



**LUFS från dB till LU**  
Digitalisering möjliggör global ljudkontroll

Mats Lemström

Film och Television

Arcada

2016

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Film och Television
Identifikationsnummer:	5285
Författare:	Mats Lemström
Arbetets namn:	LUFS från dB till LU Digitalisering möjliggör global kontroll
Handledare (Arcada):	Kauko Lindfors
Uppdragsgivare:	Arcada
<p>Sammandrag:</p> <p>Examensarbetet betraktar en teknisk genomgång om normalisering av programljud. Undersökningen baseras på forskning inom rekommendationen som definierar volymen för ljudet och anger det som LUFS-enheter (Loudness Unit relative to Full Scale). För att kunna förstå vad som egentligen sker har jag betraktat boken <i>Mastering Audio the art and the science</i> skriven av Bob Katz som har utvecklat en äldre teknik för uträkning av loudness. Jag jämför Katz K-system med K-frekvensvägningssystemet som är basen för loudness- mätning inom programljud idag. På basen av examensproduktionsfilmen <i>Frälsningen</i> lär jag mej om hur loudness- normalisering fungerar i praktiken för att i framtiden kunna jobba inom produktion av programljud. Jag genomgår också bakgrunden till loudness och hur begreppet dB-volym har utvecklats till enheten Loudness Unit. Jag anser också att den tekniska sidan är en viktig del för att kunna förstå hur arbetsprocessen fungerar inom loudness- normalisering. För att utreda min frågeställning hur programljud normaliseras idag, vilka är redskapen och vad är tekniken bakom loudness- normalisering har jag använt mej av litteratur, intervjuer med proffs och elektroniska källor för utredningen. En viktig fråga är också vad är standarden för programljud i Finland. Forskningsmetoden avgränsar problematik inom mätning av loudness. Nivånormalisering är det som kommer att forskas i.</p>	
Nyckelord:	LUFS, ljudstyrka
Sidantal:	40
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	2.6.2016

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Film&Television
Identification number:	5285
Author:	Mats Lemström
Title:	LUFS - from dB to LU
Supervisor (Arcada):	Kauko Lindfors
Commissioned by:	Arcada
Abstract:	
<p>This thesis considers a technical briefing on the normalization of the program sound. The study is based on research from the recommendation which defines the loudness of sound in a LUFS-measure (Loudness Unit relative to Full Scale). In order to understand what actually is happening, I have read the book <i>Mastering Audio, the art and the science</i> written by Bob Katz. He has perfected an earlier recommendation for the measurement of loudness called the <i>K-system</i>. I compared the <i>K-System</i> to the <i>K-frequency weighting</i>, which is the basis for the measurement of loudness for broadcasting today. Based on the production of our film <i>Frälsningen</i>, I am learning how loudness normalization can work in practice. In the future it will assist me in the production of audio programs. I will also explore how the concept of dB-volume has developed into Loudness Unit. The technical side is an important to understand how the system works in loudness normalization for broadcasting. When program sound is normalized, we must also look at what the tools are and how the technology behind it works. I have researched literature, interviewed professionals and used electronic sources for my research. Another important questions is, what is the audio program standard in Finland. Research methodology defines the problem in the measurement of loudness. Level Normalization is what will be researched in.</p>	
Keywords:	LUFS, loudness
Number of pages:	40
Language:	Swedish
Date of acceptance:	2.6.2016

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Film&Television
Tunnistenumero:	5285
Tekijä:	Mats Lemström
Työn nimi:	LUFS – från dB till LU
Työn ohjaaja (Arcada):	Kauko Lindfors
Toimeksiantaja:	Arcada
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Tutkielma on tekninen katsaus joka käsittelee lähetysäänien normalisointia. Tutkimus perustuu suositukseen joka määrittelee äänenvoimakkuuden tasoa ja ilmaisee voimakkuuden LUFS-yksiköin (Loudness Unit relative to Full Scale). Vanhempaan äänenvoimakkuus suositukseen olen perehtynyt suositukseen laatineen Bob Katzin <i>Mastering Audio the art and the science</i>- avulla. Vertaan vanhaa äänekkyysuositusta nykyiseen, joka perustuu K-taajuuspunnitukseen kun käsitellään äänenvoimakkuuden mittaamista ohjelmalähetystä varten tänäpäivänä. Käytän aineistona tutkielmaa varten tehtyä ekokuvaa Frälsningen sen selvittämiseen, miten äänenvoimakkuuden normalisointi toimii käytännössä, jotta tulevaisuudessa pystyn työskentelemään äänituotannon parissa lähetystä varten. Käyn myös läpi miten dB-volyymi on muuttunut uudeksi yksiköksi Loudness Unit. Tärkeä osa tutkielmaa on myös tekninen kuvaus äänenvoimakkuuden mittauksesta ja normalisoimisesta. Ohjelman äänekkyiden normalisoinnin työkaluja, tarvittavaa teknologiaa ja itse normalisointiprosessin kulkua olen selvittänyt kirjallisuudesta, ammattilaisia haastatteleamalla sekä verkkolähteistä. Tärkeä kysymys on lisäksi, mikä on ohjelmaaänekkyiden standardoitu taso Suomessa. Tutkielmassa rajataan ongelmakatsaus ja tutkitaan äänekkyiden tasonormalisointia.</p>	
Avainsanat:	LUFS, äänenvoimakkuus
Sivumäärä:	40
Kieli:	Ruotsi
Hyväksymispäivämäärä:	2.6.2016

# INNEHÅLL

Figurer .....	7
FÖRORD .....	9
DECIBEL DEFINITION .....	10
<b>1 DYNAMIK &amp; resolution .....</b>	<b>10</b>
1.1 Dynamik.....	10
1.1 Resolutionsskalan för dynamik.....	11
1.2 Headroom.....	12
1.3 Dynamiska skalan .....	13
1.4 Dynamisk processering .....	13
1.5 Gainride & Gain- automation.....	13
1.6 K-systemet.....	14
1.1.1 <i>Experiment 7 -K/RMS</i> .....	14
<b>2 LOUDNESS.....</b>	<b>15</b>
2.1 VU-mätare långsammare än människan.....	15
2.2 Teknik och hantering av programljud utvecklas .....	17
2.3 Höga peak- nivåer orsakar problematik .....	18
2.4 Loudness mätning .....	19
2.4.1 <i>Broadcasting idag består av mer dynamiskt ljud</i> .....	19
2.4.2 <i>Tekniska aspekter</i> .....	19
2.5 Algoritm för mätning av loudness .....	20
2.6 EBU utvecklar ITU-standarden.....	22
2.7 EBU R 128.....	22
2.8 Varför -23LUFs.....	23
2.9 Mediesändning i Europa får gemensam standard .....	23
2.10 Loudness i Finland .....	24
2.11 Mätarstandarder och postproduktion.....	24
<b>3 mätar test och Experiment.....</b>	<b>24</b>
3.1 Mätartest genom statisk sinusvåg .....	24
3.2 Varför är det integrerade LUFs-antalet -23.1 istället för -23.0 .....	27
3.3 Experiment 7 -K/RMS.....	27
3.3.1 <i>Headroom för handhållet- videospel</i> .....	27
3.4 Kalibrering för lyssning 7 -K/RMS .....	28
3.5 Teknisk högtalarkalibrering för ojämn akustikmiljö .....	29
3.6 Kalibrering av rullbandspelare.....	29

3.6.1	<i>Storlek på rullband</i> .....	29
3.6.2	<i>Snabbhet avgör kvalitet</i> .....	30
3.6.3	<i>Av magnetisering</i> .....	30
3.6.4	<i>Kalibrering</i> .....	30
<b>AVTONING och reflektion</b> .....		<b>31</b>
3.7	Uträkning av K/RMS värde för handhållet videospel .....	31
3.8	Live mix och loudness- normalisering .....	31
3.9	Frälsningen och loudness normalisering .....	31
3.9.1	<i>Frälsningens masterfil för kontroll</i> .....	32
3.9.2	<i>Komprimering</i> .....	33
3.9.3	<i>Det komprimerade ljudet kontrolleras på nytt</i> .....	34
3.9.4	<i>Korrigerig av Frälsningens ljudfil till R 128</i> .....	34
3.9.5	<i>Kontroll av loudness- värden enligt R 128</i> .....	36
<b>4</b>	<b>References</b> .....	<b>39</b>

## FIGURER

Figur 1: En skärmbild. Ju högre bit- resolution av signal desto jämnare blir representationen. (Echo, 2008, s. 32) .....	12
Figur 2: Bild på mätar- värden för rekommendation K-systemet. Mätning av ljudstyrka relateras genom analoga uträkningar. (Katz, 2006).....	15
Figur 3: Bild på en analog VU-mätare med peak- led. Den typiska skalan för en VU-mätare ligger på skalan mellan -18 och 0. -18dBFS motsvarar vanligen 0VU. (2006) .	16
Figur 4: Bild på hur reaktionen av en analog VU-mätare (svarta linjen), jämfört med momentana reaktionstiden (det grå området), av ett trumslag. Nivåerna är i dB och tiden i sekunder. (2006) .....	16
Figur 5: En skärmbild av en True Peak- limiter. Tillverkare Nugen Audio. TP-mätaren utger antalet för TP med en minimal fördröjning, under 1 millisekund. TP-metaren refereras på den fulltaliga skalan. ....	17
Figur 6: Bild på en PPM-mätare för sändning av programljud. Reaktionstiden är 10 millisekunder. (2007).....	18
Figur 7: En skärmbild av K-filtreringskurvan. (K-filter) .....	21
Figur 8: En skärmbild av den ursprungliga algoritmstandard. (2009, s. 14).....	21
Figur 9: En skärmbild av ett algoritm- diagram för loudness- mätning. (2014, s. 5).....	22
Figur 10: En skärmbild av Izotope Ozone5 Advanced Meter Bridge i reaktion till 1kHz test ton. Det integrerade antalet är 23,1. ....	25
Figur 11: En skärmbild av Izotope Insight i reaktion till 1kHz test ton. Det integrerade antalet är 23,1. ....	26
<i>Figur 12: En skärmbild av Nugen Audio VisLM-H i reaktion till 1kHz test ton. VisLM-H utger -23,0 som det integrerade antalet. ....</i>	<i>26</i>
Figur 13: En skärmbild av Izotope Insight. Peaknivån av 1kHz med styrkan 18LU, reflekterar som -5.9 K/RMS på skalan K-12. ....	27

