

Matti Uusitalo  
ÄÄNINAUHURI

Insinööriyö  
Kajaanin ammattikorkeakoulu  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Syksy 2005

Osasto Tekniikka ja liikenne	Koulutusohjelma Tietotekniikan koulutusohjelma
Tekijä(t) Uusitalo Matti Johannes	
Työn nimi Ääninauhuri	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Elektroniikan testaus	Ohjaaja(t) Jukka Heino
Aika Syksy 2005	Sivumäärä 27
Tiivistelmä <p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli etsiä laiteratkaisua radioamatööri toiminnassa olevaan ongelmaan. Tunnistettaessa radiolähetteitä jää usein nopeasti tuleva kanavatunniste kuulematta, erityisesti morsettamalla käytävässä liikennöinnissä.</p> <p>Tarkoituksena oli etsiä markkinoilta olemassa olevia laitteita, jotka voisivat soveltua tähän käyttöön. Erityisesti etsittiin laitteita, jotka pystyvät jatkuvaan äänittämiseen ja jotka pitävät muistissaan vähintään viimeisen minuutin verran äänisignaalia.</p> <p>Lisäksi insinööriyössä pyrittiin etsimään uusia toteutusvaihtoehtoja markkinoilta löytyvien vaihtoehtojen lisäksi. Näiden toteutusvaihtoehtojen käsittely on luonteeltaan esiselvitys, jossa löydettiin kaksi toteutusvaihtoehtoa ongelman ratkaisemiseksi.</p>	
Luottamuksellinen Kyllä Ei    x	
Hakusanat Radioamatööri toiminta, rengasmuisti, päättymätön nauha	
Säilytyspaikka Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto	



**Kajaanin  
ammattikorkeakoulu**

*Kajaani Polytechnic*

## ABSTRACT

## THESIS

Faculty Faculty of Engineering	Degree programme Information Technology
Author(s) Matti Uusitalo	
Title A Digital Recorder	
Optional professional studies Electronics testing	Instructor(s) / Supervisor(s) Jukka Heino
Date Fall 2005	Total number of pages 27
Abstract <p>The goal of this bachelor's thesis was to find a solution to a problem in radio amateur activity. While trying to identify radio transmissions, it often occurs that the identification is missed because of its suddenness and high speed. This is most often the case when trying to identify transmissions in morse code.</p> <p>The purpose was to find existing devices in the market that could apply to this use. This kind of device would have to be able to record continuously over long periods of time. It needs to keep at least one minute of past sound data in its memory.</p> <p>A secondary goal was to present some possible new solutions to this problem. These possibilities were to be presented as preliminary plans.</p>	
Confidential Yes No <input checked="" type="checkbox"/>	
Keywords Radio amateur activity, loop memory, endless loop tape	
Deposited at Kajaani Polytechnic Library	

## ALKUSANAT

Insinööriyön tekeminen opetti paljon työtavoista. Ehkä sen valmiiksi saaminen ei ollutkaan lopulta niin tärkeää kuin kaikki ongelmat, joita jouduin läpikäymään ennen kuin työ oli valmis. Työ antoi mielenkiintoisen silmäyksen niin olemassa olevien ratkaisujen etsimiseen ja seulomiseen kuin myös yksinkertaiseen laitesuunnitteluun.

Haluan esittää kiitokseni seuraaville ihmisille tuesta tämän työn tekemisen aikana: Jukka Heino, Ismo Talus ja Eero Soininen työn teknisen puolen avusta. Henkisestä tuesta haluan kiittää perhettäni ja ystäviäni.

## SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO.....	6
2 ÄÄNEN TALLENNUSMETODIT .....	7
2.1 Mekaaniset tallentimet.....	7
2.2 Magneettiset tallentimet .....	9
2.3 Optiset tallentimet .....	11
2.4 Digitaaliset tallentimet .....	13
3 MARKKINOILTA LÖYTYVIÄ RATKAISUJA .....	14
3.1 Recordograph .....	14
3.2 8-raitanauha ja päättymätön C-kasetti.....	15
3.3 Ikuisesti toistavat sanelulaitteet .....	16
3.4 Nauhakaiut .....	16
3.5 Samplerit.....	18
4 EHDOTUKSET ONGELMAN RATKAISEMISEKSI .....	19
4.1 Päättymätön kasetti ja normaali kasettinauhuri .....	19
4.2 Sulautettu järjestelmä.....	20
5 YHTEENVETO .....	25
LÄHDELUETTELO .....	26
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön tavoitteena oli etsiä ratkaisua radioamatööri-toiminnassa esiintyvään ongelmaan. Tunnistettaessa radiolähetteitä käy helposti niin, että tunnuksen tullessa korva ei ehdi reagoida siihen ja tunnus jää kuulematta. Tämä on ongelmana etenkin morsetuksen kuuntelemisessa. Tarvittiin laite, joka nauhoittaa päättymättömästi pitäen samalla muistissaan vähintään viimeksi kuluneen minuutin. Näin voitaisiin palata kuuntelemaan ohi mennyt tunniste uudelleen.

Tavoitteena oli tutkia, olisiko markkinoilla olemassa olevaa ratkaisua ongelmaan. Tässä käytettiin lähtökohtana tavanomaisten äänen tallennusmetodien kartoittamista. Sen jälkeen etsittiin erityisesti ääntä päättymättömästi nauhoitavia tai toistavia laitteita.

Lisätavoitteena oli esittää joitain mahdollisuuksia uudenlaisen ratkaisun suunnittelun lähtökohdaksi.

## 2 ÄÄNEN TALLENNUSMETODIT

Äänen tallentamiseen on kehitetty useita eri tapoja kulloinkin käytettävissä olevalla teknologialla.

