprema, se tudi poruši zvočna slika. **Ljudje**, ki so bili **navajeni drugih tipov** prostorov, so **imeli čuden občutek** in tudi **meritve** so **pokazale**, da so **variacije** v merjenem zvočnem **spektrumu,** katere poslušalec ni nujno da jih zazna.

Dandanes se uporabljajo kombinirani hibridni principi, ki dodobra odstranijo pomanjkljivosti prvotnega dizajna. Sistematično se uporablja kombinacija difuzorjev in absorberjev, različno glede na specifičnost določenega prostora.



Slika 76: Kombinirani dizajn in uporaba stranskih binarnih slot resonatorjev/absorberjev
Vir: http://www.weslachot.com/project1.html

4.8. Devetdeseta leta prejšnjega stoletja: Early Sound Scattering dizajn – ESS

Medtem ko so v tem času prevladovali N-E, LEDE in RFZ dizajni, se je pojavil kot **alternativa** tudi **ESS** tip. Osnovna ideja je bila, da so **karakteristične refleksije** prostora **uniformne** in **naključne,** tako da **nimajo nekega karakterja**.

Zato imajo **ESS** sobe zelo **difuziven sprednji del,** vključno z **zvočniki, vgrajenimi** v sprednjo steno, **difuzorji razpršijo zgodnji zvok**. **Školjka studia** pa je **absorpcijska**, nizke frekvence so zadušene z membranskimi absorberji.

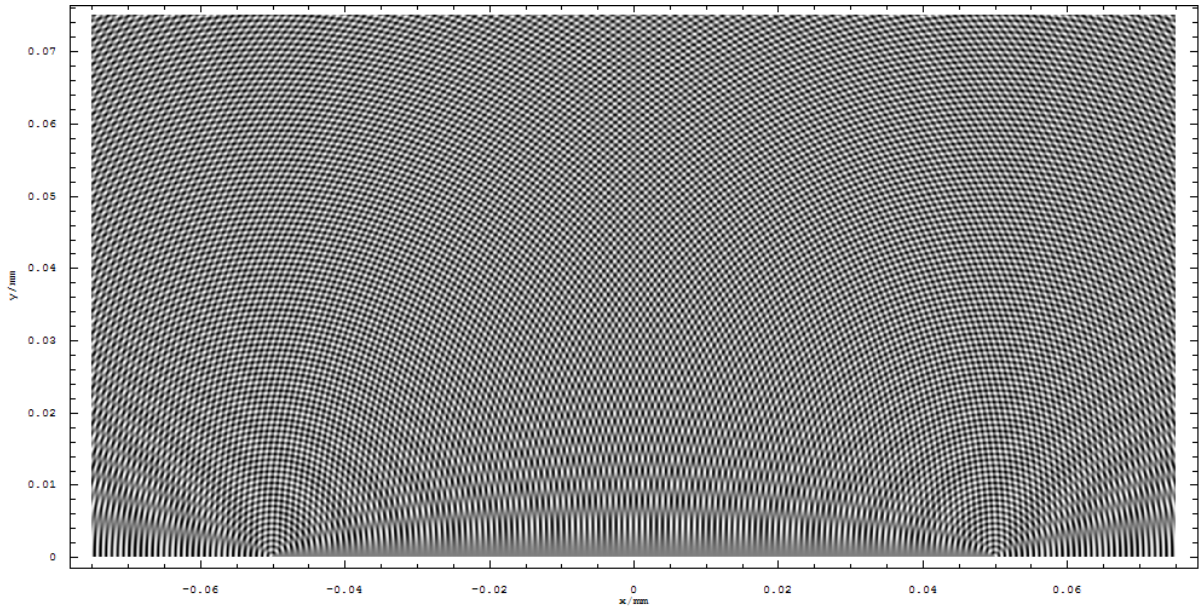
Takšna soba je prav **živa** v primerjavi s starejšimi dizajni (LEDE, N-E) **z linearnim frekvenčnim odzivom** in dobro **stabilno stereo sliko**. Prav tako to velja tudi, če se posluša v **zadnjih kotih** prostora oz. **ob stenah,** kjer je pri drugih dizajnih opazen dvig nizkih frekvenc, saj je tam **minimalen pospešek** in **maksimalen pritisk zvoka**, dušeni membranski **absorberji pa zreducirajo** ta **pojav**.

Ideja se je porodila **iz nuje** okoli leta **1989**. **Površinsko veliko mešalno mizo** Amek 9098, ki sta jo naročila Lisa Stansfield in Ian Devaney, je bilo treba nekako umestiti v že obstoječi studio (Gracieland studios) tako, da bi **povzročala čim manj akustičnih problemov**. Studio je tudi dokaj majhen glede na velikost mešalne mize. Geometrijske rešitve RFZ dizajna niso omogočale primerne rešitve. Mešalna miza je morala biti čim bližje zvočnikom oz. sprednji steni, zato je bila potrebna alternativa.

Originalen **namen kvalitetnega uniformnega difuzijskega polja** je bil, da **zamaskira refleksije** od **mešalne mize** in **zreducira comb filter efekt**. Le-to je efekt, ko se zamaknjen signal udari z direktnim in se izniči ali ojača, pa tudi vmesne faze obstajajo. Za kaj takšnega so bili primerni le sodobnejši **Schroederjevi difuzorji**, ki nudijo **kvalitetno** in **uniformno časovno** ter **prostorsko razpršitev zvočne energije** v nešteto majhnih premešanih refleksij. Zaradi **prostorske difuzije**, ki jo spremlja **časovna difuzija,** so **deviacije** v frekvenčnem spektru postopoma in **progresivno zreducirane** do mere **skoraj neobstoječega**.

Prav tako **dva izvora zvoka v fazi** v prostoru ustvarita fringin efekt oz**. interferenco** (http://en.wikipedia.org/wiki/Interference_%28wave_propagation%29). To je prostorska anomalija. Opazi se najlažje tako, da se predvaja 1kHz mono ton na dveh zvočnikih, in ko

poslušamo, premikamo glavo levo ali desno. Opaziti je spremembo v glasnosti zvoka. Pri ESS dizajnu so **difuzorji čisto blizu zvočnika** in efektivno **zminimalizirajo** ta **efekt**, nekako kot da bi se zvočniki pretvorili v velike ploskovne izvore zvoka. S tem je seveda **izboljšana zvočna predstava**.



Slika 77: Interferenca dveh izvorov zvoka
Vir: http://en.wikibooks.org/wiki/Materials_in_Electronics/Wave-Particle_Duality/The_Two-Slit_Experiment/Ideal

Več o intereferenci valov si lahko preberete na:
http://en.wikipedia.org/wiki/Interference_%28wave_propagation%29

V bistvu je to nekako dodelana N-E kontrolna soba, torej **vse površine** so **absopcijske**, le **tla** in **sprednja stena** so **refleksivne**, sedaj pa je **sprednja stena refleksivna,** ampak obdana s sodobnimi **difuzorji**. Projekt je bil dokaj tvegan in negotov, ali se bo teorija obdržala tudi v praksi. Naročnika sta bila z rezultati tako navdušena, da sta si omislila še eno kletno kontrolno sobo v Dublinu.

Čeprav sta bili kontrolni sobi zelo drugačni po obliki in velikosti, sta omogočali odlično translacijo iz ene v drugo. Na splošno ESS prostori omogočajo zanesljivo enako zvočno ponovljivost v druge enake tipe prostorov in dobro translacijo v domača okolja.
Torej kako deluje glede na **psihoakustiko človeka** in kako si **človek ustvari stereo sliko**?

Običajno razmišljanje je, če se zvok premeša po prostoru in času, da je stereo slika uničena. Izkazalo se je, da ni tako. **Stereo slika** je **psihoakustična iluzija**; **trik,** ki se odvija **med ušesi in možgani**. **Ušesa lovijo informacije,** kakor fizično zmorejo, **možgani** pa iz teh informacij **naredijo nek smisel,** kolikor je v njihovi moči. Ko so informacije v konfliktu, možgani odpovedo, da bi naredili smisel iz tega, in iluzija je izgubljena.

Možganom je najbolj **pomembna informacija razlika slišanega med levim in desnim ušesom,** pa **tudi časovna uskladitev** je zelo **pomembna**. Če je časovna informacija v konfliktu z informacijo jakosti, potem stereo podoba izgine.

Refleksije asistirajo možganom v **lokaliziranju zvočnega izvora,** ampak to ni namera, ko skuša tvoriti stereo sliko. Premešanje časovne informacije oteži lokalizacijo zvočnikov, če pa **pustimo informacijo jakosti,** se **omogoči zvočna podoba**.