Figur 14: En skärmbild av Izotope Insigh i reaktion till 1kHz av styrkan 18LU. Reaktionen är automatiserad till ProTools timeline. ....	28
Figur 15: Bilden utger området för headroom i svart. Bilden är ritad med datorprogrammet Paint. ....	29
Figur 16: En skärmbild av Nugen VisLM2. Resultatet efter analys av den ursprungliga ljudfilen.....	32
Figur 17: Fotografi av Fairman. Används för komprimering av Frälsningens ursprungliga fil. Kompressorn är inställd under lyssning till Frälsningens original ljudfil. ....	33
Figur 18: En skärmbild av Nugen VisLM2. Resultatet efter analys av den komprimerade ljudet. ....	34
Figur 19: En skärmbild av Izotope RX4 före korrigerig. ....	35
Figur 20: En skärmbild av Izotope RX4, efter korrigeringen till EBU R 128. ....	36
Figur 21: En skärmbild av Izotope Insight. Resultatet efter korrigerig till R 128.....	37
Figur 22: En skärmbild av Nugen VisLM 2. Resultatet efter korrigerig till R 128.....	38



## FÖRORD

Allting blir mer och mer digitaliserat. Det påverkar vårt sinne för tolkning och uppskattning.

Sändning av program sker dagligen. Den snabba rytmen multiplicerar det som pågår och revolutionerar saker som man knappt hinner märka innan det är förbi. Digitalisering skapar ny riktning för produktion och nya redskap utvecklas.

Området för programljud är enormt. Åsikter varierar medan förändringar sker. Ljud blir stil och form som påverkar individer, grupper och de som aldrig noterar eller reagerar. Åsikter kommer alltid att variera mellan positiv och negativ reaktion

Ljudnivåjustering vid reklamslag eller kanaländring är irriterande för tittare, men särskilt besvärlig för personer med funktionshinder i syn eller hörsel. För att motarbeta stora volymväxlingar har en rekommendation skapats i Europa för utjämning av volym.

Bob Katz anser i boken *Mastering Audio the art and the science*, att man först bör lära sig ljudets naturliga dynamik innan man övergår till redskap för hantering.

## DECIBEL DEFINITION

Decibel (dB) står för ljudets decibelvolym. En decibel är en tiondel av en Bel, namngett efter Alexander Graham Bell. Decibel anges alltid genom referens till jämförelseförhållande. Referensen anger det matematiska uttalandet. (Katz, s. 167)

1. dBu (decibel unloaded)  
dBu definierar en nivå jämfört med en elektrisk spänning på 0,775 voltamper (Katz, s. 167).
2. dBm (decibel-milliwatts)  
dBm definierar en nivå jämfört med en strömreferens på en milliwatt (Katz, s. 167).
3. dBV syftar till spänningsvärden var 0 definieras som 1 volt (Suntola, s. 11).
4. dB SPL (decibel sound pressure level)  
dB SPL definierar ett mått av ljudtrycksnivån vilken refererar till fysisk intensitet. Exempelvis intensiteten av ljud vid tal ligger ofta vid 74dB SPL när man lyssnar från ett avstånd på ca 30 cm. (Katz, s. 167)
5. dBFS (decibel compared to (digital) full scale)  
dBFS definierar decibelskalan jämfört med hela skalan av PCM (digital audio), vilket är 0dBFS den högsta digitala nivån som kan uppnås (Katz, s. 167).
6. dBTP (decibel true peak)  
dBTP definieras som (decibel relative to digital full scale, measured as true-peak) (EBU, 2011).

## 1 DYNAMIK & RESOLUTION

### 1.1 Dynamik

Dynamiskt omfång för en inspelad signal är mellanrummet mellan den maximala signalen och brusnivån eller nivån utan signal.

Dynamik kan definieras som skalan mellan sakta och hårt. Hur människan tolkar ljudstyrkan är individuellt beroende på personens känslighet för ljud. Normalt hör

människan det naturligt akustiska ljudet på en skala från 0dB SPL till 120dB SPL. Vid 120dB går tröskelnivån för känsla av smärta.

Att tekniskt kunna spela upp den naturliga dynamiken vid 120dB nivå kräver specialteknik. 16-bit system klarar av 96dB, 20-bit klarar av 116dB och 24-bits system upp till 140dB. (Laaksonen, s. 332)

## 1.1 Resolutionsskalan för dynamik

Dynamiska resolutionsområdet Dynamic Range (DR), är för 16-bit mellan -91 och 0dBFS och för 24-bit mellan -139 och 0dBFS.

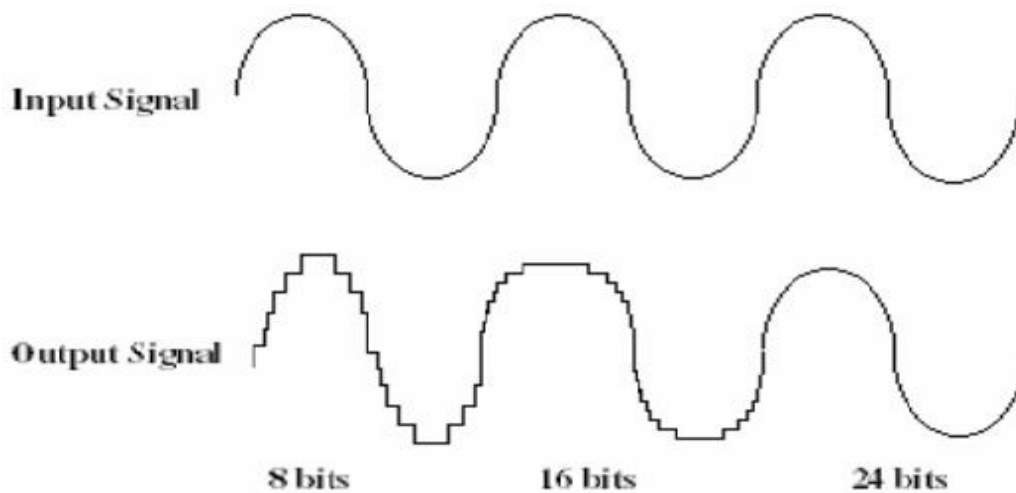
Om man bandar in ett ljud med 24-bits resolution måste man sänka det fulltaliga dB-antalet med 48dB för att inspelningen skall motsvara en effektiv 16-bits inspelning.

Katz rekommenderar optimal peak- nivå vid -3dBFS utan komprimering för att säkra ljudets ursprungliga dynamik utan distorsion vid en 24-bits inspelning. Gränsen för distorsion på den digitala skalan är 0dBFS. (Katz, ss. 64-65)

I boken *Mixing with your mind*, har Michael Stavrou definiera en skyskrapa som referensbild för skillnaden mellan den analoga och digitala resolutionen. Skillnad sker i mellan (mid), och höga frekvenser. (Stavrouv, ss. 129-131)

I ett digitalt system konverteras spänningen av amplituden genom analog till digital konvertering (A/D). Konverteringen utger ett decimaltal som består av ettor (1), och nollor (0). Resultatet är en fil kallad *sample*. För att kunna spela upp filen som ljud, sker en tillbakakonvertering D/A (digital to analog converter).

Bit-resolutionen anger hur noggrant signalen kan läsas vid uppspelning. (Echo, s. 31)



Figur 1: En skärmbild. Ju högre bit- resolution av signal desto jämnare blir representationen. (Echo, 2008, s. 32)

Ljudets dynamik bör hanteras beroende på plattform. När ljud mixas bör man ta i akt kontroll över dynamiken. Hur mycket dynamik som behövs för vilket ändamål. Genom att bestämma ett tröskelvärde på dB-skalan mellan den inkommande signalens högsta nivå och 0dBFS, anger hur mycket resolution som sparas för inkommande peak-signaler. Utrymmet räknas som headroom. (Stavrouv, ss. 133-135)

## 1.2 Headroom

I en ljudmix för film vill man spara mera dynamik än om man mixar ljud för broadcasting. I en actionfilm brukar punkteffekter som t.ex. explosioner bära den högsta decibelnivån. Inom ljudmix för film bygger man plats för punkteffekter. Därför lämnas mera headroom för att undvika dynamisk kompression när ljud mixas för biografuppspelning.

Katz har skapat en rekommendation på basen av erfarenhet inom psyko-akustik. Systemet är en mätningsskala för ljudstyrka. Skalan utger ljudstyrkan i ett K/RMS-värde. (Katz, ss. 189-191)

### **1.3 Dynamiska skalan**

Dynamiskskalan mellan ljudets lägsta och högsta punkt kallas Dynamic Range (DR). När man talar om dynamik och musik hör man ofta en variation, det vill säga att ett visst ljud kan uppfattas som hårt medan andra kan uppfattas som svaga. Till exempel den klassiska musikens dynamik kan variera på en skala på 20dB, när dynamik i rockmusik oftast varierar enbart på några dB. (Laaksonen, ss. 332-334)

### **1.4 Dynamisk processering**

Verktygen för dynamikhantering varierar. Dynamisk processering sker manuellt eller genom en dynamikprocessor. Materialet som hanteras bestämmer processens verktyg.

