

## **Syngjandi sýndarheimur**

-notkun eigintíðna hluta og yfirtónaraða í  
gagnvirku tónlistarumhverfi tölvuleikja-

Örn Ýmir Arason



Listaháskóli Íslands

Tónlistardeild

Tónsmíðar

## **Syngjandi sýndarheimur**

-notkun eigintíðna hluta og yfirtónaraða í  
gagnvirku tónlistarumhverfi tölvuleikja-

Örn Ýmir Arason

Leiðbeinandi: Baldur Jóhann Baldursson

2014

## Útdráttur

Tölvuleikir eru gríðarlega vinsæl afþreying í nútíma samfélagi. Milljónir manna um allan heim spila tölvuleiki gjarnan í gegnum internetið sem færir spilara saman í landamæralausu umhverfi utan viðja hversdagsleikans. Tónlist er mikilvægur hluti tölvuleikja og er tölvuleikjatónlist sífellt að verða umfangsmeiri grein. Nýjungrar í tölvutækninni haldast í hendur við nýjungrar í tónlist. Í þessari ritgerð skoða ég möguleika á að skapa gagnvirkta hljóðumhverfi fyrir tölvuleik sem byggir á gagnvirkri spilun. Hugmyndin um að nota eигintíðnir þeirra hluta sem koma fyrir í leiknum (t.d. bygginga, ljósastaura o.s.frv.) sem hljóðmyndina sjálfa hefur ekki verið nýtt í tölvuleikjaheiminum. Viðfangsefnið er í senn tæknilega og tónlistarlega erfitt enda fjölmargir þættir sem gætu haft áhrif á hljóðmyndina. Annar hluti hugmyndarinnar miðar að því að færa þessar eигintíðnir inn í ramma sem byggir á hugmyndum spektralista. Í stuttu máli hefur hver hlutur í leiknum sína eigin rödd þ.e.a.s. hver hlutur er hljóðgjafi sem gefur frá sér sitt eigið hljóð. Það einkennishljóð hlýtur hluturinn með tiliti til eигintíðna hans og flokkunar sem kynnt er nánar. Farið verður stuttlega í vísindi eигintíðna og eiginleika hljóðs auk þess sem imprað er á sögu spektral tónlistar og tónsmíðatólum spektralista.

# Efnisyfirlit

<b>Inngangur.....</b>	4
Tónlist í tölvuleikjum.....	4
Aukin gagnvirkni í tölvuleikjum.....	4
„Sandkassinn“.....	5
Nýjungar í tölvuleikjatónlist.....	5
<b>Vísindi hljóðs.....</b>	6
Eigintíðnir hluta.....	6
Bylgjur.....	7
Útreikningar á eigintíðnum.....	8
<b>Spektral tónlist.....</b>	8
Ágrip.....	8
Yfirtónar.....	9
Útreikningar yfirtónaraða.....	11
Notkun yfirtónaraðar í tónverki.....	12
Andstæður í spektral tónlist.....	13
<b>Úrvinnsla hugmynda.....</b>	14
Hljóðdrægni.....	14
Utandyra umhverfi.....	14
Val á tíðnum.....	16
Hljóðeiginleikar hluta.....	16
Áhrif annara spilara.....	17
Dæmi í leik.....	18
<b>Lokaorð.....</b>	20
<b>Heimildaskrá.....</b>	22

# Inngangur

## Tónlist í tölvuleikjum

Samband tónlistar og myndar er viðfangsefni sem er í sífelldri skoðun. Eitt listaverk í nánu samneyti við listaverk af öðrum toga gefa hvort öðru í sameiningu enn meiri dýpt og tilfinningu en ella. Tónlist samin út frá málverki, tónlist við ljóð, tónlist við leiklist, tónlist við dans, tónlist við bíomyndir og yngsta fyrirbærið; tónlist við tölvuleiki. Tölvuleikir hafa átt náið samband við tónlist allt frá upphafi sínu en fyrsti tölvuleikur sem almenningur gat spilað í spilakössum var leikurinn „Computer Space“ frá árinu 1971. Ári síðar varð sprenging í vinsældum tölvuleikja er leikurinn „Pong“ kom út og síðan þá hefur markaðurinn stækkað hratt<sup>1</sup>. Tölvuleikir velta nú meiri peningum á ári en samanlögð velta kvíkmynda, tónlistar og sjónvarpsefnis.<sup>2</sup>

Það sem er einstaklega áhugavert við að skoða samband þessara tveggja listgreina - tölvuleiksins og tónlistarinnar – er það að þróunin er öll skrásett, enda listformið mjög ungt. Hægt er að sjá og heyra hvernig tónlistin þróaðist samhliða tölvutækninni sjálfri. Í dag eru möguleikarnir í tölvuleikjatónlist nánast ótakmarkaðir. Flóran er óendanlega fjölbreytt. Allt frá stórum sinfóníusveitum að spila tónlist eftir verðlaunuð kvíkmyndatónskáld yfir í einföld handrit einungis unnin á eitt hljómborð<sup>3</sup>. Möguleikar nútímatækninnar eru svo gífurlegir að það eina sem stendur í vegi sköpunarinnar eru sjálfir listamennirnir, tónskáldin. Hver eru næstu skrefin fyrir tónlist í tölvuleikjum?

## Aukin gagnvirkni í tölvuleikjum

Gagnvirkni er orðin mikilvæg í tölvuleikjum nútímans. Gagnvirkni hefur auðvitað ávallt verið til staðar í tölvuleikjum þar sem tölvuleikir eru í grunneðli sínu gagnvirk skemmtun en þegar talað er um aukna gagnvirkni í tölvuleikjum í dag er átt við vald

---

<sup>1</sup> Aaron Marks og Jeannie Novak, *Game Development Essentials: Game Audio Development*, Delmar Cengage Learning, Kanada, 2009, bls. 5.

<sup>2</sup> Sama rit, bls. 3.

<sup>3</sup> Sama rit, bls. 23.

spilarans á framvindu og sköpun leiksins.<sup>4</sup> MMORPG leikir (Massively Multiplayer Online Role-Playing Game) sem spilast á internetinu verða vinsælli með degi hverjum. Hægt er að spila tölvuleiki við fólk hvaðanæva úr heiminum ýmist sem samherjar eða mótherjar.<sup>5</sup> Margir tölvuleikjaframleiðendur eru farnir að nýta gagnvirkni í sínum tölvuleikjum á þann hátt að þú stjórnar sjálfur vel flestu sem gerist í leiknum. Hægt er að móta eigin söguhetju útlitslega en einnig persónuleika söguhetjunnar sem getur breytt söguþræði leiksins. Allt eftir því hvaða ákvörðun spilarinn tekur hverju sinni við tilteknar aðstæður. Þetta er vissulega ekki alveg frjálst þar sem leikurinn stýrist yfirleitt af grundvallar söguþræði.