Zvočna slika sicer ni tako »dramatična« kot v pravilno tretiranih RFZ prostorih, je pa **zanesljiva,** četudi dodajamo opremo v zadnjem delu prostora. **Slika** je tudi **stabilna** po celi dolžini mešalne mize in vse **do hrbtne stene**. Podobno velika EES soba bo imela **frekvenčne špice,** izzvane od mešalne mize, **mnogo bolj zaobljene**. **Zvok** je bolj **čist**, **naraven** in **transparenten**.

Za ta dizajn prostora so **zaželeni zvočniki** s čim večjo **hemisferično radiacijo**, enako kot pri N-E dizajnu. Tako **zadostna količina zvočne energije doseže tudi difuzorje** takoj zraven izvora zvoka oz. zvočnikov. Tako bo tudi **poslušalec izven osi slišal** zelo **podobno zvočno sliko** kot **tisti**, ki posluša v **poslušalski poziciji**.

Vsekakor mora biti v prostorih poskrbljeno prav tako za čim bolj **linearen frekvenčni odziv** in kolikor se da **enakomerno reverberacijo** skozi frekvenčni spekter. Enako kot pri ostalih dizajnih. To se doseže s primernimi akustičnimi elementi in njihovo postavitvijo. Za to je potrebno mnogo materiala, pri ESS tipu podobno kot pri N-E dizajnu.
Vir: http://www.electroacoustics.co.uk



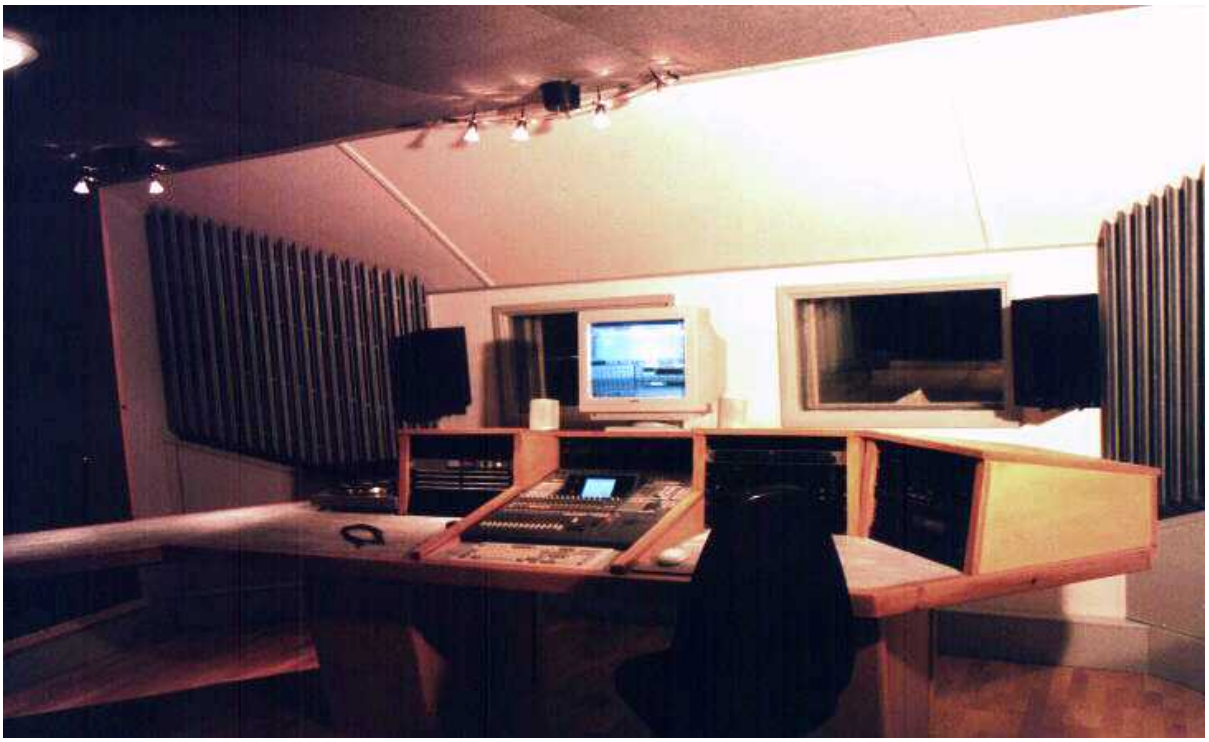
Slika 78: Gracieland studio danes
Vir: http://www.gracieland.co.uk/page3/page8/page17/page17.html



Slika 79: Sprednji difuzijski del Gracieland studia
Vir: http://www.electroacoustics.co.uk



Slika 80: Martin Price studio, ki pa je imel bolj poenostavljeno geometrijo in nižje stroške pri konstrukciji
Vir: http://www.electroacoustics.co.uk



Slika 81: LBS Stockport studio ima poenostavljen še sprednji difuzijski del, vendar še zmeraj uporablja koristi difuzivnega sprednjega dela
Vir: http://www.electroacoustics.co.uk

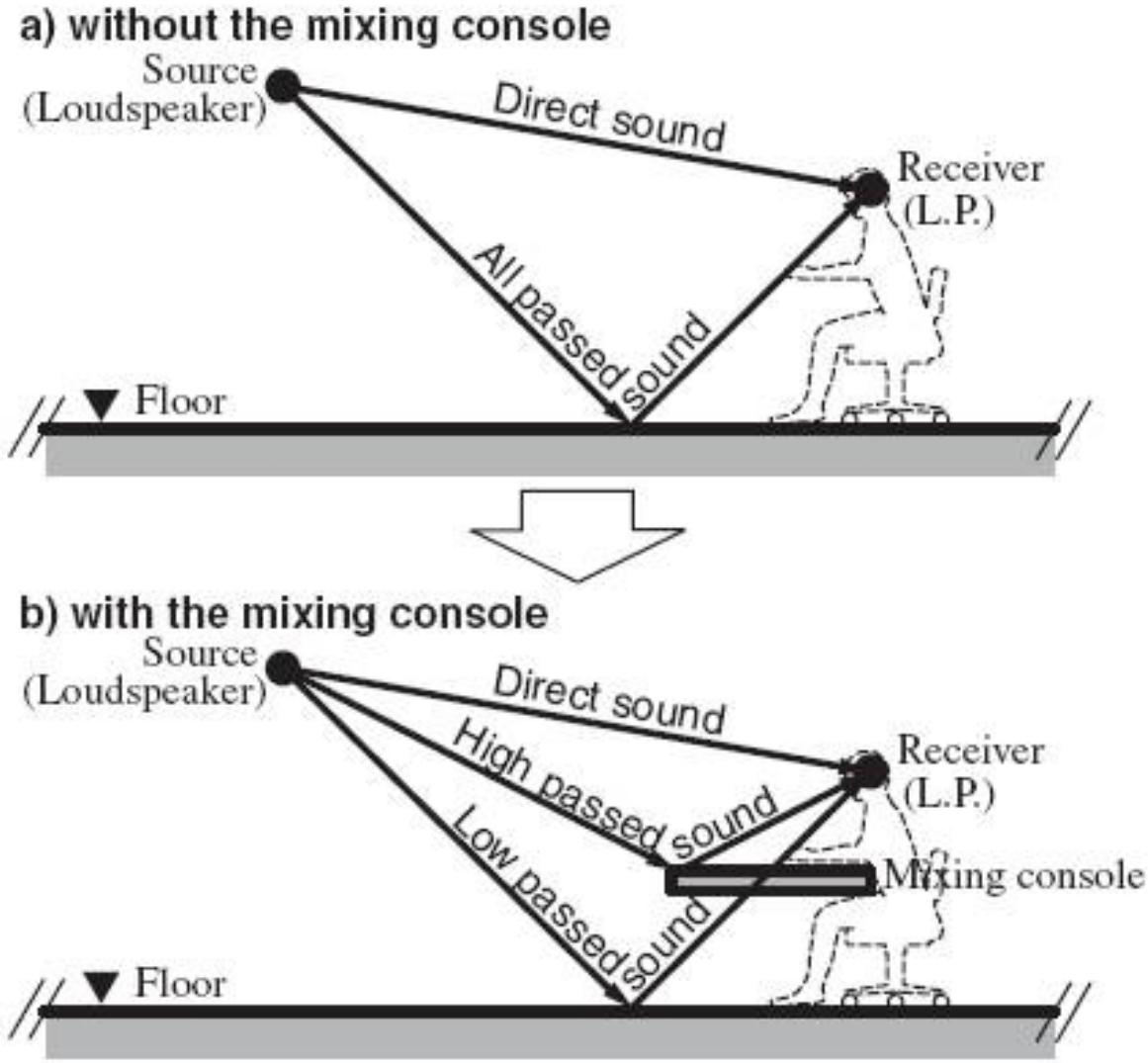
4.8.1. Vpliv mešalne mize na akustiko prostora

Dosedanji akustični dizajni se niso pretirano ukvarjali z akustičnim vplivom velikih mešalnih miz v kontrolnih sobah. Raziskave, ki so se v zadnjem času opravljale, so pokazale, da velike refleksivne površine pred tonskim mojstrom seveda zelo močno vplivajo na frekvenčno sliko, navsezadnje je ta delovna površina tudi močna prva refleksija.