Microdynamisk komprimering brukar ske genom inställningar på en kompressor. (Katz, ss. 109-110)

Macrodynamisk processering sker ofta manuellt. Till exempel under sändningen av en klassisk konsert stöter man ofta på en bred dynamik. Eftersom stora variationer sker uppstår för låga ljudnivåer för sändning. Ljudteknikern bör efter behov justera det utgåendet ljudmaterialet genom en höjning vid låg volym för stabilisering. (Vatunen, 2015)

Om man väljer att arbeta manuellt, genom att höja eller att sänka på volymen (Gainride), bör man vara medveten om att processen är tidskrävande. Slutresultatet ger ofta högre kvalitet jämfört med användning av en dynamisk processor. (Laaksonen, ss. 334-335)

### **1.5 Gainride & Gain- automation**

Gainride är ordet för ändringar av dB-volyminställningar under pågående arbetsprocess. Om man klarar av att hålla optimal nivå under processen resulterar det till ett resultat av bredare dynamik, vilket har betydelse inom vidare editering. Gain- automation av ljud sker under postproduktionen. Där märks skillnaden mellan pre- och postautomatisering. Om ett ljudspår inspelas digitalt med resolutionen 16-bit och peakar vid -40dB, är risken att viss information blir utanför resolutionsområdet. Det innebär att fastän dB-

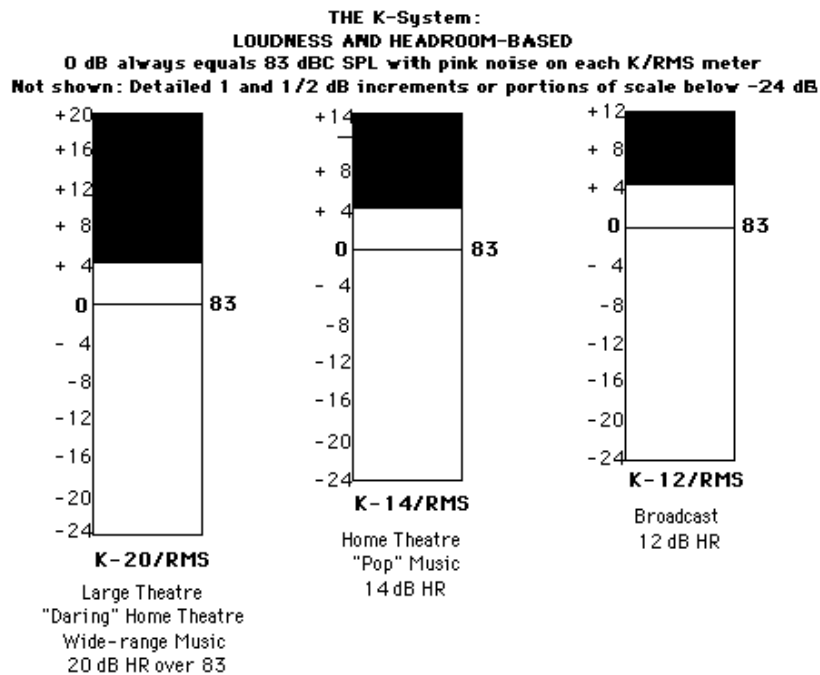
nivån går att höja i postproduktionen går det aldrig att höja någonting som inte existerar. (Katz, s. 64)

## **1.6 K-systemet**

K-systemet är en äldre rekommendation för hantering av ljudstyrka, och rekommenderar en skala för att kunna mixa mer dynamiskt beroende på plattform. K-systemets mätare utger ett peak och RMS (Root Mean Square) värde. (Katz, ss. 189-190)

### **1.1.1 Experiment 7 -K/RMS**

Eftersom uppspelning av ljudmaterial via mobilapparater sker dagligen, är beräkning av ljudstyrka för dem en sak som bör undersökas. Hur låg dynamik behöver en dator som folk håller i handen? Borde dynamiken ändras eller skulle det räcka med tv-dynamik när lyssnandet sker från apparatens ljudkälla? T.ex. om man spelar upp en 1kHz sinusvåg med dB-nivån -23 skulle det resultera i en höjning med flera dB om man vill uppnå SMPTE (Society of Motion Pictures and Television Engineers), rekommendationen som Sony Computer Entertainment (SCE), utger för ett handhållet- videospel. De skulle uppstå som hälften mindre headroom om man följer rekommendationen.



Figur 2: Bild på mätar- värden för rekommendation K-systemet. Mätning av ljudstyrka relateras genom analoga uträkningar. (Katz, 2006)

## 2 LOUDNESS

Loudness är beräkningen om uppfattad ljudstyrka och avser tolkning av volymkillnader. Den psykiska uppfattningen av ljud skiljer sig från den fysiska tolkningen. Det går att följa örats fysiska principer och genom det formulera uppbyggnad och funktion som motsvarar ett mätningssystem men det är omöjligt att bygga upp ett mätningssystem baserat på en människas känsla och sinnen, ifall man försöker spåra psyko-akustiska tolkningar. Varje människa är en individ med egna åsikter. Det är en av orsakerna till att ett ljudmätningssystem som skulle vara lika fint och tekniskt uppbyggt som människans öra, aldrig kommer att existera. (Camerer, 2011) hittad vid 4-5 min

### 2.1 VU-mätare långsammare än människan

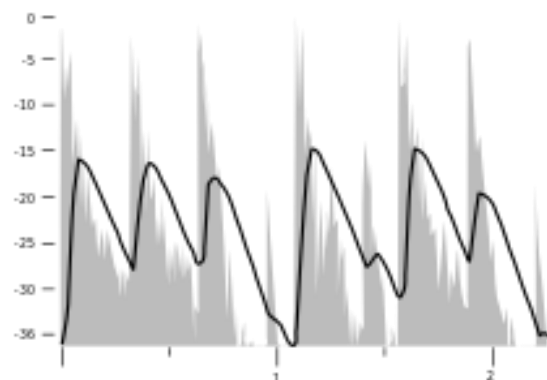
Reaktionstiden på en analog (Audio Volyme Units-mätare, VU-mätare), är ungefär 300 millisekunder. Om ett ljud med samma volym spelas upp för en person med två olika

tidsskillnader, exempelvis 10 ms och en sekund upplever personen en volym skillnad. Personen tror att ljudet som varar längre i tid har högre dB-volym. Reaktions tiden är ca 100 ms innan människan fullständigt hinner reagera för ljud.

En VU-mätare ligger närmast om man tekniskt försöker jämföra en mätare med örat. (Harzell, 2015)



Figur 3: Bild på en analog VU-mätare med peak- led. Den typiska skalan för en VU-mätare ligger på skalan mellan -18 och 0. -18dBFS motsvarar vanligen 0VU. (2006)



Figur 4: Bild på hur reaktionen av en analog VU-mätare (svarta linjen), jämfört med momentana reaktionstiden (det gråa området), av ett trumslag. Nivåerna är i dB och tiden i sekunder. (2006)

VU skalan är analog och baseras på 0VU (+4dBu) som är 1,228 V (Nominell nivå) (Katz, s. 74).



## 2.2 Teknik och hantering av programljud utvecklas

Digitalisering har lett till att tekniska redskap idag har en väldigt snabb reaktionsförmåga. En True Peak- mätare räknar ut exakta peak- nivåer snabbt och orsakar mindre problem i sändning av programljud.



Figur 5: En skärmbild av en True Peak- limiter. Tillverkare Nugen Audio. TP-mätaren utger antalet för TP med en minimal fördröjning, under 1 millisekund. TP-metaren refereras på den fulltaliga skalan.

En äldre PPM-mätare (Peak Programme Meter), med 10 ms responstid, användes tidigare för kontroll av programljudsändning. Den långa responstiden kan orsaka problem som sprakande ljud under sändning.



Figur 6: Bild på en PPM-mätare för sändning av programljud. Reaktions tiden är 10 millisekunder. (2007)

## 2.3 Höga peak- nivåer orsakar problematik

European Broadcasting Union (EBU), definierar i rekommendationen Tech 3343, värdet för TP. Peak- nivåerna konstruerades för att störningar uppstod i mätarprocessen när signalinformation passerar 0dBFS. Hur information kunde passera 0dBFS utan att åstadkomma mätarreaktion berodde på matematiska problem i signal- konverteringen.

Problemet uppstår mellan mätarstegen innan konverteringen A/D. En 10 ms fördröjning orsakar brister i registreringssystemet och höga signaltoppar hinner passera utan att en registrering sker. Det leder till störning under konvertering D/A.

Definitionen TP är programmerad genom matematiskt uträkning. Mätaren räknar ut tidsmellanrum som delas in i tre kategorier, för att förhindra överbelastning mellan

mätarstegen. Genom det hindras att så kallade oregistrerade *ghost-peakar* inte uppstår. (Harzell, 2015)

Den maximala peak- nivån för programljud är -1dBTP (EBU, ss. 18-19).

## 2.4 Loudness mätning

*Loudness Normalization and Permitted Maximum Level of Audio Signals*, är begrepp som används om ljudstyrka, ljudstyrkans enhet LU, och ljudstyrkans enhet i förhållande till det fullskaliga antalet LUFs.