### 2.1 Mekaaniset tallentimet

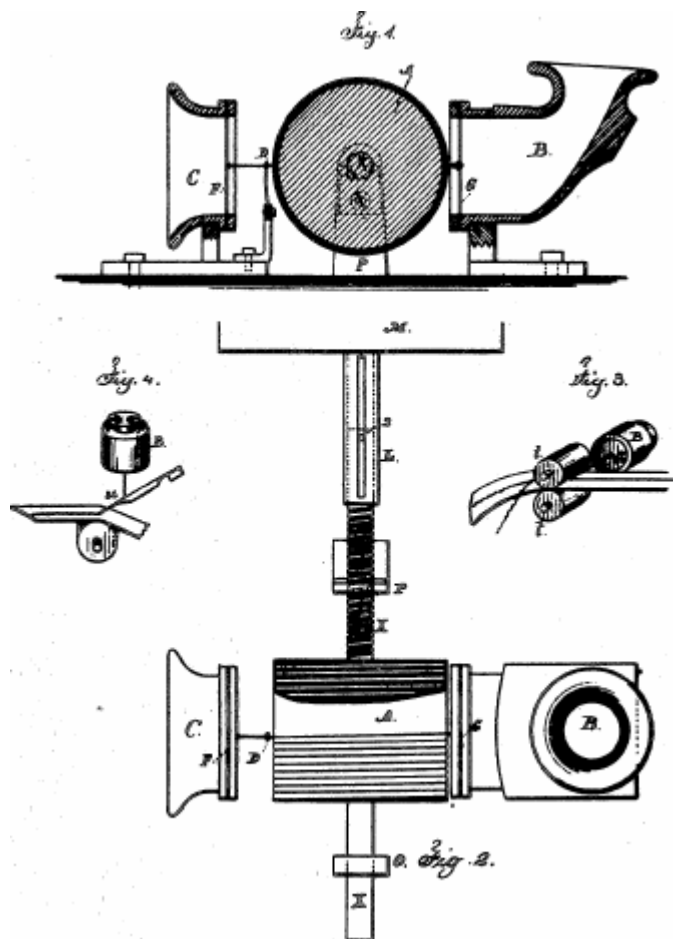
Ensimmäiset äänen tallentimet olivat mekaanisia. Vuonna 1796 sveitsiläinen kelloseppä Antoine Favre kehitti ensimmäisen soittorasian. Tällä pystyttiin tallentamaan sävelkulku, mutta ei sinänsä nauhoittamaan mitä tahansa ääntä. [1.]

Ääntä nauhoittamaan kyettiin, kun Leon Scott kehitti fonoautografinsa vuonna 1857. Siinä äänen värähtelyyn reagoivaan kalvoon on kiinnitetty kynä, joka piirtää jäljen liikkuvalla paperille. Tätä ideaa on käytetty myös maankuoren värähtelyjä mittaavassa seismografissa. Laitteella ei voitu toistaa nauhoitettua ääntä. Kuvassa 1 on fonoautografi kuvattuna tallennuspästä. [1.]



Kuva 1. Leon Scottin fonoautografi [2].

Vuonna 1877 Thomas Edison kehitti fonografinsa, jolla pystyttiin sekä nauhoittamaan että toistamaan ääntä. Laitteessa oli pyörivä sylinteri, jossa oli pehmeä pinnoite (vahaa, lyijyä tai foliota), johon neula kaiversi uran. Uran syvyys vaihteli äänenpaineen voimakkuuden mukaan. Äänentoistossa syntynyttä uraa pitkin kuljetettiin neulaa, jonka värähtelyt vahvistettiin mekaanisesti. Sylintereiden massatuotanto oli kuitenkin sen verran vaikeaa, ettei laite saavuttanut koskaan tärkeää asemaa markkinoilla. Sylintereitä voitiin kopioida vain 25 kappaletta kerralla, ja alkuperäinen sylinteri tuhoutui kopioinnin aikana. Lisäksi kopioiden äänenlaatu oli paljon heikompi kuin alkuperäisen äänitteen. Kuvassa 2 on esitetty Edisonin fonografi.[2.]

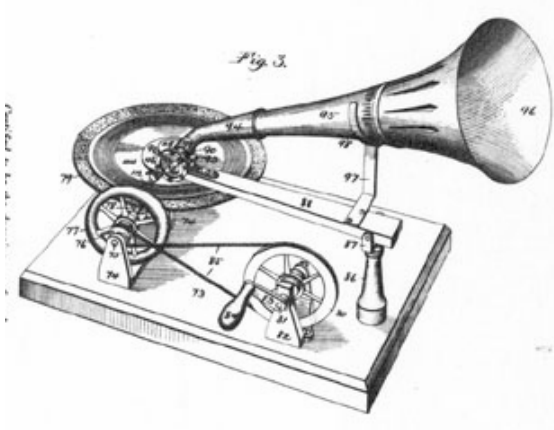


Kuva 2. Thomas Edisonin fonografi [3].

Emile Berlinerin vuonna 1887 patentoima gramofoni helpotti massatuotantoa. Sylinterin korvasi tasainen kiekko, jonka pintaan tehtiin uria horisontaalisessa tasossa, jolloin uran syvyys pysyi vakiona. Vaikka fonografin



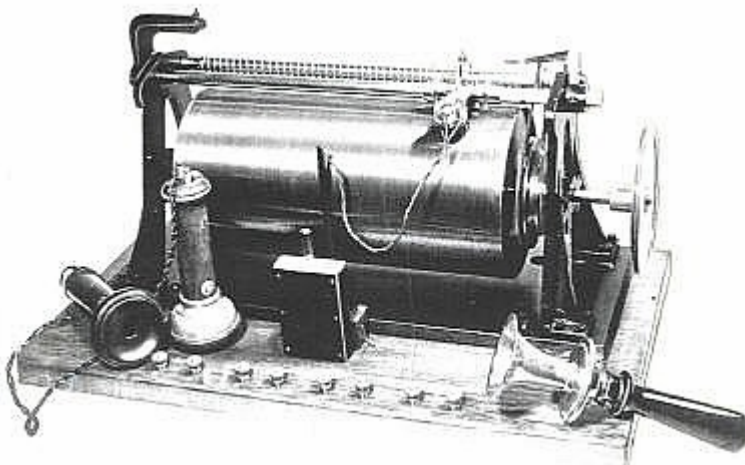
teoreettinen äänenlaatu olikin parempi, gramfonilevyjen massatuotanto oli helpompaa muottiin painamalla. Kuvassa 3 on ote Berlinerin patenttihakemuksesta. [1.]



Kuva 3. Piirros Berlinerin kanadalaisesta patentista numero 55079 [2].