### **„Sandkassinn“**

Til eru leikir sem ganga skrefinu lengra og skapa risastórt svið (einhvern sýndarheim) þar sem spilarinn stjórnar sögunni alfarið sjálfur. Frelsið er þó ekki algilt. Eins og í raunveruleikanum stjórnast framganga söguhetjunnar af lögum/reglum samfélagsins og fólkini sem hún umgengst. Hinir fjölmörgu spilarar sem tengjast saman heimshorna á milli mynda heiminn saman. Þessi tegund sýndarheims fær stundum titilinn „sandbox“ eða „sandkassaheimur“ þar sem söguhetjan fær efnivið og mótar sinn eigin heim með öðrum spilurum<sup>6</sup>.

### **Nýjungar í tölvuleikjatónlist**

Hvar passar tónlistin svo inn í þessar litlu hliðarvíddir nýrra heima? Hvernig er hægt að láta tónlistina endurnýja sig og verða hluta af síbreytilegum aðstæðum þessara gagnvirku tölvuleikja? Tölvuleikjatónlist virðist sífellt færast nær þeirri tegund tónlistar sem gjarnan er tengd við kvíkmyndir. Þó svo að þetta sé árangursríkt og fullt til af stórbrotinni tölvuleikjatónlist þá er tölvuleikur í eðli sínu langt frá því að vera kvíkmynd og verða því tónskáldin sífellt að sækja fram á við til að fylgja þessari öru þróun. Tónlistin á að geta skapað algjörlega einstakt umhverfi í þeim sýndarheimum sem eru algjörlega óraunverulegir eða fjarstæðir. Þar má t.d. nefna tónlist sem heyrist

---

<sup>4</sup> Karen Collins, *Playing with Sound*, The MIT Press, Massachusetts, 2013, bls. 19.

<sup>5</sup> Sama rit, bls. vii.

<sup>6</sup> Baldur Jóhann Baldursson, „Applying music in a meaningful way in a sandbox type massive multiplayer online role playing game“, MA ritgerð við Listaháskóla Íslands, júní 2011, bls. 6.

þegar spilari fer inn í svarthol í leik sem gerist í geimnum. Þessar aðstæður eru svo fjarlægar mannlegum skilningi að tónlistin verður að koma til móts við það. Hægt er að gera tölvuleik hlaðinn spennu með því að sleppa tónlistinni og notast eingöngu við hljóð úr/frá umhverfinu. Færa má rök fyrir því að dauðaþögn væri vísindalega réttasta tónlistin til að hafa í svartholsumhverfi enda heyrast engin hljóð í tömi geimsins. Val á því hvers kyns tónlist er í leiknum fer einfaldlega eftir því hvaða upplifun framleiðandinn vill ná fram og hvers kyns vöru hann vill selja. Í þessari ritgerð mun ég kynna nýja möguleika í gagnvirkri tónlist fyrir tölvuleik. Hér ætla ég að skoða möguleikann á að nýta eigintíðnir hluta (þeirra hluta sem við sjáum á skjánum í tölvuleiknum sjálfum) við að skapa andrúmsloftið í leiknum. Þar að auki mun ég kynna tónlistarhugmyndir spektralista og útfæra þær í samneyti við þessar eigintíðnir og skapa þar með hljóðheim sem hefur sterkan eðlisfræðilegan grunn, tengingu við umhverfi leikjarins og fjölbreytileika á við aðra þætti leikjarins. Til hliðsjónar hef ég meistararitgerð Baldurs Jóhanns Baldurssonar frá árinu 2011 og mun ég kynna nokkrar hugmynda hans um sérhæfðari tónlistarupplifun í tölvuleikjum út frá mismunandi persónueinkennum söguhetja í tölvuleikjum. Þær hugmyndir voru settar fram með sérstakan tölvuleik í huga „World of Darkness“ sem enn er í vinnslu. Ég mun einnig miða mína rannsókn að einhverju leyti við þennan leik.

## Vísindi hljóðs

### Eigintíðnir hluta

Við skulum byrja á því að kynna okkur hvað eigintíðnir hluta eru. Þegar utanaðkomandi hljóðbylgja skellur á hlut gerist ýmislegt. Hljóðið endurkastast að einhverju leyti af hlutnum en hluti þess fer í gegnum hlutinn og þar með inn í efnið sjálft.<sup>7</sup> Eigintíðni hlutar er sú bylgjutíðni sem endurómar í hlutnum þegar bylgjan fer í gegnum hann. Sú bylgjulengd eyðir ekki sjálfri sér með fösun þegar hún endurkastast í efni hlutarins (líkt og flestar aðrar tíðnir) heldur eflist hún. Þá síast allar aðrar tíðnir

---

<sup>7</sup> *Behavior of Sound Waves*, The Physics Classroom, 1996-2013,  
<http://www.physicsclassroom.com/Class/sound/u11l3d.cfm>

en eigintíðnin úr hlutnum og bylgjan endurómar.<sup>8</sup> Til að skilja betur þennan enduróm er líklega best að skella sér bara í sturtu og syngja. Baðherbergi eru oft þannig að hljóð endurkastast vel og bergmál mikið í rýminu. Ef betur er að gáð heyrast sumar nótunar enn skyrar því að eigintíðnir veggjana styrkja hljóðið með sinni eigin rödd. Dugir einnig að syngja djúpa nótu, syngja sig upp tónsviðið og sjá hvort einhverjar tilteknar nótur fái afgerandi svar frá herberginu. Þessar nótur eru eigintíðnir herbergisins.

## Bylgjur

Hljóðbylgjur eru mældar í Hertzum. Eitt Hertz stendur fyrir eina bylgjulengd á sekúndu eða eina sveiflu á sekúndu. 20 Hertz eru þá 20 sveiflur á sekúndu og svo framvegis. Mannseyrað greinir yfirleitt bylgjur frá 20 Hz til 20.000 Hz.<sup>9</sup> Þegar eigintíðni hlutar er á þessu heyranlega bili getum við heyrt enduróminn ef sú bylgjutíðni er sú sama og eigintíðni hlutarins. Eigintíðnir hluta geta verið margar en þær ráðast m.a. af lögun hlutanna. Hlutur eins og bygging býr yfir fjölmögum tíðnum sem enduróma, bæði heyranlegum og óheyranlegum<sup>10</sup>. Nota mætti þessar eigintíðnir hluta sem raddir í leiknum. Hver bygging hefði sína einstöku rödd, hver bíll, hver ruslatunna! Þessi hugmynd er hugsuð sem ný leið til að fá umhverfishljóð sem eru ekki bara hljóðmynd heldur líka tónlist. Fyrir mér er eigintíðnin það sem kemst næst því að vera sál hlutar. Hún ljáir hlutnum sína rödd sem tekur undir og syngur til manns á móti. Þessar eigintíðnir eru auðvitað háðar því að annar hljóðgjafi gefi frá sér bylgjuna sem endurómar í hlutnum. Hlaturinn framleiðir ekki hljóðið heldur endurkastar því. Í tölvuleiknum yrði þessu þó hártað öðruvísi. Hver hlutur fengi að syngja sinn söng án nokkurar utanaðkomandi hjálpar.

