

Alexi Villberg

Magneettinen media

Analoginauhan ja sen emulaatioiden vertailevaa analyysiä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Muusikko (AMK)

Musiikin tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyö

17.11.2016

<p>Tekijä Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Aleksi Villberg Magneettinen media – Analoginauhan ja sen emulaatioiden vertailevaa analyysiä</p> <p>26 sivua + 2 liitettä 17.11.2016</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>Muusikko (AMK)</p>
<p>Koulutusohjelma</p>	<p>Musiikin tutkinto-ohjelma</p>
<p>Suuntautumisvaihtoehto</p>	<p>Musiikintuottaja-tekologi</p>
<p>Ohjaajat</p>	<p>Lehtori Jukka Väisänen Lehtori Julius Mauranen</p>
<p>Nykyään suosittujen analogisten audiolaitteiden ja varsinkin analoginauhureiden digitaalisten mallinnusten todenmukaisuus on kiihkeän debatin aihe joidenkin audioalan ammattilaisten piirissä. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on vertailla kahta analoginauhuria ja kolmea digitaalista nauhaemulaatiota ja selvittää, kuinka lähelle analogisen nauhan soundia nämä emulaatiot pääsevät.</p> <p>Suoritin tutkimukseni marraskuussa 2016. Tutkimuksessa käyttämäni nauhurit olivat Studio Kekkosen Otari MTR-12 ja Arabian studiolla sijaitseva Janne Vikstenin Otari MX-5050BII. Keräsin aineiston tutkimustani varten ajamalla vaihtojänniteimpulsseja sekä erilaisia audiosignaaleja nauhureiden ja mallintajien läpi. Analysoin aineistoa lukemalla impulsseista saatuja taajuusvastekäyriä, ja analysoimalla muun audiomateriaalin dynamiikkaa ja kuulokuvaa.</p> <p>Tutkimuksen tuloksista voi vetää johtopäätöksen, että nauhaemulaatiot kykenevät matkimaan analoginauhureiden taajuus- ja vaihevastetta. Emulaatioiden dynaaminen käyttäytyminen ei kuitenkaan päässyt tavoitteeseensa. Oikeissa analoginauhureissa signaalin huippuarvon ja tehollisarvon erotus pieneni input-signaalia kasvatettaessa. Emulaatiot eivät kyenneet vastaavaan, vaan signaalin dynamiikka-alue pysyi pienenemisen sijaan samana.</p> <p>Analogisen nauhan soundin tutkiminen on tärkeää, sillä uusia nauhureita ei enää valmisteta, ja nauhojenkin valmistajia on jäljellä enää kaksi. Tulevaisuudessa emulaatiot saattavatkin olla ainut taloudellisesti järkevä keino audioalan ammattilaisten enemmistölle saavuttaa nauhan miellyttävä soundi.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>Analoginen nauha, analogimallinnus, musiikkitekologia</p>

Author Title	Aleksi Villberg Magnetic Media – Comparative Analysis of Analog Tape and Its Emulations
Number of Pages Date	26 pages + 2 appendices 17 Nov. 2016
Degree	Bachelor of Music
Degree Program	Music
Specialisation option	Music Production & Technology
Supervisors	Jukka Väisänen, MMus Julius Mauranen, MMus
<p>The realism of now popular analog modeling software in music production and especially that of tape emulations has been largely debated throughout the existence of the said software. The objective of this study was to compare two professional tape machines with three emulations in order to find out how close to each other they actually sound.</p> <p>The study was carried out in November 2016. The tape machines used for the study were located in Studio Kekkonen and the studio of the Metropolia Music Department, both located in Helsinki. Data for the study was gathered by sending sinewave impulses and varied audio signals through the aforementioned processors and examined through frequency plot and dynamic range analysis and subjective listening.</p> <p>From the results of this study it can be concluded that while the emulations successfully mimic the behavior of analog tape machines in the realm of frequency and phase response, they fall short in replicating the dynamic response of the measured tape machines. While being measured with test signals of varying levels, the tape machines demonstrated the reduction of the crest factor in the signal that directly correlated with the increase in input level of the signal. In contrast, this kind of behavior, i.e., the reduction of the dynamic range, did not exist in the emulations when tested the same way.</p> <p>The main motivator behind this study and the reason for studying analog tape in general is the fact that recording on analog tape is a dying art. Currently there is no mass manufacturing of professional tape recorders and only two plants – RMGI and ATR – still produce tape reels for analog recording. The results of this study will hopefully raise awareness and incite more research into the matter so that tape emulation software developers could program even better and more accurate algorithms. In the future, possibly the only way to achieve the much coveted sound of analog tape is the usage of these virtual tape emulations.</p>	
Keywords	Magnetic tape, analog modeling, plug-in, music technology

Sisällys

1	Analoginen vs. digitaalinen – debatin lyhyt historia	1
1.1	Nauhaemulaatiot tarkastelun alla	3
2	Tutkimukseni määrittely ja taustat	4
2.1	Oman tutkimukseni menetelmät	5
2.2	Kelanauhureiden ominaisuuksia ja terminologiaa	6
2.3	Vertailtavat nauhurit ja emulaatiot	8
3	Tutkimukseni kulku ja tulokset	11
3.1	Spektri, kokonaisharmoninen särö, ja vaihevaste: Fuzzmeasure-käyrät	12
3.2	Musiikillinen materiaali ja dynamiikka – Pro Tools -testit	17
4	Yhteenveto ja pohdinta	21
	Lähteet	24
	Kuviot	26
	Liitteet	
	Liite 1. Nauhamallinnusten kuvankaappaukset	
	Liite 2. Otari MX-5050BII Fuzzmeasure -käyrät	

1 Analoginen vs. digitaalinen – debatin lyhyt historia

Viime vuosikymmenten aikana tietokoneiden laskentateho on kasvanut huimasti ja digitaalisen signaalinkäsittelyn merkitys on muodostunut todella suureksi myös musiikkiteknologian saralla. Siinä missä vielä 90-luvulla ja aiemmin musiikin äänittämiseen vaadittiin kalliita mikrofoneja, etuasteita, kompressoreja, ekvalisaattoreita, miksauspöytiä ja nauhureita, nykyään alkuun pääsee jo pelkällä kannettavalla tietokoneella ja halvalla ulkoisella äänikortilla. Tietokoneen prosessori hoitaa siis äänen käsittelyn erilaisten analogisten laitteiden sijaan – työkalusta riippumatta tuloksen pitäisi taitavissa käsissä olla sama. Mutta onko se?

Kun digitaalista äänitysteknologiaa, ja varsinkin ADAT-nauhurit tulivat saataville 90-luvun alussa, monet sen varhaisen vaiheen käyttäjät huomasivat, että ADAT-nauhurille tallennettu esitys ei kuulostanut aivan yhtä hyvälle kuin magneettinauhalle tallennettuna, mikä oli alan aiempi standardi. Digitaalinen teknologia oli tässä vaiheessa vielä lapsenkengissä, sillä sen aikaiset konvertterit eivät vielä olleet tarpeeksi kehittyneitä tallentamaan kaikkia signaalin nyansseja. Nämä varhaisvaiheen rajoitteet stigmatisoivat digitaalitekniikan joidenkin alan ammattilaisten mielessä. Negatiivisia asenteita digitaalista audiota kohtaan esiintyy vielä tänäkin päivänä. (Reid 2007.)

Tekniikan kehittyessä digitaalinen tallennus- ja prosessoritekniikka sai kuitenkin pikkuhiljaa jalansijaa äänitysstudioissa. Digitaalisen teknologian tarjoamat selkeät hyödyt, kuten editoinnin helpottuminen ja nopeutuminen, sekä recall -ominaisuudet vakiinnuttivat Pro Toolsin kaltaisten DAW-ohjelmistojen aseman äänityksessä. Ricky Martinin vuoden 1999 –hitti *Livin' on a Prayer* oli ensimmäinen listaykköskappale, joka äänitettiin, editoitiin ja miksattiin täysin Pro Tools -ympäristössä (Daley, 1999). Digitaalinen teknologia siis vakiinnutti asemansa, mutta yleinen konsensus oli, ettei se kuulostanut yhtä hyvältä kuin analogiprosessorit ja –nauha. Edellä mainitun kappaleen äänittäjällä Charles Dyeillä oli seuraavanlaista sanottavaa aiheesta:

"The thing about analog is that you know the sound is going to come back warmer, with a rounder, fatter low-end sound and smoother top-end transients," says Dye. "But recording in an all-digital domain, the sound you get out is the sound you put in. You have to make sure that whatever the sound is, it's what you want it to be, because that's what digital is going to give you back." (Daley, 1999.)

Tämä lainaus tiivistää oikein hyvin analogisen ja digitaalisen tekniikan ”filosofiset” erot. Digitaalinen signaalinkäsittely tapahtuu prosessorissa matemaattisesti laskemalla, jolloin lopputulos on aina matematiikan sääntöjen mukaan sama. Analogisissa prosessoreissa signaali kulkee fyysisenä jännitteenä sähköpiirissä jossa on erilaisia komponentteja, jotka eivät ole läheskään täydellisiä ja lineaarisia ja voivat siksi reagoida signaaliin eri tavalla riippuen signaalin jännitteen korkeudesta, tai vaikkapa ympäröivästä lämpötilasta. Tämän tuloksena analogiset prosessorit vaikuttavat aina signaalin spektriin ja vaiheeseen, sekä lisäävät joissain määrin harmonista sekä inharmonista säröä, vaikka laitteen käyttötarkoitus ei välttämättä liittyisikään suoraan näihin ominaisuuksiin. Nämä vaikutukset kuitenkin useimmiten sattuvat kuulostamaan ihmiskorvaan miellyttävältä – kuten ”lämpimämpänä” tai ”pyöreämpänä” sointivärinä tai soundina, kuten Dyekin asian ilmaisi.

Tänä päivänä on trendikästä yrittää toisintaa, mallintaa ja emuloida näitä analogitekniikan epäjohdonmukaisuuksia myös digitaalisessa maailmassa, sillä nykytietokoneiden laskentateho pystyy monimutkaisempiin malleihin kuin aiemmin. Erilaiset audiolaitteiden ja –ohjelmistojen kehittäjät, kuten Slate Digital, Waves ja Universal Audio markkinoivat aggressiivisesti ”autenttiselta kuulostavia” plug-in –liitäntäohjelmistojaan joiden tarkoitus on korvata analogisen signaaliketjun osia. Nämä tuotteet pyrkivät yleensä simuloimaan jotain tiettyä olemassa olevaa audiolaitetta ja ne on kehitetty analysoimalla kyseisen audiolaitteen toimintaa ja epälineaarisuuksia ja sen jälkeen kehittämällä algoritmeja, jotka pyrkivät samanlaiseen lopputulokseen. Kaiken lisäksi näiden liitäntäisten käyttöliittymä on suunniteltu samannäköiseksi kuin alkuperäisen laitteen käyttöliittymä, jotta käyttäjälle muodostuisi mahdollisimman vahva tunne käyttökokemuksen ja sitä myötä myös soundin samanlaisuudesta.



