

Универзитет уметности у Београду

Факултет музичке уметности

Катедра за камерну музику

мр Соња Лончар

***Хибридни дуо – нови простори савременог извођаштва
у ансамблу клавирски дуо***

Докторски уметнички пројекат

Ментор: др ум. Дејан Суботић, ванредни професор

Коментор: др Весна Микић, редовни професор

Београд, 2017.

САДРЖАЈ

1. Увод	3
2. Од клавира до хибридног клавира	4
2.1 Клавир.....	4
2.2 Препарирани клавир.....	5
2.3 Први електронски инструменти.....	8
2.4 Напонски контролисани синтисајзери.....	12
2.5 Дигитални синтисајзери.....	16
2.6 МИДИ технологија.....	17
2.7 Употреба синтисајзера у оквиру клавирског дуа.....	18
3. Хибридни клавир	23
4. Квантна музика	28
5. Генерисање квантних звукова	30
6. Мултимедијални концерт	37
7. Суперпозиција	53
8. Закључак	57
9. Литература	59

1. УВОД

У свом вишегодишњем раду као члан ансамбла *ЛП Дуо*¹ била сам у прилици да истражим најразличитије музичке жанрове и стилове. Заједно са Андријом Павловићем основала сам овај дуо са жељом да заједно истражимо могућности свирања у клавирском дуу. Од почетка нашег заједничког рада учили смо један од другог. Наша комплементарност нам је увек помагала да брже савладамо проблеме на које смо наилазили и тако брже напредујемо. Четворогодишње постдипломске студије у Немачкој, које су биле специјализоване баш за клавирски дуо, су углавном биле резервисане за истраживање класичне литературе. До двадесетог века литература за овакав ансамбл није толико великог обима, тако да смо интензивно истраживали и дела савремене музике за два клавира. Савремена музика и јесте увек била област која нам је била најзанимљивија, али до тога смо, као ансамбл, дошли поступно и постепено. Када смо заронили у литературу двадесетог века, почели смо полако да истражујемо другачије технике свирања, другачију употребу самог инструмента (нпр. препарирање клавира), као и коришћење електронских инструмената (нпр. ринг модулатори у извођењу композиције *Мантра* Карлхајнца Штокхаузена/ Karlheinz Stockhausen, аналогни и дигитални синтисајзери). Овакав истраживачки пут нас је водио овладавању техникама свирања потпуно нових инструмената, употребу компјутера (софтвери и МИДИ технологија), аранжирању старих и нових дела за нове инструменте и на крају и само компоновању за ове нове инструменте. Сарадња са различитим научницима, инжењерима и квантним физичарима, нас је одвела у изградњу новог инструмента, који смо назвали *Хибридни клавир*.

У овом истраживачком тексту, делу докторског уметничког пројекта, бавићу се развојем ансамбла *ЛП Дуо*. Преко кратке историје електронских инструмената са диркама и нашег искуства свирања на оваквим инструментима, објаснићу како и зашто смо преко међународног пројекта *Квантна музика* дошли до идеје да направимо савршени инструмент за наше потребе, са жељом да нађе свој пут независно од нас,

¹ www.lpduo.com

зато што сматрамо да има такав потенцијал. То је инструмент који је на неки начин сабрао сва наша досадашња знања и искуства. Уз помоћ нових сазнања које смо стекли из области квантне физике и уз помоћ искуства свирања на новом инструменту, приказашу размишљања која су нас довела до нових приступа аранжирању и компоновању музике, а посебну пажњу посветићу новим начинима интерпретације које смо развили специјално за хибридни клавир. Нови простори савременог извођаштва односе се на могућност да прихватимо нове принципе који су нам помогли да на другачији начин развијамо наш ансамбл.

2. ОД КЛАВИРА ДО ХИБРИДНОГ КЛАВИРА

У овом поглављу ћу писати о развоју инструмената са диркама. Кроз кратку историју упознаћемо се са различитим механизмима који су се употребљавали и покушаћу да објасним како и зашто је за нас било неопходно конструисати нови инструмент - *Хибридни клавир*.

2.1 КЛАВИР

Клавир је настао као наследник чембала, клавикорда и других некадашњих инструмената са диркама. Изумитељем клавира сматра се Бартоломео Кристофори (Bartolomeo Cristofori), који је први прототип инструмента направио 1720. године, тако што је уместо механизма гавранових пера која окидају жицу направио систем чекића који звук производе ударцем о жицу. Тиме је први пут постало могуће динамичко нијансирање на клавијатурном инструменту које зависи од јачине удара прста на дирку. До тог момента, окидањем жице преко механике дирки постизала се само једна јачина тона. Због ове иновације, први клавири су се и називали „piano e forte“ (итал. *piano e forte* - тихо и гласно).

Јохан Андреас Штајн (*Johann Andreas Stein*) и Готфрид Зилберман (*Gottfried Silbermann*) направили су додатна побољшања, а педалу и делимично метални оквир је први пут представила компанија *Broadwood* у Енглеској, 1821. године. Ова побољшања, као и неколико других мањих изума, употребљена су у компанији Стенвеј 1850-их година. Од тада није дошло до значајнијих промена у производњи клавира. До данашњег дана није направљен сличан нови акустични инструмент са диркама, изузев Тој Пијана (Тоу Риано), клавира играчке, који је испрва највише био заступљен у тзв. експерименталним музичким праксама, а данас све више и изван њих. Први овакав инструмент направљен је средином 19. века. Уместо жица Тој Пијано има металне плочице у које ударају чекићи. Многи композитори су компоновали за овај инструмент², а највише током 20. века.

2.2 ПРЕПАРИРАНИ КЛАВИР

Иако можда није било кључних технолошких промена, свирање на клавиру је ипак доживело различите трансформације. Осим технике свирања која се логично мењала пратећи друштвене промене (попут индустријализације, урбанизације) које су ”отвориле” нове просторе у којима су се одржавали концерти и ”подстакле” настанак нових дела са другачијим техничким захтевима, композитори су почели да експериментишу са унутрашњошћу клавира, стављајући различите предмете између жица. Препарацијом клавира добијамо потпуно нови спектар звукова где је могуће мењати висину тонова, динамику као и саму боју звука. У истраживачком раду *ЛП Дуа*, експерименти са препарирањем клавира заузимају посебно место као велика инспирација истраживања могућности употребе овог инструмента.

Овакву употребу клавира први је прославио Џон Кејџ (*John Cage*). Године 1939. Кејџ се сусрео са ситуацијом у којој је требало је да обезбеди ударалке за групу плесача, али је

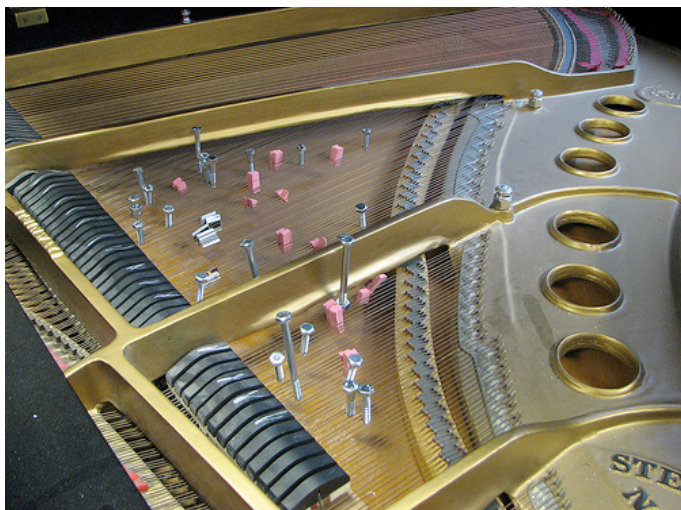
² Џон Кејџ (*John Cage*), Карлхајнц Штокхаузен (*Karlheinz Stockhausen*), Бернд Визман (*Bernd Wiesemann*), Ратко Делорко (*Ratko Delorko*), Андреас Кунштајн (*Andreas Kunstein*), Френк Шолцен (*Frank Scholzen*), Јоаким Херболд (*Joachim Herbold*), Карлос Круз де Кастро (*Carlos Cruz de Castro*), Франциско Естевез (*Francisco Estevez*), и други.

простор за инструменте био сувише мали да би се прилагодио великом ансамблу са којим је радио у то време. Инкорпорирао је идеје из експеримената композитора Хенрија Кауела (Henry Cowell), који је први започео истраживање коришћења унутрашњости клавира. Иако је клавир званично сврстан у групу перкусионистичких инструмената, већина људи клавир више доживљава као лирски инструмент, а препарација мења основни звук клавира тако да га више приближава перкусивном звучању.

Препарација (припрема) клавира се врши према врло специфичним упутствима композитора и у зависности од предмета који се користе, од ког су материјала направљени, где су постављени између жица и на којем растојању се налазе од чекића, могуће је произвести огроман распон звукова. Слушање композиција за препарирани клавир по први пут представља необично искуство. Публика види клавир, али чује потпуно неочекиване звукове³. Поред Џона Кејца неки од најзначајнијих композитора који су написали музику за препарирани клавир су Лу Херисон (Lou Harrison), Полин Оливерос (Pauline Oliveros), Џејмс Тени (James Tenney) и Кришчан Волф (Christian Wolff).

Имала сам прилику да у оквиру *III Два* изведем две композиције Џона Кејца на препарираним клавирима, *Three Dances* и *The Book of Music*. Због непоседовања адекватних инструмената, прва фаза припреме и вежбања се одвијала на пијанинима које је било немогуће препарирати на начин на који је то композитор осмислио. Ове веома виртуозне композиције вежбали смо са „нормалним“ звуком клавира. Врло брзо смо схватили да то нема никаквог смисла, зато што су без препарације ове композиције у сваком смислу звучале апсолутно „погрешно“. Док смо се бавили проналажењем адекватних инструмената (концертних клавира) за вежбање, почели смо да прикупљамо материјал неопходан за препарацију. За сваки тон постоје прецизне инструкције за материјале које је било потребно поставити између жица. То су шрафови најразличитијих димензија и облика, гуме различитих дужина и дебљина и бамбусове трске.

³ Посебно истичем ову чињеницу, јер ће управо оваква врста чулног искуства бити важна не само нама, него и у случају развоја електроакустичких "варијанти" клавијатурних инструмената.

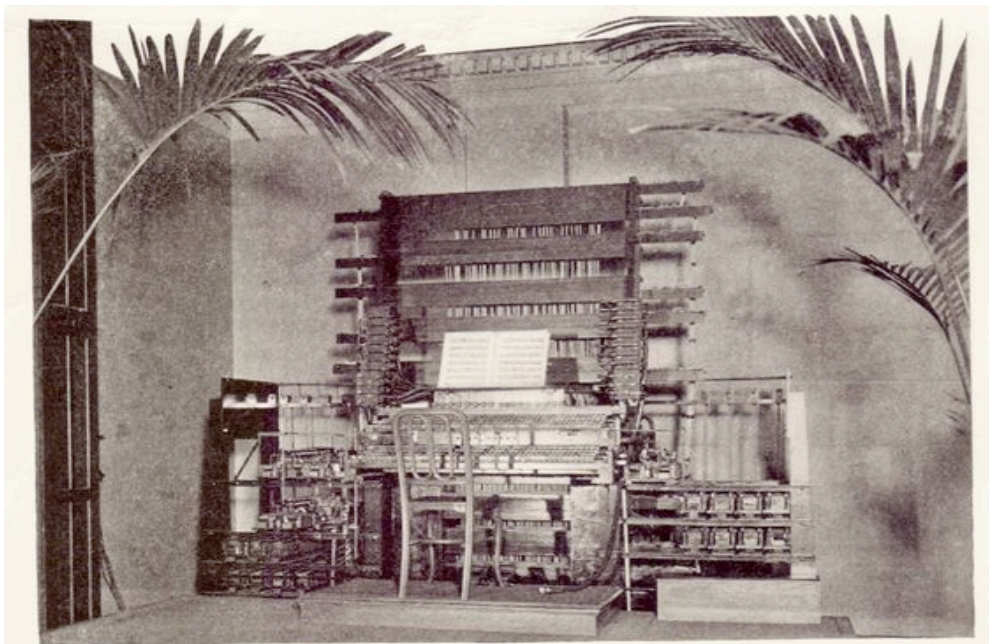


Пример 1: Препарација клавира за композицију „*Three Dances*“ (John Cage)

За препарацију композиције *Three Dances* било је потребно око три сата, зато што је осим прецизираних димензија материјала била наглашена и различита удаљеност ових предмета од самих чекића. Сви ови детаљи утичу на звук и боју и инструмента и било је потребно прецизно поставити све елементе у клавир. Иако је Кејџ све детаљно написао и испланирао, препарирани клавир ће сваки пут звучати мало другачије, што зависи од самог инструмента, али и од самог извођача. Сваки извођач мора у односу на композиторове инструкције да пронађе сопствени звук инструмента. Осим што је свако од нас пажљиво тражио свој индивидуални колорит, морали смо да водимо рачуна да у дијалогу два клавира не дође до „поништавања“ појединих фреквенција када свирамо одређене тонове у исто време. Морали смо да подешавамо препарације тако да буду комплементарне да би у заједничком сазвучју сви тонови могли да се чују. Ова дела смо извели више пута и реакције публике која није била унапред припремљена и упозната са техником препарације клавира је увек била слична. Након концерата, долазили су на сцену да виде шта се то налази у инструменту и на који начин је значајно промењен основни звук клавира. Када су видели гомилу шрафова, гумица и бамбусових трски, остајали су потпуно збуњени, није им било јасно како ови „прости“ предмети толико снажно мењају основни звук. Потпуно исту реакцију публике имали смо и када смо свирали *Хибридне клавире*, али о томе ћу писати више у наредним поглављима.

2.3 ПРВИ ЕЛЕКТРОНСКИ ИНСТРУМЕНТИ

Занимљиво је да су најранији експерименти са електронским инструментима започети већ у 19. веку. Амерички проналазач по имену Тедијус Кејхил (Thaddeus Cahill) је 1897. године увељико радио на инструменту познатом као Телхармонијум (Telharmonium) или *Dynatophone*.



Пример 2: *Telharmonium*

Радио је на парни погон уз помоћ дванаест електромагнетних генератора и био је тежак двеста тона. Звукови су настајали у реалном времену, дирке су биле осетљиве на динамику, а оно што је најзанимљивије, могао је да истовремено генерише неколико различитих звукова. Овај инструмент је на више начина био претеча савремене електронске музичке опреме иако је као средство преноса звука користио обичне телефонске пријемнике. Телхармонијум је први пут представљен јавности 1906. године.

Руски проналазач Лав Теремин (Leon Theremin) је имао другачији приступ. Током 1919. године направио је инструмент Теремин који је производио звук без додиривања инструмента. Овај монофони инструмент састоји се из кутије у којој се налази

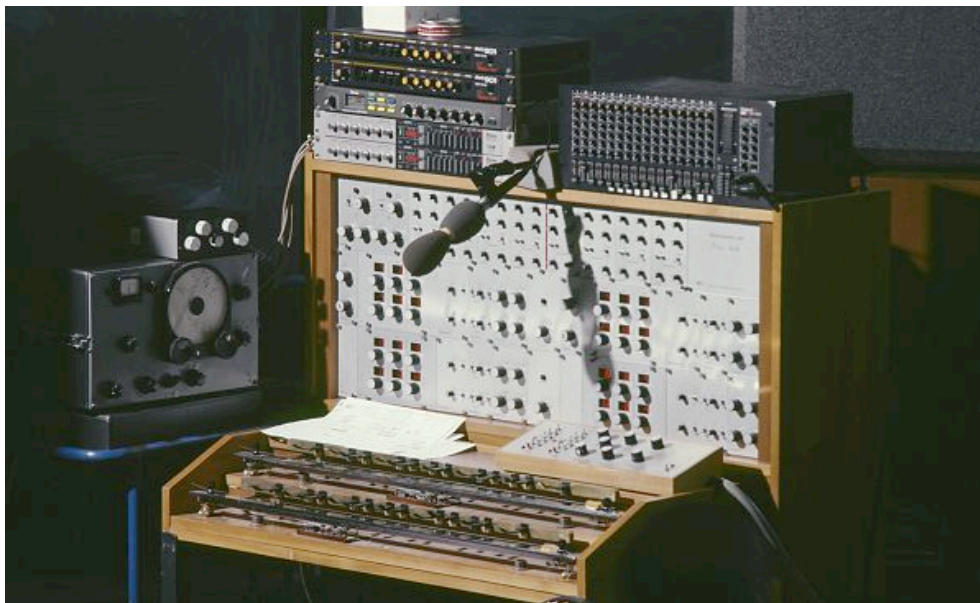
електрично коло и две антене, једна постављена вертикално, а друга хоризонтално. Извођач је померао руке у електростатичком пољу између антена, а фреквенција, односно висина тона је зависила од положаја руку. Информације самих покрета су генерисале одређене тонове.