---

<sup>8</sup> *Resonance and Standing Waves*, The Physics Classroom, 1996-2013,  
<http://www.physicsclassroom.com/class/sound/U11L4a.cfm>

<sup>9</sup> Daniel J. Levitin, *This Is Your Brain On Music*, Penguin Group, Bandaríkin, 2006, bls. 25.

<sup>10</sup> „Behavior of Sound Waves“, The Physics Classroom.  
<http://www.physicsclassroom.com/Class/sound/u11l3d.cfm>

## Útreikningar á eigintíðnum

Að reikna eigintíðnir hluta getur verið mjög flókið þar sem breyturnar geta verið margar. Hver hlutur getur átt margar eigintíðnir og mörg atriði ráða því hverjar tíðnirnar eru og hversu margar. Þykkt, form og efniviður hlutar eru helstu breyturnar<sup>11</sup>. Þar sem markmiðið er að nýta sér þessar eigintíðnir í tölvuleik þá þarf að skapa einfalt kerfi sem reiknar út tíðnirnar og má það ekki taka mikið gagnapláss. Grafik og aðrir þættir tölvuleikja nota mikið gagnamagn og viljum við að sem flestar tölvur ráði við að keyra leikinn.

Einnig yrði nákvæmni þessara tíðna þess valdandi að hljóðheimurinn yrði of ríkur þar sem tíðnirnar yrðu ekki flokkanlegar innan eiginlegrar tónategundir. Einhverjar tíðnir væru utan jafnstillta tónkerfis vesturlanda þjóða. Það gæti í sjálfu sér verið spennandi og væri hægt að útfæra á drungalegann hátt til að skapa óþægilega spennu (sem væri jákvætt fyrir suma leiki). Hins vegar er grundvallaratriði við gerð tölvuleikja að sníða leikinn að þörfum og væntingum kaupandans (tölvuleikjaspilarans) og væri svona óreiðukent tónlistarlandslag líklega fráhrindandi fyrir spilarann. Þess vegna geng ég út frá þeirri forsendu að eigintíðnirnar verði námundaðar að næsta tóni í ákveðinni yfirtónaröð og búa þar með til einhvers konar spektral tónlistar umhverfi.

## Spektral tónlist

### Ágrip

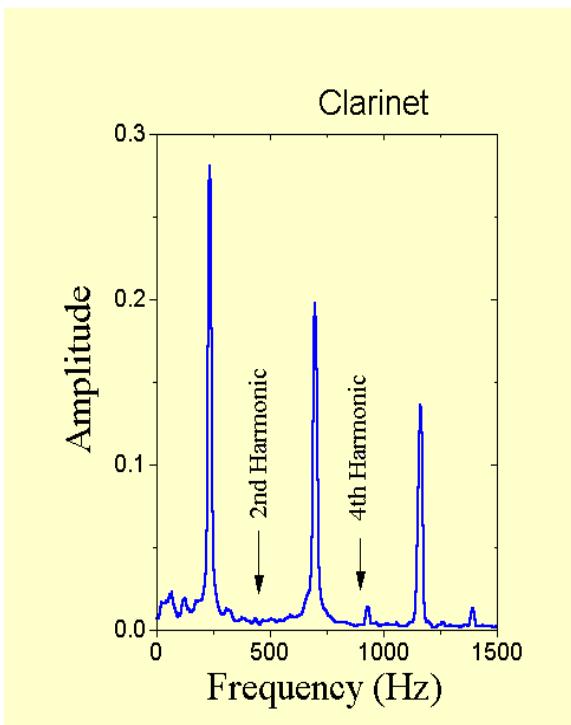
Spektral tónlist er tónlistarstefna sem varð til upp úr áttunda áratugnum á síðustu öld. Upphafsmenn stefnunnar eru margir en þó er gjarnan talað um franska tónskáldahópinn L’Itinéraire sem helstu forsprakka stefnunnar en þeir eru gjarnan kallaðir „spektral hreyfingin“. Stefnan byggir á því að greina sjálfst eðli hljóðsins og nota byggingareiningar hljóðsins, hljóðrófið til að semja tónlist. Þeir byggja verk sín á

---

<sup>11</sup> „Resonance and Standing Waves“ The Physics Classroom.  
<http://www.physicsclassroom.com/class/sound/U11L4a.cfm>

yfirtónum hljóða með þeim hætti að þeir láta greina byggingu stakrar nótur niður í frumeindir sínar (yfirtónaröð nótunnar) og láta hljóðferahóp spila þessa yfirtónaröð.<sup>12</sup>

## Yfirtónar



**Mynd 1.** Kort yfir hljóðstyrk yfirtóna í spilaðri nótu á klarinett. Amplitude er hljóðstyrkur (hlutfall) og frequency er tíðni (Hertz).

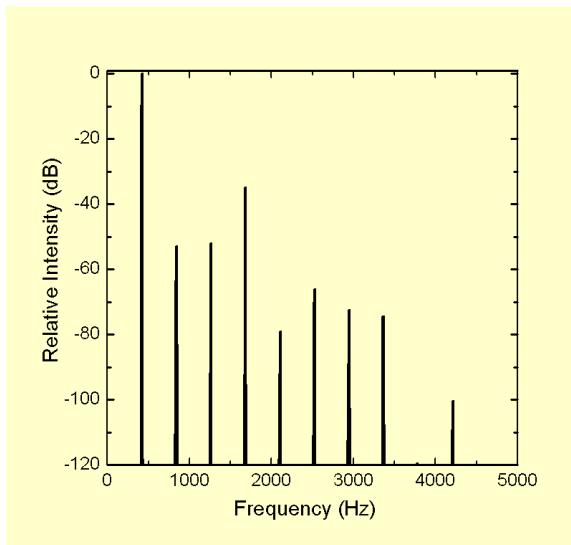
Uppbyggingarefni nótana eða tóna eru sínusbylgjur. Sínu bylgjur eru hreinar bylgjur sem eru alveg lausar við yfirtóna. Nóta spiluð af klarinettu er byggð úr mörgum sínu bylgjum sem saman mynda einstakan tón (sjá **Mynd 1.**) Þessi bygging nótur er kölluð yfirtónaröð nótunnar. Þegar við heyrum þessa nótu í klarinettu hljómar þetta eins og einn tónn en er í rauninni margir tónar. Það hljóð sem við greinum er það sem er skýrasta tíðnin og er sú tíðni kölluð grunntíðni eða grunnóta. Síðan eru yfirtónar sem heyrast misvel, með mismiklum hljóðstyrk. Yfirtónaraðir eru mjög mismunandi eftir hljóðfærum og eru raðirnar mismunandi þó að tvö hljóðfæri spili nákvæmlega sömu nótu, í sömu áttund. Þessi munur í yfirtónabyggingunni er það sem veldur því að píanó hljómar eins og píanó en ekki eins og fiðla þó að hljóðfærin geti spilað