Slika 82: Tipično poslušalsko območje v kontrolni sobi
Vir: http://www.jstage.jst.go.jp/article/ast/26/2/90/_pdf

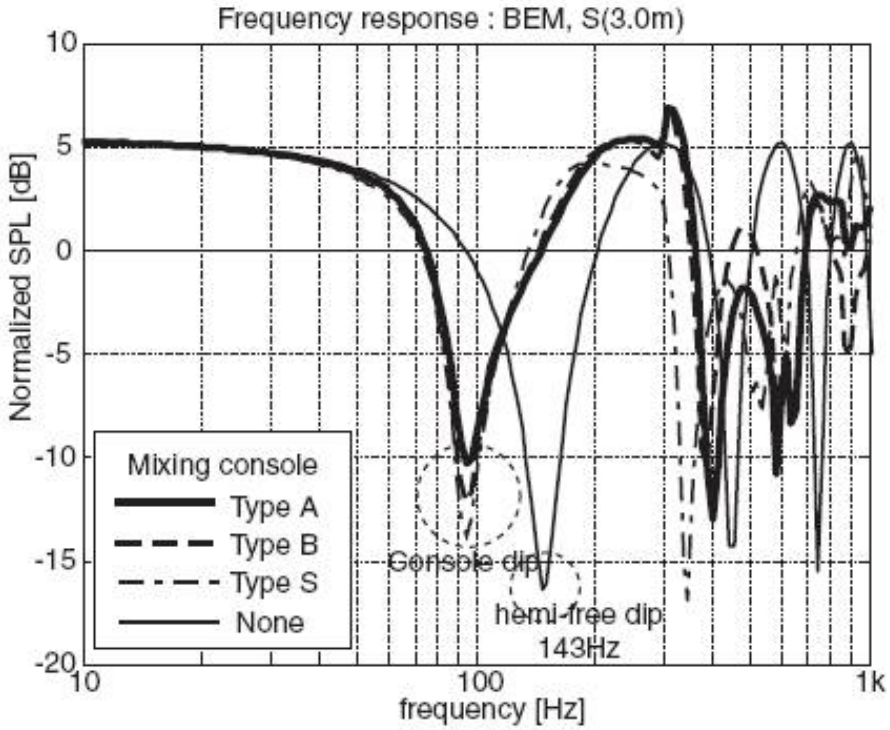
Vsekakor tudi tla predstavljajo prvo refleksijo in pomembno variablo, ampak refleksivna tla so potrebna, saj so človeški možgani navajeni, da so zmeraj prisotna tla, kjerkoli se nahajajo. Raziskava tudi kaže, da je že prisotno popačenje slike, ko se kombinirata le direkten signal in odboj od refleksivnih tal, brez mešalne mize je pa slika vseeno bolj konsistenčna in bolj jasna kakor z mešalno mizo. Širina Q frekvenčnega dola – »dipa« – je ožja in mnogo manj distorzirana.



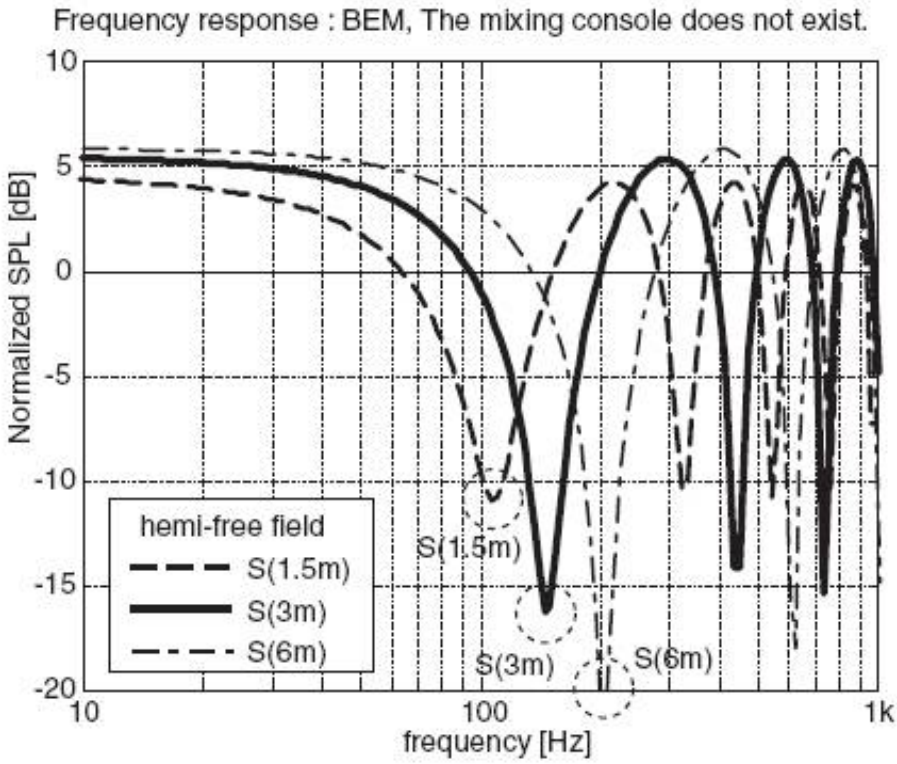
Slika 83: Efekt mešalne mize, vizualni prikaz: direkten zvok, odboj od mize in odboj od tal
Vir: http://www.jstage.jst.go.jp/article/ast/26/2/90/_pdf

V poslušalskem območju se torej kombinirajo vsaj trije prvi signali: direkten zvok iz zvočnikov, odboj od delovne površine in od tal. Deviacije se kažejo okoli 100 Hz, odvisno tudi, koliko je poslušalec oddaljen od izvora zvoka in kako velika je mešalna miza oz. delovna površina ter velikost prostora. Velika delovna površina pomeni samo še večja in dodatna popačenja zvočne slike. Zato naj bodo takšne površine čim manjše in čim nižje.

Velike delovne površine povzročajo popačenja zvočne slike tudi, če je prostor izjemno dobro akustično tretiran! ESS in kasneje opisani Ambechoic dizajn skušata to ublažiti.



Slika 84: Frekvenčni odzivi v poslušalski poziciji s tremi različnimi mešalnimi mizami
Vir: Vir: http://www.jstage.jst.go.jp/article/ast/26/2/90/_pdf



Slika 85: Izračunan frekvenčni odziv treh različnih razdalj od izvora zvoka brez mešalne mize
Vir: http://www.jstage.jst.go.jp/article/ast/26/2/90/_pdf

Več podrobnejših informacij na: http://www.jstage.jst.go.jp/article/ast/26/2/90/_pdf.

4.9. Devetdeseta leta prejšnjega stoletja: The Moulton Room dizajn

Nekje leta **1997** je **David Moulton** predstavil dokaj kontradiktoren in sporen **akustični princip** dizajna kontrolnega prostora, imenovan kar po svojem priimku »**The Moulton Room**«. Zagotavlja, da se lahko v takem prostoru **uporabljajo vse vrste zvočnikov**, lahko so **prostostoječi**, **ležijo** na mešalni mizi ali pa jih vgradimo v sprednjo steno (»**flush mount**«). Najlepše pa je, da je **takšen prostor** konstrukcijsko **in finančno najmanj zahteven**, je pa filozofija tega tipa dizajna drugačna od ostalih...

Če hočemo **mešati stereo zvok zanesljivo,** je esencialno, da **zaznavamo edinstven signal** iz tega **zvočnika,** kot da bi prihajal **točno od njega**. Ko imamo **dva,** lahko **sestavimo stabilno stereo sliko**. **Zvočnikov ne zaznavamo** kot **izvor zvoka,** ampak kot **prve refleksije**, ki **povzročajo fantomski izvor** zvoka (kot da zvočniki niso tam, kot so, ampak zamaknjeni v prostoru). Direktnega **artefakta ni** moč **zaznati** zaradi **prvih refleksij**. Če so **prve refleksije podprte** s **kasnejšimi**, ki so **spektralno** in **časovno** natančne in **usklajene**, postane **fantomska slika** še **močnejša**, **jasna** in **natančna**. Zato pravi tem refleksijam »**dobri podatki**«.