Kuvio 1. Universal Audion 1176 –kompressorilaitte ja sitä mallintavan Wavesin CLA-76:n käyttöliittymä

Digitaalisen ja analogisen audion vastakkainasettelu ja analogimallinnus ovat mielenkiintoisia ja monen kohdalla myös tunteita herättäviä aiheita. Aiheesta on paljon artikkeleja alan lehdissä. Myös musiikkiteknologien yhteisölliset keskustelufoorumitkin, kuten Avid Pro Audio Community tai GearsLutz ovat täynnä kuumaa debattia aiheesta.

1.1 Nauhaemulaatiot tarkastelun alla

Missään analogisen ja digitaalisen tekniikan erot eivät korostu ja jaa niin paljon mielipiteitä kuin yksinkertaisessa äänen tallentamisessa joko analogiselle magneettinauhalle tai digitaalisesti kovalevyille. Vielä 2000-luvun puolellakin löytyy nimekkäitä tuottajia, kuten Steve Albini, jotka käyttävät pääsääntöisesti nauhaa äänittämiseen (Tingen, 2005). Myös monessa studiossa on nykyaikaisen Pro Tools- tai muun DAW-systeemin lisäksi käytössä myös nauhuri, jota käytetään jossain vaiheessa tuotantoprosessia: koko miksaus, tai osa siitä äänitetään kelanauhurin läpi, jotta päästään hyötymään nauhan tuomista soundillisista eduista.

Totta kai myös aiemmin mainitsemani plug-in –valmistajat myyvät erilaisia nauhamallinnuksia. Tarkoitukseni on tutkia opinnäytetyössäni kuinka lähelle oikeata nauhaa nämä emulaatiot pääsevät käyttäytymisessään ja soundissaan. Juuri nauhaemulaatioiden tutkimisesta erityisen mielenkiintoista itselleni tekee se, että nauha on tällä hetkellä analogimaailmassa suurimman katoamisuhan alla: kukaan laitevalmistaja ei tällä hetkellä tuota sarjavalmisteisia kelanauhureita, eikä varaosia vanhoihin kelanauhureihin enää valmisteta, mistä syystä niitä on saatavilla enää rajallisesti. Kelanauhurin ylläpitäminen voi myös käydä kalliiksi ja tallennustila ei ole halpaa: noin puolen tunnin edestä puolen tuuman, 15ips nopeudella toistettua nauhaa (tutustumme nauhan käyttöön liittyvään termistöön toisessa luvussa) maksaa tällä hetkellä noin 80 euroa (Thomann, 2016). Korkea hinta johtunee siitä, että nauhavalmistajista on jäljellä enää kaksi, RMGI ja ATR. Voi siis olla, että tulevaisuudessa ainut järkevä keino saavuttaa nauhan soundi on käyttää digitaalista emulaatiota.

Mikä on siis analoginauhuran soundi ja miksi sen saavuttaminen on tavoiteltavaa? Universal Audion sivusto kuvaa heidän mallintamansa Studer A800:n lisäävän sointiväriin ”lämpöä, presenssiä, koheesiota ja matalien taajuuksien potkua, jota vain aito nauha voi tarjota” (Universal Audio, 2016). Slate Digitalin mukaan ”iso, lämmin, syvä, rikas ja energinen ovat vain muutamia käytettyjä termejä kun kuvaillaan, miltä magneettiselle

nauhalle äänittäminen kuulostaa” (Slate Digital, 2016). Voimme siis jo näistä puheista päätellä nauhan vaikuttavan ainakin signaalin taajuusvasteeseen ja dynamiikkaan.

Lämpö sointiväriin käsitteenä myös usein yhdistetään harmoniseen säröön, mikä onkin yksi nauhan ominaisuuksista: Kelanauhurit yleensä säädetään sellaisella tavalla, että ala- ja keskitaajuuksien harmoninen särö olisi mahdollisimman vähäistä. Tämä toimenpide kuitenkin vähentää nauhan taajuus- ja transienttivastetta ylätaajuuksilla. Voimakkaat ylätaajuuksien transientit siis pehmenevät magneettisen saturaation takia. Kuulokuvassa ääni toistuu siis miellyttävämpänä, kun mahdolliset kovat ja räikeän kirkkaat alukkeet katoavat signaalista. (Robjohns, 2010.)

Yhteenvedona siis nauhan voidaan ajatella vaikuttavan audiosignaaliin myönteisen miellyttävällä tavalla ja että tulevaisuudessa on mielekkäämpää yrittää saavuttaa tämä vaikutus digitaalisilla nauhaemulaatioilla. Tutkimuskysymykseni on tämän johdosta seuraava: kuinka lähellä digitaaliset nauhaemulaatiot ovat aidon analogisen nauhan soundia? Nauhan soundia tutkittaessa pitää edellä mainittujen ominaisuuksien perusteella kiinnittää huomiota, mitä tapahtuu signaalin taajuusvasteelle, dynamiikalle, särön määrälle ja transienteille. Näiden kaikkien tutkimiseen löytyy erilaisia keinoja, joita aion eritellä seuraavaksi.

2 Tutkimukseni määrittely ja taustat

Analogisten laitteiden emulaatioita on tarkasteltu kriittisesti niin kauan kun niitä on ollut olemassa. Aiheesta on kirjoitettu akateemisesti Yhdysvalloissa muutama opinnäytetyö, mutta ne eivät analyysin syvyydeltään menneet subjektiivista kokemusta edemmäs. Mielestäni tieteellisesti relevanteinta analyysiä ovat suorittaneet itse emulaatioiden ohjelmistokehittäjät itse. Tämä algoritmien kehitykseen kerätty aineisto valitettavasti kuuluu useimmissa tapauksissa liikesalaisuuden piiriin, mutta esimerkiksi eräs pienempi ohjelmistokehittäjä Toneboosters julkaisi mielenkiintoisen tekstisarjan heidän Reelbus –mallinuksensa kehittämisestä (Toneboosters, 2014). Myös Waves julkaisi ”white paper” –raportin omasta Kramer Master Tape –liitännäisestään, jossa avataan hienosti nauhan soundiin vaikuttavia eri aspekteja, vaikka emulaation legitimitettä ei kyseenalaistettukaan (Haeny, 2011).

Useimmat internetissä julkisena olevat vertailevat testit ovat sokkotestejä, joita erinäisten musiikkitekniikan verkkoyhteisöjen käyttäjät ovat järjestäneet. Myös Slate Digita-

lin Fabrice Gabriel kertoo käyttävänsä sokkotestejä varmistaakseen algoritmiensa laadun (Slate Digital, 2016). Sokkotestissä kokeen tutkija soittaa koehenkilöille audioesimerkkejä joita koehenkilöiden pitää sitten erotella. Tutkimustapa ja –tulokset ovat hyvin subjektiivisia, ja niihin vaikuttaa paljon kuuntelutila, sekä -laitteisto. Vaikka ihmisen kuulo on erityisen hyvä akustisperäisten äänten erottelukykyyyn, ei kuulon taajuusvaste ole läheskään tasainen ja kaiken lisäksi taajuusvaste vaihtelee eri äänenvoimakkuuksilla puhumattakaan psykoakustisista ilmiöistä, tai koehenkilöiden tunne- ja viireystilasta (Laaksonen 2013, 27-31). Tämän takia en pidä sokkotestejä tarpeeksi luotettavana keinona analysoida nauhan ja nauhaemulaatioiden eroja.

Toinen tapa, mitä usein käytetään vertaillessa analogiemulaatioita mallinnettaviin laitteisiin on englanniksi niin kutsuttu ”null test”. Tässä kokeessa ajetaan sama audiolähde niin analogilaitteen kuin sen emulaation läpi, asetetaan syntyneet äänitteet Pro Toolsin aikajanelle samaan kohtaan ja käännetään toisen audioraidan vaihe. Jos äänitiedostot ovat täysin samanlaisia, niiden pitäisi olla täysin vastavaiheessa ja kumota siis toisensa täydellisesti. Tämäkin testimetodi on ongelmallinen analogitekniikan arvaamattomuuden takia. Algoritmia ei näet saa koskaan nollautumaan täysin laitteen kanssa, sillä analogilaitte ei koskaan tuota kahta kertaa samanlaista tulosta. Mielestäni kuitenkin emulaatiot voivat matkia laitteiden karaktääriä ja ”sielua” ilmankin sitä entropiaa ja kaaosta mikä analogitekniikkaan välttämättä liittyy. Pitää vain löytää sopivat parametrit ja vertailutapa siinä missä null test kertoo vain, ettei kaksi tulosta ole identtisiä.

2.1 Oman tutkimukseni menetelmät

Tutkimuksessani suoritan vertailevaa laadullista analyysiä keräämästäni mittaus- ja audio-aineistosta. Kerään aineistoa pitämällä mielessä luvussa 1.1 erittelemäni ominaisuudet (taajuusvaste, dynamiikka, särö ja transientit). Käytän aineiston keräämiseen Fuzzmeasure –ohjelmaa, jolla lähetän audioimpulsseja nauhureiden ja nauhaemulaatioiden läpi. Fuzzmeasure piirtää selkeitä käyriä taajuus- ja vaihevasteesta, sekä harmonisesta säröstä.

Impulssisignaalit ovat kuitenkin kaukana oikeasta musiikillisesta sisällöstä, joten aion myös testata laitteiden ja emulaatioiden reagoitua erilaisiin soittimilla nauhoitettuihin audiosignaaleihin, joiden taltiointiin aion käyttää Pro Tools -ohjelmaa. Olen valmistellut tätä tarkoitusta varten yksittäisiä rumpunauhoituksia, bassoraidan ja täyden kaistan monomiksauksen, joita tarkastelemalla saan varmasti hyvän kokonaiskuvan nauhan

ja emulaatioiden eri ominaisuuksista. Näiden nauhoitusten analysoimiseen käytän iZotopen valmistamaa Insight –liitännäistä Pro Toolsiin, jossa on tarkat mittaristot äänen eri ominaisuuksille.

On tärkeää mainita, että tutkimukseni aineistomäärää rajoittaakseni aion käyttää vain yhden kanavan monosignaaleja. Näin eliminoin tietoisesti myös ns. ”crossbleed” –ilmiön esiintymisen, missä yhden kanavan signaali ”vuotaa” ja näin ollen kuuluu myös viereisissä kanavissa. Tätä ei kuitenkaan ole pidetty soundia parantavana aspektina nauhan ominaisuuksista puhuttaessa, eikä sitä esiinny digitaalisessa äänityksessä, joten on perusteltua jättää se tässä tutkimuksessa huomiotta.