Пример 3: *Leon Theremin са својим инструментом*

Теремин је могао да произведе било који тон из свог опсега, али ова необичајена техника га је чинила врло тешким за прецизно свирање. Његова специфична боја постала је омиљена у бројним хорор филмовима. Француз Морис Мартено (Maurice Martenot) је осмислио веома сличан монофони инструмент Мартеноове таласе (Ondes Martenot) 1928. године. Метода генерисања звука у његовој последњој верзији је била је скоро идентична као код Теремина, али се у најранијој инкарнацији свирао повлачењем жице напред и назад.

Током 1930-их у Берлину, Фридрих Траутвајн (Friedrich Trautwein) и Оскар Зала (Oskar Sala) су радили на инструменту који су назвали Траутонијум (Trautonium). Уместо клавијатуре имао је жице изнад металне плоче која је притиснута тако да производи звук. У зависности од способности и виртуозитета извођача, могао је да производи звукове који су подсећали на гудачке инструменте или *fretless* гитару. Оскар Зала је наставио да развија инструмент током целог свог живота живота и 1952. године осмислио унапређену верзију коју је назвао Микстраутонијум (Mixturtrautonium).



Пример 4: *Mixturtrautonium*

Могао је да производи два звука у исто време и користио га је за компоновање музике у многим филмовима, а један од најпознатијих је ремек дело Алфреда Хичкока (Alfred Hitchcock), филм *Птице*. У филму нема конвенционалне музике али сви звуци птица и лепета крила су настали на овом инструменту. Чувени немачки композитор Паул Хиндемит (Paul Hindemith) је такође компоновао за Микстраутонијум.⁴

Сви дотадашњи изуми су били дизајнирани тако да производе звук у реалном времену, али су заправо ”третирани” као традиционални инструменти, односно као нека врста побољшања већ постојећих инструмената. Међутим, већ почетком двадесетог века појавили су се први музички инструменти који комбинују електронске генераторе звука

⁴ Paul Hindemith: *Langsames Stück und Rondo*, <https://www.youtube.com/watch?v=F9JFJe0AGzE>

и секвенцере. Прво овакво достигнуће представили су француски инжењери Едуар Копле (Edouard Coupleux) и Жозеф Живле (Joseph Givelet) 1929. године и прикладно су га назвали *Automatically Operating Musical Instrument of the Electric Oscillation Type*. Ово је био први музички инструмент који за који је био употребљен термин „синтисајзер“.

“Синтисајзер“ као званични термин је уведен 1956. године у имену инструмента *RCA Electronic Music Synthesizer Mark I*, који су развили амерички инжењери Хери Ф. Олзон (Harry F. Olson) и Херберт Белар (Herbert Belar). *Mark I* је имао банку од дванаест осцилатора који су користили електронске цеви да генеришу дванаест тонова хроматске скале. Основни звукови су се обликовали кроз пропуснике ниских и високих фреквенција, филтере овојнице, модулаторе и резонаторе.



Пример 5: *Electronic Music Synthesizer Mark I*

У крајњем резултату је могао да свих дванаест тонова хроматске лествице преобликује у било који други звук који можемо да замислимо. Бар у теорији. У пракси, било је лако направити „чудне“ или „ванземаљске“ звукове, могли су се имитирати неки инструменти, али је било немогуће направити рецимо звук сличан људском гласу или звуке сличне дискретним прелазима између тонова као рецимо на виолини, тромбону или сличним инструментима. Био је компликован за коришћење, а импровизација је била немогућа. Ипак, *RCA Electronic Music Synthesizer Mark I*, демонстриран 1955. године, био је импресиван.

Развој инструмената са диркама логично је водио у све више експеримената са електроником и већ 1920. године су настали први аналогни синтисајзери, а почетком 1960. их година и први *VCA* синтисајзери који ће значајније одредити ток нових инструмената са диркама.

2.4 НАПОНСКИ КОНТРОЛИСАНИ СИНТИСАЈЗЕРИ - *The Voltage Control Analog Synthesizer* (VCA)

Крајем 1963. године, амерички иноватор Роберт Муг (Robert Moog) састао се са композитором Хербертом Дојчом (Herbert Deutsch), који га је инспирисао да комбинује напонски контролисан осцилатор и амплификациони модулатор са клавијатуром. Годину дана касније настаје први прототип синтисајзера који контролише напон. Ова сарадња са немачким музичаром подстакла је Муга да прошири свој асортиман модула и да их комбинује у целокупне системе. Међутим, тек 1967. године Муг је за свој новонастали инструмент употребио термин „синтисајзер“.

Употреба речи “синтисајзер” заправо нема никакве везе са правом природом оваквих инструмената. Аналогни синтисајзери не “синтетишу” друге звуке, и њихов назив је више део концептуалне забуне која је у индустрији и продаји тако названа зато што „опонаша“ традиционалне акустичне звукове. Иако је овај назив прилично погрешан, постао је општеприхваћен због диктата индустрије и лакшег препознавања производа који се продаје. У стварности, аналогни синтисајзери су заправо збирка генератора шума, филтера, ринг модулятора, осцилатора, миксера и контролних уређаја упакованих у модуларни или интегрисани образац. Генератори производе електрични сигнал који кроз модификатор пролази у миксер или појачало и тако производи звук који чујемо на звучницима. Ови извори контроле напона (*voltage controls*) могу бити клавијатура, трака (*ribbon controller*) или било који други конвертибилни извор напона.

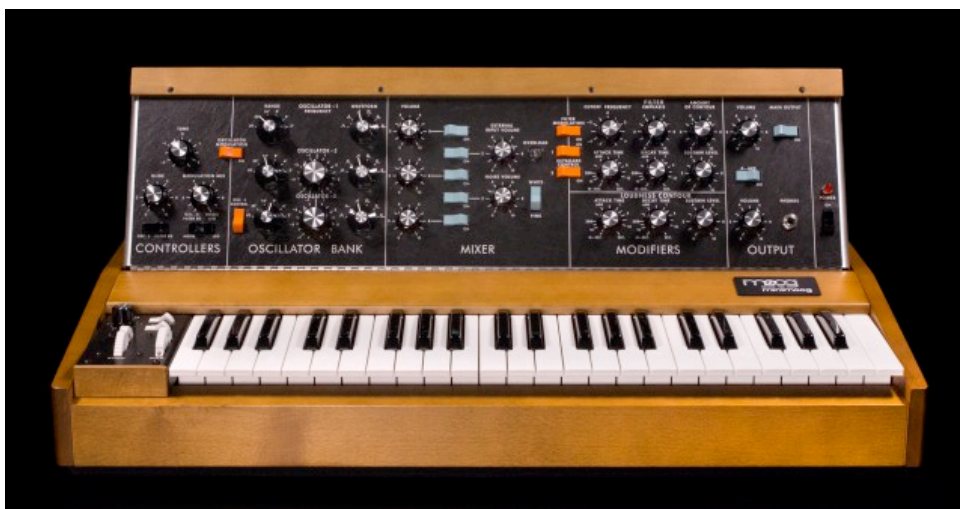
На самом почетку развоја електронске музике, различити електронски звучни генератори, модификатори и контролни уређаји су се могли наћи само у професионалним студијама, пре свега због своје гломазности.



Пример 6: *Moog System 55 (проширена верзија)*

Идеја је била да се обезбеди овакав систем на мањој површини, који може служити композиторима у њиховим личним студијима, али и за наступе уживо, а има приближан технички квалитет. Концепт модуларности који је обично био повезан са аналогним синтисајзерима први је започео Харолд Боде (Harold Bode) који је 1960. завршио изградњу првог *modular sound modification* система.

Муг је убрзо схватио да су модуларни синтисајзери били сложени и скупи за просечног музичара. Године 1969. је заједно са групом инжењера дизајнирао преносив, приступачан и једноставан монофони синтисајзер *Minimoog Model D* који се појавио у продавницама 1970. године.



Пример 7: *Minimoog Model D*

Без измене у свом основном дизајну, тринаест хиљада ових синтисајзера је продато широм света, све до 1981. године. Након тога, Роберт Муг је даље усавршио овај систем и постао један од најзначајнијих градитеља ове врсте инструмената.

Иако је и по својој компатибилности и преносивости овај инструмент револуционаран, музичари који су га користили нису били у потпуности задовољни. Више нису морали да се боре са кабловима помоћу којих су стварали звук на модуларним синтисајзерима, али и даље је ту била гомила потенциометара и прекидача за контролу и да би се прешло са једног звука на други. Музичарима из области уметничке али и популарне музике је постало једнолично свирање монофоних мелодијских линија – желели су да свирају акорде.

У покушају да се задовоље ови захтеви, појавиле су се две школе размишљања у дизајну синтисајзера. Први приступ захтевао је употребу одвојених монофоних синтисајзера распоређени по диркама на клавијатури. Иако је ова врста инструмената била потпуно полифона и све дирке на клавијатури су биле одвојене и могле су се чути истовремено, овај систем је још увек био компликован за коришћење. Први потпуно полифони синтисајзер који је био конструисан по овом принципу, *Moog Polymoog*, представљен је 1975. године и имао је имао је дирке осетљиве на динамику.



Пример 8: *Moog Polymoog*

У другом приступу полифоном генерисању звука, одређени синтисајзер био је додељен дирци само када је притиснута. Још 1973. америчка компанија *E-mu Systems* представила је *Modular Keyboard System Series 4050*, дигиталну клавијатуру која се повезивала са максимално десет монофоних синтисајзера и тако стварала полифонију од десет гласова. Проблеми са овим приступом су били очигледни – врло мали број људи је поседовао десет синтисајзера, а количина времена и труда у програмирању поставки за нови звук била је огромна.

Дигитална меморија је још увек чекала да се развије. Еволуција полифоних синтисајзера захтевала је одређене особине које су могле пружити само дигиталне клавијатуре. Без добробити дигиталне технологије, рани покушаји складиштења звукова укључивали су сувише компликована решења. На пример, синтисајзер са аналогним програмирањем је захтевао у сваком меморијском слоту све елементе контроле инструмента.

Први синтисајзер са слотовима за складиштење звукова који су спроведени на овај начин био је *GXI*, који је направила компанија *Yamaha* 1975. године. Елементи контроле за системске слотове за складиштење звукова су били толико мали да их је било могуће подешавати само уз помоћ помоћу шрафцигера и сложених алатки – програмера и компаратора.

Тек 1978. године проблем је био решен на задовољавајући начин. Полифони *Prophet 5*, који је направила америчка компанија *Sequential Circuits*, је био први синтисајзер на свету са централном банком звукова. Сва подешавања за сваки од својих пет монофоних синтисајзера су била у меморијским слотовима. Свих пет синтисајзера је чинило један кориснички интерфејс, што је значајно поједноставило ствари. Упркос својој почетној цени која била веома висока, овај инструмент се показао изузетно популарним. Поред дигитално имплементираних полифоније и меморије, успех синтисајзера *Prophet 5* се може приписати изванредном квалитету аналогног система за генерисање звука.

2.5 ДИГИТАЛНИ СИНТИСАЈЗЕРИ

Даљи ток развоја синтисајзера водио нас је у спајање ових инструмената са компјутерима и добили смо потпуно нов начин производње звукова. Супротно аналогним синтисајзерима, новонастали дигитални синтисајзери користе дигиталну обраду сигнала у самом настајању („синтетизовању“) звука. Број гласова који су дигитални синтисајзери могли да генеришу више није зависио од броја уграђених монофоних синтисајзера. Уместо тога, полифонија у потпуности зависи од могућности рачунара који их напајају.

Први програм који је у потпуности емулирао стварање звука помоћу компјутера био је *Music I*, кога је написао амерички програмер Макс Метјуз (Max Mathews) 1957. године. Иако је био повезан са можда најмоћнијим компјутером у том тренутку, *IBM 704*, његова једина функција је била израчунавање таласа тестерастих таласа (*triangle wave*) али и то није било могуће у реалном времену. Овај недостатак капацитета за производњу звука у реалном времену је разлог због чега је рана дигитална технологија коришћена искључиво за потребе контроле и складиштења у комерцијалним синтисајзерима.

The Synclavier, синтисајер направљен 1976. године од стране компаније *New England Digital Corporation* (NED), је био први синтисајзер са комплетно дигиталном поставком. Био је базиран на специјализованом процесору који су произвођачи сами направили. Ипак, иако је овај инструмент постигао велики технолошки скок у односу на дотадашње синтисајзере, због своје превисоке цене није био доступан већини заинтересованих. Алтернативно решење је било коришћење процесора опште намене, конструисане од стране произвођача рачунарске технологије. Ови процесори, специјално дизајнирани за операције које се користе у аудио процесингу, су се звали *digital signal processors* (DSP). Синтисајзер марке *Peavey* (DPM-3) је био први синтисајзер базиран на ДСП технологији. Био је полифон (до шеснаест тонова) и имао је интегрисан секвенцер и фабричке сетове боја (звукова).

Друго решење је била производња синтисајзера који су били повезани са екстерним рачунарима, што је због доступности кућних рачунара постало могуће. Тај принцип се задржао и до данас, и уз помоћ МИДИ технологије, употребе аудио картице и

одређених софтвера, уз повезивање са кућним рачунаром, могуће је манипулисати непрегледним банкама звукова.

2.6 МИДИ ТЕХНОЛОГИЈА

Musical Instrument Digital Interface (MIDI) представља дигитални језик комуникације и компатибилних спецификација који омогућава вишеструким хардверским и софтверским електронским инструментима, контролерима, рачунарима и сличним уређајима да међусобно комуницирају. MIDI се користи за пребацивање контроле извођења (свирање клавира, одабир врсте звука, варирање модулационог точка, активирање визуалног ефекта, итд.) у еквивалентне дигиталне поруке и исте преноси осталим MIDI уређајима, где се могу користити за контролу генератора звука и осталих контролних параметара. Лепота MIDI-ја је у томе што се информације чувају на хардверском уређају или софтверском програму, где се могу касније дорађивати и преносити електронским инструментима или другим уређајима за прављење музике. Поред компоновања и извођења, музичари такође имају комплетну контролу над огромном палетом звука, њиховим бојама (звуча и тонског квалитета), укупним претапањем (нивоа, пановања) и осталих контрола у реалном времену. MIDI се такође користи за мењање перформансних и контролних параметара електронског инструмента, уређаја за снимање, контролних уређаја и процесора сигнала у студију. Коришћењем MIDI технологије, свим електронским инструментима и уређајима који се налазе у тој мрежи је омогућен пренос путем MIDI порука ка вишеструким инструментима тј. уређајима. Ово је могуће због тога што је један сигнални кабл способан за пренос перформанси и контролних порука у максимално шеснаест канала. Коришћењем софтверских програма и периферијског хардвера, рачунар контролише, управља и дистрибуира информације везане за музички перформанс и продукцију од централизоване, интегрисане контролне позиције.

Употреба MIDI технологије је за нас донела нове могућности у аранжирању и компоновању. Употребом различитих софтвера, добили смо могућност да користимо непрегледне банке различитих звукова. Осим што је у реалном времену било могуће свирати различите боје, MIDI нам је омогућио и накнадну манипулацију снимљених

деоница. Преко MIDI софтвера смо имали прилику да се упознамо са симулацијама бројних аналогних и дигиталних инструмената са којима нисмо имали прилике да се сусретнемо уживо⁵.

2.7 УПОТРЕБА СИНТИСАЈЗЕРА У ОКВИРУ КЛАВИРСКОГ ДУА

Откуд потреба да се направи нови инструмент? Зашто баш инструмент који је спој акустике и електронике?