## 2.2 Magneettiset tallentimet

Magneettiset tallentimet perustuvat samaan ideaan. Magnetisoitava materiaali kulkee tallennepään ohi tasaisella nopeudella. Tallennepäähän johdetaan elektroninen signaali, ja nauhalle indusoituu vastaava kuvio magnetoituvasta materiaalista. Toistettaessa ääntä lukupää lukee magneettikentän muutokset nauhalta ja muodostaa elektronisen signaalin. Kuvassa 4 on esitetty Valdemar Poulsenin demonstraatio aiheesta vuodelta 1898. [1.]



Kuva 4. Poulsenin telegrafi [4].

Käytännön sovellukset eivät kuitenkaan olleet mahdollisia ennen elektronisen vahvistimen kehittymistä 20-luvulla. Ensimmäisissä laitteissa ääni tallennettiin teräslangalle. Sovelluksia olivat lähinnä sanelukoneet ja puheen äänittäminen 40- ja 50-luvuilla. Äänentoistossa aiheutti kuitenkin ongelmia langan kulkusuunnan varmistaminen. Langan kiertymistä ei voitu estää millään tavalla, eikä langasta pystynyt muutenkaan sanomaan, missä suunnassa akseliinsa nähden se kulki. Kun lanka kulki väärässä asennossa, ylätaajuudet vaimentuivat. Lisäksi ääni yleensä säröytyi. Lanka myös sotkeentui ja meni solmuun helposti. [1.]

Magneettinauhaan perustuva äänittäminen kehitettiin ensimmäisenä Saksassa 1930-luvun lopulla. AEG kehitti ensimmäisen kaupallisen magneettinauhataallentimen, K1:n. Toisen maailmansodan aikaan AEG alkoi käyttää moduloimista tallentamisessa. Signaaliin summattiin korkeataajuuksinen siniaalto ennen tallentamista. Tällöin tallennettavan signaalin taajuuskaista on optimaalisemmalla alueella nauhan kannalta. Äänenlaatu parani tällä tekniikalla huomattavasti ja lisäksi mahdollisti mm. stereoäänityksen. Kuvassa 5 on esitetty AEG:n magneettinauhuri K1. [1.]



Kuva 5. AEG:n magneettinauhuri K1 [5].

Moniraitanauhoituksen keksiminen oli seuraava kehitysaskel magneettinauhatekniikassa. Nauha jaettiin useampaan kaistaan, jotka kulkivat rinnakkain. Näin eri raidat pysyvät synkronisoituna toisiinsa nähden. Aluksi käytettiin kaksiraitaisia nauhoituksia, mutta myöhemmin raitojen määrää lisättiin. Raitureita käytetään nykyään lähinnä studioissa, joissa saattaa olla käytössä jopa yli 24 raitaa. [1.]

Kaupallisesti merkittävimpiä sovelluksia magneettinauhureista olivat ensin 8-raitanauhat, joita käytettiin lähinnä autoissa, ja myöhemmin c-kasetti. Digitaalinen DAT-nauha ei koskaan saanut suurta suosiota kuluttajien keskuudessa. Tähän vaikutti mm. levy-yhtiöiden vastustus piratismiin pelossa. DAT:ia käytetään kuitenkin laajalti audioalan ammattikäytössä sekä joissain varmuuskopiointisovelluksissa digitaalisen datan tallentamiseen. Kuvassa 6 on esitetty TDK:n valmistama DAT-nauha. [1.]



Kuva 6. DAT-nauha [6].

### 2.3 Optiset tallentimet

Ensimmäinen optinen äänen tallennustapa lienee ollut suomalaisen Eric Magnus Campbell Tigerstedtin (kuva 7) vuonna 1915 esittämä tapa tallentaa ääniraita elokuvafilmin laitaan. Tallentamiseen on kaksi yleistä tapaa. Ensimmäinen tapa on vaihdella filmin tummuusastetta ääniaallon mukaan. Toisessa tavassa filmillä on nauhoja, joiden paksuus vaihtelee ääniaallon mukaan. Kummassakin tapauksessa filmin läpi kulkevan valon voimakkuus vaihtelee tallennetun ääniaallon mukaan ja se muutetaan sähköiseksi sig-

naaliksi valoherkän komponentin avulla. Menetelmä oli vallitseva 1930-1960-luvuilla, ja sitä käytetään vieläkin. [1.]



*Kuva 7. Eric Magnus Campbell Tigerstedt [7].*

Luultavasti tunnetuin ja käytetyin optinen tallennusväline on CD-levy. Se kehitettiin alun perin digitaalisen datan tallentamiseen, mutta siitä on tullut kaupallisen musiikkiteollisuuden yleisin media. Audio-CD:llä ääni on tallennettuna n. 44,1 kHz:n näytetaajuudella 16-bittisenä PCM-koodattuna. Levylle sopii n. 74 minuuttia ääntä. Tosin nykyään on levyjä, joihin saa tallennettua jopa 90 minuuttia. [1.]

CD-levyt on tehty 1,2 mm paksusta polykarbonaattimuovista, joka on päällystetty alumiinilla tai kullalta. Päälimmäisenä on laminaattikerros. Levyn keskellä on 15 mm läpimittainen reikä. Data on tallennettu metallikerrokseen koloina. CD:tä luetaan kohdistamalla siihen lasersäde. Kolojen ja tasaisten kohtien korkeusero on säteen aallonpituuden neljäsosa. Kun laser kohdistuu koloon, siitä heijastuva säde on vastakkaisessa vaiheessa tasaisesta alueesta heijastuvan säteen kanssa ja interferenssi vaimentaa tällöin säteen kokonaisamplitudia. Jos taas lasersäde osuu pelkkään tasaiseen alueeseen, takaisin heijastuvan säteen amplitudi on suurempi. Lukemalla takaisin heijastuvan lasersäteen voimakkuutta voidaan näin lukea levyllä oleva data. Kolot ja tasaiset alueet eivät sinänsä vastaa ykkösiä ja nollia, vaan tason muuttuessa luetaan ykkönen ja tason pysyessä samassa luetaan nolla. [1.]