Tutkimuksessani käytän laitteistona Macbook Pro:ta ja edellä mainittuja ohjelmistoja. Äänikorttina, jonka läpi audiosignaali siis kulkee, käytän RME Babyfacea, koska siinä on hyvät digitaali-analogi- ja analogi-digitaali-konvertterit. Valitettavasti äänikortin input-kanavissa on kiinteä low-cut filtti, joka vaikuttaa -2dB:n verran 20Hz kohdalla. Olen kompensoinut tämän taajuusvasteen epätasaisuuden valmistajan suosittelemilla EQ-arvoilla laitteen Totalmix –ohjelmistossa (RME, 2007). Käytän myös Fuzzmeasuressa käyrien tallentamiseen ohjelmiston Automatic Correction –ominaisuutta, jotta käyrät ovat mahdollisimman tasaiset. Emulaatioita mitattaessa käytän digitaalista ADAT-väylää, jotta välttyttäisiin analogi-digitaali- ja digitaali-analogi –konversioilta. Valinta on perusteltu sillä, että näitä konversioita ei tapahdu liitännäisten normaalikäytössä työaseman sisällä. Suoritan kaikki kokeet 44.1kHz näytteenottotaajuudella ja 24-bitin bittisyvyydellä, sillä se on edelleen käytetyin formaatti musiikkialalla (Gearslutz, 2016). Vaikka voidaan argumentoida, että emulaatiot toimivat paremmin korkeammilla näytteenottotaajuuksilla (Colletti, 2013), on mielestäni järkevämpää käyttää yleisintä näytteenottotaajuutta. Tämän lisäksi kaikki kokeen emulaatiot ylinäytteistävät signaalin prosessointia varten.

2.2 Kelanauhureiden ominaisuuksia ja terminologiaa

Jotta kykenisimme vertailemaan nauhaemulaatioita ja analoginauhaa, meidän täytyy tutustua nauhan soundiin vaikuttaviin ominaisuuksiin. Näitä ominaisuuksia on monessa mallinnuksessa myös ympätty muokattaviksi parametreiksi ja niitä muuttamalla pyritään vaikuttamaan mallinnuksen soundiin vastaavalla tavalla kuin kelanauhureissa. Esittelen tässä luvussa tärkeimmät nauhan toimintaan ja soundiin vaikuttavat ominaisuudet.

Aivan ensimmäiseksi meidän pitää puhua itse nauhasta. Nauhassa on monta kerrosta. Peruskerros on yleensä polyesteriä tai PVC:tä – materiaalia, joka kestää nauhureiden äänipäiden ja ohjausrullien hankausta. Tämän kerroksen päällä on metallioksidikerros, jolle signaali tallentuu magneettisesti nauhurin äänityspäältä ja toistuu toistopäältä. (Huber & Runstein 2010, 183.)

Ensimmäinen nauhan taajuusvasteeseen vaikuttava ominaisuus tapahtuu jo toistopäällä. Nauhan magnetointi, eli tallennus, sekä toisto suoritetaan äänipäissä olevan ilmaraon avulla. Tämä ilmaraiko vaikuttaa toiston taajuusvasteeseen molemmilla äärialueilla. Niin sanotun rakoilmiön takia taajuusvasteella on ylätaajuuksilla katto: kun signaalin positiivinen ja negatiivinen huippuarvo osuvat ilmaraon alueelle yhtä aikaa, ne kumoavat toisensa (Laaksonen 2013, 201). Alataajuuksilla rakoilmiö taas aiheuttaa korostuman, kun taajuuden puolikas aaltomuoto on nauhalla yhtä pitkä kuin ilmaraiko (Ampex 1960, 16). Tätä ilmiötä kutsutaan ns. ”head bump” –ilmiöksi. Koska ilmarakoa ei voi pienentää liikaa magnetoinnin vahvuuden heikkenemisen takia, voidaan näihin taajuuksiin puuttua myös nauhanopeuden avulla.

Nauhanopeuksissa yleisimmin ammattilaisten käytössä ovat 15 tai 30 tuumaa sekunnissa (=inches per second, eli ips). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että sama sekunnin pätkä signaalia joka 15 ips:n nopeudella vie nauhalla 15 tuumaa, vie 30 ips:n nopeudella nauhalla 30 tuumaa. Seurauksena on myös nauhalla fyysisesti kaksi kertaa pidempi aaltomuoto, joka taas siirtää rakoilmiönkin taajuuksissa kaksi kertaa ylemmäksi. 30 ips:n nauhanopeudella nauha siis säilyttää enemmän ylätaajuuksia. Tämän lisäksi signaalin häiriöetäisyys on korkeammalla nopeudella parempi. Usein kuitenkin valitaan 15 ips:n nopeus, jos halutaan parempi matalien taajuuksien vaste, eikä musiikki ole niin dynaamista, että korkeampi kohinataso on ongelma. (Mignola, 2015.)

Nauhan soundiin vaikuttaa paljon myös nauhan esimagnetointi (englanniksi bias, tai AC-bias). Esimagnetoinnissa nauhalle ajetaan signaalin kanssa yhtä aikaa myös vaihtojännite, eli siniaalto, jonka taajuus on korkealla kuuloalueen yläpuolella, esimerkiksi 100 kHz korkeudella. Tämä vaikuttaa suoraan nauhan taajuusvasteeseen varsinkin ylätaajuuksilla ja toisaalta signaalin säröttömyyteen, sekä kohinan määrään. Esimagnetoinnissa pitääkin tasapainotella ylätaajuuksien taajuusvasteen ja keskialueiden säröisyyden välillä, ja käytäntönä onkin hieman ”ylibiasoida”, eli ajaa bias-taajuutta nauhalle hieman kovempaa, jolloin ylätaajuudet vaimenevat hieman, mutta keskitaajuudet toistuvat säröttömämmin. (Laaksonen 2013, 202.)

Nauhan soundiin vaikuttaa tietysti myös nauhatyyppin valinta. Tietyissä nauhoissa, kuten Studio Master 900 –nauhassa on paksumpi metallioksidikerros, jolloin se kestää suurempaa signaalitasoa säröytymättä. Kovemman signaalin käyttö taas kasvattaa sen eroa kohinaan, jolloin häiriöetäisyys paranee. (US Recording, 2015.) Nauhan kohinaa vaimentamaan myös kehitettiin erilaisia kohinanvaimennus –systeemejä, kuten Dolbyn useat erilaiset järjestelmät, ja dbx-yhtiön David Blackmer Expander. Tämän lisäksi nauhan taajuusvastetta pyrittiin tasaamaan käyttämällä erinäisiä esikorostus- ja jälki-vaimennus-ekvalisointeja, sekä kompanderitekniikkaa. (Laaksonen 2013, 199-200.)

Edellisen kappaleen asioiden tarkempi käsittely ei ole tämän opinnäytetyön puitteissa mielekäästä. Nämä tekniikat olivat sen ajan ilmiöitä, kun nauha oli ainoa tallennusmedia ja siitä pyrittiin tehdä mahdollisimman uskollinen lähdemateriaalille. Digitaalinen tallentaminen on puhtaudessaan ylivoimainen väline, sillä digitaalisten laitteiden vastepoikkeamat ovat vain desibelin kymmenesosien suuruisia, kun analogilaitteissa poikkeamat voivat olla useita desibelejä (Laaksonen 2013, 55). Itse olen enemmän kiinnostunut juuri nauhan esteettisesti miellyttävistä epälineaarisuuksista, joita edellä mainitut järjestelmät pyrkivät poistamaan.

Viimeisenä haluan vielä mainita nauhan epälineaarisuuksista huojunnan (englanniksi wow & flutter), joka syntyy nauhankuljetuksen nopeuden pienestä vaihteluista äänipäiden editse. Tämän lisäksi myös pöly ja kitka äänipäissä ja ohjausrullissa aiheuttaa pieniä muutoksia signaalissa joka kerta, kun nauhaa pyöritetään. (Ledger Note, 2016.) Vaikka monessa emulaatiossa onkin mukana wow & flutter –säätö, ei tätäkään kokeukseni mukaan voi laskea positiivisiin nauhan ominaisuuksiin. Näitä ilmiöitä on myös vaikea analysoida, joten aion jättää ne tutkimukseni ulkopuolelle.

2.3 Vertailtavat nauhurit ja emulaatiot

Tässä luvussa aion esitellä tutkimuksessani vertailun kohteena olevat avokelanauhurit ja nauhamallinnukset. Olen pyrkinyt mahdollisuuksien mukaan vertailussani asettamaan kaikki parametrit mahdollisimman lähelle toisiaan. En valitettavasti löytänyt tutkimukseeni hyväkuntoista Studer –nauhuria, joka on laite, jota useimmat mallinnukset pyrkivät kopioimaan. Joka tapauksessa kokeessani on kaksi avokelanauhuria ja kolme nauhamallinnusta, joista voi tehdä varmasti vertailua yleisemmällä tasolla.



Kuvio 2. Otari MX-5050BII

Ensimmäinen mittaamani nauhuri on Otari MX-5050BII, jonka omistaa Janne Viksten. Tämä Otarin malli on versio maailman viimeisestä tehdasvalmisteisesta avokelanauhurista (Museum of Magnetic Sound Recording, 2013). Alun perin se oli tarkoitettu puoliammattilaisille, radioasemille ja kotistudioihin suhteellisen pienen koonsa ja helpon liikuteltavuutensa takia. Tämä laite pystyy 7,5 ips ja 15 ips -nauhanopeuksiin. Mittauksissa käytettiin käyttämätöntä EMTEC ¼-tuumaista Studio Master 900 nauhaa.

Toinen mittaamani nauhuri on Studio Kekkosen Otari MTR-12. Tämä nauhuri edusti Otarin korkeinta laatua, ja oli tarkoitettu ammattilaistuotantoihin ja masterointiin. Tämä laite kykenee myös nopeampaan, 30 ips:n nauhanopeuteen. Yksi suuri ero toiseen testissä olevaan Otariin on se, että tämän nauhurin transport –eli nauhaa pyörittävä moottori ei ole mekaanisesti, vaan elektronisesti ohjattu. Seurauksena nauha pyöri sulavammin ja tasaisemmin. Mittauksissa käytettiin hieman elämää nähnyttä, mutta toimivaa RMGI:n ¼-tuumaista Studio Master 900 nauhaa. Vaikka laite pystyykin 30 ips:n nopeuteen, suoritan vertailun 15 ips:n nopeudella, sillä 30 ips:n nopeus puuttuu toisesta Otarista, sekä eräästä mallinnuksesta. Tämän lisäksi 15 ips:n nauhanopeus on efektiivisempi, ja käytetympi kun tavoitellaan nauhan soundia.

Taulukko 1. Testissä olevien Otareiden viralliset ohjearvot (HiFi Engine, 2016).

Ominaisuudet	MX-5050 BII	MTR-12
Nauhanopeudet	7½ ips, 15 ips	7½ ips, 15 ips, 30 ips
Taajuusvaste	30Hz – 20kHz (15ips)	40Hz – 27kHz (30ips)
Huojunta	0.06% (15ips)	0.04% (30ips)
Häiriötäisyys	66dB	74dB
Harmoninen särö (THD)	0.5%	0.15%

Taulukon arvoista voidaan myös nähdä yleisellä tasolla, miten nauhanopeus vaikuttaa taajuusvasteeseen ja kohinasuhteeseen.



Kuvio 3. Studio Kekkosen Otari MTR-12

Näiden kahden nauhurin lisäksi analysoin tutkimuksessani kolmea nauhaemulaatiota. Ensimmäinen on Slate Digitalin Virtual Tape Machines, eli VTM. Tutkimustani varten valitsin mallinnuksesta puolituumaisen kaksiraituri Studer A80 RC:n. Valitsin emulaatiosta nauhatyypiksi GP9, mikä on konkurssiin ajautuneen nauhavalmistaja Quantegyn vastine Studio Master 900 –nauhalle (Marchesini, 2015). Nauhanopeudeksi valitsin 15 ips:iä aiemmin mainitsemastani syystä. Muissa säädöissä käytin ohjelmiston valmistajan suosittelemia asetuksia, jossa esimagnetointisäätö ja alataajuuksien vaste ovat valmistajan mukaan mahdollisimman lähellä mallinnettua Studeria (Slate Digital, 2016).