Андрија Павловић и ја смо у оквиру *ЛП Дуа* годинама истраживали аналогне, дигиталне синтисајзере и МИДИ технологију. Након више од двадесет година свирања клавира, и истраживања звучних могућности овог инструмента, почела сам да замишљам како би неки делови композиције коју свирам звучали на неком другом инструменту. Још у нижој музичкој школи је скоро па обавезно било замишљати како одређене деонице свирају поједини инструменти из оркестра. То је помагало имагинацији, бољем слушању и истраживању звука клавира и бољем „испевавању“ мелодијских деоница на клавиру. Међутим, познати звукови из оркестра су се претворили у замишљање за мене до тада непостојећих звукова. Дигитални синтисајзери које сам имала прилике да пробам у том периоду су за мене били прилично незанимљиви зато што су имали унапред припремљене банке звукова које нису нудиле довољну инспирацију и могућности⁶.

Потпуно случајно сам имала прилике да се сусретнем са првим аналогним синтисајзером негде крајем 1990-их година. То је био *KORG MS-20*, полу-модуларни аналогни синтисајзер произведен 1978. године. На овом синтисајзеру звукове је могуће мењати на два начина: помоћу потенциометара или помоћу каблова на печ (енгл. patch) пољу. Због своје специфичности, то је један од ретких синтисајзера који је полу-аналоган а полу-модуларан, могућности на њему су скоро несагледиве.

⁵ У питању су компјутерски софтвери под називом *VST Instruments*, који путем MIDI технологије симулирају различите акустичне и електронске инструменте. Неки од њих су: *Native Instruments*, *Spectrasonics Omnisphere*, *Spectrasonics Trilian*, *Addictive Keys*, *Arturia* и многи други.

⁶ Roland D-50, Korg Prophecy, Korg Triton, Roland RS-5



Пример 9: *Korg MS-20*

Наредних две године, уз сва могућа упутства која су ми била доступна, почела сам да учим како се свира овај инструмент. Спектар звукова и боја је скоро неограничен и било ми је потребно много времена да схватим како сваки мали померај једног потенциометра утиче на осталих двадесет или на каблове у модуларном делу синтисајзера. Осетљивост и прецизност свирања су били једини слични клавиру који је за мене увек представљао савршени инструмент. *KORG MS-20* има два осцилатора и сваки од њих може да се контролише посебно, а у збиру дају још више могућности. Параметри за контролу јесу другачији у односу на клавир; особености звука се контролишу потенциометрима и кабловима, а на клавиру само одређеним контактом са дирком, али број параметара којима је могуће располагати је најсличнији свирању акустичног инструмента. Иако је *KORG MS-20* монофон и има само три октаве, могућности које ми је пружао су биле потпуно довољне да их годинама интензивно истражујем. Након овог синтисајзера, даља истраживања су ме одвела до других синтисајзера; модуларних, аналогних и полу-дигиталних, попут следећих: *JUNO 60*, *Moog Polymoog*, *Moog Opus 30*, *A-100 Analog Modular System*, *Minimoog*, *Yamaha C-17*, *ARP Odyssey*, и још многи други.



Пример 10: *A-100 Analog Modular System*

Андрија Павловић и ја смо у оквиру нашег ансамбла убрзо започели да аранжирамо различите савремене али и класичне композиције за ове инструменте. У почетку смо свирали само на аналогним синтисајзерима, али пошто сваки од ових инструмената ипак има своја ограничења, ускоро нам је, да бисмо извели планирани репертоар на неком концерту, било потребно бар седам или осам синтисајзера, а некада их је било и више када је за то постојала могућност. С обзиром на то да су ово стари инструменти из 1970-их и 1980-их година, били су подложни сталним кваровима и због честих путовања ови инструменти су више времена почели да проводе код мајстора него у нашем студију. Неколико пута се десило током концерата да су одређене функције заказале па смо морали да импровизујемо на лицу места. Сви ови проблеми нам годинама нису представљали препреку, зато што су само такви инструменти производили звукове који су задовољавали наше идеје и давали нам осећај обликовања звука у реалном времену, што смо до тада могли да радимо само на клавиру.

Ипак, постојало је још два проблема који су за нас постали непремостиви. Поједине композиције које су биле изразито виртуозне, попут Лигетијевих (György Ligeti) композиција за чембало које смо аранжирани, су биле веома компликоване за извођење на овим инструментама. Проблем је био врло једноставне природе. Пластичне дирке на овим синтисајзерима једноставно нису биле осмишљене за овако прецизно и виртуозно свирање. Исти проблем наравно постоји и на дигиталним синтисајзерима који немају

хамер механику⁷. Размишљали смо како би могли да повежемо аналогне синтисајзере са неком другом механиком, али због непостојања МИДИ технологије на овим старим инструментима, то није било могуће. Почели смо да истражујемо МИДИ софтвере и уз помоћ клавијатура са хамер механиком донекле успевали да у техничком смислу изведемо све композиције. Ипак, као и сви пијанисти који се најудобније осећају на диркама правог акустичног клавира, увек смо маштали о томе да свирамо аналогне или МИДИ звукове на правом клавиру. То би за нас био савршени инструмент.



Пример 11: ЛП Дуо на концерту у Копенхагену, *The Royal Danish Opera*

Постојао је још један проблем, који смо временом такође само донекле решили. Током концерата на којима смо изводили различита дела на синтисајзерима, увек нам се дешавало да после одређеног времена од те „шуме“ електронских звукова пожељимо да чујемо акустични звук. Веровали смо да је тако било и нашој публици. Наравно, оно што је нама увек недостајало је био акустични звук клавира. Убрзо смо почели да на концертима свирамо комбинацију акустичних клавира и синтисајзера.

Једно време смо превазилазили описане техничке проблеме које смо имали на синтисајзерима тако што смо одређене делове аранжирани за клавире. Комбиновање

⁷ Хамер (енгл. hammer) механика означава систем производње пластичних клавијатура које имитирају дрвену конструкцију на акустичним клавирима

акустичног и електронског звука за нас је постала савршена хибридна поставка која је у звучном и динамичком смислу у том тренутку задовољила потребе наших истраживања. Уз овакву „хибридну поставку“ успевали смо да све аранжманске и композиторске замисли спроведемо на адекватан начин.

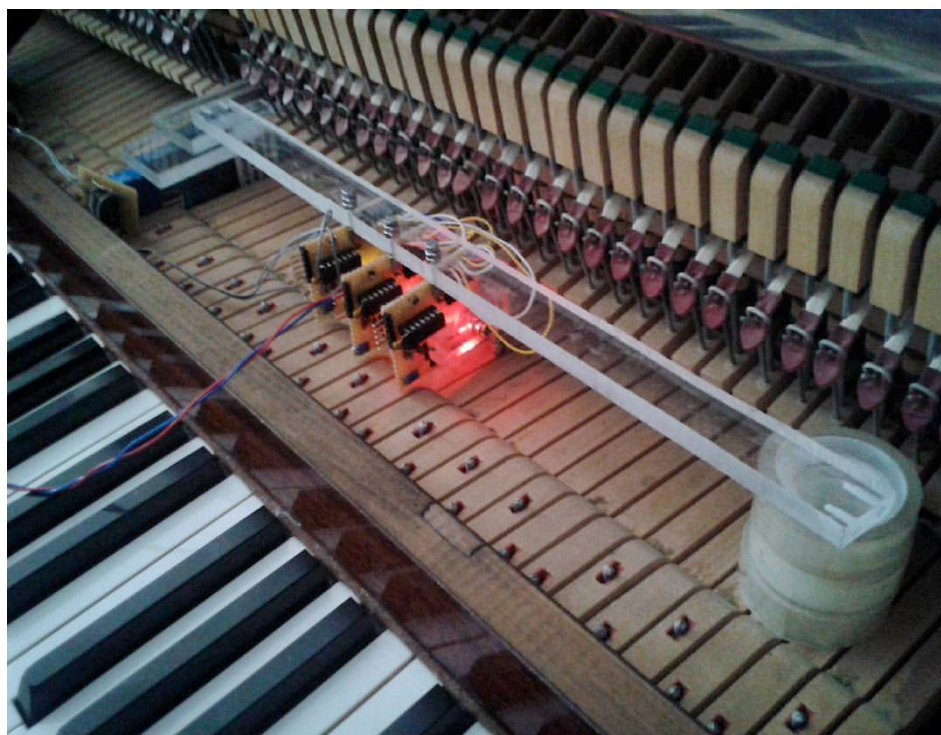


Пример 12: ЛП Дуо на концерту у Студију 6, Радио Београд

Ипак, сусрели смо се са проблемом преласка са инструмента на инструмент и у одређеним поставкама у којима седимо за клавиром окружени синтисајзерима, нисмо могли да направимо савршен распоред позиције синтисајзера. У различитим композицијама синтисајзери су коришћени левом или десном руком, док је друга свирала на клавиру и понекада је било немогуће направити распоред који је био удобан или уопште изводљив за све композиције на репертоару једног концерта. Осим проблематике у вези са виртуозитетом, овај проблем је такође довео до истог размишљања, а то је да би било идеално да се све свира „преко“ једне клавијатуре која би могла брзо да промени звук. Једина савршена клавијатура за нас је увек био клавир. Искуство препарирања клавира и жеља да превазиђемо техничке недостатке у извођењу су нам дали почетну идеју за „дигиталну“ препарацију клавира. Уз помоћ инжењера који су у том тренутку већ почели да развијају нову технологију и кроз наше искуство свирања на различитим клавијатурним инструментима, настао је *Хибридни клавир*.

3. ХИБРИДНИ КЛАВИР

Хибридни клавир је нови инструмент конструисан у оквиру пројекта „Квантна музика“. У конструкцији овог инструмента учествовао је тим стручњака⁸, а једни од њих смо били мој колега из ансамбла Андрија Павловић и ја. Инструмент је замишљен тако да може врло једноставно да се угради у било који концертни клавир или пијанино. Хибридни клавир је акустичка комбинација електронске и аналогне технологије и пионирски је пројекат у савременом светском контексту. Инструмент је комбинација традиционалног клавира и дигиталног синтисајзера са аналогним контролама које омогућавају различите обраде акустичног и дигиталног сигнала у реалном времену.



Пример 13: *Први прототип хибридног механизма*

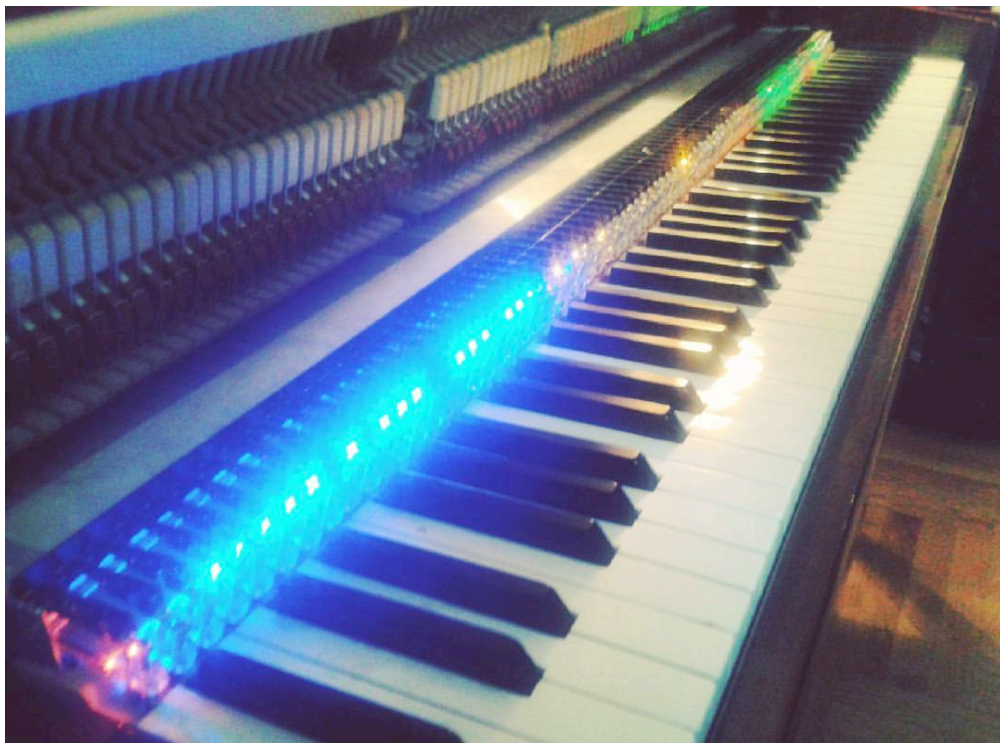
Слични механизми⁹ су већ развијани и постоје, али оно што јесте иновативно у односу на претходнике је да је механизам конструисан тако да је преносив и сваки пијаниста га врло лако може поставити у било који клавир или пијанино у најкраћем могућем

⁸ др Драган Новковић, професор акустике на Високој школи електротехнике и рачунарства у Београду и мр Дарко Лазовић, инжењер.

⁹ *Piano Disc*, <http://www.pianodisc.com/>

времену (око 30 минута) уз кратко упутство. Такође, коришћена је технологија магнетних сензора која омогућава већу динамичку прецизност, за разлику од оптичких сензора нема велики број каблова и поседује двослојну штампу која овај производ чини далеко јефтинијим у производњи. Такође, у односу на претходнике, могуће је поправити и променити механизам сваке дирке посебно и не постоји проблем са прашином.

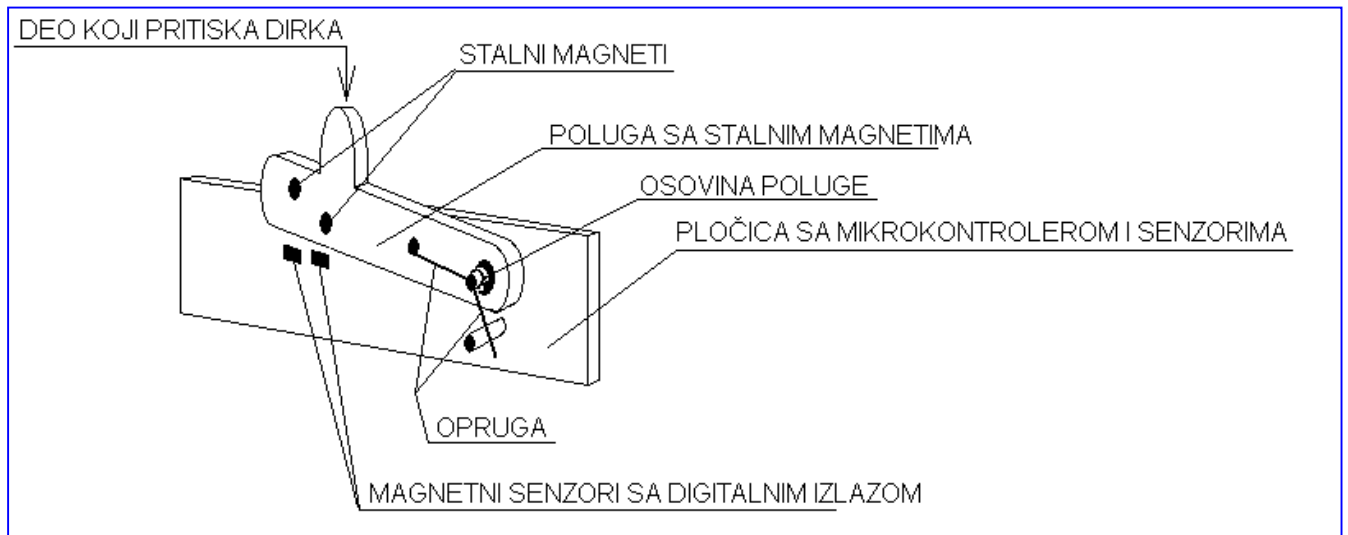
Хибридни клавир је направљен од 90 микроконтролера, по један за сваку дирку клавира, један за главни контролер и један за укључивање и искључивање утишавача. Користе се магнетни сензори са дигиталним излазом за детекцију притискања и отпуштања дирки. Систем се састоји од електронско-механичке структуре која се поставља испод или изнад клавијатуре и утишавача који се поставља на рам механике чекића. Електронско-механичка структура претвара покрете дирки клавијатуре у МИДИ команде које примају електронски инструменти или рачунари.