### 2.4.1 Broadcasting idag består av mer dynamiskt ljud

Digitalisering och forskning inom loudness utesluter PPM-mätargenerationen. Generationen var känd som tävlingen *LOUDNESS WAR*, för den maximala ljudvolymen för sändning av programljud. Istället för användning av PPM-mätare har man övergått till loudness- mätare som utesluter möjligheter att komprimera bort dynamik och genom det uppnå den maximala peak- nivån så nära som möjligt. (EBU, 2010, ss. 2-6)

I den tekniska uppvisningen säger Camrer på sidan 7 följande:”improving the audio metering by replacing the PPM with the loudness meter is a step closer to the best measurement tool – the human ear” (EBU, 2010).

### 2.4.2 Tekniska aspekter

För att förstå den tekniska sidan hur mätning av loudness fungerar inom broadcasting bör man vara medveten om vissa aspekter.

1. Loudness Unit (LU)

LU-talet används för att relativt uttrycka ljudstyrka. Om man höjer den elektriska nivån på LU-skalan med 1LU, motsvarar det en höjning av 1dB. LU-skalans högsta nivå är +23 vilket motsvarar 0dBFS. (Camerer, 2011) hittad vid 23.48–24.13 min

2. Loudness Unit referenced to Full Scale (LUFS)

LUFS-talet refererar till ljudstyrkans volym på den absoluta mätningsskalan. (Camerer, 2011) hittad vid 24.24–24.43 min

3. Target level

Värdet som EBU rekommendera för TV-broadcasting är -23 LUFS, med en generell tolerans för avvikelse på +/- 0,5 LU. (EBU, s. 3)

4. Loudness Range (LRA)

LRA, mäter programljudets växlande variation mellan den lägsta och den högsta punkten. Resultatet är ett värde i LU. (EBU, ss. 5-7)

EBU rekommenderar inte LRA-värde pga olika variationer beroende av program.

5. Integrated Loudness (I)

Den integrerade ljudstyrkan mäts genom att en mätare analyserar hela programljudet och räknar ut ett medeltal vilket anges som antal LUFS. (Harzell, 2016)

6. Momentary Loudness (M)

Från ljudet mäts ljudstyrkan under 400 ms. (Harzell, 2016)

7. Short Term Loudness (S)

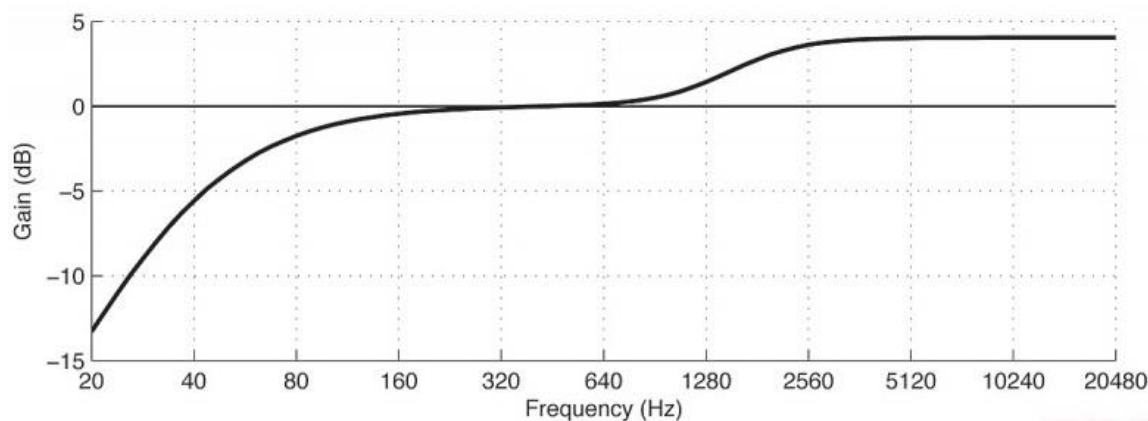
Enheten mäter ljudstyrkan under de 3 senaste sekunderna. Mätaren utger resultatet grafiskt. (Harzell, 2016)

Den maximala nivån för den kortvariga ljudstyrkan är -18LUFS (EBU, 2016, s. 4).

## 2.5 Algoritm för mätning av loudness

Projektet *Loudness Normalisation* startade år 2004 då konstruerades en algoritm för hantering av ljudstyrka.

Den ursprungliga algoritmstandarden som ITU (International Telecommunication Union), har utvecklat är ett uträkningssystem baserat på K-frekvensvägning för mätning av loudness. K-vägning har ingenting att göra med K-systemet, som baseras på C-frekvensvägning. (Camerer, 2011) hittad vid 18.45–21.25 min



Figur 7: En skärmbild av K-filtreringskurvan. (K-filter)

Att själv bygga upp ett mätningssystem som motsvarar ITU 1770, är krångligare. Det räcker inte att ställa in rätta värden enligt K-filtreringskurvan. Att konstruera ett system för mätning av ljudstyrka kräver kodningsteknik.

Uträkningen för ljudstyrka i enheten LKFS (Loudness K-Weighted Full Scale), sker genom att signalen delas upp i 400 ms-tidsblock. Tidsblocken är procentuellt bundna till varandra. LKFS-värdet motsvarar exakt samma som LUFS-värdet. (Hahkio, 2015)



Figur 8: En skärmbild av den ursprungliga algoritmstandarden. (2009, s. 14)

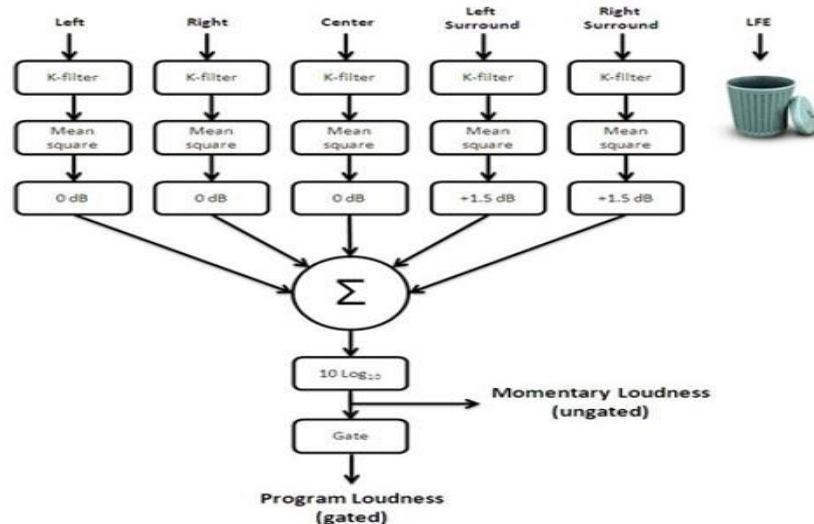
## 2.6 EBU utvecklar ITU-standarden

Problemen med ITU 1770 var att systemet enbart är ett mätningssystem. Den ursprungliga standarden innehöll ingen egentlig rekommendation för ljudstyrka. Därför valde EBU att grunda en grupp under namnet PLOUD, för vidareutveckling av ITU 1770. PLOUD konfigurerade ITU standarden med ett så kallat *Gateing System* för kontroll av mätningvärdena och genom det få ett fungerande system för mätning av ljudstyrka.

Avsikten var att bygga upp en loudness- standard som är likadan för alla inom broadcasting och rekommendationen R 128 skapades. (Harzell, 2015)

## 2.7 EBU R 128

R 128 är en flerkanals algoritmstandard (Left, Centre, Right, Left Surround and Right Surround), LFE är utesluten. Standarden är uppbyggd genom fyra processkeden. Den första processen är K-vägning. Sedan uträknas ett kvadratvärde av K-filtreringens matematiska antal vilka summeras. Det uträknade antalet körs igenom en gate på två steg, gate-70 och gate-10 (gate -70 är absolut och gate -10 relativ). Resultatet blir ett



antal som anges i LUFs. (Hahkio, 2015)

EBUs standard tar ingen ställning för dynamiken. I algoritmstandarderna utgår man ifrån att ljudet redan har färdig dynamisk-kontroll. Kontroll av dynamiken är alltid på ljudteknikerns ansvar. Mätningen sker genom att mäta ljudinformationen av hela programmet från början till slut. Genom det uppstår ett medeltal vilket anges som LUFS-enheter.

I verkligheten sker processen omkring  $+ / -$  runt det uträknade LUFS-antalet. (Harzell, 2015)

Man kan inte justera standarden genom konfigurering av de olika mätarvärdena utom då det gäller värdena Peak Target och Loudness Target. Inställningsvärdena finns färdiga som metadata i mätarens preset- mapp. Om man skulle kunna manuellt konfigurera mätarvärdena skulle standarden inte längre vara R 128. (Harzell, 2015)

Det finns en mätare av namnet BS1770GAIN. Mätarens inställningar går att konfigurera. Mätaren är meningen för testbruk. (Belkner, 2016)

## **2.8 Varför -23LUFS**

När R 128 var färdig började PLOUD undersöka olika programtypers LUFS-värden. Undersökningen konstaterade till att ljudstyrkan var väldigt nära varandra oberoende av programtyp. Resultaten varierar i stort sett från -20 till -21LUFS. På basen av resultaten bestämdes att definiera ett antal för överbelastning av några LU. Därför är loudness-standarderna kalibrerad till -23LUFS. (Hahkio, 2015)

## **2.9 Mediesändning i Europa får gemensam standard**

R 128 har blivit en central regel för kontroll av loudness inom Europas mediesändningar. I vissa länder är den även lagstadgad, t.ex. inom alla tv-sändningar i Italien. (Harzell, 2015)

I Finland har YLE, MTV3, Nelonen, FOX och SDS en gemensam överenskommelse om standardens funktion. Den är i bruk men inte en påbunden i lag. (Harzell, 2015)