---

<sup>12</sup> Julian Anderson, *Spectral music*, Oxford University Press, 2007-2013,  
<http://www.oxfordmusiconline.com/subscriber/article/grove/music/50982>

nákvæmlega sömu nótu. Munurinn er sá að mishátt heyrist í yfirtónum hvers hljóðfærис (þó að sömu yfirtónarnir séu til staðar hjá báðum hljóðfærunum) með sömu nótu. Þennan einstaka lit hvers hljóðfærис köllum við hljómlblæ hljóðfærisins.<sup>13</sup>

Eins og sjá má á **Mynd 1** heyrast yfirtónar nr. tvö og fjögur frekar illa í hljóði klarinetts en grunntóninn (yfirtónn nr. eitt) og yfirtónar nr. þrjú og fimm eru mun aflmeiri í hljóðstyrk. Ef grannt er skoðað þá má sjá að greinilegustu yfirtónar klarinettsins eru oddatölurnar. Þessi yfirtónabygging gefur klarinettinu mjúka hljómlblæ sinn. Til samanburðar er mynd (**Mynd 2**) af tóni saxófóns og yfirtónar þeirrar nótu. Eins og sjá má er ansi óreglulegt hve mikið heyrist í hverjum yfirtóni saxófónsins. Grunntóninn er öflugastur, næstöflugastur er yfirtónn nr. fjögur, síðan þriðji, annar, sjötti, sjöundi, áttundi, fimmti, tíundi og síðan nánast óheyranlegur nr. níu. Hljómlblær saxófóns er bjartari en á klarinettu<sup>14</sup>.



**Mynd 2.** Kort yfir hljóðstyrk yfirtóna í spilaðri nótu á saxófón. Intensity er hljóðstyrkur (desiBel) og frequency er tíðni (Hertz). Súlurnar sýna yfirtónanna og grunntóninn (frá vinstri).

<sup>13</sup> Daniel J. Levitin, *This Is Your Brain On Music*, bls. 46.

<sup>14</sup> Bryan H. Suits, *Physics of Music*, Michigan Technological University, 1998-2013, <http://www.phy.mtu.edu/~suits/clarinet.html>

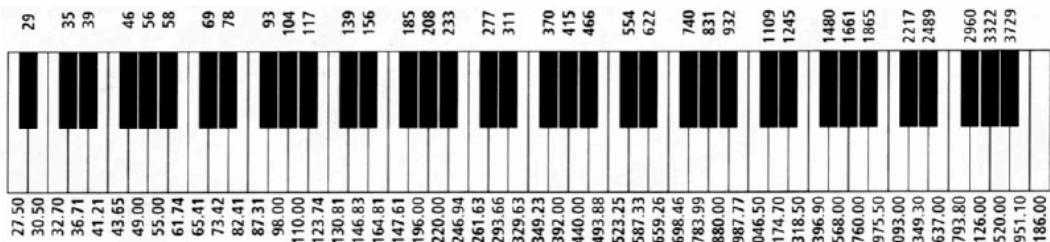
## Útreikningar yfirtónaraða

Til að reikna yfirtónaröð nótum þá finnum við grunntíðni nótunnar. Við skulum skoða yfirtóna nótunnar C<sub>3</sub> (261.63 Hz). Við reiknum yfirtónaröðina með að margfalda grunntíðnina með númeri yfirtónsins. Þó svo að grunntóninn sé tæknilega ekki yfirtónn þá ætlum við að kalla hann yfirtón nr. eitt. Til að finna yfirtón nr. tvö þá margföldum við einfaldlega grunntíðnina (261.63 Hz) með númeri yfirtónsins þ.e. tveimur. Þá fáum við yfirtóninn í 523.26 Hz. Til að fá næsta yfirtón þá margföldum við 261.63 Hz með 3 sem gerir 784.89 Hz. Svona reiknar maður yfirtónana koll af kolli.<sup>15</sup> Þessar tölur er síðan hægt að bera saman við hljómborðið á **Mynd 3** og staðsetja nótum yfirtónsins á píanóinu. Eins og sjá má í **Töflu 1** eru margir yfirtónarnir ekki fullkomlega hreinir miðað við tíðnirnar á píanóinu. Þess vegna þarf að námunda yfirtóninn að þeirri nótum á hljómborðinu sem kemst næst tölunni. Yfirtónarnir í einni nótum heyrast misvel og eru það hljóðfærasmíðum sérstaklega mikilvæg fræði að kunna að framkalla rétta yfirtóna sterkt í hljóðfæri.

Nr. yfirtóns	Tíðni (Hz)	Nóta	Tónbil	Tíðni nótum á hljómborði	Mismunur tíðna yfirtóns og nótum
1	261.63	C	Grunntónn	261.63	
2	523.26	C	Áttund	523.25	+0.01
3	784.89	G	Hrein fimmund	783.99	+0.9
4	1046.52	C	Áttund	1046.5	+0.02
5	1308.15	E	Stór þríund	1318.5	-10.35
6	1569.78	G	Hrein fimmund	1568	+1.78
7	1831.41	B	Lítill sjöund	1865	-33.59
8	2093.04	C	Áttund	2093	+0.04
9	2354.67	D	Stór tvíund	2349.3	+5.37
10	2616.3	E	Stór þríund	2637	-20.7
11	2877.93	F#	Stækkuð ferund	2960	-82.07
12	3139.56	G	Hrein fimmund	3126	+13.56
13	3401.19	Ab	Lítill sexund	3322	+79.19
14	3662.82	B	Lítill sjöund	3729	+66.18
15	3924.45	H	Stór sjöund	3951.1	-26.65
16	4186.08	C	Áttund	4186	+0.8

**Tafla 1.** Hér höfum við töflu sem sýnir yfirtónaröð píanónótunnar C<sub>3</sub>.

<sup>15</sup> Daniel J. Levitin, *This Is Your Brain On Music*, bls. 42-43.



**Mynd 3.** Hér höfum við hljómborð með tíðni hverrar píánónótu skrifaða í Hertzum. Eins og sést á myndinni þá er áttund alltaf tvöfalt hærri í tíðni en grunnáttundarnóta. Djúpa A-ið er 27.5 Hz en ef við margföldum það með tveimur fáum við A áttund ofar í 55 Hz. Síðan fáum við aftur A með að margfalda 55 með tveimur sem gerir 110 Hz og þannig reiknum við koll af kolli.