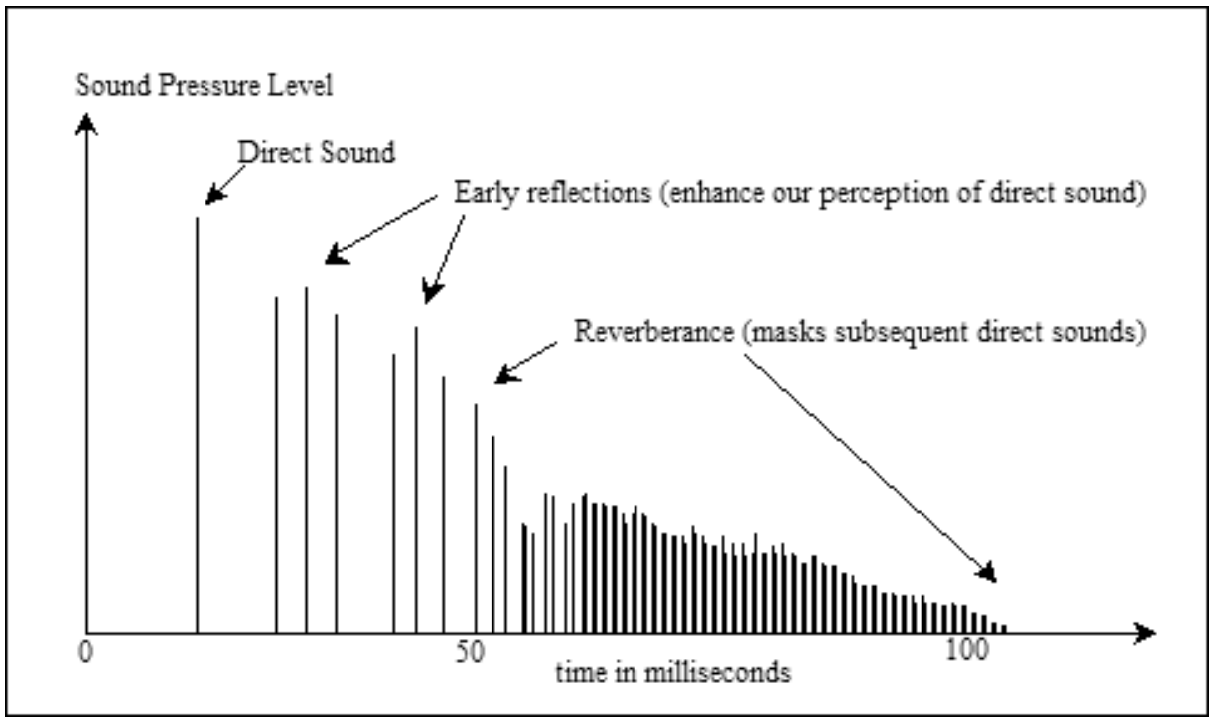
Svojo trditev podkrepi z izkušnjo vodilnega mastering mojstra, ki je doživel izkušnjo poslušanja zvočnikov v veliki reverberacijski kontrolni sobi kot nekaj fantastičnega. Nato navaja tudi izjemno pozitivne izkušnje drugih zvočnih mojstrov in glasbenikov kot »najboljše, kar so slišali«.

Veliko prvih refleksij predvajanega zvoka torej **nosi tudi direkten zvok**. **Prve refleksije** in **reverberacijski artefakti** prinesejo poslušalcu **čudovit** obsežen predvajani **zvok**.
Pravi problem pa je po njegovem mnenju, da **reverberacija preplavi** vedno bolj in bolj **nevzajemne** in **nestrnjene refleksije**, ki nastanejo po **Precedence efektu** oz. **Haasovem efektu** (njegova integracija s prvimi refleksijami se staplja v koherenten zaznavni konstrukt), ki je **zamaknjen**. To se začne **po** pribl. **40 ms od direktnega zvoka**, ko doseže naša ušesa. Takšen **reverberacijski zvok** naj bi **zamazal**, **zamaskiral detajle** in **zameglil zvočno sliko**.

Rešitev je, da se **vzdržujejo razločne** svetle **prve refleksije** v **okviru** približno **50 ms** in **potem uporabi širokopasovna absorpcija** takoj **za tem preteklim časom**. Čeprav so za takšno kontrolno sobo **primerni prav vsi zvočniki,** pa **priporoča široko disperzijske tipe**

zvočnikov. Pripravlja tudi lastno linijo zvočnikov in je avtor »acoustic lens« tehnologije, ki jo uporablja tudi Bang&Olufsen.

Dodaja pa še tole: **problem** z **inkoherentno difuzijo**, ki jo omogočajo **QRD difuzorji** in podobni akustični elementi v takšnih aplikacijah, je, da **pretvarjajo direktno energijo zvoka** v **rano reverberacijsko energijo**. To **ustvarja reverberacijski** »**naliv**« ravno v **časovni periodi**, ko bi **morali integrirati refleksije** kot del **naše lokalizacije**.
Vir: http://www.moultonlabs.com/comments/36/



Slika 86: Tipične refleksije v majhni sobi in njegova razlaga v časovnem okviru 50 ms
Vir: http://www.moultonlabs.com/more/real_world_of_project_control_room_monitoring/P2

In kako bi to izgledalo v praksi?

Osnovni principi za Moultonovo sobo:

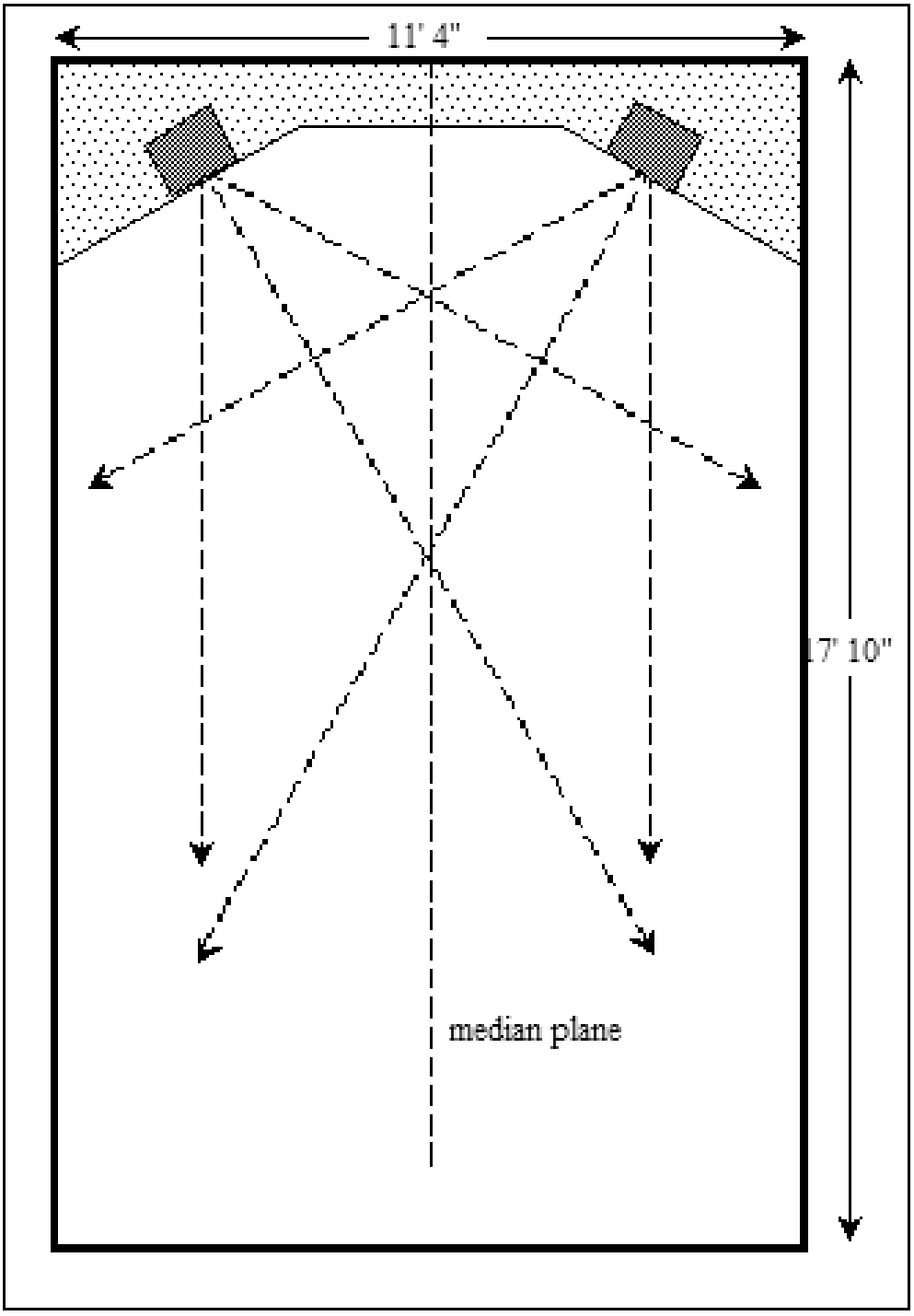
1. Dimenzije sobe morajo omogočati čim bolj **optimalno distribucijo modalnih frekvenc** – poglavje 2.2.2.: Modalne frekvence, razmerja stranic in geometrija prostora.
2. Potrebna je **pozicija poslušalca** v **sredini** med **zvočnikoma** in tudi po **sredini dolžine** prostora (slika 55 spodaj).
3. **Reverberacijski čas** bi moral biti skozi frekvenčno območje **60 hZ do 8 kHz** približno enak in dolg ca. **80 do 200 ms**.