Tämän opinnäytetyön liitteissä on kuvankaappaus tämän, ja toisten emulaatioiden mittauksissa käytetyistä asetuksista.

Toinen vertailtava nauhamallinnus on saksalaisen u-he –ohjelmistokehittäjän Satin –nauhaemulaatio. Tämä mallintajan kehityksessä esikuvana on valmistajan mukaan käytetty Studerin A827 –nauhuria (u-he, 2016). Satinissa on tietyissä ominaisuuksissa tarkemmat parametrit, kuin muissa mallintajissa. Esimerkiksi toistopään ilmaraon simuloitua kokoa pystyy muuttamaan. Kuitenkin tietyt parametrit olivat hieman epämääräisiä, kuten nauhatyyppin valinta. Kun yritin sähköpostitse selvittää valmistajalta ”Modern” –nauhatyyppin esikuvaa, u-he:n edustaja vastasi sen ”seuraavan 900-sarjalaisen nauhan tyyliä”. Päätin siis ”A827 15ips” –esiasetuksen olevan varmasti parametreiltään lähimpänä alkuperäistä nauhuria.

Viimeiseksi halusin ottaa vertailuun verrattain pienemmän valmistajan Toneboostersin Reelbus –emulaation. Tämä mallinnus pyrkii emuloimaan Studer Revox A77 mk4 -kelanauhuria (Toneboosters, 2014), joka oli suunnattu samalla tavalla harrastelijoille ja puoliammattilaisille, kuten Otarin MX-sarja (wikipedia, 2016). Tässäkin emulaatiossa käytin 15 ips:n nopeutta ja noudatin valmistajan ohjeita parametrien säädöissä saadakseni mahdollisimman realistisen mallinnuksen. Mallinnusprosessissa on käytetty Studio Master 911 –nauhaa (Toneboosters, 2014), jossa on 3 desibeliä pienempi yliohjausvara, kuin 900-nauhassa. En kuitenkaan lähtenyt kompensoimaan tätä eroa yliohjausvarassa, sillä oletin vain että mallinnusprosessissa 0VU –taso olisi kalibroitu oikein. Hämmennystä synnytti myös ”Circuit clip” –säätö, jonka 100% kohdalla piti tuoda samanlainen dynaaminen vaste, kuin alkuperäisessä nauhurissa. Tämä asetukset kuitenkin tuotti huomattavan paljon säröä, joten laskin säädön testiä varten 10%:n jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia.

3 Tutkimukseni kulku ja tulokset

Suoritin aiemmin kuvailemani testit nauhaemulaatioiden osalta kotonani 2.11.2016. Oli järkevää aloittaa testit emulaatioilla ja tehdä ensimmäiset mittaukset kotona, jotta pystyin hiomaan työtavat tehokkaiksi ”tosipaikkaa” eli nauhureiden mittaamista varten Arabia-studiolla ja Studio Kekkosella. Pöytäkoneeni iMac toimi nauhurin ”korvikkeena”: koneella oli siis auki Logic –sessio, jossa nauhaemulaatiot pyörivät. Yhdistin ”mittakoneeni” eli Macbook Pro:ni käyttäen digitaalista ADAT-yhteyttä Babyfacestani iMacin interfacena toimivaan Profire 2626 –audio interfaceen. Testiaudiooni kuului muutaman

sekunnin pätkä 1kHz:n siniaaltoa -18dBfs –tasolla, jolla varmistin, että jokaisessa mallinnuksessa oli sama nominaalinen 0VU-taso.

Suoritin Otari MX-5050BII:n mittaamisen seuraavana päivänä Arabia-studiolla. Laite olikin kalibroitu 0VU-tasolle, joka vastasi -11dBfs:ää. Jouduin siis kompensoimaan tätä tasoa niin, että nostin laitteen input-voimakkuutta 7dB ja vastaavasti laskin outputista saman määrän. Näin pystyin varmistamaan, että nauhan ”nollataso” vastasi emulaatioiden nollatasoa, ja pystymme vertaamaan näiden kahden käyttäytymistä paremmin.



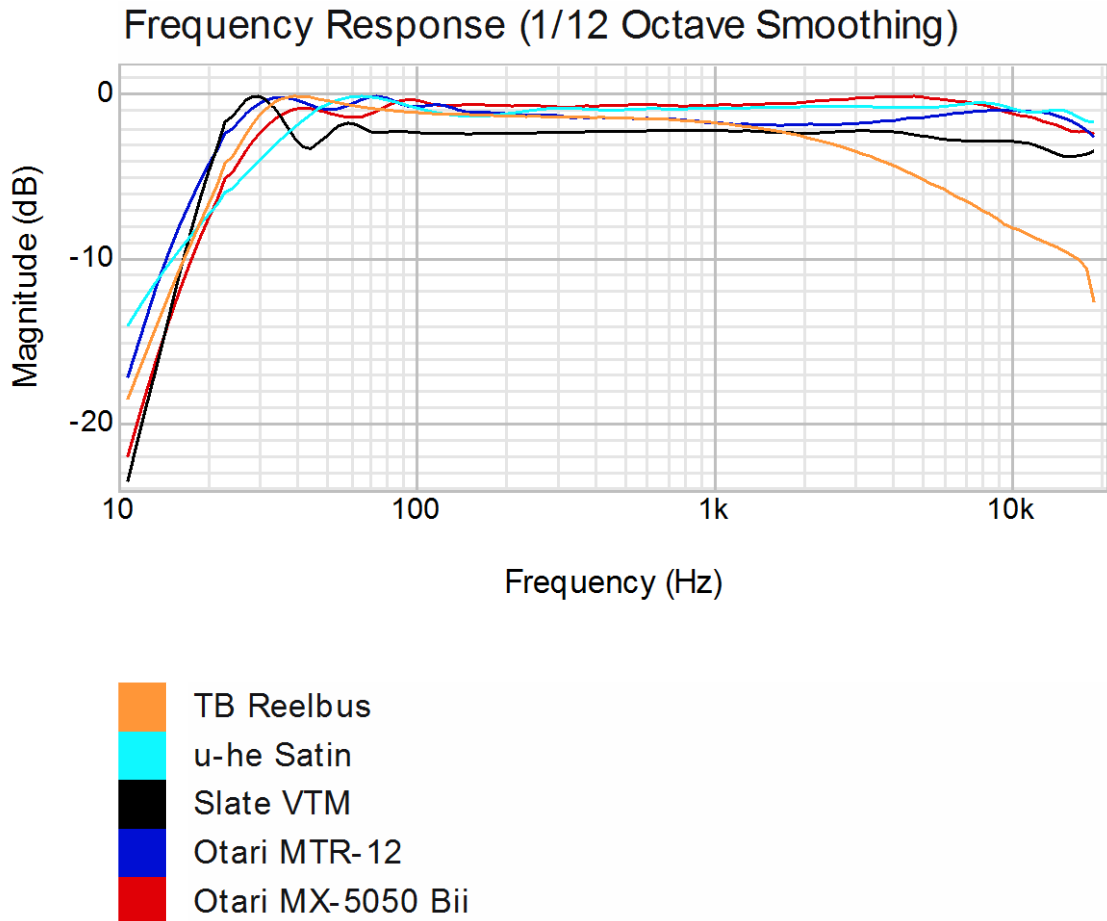
Kuvio 4. Otari MX-5050BII:n testitilanne

Mittasin Studio Kekkosen Otari MTR-12:n seuraavalla viikolla 11.11.2016. Testiprosessi ei juurikaan poikennut toisen Otarin mittaamisesta. 0VU –taso MTR-12:ssa vastasi -12dBfs:ää joten testatessa piti suorittaa samantapainen input-output –kompensaatio. Kaiken kaikkiaan nauhureiden mittaukset sujuivat ongelmitta, sillä olin ehtinyt suunnitella, hioa ja harjoitella testin kotona mallintajien kanssa.

3.1 Spektri, kokonaisharmoninen särö, ja vaihevaste: Fuzzmeasure-käyrät

Tehdessäni Fuzzmeasure –mittauksia, ajoin testisignaalin läpi eri äänenvoimakkuuksilla: 0VU:n tasolla ja muutaman desibelin tasolla sen molemmin puolin. Pitääkseni aineiston rajallisena, päätin keskittyä tulosten vertailuissa 0VU –tasoisten testisignaalien vertailuun, sillä testisignaalin voimakkuus ei tuntunut vaikuttavan voimakkaasti laitteen taajuus- tai vaihevasteeseen. Harmonisessa särössäkin parilliset kerrannaiset toistivat

samaa trendiä, mutta parittomien kerrannaisten määrä kasvoi, kun testisignaali oli voimakkaampi. Tämä ilmiö toistui niin emulaatioita mitattaessa, kuin oikeiden kelanauhureiden kanssa. Tämän opinnäytetyön liitteessä 2 on vertailtavana Otari MX-5050BII:sta otetut Fuzzmeasure –käyrät eri voimakkuuksilla, jotta signaalitason vaikutuksista mitausprosessiin voi saada hyvän kuvan.



Kuvio 5. Laitteiden ja emulaatioiden taajuusvasteet Fuzzmeasurella mitattuna

Taajuusvastetaulukosta (normalisoitu) voidaan nähdä kuinka hienosti Otareiden käyrät muistuttavat toisiaan. Head bump –ilmiö näkyy siististi molemmissa nauhureissa, MTR-12:n tapauksessa noin 35Hz kohdalla ja MX-5050:llä noin 40Hz kohdalla. MTR:n bassokorostuma on suhteessa isompi MX:n, mistä syystä MTR:n käyrä näyttää muilta osin vaimeammalta. Laitteiden yläpääkorostukset ja siitä eteenpäin laskevat taajuusvasteet ovat myös hieman eri paikassa – tähän vaikuttaa laitteen (yli-)biasointi ja taajuuskorjaimet.