Пример 14: *Хибридни клавир*

Изазов је био направити електронику која ће притиске на дирке клавира претварати у команде електронског МИДИ интерфејса. Електронски МИДИ интерфејс је стандардни интерфејс који поседују сви озбиљнији електронски инструменти. Преко МИДИ интерфејса преноси се команде типа "на каналу С укључи ноту Х са јачином Y" када је дирка притисута а када се дирка отпусти пошаље се команда типа "на

каналу C искључи ноту X са јачином Y". Када дигитални електронски извор звука прими команду типа "на каналу C укључи ноту X са јачином Y" генерисаће тон одређен параметрима у команди. Како дигитални електронски генератори тона у својим меморијама имају на стотине и хиљаде звукова разних инструмената јасно је да клавијатура клавира са МИДИ интерфејсом добија могућност свирања свих инструмената који се налазе у дигиталним електронским генераторима тона.



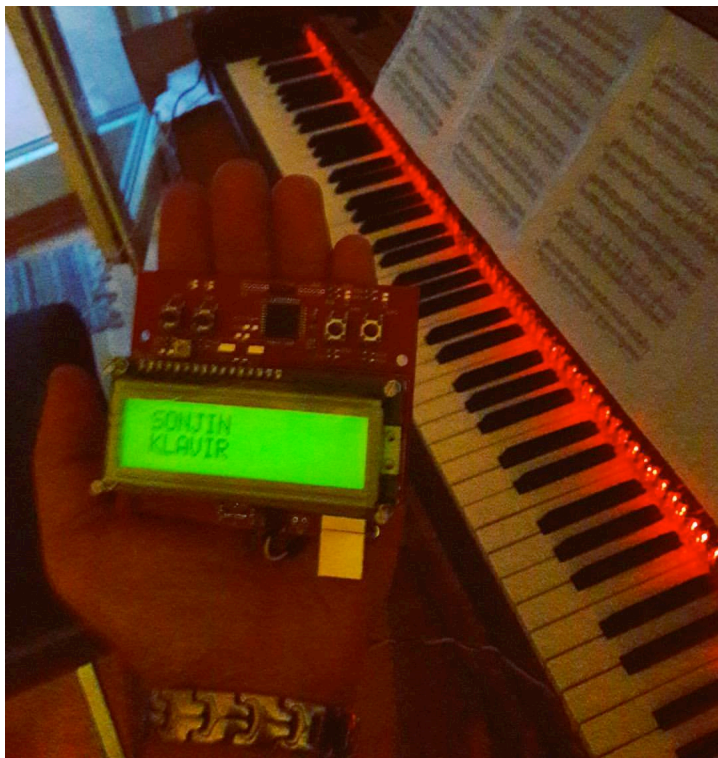
Пример 15: *Нацрт хибридног механизма*

Да би притисак на дирку клавира могао да се претвори у МИДИ команду потребно је имати испод или изнад дирке електронске сензоре који ће детектовати померање дирке клавира. Избор сензора је пао на дигиталне магнетне сензоре који дају информацију да ли се магнетно поље налази изнад њих. Притискањем дирке помера се полука са константним магнетима и када магнет прелази изнад површине магнетног сензора на дигиталном излазу се добија електрични импулс којим се сигнализира тренутак проласка магнета преко сензора.

На штампаној електронској плочици на којој је дигитални магнетни сензор, у интегрисаном колу се налази и мали рачунар или микроконтролер који прати стања на дигиталним излазима магнетних сензора. Анализом промене стања дигиталних излаза магнетних сензора микроконтролер утврђује којим интензитетом је притиснута дирка, као и тренутак када се она отпушта. Када микроконтролер примети померање дирке, он тада формира МИДИ команду коју треба да пошаље електронским дигиталним генераторима тона. С обзиром да имамо испод или изнад сваке дирке по једну плочицу

са микроконтролером, свих 88 микроконтролера (клавир има 88 дирки) се „договара међусобно“ када ће који послати МИДИ команду која описује померање дирке јер би слањем у исто време уништили информацију коју она носи. Микроконтролери се „договарају“ када који преноси своју МИДИ команду зато што се се овај тип команди преноси само по једној линији, а по истој линији у исто време исту команду не може послати више микроконтролера. На овај начин сваки микроконтролер може да пошаље МИДИ команду преко једне линије у једном временском интервалу и да је после препусти другим микроконтролерима на коришћење.

МИДИ команде послате од 88 микроконтролера клавијатуре долазе у главну плочу са једним већим микроконтролером који ради мале дораде примљених команди и прослеђује их даље дигиталним електронским генераторима звука. Главна плоча прима и стања прекидача који сигнализирају притискање педала клавира и претвара их у МИДИ информације које шаље дигиталним електронским генераторима звука. Оваквом архитектуром уређаја постиже се да микроконтролер на главној плочи може на основу информације о ноти да подели клавијатуру на више делова и МИДИ команде са сваког дела пошаље електронским дигиталним генераторима тона на посебном каналу, а на посебним каналима се могу наћи различити инструменти.



Пример 16: Главна плоча хибридног клавира

Осим за конверзију притискања дирке у МИДИ кодове, у клавир је потребно уградити и механику која ће у једном положају блокирати ударање чекића у жице клавира и тако у потпуности „утишати“ акустични звук клавира да се акустични звук не би мешао са звуком дигиталних електронског генератора звука. Битно је и вратити клавир у стање у коме чекићи механике ударају жице, да би се по потреби омогућило свирање на клавиру са акустичним звуком. Серво механизам којим управља деведесети микроконтролер, доводи механику утишавача у положај који одбија чекиће механизма 1 до 2 мм испред клавирске жице, али исто тако може да врати механику утишавача у положај у коме чекићи механике несметано ударају жице клавира и тако производе акустични звук¹⁰. Утишавач са серво мотором спречава ударање чекића у жице клавира. Када су чекићи спречени да ударају жице клавира, звук притискањем дирки клавира се добија само из електронских уређаја/инструмената и као електрични сигнал, чиме се постиже могућност да можемо чути само звук клавира, само звук електронског инструмента, или комбинацију оба. Крајњи микс звука зависи од тренутних захтева и може га контролисати сам пијаниста или тон-мајстор, у зависности од поставке целог система.

Хибридни клавир је настао из идеје да се у ванлабораторијским условима, концертним дворанама и на правим клавирима представе феномени из квантног света. Пројекат „Квантна музика“ је још увек у току и ми се надамо да ћемо сакупити довољно средстава да испробамо овај механизам и у лабораторијским условима. Хибридни клавир јесте настао кроз пројекат „Квантна музика“, али за *ЛП Дуо* представља потпуно ново поглавље које смо тек започели на пољу истраживања могућности овог инструмента у интерпретацији и компоновању музике.

¹⁰ Оваквим механизмом добијамо могућност да у потпуности утишамо акустични звук клавира а да тонове одсвиране на клавијатури преко дигиталних електронских генератора звука слушамо на слушалицама и тако вежбањем на клавиру не сметамо никоме, што је идеално за кућне услове.

4. КВАНТНА МУЗИКА

Квантна музика је уметничко-научни пројекат чији је циљ истраживање везе између музике и квантне физике, путем креирања нових уметничких дела и научних експеримената, која су била реализована у виду мултимедијалних концерата.¹¹ Квантна акустика представља тачку сусрета два потпуно раздвојена света: реалног света који проучава физика и света квантних честица. Бозе-Ајнштајнов кондензатор јесте простор у којем се дешава необичан феномен: квантне честице се мешају са молекулима гасова производећи чудесне звукове. Када би некакво мало, квантно уво могло да чује шта се дешава током оваквих експеримената, могло би да ухвати звукове квантног света. Не само да је ово једина тачка контакта у којој квантни свет непосредно ступа у додир са нашим реалним светом, већ та интеракција производи и један естетски веома занимљив феномен – звук, то јест звучно искуство које, путем музике, директно афектује наше унутрашње биће. Заједно са нашим партнерима, стручњацима из области квантне физике, електро-акустичке музике и аудио-визуелне технике, још увек истражујемо даље могућности за успостављање креативне комуникације између ових удаљених светова. Партнери пројекта *Квантна музика* су: Музиколошки институт САНУ, Центар за промоцију науке, Универзитет у Оксфорду, Центар за квантне технологије (Национални универзитет у Сингапуру), Универзитет у Архусу (Данска) и *The Danish National School of Performing Arts* у Копенхагену (Данска). Пројекат је подржан од стране *Creative Europe* програма.

Пројекат је до сада садржао неколико фаза. **Прву фазу** је чинила сарадња са квантним физичарима. У овој фази, учили смо основе квантне механике као и основе квантне акустике. Уз помоћ квантних физичара и инжењера, сарадника на овом пројекту, истраживали смо и проширивали наше поље деловања као ансамбл. Желели смо заједничким снагама да допринесемо популаризацији квантне физике и савремене музике. Мултимедијални концерт едукативног карактера имао је циљ да публику инспирише на нова размишљања које нуде квантна физика и савремена музика.

¹¹ <http://quantummusic.org/>

Друга фаза је била изградња новог инструмента, Хибридног клавира. Уз помоћ инжењера развили смо овај инструмент за потребе пројекта, али са жељом да Хибридни клавир доживи даљи развој независно од пројекта „Квантна музика“.

Трећа фаза пројекта садржала је истраживање на пољу квантне акустике. Заједно са инжењерима акустике, радили смо на генерисању и симулацијама квантних звукова добијених из квантне лабораторије и имплементацији истих у музичке софтвере (више о овој теми у наредном поглављу).

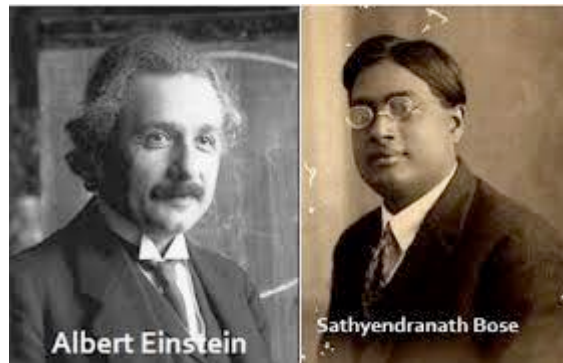
Четврта фаза је чинила компоновање и аранжирање композиција на Хибридном клавиру.

Пета фаза пројекта је садржала припрему мултимедијалних концерата. У сарадњи са квантним физичарима, композиторима и визуелним уметницима, обликовали смо мултимедијски спектакл који је био представљен у Сингапуру, Хагу, Копенхагену, Архусу, Љубљани и Београду. ЛП Дуо је активно учествовао у свим нивоима припрема овог догађаја: осмишљавање и режија концерта, визуелни идентитет, избор композиција и аранжирање за Хибридне клавире, компоновање и организација логистике на поменутиим локацијама.

Последња фаза пројекта „Квантна музика“ биће конференција у организацији Музиколошког института САНУ у марту 2018. године. Конференција ће окупити велики број квантних физичара, композитора и инжењера акустике из целог света који ће представити своје радове на пољу квантне физике, квантне акустике и савремене музике повезане са овом интердисциплинарном тематиком.

5. ГЕНЕРИСАЊЕ КВАНТНИХ ЗВУКОВА

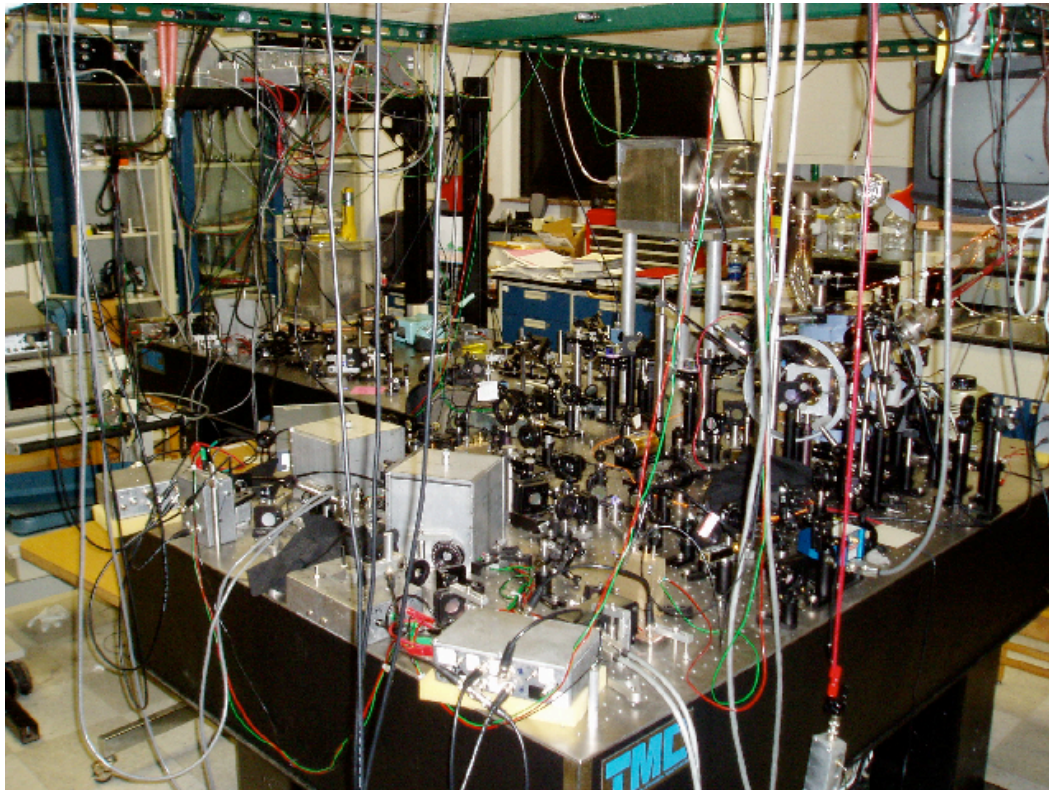
Иако наизглед потпуно раздвојени, свет звука – свет који у потпуности припада нашој реалности, и свет квантне физике, са којим немамо никакав чулни или искуствени контакт, спајају се у једном веома специфичном сегменту квантне физике. Два позната научника, Алберт Ајнштајн (Albert Einstein) и Сатијандранат Боз (Satyendra Nath Bose), су 1925. године предвидели могућност да ће материја охлађена на екстремно ниску температуру почети да испољава потпуно неспецифичне карактеристике, толико уникатне да су ово стање материје назвали посебним именом – кондензат.



Пример 17: Алберт Ајнштајн и Сатијандранат Боз - творци теоретске претпоставке о могућности постојања петог агрегатног стања материје – кондензата

По овој двојници научника овакво стање материје се данас зове Боз-Ајнштајнов кондензат (у наставку текста – БАК), и први пут је достигнуто у чувеном експерименту из 1996. године, награђеном Нобеловом наградом¹². Од тог тренутка, ово стање материје се формира у лабораторијама широм света, при чему је ниво софистицираности експерименталне опреме са којом се овај експеримент обавља такав да омогућава изузетно прецизне анализе таквог, новоформираног стања у којем се материја налази. Кондензат је пето и најмање познато стање материје, поред гасовитог, течног, чврстог и плазме.

¹² Нобелова награда за физику 2001. године је додељена групи научника (Eric A. Cornell, Wolfgang Ketterle и Carl E. Wieman) за постизање Бозе-Ајнштајнове кондензације у разређеним гасовима алкалних атома и за рана фундаментална истраживања особина кондензата.