### Notkun yfirtónaraðar í tónverki

Skoðum nú hvernig spektralistar nýta sér þessa yfirtóna. Þeir gera greiningu á tilteknu hljóði og dreifa yfirtónunum á hljóðfærahóp. Þegar hljóðfærahópurinn spilar þessar tíðnir sem fengust úr greiningunni, fá þau úthlutað sérstakri tíðni úr yfirtónaröð upprunalega hljóðsins. Síðan láta tónskáldin hljóðstyrk hvers hljóðfærir ráðast af því hversu sterkur yfirtónninn er í samanburði við aðra yfirtóna hljóðsins. Þannig fær grunntónn hljóðsins yfirleitt alltaf mesta styrkleika en í einstaka hljóðum (eins og í bjöllum) myndast undirtónn sem er sexund fyrir neðan grunntón<sup>16</sup>. Þessi fræði eru ekki hugsuð til að endurskapa hljóðið sem áður var greint frá, því hljóðfærin sem spila áður greindu yfirtónaröðina hafa líka sínar eigin yfirtónaraðir og því ómögulegt að gera fullkomna eftirmund nema með hreinum sínusbylgjum.

Eitt frægasta spektral tónverkið er án efa verkið Partiels eftir Gerard Grisey.<sup>17</sup> Yfirtónahugmyndirnar í verkinu eru mjög skýrar og því kjörið að kynna sér þetta verk aðeins nánar. Byrjun verksins er mjög ákveðin og byrjar á hryni sem liggar á djúpu E-i hjá kontrabassa og básunu. Þau eru einu hljóðfærin í byrjun en mjög fljótlega kemur öll hljómsveitin inn og tekur þar stóran spektral hljóm, yfirtónaröð. Þessi röð er röð út frá E nótunni hjá básunu sem heyrðist í byrjun. Röðin byrjar á öðrum yfirtóni (þeas áttund ofar en grunntónn) og er þetta því nokkurs konar yfirtónabergmál. Hann skiptir upp yfirtónunum milli hljóðfæra og notar styrkleikamerki til að líkja eftir hversu sterkur yfirtónninn er í upprunalega hljóðinu sem röðin líkir eftir.<sup>18</sup>

<sup>16</sup> Daniel J. Levitin, *This Is Your Brain On Music*, bls. 45.

<sup>17</sup> Joshua Fineberg (ritstjóri), *Spectral Music: History and Techniques*, Overseas Publishers Association, Amsterdam, 2000, bls. 107.

<sup>18</sup> Thierry Alla, *Partiels*, Academy of Bordeaux, 2013, <http://webetab.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Musique/grissey.html>

Nr. yfirtóns	Tíðni (Hz)	Nótnaheiti	Tónbil	Hljóðfæri	Styrkleiki
2	164,8	E	Hrein 8und	Kontrabassi	ff
3	247,2	H	Hrein 5und	Klarinett	f
4	329,6	E	Hrein 8und	-	-
5	412,0	G#	Stór 3und	Selló	f
6	494,4	H	Hrein 5und	-	-
7	576,8	D	Lítil 7und	Víóla	mp
8	659,2	E	Hrein 8und	-	-
9	741,6	F#	Stór 2und	Víóla	mp
10	824,0	G#	Stór 3und	-	-
11	906,4	A	Hrein 4und	Flauta	mf
12	988,8	H	Hrein 5und	-	-
13	1071,2	C	Lítil 6und	Fiðla	pp
14	1153,6	D	Lítil 7und	-	-
15	1236,0	D#	Stór 7und	Fiðla	p
16	1347,2	E	Hrein 8und	-	-
17	1400,8	F	Lítil 2und	Fiðla	pp
18	1483,2	F#	Stór 2und	-	-
19	1565,6	G	Lítil 3und	Fiðla	p
20	1648,0	G#	Stór 3und	-	-
21	1730,4	A	Hrein 4und	Fiðla	pp

**Tafla 2.** Taflan sýnir uppbyggingu hljóms í spektralíska verkinu Partiels eftir Gerard Grisey<sup>19</sup>. Grunntónninn = 82,4 Hz (básúna). Nótan E.

### Andstæður í spektral tónlist

Í spektral tónlistinni eru þó ekki bara liggjandi hljómar allan tímann. Grisey brýtur tónlistina upp með því að hafa hrynrænt spil inn á milli með föstum hrynum. Það gefur tónlistinni dýpt að nota þessar gífurlegu andstæður. Til þess að tónlistarandrúmsloftið ætti að virka á leikspilarann og verða ekki of leiðigjarnt væri sniðugt að hafa einhverja viðbótartónlist í þessu andrúmslofti til að skapa andstæður og meiri spennu. Þá væri hægt að gera eins og Grisey, láta taktfasta tónlist taka við af eigintíðnum og skiptast þannig á. Ég tel það betri kost að búa til hljóðbanka með mikið magn af efni (mótífum, stefjum, hljómum) í valinni tónategund. Síðan myndu þau fá að fljóta inn og út, handahófskennt yfir eigintíðna massanum án þess að eigintíðnirnar hverfi. Til eru fordæmi fyrir því að slíkir hljóðbankar hafi verið notaðir í tölvuleikjum og ber þá helst að nefna gríðarvinsælan tölvuleik, Red Dead Redemption. Tónlistin í honum er öll í a-moll og einnig öll á sama hraða 130 slögum á mínútu. Þetta efni er svo spilað nokkuð handahófskennt yfir aðalstef sem eru breytileg eftir staðsetningu þinni í heimi leiksins.<sup>20</sup> Ég kem aftur að þessu efni síðar í ritgerðinni.

<sup>19</sup>Thierry Alla, *Partiels*, Academy of Bordeaux, 2013,

<sup>20</sup>Red Dead Redemption Soundtrack, Rockstar Games, 2010,

[http://www.rockstargames.com/reddeadredemption/restricted\\_content/restricted\\_content\\_aged/gated/ref?redirect=http%3A%2F%2Fwww.rockstargames.com%2Freddeadredemption%2Ffeatures%2Fsoundtrack&hash=c846db52508ec84ef65a11b5974ff555](http://www.rockstargames.com/reddeadredemption/restricted_content/restricted_content_aged/gated/ref?redirect=http%3A%2F%2Fwww.rockstargames.com%2Freddeadredemption%2Ffeatures%2Fsoundtrack&hash=c846db52508ec84ef65a11b5974ff555)

# Úrvinnsla hugmynda

## Hljóðdrægni

Til að skapa tónlist út frá þessum forsendum þarf að nálgast sköpunina á mjög kerfisbundinn hátt. Eitt megin markmiðið er að hljóðheimurinn sé gagnvirkur og þá væri æskilegt (reynðar bráðnauðsynlegt upp á fjölbreytni) að láta hljóðstyrk hvers hlutar ráðast af stærð hans og einnig nálægð söguhetjunnar við hlutinn. Hvert hljóð væri með drægni um einhvern radíus eins og með hljóð almennt.