Tutkiessamme emulaatioiden käyriä voimme todeta, että head bump –ilmiö on pystytty toistamaan suhteellisen uskollisesti. Slate Digitalin VTM on kuitenkin tässä korostu-

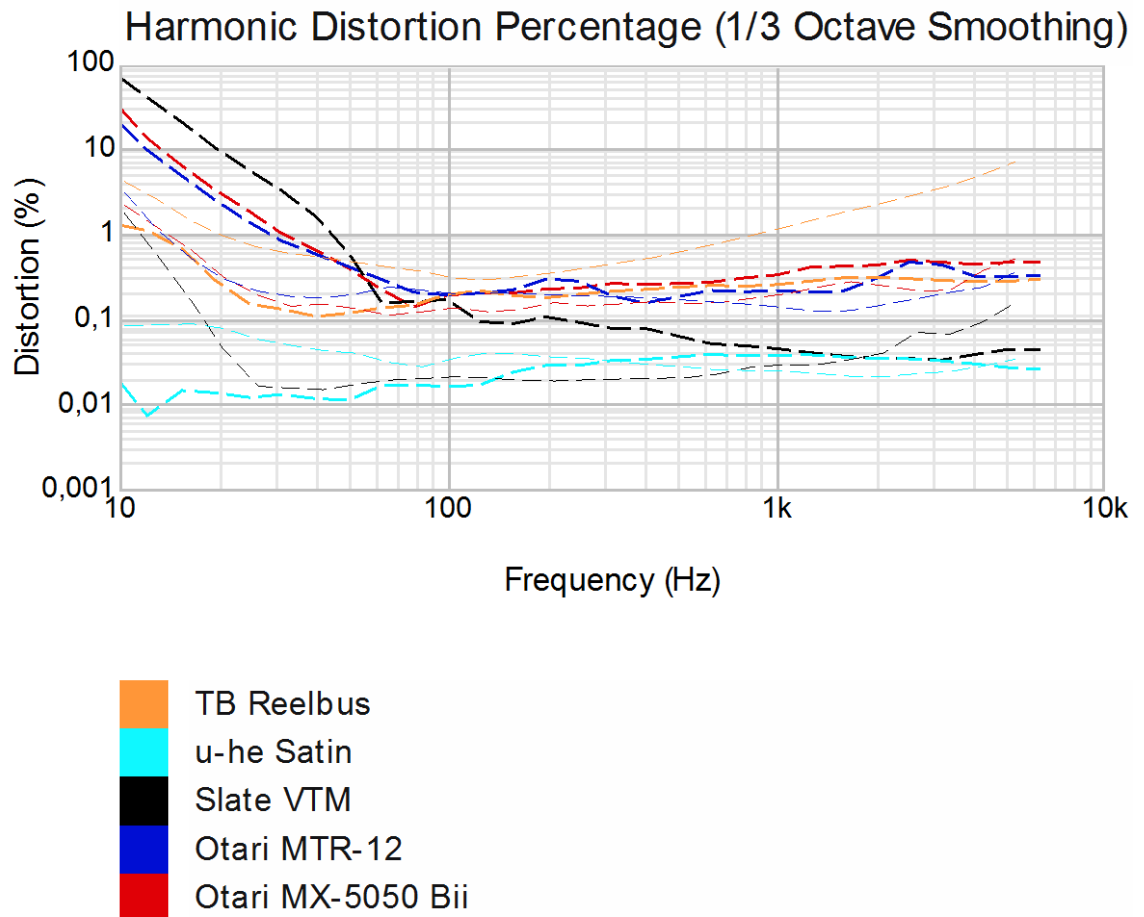
massa omassa luokassaan, sillä korostuma on yli desibelin kovemmalla kuin nauhereissa tai muissa emulaatioissa. Seurauksena käyrä näyttää siis tässä normalisoidussa taulukossa muilta osin hiljaisemmalta. On vaikea sanoa, onko tämän tasoinen head bump liioiteltu, sillä vertailussa ei ole aitoa Studer –nauhuria. Onneksi emulaatioissa on ”bass alignment” –säätö, jolla tähän korostumaan pystyy vaikuttamaan.

Reelbus puolestaan pudottaa taajuusvastettaan liikaa taajuusvasteen yläpäästä. Tätä pystyy kuitenkin kompensoimaan ”spectrum color adjustment” –säädöllä ja ”pre/post emphasis” –parametrilla. Satinin käyrä puolestaan näyttää säätämättä luonnollisimmalta, joskin ”head bump” –ilmiö tuntuu olevan suhteellisen korkealla, 50Hz kohdalla. Tämän sijaintiin pystyy vaikuttamaan simuloitun ilmaraon ”gap width” –säädöllä, mutta sama säätö valitettavasti myös vaikuttaa taajuusvasteeseen spektrin yläpäässä.

Kaiken kaikkiaan emulaatioiden taajuusvasteesta voi käyrien perusteella todeta, että ne pystyvät tuottamaan analoginauhua vastaavaan taajuusvasteeseen, joskaan vakioasetuksiin ei pysty missään mallinnuksessa sokeasti luottamaan. Säätöparametrien avulla käyttäjä kuitenkin pystyy kompensoimaan käyttämänsä emulaation heikkouksia taajuusvasteen osalta.

Seuraavan sivun harmonisen särön kaaviota tulkitessa on tärkeä huomata, että melko uhkaavalta näyttävät korkeat lukemat sijaitsevat laitteiden taajuusvasteiden ja head bumpin alapuolella. Harmoninen särö on pudonnut prosenttien luokkaan jo 30Hz kohdalla. Ainoastaan VTM:n tapauksessa harmoninen särö on epärealistisen matalan 20Hz head bumpin kohdalla noin 3,5%. Harmonisen särön prosenttiosuus ei itsenäisesti kerro juuri mitään, sillä sen kuuluvuus riippuu myös äänenvoimakkuudesta (Ludwig, 1997). Voimme kuitenkin yrittää vertailla harmonisen särön määrää nauhereiden ja emulaatioiden välillä, jotta saamme tietoa niiden käyttäytymisestä.

Harmonisen särön prosenttiosuuksissa on enemmän eroja kuin taajuusvasteessa. On silti huomionarvoista nähdä, että itse Otareiden käyrät muistuttavat todella paljon toisiaan. Parillisten kerrannaisten osalta emulaatiot joko liioittelevat tai vähättelevät nauhereiden säröä. Reelbus näyttäisi seuraavan nauhereita parhaiten parillisilta kerrannaisiltaan (noin 0,2dB sisällä), mutta parittomien kerrannaisten määrä on aivan liioiteltu ja ero kasvaa spektrin yläpäässä yli prosenttiyksikköön. VTM:n käyrät näyttävät oikean muotoisilta, mutta ovat suhteessa nauhereihin melko maltilliset. Satin puolestaan ei muistuta parillisilta kerrannaisiltaan nauhereiden käyriä juuri ollenkaan, mutta parittomat kerrannaiset mukailevat nauhereiden käyrien muotoja.

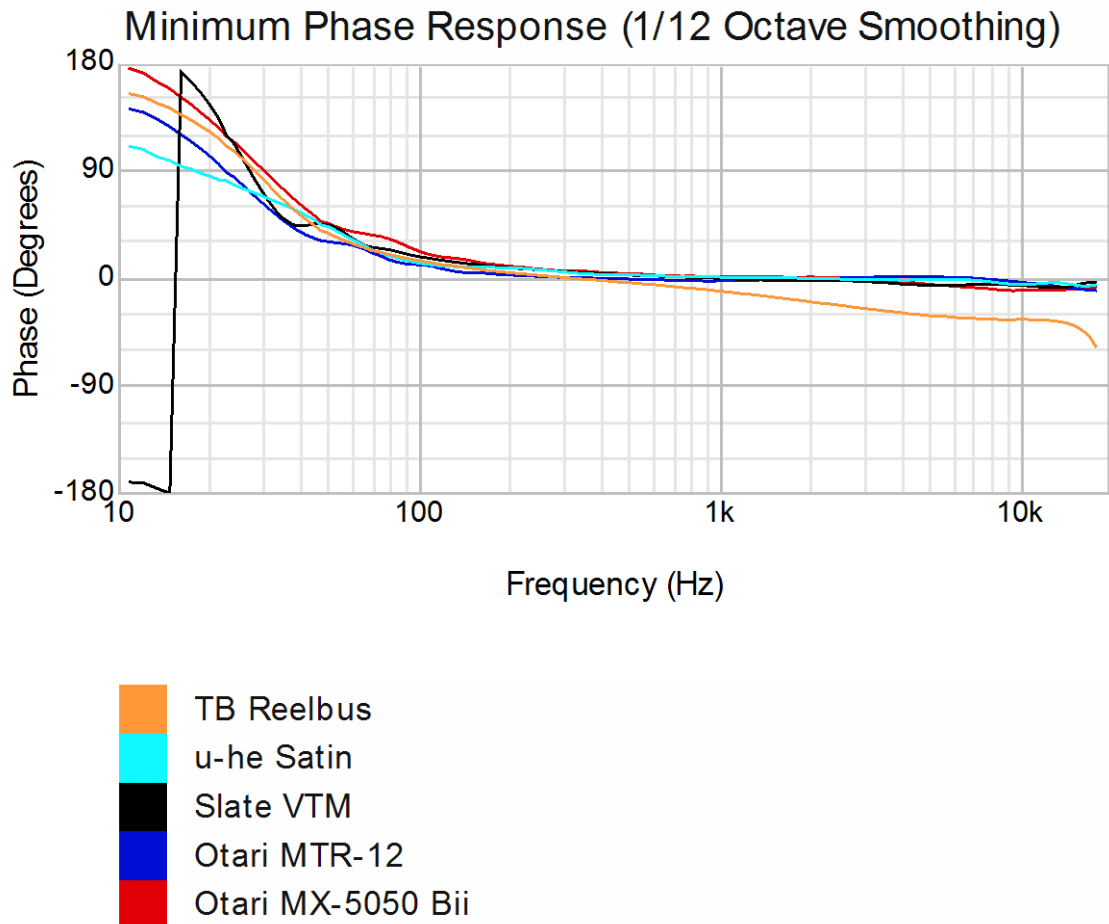


Kuvio 6. Harmonisen särön prosenttiosuus Fuzzmeasurella mitattuna. Vahvempi viiva ensimmäinen parillinen kerrannainen, haaleampi viiva ensimmäinen pariton kerrannainen.

Emulaatioiden harmonisen särön määrään pystyy varsinkin Reelbusin ja Satinin kohdalla vaikuttamaan. Tämä kuitenkin menee hieman monimutkaisemmaksi, sillä parametrien suhteet toisiinsa ovat kompleksiset. On vaikea sanoa kuinka suuri osa nauhan soundia harmoninen särö edustaa. Nauhasaturaatio yhdistetään yleensä parittomiin kerrannaisiin (Robjohns, 2010) ja pystyinkin toteamaan kaikkien mallinnusten reagoivan dynaamisesti signaalitasoon juuri parittomien kerrannaisten määrässä, vaikka emulaatioiden käyrien muoto ei vastannutkaan aina nauhureiden käyriä.

Vaihevasteessa emulaatiot ja nauhurit muistuttivat taas todella paljon toisiaan. Kaikissa laitteissa tapahtuu alakerrassa vaiheen kääntö, eli matalat signaalit tulevat aivan pienellä viiveellä suhteessa keski- ja ylätaajuuksiin. Ainoastaan VTM:ssä tapahtuu jotain omituista, missä 10-15Hz väliset taajuudet ovatkin negatiivisessa vaiheessa, eivätkä myöhässä, kuten pitäisi. Tämä kuitenkin tapahtuu kuuloalueen alapuolella, enkä tiedä kuinka relevantti se on lopputuloksessa. Satin on taas hieman maltillinen, ja Reelbu-

sisä tapahtuu ylimääräistä vaiheenkäntöä ylätaajuuksilla. Tämä voi liittyä samaan ilmiöön, mikä tiputtaa myös Reelbusin taajuusvastetta ylätaajuuksilla.



Kuvio 7. Laitteiden ja emulaatioiden vaihevasteet Fuzzmeasurella mitattuna.