## **2.10 Loudness i Finland**

Inom YLE används en algoritmstandard. Enligt Mikael Harzell behöver man enbart en mätare inom direktsändningar för att säkra det utgående LUFS-antalet. De mätare som YLE använder är valda genom kvalificering av flera olika tillverkare. Beroende av kategorin väljs mätaren för ändamålet. Är den 2 spårig (stereo), är den 6 spårig (surround), eller kan man konfigurera mätaren. (Harzell, 2015)

## **2.11 Mätarstandarder och postproduktion**

Inom postproduktion väljer ljudteknikern hur dynamiken byggs upp, också ifall en loudness- mätare används under processen eller enbart för kontroll av det färdiggjorda arbetet. Med verktygen lyfter man eller sänker man på ljudets helhet så att de integrerade LUFS-antalet stannar på -23. Korrigeringen sker automatiskt eller manuellt. (Harzell, 2015)

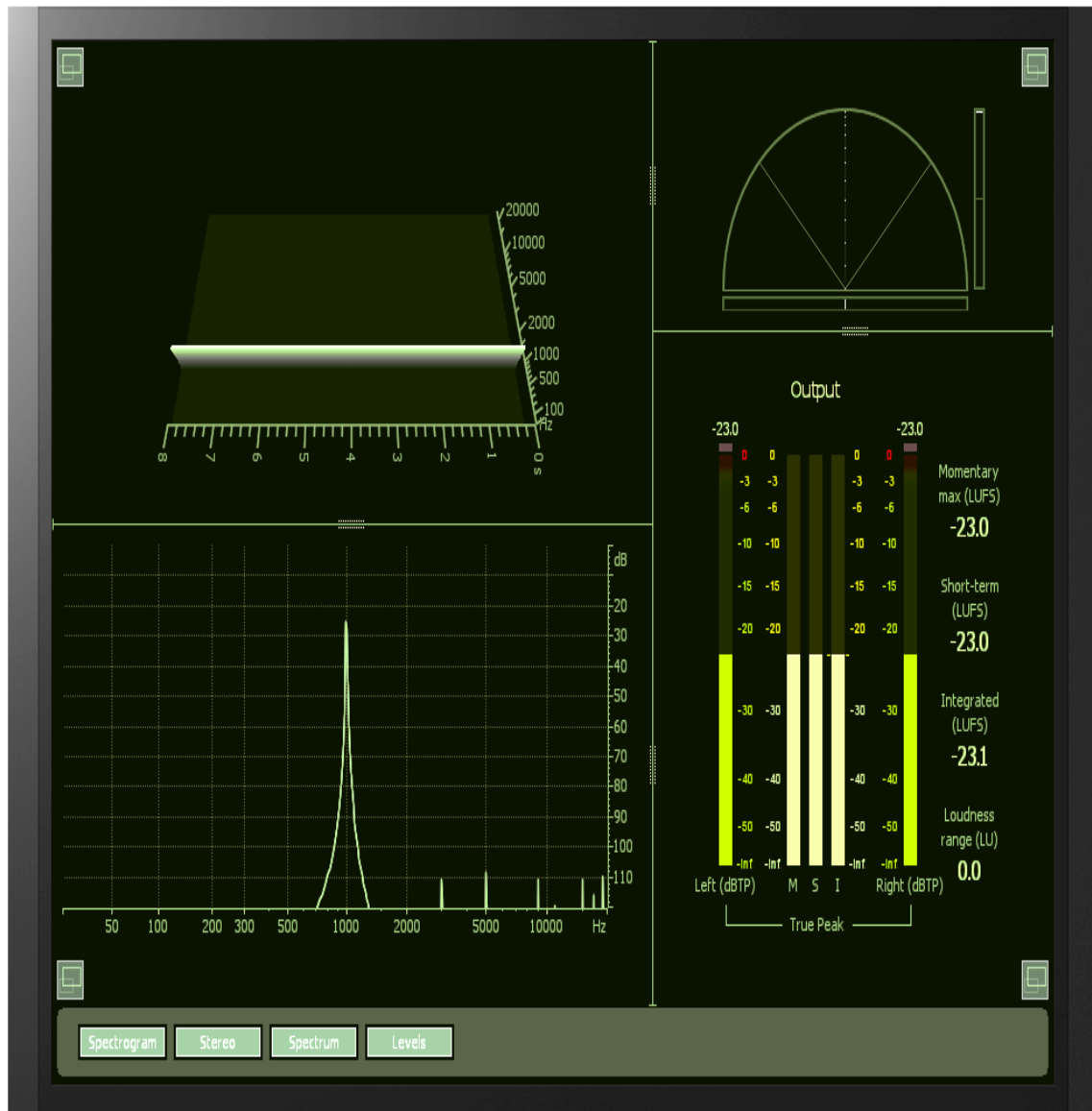
Enligt Harzell är örat den bästa loudness- mätaren. Den tekniska mätaren används som redskap för att undvika för stora LU-variationer mellan sändning av program. R 128 försöker reproducera hur örat reagerar till loudness. Eftersom personer upplever loudness på olika sätt är det omöjligt att konstruera en mätare som skall motsvara precis hur örat uppfattar den fysiska reaktionerna. Mätare är konstruerade efter ett medeltal från forskning inom människans reaktion på ljudstyrka. (Harzell, 2015)

# **3 MÄTAR TEST OCH EXPERIMENT**

## **3.1 Mätartest genom statisk sinusvåg**

Eftersom det finns olika tillverkare av loudness- mätare gör jag ett test för att säkra stabiliteten. Testet görs genom att spela upp en statisk- sinusvåg. 1kHz test- ton har värdet av -23dBFS som motsvarar -23LUFS. Testet resulterar som noggrannhet, hur noggrant mätarvärdena stämmer med rekommendationen R 128.

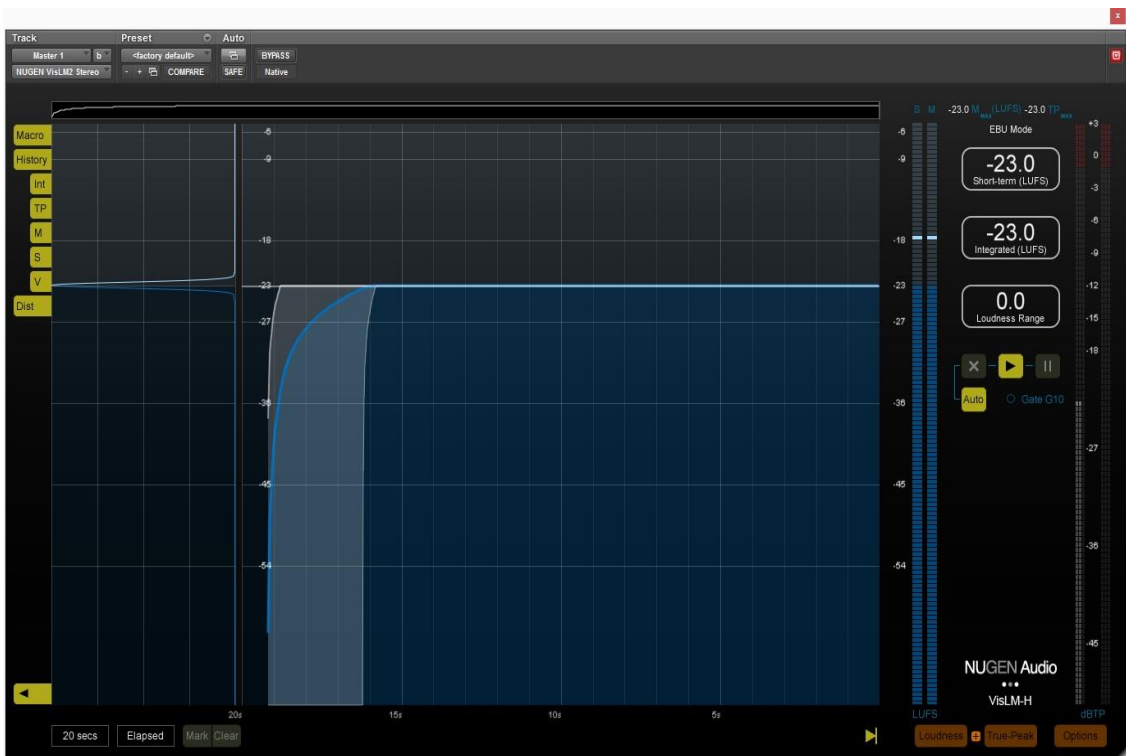




Figur 10: En skärmbild av Izoote Ozone5 Advanced Meter Bridge i reaktion till 1kHz test ton. Det integrerade antalet är 23,1.



Figur 11: En skärmbild av Izotope Insight i reaktion till 1kHz test ton. Det integrerade antalet är 23,1.



Figur 12: En skärmbild av Nugen Audio VisLM-H i reaktion till 1kHz test ton. VisLM-H utger -23,0 som det integrerade antalet.

## 3.2 Varför är det integrerade LUFs-antalet -23.1 istället för -23.0

Decimalskillnaden i testresultaten beror på att R 128 utger en avvikelse för på +/- 0.5LU inom sändning av programljöd (EBU, 2016, s. 3). Inom direktsändning är antalet +/- 1LU (EBU tech Q3 s.4).

EBU definierar avvikelsen för att program inte skal diskvalificeras pga. Mätartillverkare (Harzell, 2015).