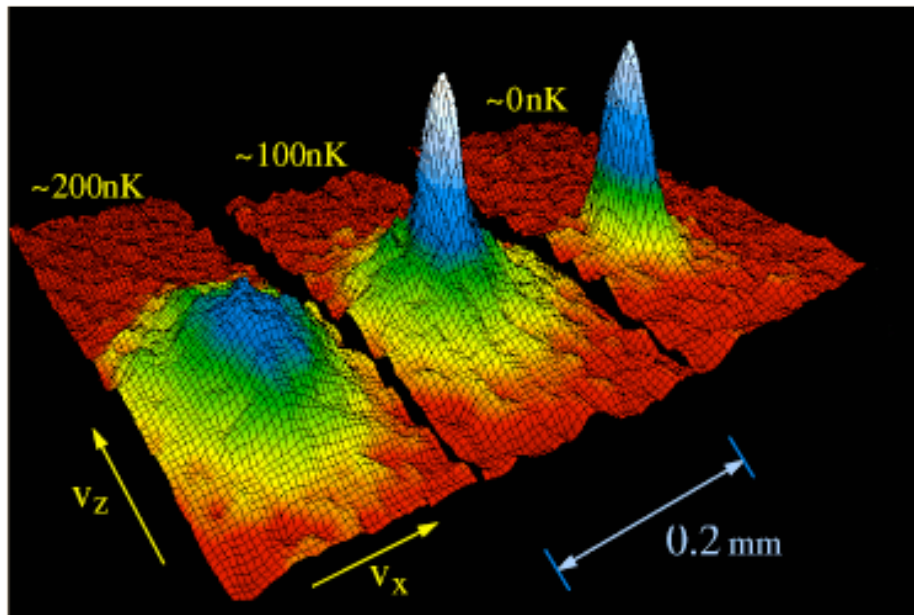


Пример 18: Типичан изглед експерименталне опреме потребне за стварање и анализу БАК-а

Сваки гас на нама блиским температурама подразумева кретање атома које је веома хаотично и неуређено (тзв. Брауново кретање). Сваки атом се понаша као систем за себе, са дефинисаним енергетским стањем и начином вибрирања, на основу којих ступа у интеракцију са осталим атомима у окружењу. У процесу хлађења атома, ниво неуређености система почиње да се смањује, атоми вибрирају све нижим фреквенцијама, све док у једном тренутку, дефинисаном критичном температуром, не дође до тзв. фазне транзиције, након које сви атоми у систему заузимају најниже могуће енергетско стање. На овом месту потребно је истаћи да савремена наука свакој честици додељује истовремено и корпускуларна и таласна својства. Снижавањем температуре учестаност осциловања (фреквенција) атома се снижава, тј. таласна дужина атома као таласа се повећава. Након фазе транзиције која се одиграва на температурама величине нанокелвина – милијардитог дела једног степена близу апсолутне нуле, на којој престаје свако кретање материје и које по данашњој науци не може бити достигнуто, таласне дужине атома постају толико велике да долази до преклапања таласа атома анализираних као појединачни системи. Другим речима, сви атоми се спуштају на идентично, најниже могуће енергетско стање, преклапају своје таласе и постају један квантни систем. Овакво стање, у којем групе које се састоје од

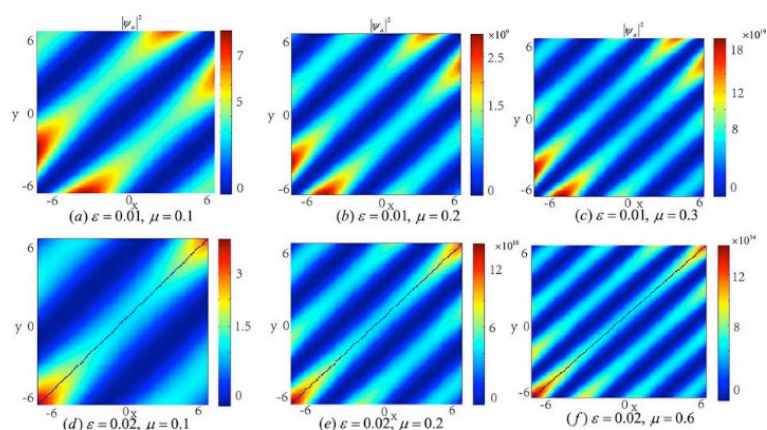
милиона атома почињу да се понашају као један систем, јесте нешто што отвара могућности за размишљање да је можда и цео наш Универзум један квантни систем, што и јесу граничне области данашње науке.

2 D velocity distributions

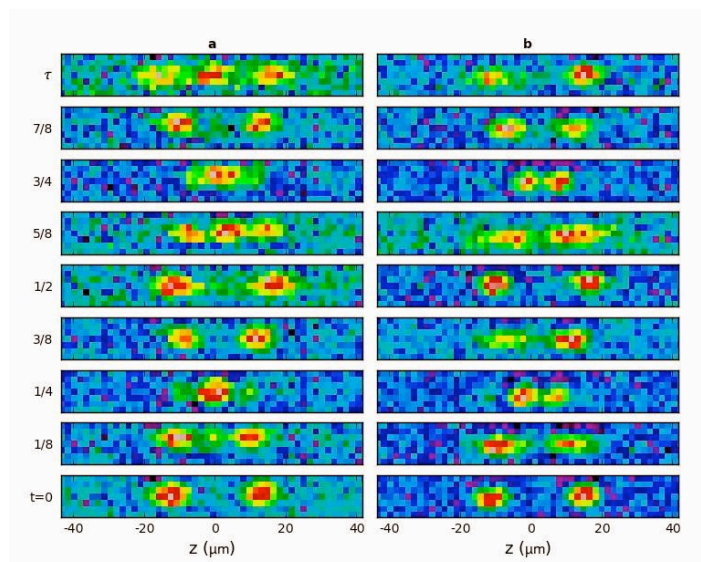


Пример 19: Графички приказ расподеле брзине атома (црвено – веће брзине, плаво – мање брзине) од температуре (снижавање температуре са лева на десно) – приказ процеса транзиције у достизању БАК-а

Акустика звук дефинише као појаву механичког таласа у еластичној средини. Када се стање кондензата у експерименту једном достигне, могуће га је анализирати на различите начине. Један од класичних начина је његово побуђивање ласерским снопом. Овакво побуђивање доводи до промене густине у деловима кондензата, која се кроз БАК преноси у форми механичког таласа у нечему што свакако јесте еластична средина, а што, као што смо видели, јесте дефиниција звука. У кондензату, који се описује својим квантним својствима и подлеже законима квантне механике, долази до појаве звучног таласа. Област квантне физике која се бави уско специјализованим проучавањем овакве појаве се зове Квантна акустика, и представља додирну тачку ова два неспојива света. Управо са тог полазишта кренула је да се развија идеја квантне музике, као пројекта који покушава да одговори на питања међусобних односа звука и музике са једне стране, и квантног света са друге.



Пример 20: Приказ расподеле акустичког притиска у БАК-у добијен на основу резултата експеримената Квантне акустике



Пример 21: Фотографија расподеле акустичког притиска у времену у БАК-у. Јасно се може испратити пулсација кодензата, потпуно аналогна пулсацији класичног звучног извора

За потребе овог пројекта, у његовом досадашњем току, коришћена су два основна начина за генерисање звукова који своје утемељење имају у експерименту и теорији БАК-а. У лабораторији Универзитета у Архусу (Данска) се овај тип експеримената са успехом спроводи већ годинама у назад. Како је један од водећих квантних физичара данашњице и сарадника на пројекту „Квантна музика“, др Клаус Молмер (Klaus Molmer), стациониран управо на овом универзитету, имали смо могућност директног приступа лабораторији и резултатима експеримената Квантне акустике. Ове резултате, који су представљени у форми графичких и табеларних приказа промене акустичког

притиска у времену, смо коришћењем софтвера *MATLAB* директно преводили у звук. Иако се на први поглед могло очекивати да фреквенције звучних таласа генерисаних у овом експерименту далеко надмашују границе чујног опсега људског чула слуха, испоставило се да то није тако. Наиме, кретање атома и брзина њихових осцилација на тако екстремно ниским температурама (наука у овом тренутку не зна за тачку са нижом температуром у целом универзуму) доводи до генерисања изузетно „спорих“ таласа, који се налазе у фреквенцијском распону од неколико десетина до неколико хиљада херца, што је управо опсег људског чула слуха. Овако изненађујућа ситуација нам даје за право да вршимо директне translације, поређења и тумачења квантитативних и квалитативних својстава квантно-акустичких и акустичких таласа, без потребе за додатним скалирањима.

	time	oscillation
	0.000402	0.260083953279704
	0.000804	-0.377531081606413
	0.001206	-0.493760351117199
	0.001608	-0.047198762130531
	0.00201	0.496089615143493
	0.002412	0.801934592795067
	0.002814	1.08721664595616
	0.003216	0.898500343585876
	0.003618	1.00907843748546
	0.00402	0.448001220075295
	0.004422	-0.0193749707718567
	0.004824	-0.136392070383462

Пример 22: Мали део табеларног приказа резултата експеримената Квантне акустике који су коришћени за синтетисање реалних звучних записа

Други тип генерисаних звукова је настао на основу примене математичких формула које моделирају енергетско стање кондензата. Ове формуле имају форму из које се лако генерише теоретски безграничан број хармонских (аликвотних) низова, простом

изменом променљивог параметра n (формула 1), и параметра m и n (формула 2), који узимају произвољне вредности из скупа реалних бројева.

$$f(n) = \sqrt{n(n+1)/2} * f \dots\dots(1)$$

$$f(n,m) = \sqrt{2*n*n + 2*n*m + 3*n + m} * f \dots\dots(2)$$

Пример 23: *Математичке формуле коришћене за генерисање аликвотних низова. Изменом параметра n се формира аликвотни низ, при чему је број могућих комбинација бесконачан. Формула (2) подразумева два степена слободе, описана параметрима m и n*

Копенхашка интерпретација квантне физике, која се данас доминантно користи, и која је у основи поставке и тумачења и ових екперимената, допушта постојање практично било ког квантног стања, при чему се дефинише таласна функција вероватноће која даје информацију о томе колика је вероватноћа да се такво стање и деси. Овакав принцип, примењен на анализирану ситуацију, практично значи да су све комбинације међусобних односа нивоа аликвота у аликвотном низу потпуно произвољне, и подједнако вероватне, а све то у зависности од почетних услова приликом реализације експеримента. С обзиром на то да међусобни односи нивоа аликвота дефинишу боју звука, испоставља се да коришћене формуле у себи садрже практично бесконачан број различитих типова и боја звука. Оваква теоретска ситуација нам је дозволила да се према формираним звуцима односимо са великим степеном слободе, прилагођавајући их естетским потребама извођења, аранжирања и компоновања, све време задржавајући снажно упориште у теорији квантне физике. Синтетисање аликвотних низова је обављано у софтверу *Spectralab*, по принципу класичне адитивне синтезе, који се заснива на суперпозицији појединачних аликвота у аликвотни низ који дефинише коначан тон.

У зависности од одабира параметра n (формула 1) и параметара m и n (формула 2), синтетисани звуци имају различите тонске карактеристике, при чему би се могле дефинисати две основне групе добијених тонова: хармонична и дисхармонична. Обе групе имају своју естетску вредност, и у зависности од типа композиције могу бити коришћене у процесу компоновања.

У току генерисања звукова на горе описани начин, дошло је до веома интересантне појаве, која захтева додатну анализу и тумачење. Наиме, принцип адитивне синтезе који је коришћен у овом поступку, подразумева дефинисање тачне позиције аликвота у спектру, као и њихових нивоа. Када се ова два параметра за сваку од аликвота одреде,

приступа се њиховој адицији и генерисању коначног звука. С обзиром на то да се ови параметри не мењају у времену, сви генерисани звуци су константни у времену, тј. не долази ни до какве промене у боји или нивоу звука који се синтетише, што јесте очекивана ситуација. Ипак, приликом коришћења математичке формуле означене бројем 2 (види стр. 36) , која генерише аликвотни низ код којег се позиције аликвота у спектру једна према другој односе као $1:\sqrt{2}:\sqrt{3}:\sqrt{4}:\sqrt{5}...$, као крајњи резултат се добија звук променљив у времену. Ова изненађујућа појава се може тумачити акустичким феноменом избијања тонова (енгл. beat), који се јавља у виду флукуације тона око основне фреквенције у ситуацији када се у исто време чују основни тон и тон њему веома блиске фреквенције. Ова појава која се иначе јавља као веома суптилна у појединим ситуацијама (нпр. приликом штимовања жичаних инструмената истовременим трзањем две жице приближне, али не исте, висине), у овом случају се појављује као веома наглашена, што свакако јесте изненађујуће. Овакав звучни резултат синтетисања аликвотног низа заслужује додатну пажњу, анализу и тумачење, уз неопходност додатне провере и верификације добијених звукова, што отвара могућности за даљи теоретски и практични рад на овом проблему.

Главни циљ у даљем развоју овог дела пројекта „Квантна музика“ је повезивање хибридног клавира са експерименталном опремом у реалном времену. То би значило да се, посредством ових механизма уграђених у акустичне клавири, успоставља директна веза са лабораторијском опремом, те да се аудио сигнаlima генерисаним у клавиру директно модулише ласерски сноп којим се врши ексцитација БАК-а. Уз овакав процес, кондензат би ушао у стање константног „одговора“ на побуду музиком/звуком, која би у реалном времену могла бити враћена на разгласни систем, и комбинована са основним звуком клавира. У том случају могло би се говорити о директном музичком повезивању нашег и квантног света, при чему би се комплетна лабораторијска опрема могла третирати као уникатни музички инструмент, са кондензатором као медијумом у којем се генеришу звучне вибрације, баш попут жице, ваздушног стуба или мембране код класичних музичких инструмената. Све технолошке предиспозиције за остварење овако дефинисаног контакта између музике и квантног света постоје, укључујући и могућност да се поред клавира на бини нађе и сама лабораторијска опрема. Ова врста потпуне, непосредне и у времену потпуно синхронизоване интеракције нашег света и света квантне физике посредством музике је ултимативни циљ овог пројекта којем се тежи, и за који се искрено надамо да ће бити достигнут у догледно време.

6. МУЛТИМЕДИЈАЛНИ КОНЦЕРТ

Један од циљева пројекта „Квантна музика“ био је да се у оквиру мултимедијалног концерта представе основни постулати квантне физике и тако публици приближе неки од феномена који се догађају у квантном свету. Оно што је за нас пијанисте било замиљиво од самог почетка рада на овом пројекту је концептуални аспект ових феномена. За потпуније разумевање догађања у квантном свету потребно је знање које је превазилазило наше познавање математике и физике стечене у основној и средњој школи. Ипак, овој тематици је уз стручно вођење врхунских квантних физичара било могуће прићи и са неке друге стране. Да бисмо разумели неке од ових појмова, потребно је било променити систем перцепције света који нас окружује, зато што у квантном свету ствари функционишу на потпуно другачији начин. Феномени квантног света се могу посматрати и са филозофског аспекта и то је била линија коју смо могли да пратимо и оквиру које смо могли да дамо наш уметнички допринос.

Један од централних догађаја овог комплексног мултидисциплинарног, може се рећи „хибридног“ пројекта, било је осмишљавање мултимедијалног концерта који ће помоћи популаризацији квантне физике и на којем ће публика чути квантне звукове обликоване у савремена музичка дела. У разговорима са квантним физичарима дошли смо до тога да овај догађај треба да буде подељен у краћа поглавља, где сваки део представља један од феномена из квантног света. Да бисмо постигли осећај другачијег простора саме бине, испред музичара се налазило полу-транспарентно пројекционо платно, а иза обично платно за пројекцију. Полу-транспарентно платно уз адекватно осветљење омогућава пројекцију на истом, али тако да се музичари виде без утиска да се нешто налази испред њих. Различит садржај¹³ је био пројектован на овим платнима и због тога се повремено могао стећи утисак тродимензионалне пројекције.

Након Хага, Љубљане, Архуса и Копенхагена, мултимедијални концерт под називом *Квантна музика* одржан је 21. октобра 2017. године у великој сали Југословенског драмског позоришта у Београду. Поред чињенце да је читав догађај снимљен, овде користим прилику да представим и проблематизујем само извођење овог мултимедијалног концерта.