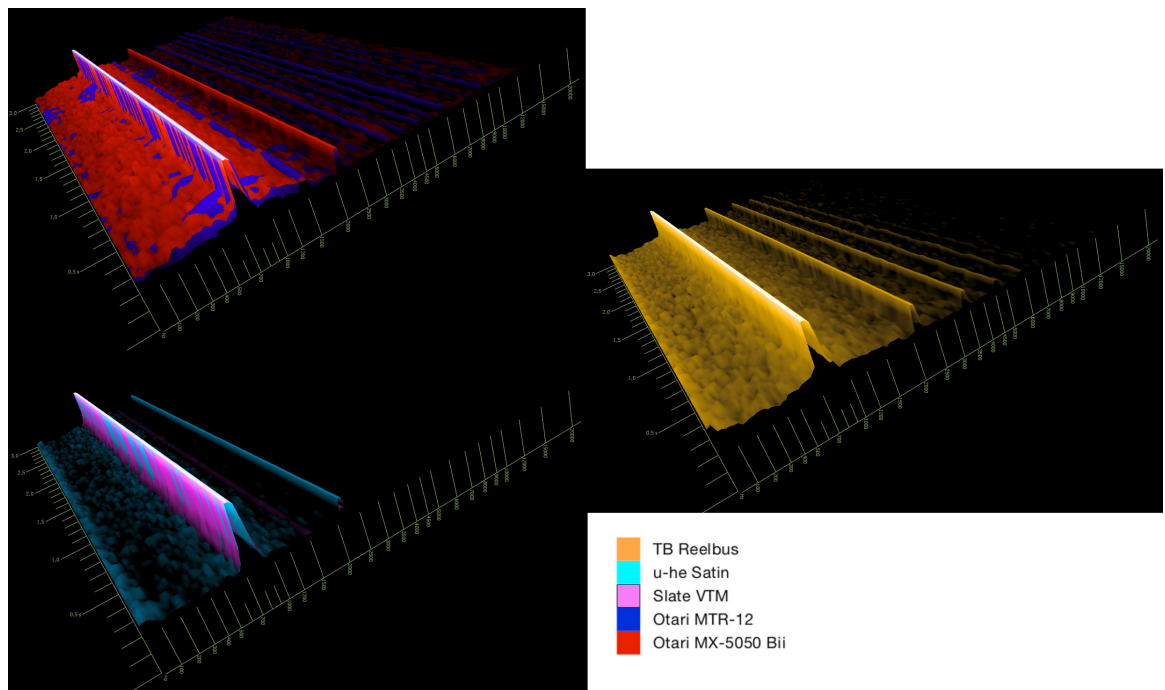
Vaihevaste kulkee käsi kädessä alataajuuksien vaimeneman ja säröytymisen kanssa. Tämän vaiheenkäynnön pitäisi myös näkyä transienttien pehmenemisenä, sillä vaiheliinearisuus on erityisen tärkeää toistettaessa nopeita transientteja (Laaksonen 2013, 8). Monet analogilaitteet kääntävät bassotoiston vaihetta ja esimerkiksi analogisten ekvalisaattoreiden toiminta perustuukin tälle kyseiselle ilmiölle (White & Houghton, 2008), joten tämän voidaan päätellä olevan osa nauhalle ominaista ”pyöreää” ja ”syvää” soundia.

Yhteenvetona nauhaemulaatioiden voidaan sanoa seuraavan ainakin nauhureiden taajuus- ja vaihevastetta melko uskollisesti. Harmonisen särön osalta ei voi vielä kahden nauhurin otannan perusteella sanoa, ovatko emulaatiot täysin hakoteillä tämän aspektin suhteen, varsinkin kun alle prosenttiyksikön kokoisten erojen hahmottaminen ilman kuulovaraista kokemusta on haastavaa. Tämän tyyppiset impulssitestit ovat kuitenkin ensimmäisiä työkaluja varmasti myös emulaatioiden kehittäjien arsenalissa.

Seuraavaksi onkin aika lähestyä prosessoreita hieman musikaalisemmasta näkökulmasta ja tutkia, miten ne reagoivat oikeisiin äänitteisiin.

3.2 Musiikillinen materiaali ja dynamiikka – Pro Tools -testit

Testin toisessa osassa syötin nauhureiden ja emulaatioiden läpi ensin kilohertsin sini-aaltoa kalibroidakseni laitteet samalle toimintatasolle, jonka jälkeen seurasi yksinkertainen rumpuraita, bassoraita ja kokonainen monosummattu miksaus. Pyrin näillä eri materiaaleilla testaamaan nimenomaan nauhan dynaamista käyttäytymistä (transienttirikkaat rumpuraidat ja miksaus), sekä alataajuuksien vastetta (bassoraita ja miksaus). Kaikki audioklipit ajettiin prosessoreiden läpi eri äänenvoimakkuuksilla (-3dBVU, 0dBVU, +2dBVU, +4dBVU ja +5dBVU).



Kuvio 8. Insight -3D-spektrogrammi yhden kilohertsin 0dBVU -tasoisesta testiäänestä

Testiäänän käyttö osoittautui hyödylliseksi myös muutenkin kuin kalibraatiomielessä. Tätä ääntä spektrogrammilla tarkasteltuna sain ikään kuin pysäytyskuvan aiemmin esittelemästäni THD käyrästä kilohertsin taajuudella. Tästä on todettavissa, kuinka varovainen Satinin ja VTM:n lähestymistapa kerrannaisiin on, ja toisaalta kuinka Reelbus liioittelee kerrannaisten läsnäoloa. MTR-12:ssa on hieman ylemmälle ulottuvia hiljaisia kerrannaisia, mutta ensimmäinen pariton, 3000Hz taajuus on voimakkaampi MX-5050:ssa (-74dBFS vs. -81dBFS). On vaikea sanoa, miksi juuri MTR-12:ta kerrannaiset

näkyvät selkeästi. Molempien nauhureiden mittaristot olivat kuitenkin kalibroitaessa 0VU tasolla, joten ero voi johtua laitteiden erilaisesta biasoinnista. MX-5050:n, Satinin ja VTM:n tulokset kuitenkin viittaavat siihen, että optimitilanteessa nauhurissa ei esiinny huomattavasti parittomia kerrannaisia nolлатasolla.

Kuvaajista näkee myös hienosti prosessoreiden kohinatason. Nauhureissa on toki jonkin verran kohinaa ja kuvaajassa näkyvä kohina pyörii -80dB:n ja -95dB:n välillä. Reelibusissa kohinaa on samalla tavalla uskottavasti, mutta aivan spektrin alapäässä sitä on melkein 10 desibeliä enemmän kuin aidoissa nauhureissa. Satin on taaskin todella maltillinen -100dB kohinallaan vaikka samanlainen alataajuuden korostuma (eli noin -90dB taso) löytyy sieltäkin. VTM:ssä kohinaa ei esiinny lainkaan. Tämä johtunee siitä, että mallinnuksen "noise reduction" -parametri oli mittauksen aikana suositellussa -24dB asennossa.

Olen tähän asti luottanut analyysissäni paljolti kuvaajiin ja niiden tuottamaan selkeään ja mitattavissa olevaan informaatioon. Siirryttäessä musiikilliseen materiaaliin on kuitenkin pakko ottaa mukaan subjektiivinen kokemus, sillä kuvaajat menevät aina vain monimutkaisemmiksi ja vaikeaselkoisemmiksi. Tämä osaltaan selittää sen, miksi aiheesta on niin paljon eriäviä näkemyksiä, missä toiset vannovat analogiemulaatioiden nimeen ja toiset taas eivät korvaisi koskaan aitoa analogilaitetta digitaalisella.

Ensimmäisenä tutkin tarkemmin rumpuääniklippiä. Klipissä on yksittäisiä bassorummun ja virvelirummun iskuja, jotka jokainen osuvat huippuarvoltaan -6dB kohdalle. Eri prosessorien kuulokuva ei spektriltään ollut kovin yllättävä. Head bump -ilmiö oli kuultavissa bassorummun iskuissa jokaisessa prosessorissa. Jykevin soundi kuitenkin tuli mielestäni Otari MTR-12:sta. Tätä edesauttoi todennäköisesti se, että bassorummun resonanssi osui sopivasti MTR:n head bumpin kohdalle. VTM:n head bump jäi puolestaan hieman liian alas tuodakseen bassorumpuun oikeanlaista tukevuutta.

Bassoraitaa kuunnellessa oikeastaan samat havainnot toistuivat. MTR-12 oli kaikista jykevin soundiltaan optimaalisen head bumpin sijoituksen takia. MX-5050 kaikista presenssisimmän kuuloinen. Nämä pystyin myös toteamaan spektrogrammin läpi: MTR dominoi 50-500 hertsin aluetta ja MX 2000-4000Hz alueella. Kuuntelin sekä 0dBVU, että +5dBVU -tasoilla prosessoreiden läpi ajettua bassoklippiä niin että kompensoin tasoerot enkä oikeastaan huomannut korvin eroa muussa kuin kohinan määrässä. Tämä voi johtua siitä, että bassoraidassa ei sinällään ollut esimerkiksi kirkkaita alukkeita, joiden pehmenemisen olisi voinut huomata. Aaltomuotokaan ei paljastanut suuria eroja.

Todella mielenkiintoinen ilmiö löytyi kuitenkin dynamiikasta, kun aloin vertailemaan eri tasolla ajettuja versioita rumpuääniklipistä. Jo pelkästä rumpuiskujen aaltomuodosta pystyi näkemään, että nauhureiden tuottama aaltomuoto ei kasvanut lineaarisesti siinä missä audiota syötettiin sisään yhä kovemmalla tasolla. Keräsin seuraavaan taulukoon saman yksittäisen rummuniskun huippuarvot eri tasoilla.