Í tölvuleikjum í dag er hægt að „festa hljóð“ við hlut innan leiksins. Þá er hluturinn sjálfur hljóðgjafinn og heyrast þessi hljóð þegar söguhetjan er nærrí hlutnum. Hljóðið getur því gefið vísbindingar um staðsetningu hlutar innan leiksins og getur hjálpað spilaranum að ná áttum.<sup>21</sup> Dæmi um slíkt áfast hljóð væri vélarhljóð frá bíl. Þetta eitt og sér er stórmerkilegt afrek en getur þó orðið óendanlega miklu flóknara því einnig er hægt að stýra hljóðstyrk eftir því hversu langt frá hlutnum viðkomandi er. Þar að auki láta sumir leikir hljóðið bjagast eða verða óskýrar eftir því hversu fjarri söguhetjan er eða hvernig hún snýr (þ.e. eyru viðkomandi). Í svona stórum hljóðheimum er líka forgangsröðun á hljóðum og eru þá nálægir atburðir mun háværari.<sup>22</sup> Þessi tækni er grundvöllur þess að hugmyndir mínar gætu orðið að veruleika.

## Utandyra umhverfi

Þessi hljóðheimur yrði að vera einskorðaður við að gerast bara utandyra. Ekki er raunhæft að ætla búa til hljóð fyrir hvern einasta hlut inni í eldhúsi eða stofu þar sem það yrði allt of mikið kraðak og mjög svo óreiðukennt (svo ekki sé minnst á vinnutíma og notkun á vinnsluminni). Þessi hljóðheimur fengi að hýrast utandyra þar sem ekki er óyfirstíganlegt að ljá stærstu hlutunum þar rödd.

<sup>21</sup> Aaron Marks og Novak Jeannie, *Game Development Essentials: Game Audio Development* bls. 252.

<sup>22</sup> Sama rit, bls. 253.

Til að setja spektral tónlistarsamhengið inn í þetta þyrfti að útfæra spektral þema á hverju svæði fyrir sig. Þessi svæði myndu fá sérstakan grunntón út frá t.d. stærstu byggingu svæðisins og myndi sú bygging ráða yfirtónaröð þess svæðis. Einnig væri hægt að láta grunntóninn ráðast af því hver ræður yfir svæðinu ef það á við í leiknum. Líklegast væri best að búa til lítil kerfi sem byggðu yfirtónaraðirnar út frá radíus hverrar byggingar þ.e. ljósastaurar og aðrir hlutir innan hljóðradíusar einnar byggingar tækju þátt í yfirtónaröð þeirrar byggingar. Ef engar byggingar eru á tilteknum stað í leiknum þá fer grunntóninn á þann hlut sem hefur mesta massa í nágrenninu. Á þeim stöðum sem kerfin skarast verður meiri ómstríða þar sem yfirtónaraðirnar mætast. Það ætti að vera sérstaklega áhugavert. Skoðum þetta nánar í dæminu seinna í ritgerðinni.



**Mynd 4.** Þetta er dæmigert utandyra umhverfi úr leiknum World of Darkness og sjáum við að hér eru ýmsir hlutir; ljósastaurar, ruslatunnur, bílar, grindverk og byggingar.

## Val á tíðnum

Þar sem mannseyrað heyrir yfirleitt ekki dýpra en um 20 Hz þá þyrfti að velja tíðni þar fyrir ofan sem dýpstu tíðni hlutar. Þar sem var ákveðið að byggingar fengu dýpstu tíðnirnar í heiminum þá myndi stærsta byggingin í leikheiminum fá dýpstu tíðnina. Ef við gefum þeirri byggingu tíðnina 25 Hz þá ættum við að geta heyrt hljóðið sem afskaplega lága drunu. Reyndar hjálpa þar yfirtónarnir mikið til, því þeir eru auðgreinanlegri en grunntónninn. Á sama hátt má ekki nota of háar tíðnir sem ekki er hægt að greina. Hér verðum við einnig að reikna með yfirtónum og best væri að fara ekki mikið yfir grunntíðni í 5000 Hz. Þar værum við komin með fimmta yfirtón sem heyrst ekki ( $5 \times 5000 \text{ Hz} = 25.000 \text{ Hz}$ ). Þetta er orðið mjög ljótt hljóð vegna hversu fáir yfirtónar heyrast og vegna þess að svona hljóð getur hreinlega verið sársaukafullt ef það er spilað of sterkt.

## Hljóðeiginleikar hluta

Ég hef enn ekkert fjallað um hvernig hljóðin sjálf myndu hljóma. Þetta er atriði sem hægt er að leika sér með endalaust. Eðlisfræðilega séð væri rökrétt að lata hlutina gefa frá sér hreinar sínum bylgjur sem eru án allra yfirtóna og þar með myndu hlutirnir í kring mynda saman einn samsettán tón. Þetta hljómar fallega á blaði en yrði bara ein nokkuð bragðdauf nota sem myndi aðeins breytast lítillega miðað við hvar söguhetjan er staðsett. Því er aftur brotið hér aðeins á eðlisfræðinni og ætla ég að leyfa mér að nota nótur sem innihalda yfirtóna. Þar með er búið að opna fyrir öllum öðrum samsettum hljóðum heims!

Enn og aftur snýst málið um að nota sem minnst gagnamagn og vinnsluminni. Best væri að nota grunnhljóðgervil sem auðvelt væri að eiga við og útfæra hljóðin þannig frekar en að fara í upptökur á raunverulegum hljóðfærum. Útbúa síðan flokka sem hver og einn inniheldur eitthvert sérstakt einkenni. Hér hef ég útbúið töflu með flokkum hluta og einkenna sem hægt væri að glæða hverju hljóði:

Hlutir	Tíðnisvið	Lýsing á hljóðlit	Hljóðfæri/preset
Byggingar	Dýpstu	Stöðugur litur	Píanórödd
Bílar/velar	Djúpar	Málm/vélrænn litur	Málmbláasararödd
Tré/stór gróður	Mið/háar	Frekar hlýr litur	Strengjarödd
Ljósastaurar/umferðarljós	Mið	Raf litur	Frekar hreinar sínusbylgjur
Skilti/grindverk	Frekar háar	Málm/klingjandi litur	Flauturödd
Sjálfalar/bensíndælur	Frekar lágar	Suð litur	Gítar m/overdrive
Ruslatunnur	Mið	Holur litur	Tromma m/skinni
Bekkir	Mið/háar	Stöðugur litur	Hljómborðsrödd
Styttur	Frekar lágar	Bjöllu litur	Rödd í ætt við gong

**Tafla 3.** Svona væri hægt að grunnflokkar hlini í umhverfinu og gefa þeim sérstakan hljóðblæ.

Þetta eru dæmi um það sem hægt er að finna í umhverfi tölvuleiks en líklega væri hægt að flokka flest alla hluti sem ekki eru þegar taldir upp í einhvern af þessum hópum. Hljóðfærin í töflunni eru öll hugsuð sem hljóð sem svipar til þeirra hljóðfæra en væru í raun og veru hljómborðshljóð. Þannig myndi tromma m/skinni til dæmis ekki vera ásláttarhljóð heldur vera hljómborðsnóta sem hægt er að láta lifa í lengri tíma þó hljóðið byggi á trommuhljóði.