¹³ Визуелна решења на пројекцијама су настала у сарадњи са Дизајн студиом *Метаклиника* (<https://www.metaklinika.com/>)



Пример 24: Плакат за мултимедијални концерт ЛП Дуа

Списак поглавља и изведених композиција је изгледао овако:

1. **Уводна реч** - проф. Др Влатко Ведрал, Универзитет у Оксфорду
2. **Интерактивна инсталација**
3. **Увод** – ЛП Дуо: *Рађање квантних честица*
4. **Квантни вакуум** – Хил Мејјеринг: *Рондо* (аранжман ЛП Дуо)
5. **Колапс** – ЛП Дуо: *Остинато за Леонида Шејку*
6. **Double Slit Experiment** – Антонио Кореа: *Машина III* (аранжман ЛП Дуо)
7. **Дуалност** – Иван Божичевић: *Одрживи развој* (аранжман ЛП Дуо)

8. ***Bose-Einstein*** кондензат – музика: Мајкл Најман (тема из филма „Клавир”),
J.C.Бах: Тема из концерта за четири клавира и гудачки оркестар; музика
квантних звукова – ЛП Дуо.
9. ***Bioquantum*** – Иван Божичевић: *Пролеће мину* (аранжман ЛП Дуо)
10. ***Entanglement*** – Антонио Кореа: *Mr. МекАртур* (аранжман ЛП Дуо)
11. **Телепортација** – ЛП Дуо: *Телепортација* (делимично инспирисано делом
Терија Рајлија: *G-Song*)

1. Уводна реч

Проф. Др Влатко Ведрал је један од водећих квантних физичара у овом тренутку. Професор је квантне теорије информација на Универзитету у Оксфорду, а такође је ангажован и на месту професора физике на Националном универзитету у Сингапуру, где предводи групу за теоретску физику при Центру за квантне технологије.

Заједно са Проф. др Драганом Новковићем, један је од покретача пројекта „Квантна музика“. Његов кратак уводни говор најавио је концепцију овог концерта и пар занимљивих објашњења о поглављима која су уследила.

2. Интерактивна инсталација

Након уводног обраћања уследила је интерактивна инсталација. На врху предњег платна била је постављена камера са сензором који је препознавао свако светло у сали. Публика је могла да осветљени екран телефона упери према предњем платну и камера је свако ово светло (информацију) претварала у графички приказ квантне честице. Осим што је „честицама“ могло да се манипулише у њиховим кретањима (покрет телефоном је утицао на покрет „честице“), свака ова честица је остављала свој „траг“ и било је могуће цртати честицама, односно телефоном по предњем платну. Свака од ових честица је имала и свој звук, а коришћени су сепмлови и симулације квантних звукова добијених из лабораторије у Архусу (Данска).

Након ове интеракције, „честице“ и звукови су били „усисани“ и једну тачку и то је била симулација Великог праска, односно самог почетка свега. Ови звукови су се претворили у унапред припремљену „матрицу“ која је уз графички приказ имала задатак да прикаже рађање квантних честица.

3. Увод

Након краће паузе без светла и звука, уследила је кратка композиција, унапред компонована и уснимљена, која је у себи садржала звукове из квантне лабораторије. На предњем платну пројектована је анимација „честица“ из претходног поглавља. Долазак пијаниста на сцену био је осмишљен тако да пијанисти у рукама држе батеријске лампе и светлом са ових лампи опонашају „честице“ које су на предњој пројекцији. Извођачи су у овом контексту представљали честице у квантном свету.

Свако следеће поглавље почињало је гласом наратора који изговара текст¹⁴ посвећен датом поглављу. Објашњење је било допуњено анимацијом на предњој пројекцији која осликава квантне догађаје на једноставан начин.

4. Квантни вакуум – Хил Мејјеринг: *Рондо* (аранжман ЛП Дуо)

Наратор: Вакуум – наизглед празан простор у којем ништа не постоји. Али квантни вакуум је пун: пун енергије, примордијалне енергије, која у свакој тачки и у било ком тренутку може постати честица. Ствар попут празног простора једноставно - не постоји. Доказ за овакву тврдњу се испољава у виду Казимировог ефекта. Уколико се два објекта у вакууму довољно приближе, они ће без икаквог видљивог разлога почети да се крећу један ка другом – као да их привлачи нека непозната сила. То привлачење јесте испољавање енергије вакуума, која се пред нашим очима појављује у форми елементарних честица које искачу из наизглед ничега, и ударају два објекта померајући их лагано један ка другом... баш као да вакуум хоће да нам поручи: Погледај! Ја сам овде, све време...

¹⁴ Аутори текстова су: др Ендрју Гарнер (Andrew Garner) квантни физичар, др Драган Новковић, електроинжењер и ЛП Дуо.

Два иста инструмента, два клавира, представљају две квантне честице и њихове односе. Дуалност је једна од основа квантне филозофије и улога клавирског дуа у таквој констелацији помаже одређеним објашњењима квантих постулата. Вакуум за нас као клавирски дуо представља поље разумевања. Оно што је спојило наш клавирски дуо свакако има основу у бароку и класицизму, што је за нас увек представљало основу музичког изражавања.

За ово поглавље одабрали смо композицију Хила Мејеринга (Chiel Meijering) *Рондо*. Стил у којем је писана ова композиција је неокласицизам, али по форми и појединим хармонским решењима има елементе барокне музике. *Рондо* је брзог темпа и садржи пуно виртуозних елемената. Свирајући ово дело на клавирима, подсетило нас је на први став барокне или класичне сонате. Због велике количине и брзине тонова у овој композицији, хибридни клавир је могао заузети само једну улогу. Нисмо хтели да нарушимо барокну и класичну атмосферу ове композиције, тако да су звукови које смо одабрали били само проширење основног звука клавира. У свим композицијама смо осим квантних звукова користили МИДИ софтвер *Spectrasonic Omnisphere*. Звук који смо направили у овом софтверу је био перкусиван, али је подсећао и на електричне оргуље и Хармонијум. Основним ступњевима ове композиције у октавама и акордима леве руке су били додељени семплови квантних звукова, који су подцртавали хармонска разрешења. Два клавира, два објекта у Казимировом ефекту, су исте природе и зато је ово једина композиција у којој је избор МИДИ и квантних семплова био сличан у оба клавира. Због саме повремено згуснуте фактуре нисмо желели да „разводнимо“ овај у основи компактан звук два иста инструмента, него смо самом звуку два клавира само придодали још једну звучну димензију која није битно утицала на стил саме композиције.

5. Колапс – ЛП Дуо: *Остинато за Леонида Шејку*

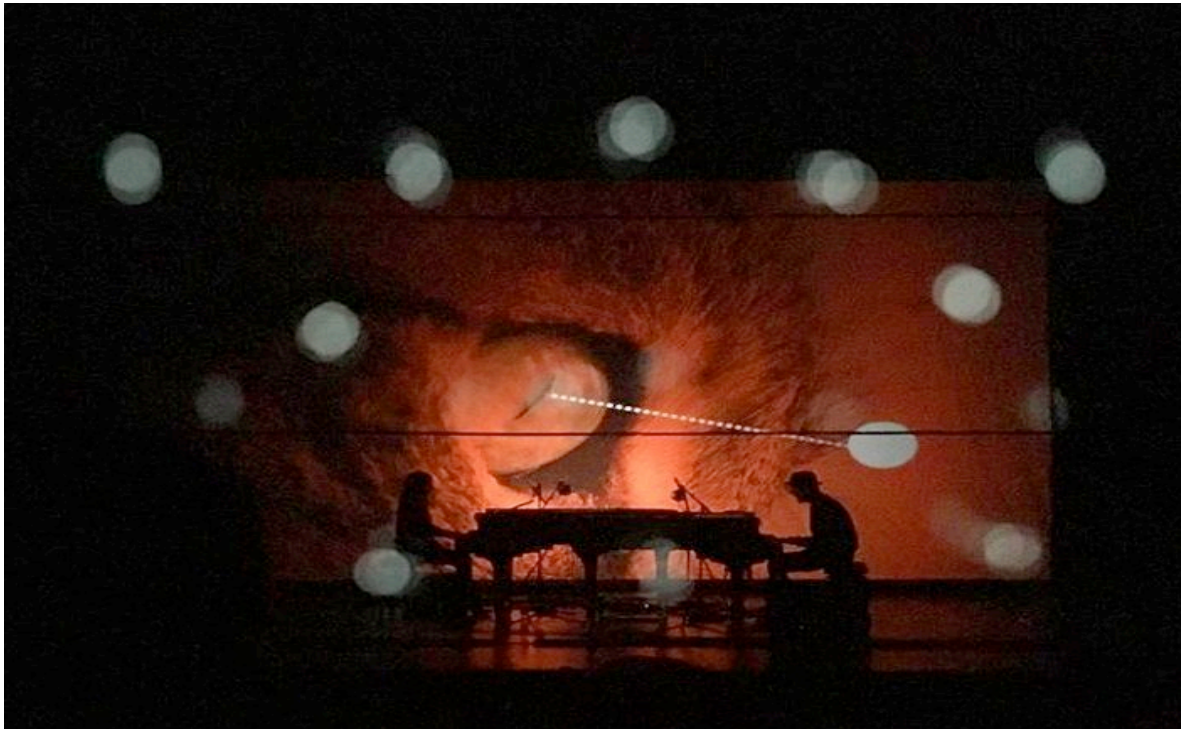
Наратор: Без присуства посматрача, квантна честица нема до краја дефинисану позицију, као ни брзину. Можемо само нагађати где се налази и колико брзо се креће. Она је у исто време свуда, и креће се свим брзинама. Све о чему можемо говорити је представљено у форми таласа вероватноће, вероватноће да се честица налази на одређеном месту и да се креће одређеном брзином. Једини начин да локализујемо честицу је да је погледамо. Али оног тренутка када затворимо очи, честица се изнова враћа у стање које је једино могуће описати таласом вероватноће.

Композиција *Остинато за Леонида Шејку* је настала специјално за хибридне клавири и за овај пројекат. Постоји три одсека који су повезани остинато мотивом у првом клавиру. Коришћен је ефекат арпеђатор¹⁵ који је могуће програмирати у софтверу *Spectrasonic Omnisphere*. Овај ефекат ствара остинато мотив тако што се звук притиснутих дирки разлаже по унапред одеђеном редоследу који је испрограмиран у софтверу. Иако је коначни микс звука клавира и хибридног механизма могуће добити смањивањем, односно појачавањем на миксеру, када се дирка на клавиру притисне довољно споро, могуће је скоро потпуно избећи звук клавира. Звук синтисајзера контролисан МИДИ сигналом као и клавири поседује свој динамички опсег тако да је проблематика оваквог „нечујног“ свирања била у проналажењу правог односа притиснуте дирке у односу на звук клавира и звук контролисан хибридним механизмом. Овим поступком могуће је манипулисати невезано за то како је софтвер програмиран, односно није битно да ли се користи арпеђатор или не и који софтверски звук је у тренутној употреби. Такође, у деоници првог клавира, распоред притиснутих дирки је у односу на претходно програмиран арпеђатор на различите начине производио скале и арпеђа. У уводном делу првог одсека ове композиције, други клавири такође свира звук синтисајзера контролисан МИДИ сигналом који је програмиран тако да у односу на одређено држање дирке производи различите звукове. Овај принцип на неки начин дочарава ефекат таласа вероватноће. У наставку првог одсека, први клавири наставља са остинато мотивом који се од једног тона полако претвара у основни акорд овог одсека, а касније и у његове варијације. Други клавири у

¹⁵ *Arpeggiator* је функција доступна на хардверским и софтверским синтисајзерима која омогућава аутоматско кориговање секвенци на основу уноса одређених тонова, најчешће преко МИДИ контролера. На овај начин се ствара *arpeggio* распоред тонова које је могуће унапред програмирати и накнадно уређивати.

првом одеску користи само акустичан звук клавира и у различитим ритмичким и хармонским варијацијама прати остинато првог клавира. Чист звук клавира представља посматрача који посматра честицу која је у остинато моду. (енгл. mode)

Средњи одсек је осмишљен као импровизација која прати видео на предњој и задњој пројекцији. Посматрач (који је приказан као људско око) на задњој пројекцији покушава да „ухвати“, односно локализује честице које су пројектоване на предњем платну. Пијанисти прате овај процес кроз једноставну ритмичну импровизацију у првом клавиру и симулацијом квантних звукова у другом клавиру. Звук акустичног клавира није присутан. Моменти локализовања честице испраћени су семпловима добијеним из квантне лабораторије.



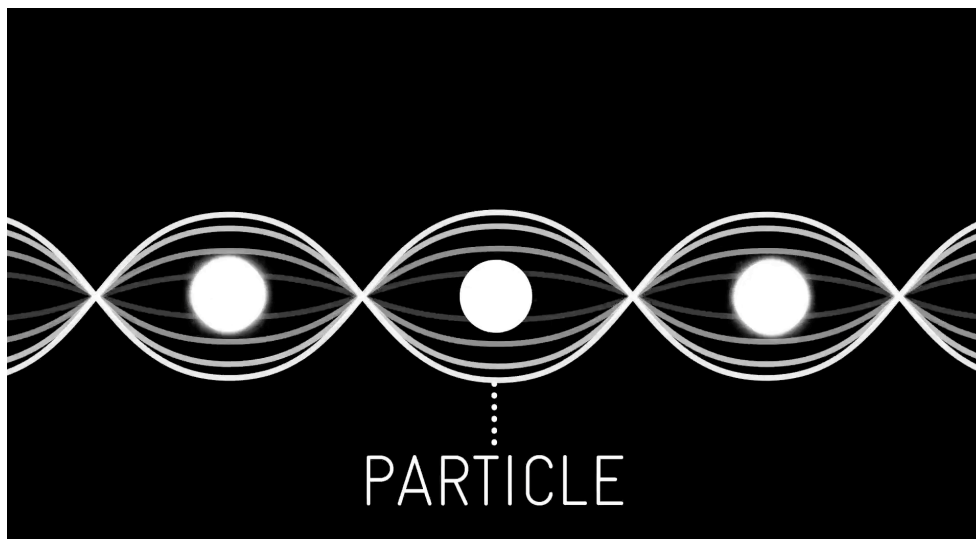
Пример 25: Фотографија са мултимедијалног концерта „Квантна музика“, Југословенско драмско позориште

Трећи одсек почиње истим арпеђираним тоном као и почетак првог одсека, али други клавир користи овај почетни тон за потпуно другачију хармонску структуру. Основни тоналитет првог одсека је а-мол, а тонални центар последњег одсека је ха-мол. Овај одсек има донекле сличну ритмику као и први одсек, али потпуно другачији хармонски склоп. Други клавир поново користи само клавир. У овом одсеку први клавир први пут напушта остинато мотив и повремено прелази на звук клавира, повремено се у фрагментима враћајући на основни остинато мотив са звуком синтисајзера.

Слике Леонида Шејке су биле инспирација за компоновање ове композиције зато што од посматрача захтевају одрђени фокус да би се уочио, односно локализовао одређени мотив.

6. Double Slit Experiment – Антонио Кореа: *Макина III* (аранжман ЛП Дуо)

Наратор: Затечен на раскрсници путева, класичан путник мора одабрати да скрене лево или десно. Али шта је са квантним путником, попут фотона? Фотон ће кренути и лево и десно, у исто време. Ове две могућности ступају у интерференцију. Постојаће мрачна места до којих фотони никада не стижу, услед деструктивне интерференције самих са собом – њихова таласна функција на тим местима равна је нули. Да ли је могуће да исти фотони крећу различитим путевима у два различита универзума, након чега се сударају и поништавају на местима до којих никада неће стићи...



Пример 26: Визуелно решење за предњу пројекцију у оквиру мултимедијалног концерта „Квантна музика“

Композиција *Макина 3* је у оригиналу написана за два клавира. *ЛП Дуо* је током 2016. године објавио винилно издање¹⁶ на којем су се налазила дела настала за клавири или чембало за које смо направили аранжмане за аналогне синтисајзере. Велика сала Југословенског драмског позоришта била је озвучена помоћу *Distributed Mode Loudspeaker* (ДМЛ) технологије. ДМЛ технологија репродукције звука омогућава да се

¹⁶ *ЛП Дуо: Mechanical Destruction*, Београд, Центар за нову уметност, 2015.

практично свака површина претвори у звучни извор. Побуда површине се врши наменским електроакустичким побуђивачем (енгл. exiter). Звучници реализовани овом технологијом имају одређене предности у односу на класичне звучнике (равномерније покривање, лакши за манипулацију), што их чини интересантним за даљи развој. Њихова примена у озвучавању је све већа, поготово у САД, док се у Европи ова технологија још увек третира као нова и помало егзотична.