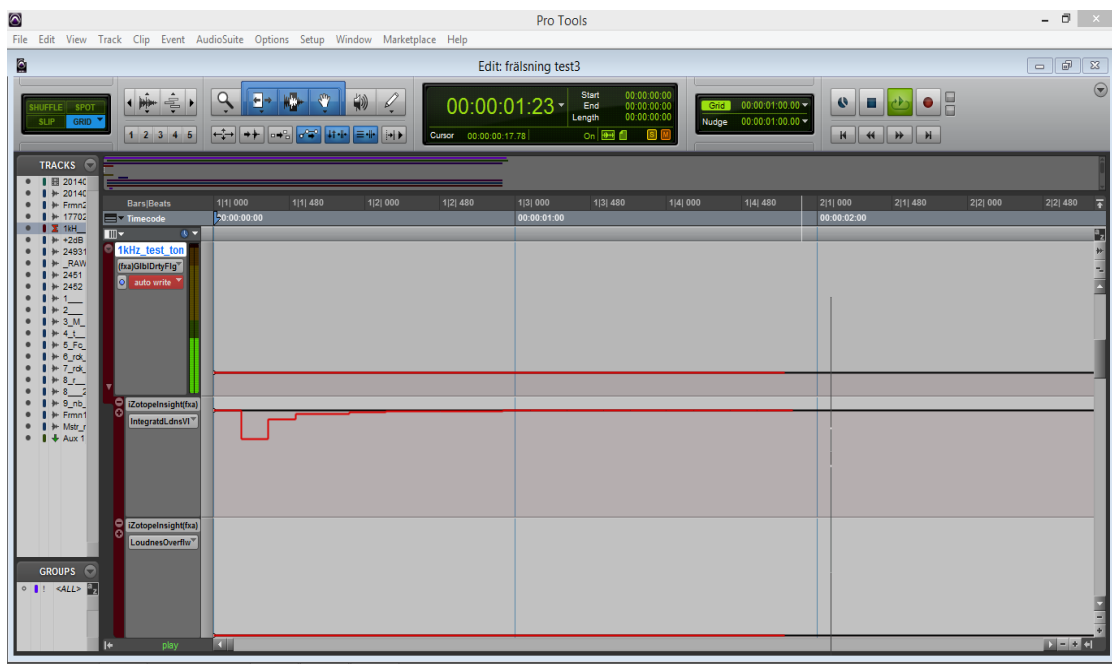
## 3.3 Experiment 7 –K/RMS

### 3.3.1 Headroom för handhållet- videospel

En statisk 1kHz sinusvåg är -23dBFS vilket motsvarar -23LU. För uträkning av K/RMS-värde har jag lyft på styrkan tills peak- nivån uppnår -18LUFs som enligt SCE, är rekommendationen för ett handhållet- videospel.



Figur 13: En skärmbild av Izotope Insight. Peaknivån av 1kHz med styrkan 18LU, reflekterar som -5.9 K/RMS på skalan K-12.



Figur 14: En skärmbild av Izotope Insigh i reaktion till 1kHz av styrkan 18LU. Reaktionen är automatiserad till ProTools timeline.

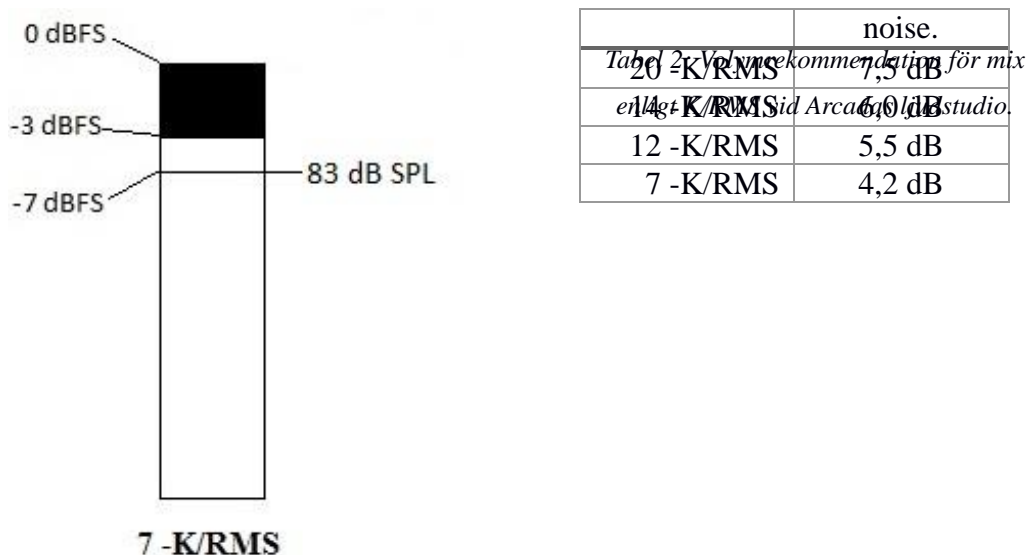
Tabell 1: Resultat i K/RMS

	1 kHz sinusvåg av styrkan -23 LUFS	1 kHz sinusvåg av styrkan -18 LUFS
20 -K/RMS	-3	+2
14 -K/RMS	-9	-4
12 -K/RMS	-11	-6
7 -K/RMS	-16	-11

### 3.4 Kalibrering för lyssning 7 -K/RMS

Efter experimentet kan konstateras att headroom för 7 -K/RMS är 3dBFS. Eftersom det är enbart ett mätarvärde som stöder en lyssningsrekommendation kalibreras lyssningen. Kalibreringen sker genom långsam C-frekvensvägning med pink- noise 83 dB SPL. Själva mätningen sker med en SPL-mätare som har långsam C-vägning. Man höjer eller sänker på det utgående ljudet tills SPL-nivån stannar på 83dB. Då är lyssningen vid Arcadas studio kalibrerad enligt K/RMS, med referens till mixerbordets volym knapp.

83 dB(C) SPL med pink
--------------------------



Figur 15: Bilden utger området för headroom i svart. Bilden är ritad med datorprogrammet Paint.

### 3.5 Teknisk högtalarkalibrering för jämn akustikmiljö

Alla har inte tillgång till studioutrymmen vilka kan byggas akustiskt rätt för lyssning. Högtalare går att kalibrera så att den bästa möjliga lyssningen uppnås i utrymmet.

Kalibreringen sker genom att placera en mätmikrofon vid lyssningens optimala punkt och spela upp en responssignal. Vid behov justeras en ekvalisator för höjning eller sänkning av frekvenser. Justeringen sker manuellt eller automatiskt.

*Man bör komma ihåg att under uppspelning av testsignalen stiger volymen radikalt, så användning av öronskydd eller att avlägsna personer från utrymmet rekommenderas. (JBL, 2008)*

### 3.6 Kalibrering av rullbandspelare

#### 3.6.1 Storlek på rullband

Bredden på magnetband för rullbandspelare indelas alltid i tum. Olika storlekar på rullband är kvart tum (1/4"), halvtum (1/2"), en tum (1") och två tum (2"). Tjockare

band har bättre resolution (Signal to Noise Ratio), och anger hur många ljudkanaler det går att spela in på bandet. (Kalibrering av rullband, 2016)

### **3.6.2 Snabbhet avgör kvalitet**

Roterings snabbhet på rullbandspelaren indelas i tum per sekund (IPS). De som vanligen används är  $3\frac{3}{4}$ ,  $7\frac{1}{2}$  och 15ips. Hur snabbt bandspelaren rotera vid inspelning och uppspelning anger kvaliteten av det inspelade ljudmaterialet. Professionella ljudstudion använder den snabbaste möjliga hastigheten som är 30ips, för att uppnå bästa möjliga kvalitet.

Magnetband med uppspelnings hastighet under  $3\frac{3}{4}$ ips, används antingen i en C-kassett eller i en mikrokassett. Användning av kassetter är sällsynt på grund av digitalisering av ljudteknik. (Kalibrering av rullband, 2016)

### **3.6.3 Av magnetisering**

Magnetismen från magnetband bildar störning. Därför bör bandspelarens tonhuvud avmagnetiseras med jämna mellanrum för att undvika störning i ljudmaterialet.

Magnetismstörningen påverkar mest höga ljudfrekvenser. (Suntola, s. 31)

### **3.6.4 Kalibrering**

Före användning av en bandspelare bör bandspelarens inspelning och uppspelningshuvud (play och record), kontrolleras. Kontrollen görs för att undvika kompensering efteråt. Vanliga problem är ojämnt ljudmaterial. Det betyder att panoreringen lutar till höger eller vänster.

Kontrollen sker genom uppspelning av frekvenstoner antingen från ett kalibreringsband eller från en oscillator beroende på vilket tonhuvud i bandspelaren man kalibrerar. Vid uppspelning av frekvenstoner kontrollerar man att bandspelarens panorering är rak. Det sker med hjälp av en mätare. Ifall det uppstår ojämnhet i panoreringen bör bandspelarens bandhuvud justeras genom low, mid, high, så att kurvan blir så rak som möjligt. De viktigaste frekvenserna som bör kalibreras är 100Hz, 1kHz och 10kHz. (Kalibrering av rullband, 2016)

## AVTONING OCH REFLEKTION

### 3.7 Uträckning av K/RMS värde för handhållet videospel

Hur en mix bör riktas beroende på plattform är svårt att bedöma eftersom hörlurssystem och andra uppspelningsmetoder går att koppla till enheter som t.ex. smart telefoner.

7 -K/RMS fungerar som lyssning, men skulle reflektera ojämnt i lyssning från mobilapparater ifall man komprimerar bort dynamik och lyfter nivåerna så nära det rekommenderade antalet som möjligt. Ojämnheten beror pga. bred användning av mobil apparater.