4. **Stranske prve refleksije** (ki pridejo v »sweet spot« **v okviru 50 ms** od direktnega zvoka s strani stranskih sten) bi morale **biti** tako **neovirano** glasne kot **spektralno** in **časovno natančne,** kolikor je mogoče (torej **brez QRD, PRD** tipov difuzorjev ali **absorpcijskega materiala**). **Tla** in **strop** morata biti, tam kjer **omogočata prve refleksije, zadušena**/**difuzivna,** kolikor je še razumno.
5. **Zvočniki** naj imajo **čim večjo horizontalno disperzijo visokih frekvenc**. Specifikacije, ki jih priporoča, so: max. 3 dB dol pri 10 kHz in pri +/- 60° iz osi. Njegovi zvočniki, ki jih proizvaja, izpolnjujejo še strožje kriterije: max. 5 dB dol pri 16 kHz pri +/- iz osi. **Takšne performance** se **izkažejo** pri **spektakularni tonalni kvaliteti** in **zvočni sliki**.
6. **Zvočniki** bi morali biti približno **30°** zamaknjeni izven sredine **proti levi** in **desni strani** v poslušalski poziciji.
7. **Sprednja stena,** kamor so vgrajeni zvočniki, ali pa stena, pred katero so prostostoječi zvočniki, mora biti **popolnoma absorpcijska** od **20 Hz do 20 kHz**.

Priporoča še, da lahko uporabite **cilindrične difuzorje/absorberje** na **zadnji steni** in **zadnjih stranskih stenah**. To bo pripomoglo k mnogo boljšim rezultatom.
Vir: http://www.moultonlabs.com/more/real_world_of_project_control_room_monitoring/P3

Enostavno povedano je **Moultonova soba** prostor, ki ima **močno anehoično** (močno absorpcijsko) **sprednjo steno**, **absorpcijski sprednji del stropa**, **refleksivne stranske površine**, **cilindrične difuzorje/absorberje** na **zadnji steni** in prav tako na **zadnjih stranskih stenah**. Bila naj bi tudi najcenejši akustični tretma.
Na ta način so v **poslušalskem območju prisotne močne prve refleksije**, **kasnejše difuzirane refleksije** od **zadnjega dela prostora** pa se **vrnejo** v **poslušalsko območje** in **sprednje reflektivne stranske stene** in se **na koncu absorbirajo** v **sprednji steni** in **absorpcijskem delu sprednjega dela stropa**. **Reverberacija** v takšnem prostoru je **zelo majhna**.

Kakšno je doživetje v takšnem prostoru, ni znano, saj se ne ve, kje so takšni prostori narejeni, čeprav avtor pravi, da jih je mnogo. Tudi **priznani studijski akustiki** so v močnih **dvomih** glede **njegovih trditev**.



Slika 87: Približen primer sobe ca. 2.4 m x 3.4 m x 5.4 m
Vir: http://www.moultonlabs.com/more/real_world_of_project_control_room_monitoring/P3

Predlaga, da če imate **prostor**, ki **ni izgrajen** po **priporočljivih razmerjih stranic prostorov** in bo to povzročalo **težave** z **modalnimi frekvencami** (kakor je to tudi v vsakdanjosti), da **izgradite notranjo steno**, ki bo to popravila (po dolžini ali po širini, odvisno, kakšen je prostor).

4.10. Dvajseto stoletje: Ambient Anechoic; Ambechoic Surround Sound Environment dizajn

Leta 2002, skoraj dvajset let po **RRZ** dizajnu, je **George Massenburg** še enkrat poskušal narediti nekaj novega, inovativnega in zelo drznega. Z leti so akustiki lahko skozi vse dizajne uvideli neka stara/nova spoznanja, katere principe bi bilo treba izpopolniti ipd. **Imamo** tudi mnogo **novejšo tehnologijo,** kot je merilna tehnika, v **gradbeništvu** izboljšane tehnologije in **orodja**, **izboljšani so akustični elementi**, ki so mnogo **bolj efektivni,** imamo več **znanja** s področja akustike ipd. Zakaj se ne bi vse to izkoristilo in naredilo nekaj posebnega...
Leta 1997 je **James Angus** še enkrat proučil **RRZ** dizajn in nekatere zanimive aspekte prvih refleksij. **Floyd Toole** je v začetku dvajsetega stoletja tudi prišel do spoznanj v tej smeri in **predlagal**, da so **prve refleksij**e v majhnih prostorih zelo verjetno **koristne** za **percepcijo zvoka**. Marsikaj je bilo tudi razvidno iz **ESS dizajna.**
Podobne stvari so ugotavljali že leta prej **Peter D'Antonio, Toole, Martens, Moulton** in **Massenburg (**že pri **svojem prvem dizajnu – RRZ). Ugotovili** so tudi, da naj bi **srednje** in **kasne refleksije** na splošno **imele majhen »decay«.**
Absorpcija ima **psihoakustično** gledano tudi določene **slabosti** pred **difuzijo,** saj je **zvočna slika** nekoliko **majhna** in ni tako bogata, kakor če se uporablja **kvalitetno difuzijsko polje**.
In tako se je začelo: **Blackbird Studio C** v Nashvillu, eni so ga poimenovali kar **Massenburgova soba**.

Teoretično: če zvok res **dobro difuziramo,** dosežemo obenem tudi dokaj **dobro absorpcijo visokih** in **srednjih frekvenc**. **Ne** čisto do **nizkih frekvenc,** ampak tam si pa le lahko **pomagamo** z **absorbcijo**. Vsekakor **takšni difuzorji** niso konvencionalni, ampak dokaj **nenavadnega izgleda** in predvsem **veliki**. Samo **absorbcijo** pa je moč **pripisati turbulenci zraka**, ki se **vrtinči** ob **robovih difuzorja,** in **gosti razpršenosti refleksij** od vseh teh **površin,** in to s stotinami, tisoči, **stotisoči različnih globin**/sekvenc (efekt piščali).

Kontrolna soba (ali snemalna soba), **narejena skoraj izključno** s kompliciranimi **difuzorji** in dokaj **zapleteno matematično teorijo,** je izjemno **zahtevna** tudi **konstrukcijsko**. Seveda pa nenazadnje **tudi finančno**. Konstrukcija je zahtevala **1.532 MDF** (Medium Density Fiberboard) plošč. Za ta prostor so porabili približno **90 ton MDF**; ko je bil material razrezan na natančne mere, so vgradili **40 ton** tega materiala, ostalo je **odpadek**.

Odmevni čas oz. **reverberacija** tega prostora je ca. **0.25 sek.** od **250 Hz–4 kHz**.

Tla: plavajoči pod in masivni parket.

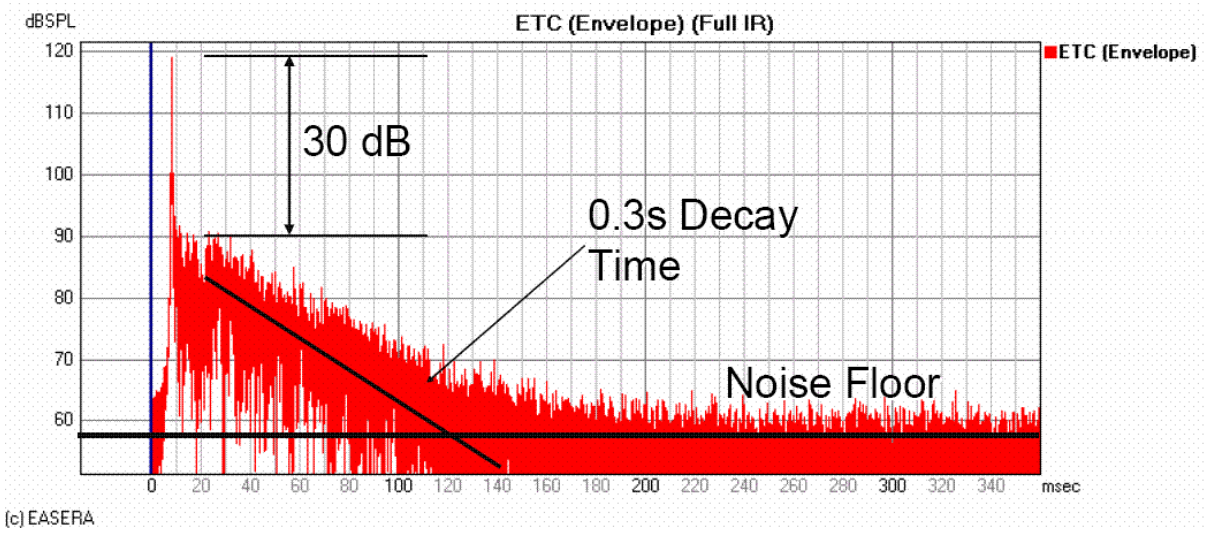
Stene: najdaljša letev je dolga nekaj več kot **9 m**, **sekvenca primitivnega števila**, ki je bila uporabljena za izračun difuzorja, je **138.167,** kar pomeni, da je **138.646 različnih dolžin** letev in zadostuje za vse stenske površine prostora.