Uudempi versio CD-levyformaattista on Sonyn ja Philipsin vuonna 1999 julkaisema Super Audio CD, lyhemmin SACD. Suurin ero SACD:n ja perinteisen CD:n välillä on, että PCM-koodatun audiodatan sijasta käytetään Direct Stream Digital -formaattia. DSD-data on 1-bittistä, ja sen näytetaajuus on 2,8224 MHz. Valmistajan mukaan menetelmällä saavutetaan 120 dB:n dynamiikka 20...20 000 Hz:n kaistalla. Useimmiten suurta kapasiteettia käytetään myös lisäämään raitoja äänitteisiin, jotta saadaan nelikanava- tai Dolby 5.1 -surround. SACD-soittimet ovat vielä harvinaisia. Useimmat SACD-levyt julkaistaankin hybridiformaatissa, jossa ovat sekä SACD- että CD-raidat. [8].

#### 2.4 Digitaaliset tallentimet

Aikaisemmin mainittujen CD-levyn ja DAT-nauhojen lisäksi nykyään voidaan tallentaa digitaalista audiota mihin tahansa tallentimeen, johon voidaan tallentaa dataakin. Käytännössä tällaisia ovat esimerkiksi tietokoneen kiintolevy, muistipiirit jne. Varsinkin äänen pakkauksen kehittyttyä (esimerkiksi Ogg Vorbis- sekä Mp3-pakkausmenetelmät) musiikkia tallennetaan yhä useammin tietokoneelle. Lisäksi tietokoneiden tehon kasvu ajan myötä on johtanut kotistudioiden siirtymiseen tietokoneaikaan. Digitaalinen signaalinkäsittely mahdollistaa kaupallisen tason tallenteiden aikaansaamisen kotistudiossa kohtuullisin kustannuksin. [1.]

### 3 MARKKINOILTA LÖYTYVIÄ RATKAISUJA

Päätymätön nauhoittaminen on yleensä vain harvoissa erikoistapauksissa toteutettu toiminto. Siihen ei törmää läheskään kaikissa laadukkaissakaan äänityslaitteissa. Useimmat markkinoilta löytyvät päätymättömästi nauhoittavat laitteet liittyvät enemmänkin videokuvaan kuin äänen tallentamiseen. Se on aika yleinen käytäntö valvontakameroiden kuvan tallentamiseen. Ääntäkin tallentavia laitteita löytyy joitakin. Kuitenkin markkinoilta löytyvät ratkaisut olivat useimmiten jo vanhentuneita ja poissa tuotannosta. Myös historiallisia toteutuksia on esitelty tässä luvussa.

#### 3.1 Recordograph

Frederick Hart, englantilainen keksijä, oli mukana useissa eri teollisuuden haaroissa ennen kuin perusti oman yrityksensä 1940-luvun loppupuolella. Uusi yritys valmisti laitetta nimeltä Recordograph. Laitteessa oli päätymättömällä silmukalla oleva sellofaanifilmi, joka muistutti tuon ajan elokuvafilmiä. Laite kykeni tallentamaan 1,5 tuntia, sekä myöhemmin markkinoille tuodulla kaksipuolisella erikoisfilmillä 3 tuntia. [9.]

Laite sopi hyvin esimerkiksi Yhdysvaltojen armeijan käyttöön, koska se kesti tärinää ja iskuja tallennuksen aikana ja toimi siten myös ajoneuvoissa ja lentokoneissa. Reportterit käyttivätkin laitetta mm. Normandian maihinnousussa. Laitteen rakenne näkyy kuvassa 8.[9.]



Kuva 8. Frederick Hartin recordograph-laite [9].

### 3.2 8-raitanauha ja päättymätön C-kasetti

Päättymättömien kasettien tärkein kaupallinen toteutus oli 8-raitanauha, joka sai suosiota enimmäkseen autostereolaitteistoissa. Kasetissa oli sisällä päättymätön silmukka magneettinauhaa. Kuvassa 9 näkyy 8-raitakasetin sisäinen rakenne. Päättymättömässä nauhassa oli useita hyötyjä. Se oli helppo pakata kasetin sisään ja sitä ei tarvinnut kelata tai kääntää soittimessa. Ongelmiakin löytyi: nauha meni helposti sykkyrään kasetin sisällä. Ongelmana ei ollut niinkään kitka vaan sen aiheuttama staattinen sähkö. [10.]



Kuva 9. 8-raitakasetin sisäinen rakenne [11].

Staattisen sähkön aiheuttaman ongelman ratkaisi Bernard Cousino, joka keksi ja patentoi grafiitilla päällystetyn nauhan. Grafiitti on liukasta ja se johtaa myös sähköä. Näin kertynyt staattinen sähkö saatiin maadoitettua. [10].

Nykyään valmistetaan päättymättömiä C-kasetteja. Ainakin TDK valmistaa tavalliseen kasettidekkiin mahtuvaa päättymätöntä kasettia. Nauhoja on kolmen ja kuuden minuutin mittaisina. Tällaista kasettia voitaisiin käyttää ratkaisemaan ongelma tavallisen kasettinauhurin kanssa. [12.]

### 3.3 Ikuisesti toistavat sanelulaitteet

Markkinoilta löytyy useita sanelulaitteita, jotka toistavat talletettua päättymättömästi. Tällaisen laitteen tallennus tapahtuu yleensä laitteen muisti-piiriin tai kiintolevyille. Yksi esimerkki on Bullshooter-laite.

Laitteella voidaan tallentaa 8 minuutin mittainen viesti, jota pystytään toistamaan ikuisella silmukalla. Laitteen spesifikaatio on epäselvä sen suhteen, voiko laitteella myös nauhoittaa päättymättömästi. Bullshooter on kuitenkin rakennussarja, joten luultavasti sen uudelleenohjelmointi käy päinsä. [13.]