### Áhrif annara spilara

Ég var búinn að nefna að þetta er hugsað fyrir MMORPG leik og því yrði leikheimurinn væntanlega krökkur af spilurum út um allt innan leikheimsins. Hvað með karakterana í leiknum? Hafa þeir engin áhrif á hljóðið? Nú ætla ég aðeins að skoða hugmyndir Baldurs Baldurssonar. Í mastersritgerð sinni skoðar hann þá hugmynd að láta tónlistina sem spilari heyrir í leiknum ráðast af persónuleika söguhetjanna. Þessar söguhetjur eru allar með sérstakt hlutfall af fjórum eiginleikum sem ræður hæfileikum þeirra. Þessir eiginleikar eru Romance, Danger, Power, Mystery. Baldur kynnti þær hugmyndir að hver þessara eiginleika fengi tiltekin tónbil sem væru allsráðandi í þeirra tónlist. Segjum að söguhetja hafi þessi hlutföll:

Romance 6, Danger 9, Power 4, Mystery 3. Í þessu tilfelli myndi tónlistin helst einkennast af Danger litnum og innihalda tónlist sem væri með þau tónbil ráðandi.<sup>23</sup> Þessi hugmynd gæti passað vel inn í eigintíðna hugmyndina að því leyti að söguhetjur gætu komið með tónlistina sem lægi yfir eigintíðnaklasanum. Hérna væri komin tónlistarumgjörð með gífurlega gagnvirkni. Söguhetjur koma með fjölbreytt og einstaklingsbundið tónefni sem gefur þeim sérstöðu en einnig hefur umhverfið sína eigin sérstöðu.

Líklega væri nóg að fá tónlist frá karakterum leiksins endrum og sinnum og þetta eigintíðna hljómaumhverfi frá hlutunum í kring í bakgrunni. Þá væri hægt að gera meira úr almennum umhverfishljóðum eins og umferðarnið eða jafnvel gnauði í vindi. Það getur verið mjög ógnvekjandi upplifun í tölvuleik þegar tónlistin er lítil og spilarinn heyrir fótatak einhvers sem sést ekki. Einnig er þetta spurning um hversu raunverulegur leikurinn á að virðast. Tónlist eltir okkur ekki hvert sem við förum. Tilfinningar okkar eru ekki ýktar með tónlist eins og í tölvuleikjum. Tónlistin í tölvuleikjum er að hluta til gerð til að ná að tengja betur við aðstæðurnar í leiknum og á hún að hjálpa spilurum að skynja betur þær tilfinningar sem söguhetjur eru að upplifa. Þetta gerir atburðarrásina oft meiri spennandi en þó óraunhæfari fyrir vikið. Því minni tónlist, því raunhæfari aðstæður. En erum við ekki „akkúrat“ að gefa okkur frí frá raunveruleikanum og hversdagsleikanum þegar við spilum tölvuleik? Hversu raunverulega viljum við hafa leikina? Viljum við vaska upp sýndarupphvott og skúra sýndargólf þegar allt er á rúi og stúi heima hjá manni í raun og veru?

## Dæmi í leik

Til að gera grein fyrir þessari hugmynd á sem skýrasta hátt er best að búa til eitt dæmi byggt á aðstæðum í leiknum. Ég ætla hér að byggja á hugmyndinni að nýta eigintíðnir hluta eftir flokkuninni í **Töflu 2**. Einnig ætla ég að byggja á myndunum sem áður voru notaðar, **Mynd 1** og **Mynd 4**.

Á **Mynd 4** erum við með byggingu sem er með girðingu og ruslatunnu við hlið sér. Einnig er bíll fyrir utan og ljósastaur. Skv. **Töflu 2** þá á byggingin að vera með dýpstu

---

<sup>23</sup> Baldur Jóhann Baldursson, „Applying music in a meaningful way in a sandbox type massive multiplayer online role playing game“, bls. 31-34.

tíðni og þar með grunntíðni. Síðan höfum við djúpa tíðni í bílnum, miðlæga tíðni í ruslatunnunni og ljósastaurnum og frekar háa tíðni í grindverkinu. Nú skulum við nota greinda hljóðið frá klarinetinu á **Mynd 1** og útfæra þetta kerfi í líki þeirrar yfirtónaraðar.

Hlutur	Nr. Yfirtóns	Tíðni (Hz)	Radius hljóðbærni	Hljóðfæri
Bygging	grunntónn	50	40m	Píanórödd
Bíll	3	150	20m	Málmlásararödd
Ruslatunna	5	250	10m	Tromma m/skinni
Ljósastaur	7	350	10m	Frekar hreinar sínusbylgjur
Grindverk	9	450	5m	Flauturödd

**Tafla 4.** Svona væri hægt að setja upp lítið yfirtónakerfi í leiknum.

Skoðum nú **Töflu 4**. Hér látum við hlutina fá tíðnir sem skapa sterkustu yfirtónana í yfirtónaröð nótu klarinettsins. Mikilvægast er að fá sterkustu tíðnirnar en að sjálfsögðu yrðu fleiri yfirtónar notaðir eftir hversu margir hlutir eru innan kerfisins. Hljóðfæravalið er samkvæmt **Töflu 1**. Grunntíðnin er valin nokkuð handahófskennt. 50 Hz er djúp tíðni og því góð tala til þess að byrja á og er eins og hljómandi G (eilítið hátt G). Radíusinn er einnig handahófskenndur en hann er byggður á rúmmáli hlutsins. Radíusinn þyrfti líka að byggja á því að önnur nálæg bygging tekur yfir radíusinn ef söguhetjan er nær henni og því stjórnast þessi vinkill af áðurnefndum lögmálum um drægni hluta í tölvuleik. Svona þyrfti að útbúa ansi mörg kerfi fyrir stóran tölvuleik en gæti það verið spennandi fyrir þá sem sjá um tónlistina að skoða mismunandi útkomur mismunandi kerfa. Prófa að greina mismunandi hljóð eða einfaldlega að búa til sínar eigin yfirtónaraðir. Þar sem tónhæðin stjórnast af nálægð við hlutinn myndu þessi yfirtónakerfi ekki hljóma eins og fullkomnir hljómar því hljóðin myndu bjagast aðeins í fjarlægð. Þetta gerir spilaranum líka kleift að upplifa ýmislegt innan hvers kerfis.