Пример 27: Фотографија са мултимедијалног концерта „Квантна музика“, Југословенско драмско позориште

Шест оваквих звучника било је распоређено по сали, два напред, два са стране и два назад. Унапред припремљена матрица, одсвирана на аналогним синтисајзерима је била испрограмирана тако да је звук мењао своје изворе током композиције. Оно што је било константно је био акустични звук клавира који је допирао са два звучника постављена на бини. Матрица је била подељена у више канала и допирала је са различитих звучника. Сваки канал је имао испрограмирану путању. Ово „кружење“ звукова дочаравало је кретање фотона.

7. Дуалност – Иван Божичевић: *Одрживи развој* (аранжман ЛП Дуо)

Наратор: Дуалност честице и таласа описује особину квантних честица да, у зависности од ситуације, испољавају карактеристике и таласа и честица. Дуалност указује на немогућност класичних концепата таласа и честице да у потпуности опишу понашање објеката на квантном нивоу. Када се посматра са стране, чини се да постоје две наизглед контрадикторне слике реалности; одвојено, ниједна од њих није у стању да у потпуности објасни феномене квантног света... тек заједно, слика постаје потпуна.

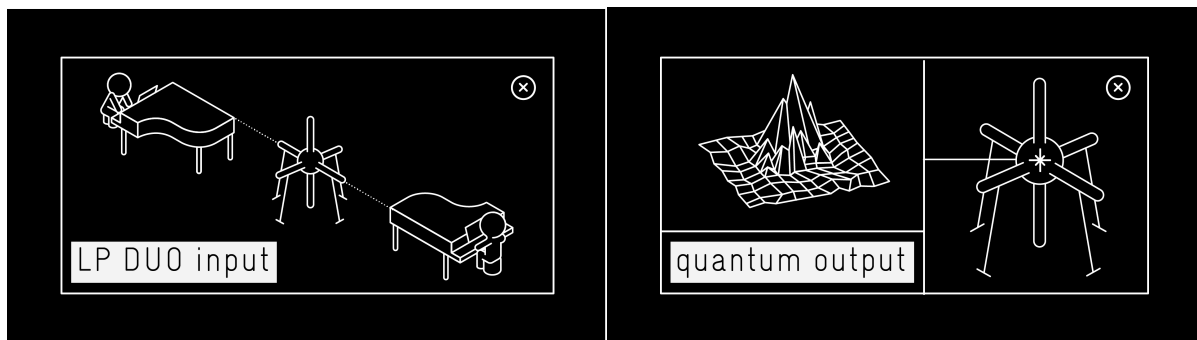
Композиција *Одрживи развој* Ивана Божичевића је у оригиналу настала за два клавира. Састоји се од неколико сличних патерна на основу пентатонске скале који се појављују у једном, па у другом клавиру у различитим регистрима, што повремено ствара утисак „стерео“ звучне слике. У оба клавира су коришћени семплови добијени генерисањем звука симулација експеримената квантне лабораторије. Различити звукови распоређени су по тоновима који су део основне хармоније ове композиције. Сваки од ових звукова је у софтверу програмиран тако да у зависности од дужине држања дирке има различити развој. Основа ових звукова је иста (у клавирима су те основе различите), али оно што је „непредвидиво“ јесте на који начин се сваки од ових звукова развија у односу на дужину држања дирке. Један од параметера који је такође био непредивив је и висина тона, која се такође мењала у зависности од јачине и дужине држања дирке. Пошто су ови параметару били подешени по принципу „вероватноће“, највећи део контроле ових звукова био је препуштен импровизацији. Пијанисти су у реалном времену тражили и испробавали звукове.

8. Bose-Einstein кондензат – музика: Мајкл Најман (тема из филма *Клавир*), J.C.Бах: Тема из концерта за 4 клавира и гудачки оркестар; музика квантних звукова – ЛП Дуо.

Наратор: Драги посетиоци, имамо велику част да присуствујемо контакту са квантним светом, и то уз помоћ Боз-Ајнштајновог кондензата, најхладнијег познатог места у универзуму, чија се температура спушта на милијардити део једног степена изнад апсолутне нуле. И управо на тој температури квантни свет почиње да вибрира и емитује звучне вибрације које је могуће чути.

ЛП Дуо ће уз помоћ хибридних клавира послати аудио-сигнале из нашег света у квантни свет, а остаје да видимо како ће нам квантни свет одговорити. Ова конекција је могућа јер су клавири пред вама опремљени уређајима који могу да и најмању звучну вибрацију клавира претворе у сигнал способан да комуницира са лабораторијом у којој се кондензат тренутно налази.

У претходном поглављу детаљније је објашњено као се у оквиру овог експеримента добијају звукови у квантној лабораторији.



Пример 28: Визуелно решење за задњу пројекцију у оквиру мултимедијалног концерта „Квантна музика“

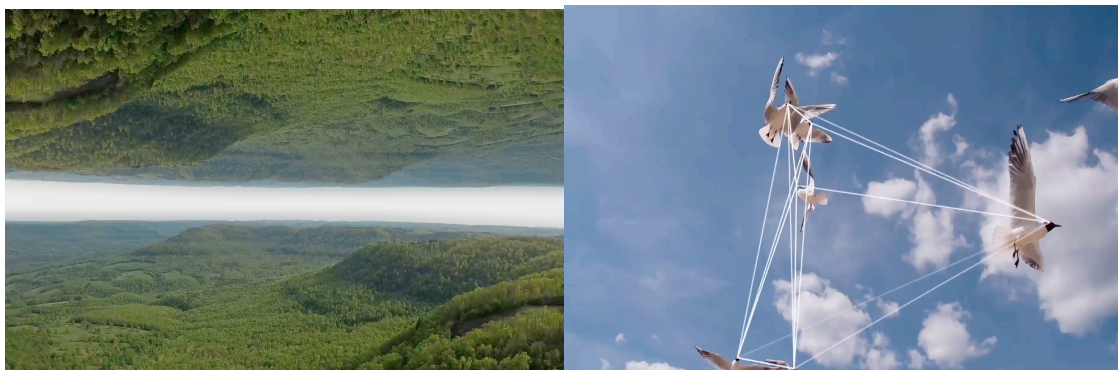
Ово поглавље је осмишљено као приказ комуникације са квантним светом. Квантни физичари никад неће рећи да су „наш“ и „квантни“ свет одвојени, али да би успели да разумемо квантну димензију, често се ови светови „раздвајају“ у теорији. Покушали смо на помало духовит начин да дочарамо лабораторијске услове у којима су ови звукови измерени и пијанисти „задају“ два задатка Боз-Ајнштајновом кондензату свирајући на хибридниим клавирима.

Први задатак је тема из филма *Клавир* Мајкла Најмана (Michael Nyman), а други тема из Баховог концерта за четири клавира и гудачки оркестар. Звукове које смо добили из квантне лабораторије употребили смо на два начина: у првом задатку основни звук смо распоредили по диркама тако што смо променили фреквенцију самог звука, али тако што смо задржали све његове основне параметре. Звук смо транспоновали по диркама да би добили утисак темперованости и тако одсвирали Најманову тему као одговор. У другом задатку, нисмо никако утицали на основни квантни звук какав смо добили из лабораторије. Обе матрице су биле унапред припремљене. Различитим начинима репродукције ових „одговора“ желели смо да покажемо могућности манипулација квантним звуковима.

9. Bioquantum – Иван Божичевић: *Пролеће мину* (аранжман ЛП Дуо)

Наратор: Иако се на први поглед чини да квантни феномени немају никакве додирне тачке са живим бићима, испоставља се да није тако. Квантна биологија је потпуно нова грана биологије, која се труди да уочи и објасни испољавање квантних феномена у живим бићима. Уђимо у лист како бисмо сазнали на који начин се врши процес фотосинтезе...

Ово поглавље и у визуелном и у музичком смислу објашњава чињеницу да светови који су у претходном поглављу комуницирали нису никако раздвојени. Иако у њима постоје потпуно друга правила функционисања, ова два света чине једну целину. Пројекција приказује повезност квантних феномена са фотосинтезом, птицама и природом. За ово поглавље одабрали смо композицију Ивана Божичевића *Пролеће мину* која је такође у оригиналног верзији написана за два клавира. Композиција се састоји из два одсека. У првом одсеку звук који је програмиран за први клавир је такав да је, када се дирка брзо и спретно пусти, могуће је чути само клавир. Дуже држање дирке омогућава продужетак основног тона. Оно што је квантно у овом случају је филтер (cut off) који у односу на дужину држања дирке има свој ток који је донекле непредвидив попут таласа вероватноће.



Пример 29: Визуелно решење за предњу пројекцију у оквиру мултимедијалног концерта „Квантна музика“

У другом одсеку ове композиције, први клавир свира само клавир, док други клавир користи софтверски звук синтисајзера који подсећа на звук аналогно-дигиталног синтисајзера *Roland JUNO-60*. Овај синтисајзер има карактеристичан „ретро“ звук који је на неки начин једна од првих препознатљивих симулација гудачких инструмената. Сам звук је касније добио своју препознатљиву улогу која више није имала везе са можда основном намером „имитирања“ неког другог инструмента, већ је „заслужио“ своје место у свету карактеристичних ретро звукова.

10. Entanglement – Антонио Кореа: *Mr. МекАртур* (аранжман ЛП Дуо)

Наратор: Ентанглемент, или замршено стање, је мистериозан квантни феномен који омогућава двома квантним честицама да у таквом стању деле заједничка квантна својства, чак и у случају када су раздвојене непрегледним космичким просторствима. Ма колико међусобно удаљене биле, оне остају повезане, реагујући тренутно на било какву промену стања свог замршеног пара.

Без обзира на мистерију која овај феномен све време прати, и немогућност савремене науке да га до краја схвати и објасни, квантна замршеност се налази у основама надлазећих технологија, попут квантних рачунара и квантне криптографије, а била је коришћена и у реализацији првих експеримената са квантном телепортацијом.

У овом поглављу пијанисти представљају две честице у замршеном стању. Аранжман за композицију *Mr. МекАртур*, такође у оригиналу написану за два клавира, настао је у оквиру овог пројекта. Први клавир користи унапред испрограмиран МИДИ звук који

подсећа на звук првог чувеног аналогног синтисајзера о којем је било речи у првом поглављу. Трудили смо се да уз помоћ софтверског синтисајзера што ближе дочарамо звук легендарног Минимуга (Minimoog). Овај синтисајзер је монофон, што значи да кад се притисне више од једне дирке он не може да региструје обе него свира само ону која је притиснута последња, или ону која је по фреквенцији изнад претходне. Ово је био наш мали омаж аналогним синтисајзерима и покушај да преко хибридног клавира произведемо ефекат монофоног аналогног синтисајзера. *Mr. МекАртур* је веома брза и виртуозна композиција и аранжман за први клавир је направљен тако да увек свира само по један тон. Акорди који су у оригиналу били у првом клавиру премештене су у деоницу другог клавира који у овој композицији не користи звук синтисајзера.



Пример 30: Фотографија са мултимедијалног концерта „Квантна музика“, Југословенско драмско позориште

У средњем делу, који је у овом случају била импровизација, Андрија долази до мене и везује ми очи, затим одлази до свог клавира и везује и себи очи. Идеја овог „драматуршког“ потеза настала је из самог концепта квантне физике. *Entanglement* или

замршено стање, како се преводи овај феномен, је мистериозна појава у квантном свету. Честице које се налазе на два удаљена места у универзуму имају повезане карактеристике. Када једна промени своје стање, друга у истом тренутку реагује адекватном изменом комплементарних квантних особина. У камерном ансамблу музичари комуницирају преко аудио доживљаја, али један од основних сегмената комуникације је и визуелни контакт. Увек неко од музичара „даје знак“ за почетак или за одређене делове композиције где је неопходна изузетна прецизност. На овај начин желели смо себи да укинемо ову врсту комуникације и да се ослонимо на оно што чујемо. Овај концепт може са стране деловати једноставно, али оно што се десило сваки пут када смо ову композицију извели на овакав начин и док смо вежбали и на концертима, је било једно ново искуство за нас. Слушање је било у већем фокусу и наша комуникација на апстрактном нивоу је увек имала још већи интензитет.

Након кратке импровизације лаганог темпа уследио је последњи одсек ове композиције који је такође изразито виртуозан и брзог темпа. У оквиру овог дела, постоји један мали „дах“ у којем је предвиђено да један од пијаниста да знак за наставак. Везаних очију ово није могуће и наша комуникација у овом одсеку је потпуно препуштена потенцијалном замршеном стању у којем се налазимо. Пауза је довољно дугачка да се на тренутак изгуби континуитет основног „грува“, тако да смо у извођењу били препуштени нашој комуникацији коју смо градили последњих четрнаест година. Као и две честице у замршеном стању, иако смо раздвојени тиме што немамо визуелну комуникацију, остајемо повезани и кроз чист аудио доживљај „реагујемо на промену стања свог замршеног пара.“

11. Телепортација – ЛП Дуо: *Телепортација* (делимично инспирисано делом Терија Рајлија: „G-Song“)

Последње поглавље почиње основном темом композиције *G-Song* Терија Рајлија (Terry Riley). Основну тему смо аранжирали за два клавира и понавља се три пута. У првом понављању она је најсличнија оригиналној композицији, у другом понављању полако се убрзава и аранжман постаје богатији, док се у трећем понављању мења њена основна метрика и из такта 6/8 прелазимо у такт 4/4. Последње понављање нагло је прекинуто

унапред припремљеном матрицом. Са првим тоновима матрице, светло се нагло гаси и пијанисти нестају, „телепортују“ се са сцене и појављују на пројекцији. У оквиру унапред припремљеног видео материјала, пијанисти су у истом костиму.

Последња композиција је компонована у стилу савременог популарног жанра који се зове ретро-футуризам. Телепортација је квантни феномен који је најприсутнији у популарној култури и на једноставан начин је описан и коришћен у многим популарним филмовима и серијама као што је *Star Trek*¹⁷. Иако квантна телепортација нема пуно везе са оваквом популарном интерпретацијом, донекле у теорији би се могла и објаснити на овај једноставан начин. Сваки други покушај објашњења би за публику која нема предзнање из ове области био потпуно неразумљив.

Основна идеја овог поглавља је била да укажемо на незаустављиве промене које се дешавају у складу са неопходном присутношћу нових технологија у нашим свакодневним животима. Као што се то већ интензивно дешава са свакодневним коришћењем интернета и убрзаном разменом информација, квантни компјутери ће дефинитивно једног дана потпуно променити перцепцију света каквог га видимо данас.

На крају овог мултимедијалног концерта, док траје аплауз, поклањање иде само са пројекције, без физичког присуства пијаниста. Овим потезом смо хтели да укажемо на општу усамљеност која влада нашим планетом. Размена информација међу људима се јесте интензивирала и убрзала посредством дигиталних технологија, али физичког контакта у овим комуникацијама је све мање.

¹⁷ „Звездане стазе“ (*Star Trek*) је једна од најгледанијих серија у историји телевизије. Прва епизода је емитована 1966. године, а емитије се још увек у различитим форматима (дугометражни филмови, телевизијска серија), а најпознатија реплика у вези са телепортацијом управо је из ове серије (“Beam me up, Scottie”).