### 3.4 Nauhakaiut

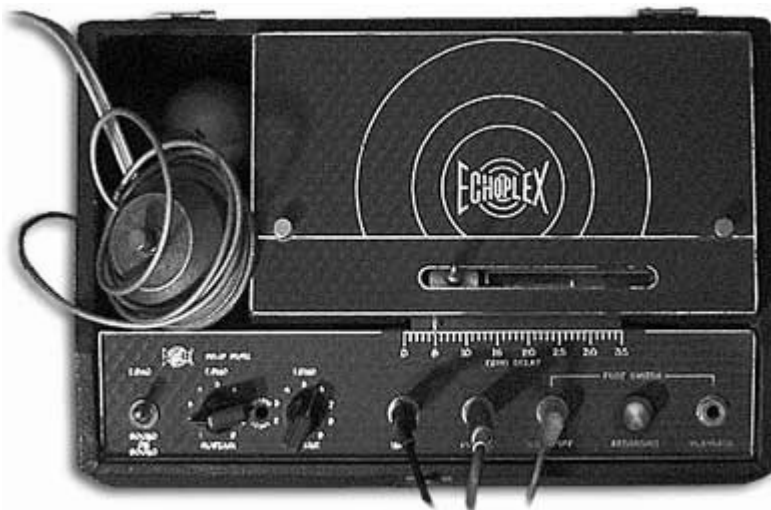
Musiikin teossa on ollut pitkään käytössä nauhakaikuja, joissa esiintyy päättymättömän rengasmuistin ajatus. Alun perin nauhakaiun perusajatuksena oli lähettää audiosignaali nauhurille, jossa kirjoituspää ja lukupää olivat erillään toisistaan. Kaiku syntyi siitä, kun kirjoituspää ensin nauhoitti äänen ja sitten hetken päästä lukupää toisti vasta nauhoitetun äänen. Kaiun viive riippuu suoraan luku- ja kirjoituspään välimatkasta ja kääntäen nauhan nopeudesta. Pidempiä kaikuja saatiin aikaa virittämällä nauha kahden nauhurin välille. Ensimmäinen nauhuri nauhoitti, ja toinen toisti kaikuna nauhoitetun äänen. Tämän tavan kehittäjänä toimi ehkä tärkeimpänä yhdys-



valtalainen kitaristi Les Paul, joka oli voimakkaasti mukana aikansa studio-tekniikan kehityksessä. [14].

Pian markkinoille tuli laitteita, jotka oli suunniteltu nauhakaiun tuottamiseen. Yksi kuuluisimmista lienee Maestro Echoplex. Echoplexin luku- ja kirjoitus-päiden etäisyyttä pystyttiin säätämään liukukytkimellä, joka siirsi lukupäätä kiskoa pitkin. Tällä säädöllä pystyttiin hienosäätämään kaiun ajoitusta, mikä mahdollisti kaiun ajoittamisen kappaleen tempon mukaiseksi. Laitteella pystyttiin myös säätämään toistojen määrää, jopa siinä määrin, että kaiut alkoivat palautua nauhan alusta takaisin laitteeseen aiheuttaen erikoisia kiertoefektejä. [14].

Aikaisimmat Echoplex-kaiut olivat tyhjiöputkitekniikalla tehtyjä, mutta pian ilmestyi myös puolijohteilla toteutettuja laitteita. Myöhemmin laitteeseen lisättiin ylimääräisiä ominaisuuksia, kuten ekvalisaattori. Kuvassa 10 on esitetty Echoplexin aikainen versio. [14].



*Kuva 10. Maestro Echoplex -nauhakaikulaite [14].*

Toinen kuuluisa nauhakaiku oli Roland Space Echo, joka tuotiin markkinoille 70-luvun alussa. Verrattuna Echoplexiin Rolandin nauhakaiku oli rakenteeltaan kestävämpi ja hiljaisempi. Suurin ero laitteiden välillä oli se, että Rolandista löytyy useampi toistopää, joita kaikkia voitiin säätää. Lisäksi Rolan-

din laitteessa oli myös jousikaiku, joka oli tärkeä efekti äänitteiden luomisessa. Rolandin nauhakaiku on kuvassa 11. [14].



Kuva 11. Roland Space Echo [14].

### 3.5 Samplerit

Sampleri on laite, jolla voidaan nauhoittaa lyhyt ääninäyte. Näytettä voidaan sitten toistaa niin monta kertaa kuin halutaan. Esimerkkinä modernista kitaralle tarkoitettusta samplerista on Zoom PFX-9003. Laite on multiefekti, jossa on useita eri toimintoja. Tämän insinööriyön aiheen kannalta kiinnostava on sen kyky tallentaa 30 sekunnin ääninäyte toistettavaksi. Lisäksi laite pystyy toistamaan äänen puoli- tai neljäsosanopeudella muuttamatta äänen korkeutta. Laitteen tuotetiedoista on vaikea sanoa, pystyykö sillä tallentamaan päättymättömästi. PFX-9003 on esitetty kuvassa 12. [15].



Kuva 12. Zoom PFX-9003 [15].

## 4 EHDOTUKSET ONGELMAN RATKAISEMISEKSI

Jokaisessa ratkaisussa täytyy kiinnittää huomiota siihen, että nauhoittamisen lisäksi on pystyttävä kuuntelemaan radiolähetystä samanaikaisesti. Mikä tärkeintä, on pystyttävä reaaliajassa pysäyttämään nauhoittaminen, kun kuuluu jotain tärkeää, jonka haluaa toistettavan. Näin ollen järjestelyn käyttäminen tulee olla helppoa ja nopeaa.

### 4.1 Päättymätön kasetti ja normaali kasettinauhuri

Edellä mainittua TDK:n valmistamaa päättymätöntä nauhaa voitaisiin käyttää ratkaisemaan päättymättömän nauhoittamisen ongelma. Tällaisen kasetin avulla voitaisiin nauhoittaa kuunneltavaa radiolähetystä, kunnes kanavatunnus kuuluu. Tällöin voitaisiin kelaamalla palata takaisin kuuntelemaan tunnus uudelleen. Laite voisi nauhoittaa vaikka vuorokauden ympäri ongelmitta.

Käytännössä päättymättömän kasetin kanssa tulee joitain ongelmia. Käytännön kokemukset ovat osoittaneet, että jatkuva nauhoittaminen tuhoaa nopeasti kasetin mekaanisen rakenteen. Nämä kasetit on tarkoitettu lähinnä puhelinvastaajiin, ja näin ollen ne eivät välttämättä kestä toistuvaa uudelleen nauhoittamista.

Kasettidekin käyttäminen on siinä mielessä tuttua, että käyttöliittymä on varmasti helppo oppia. Ongelmana onkin enemmän käyttömukavuus kuin varsinainen vaikeakäyttöisyys. Kasetin kelaaminen nauhoitteen alkua etsiessä ei ole aivan vaivatonta.