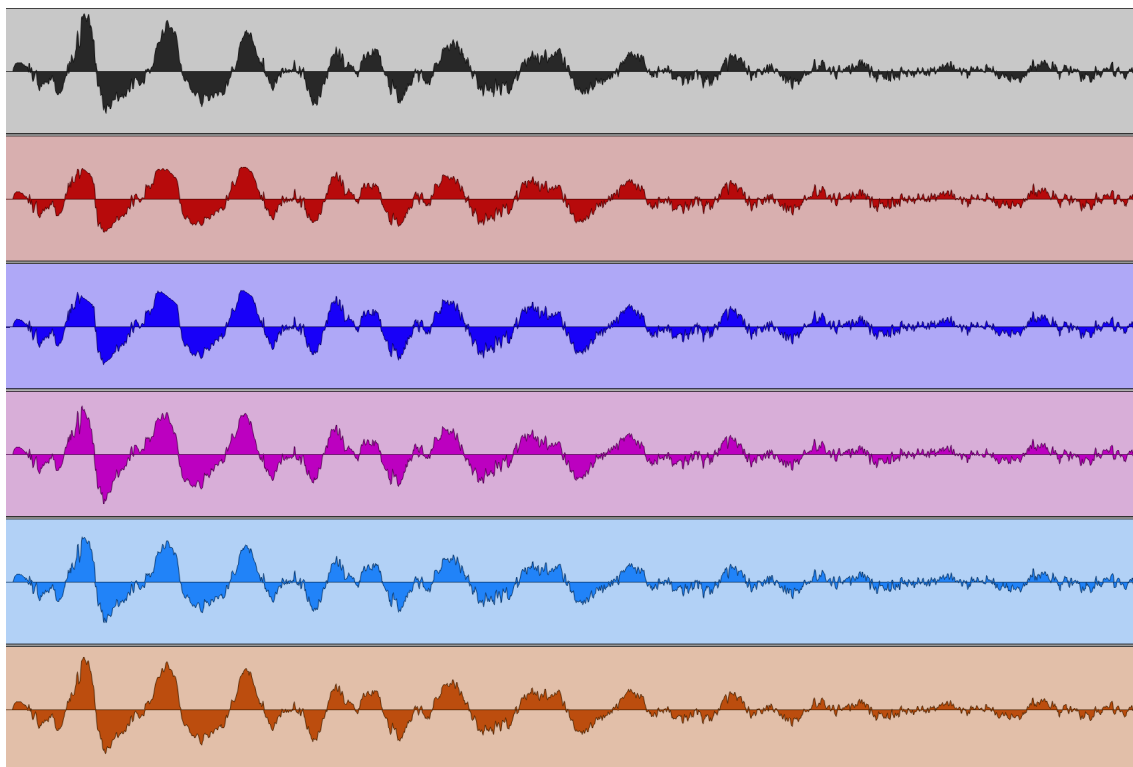
Taulukko 2. Identtisen virvelirummuniskun huippuarvot dBFS –arvoina.

	-3dBVU	0VU	+2VU	+4VU	+5VU
Alkuperäinen	-9,0	-6,0	-4,0	-2,0	-1,0
MX-5050 BII	-10,2	-8,1	-6,9	-6,3	-6,0
MTR-12	-9,6	-7,0	-5,6	-4,7	-4,8
VTM	-9,6	-6,6	-4,8	-3,1	-2,4
Satin	-9,8	-7,1	-5,4	-3,8	-3,2
Reelbus	-9,4	-6,5	-4,6	-2,8	-1,9

Tässä taulukossa tärkeää ei niinkään ole, kuinka lähellä yhden laitteen luvut ovat toisen laitteen lukuja, vaan kuinka signaalin huippuarvon kasvu taittuu, kun lisätään äänenvoimakkuutta. Varsinkin MX-5050:n kohdalla huippuarvo kasvoi 0VU arvosta yhteensä 1,9 desibeliä siinä missä alkuperäistä puhdasta digitaalista lähdettä kasvatettiin yhteensä viisi desibeliä. MTR:llä vastaava luku oli 2,2 desibeliä. Myös emulaatiot taittoivat dynamiikkaansa mutta eivät läheskään yhteensä yhtä paljon ja taitos ei myöskään ollut niin jyrkkä kuin oikeissa nauhureissa.

Halusin tarkastella tätä ilmiötä vielä lähemmin ja zoomasin Pro Toolsissa kaikista voimakkaimman virveliniskun aaltomuotoon. Huomasin, että vain nauhurit olivat tehneet aaltomuotoon pientä pyöristystä – ensimmäisen transientin vuoren tai kolmion muotoinen aaltomuoto olikin muuttunut kukkulamaiseksi puolikaareksi. Kyse ei oikeastaan voi olla pelkästään säröstä, sillä kaikki klipit olivat tällä +5VU tasolla jo huomattavasti säröllä. Toisaalta ensimmäisten transienttien jälkeen aaltomuoto näyttää kaikissa tapauksissa hyvin samanlaiselta.

Samankaltainen ilmiö toistui myös täyden kaistan miksauksessa, missä jo visuaalisesti tarkasteltuna bassorummun transientit hyppäsivät aaltomuodosta ulos nauhureiden klipeissä selkeästi vähemmän kuin alkuperäisessä tai edes emulaatioiden klipeissä.



Kuvio 9. +5VU Virveliniskun aaltomuoto. (Raitojen järjestys ylhäältä alas: alkuperäinen digitaalinen klippi, MX5050, MTR-12, VTM, Satin, Reelbus.)

Aito analoginauha näyttää siis kompressoivan dynamiikkaa hieman eri tavalla kuin emulaatiot. Analysoin siis vielä täyden kaistan miksausien dynamiikkaa vielä yhdellä työkalulla, ns. "crest factorilla". Crest factor on eräänlainen dynamiikan määre, jossa suhteutetaan signaalin huippuarvo ja pidemmän aikavälin tehollisarvo. Aion käyttää laskelmissani Bob Katzin määritelmää, jossa crest factor huippu- ja tehollisarvon erotus (Katz 2002, 168). Crest factorille on myös monimutkaisempia sähkötekniikassa käytettyjä laskutapoja, mutta audiokäyttöön Katzin määritelmä on sopiva.

Taulukko 3. Täyden kaistan miksausien lasketut crest factor –arvot.

	-3dBVU	0dBVU	+2dBVU	+4dBVU	+5dBVU
Alkuperäinen	16,2 dB	16,3 dB	16,2 dB	16,2 dB	16,3 dB
MX-5050 BII	14,5 dB	14 dB	13,8 dB	13,3 dB	13,1 dB
MTR-12	15,2 dB	14,8 dB	14,5 dB	14,1 dB	13,9 dB
VTM	15,8 dB	15,7 dB	15,7 dB	15,7 dB	15,5 dB
Satin	15,2 dB	15,1 dB	15,0 dB	15,0 dB	14,9 dB
Reelbus	15 dB	14,9 dB	14,9 dB	14,8dB	14,7 dB

Tästä taulukosta voi päätellä, että aidon nauhan käyttäytymistä ei selkeästi ole vielä kyetty täysin mallintamaan dynamiikka-alueen osalta. Alkuperäisen ääniklipin crest factor on luonnollisesti joka kerta sama, sillä se on identtinen tiedosto vain eri äänen-voimakkuuksilla (0,1dB liikkuma johtuu pyöristyksistä). Vain Otarit näyttävät tässä jat-

kuvasti laskevaa crest factor –arvoa. Muut pysyvät pitkälti paikoillaan pysyen lähinnä 0,1dB pyöristysmarginaalin sisällä, joskin +5dBVU:n kohdalla särön määrä alkaa emulaatioissakin olla sillä tasolla että dynamiikan yläpäässä alkaa tapahtumaan leikkautumista, minkä takia dynamiikka-alue pienenee.

Yhteenvedona tästä tutkimuksen osasta voin todeta, että kuulovarasesti nauhureissa ja nauhaemulaatioissa on eroa, mutta kuulonvaraisesti myös ero kahden nauhurin välillä on samaa luokkaa kuin emulaation ja nauhurin välillä. Kuitenkaan faktat ja mittaustulokset eivät valehtele ja on selkeästi havaittavissa, että aidossa nauhassa signaalin transienteille ja dynamiikka-alueelle tapahtuu jotain, mihin emulaatiot eivät ole tähän asti vielä pystyneet.

4 Yhteenveto ja pohdinta

Lähdin tekemään tutkimusta tarkoitukseni selvittää, kuinka lähelle nauhaemulaatiot pääsevät aidon nauhan soundia. Pyrin keksimään tutkimukseeni sellaisia parametreja ja mittaustekniikoita, joilla voin saada myös objektiivisesti tulkittavissa olevaa dataa. Valitsin käytettävät mittausohjelmistot, suunnittelin mittausprosessin ja suoritin mittaukset niin huolellisesti ja hyvin kuin osasin.

Tuloksena voin siis vastata tutkimuskysymykseeni: Nauhaemulaatioilla voi tuoda omiin digitaalisiin äänityksiin nauhan ”makua” taajuusvasteen ja särön muodossa, mutta täysin samanlaisia analoginauhan kanssa ne eivät vain vielä ole. Taajuusvaste head bumbleineen on onnistuttu mallintamaan hienosti ja harmoninen särö käyttäytyy asianmukaisesti, vaikka itse särön ”profiilit” ovat keskenään erilaisia. Toisaalta nauhaemulaatioiden epälineaarinen käyttäytyminen dynamiikan ja transienttien osalta on puutteellista. Tämä on sääli, sillä nauhan kaltaista dynaamista käsittelyä digitaalisessa maailmassa on vaikea toisintaa kompressoreilla, kun taas saturaatioon ja spektriin pystyy helposti vaikuttamaan toisenlaisillakin plug-ineilla, kuten analogimallinnetuilla ekvalisaattoreilla.

Nauhan kaltaista dynaamista toimintaa on varmasti vaikea mallintaa, sillä se ei näy laboratorio-tyyppisissä mittauksissa vaan on aina orgaanista suhteessa audiomateriaaliin. Nauha ei napannut kiinni matalatransienttiseen bassoraitaan kovallakaan tasolla, mutta kesytti rumpujen teräviä alukkeita niin yksinään kuin täydessä miksaussessakin. Vaikutusta ei voi toistaa yksinkertaisella kompressorilla tietyillä ratio- ja threshold-

arvoilla, vaan nauha näyttää reagoivan signaalin huippuarvon ja tehollisarvon suhteeseen uniikilla tasolla.

Tutkimuksestani heräsi kuitenkin jatkokysymyksiä ja ajatuksia. Kuinka paljon lähemmäs olisin voinut päästä nauhureita emulaatioilla, jos olisin säätänyt emulaatioiden parametreja mittausprosessin aikana ja yrittänyt näin vielä pienentää nauhureiden ja mallintajien eroja. Ohjelmistokehittäjien suosittelemiin asetuksiin luottaminen oli eräänlainen arvovalinta, mutta työstäni olisi voinut olla enemmän hyötyä sekä itselleni että muille, jos olisin selvittänyt parhaat ja realistisimmat asetukset käytetyissä emulaatioissa.

Toiseksi olisi hienoa päästä toistamaan tämä testi vielä aidon Studerin kanssa. Kaikki tutkimukseni mallinnukset perustuivat jonkinlaiseen Studeriin, vaikka mallit erosivatkin toisistaan. Puolustukseni täytyy kuitenkin sanoa, että hyvälaatuisen ja hyvin säädetyin kelanauhurin ei pitäisi lähtökohtaisesti vaikuttaa soundiin nominaalitasolla operoidessa. Onneksi sain kuitenkin sovitettua muita аспекteja testissäni, kuten 15 ips:n nauhanopeuden, ja Reelbusin tapausta lukuun ottamatta nauhatyyppiin (moderni, +9dB yliohjauksella).

Olen tyytyväinen, että sain tähän tutkimukseen jonkin verran ”kovaa” dataa, josta voi tehdä objektiivisia johtopäätöksiä. Alan kirjoittelu tuntuu yleensä olevan melko subjektiivis-painotteista, ja esimerkiksi aihetta käsittelevissä muissa opinnäytetöissä on pyritty analysoimaan lähinnä subjektiivista kuulokuvaa. Ymmärrän kuitenkin tämän lähestymistavan, sillä tämän kaltaisen aineiston tulkitseminen musiikillisesti merkittävässä kontekstissa on haastavaa, eikä itseni kohdalla esim. harmonisen särön tulkinnassa tietotaso riittänyt syvempään analyysiin. Pyrin kuitenkin keräämään ja esittelemään dataa sillä tavalla, että siitä kykenevät valistuneemmatkin lukijat vetämään omia johtopäätöksiään.