Strop: prostor ima še eno **dodatno nadstropje,** namenjeno le **difuzorjem**, palice, ki molijo iz sten, pa so **difraktalni difuzorji**, ki temeljijo na **primitivnem številu 157 – 24.336 različnih dolžin**.
Vse letve so izrezane na **stotinko milimetra natančno** iz materiala MDF.

Koti: **32 difuzorjev,** velikih **1 x 1.5 metra**, princip delovanja je **Fraunhoferjev** izum dr. **Helmuta Fuchsa** in je **pistonsko membranski dušeni absorber**, ki zagotavlja tudi dobro difuzijo, saj je **membrana ukrivljena** in **mikroperforirana** po **BAD** principu.

Učinek: nobena soba naj ne bi imela takšne akustike; človek ima **občutek,** kakor da je »**zunaj**« na »**odprtem**«, a vendar **obenem,** kakor da bi bil v nekem čudnem **velikem prostoru**. V tem prostoru je odlično slišno zvočno in melodično ravnotežje. **Posluša** se lahko tudi povsem **kvalitetno** na mnogo **nižjih** nivojih **glasnosti**. Obenem ko se **posluša glasba,** se lahko skoraj **neovirano pogovarjaš**. **Prostor** se lahko **odlično uporablja** tudi za **snemalni prostor**, **glasbeniki** so mnenja, da se lahko **poslušajo, kako igrajo,** povsem **brez slušalk**. **Povprečen čas** za **adaptacijo** človeka **za delo v njej** naj bi bil samo nekje **20 minut,** kar je mnogo manj kot pri drugih dizajnih. Nekatere moti vizualni vtis, ko vstopijo v prostor, saj se nekaterim zaradi vizualnega efekta zavrti.

To je do sedaj **najkompleksnejši akustični dizajn** kontrolne sobe.



Slika 88: Akustična meritev v poslušalski poziciji
Vir: http://www.rpginc.com

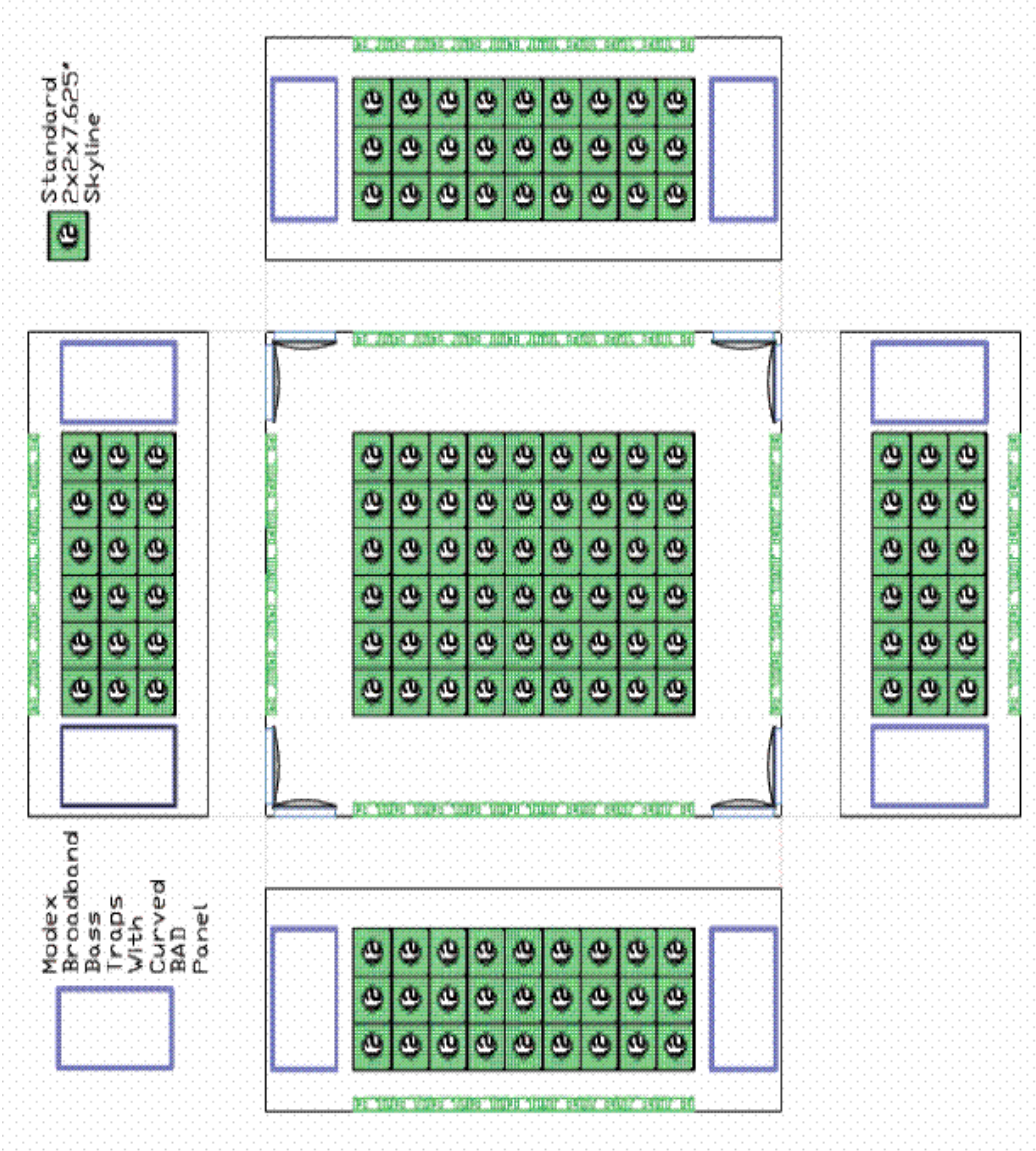
Akustične meritve so pokazale, da je dobljeni rezultat zelo podoben, kot da bi poslušali nekoloriran direkten zvok v anehoični (gluhi) sobi in takoj za njim dodal 30 dB tišje zelo goste refleksije.



Slika 89: Blackbird studios; dizajn George Massenburg Labs – GML soba
Vir: http://www2.digidesign.com/digizine/dz_main.cfm?edition_id=101&navid=907

4.11. Dvajseto stoletje: iRoom; Immersive Surround Environment dizajn

Ta **tip dizajna** še ni praktično uporabljen, saj je še v **fazi raziskovanja**. Zamislili so si ga pri podjetju **RPG** na podlagi **objektivnih** in **subjektivnih**/psihoakustičnih ugotovitev pri prej opisanem **Ambechonic dizajnu**. Raziskuje ga **dr. William Martens** iz McGill univerze. To naj bi bil **praktični princip akustičnega dizajna**, ki bi se lahko uporabljal v mnogo **manjših prostorih** in z dosti **manjšimi stroški** in **kompleksnostjo konstrukcije**.



Slika 90: Shematski prikaz predvidene postavitve akustičnih elementov
Vir: http://www.rpginc.com

iRoom naj bi zagotavljal **kontrolirane modalne frekvence** vse do **40 Hz** z uporabo membranskih ukrivljenih mikroperforiranih diffsorberjev. Na stropu in na vseh štirih stenah pa so uporabljeni 2D difuzorji tipa **Skyline**, ki bi zagotavljali **optimalno uniformno difuzijsko polje** v prostoru za kritično poslušanje. Za **tla** je predvideno, da bodo **refleksivna**.

4.12. Dvajseto stoletje: Front To Back – FTB dizajn

Za na konec še poglejmo enega od **hibridnih dizajnov,** katerega izhodiščna točka je bil **N-E dizajn,** ki so ga **nadgradili**. Poimenovali pa so ga **Front To Back** oz. »od spredaj nazaj«, kar se pomensko **nanaša** na **preusmeritev** moči **radiacije zvoka**, ki ga proizvajajo zvočniki.