Kytkeminen radiolaitteeseen vaikuttaa oleellisesti kasettidekille asetettaviin vaatimuksiin. Mikäli radio on viritin-vahvistin, joka sisältää oman kaiuttimen, siitä ei välttämättä saa linjatasoista signaalia ulos kaiuttimen vaimentumatta.

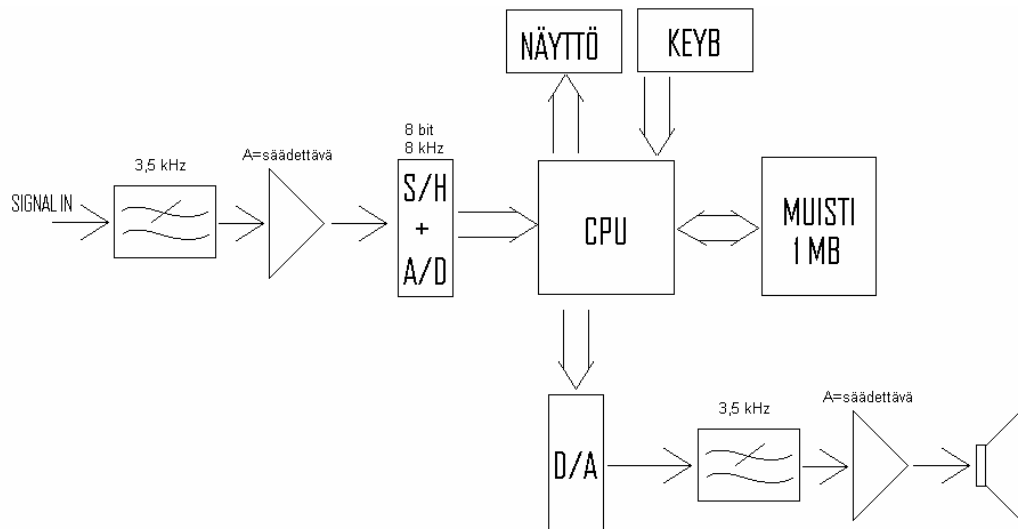
Tällöin kuuntelu on saatava toimimaan kasettisoittimen ja erillisen vahvistimen kautta. Pelkkä kuulokeulostulo ei ole riittävä, sillä radion käyttäjä ei välttämättä voi istua laitteiden ääressä kuulokkeet päässä koko aikaa.

#### 4.2 Sulautettu järjestelmä

Sulautetun järjestelmän etuna olisi se, että sen kaikki toiminnot voitaisiin optimoida mahdollisimman käytännöllisiksi käyttäjää varten. Ongelmana tässä ratkaisussa on sen monimutkainen rakenne ja se, että se vaatii paljon kehitystyötä. Hyvin luultavasti käyttökelpoisen laitteen aikaansaaminen vaatii useita laiteversioita ja tuhansia rivejä koodia. Toisaalta mikäli laitteeseen asennetaan diagnostiikkaportti, sen toimintoja voi helposti laajentaa esimerkiksi siten, että muistissa olevat näytteet voitaisiin ladata tietokoneelle.

##### Fyysinen rakenne

Päättymättömästi nauhoittava sulautettu järjestelmä olisi suhteellisen yksinkertainen rakenteeltaan. Laite perustuisi signaalin näytteistämiseen ja palauttamiseen A/D- ja D/A-muuntimilla. Sen tulisi pystyä n. 8 kHz näytteenottotaajuuteen ja pitää muistissa tarpeeksi dataa, että pitkäkin tunnus ehtisi nauhoittua. Tällaisessa sovelluksessa 8-bittinen digitointi olisi riittävä, joten minuutin tallentaminen veisi n. 469 kilotavua muistia. Näin ollen laitteeseen riittäisi 512 kilotavun muistipiiri. Laitteen mahdollinen lohkokkaavio on esitetty kuvassa 13.



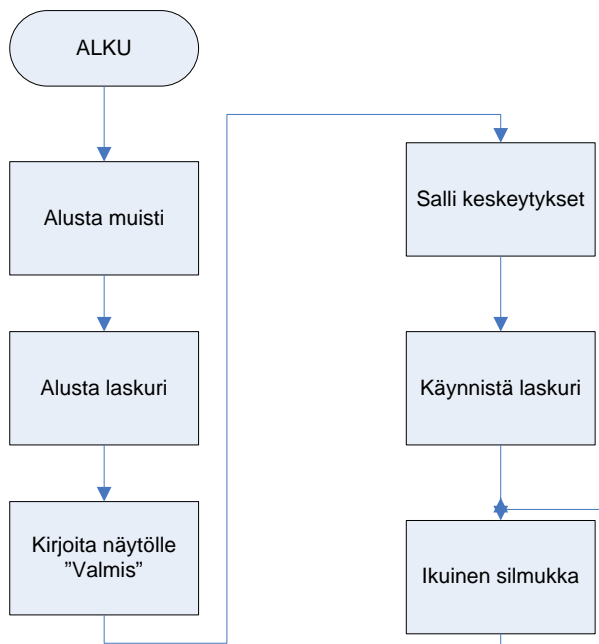
Kuva 13. Sulautettu järjestelmä päättymättömään äänittämiseen.

Mikrokontrollerin valinnassa täytyy ottaa huomioon, että sen pitää pystyä osoittamaan 512 kilotavun muistiavaruutta sekä oheislaitteitaan. Käytännössä tämä tarkoittaa 16-bittistä muistiavaruutta (koko muistipiirin aluetta ei tarvita).