Tutkimuksen tekeminen opetti minua paljon. Sen lisäksi että ymmärrän analoginauhan ja emulaatioiden eroja paremmin, pystyn jatkossa valitsemaan käyttämäni nauhaemulaation paremmin tilanteen ja käyttötarkoituksen mukaan pitäen mielessäni tutkimuksessani esille tulleet erot. Opin myös taustatyötä tehdessäni paljon analogiselle nauhurille äänittämisestä ja analoginauhan käsittelystä, koska minulla oli aiheesta aiemmin todella vähän kokemusta.

Toivon, että tästä opinnäytetyöstä olisi hyötyä myös muille alan ammattilaisille. Tämä työ voi toimia esimerkkinä ja apuna muiden omien tutkimusten suunnitteluun ja toteutukseen. Tietoisuuden leviäminen tämän tyyppisistä löydöistä ja niiden todentaminen myös toisilla tutkimuksilla voi myös vaikuttaa suoraan ohjelmistokehittäjiin, jotka vuorostaan voivat kehittää emulaatioidensa algoritmeja yhä tarkemmaksi ja tarkemmaksi. Tämän kaltaisesta valistuksesta hyötyvät kaikki osapuolet ja mielestäni analoginauhureita olisi hyvä tutkia nyt kun vielä nämä lajinsa viimeiset, vähitellen menneisyyteen vaipuvan magneettisen median edustajat, ovat vielä olemassa.

Lähteet

Ampex 1960. Basic Concepts of Magnetic Tape Recording. Nauhavalmistajan julkaisema informaatiopaketti magneettinauhan ilmiöistä.
<http://reel2reeltexas.com/AmpexBasicConceptsTapeRecording.pdf> (luettu 12.11.2016)

Colletti, Justin 2013. The Science of Sample Rates (When Higher Is Better – And When It Isn't) (verkkojulkaisu).
<http://www.trustmeimascientist.com/2013/02/04/the-science-of-sample-rates-when-higher-is-better-and-when-it-isnt/> (luettu 17.11.2016)

Daley, Dan 1999. Recordin' "La Vida Loca": The Making of a Hard Disk Hit (MIX Magazine).
<http://www.mixonline.com/news/profiles/recordin-la-vida-loca-making-hard-disk-hit/374667> (luettu 5.11.2016)

GearsLutz 2016. Verkkokeskustelu: What sample rate do you record at? Tulokset vuosilta 2003-2016.
<https://www.gearsLutz.com/board/high-end/360968-what-sample-rate-do-you-record.html> (luettu 7.11.2016)

Haeny, John 2011. Kramer Master Tape White Paper (verkkojulkaisu).
<http://www.waves.com/kramer-master-tape-white-paper> (luettu 5.11.2016)

HiFi Engine, 2016. Otari MX-5050 BII manuaalikirjasto (verkkojulkaisu).
http://www.hifiengine.com/manual_library/otari/mx-5050.shtml (luettu 13.11.2016)

HiFi Engine, 2016 Otari MTR-12 manuaalikirjasto (verkkojulkaisu).
http://www.hifiengine.com/manual_library/otari/mtr-12.shtml (luettu 13.11.2016)

Huber, David Miles & Runstein, Robert E. 2010. Modern Recording Techniques, 7th edition. Focal Press

Katz, Bob 2002. Mastering Audio. Focal Press

Laaksonen, Jukka 2013. Äänityön Kivijalka 2.painos. Riffi-julkaisut

Ledger Note, 2016. What Is Tape Saturation? Which Are the Best Saturation Plugins? (verkkojulkaisu).
<http://ledgernote.com/columns/mixing-mastering/what-is-tape-saturation-best-plugins/> (luettu 12.11.2016)

Ludwig, Arthur C. 1997. Music and the Human Ear (verkkojulkaisu).
<http://www.silcom.com/~aludwig/EARS.htm#Distortion> (luettu 14.11.2016)

Marchesini, Cesare 2015. Magnetic Tapes (verkkojulkaisu).
<http://www.soundfan.it/en/tapes.html> (luettu 13.11.2016)

Mignola, Pete 2015. Learn the Key Differences Between Analog Tape Speeds (Performer magazine).
<http://performermag.com/home-recording/learn-the-key-differences-among-analog-tape-speeds/> (luettu 12.11.2016)

Museum of Magnetic Sound Recording, 2013. Otari –profiili (verkkojulkaisu).
<http://museumofmagneticsoundrecording.org/ManufacturersOtari.html> (luettu 13.11.2016)

Reid, Gordon 2007. The Digital Myth – Why Digital Sounds Better Than You Think (Sound on Sound, syyskuu 2007).
<http://www.soundonsound.com/techniques/digital-myth> (luettu 5.11.2016)

RME 2007. Babyfacen valmistajan virallisen tukifoorumin ohjeistus (verkkojulkaisu).
<https://www.forum.rme-audio.de/viewtopic.php?id=12612> (luettu 12.11.2016)

Robjohns, Hugh 2010. Analogue Warmth (Sound on Sound, helmikuu 2010).
<http://www.soundonsound.com/techniques/analogue-warmth> (luettu 5.11.2016)

Slate Digital 2016. Virtual Tape Machines –liitännäisen tuotesivu.
<http://slatedigital.com/virtual-tape-machines/> (luettu 5.11.2016)

Slate Digital 2016. Virtual Tape Machines –käyttäjäopas (verkkojulkaisu).
<http://download.slatedigital.com/vtm/Virtual%20Tape%20Machines%20-%20User%20Guide.pdf> (luettu 7.11.2016)

Thomann 2016. RMG SM900 ½” –nauhan myyntisivu.
https://www.thomann.de/fi/rmg_sm900_12_762m_nab.htm (luettu 5.11.2016)

Tingen, Paul 2005. Steve Albini – Sound Engineer Extraordinaire (Sound on Sound, syyskuu 2005).
<http://www.soundonsound.com/people/steve-albini> (luettu 5.11.2016)

Toneboosters 2014. The reel project – part 1-3 (verkkojulkaisu).
<http://www.toneboosters.com/reelproject2/> (luettu 7.11.2016)

u-he, 2016. Satin –nauhamallinnuksen käyttöohje (verkkojulkaisu).
<http://uhedownloads.heckmannaudiogmb.netdna-cdn.com/manuals/Satin-user-guide.pdf> (luettu 13.11.2016)

Universal Audio 2016. Studer A800 Tape Recorder –liitännäisen tuotesivu.
<http://www.uaudio.com/uad-plugins/special-processing/studer-a800-tape-recorder.html> (luettu 5.11.2016)

US Recording Media, 2015. What Tape Should I Use? (verkkajulkaisu).
<http://usrecordingmedia.com/whtashius.html> (luettu 12.11.2016)

White, Paul & Houghton, Matt 2008. What's The Frequency? (Sound on Sound, joulukuu 2008).
<http://www.soundonsound.com/techniques/whats-frequency> (luettu 14.11.2016)

Wikipedia 2016. Revox –artikkeli (verkkajulkaisu).
<https://en.wikipedia.org/wiki/Revox> (luettu 13.11.2016)

Kuviot

Kuvio 1. Universal Audio & Waves Audio Ltd. 2016. Kuvankaappaus.
<http://www.uaudio.com/hardware/compressors/1176ln.html>
<http://www.waves.com/plugins/cla-76-compressor-limiter>

Kuvio 2. Aleksis Villberg, 2016. Valokuva.

Kuvio 3. Aleksis Villberg, 2016. Valokuva.

Kuvio 4. Aleksis Villberg, 2016. Valokuva.

Kuvio 5. Aleksis Villberg, 2016. Fuzzmeasure –käyrä.

Kuvio 6. Aleksis Villberg, 2016. Fuzzmeasure –käyrä.

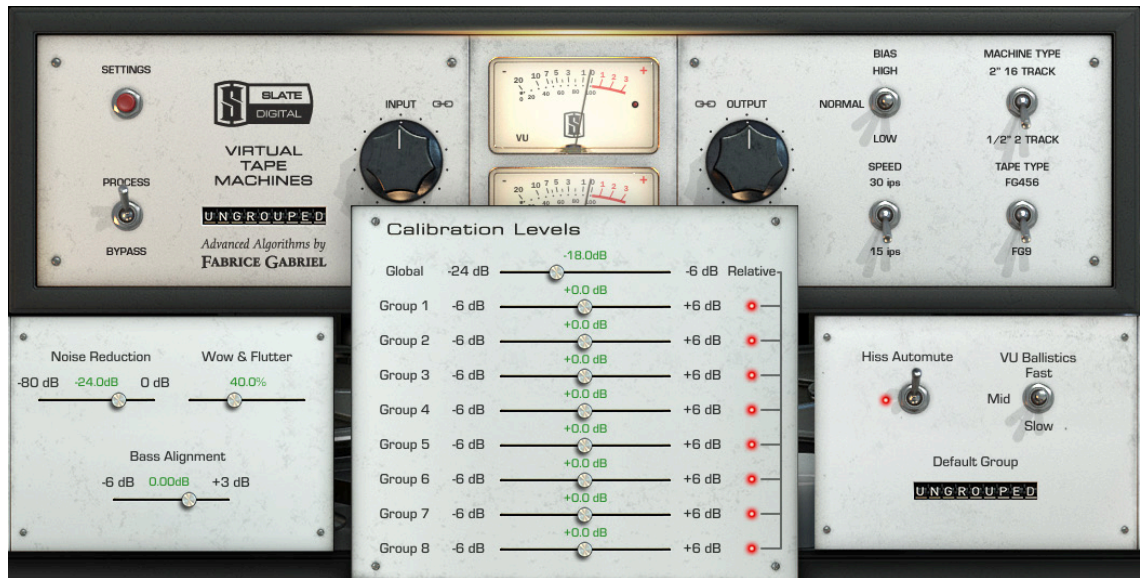
Kuvio 7. Aleksis Villberg, 2016. Fuzzmeasure –käyrä.

Kuvio 8. Aleksis Villberg, 2016. Kuvankaappaus iZotope –ohjelmistosta.

Kuvio 9. Aleksis Villberg, 2016. Kuvankaappaus Pro Tools –ohjelmistosta.

Liite 1. Nauhamallinnusten kuvankaappaukset

Tässä liitteessä on kuvankaappaukset nauhaemulaatioiden asetuksista. Kaikkiin emulaatioihin on syötetty 1kHz siniaaltoa -18dbfs -tasolla kuvan oton aikana, jotta VU-mittaristo näyttää nollassa olevan sama.



Slate Digital Virtual Machines, kuvankaappaus asetuksista.



U-he Satin, kuvankaappaus asetuksista.



Toneboosters Reelbus, kuvankaappaus asetuksista.

Liite 2. Otari MX-5050BII Fuzzmeasure -käyrät

Ohessa Fuzzmeasure -ohjelman luomat käyrät Otari MX-5050BII -nauhurista. Harmonisen särön kuvaajassa vahvempi viiva on ensimmäinen parillinen ja heikompi katkolinja ensimmäinen pariton kerrannainen.