Själv skulle jag rekommendera att när dessa apparater tillverkas skulle tillverkaren färdigt bygga in inställningar som metadata för avgränsning av dynamik riktad till den högtalare som apparaten har. Användaren kunde då själv bestämma uppspelningsenheten, dvs. användning av apparatens högtalare eller användning av andra enheter.

### 3.8 Live mix och loudness- normalisering

YLE komprimerar direkt sändningar för att det utgående ljudet inte skall överskrida rekommendationsnivån. De högsta nivåerna inom YLE:s direktsändningar varierar mellan +14 till +17LU. Under sändning av program med hög dynamik omväxling t.ex. klassisk musik, bör ljudteknikern justera volymen efter behov. Dynamiken blir en aning smalare och en jämnare nivå för sändning uppnås.

Inom sändning av eurovisionsslagertävlingen komprimeras voice over kanalen skilt som sedan summeras med det övriga programljudet. (Vatunen, 2015)

### 3.9 Frälsningen och loudness normalisering

Resultaten från mätartesten tyder på att Nugen VisLM-H, är en stabil loudness- mätare. Mätaren uttrycker inte ett K/RMS-värdet. Efter undersökning kan konstateras att K/RMS är en lyssningsrekommendation mera än ett mätningssystem. K-systemet kalibreras enligt standarden SMPTE RP 200. Samma standard används när biograflyssning

kalibreras (SMPTE, 2013). Det betyder att 20 -K/RMS är den optimala rekommendationen. (Katz, ss. 189-195)

### 3.9.1 Frälsningens masterfil för kontroll

Efter exporten av Frälsningens ljud- fil, kontrolleras loudness- värden med VisLM2.



Figur 16: En skärmbild av Nugen VisLM2. Resultatet efter analys av den ursprungliga ljudfilen.

Tabel 3: Loudness- resultat av ljudfilen. Signalen uppnår 0,5dBTP vid tidkoderna.

			TP över	TP över	TP över
LUFS	-23				
LRA	26,4				
TP	<b>-0,5</b>		<b>5.58 min.</b>	<b>18.27 min.</b>	<b>18.53 min.</b>
M	-9,9				
S	-14				



### 3.9.2 Komprimering

Eftersom den ursprungliga mixen av ljudet till filmen översteg  $-1\text{dBTP}$ , skulle materialet bli diskvalificerat för sändning. En korrigerings mix måste göras. För korrigerings mix väljs att lätt komprimera dynamiken. För komprimeringen används en analog kompressor.



Figur 17: Fotograf av Fairman. Används för komprimering av Frälsningens ursprungliga fil.  
Kompressorn är inställd under lyssning till Frälsningens original ljudfil.

Tabel 4: Inställningsvärdena i kompressorn.

Gain make up: 8	Threshold: 4	Attack: Medium	Release: Fast
-----------------	--------------	----------------	---------------

### 3.9.3 Det komprimerade ljudet kontrolleras på nytt



Figur 18: En skärmbild av Nugen VisLM2. Resultatet efter analys av den komprimerade ljudet.

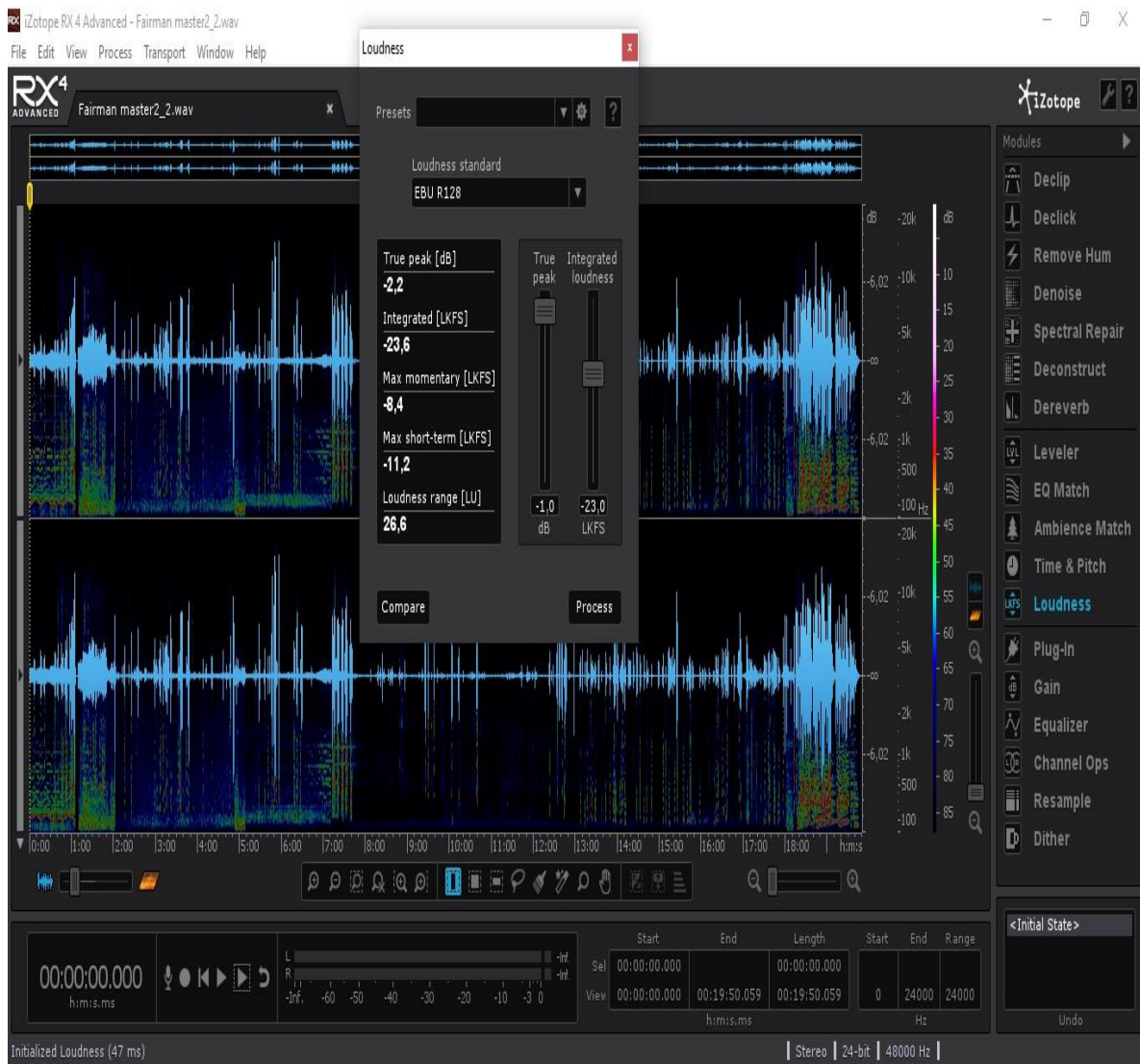
Tabel 5: Loudness- världen av den komprimerade ljudet.

<b>LUFS</b>	-23,7
<b>LRA</b>	26,0
<b>TP</b>	-2,3
<b>M</b>	-8,7
<b>S</b>	-12,2

Inga loudness- värden överskrider rekommendationsnivåerna i R 128.

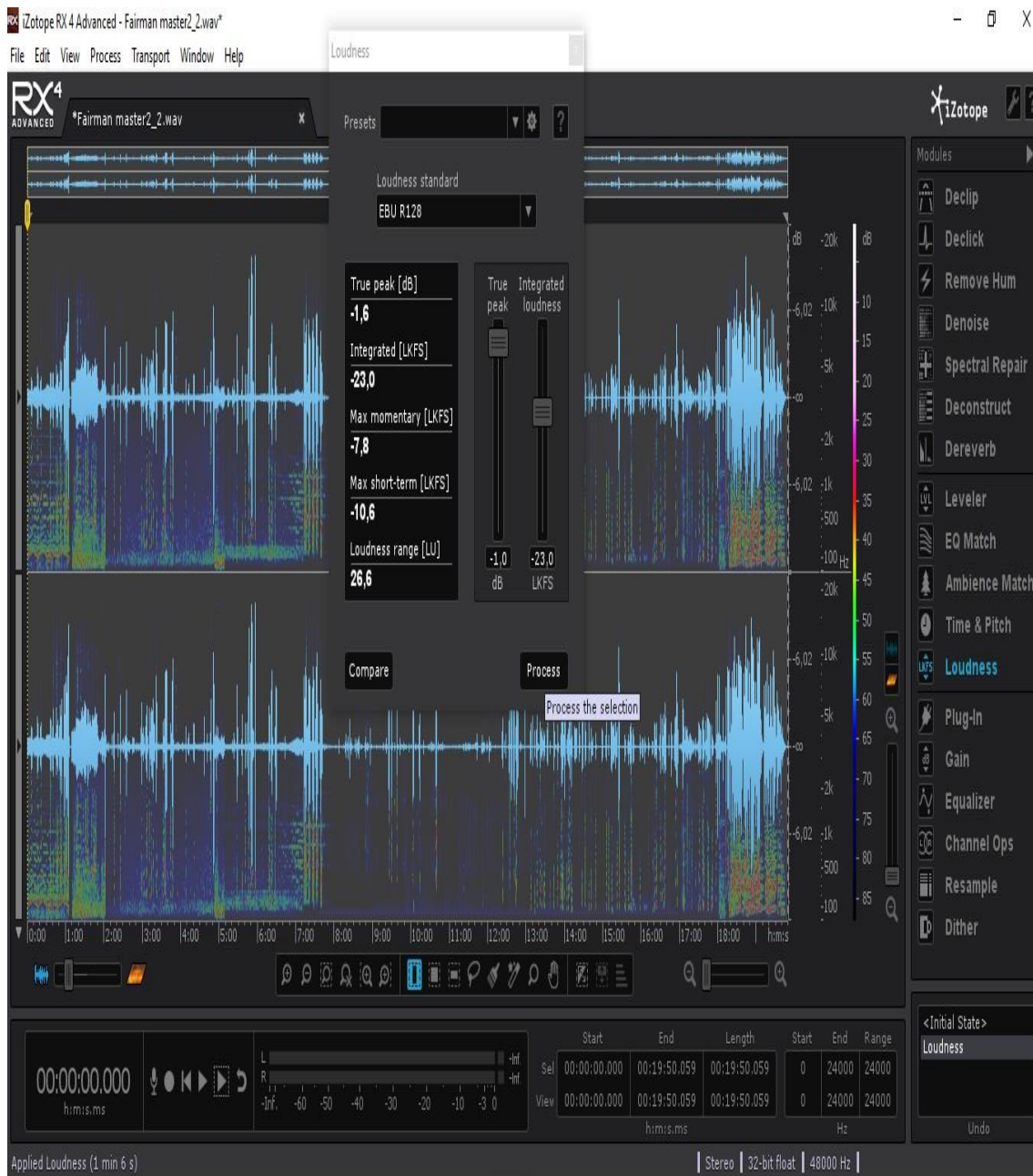
### 3.9.4 Korrigering av Frälsningens ljudfil till R 128