### Ohjelmiston rakenne

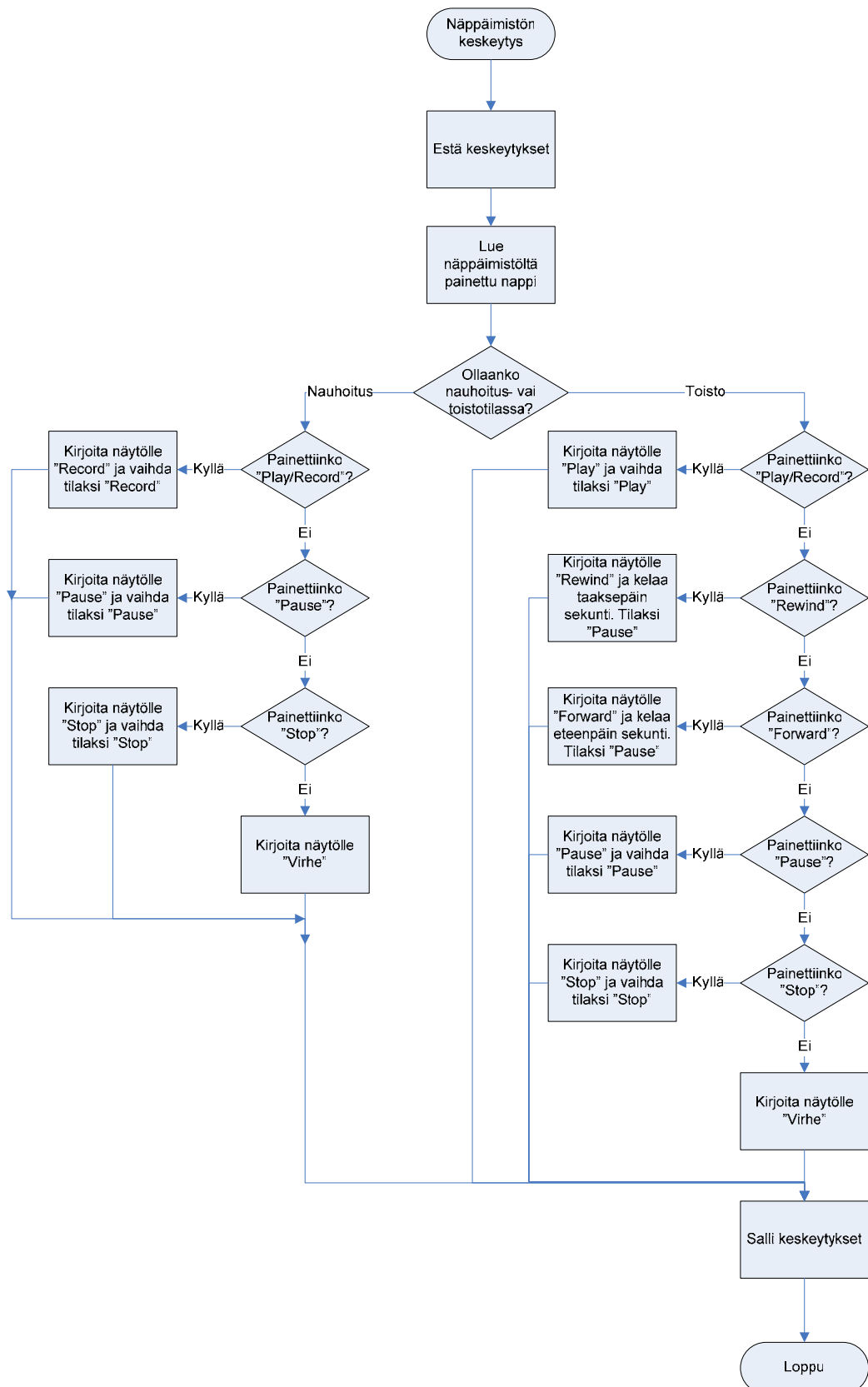
Laitteen täytyy koko ajan toiminnassa ollessaan siirtää näytteitä A/D-muuntimelta D/A-muuntimelle kuuntelua varten. Tämä yhdistettynä LCD-näytöllä tapahtuvaan käyttäjän informoimiseen pakottaa laitteen ohjelmiston moniajaja hyödyntäväksi. Ohjelmiston tulee reagoida käyttäjän komentoihin näppäimistöltä välittömästi. Lisäksi vaatimuksia asettaa sulautetulle järjestelmälle suhteellisen suuri näyteenottotaajuus, 8 kHz.

Toteutusrakenteena voisi olla tilakone, jossa hyödynnettäisiin ajastin- ja näppäimistökeskeytyksiä. Kun laite käynnistetään, ensimmäiseksi alustetaan tarpeelliset rekisterit, ja lopulta asetetaan ohjelma toistotilaan. Sitten käynnistetään laskuri, sallitaan keskeytykset ja ohjataan ohjelma ikuisen silmukkaan. Alustusvaihe on esitetty vuokaaviona kuvassa 14.



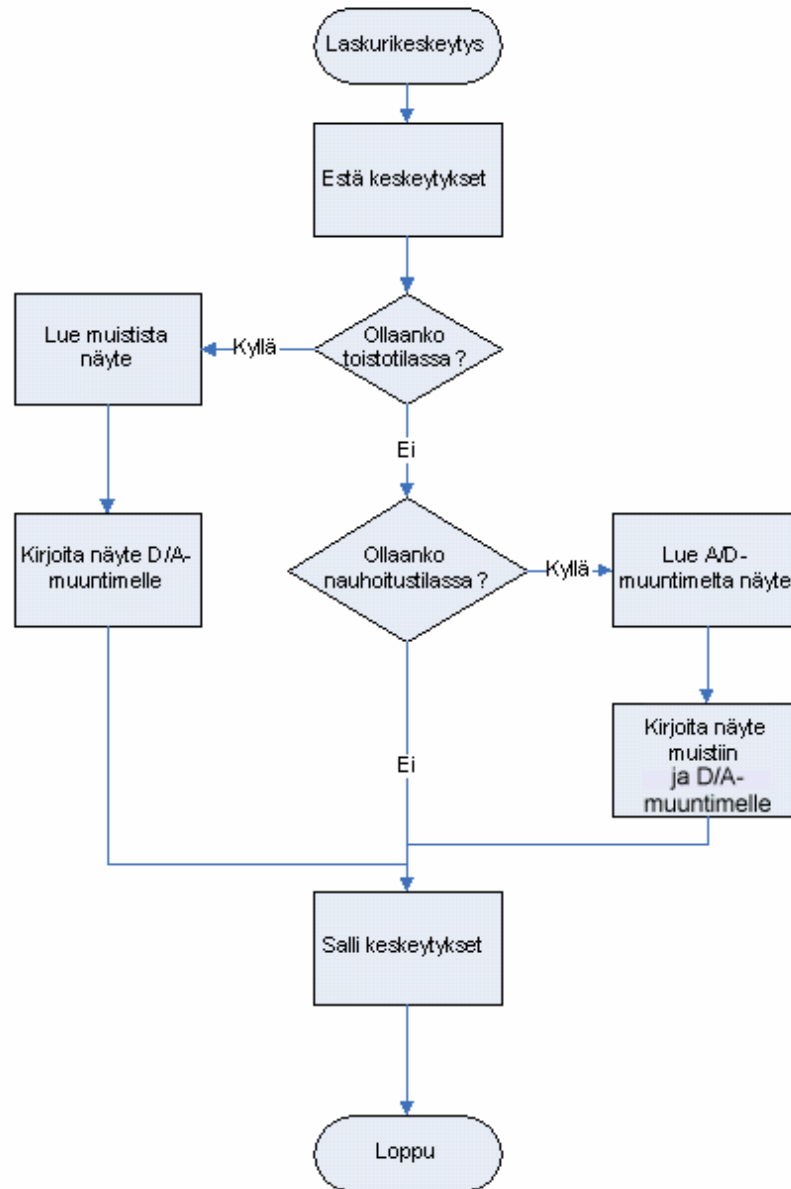
*Kuva 14. Koodin alustusvaihe sekä ikuinen silmukka.*