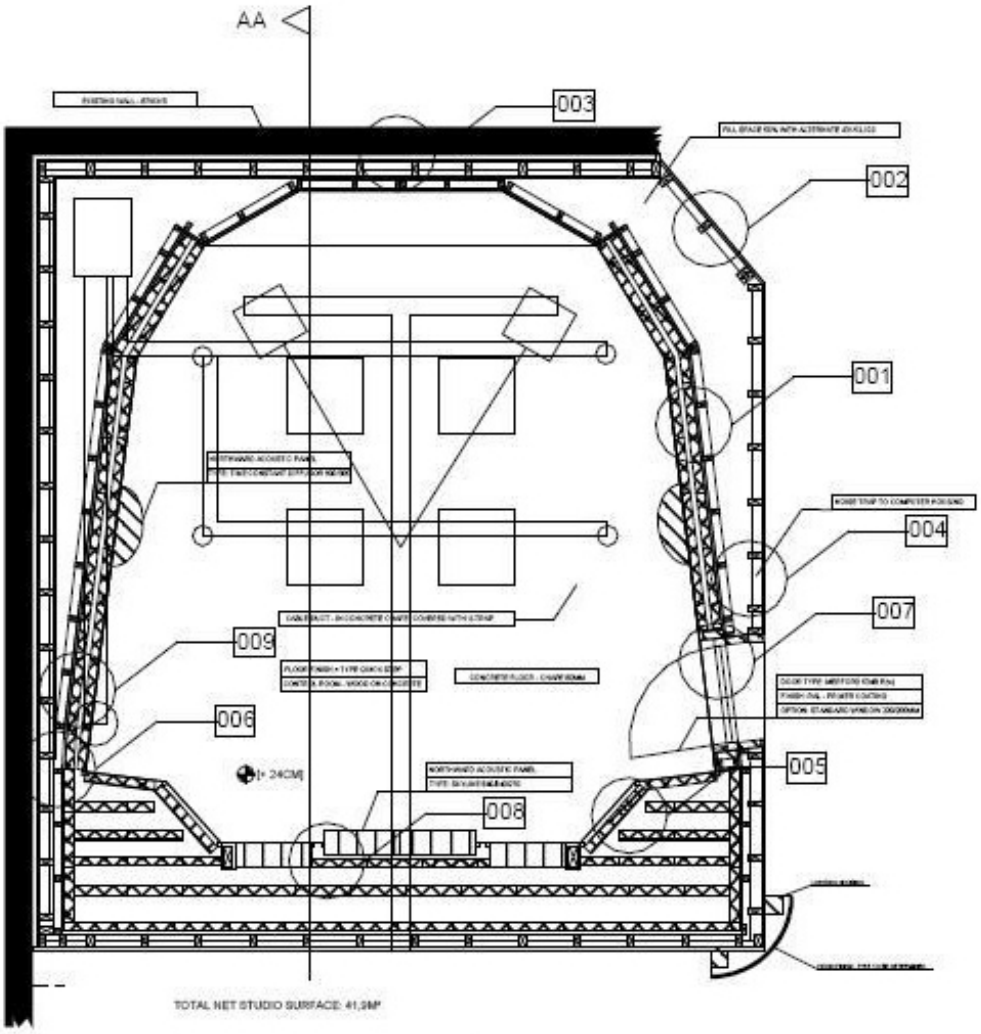
Tako naj bi **sprednja stena** iz **jeklene pločevine,** pred katero so postavljeni zvočniki, bila **refleksivna** za večino frekvenc, **razen** za **zelo nizke,** ki jih določi dizajner glede na tip in dizajn zvočnikov, ipd. Za **nizke frekvence** pa **sprednja stena** iz jeklene pločevine deluje kot **membranski absorber**. Zvočniki naj bi se zelo **podobno obnašali,** kot da bi bili **vgrajeni** v **sprednjo steno**.

Nad pozicijo tonskega mojstra **na stropu** so premišljeno postavljeni **2D difuzorji**, ki omogočajo **difuzirane prve refleksije**. Če je strop bolj nizek (kot na slikah prikazane kontrolne sobe), difuzorji niso tik nad glavo, ampak strateško razporejeni okoli poslušalske pozicije.

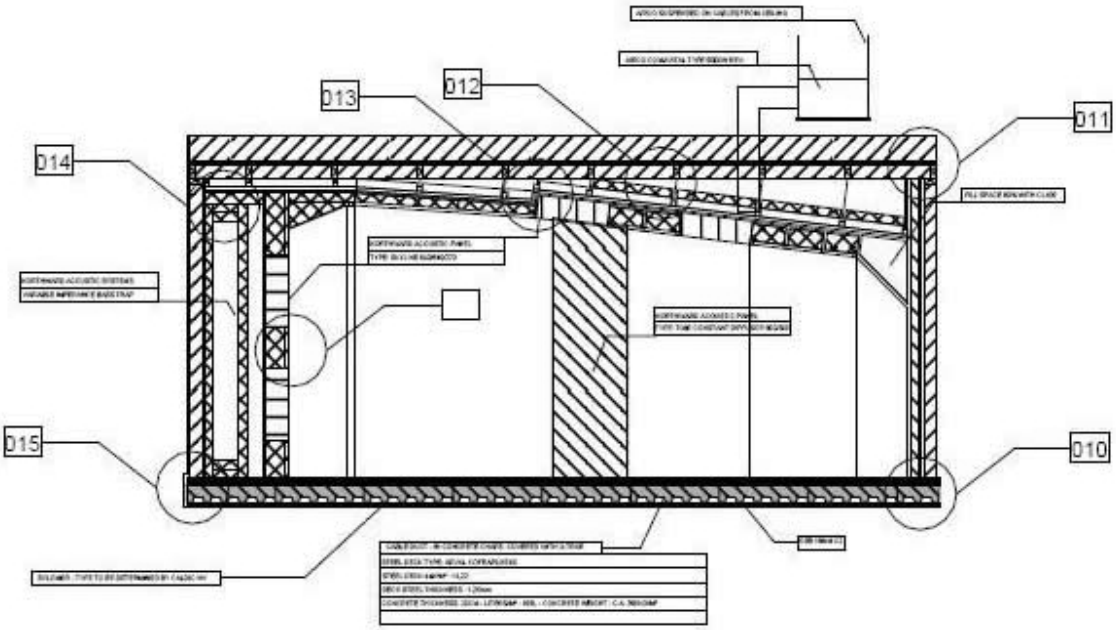
Na **hrbtni steni** so prav tako **2D difuzorji**, ki **omogočajo difuzirane kasne releksije** nazaj v poslušalsko območje in prispevajo k **živosti prostora**.

Stene so **geometrično lomljene,** podobno kot pri RFZ dizajnu. **Školjka prostora** je narejena iz **več plasti različnih materialov** z **različnimi impedancami**, vmes so tudi mavčne stene in različne **membrane** iz asfalta. Tako so dosegli izjemno **absorpcijo** vse do **zelo nizkih frekvenc,** zelo podobno kot N-E princip.

Takšen prostor je še zmeraj skoraj hemi/semi anehoičen (stene in strop so popolnoma absorpcijski, tla pa reflektivna). Torej je **bolj mrtev** prostor in **omogoča** dokaj **analitično delo**. Kako se **takšni tipi** prostorov **izkažejo v praksi,** pa bo **pokazal čas**, ko bo zgrajenih več takšnih kontrolnih sob in jih bo preskusilo več ljudi, ki imajo praktične izkušnje, ter navsezadnje izdelki, ki bodo prihajali iz njih. Ta specifični prostor je projektiralo podjetje Northward Acoustics iz Belgije.