För korrigering används Izotope RX4. RX4 utger det integrerade loudness- värdet som enheten LKFS.



Figur 19: En skärmbild av Izotope RX4 före korrigering.

Decimalskillnader uppstår. Tillverkare har tydligt skillnader när det gäller mätning av loudness.



Figur 20: En skärmbild av Izotope RX4, efter korrigeringen till EBU R 128.

### 3.9.5 Kontroll av loudness- värden enligt R 128

För att säkra att ljudfilen kan godkännas enligt kriterierna i R 128 kontrolleras ljudet med Izotope Insight och Nugen VisLM2.



Figur 21: En skärmbild av Izotope Insight. Resultatet efter korrigering till R 128.

Tabel 6: Kontrollresultat av de normaliserade loudness- världena för sändning.

<b>LUFS</b>	-23,0
<b>LRA</b>	26,6
<b>TP</b>	-1,6
<b>M</b>	-7,8
<b>S</b>	-10,6



Figur 22: En skärmbild av Nugen VisLM 2. Resultatet efter korrigering till R 128.

Tabel 7: Kontrollresultat av de normaliserade loudness- värdena för sändning.

<b>LUFS</b>	-23,1
<b>LRA</b>	26,0
<b>TP</b>	-1,7
<b>M</b>	-8,1
<b>S</b>	-11,6

## 4 REFERENCES

- Advanced Television Systems Committee, I. (2009, 11 4). Retrieved from [http://www.merging.com/uploads/assets/Merging\\_pdfs/FinalCheck/ATSC%20A85%20-%20Loudness%20Recommended%20Practice.pdf](http://www.merging.com/uploads/assets/Merging_pdfs/FinalCheck/ATSC%20A85%20-%20Loudness%20Recommended%20Practice.pdf)
- Belkner, P. (2016). *bs1770gain.sourceforge.net*. Retrieved 6 1, 2016, from <http://home.snafu.de/pbelkner/>: <http://bs1770gain.sourceforge.net/>
- Camerer, F. (2011). EBU R128 Introduction. Hämtat från <https://www.youtube.com/watch?v=iuEtQqC-Sqo> den 5 5 2015
- Camerer, F. (2011). Senior Sound Engineer, ORF & PLOUD. *THE LOUDNESS SUMMIT*. Retrieved 5 5, 2015, from <https://www.youtube.com/watch?v=ydugmEnZISs>
- EBU. (2010). *On the way to loudness nirvana, audio levelling with EBU R 128*. Genève: Camerer, Florian. Hämtat från [https://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev\\_2010-Q3\\_loudness\\_Camerer.pdf](https://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev_2010-Q3_loudness_Camerer.pdf) den 10 5 2015
- EBU. (2011). *GUIDELINES FOR PRODUCTION OF PROGRAMMES IN ACCORDANCE WITH EBU R 128*. Genève: EBU. Retrieved 2 1, 2016, from <https://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3343.pdf>
- EBU. (2011). *Practical guidelines for Production and Implementation in accordance with EBU R 128*. EBU. Retrieved 5 5, 2015
- EBU. (2014). *R 128*. Genève: EBU.
- EBU. (2016). *R 128 s1 LOUDNESS PARAMETERS FOR SHORT-FORM CONTENT*. Genève: EBU. Retrieved 2 1, 2016, from <https://tech.ebu.ch/docs/r/r128s1.pdf>
- EBU. (2016). *TECH 3342, LOUDNESS RANGE: A MEASURE TO SUPPLEMENT EBU R 128 LOUDNESS NORMALIZATION*. Genève: EBU. Retrieved 2 1, 2016, from <https://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3342.pdf>

- EBU. (2016). *TECH 3343, GUIDELINES FOR PRODUCTION OF PROGRAMMES IN ACCORDANCE WITH EBU R 128*. Genève: EBU. Retrieved 21, 2016, from <https://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3343.pdf>
- EBUTECHNICAL. (2011). Loudness - Why, What & How? YouTube. Retrieved 5 10, 2015, from <https://www.youtube.com/watch?v=KDsZb8fpOKQ>
- Echo. (2008). *INDIGO IOX, Owner's Manual Version 1.0 for Windows XP and Vista*. Carpinteria, CA: Echo Digital Audio Corporation. Retrieved from [http://files.echoaudio.com/manuals/indigo\\_expresscard\\_windows\\_manual\\_1.0.pdf](http://files.echoaudio.com/manuals/indigo_expresscard_windows_manual_1.0.pdf)
- Echo. (2008). *Owner's Manual Version 1.0 for Windows XP and Vista*. Retrieved from [http://files.echoaudio.com/manuals/indigo\\_expresscard\\_windows\\_manual\\_1.0.pdf](http://files.echoaudio.com/manuals/indigo_expresscard_windows_manual_1.0.pdf)
- Fleischhacker, S. (2014, 3). Retrieved from <http://www.sencore.com/sites/default/files/Audio%20Loudness%20Analysis.pdf>
- Hahkio, M. (2015, 5 29). Telefon intervju. (M. Lemström, Interviewer)
- Harzell, M. (2015, 5 13). Intervju per telefon. (M. Lemstöm, Interviewer)
- Harzell, M. (den 5 30 2016). Hämtat från Äänekkyden hallinta: [http://freeics.sourceforge.net/Introduction\\_To\\_Loudness\\_Correction/html/Aaenekkyden%20Hallinta.html](http://freeics.sourceforge.net/Introduction_To_Loudness_Correction/html/Aaenekkyden%20Hallinta.html)
- Iainf. (2006, 8 12). Retrieved from [https://en.wikipedia.org/wiki/VU\\_meter#/media/File:VU\\_Meter.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/VU_meter#/media/File:VU_Meter.jpg)
- Iainf. (2006, 7 9). Retrieved from [https://en.wikipedia.org/wiki/VU\\_meter#/media/File:VU-meter-reponse-graph.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/VU_meter#/media/File:VU-meter-reponse-graph.svg)
- JBL. (2008). *LSR4300 SERIES*. JBL Professionals, HiQnet. Retrieved 5 25, 2016, from <https://www.jblpro.com/ProductAttachments/LSR4300brochurelow.pdf>
- Katz, B. (2002). *Mastering Audio, the art and the science*. printed in Canada.



- Katz, B. (2006). Retrieved from Universal Audio WebZine:  
<http://www.uaudio.com/webzine/2006/march/text/content2.html>
- K-filter. (n.d.). *The difference "physical" level and loudness according to ITU-R BS-1770*. Retrieved from  
[http://dt7v1i9vyp3mf.cloudfront.net/styles/news\\_large/s3/imagelibrary/D/DR\\_03.jpg?MMbtNaq\\_jYNlsEypPGB3THSd0LP0JyPp=&itok=pL\\_EGSRi](http://dt7v1i9vyp3mf.cloudfront.net/styles/news_large/s3/imagelibrary/D/DR_03.jpg?MMbtNaq_jYNlsEypPGB3THSd0LP0JyPp=&itok=pL_EGSRi)
- Laaksonen, J. (2006). *Äänityön kivijalka, Ammattiaudiotekniikka sen teoria perinteet ja nykytila*. Helsinki: Idemco.
- Nylund, L. &. (2016, 4 25). Kalibrering av rullband. (M. Lemstöm, Interviewer)
- SMPTE. (2013). *Cinema Audio Standards*. Society of Motion Pictures and Television Engineers. Retrieved 5 21, 2016, from  
[https://www.smpte.org/sites/default/files/2013-03-12-Standards-Cinema\\_Audio-Vessa-v2.pdf](https://www.smpte.org/sites/default/files/2013-03-12-Standards-Cinema_Audio-Vessa-v2.pdf)
- Stavrouv, M. (2003). *Mixing with your mind, Closely guarded secrets of sound balance engineering*. Flux Research, Self Published.
- Suntola, S. (2000). *Luova Studiotyö*. Lovisa: Itä-Uudenmaan Paino.
- Tondose. (2007, 7 1). Retrieved from  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Peak\\_programme\\_meter#/media/File:PPM\\_IEC\\_268-10\\_Iib\\_EBU.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Peak_programme_meter#/media/File:PPM_IEC_268-10_Iib_EBU.jpg)
- Vatunen, P. (2015, 5 29). Telefon intervju. (M. Lemström, Interviewer)