Kun käyttäjä painaa jotain nappia laitteesta, kontrolleri saa keskeytyksen. Ohjelma tutkii keskeytyksessä, mitä nappia on painettu ja toimii sen mukaan. Kuvassa 15 on esitetty näppäimistökeskeytyksen vuokaavio.



Kuva 15. Näppäimistökeskeytys.

Näppäimistöllä käyttäjä ohjaa, missä tilassa laite on. Näppäimistökeskeytyksessä ohjelma asettaa itsensä sopivaan tilaan, joka määrää mitä tapahtuu ajastinkeskeytyksen sattuessa. Ajastinkeskeytyks on esitetty vuokaaviona kuvassa 16.



Kuva 16. Ajastinkeskeytyks.



## 5 YHTEENVETO

Työn lähtökohtana oli etsiä ratkaisua ongelmaan, jossa tarvittiin jatkuvaa tallentamista. Kyseiseen tilanteeseen soveltuvan laitteen tuli pystyä tallentamaan muistiinsa noin minuutin verran viimeksi kuulunutta äänidataa. Tämä on tarpeellista, kun radiolähetystä tunnistettaessa aseman tai lähetteen tunniste jää huomaamatta.

Ensiksi tutkittiin äänen tallentamisen metodeja ja historiaa yleisellä tasolla. Äänen tallentamiseen on ollut monia ratkaisuja aina mekaanisista tallentamista magneettisiin, optisiin, digitaalisiin ja nykyaikaisiin hybridiratkaisuihin asti.

Seuraavaksi käsiteltiin markkinoilta löytyneitä ratkaisuja. Osa näistä oli vanhentuneita, mutta kuitenkin esittelemisen arvoisia sisältäessään vinkkejä mahdollisen uuden ratkaisun suunnittelemiseen. Tärkeimpinä käytiin läpi päättymätöntä C-kasettia ja musiikki-instrumenttia, sampleria.

Viimeiseksi esiteltiin kaksi vaihtoehtoista tapaa ratkaista päättymättömälle silmukalle nauhoittaminen. Ensimmäinen oli käyttää päättymätöntä C-kasettia ja nauhoittaa signaali tavallisella kasettinauhurilla. Toinen ratkaisu oli rakentaa sulautettu järjestelmä, joka tallentaa kortilla olevalle muistipiirille näytteistettyä dataa.

## LÄHDELUETTELO

- 1 Wikipedia. Luettu 6.9.2005 [WWW-dokumentti].  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Sound\\_recording](http://en.wikipedia.org/wiki/Sound_recording)
- 2 Canadian Historical Sound Recordings. Luettu 1.12.2005 [WWW-dokumentti] <http://www.collectionscanada.ca/gramophone/m2-153-e.html>
- 3 Patentti nro 200521, United States Patent Office, 19.2.1878.
- 4 Claude Gendren radio- ja äänitekniikkasivut. Luettu 1.12.2005 [WWW-dokumentti] <http://claudio.gendre.9online.fr/passion.htm>
- 5 Tonaufzeichnung.de Luettu 1.12.2005 [WWW-dokumentti] [http://www.tonaufzeichnung.de/index.shtml?personen/fritz\\_pfleumer.shtml](http://www.tonaufzeichnung.de/index.shtml?personen/fritz_pfleumer.shtml)
- 6 Tape.com –tallennusmediamyymälän verkkosivut. Luettu 1.12.2005 [WWW-dokumentti] <http://www.tape.com/prodinfo/dats/tdk-dds.html>
- 7 Kouvolan radiomuseon WWW-sivut. Luettu 21.9.2005 [WWW-dokumentti] <http://www.saunalahti.fi/nimerky/radiomuseo/nauhuri/tigerstedt.htm>
- 8 Wikipedia. Luettu 1.12.2005 [WWW-dokumentti].  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Super\\_Audio\\_CD](http://en.wikipedia.org/wiki/Super_Audio_CD)
- 9 Recording history –WWW-sivut. Luettu 22.11.2005 [WWW-dokumentti] [http://www.recording-history.org/HTML/other\\_phonographs.htm](http://www.recording-history.org/HTML/other_phonographs.htm)
- 10 A History of the Eight Track Tape. Luettu 23.11.2005 [WWW-dokumentti] <http://www.wgeneration.com/70f4.html>
- 11 Wikipedia. Luettu 1.12.2005 [WWW-dokumentti].  
<http://en.wikipedia.org/wiki/8-track>
- 12 TDK:n www-sivut. Luettu 23.11.2005 [WWW-dokumentti] <http://www.tdk.com/recmedia/audio/endless.html>
- 13 ABRA Electronics www-sivut. Luettu 23.11.2005 [WWW-dokumentti] [http://www.abra-electronics.com/catalog/kits/r\\_bs1.html](http://www.abra-electronics.com/catalog/kits/r_bs1.html)

- 14 United Audio Webzine: Analog Obsession: Echoplex, Space Echo, and the History of Delay. Luettu 2.12.2005 [WWW-dokumentti]  
<http://www.uaudio.com/webzine/2004/june/content/content4.html>
- 15 Zoom-kotisivut. Luettu 2.12.2005. [WWW-dokumentti]  
<http://www.zoom.co.jp/english/products/pfx9003/index.php>