Slika 91: Tloris projekta
Vir: http://www.amsterdammastering.com/building.htm



Slika 92: Stranski ris projekta
Vir: http://www.amsterdammastering.com/building.htm



Slika 93: Končana kontrolna – mastering soba, sprednji del, vidna jeklena sprednja površina
Vir: http://www.amsterdammastering.com/building.htm



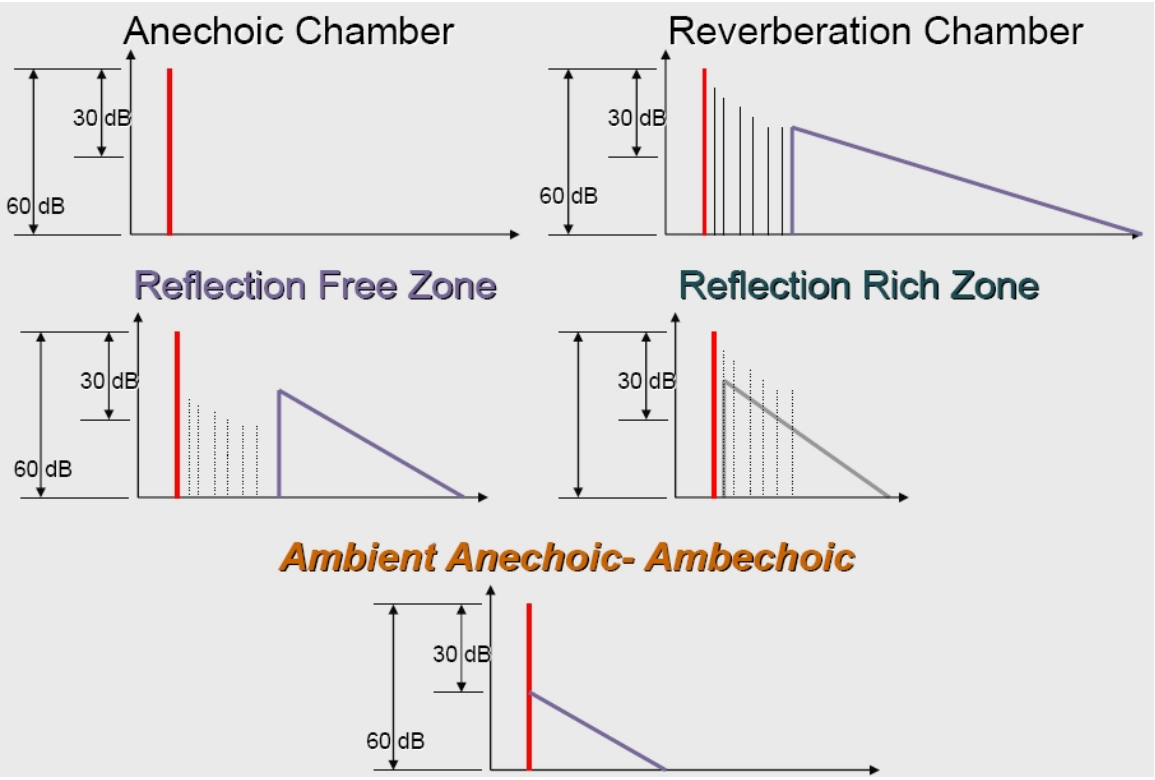
Slika 94: Zadnja stena in 2D difuzorji
Vir: http://www.amsterdammastering.com/building.htm

5. POVZETEK O AKUSTIČNIH DIZAJNIH

Vsak tip **akustičnega dizajna** ima svoje **pluse** in **minuse** ali pa še niso dovolj razširjeni in v komercialni rabi, da bi lahko dokazali svojo premoč. Navsezadnje je **zmeraj** tu tudi prisoten **individualen okus posameznika,** kljub dognanjem v splošni psihoakustiki.
Vsak človek ima očitno tudi nekoliko individualno psihoakustiko.

Ne povsem **mrtev prostor** ne »čudežne« digitalne EQ kalibracije ne morejo omogočiti dobrega univerzalnega poslušalskega prostora. Obstajati mora neke vrste naravna, instinktivna, organska **interakcija med poslušalcem** ter **dobro akustiko prostora. Akustiki še naprej raziskujejo in izpopolnjujejo ugotovitve.**

Glede tega, kakšna naj bi bila akustika prostora za kritično poslušanje oziroma kako določen tip akustičnega dizajna omogoča, da naši možgani zaznavajo zvok kolikor se da nevtralno in univerzalno, se bo še marsikaj spreminjalo, prilagajalo in razvijalo.



Slika 95: Obnašanje direktnega zvoka, ranih in kasnih refleksij v različnih akustičnih tipih prostorov
Vir: http://www.rpginc.com

6. ZAKLJUČEK O AKUSTIKI

Akustika je **veja fizike**, ki **podlega zakonom narave,** in brez »pravilnega« pristopa ne bomo **dobili prostora** in s tem zvoka v njem, kakršnega želimo, oziroma prostora, ki bi bil **čim bolj nevtralen** in **univerzalen,** karkoli to že pomeni. Tukaj nam tudi **računalniki** z vso svojo močjo **ne morejo pomagati**. Celo fizični principi različnih akustičnih dizajnov ne omogočijo rešitev vseh problemov na idealen način.

Vsake toliko se porodi kakšna ideja v glavah računalniških programerskih timov. Iščejo **bližnjice,** kako bi **nadomestili finančne** in **konstrukcijsko ter fizično zahtevne podvige**. Kar nekaj izdelkov je na tržišču (npr. digitalna kalibracija zvočnikov glede na pomanjkljivost prostora), a so **daleč od uspešnih**. Sicer pa so **podobne ideje** že nastajale v začetkih **petdesetih** in šestdesetih **letih**, ko so skušali s pomočjo preprostih frekvenčnih izenačevalnikov (EQ) zvoka popraviti frekvenčne diletacije skozi zvočni spekter, pa so **vedno znova ugotavljali**, da jim **takšne rešitve ne odgovarjajo**.

Vendar je v evolucijski naravi človeka izumljati vedno nekaj novega in morda bomo nekoč lahko nekako zaobšli fizični svet in njegove fizikalne zakonitosti in ga popolnoma prenesli v digitalnega...

7. LITERATURA IN VIRI

7.1. Literatura

1. Ballou, Glen: Handbook for Sound Engineers, Howard W. Sams & Co., 1991
2. Cox, Trevor in D'Antonio Peter: Acoustic Absorbers and Diffusers, Second Edition, Taylor & Francis, 2009
3. Everest, Alton F.: The Master Handbook of Acoustics, McGraw-Hill, 2001
4. Gervais, Rod: Home Recording Studio: Build It Like the Pros, Thomson Course Technology PTR, 2006
5. Newell, Philip:Recording Studio Design, Second Edition, Elsevier Ltd. & Focal Press, 2008

7.2. Viri s spleta

1. http://www.acoustics.salford.ac.uk/student_area/bsc3/room_acoustics/Design2%20%20requirements%20for%20small%20rooms.doc - 17.11.2006
2. http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/reports/index.shtml - 17.11.2006
3. http://www2.digidesign.com/digizine/dz_main.cfm?edition_id=101&navid=907 – 17.11.2006
4. http://www.electroacoustics.co.uk -17.11.2006
5. http://en.wikipedia.org/wiki/Chinese_remainder_theorem -17.11.2006
6. http://en.wikipedia.org/wiki/Helmholtz_resonator -17.11.2006
7. http://en.wikipedia.org/wiki/HVAC - 17.11.2006
8. http://www.ethanwiner.com/acoustics.html - 17.11.2006
9. http://forum.studiotips.com – 17.11.2006
10. http://forum.studiotips.com/viewtopic.php?p=5570 – 17.11.2006
11. http://www.gearslutz.com/board/studio-construction-acoustics - 1.5.2009
12. vir: http://www.hunecke.de/en/calculators/room-eigenmodes.html - 7.7.2007
13. http://www.johnlsayers.com/phpBB2/index.php - 17.11.2006
14. http://www.jstage.jst.go.jp/article/ast/26/2/90/_pdf -17.11.2006
15. http://www.mh-audio.nl/Helmholtzabsorber.asp -17.11.2006
16. http://www.moultonlabs.com/comments/36 - 17.11.2006

17. http://www.moultonlabs.com/more/real_world_of_project_control_room_monitoring/P3 - 17.11.2006
18. http://www.nagata.co.jp/news/news0505-e.htm -17.11.2006
19. http://www.nagata.co.jp/news/news0507-e.htm -17.11.2006
20. http://www.planetaudio.si – 17.11.2006
21. http://www.realtraps.com – 17.11.2006
22. http://www.realtraps.com/videos.htm - 17.11.2006
23. http://www.rpginc.com – 17.11.2006
24. http://www.rumski.com/forum - 1.5.2009
25. http://www.sfu.ca/sonic-studio/handbook/Precedence_Effect.html - 3.6.2008
26. http://sl.wikipedia.org/wiki/Akustika - 17.11.2006
27. http://www.soundonsound.com/sos/1997_articles/jan97/controlrooms.html - 17.11.2006
28. http://www.waisman.wisc.edu/~litovsky/papers/1999-3.pdf - 1.5.2009
29. http://www.walter-fendt.de/ph14yu/stwaverefl_yu.htm - 1.5.2009

7.3. Predlagani spletni forumi za avdio entuziaste

1. http://forum.studiotips.com
2. http://www.gearslutz.com/board/studio-construction-acoustics
3. http://www.johnlsayers.com/phpBB2/index.php
4. http://www.planetaudio.si/portal/index.php?showforum=13
5. http://www.planetaudio.si/portal/index.php?showforum=34
6. http://recforums.prosoundweb.com/index.php/f/44/0/
7. http://www.rumski.com/forum/forumdisplay.php?f=93