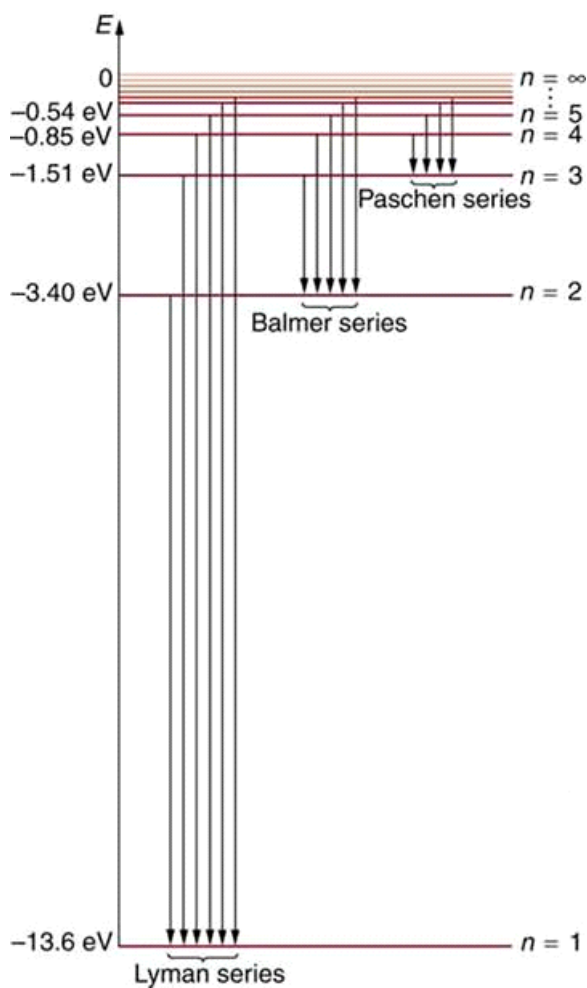
7. СУПЕРПОЗИЦИЈА

Ким Хелвег (Kim Helveg) је композитор са којим имамо дугогодишњу успешну сарадњу. Један је од најизвођенијих данских композитора. Композицијом је почео да се бави са само тринаест година. Највећи део његовог опуса чине композиције за два клавира и два клавира и удараљке, али често се изводе и његова симфонијска дела и балети. У почетку највећи утицај на њега имају композитори Џон Кејџ и Криштоф Пендерецки. Међутим, почетком 1980-их година почиње његово интересовање за жанрове попут цеза, блуза и рока. Дуго је свирао у *jazz fusion* групи, и то аналогне синтисајзере. Од тог момента већи део његовог опуса испуњен је мешавином савремених жанрова. Хелвегова дела прожимају популарни жанрови уз коришћење академских принципа компоновања савремене класике. Својим језиком и оригиналношћу, она потпуно излазе из оквира како савремене, тако и популарне музике. Мешање популарних жанрова у савременој музици јесте у духу овог времена, иако је савремена класична музика у потпуној сенци тзв. популарне музике.

До сада смо снимили сва његова дела за два клавира и заједно аранжирали његову композицију *Mechanical Destruction* за аналогне синтусајзере. Хелвег је увек имао поверења у нашу интерпретацију његове музике и често се дешавало да потпуно променимо неки део, неке тонове, или интерпретирамо његову музику на другачији начин од онога што пише у партитури. То нисмо радили зато што су његове композиције лоше. Хтели смо да музику коју свирамо учинимо „нашом“ у неком смислу, са жељом да звучи потпуно органски, да интерпретација делује као да музика настаје у реалном времену. Он је један од ретких композитора који је увек био отворен за ову врсту сарадње. Тиме што нам је допуштао сву слободу, наше интерпретације његове музике су за мене увек представљале нешто посебно. Без пуно размишљања смо одлучили да њега позовемо у овај пројекат и да заједно са њим истражимо квантни свет.

У оквиру пројекта *Квантна музика* и у оквиру овог докторског уметничког пројекта, извели смо Хелвегову композицију *Суперпозиција*. Ово дело је компоновано у девет краћих ставова различитих карактера и атмосфера. Сваки став је настао као једна од серија фреквенција у квантном систему. Првих шест ставова је добило име по

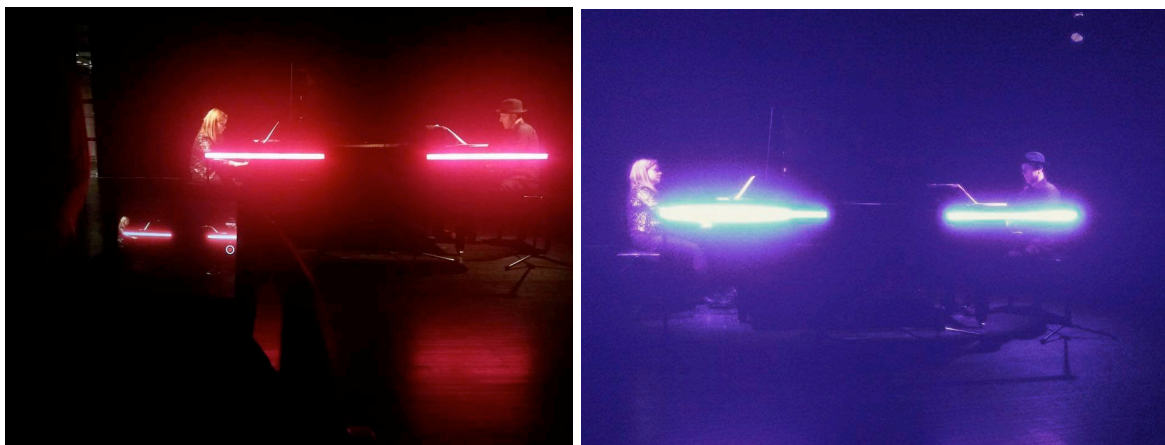
научницима који су их открили, а остали ставови су без назива. Генерисани звукови уснимљени у квантној лабораторији у Архусу (Данска) су транспоновани у чујни опсег и темперовани према дванаестотонској скали. Саме скале произашле из ових експеримената су потпуно невероватних сазвучја и то је била Хелвегова инспирација. Одлучили смо да концерт на којем изводимо Хелвегову композицију буде на акустичним клавирима без употребе Хибридног клавира што је била почетна идеја. Овде је приступ квантној музици био другачији, нису се чули квантни звукови, али смо користили информације добијених фреквенција на клавиру. Ове квантне фреквенције производе необичне, а опет и познате хармонске склопове. Хелвег је овим серијама дао различите карактере кроз девет ставова.



Пример 31: Приказ серија фреквенција у квантном систему

1. *Lyman* серија: Низови тонова ове серије се преплићу кроз оба клавира наизменично и заједно. Став се завршава када се одсвирају сви тонови ове серије.
2. *Balmer* серија: Оригинална Балмер серија је потпуно идентична теми из композиције *Till Eulenspiegel* Рихарда Штрауса. Овај став на духовит начин приказује ову неочекивану подударност.
3. *Paschen* серија: Овај став се изводи уз помоћ магнета *EBow*¹⁸. Тоновима трају у односу на то колико ови магнети стоје на жицама.
4. *Brackett* серија: Тоновима ове серије су подељени на ниске и високе фреквенције. Током става понављају се у различитим ритмовима и темпима.
5. *Pfund* серија: Тоновима ове серије се понављају тако што је осми тон сваки пут другачији. Став има рокенрол ритам и призвук који, како је композитор сам нагласио, подсећа на познату песму *Message in a Bottle* (група *Police*).
6. *Humphrey* серија: У овом ставу приступ тоновима серије *Humphrey* је изражајно лирског карактера. Став је написан у ритму романтичног валцера, али као 7/8.
7. Седма серија: Клавири наизменично изводе тонове ове серије тако да је и између две руке и између два клавира однос постављен као у квантном феномену који се зове Суперпозиција.
8. Осма серија: Овај став је написан као цез импровизација. Ритмови су распоређени између два клавира и тек заједно добијају потребан „грав“.
9. Девета серија: Став се састоји из два дела где су у првом делу тонови серије „извитоперени“, а у другом делу чујемо тонове ове серије у природном сазвучју.

¹⁸ *EBow* је електронски уређај на батерије који се користи за свирање електричне гитаре. Уређај производи електронско магнетно поље и када се стави на жицу опонаша звук који се постиже свирањем гудалом.



Пример 32: Фотографије са концерта ЛП Дуа, извођење композиције Кима Хелвега „Супер позиција“, Југословенско драмско позориште

Током извођења ове композиције испред клавира су постављена два неонска светла. Клавири су озвучени са два микрофона која су повезана са рачунаром. Неонска светла реагују на фреквенције које долазе из клавира а контролише их компјутер преко софтвера специјално осмишљеног за ову прилику. Овај „светлосни“ део композиције осмислио је млади дизајнер светла из Данске, Михаел Брајнер (Michael Breiner).

8. ЗАКЉУЧАК

Савремено доба са собом логично носи небројене облике синестезија и то не само у области уметности. „Хибридношћ“ различитих уметничких или научних области је постала једна врста неопходности у процесима истраживања. По мом мишљењу, овакав начин размишљања много брже може довести до одређеног прогреса. Одувек су се стручњаци из различитих области удруживали ради лакшег разумевања свих аспеката одређеног проблема.

Иако се ансамбл *ЛП Дуо* у основи свог постојања састоји од два иста инструмента, наше поље истраживања је превазишло почетну идеју свирања на два клавира. Када смо припремали Штокхаузену композицију *Мантра* (као што сам већ споменула у уводу), процес је трајао интензивно скоро годину дана, толико је било потребно да се припреми извођење овог комплексног дела. Непосредно након тога наш следећи задатак је било обнављање Моцартове сонате за два клавира Де-дур, коју смо до тада имали прилике да изведемо неколико пута. Никада нећу заборавити осећај повратка Моцартовој Сонати након годину дана свирања Штокхаузенове музике. Оно што смо научили од Штокхаузена веома је променило нашу интерпретацију Моцарта и по мишљењу стручне критике добили смо једну нову димензију разумевања ове сонате. Тако је и свирање на аналогним синтисајзерима дефинитивно донело нови начин слушања и комуникације у оквиру нашег ансамбла. Аранжирање композиција за синтисајзере нам је помогло да изградимо заједнички звук. Правећи заједно нове звукове на новим инструментима, слушање акустичног клавира је добило нове оквире.

Кроз пројекат „Квантна музика“ имали смо могућност да проширимо своје знање и искуство у потпуно новим областима. Велику захвалност за подршку у овом пројекту осим Андрији Павловићу дугујем и проф. др Драгану Новковићу и др Ивани Медић. Кванта физика, квантна акустика, режија мултимедијалног концерта, продукција концерата, аранжирање и компоновање, све су то били нови простори које смо освајали у оквиру овог пројекта. Истраживање на пољу квантне физике ми је дало нову инспирацију, а покушај разумевања квантних феномена је за мене донео нови начин слушања музике и то не само различитог колорита него и другачије разумевање структуре. У овом начину размишљања о музици и уметности ја сам на самом почетку

и сигурна сам да је ново поглавље у мом уметничком изразу већ присутно али да ће се тек развијати у новим правцима.

Као што сваки пијаниста сања о савршеном клавиру, тако смо и ми одувек маштали о савршеном инструменту. Изградња новог инструмента који је пројектован по нашим жељама је синестезија свих наших досадашњих истраживања у заједничком свирању. Нови инструмент нас је инспирисао на компоновање и то компоновање у оквиру ансамбла који је постао основно средство за наш уметнички израз. Хибридни клавира је већ заузео значајну позицију у раду нашег дуа неvezано за пројекат „Квантна музика“. Чињеница да га је лако монтирати на било који концертни клавира и да је преносив, отвара нам могућност да од сада на новом инструменту наступамо било где у свету и тако произведемо унукатан музички доживљај за публику. Хибридни клавира ће се даље развијати заједно са нашим истраживачким радом. Већ постоје идеје о унапређењу овог механизма, а то ће бити екстерни контролер са потенциометрима за филтере који ће омогућити још органскији приступ самом извођењу.

Кроз историју, ретки су камерни ансамбли који дуго трају у истом саставу, а наша је одлука да на тај начин заједнички и даље истражујемо и напредујемо. Због тога је овај закључак, као и већи део писаног дела докторског уметничког пројекта, *Хибридни дуо – нови простори савременог извођаштва у ансамблу клавирашки дуо*, већим делом написан у множини. Наш четрнаестогодишњи заједнички рад до сада је доживео различите фазе, али мислим да смо тек на почетку потпуно новог поглавља нашег заједничког истраживачког рада. Нова знања и нови инструмент омогућавају нам нове просторе које једва чекамо да упознамо и освојимо.

9. ЛИТЕРАТУРА

1. Adorno W., Theodor, *Essays on Music*, Univeristy of California Press, Ltd., 2002.
2. Atali, Žak, *Buka*, Beograd, Čigoja štampa, Biblioteka XX vek, 2007.
3. Cage, John, *Radovi/tekstovi 1939-1979*, Beograd, Radionica SIC, 1981.
4. Cohn, Jessica, *The Electronic Music Scene*, Enslow Publisher Ltd., 2010.
5. Dirac, Paul, *The Principles of Quantum Mechanics*, Oxford University Press, 1930.
6. Emmerson, Simon, *Combining the Acoustic and the Digital: Music for Instruments and Computer or Prerecorded Sound*, The Oxford Handbook of Computer Music, Oxford University Press, 2009
7. Gostuški, Dragutin, *Vreme umetnosti*, Beograd, Prosveta, 1968.
8. Griffiths, Paul, *A Guide to Electronic Music*, Thames and Hudson, Bath, 1979.
9. Heisenberg, Werner, *Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science*, HarperCollins, 2007.
10. Heisenberg, Werner, *The Physical Principles of the Quantum Theory*, Courier Corporation, 1949.
11. Hofman, Srđan, *Osobnosti elektronske muzike*, Knjaževac, Nota, 1995.
12. Holmes, Thom, *Electronic and Experimenta Musicl*, Routledge, 2002.
13. Jenkins, Mark, *Analog Synthisizers*, Taylor & Francis, 2009.
14. Longhurst, Brian, *Popular Music and Society*, Polity Press, 2007.
15. Manning, Peter, *Electronic and Computer Music*, Oxford University Press, 2004.
16. Meyer, Leonard B, *Music, Arts and Ideas, Patterns and Predictions in Twentieth Century Culture*, The University of Chicago, 1967.
17. Mikić, Vesna, *Muzika u tehno-kulturi*, Univerzitet umetnosti, Beograd, 2004.

18. Mitra, Amanda, *Digital Music, Computers that Make Music*, Chelsea House Publishers, 2010.
19. Pinch, Trevor & Trocco, Frank, *Analog Days, The Invention and Impact of the Moog Synthesizer*, Harvard University Press, 2002.
20. Puckette, Miller, *The Theory and Technic of Electronic Music*, World Scientific Publishing, 2007.
21. Radovanović, Vladan, *Elektronski studio*, Beograd, III Program Radio Beograda, 1972;
22. Radovanović, Vladan, *Muzika i elektroakustička muzika*, Novi Sad, Izdavačka knjižnica Zorana Stojanovića, 2010.
23. Risset, Jean-Claude, *An Introductory Catalogue of Computer Synthesized Sounds*, Bell Telephone Laboratories, New Jersey, 1968.
24. Risset, Jean-Claude, *An Introductory Catalogue of Computer Synthesized Sounds*, New Jersey, Bell Telephone Laboratories, 1968.
25. Schaeffer, Pierre, *In Search of a Concrete Music*, University of California Press, 2012.
26. Schaeffer, Pierre, *Treatise on Musical Objects*, University of California Press, 2017.
27. Stockhausen, Karlheinz, *Četiri kriterijuma elektronske muzike*, Edicija Šum, Niš, 1989.
28. Šuvaković, Miško: *Pojmovnik teorije umetnosti*, Beograd, Orion Art, 2011.
29. Toop, Richard, *Stockhausen and the Kontarskys: A Vision, an Interval, and a Mantra*, *The Music Review* 47, no. 3 (August): 194–99.1986.
30. Vedral, Vlatko, *Dekodiranje stvarnosti*, Beograd, Laguna, 2014.
31. Warnke, Ulrich, *Quanten Philosophie und Spiritualitat*, Berlin-Munchen, Scorpio Verlag Gmbh & Co. KG, 2011.
32. Žižek, Slavoj, *The Sublime Object of Ideology*, London, Verso, 1989.

Sajtovi:

<https://www.moogmusic.com/legacy/bob-moog-timeline>

<http://www.studiomastering.net/e/mastering08e.html>

<http://www.studiomastering.net/e/mastering09e.html>

<http://www.oxfordhandbooks.com/view/10.1093/oxfordhb/9780199935321.001.0001/oxfordhb-9780199935321-e-74>

<https://www.soundonsound.com/people/dr-robert-his-modular-moogs>

<http://www.oskar-sala.de/>