## Lokaorð

Eigintíðnir eru afskaplega flókið fyrirbæri. Það er mjög margt sem spilar inn í útreikninga á þeim tíðnum og þau forrit sem ég hef komist í kynni við eru ávallt afskaplega sérhæfð og eru aðallega hugsuð til að reikna út tíðnir ferkantaðra rýma. Þau eru helst notuð til að finna þessar eigintíðnir svo hægt sé að einangra þær burt úr rýminu sem nýtist einna helst í upptökuklefum og hljóðverum. Ef ætti að reikna út eigintíðnir allra hluta í tilteknum tölvuleikjaheimi þyrfti algjörlega nýtt forrit sem gæti séð um það. Það forrit gæti í sjálfu sér verið til nú þegar einhvers staðar úti í heimi en ekki hef ég fundið vísbindingar um það. Það yrði væntanlega mjög tímafrekt að standa í útreikningum fyrir hvern hlut en þá er kannski lausnin að búa bara til sitt eigið kerfi sem byggir á hugmyndinni um eigintíðnir eins og ég kynnti hér. Flokka þær nokkuð gróflega þó þær séu í raun afskaplega nákvæmar tíðnir. Ég tel spektral tónlistar vinkilinn framkvæmanlegann og að hugmyndir spektralista gætu nýst vel í tölvuleikjum innan þessa gagnvirka ramma sem og utan hans.

Að útbúa gagnvirkan tónlistarheim eftir hreyfingu spilarans í leiknum er hugmynd sem er vel framkvæmanleg og sköpun á slíku umhverfi býður upp á mikið listrænt frelsi. Frelsið liggar í vali á hljóðblæ hlutanna og hvaða hljóð yrðu greind og notuð sem fyrirmund kerfis. Yfirtónaraðir innihalda allan tónstigann ef nógu langt er farið í röðinni en eðli náttúrulegra hljóða er að því ofar sem farið er í hljóðrófinu því minna greinanlegir eru þeir yfirtónar. Þar með yrði alltaf samhengi í hljóðmyndinni þar sem yfirtónaraðir eru að mestu leyti byggðar eins upp. Það sem þyrfti þó að gera til að halda spektral hugmyndinni sem hæst á lofti væri að slíta sig burt frá hugmyndunum um jafnstillta píanóið og leyfa yfirtónunum að vera „falskir“. Eins og sást fyrr í ritgerðinni á **Mynd 1** eru yfirtónarnir ekki alveg hreinir miðað við píanóið og þyrfti afspilunin því að stjórnast alveg eftir Hertzum en ekki þeirri hljómandi nótum sem næst er tíðninni.

Í tölvuleikjatónlist líkt og annarri tónlist eru menn alltaf að reyna að stíga skref fram á við. Reyna að gera eitthvað nýtt og spennandi. Tæknilegar framfarir gefa kjörin færi til þróunnar á tónlist og verða menn að grípa tækifærið. Þessi hugleiðing er aðeins ein hugmynd sem hægt væri að nýta til að gera eitthvað nýtt í tölvuleikjatónlist. Hugmyndirnar eru á hverju strái og ber að gefa gaum því dularfulla og magnaða verkfæri, hugmyndafluginu.

## Heimildir

### Ritaðar heimildir

Baldur Jóhann Baldursson, Applying music in a meaningful way in a sandbox type massive multiplayer online role playing game, MA ritgerð við Listaháskóla Íslands, júní 2011.

Collins, Karen, *Playing with Sound*, The MIT Press, Massachusetts, 2013.

Fineberg, Joshua (ritstjóri), *Spectral Music: History and Techniques*, Overseas Publishers Association, Amsterdam, 2000.

Levitin, Daniel J., *This Is Your Brain On Music*, Penguin Group, Bandaríkin, 2006.

Marks, Aaron og Jeannie Novak, *Game Development Essentials: Game Audio Development*, Delmar Cengage Learning, Kanada, 2009.

### Vefheimildir

Alla, Thierry, *Partiels*, Academy of Bordeaux, 2013,  
sótt 20. desember 2013,

<http://webetab.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Musique/grisey.html>

Anderson, Julian, *Spectral music*, Oxford University Press, 2007-2013,  
sótt 20. desember 2013,

<http://www.oxfordmusiconline.com/subscriber/article/grove/music/50982>

*Behavior of Sound Waves*, The Physics Classroom, 1996-2013,  
sótt 15. desember 2013,

<http://www.physicsclassroom.com/Class/sound/u11l3d.cfm>

*Red Dead Redemption Soundtrack*, Rockstar Games, 2010,

sótt 04. janúar 2014,

[http://www.rockstargames.com/reddeadredemption/restricted\\_content/restricted\\_content\\_aggregated/ref?redirect=http%3A%2F%2Fwww.rockstargames.com%2FreddeadreDEMPTION%2Ffeatures%2Fsoundtrack&hash=c846db52508ec84ef65a11b5974ff555](http://www.rockstargames.com/reddeadredemption/restricted_content/restricted_content_aggregated/ref?redirect=http%3A%2F%2Fwww.rockstargames.com%2FreddeadreDEMPTION%2Ffeatures%2Fsoundtrack&hash=c846db52508ec84ef65a11b5974ff555)

*Resonance and Standing Waves*, The Physics Classroom, 1996-2013,

sótt 15. desember 2013,

<http://www.physicsclassroom.com/class/sound/U11L4a.cfm>

Suits, Bryan H., *Physics of Music*, Michigan Technological University, 1998-2013,

sótt 17. desember 2013,

<http://www.phy.mtu.edu/~suits/clarinet.html>

## Myndaskrá

Mynd 1:

Suits, Bryan H., *Physics of Music*, Michigan Technological University, 1998-2013,

sótt 17. desember 2013,

<http://www.phy.mtu.edu/~suits/clarinet.html>

Mynd 2:

Suits, Bryan H., *Physics of Music*, Michigan Technological University, 1998-2013,

sótt 17. desember 2013,

[http://www.phy.mtu.edu/~suits/sax\\_sounds/index.html](http://www.phy.mtu.edu/~suits/sax_sounds/index.html)

Mynd 3:

Keyboard and Frequencies, Tontechnik-Rechner, 2012,

sótt 09. desember 2013,

<http://www.sengpielaudio.com/calculator-notenames.htm>

Mynd 4:

CCP, *World of Darkness: First Ingame Footage*, 2012,

sótt 12. desember 2013, mynd tekin úr myndbandi:

<http://www.youtube.com/watch?v=a6PZBSxspvc>