

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET**

ZAVRŠNI RAD

Jere Rinčić



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

Smjer: Tehničko Tehnološki

ZAVRŠNI RAD

USPOREDBA ANALOGNE I DIGITALNE TEHNOLOGIJE SNIMANJA ZVUKA

Mentor:
doc. dr. sc. Diana Bratić

Student:
Jere Rinčić

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET
Getaldićeva 2
Zagreb, 12. 9. 2022.

Temeljem podnietog zahtjeva za prijavu teme završnog rada izdaje se

RJEŠENJE

kojim se studentu/ici Jere Rinčiću, JMBAG 0128064754, sukladno čl. 5. st. 5. Pravilnika o izradi i obrani završnog rada od 13.02.2012. godine, odobrava izrada završnog rada, pod naslovom: Usporedba analogne i digitalne tehnologije snimanja zvuka, pod mentorstvom doc. dr. sc. Diane Bratić.

Sukladno čl. 9. st. 1. Pravilnika o izradi i obrani završnog rada od 13.02.2012. godine, Povjerenstvo za nastavu, završne i diplomske ispite predložilo je ispitno Povjerenstvo kako slijedi:

1. izv. prof. dr. sc. Bates Irena, predsjednik/ica
2. doc. dr. sc. Bratić Diana, mentor/ica
3. izv. prof. dr. sc. Pasanec Preprotić Suzana, član/ica



Prof. dr. sc. Nikola Mrvac

SAŽETAK

U ovome radu se uspoređuje analogna i digitalna tehnologija snimanja i reprodukcije zvuka, što uključuje njihovu povijest, terminologiju, prednosti i nedostatke.

Analogni zapis u profesionalnoj industriji je koristio razne medije dok se nije konačno ostvario na magnetnoj vrpici koja je postala industrijski standard. Tokom druge polovice 20. stoljeća razvila se *multitrack* tehnologija, koja je omogućila snimanje više pojedinačnih signala na jednu magnetnu vrpcu. Kako bi se signal mogao uspješno i kvalitetno snimiti, potreban je određen tok signala (*signal path*), a on uključuje mikrofoni, predpojačalo, miksni pult, i magnetni snimač.

Za razliku od analognog signala, digitalni zapis se kvantizira i uzorkuje do određene rezolucije definirane brojem bitova (*bit depth*) i frekvencijom uzorkovanja (*sample rate*). Nakon toga se sprema u binarnome kodu koji se kasnije dekodira i vraća u početni signal koji ljudsko uho može čuti. Tijekom 80-ih godina 20. stoljeća on postaje sve popularniji u profesionalnim studijima, a u 21. stoljeću postaje pristupačan i amaterima te se danas smatra industrijskim standardom.

Digitalni zapis se odlikuje mnogim prednostima u usporedbi s analognim. On se može neograničeno umnožavati. Svaka je kopija identična, bez ikakve generacijske degradacije koja je svojstvena analognom mediju. On nema pozadinski šum kao magnetna vrpca, no moguć je kvantizacijski šum zbog neadekvatne frekvencije uzorkovanja i odabira kvantizacijskog algoritma. Editiranje i modificiranje zapisa izrazito je brzo i efikasno u usporedbi s fizičkim rezanjem analogne magnetne vrpce, koje je destruktivne prirode i mora se ručno rezati i lijepiti.

Budući da je digitalno snimanje danas čvrsto povezano sa računalnim softverom, moguće je koristiti profesionalne programe i opremu s puno manjim troškom. No usprkos svojim unapređenjima, digitalna oprema se stalno mijenja te zahtijeva konstantnu nadogradnju.

U ovom radu je zaključeno da je digitalni zapis danas najkvalitetnija i najisplativija tehnologija za snimanje zvuka.

KLJUČNE RIJEČI: magnetna vrpca, tok signala, kvantizacija, *bit depth*, *sample rate*, generacijska degradacija, kvantizacijski šum

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. ANALOGNI ZAPIS	2
2.1 Povijest analognog medija	2
2.1.1 <i>Počeci</i>	2
2.1.2 <i>Magnetni medij</i>	3
2.1.3 <i>Multitrack tehnologija</i>	3
2.2 Način funkcioniranja i oprema	4
2.2.1 <i>Magnetna vrpca</i>	5
2.2.2 <i>Miksni pult</i>	6
2.2.3 <i>VU metar</i>	6
2.3 Snimač, njegova kalibracija i snimanje	7
2.3.1 <i>Punch in/out</i>	8
2.3.2 <i>Overdubbing</i>	8
3. DIGITALNI ZAPIS	10
3.1 Povijest	10
3.1.1 <i>Počeci</i>	10
3.1.2 <i>Prve komercijalne snimke</i>	10
3.1.3 <i>Razvoj u 80-ima</i>	13
3.1.3 <i>Pro Tools</i>	14
3.1.4 <i>Današnja upotreba</i>	16
3.2 Terminologija i način funkcioniranja	17
3.2.1 <i>Kvantizacija i uzorkovanje signala</i>	17
3.2.2 <i>Bit Depth</i>	18
3.2.3 <i>Sample Rate</i>	18

3.2.4	<i>DPCM i ADPCM</i>	19
3.3	Oprema i tipični proces snimanja.....	19
3.3.1	<i>Softver</i>	20
3.3.2	<i>Zvučna kartica</i>	20
3.3.3	<i>Proces</i>	21
4.	PREDNOSTI I NEDOSTATCI ANALOGNE I DIGITALNE TEHNOLOGIJE	24
4.1	Pozadinski šum	24
4.2	Generacijska degradacija.....	24
4.3	Fizička degradacija	25
4.4	Editiranje i modificiranje zapisa	26
4.5	Cijena i održavanje	26
4.6	Dugotrajnost opreme	27
4.7	Greške pri kvantizaciji	27
5.	ZAKLJUČAK	29
	POPIS SLIKA	32
	POPIS TABLICA	33

1. UVOD

Analogni zapis je jedan od najstarijih zapisa zvuka u povijesti, a njegov najpopularniji medij je magnetna vrpca. U 20. stoljeću ona je bila dominantni medij za kvalitetno snimanje zvuka. No tehnologija u području zvuka znatno se promijenila tijekom zadnjih 30 godina. Došlo je do prijelaza s analognog na digitalni format kao standard.

Digitalni zapis se od analognog zapisa razlikuje po tome što on kvantizira i uzorkuje tj. samplira analogni signal te ga pretvara u binarni kod. Taj kod se kasnije tijekom reprodukcije dekodira natrag u svoju izvornu formu čime se eliminiraju brojni nedostaci analognog zapisa. Taj je medij postao puno mobilniji i pristupačniji, što je omogućilo profesionalnu produkciju i snimanje van granica profesionalnih studija. Međutim danas se za neke potrebe još uvijek koristi analogni zvučni zapis, stoga će se ovome završnom radu istražiti i usporediti tehnologija za snimanje analognog i digitalnog zapisa.

U ovome radu će se također biti riječi o povijesti oba zapisa te njihovoj terminologiji i načinu uporabe. Nakon toga će se usporediti njihove prednosti i mane te će se na kraju zaključiti koja je tehnologija snimanja prihvatljivija za današnje doba.

2. ANALOGNI ZAPIS

Analogna tehnika spremanja zapisa je jedan od fundamentalnih načina spremanja zvuka, a svoj je procvat doživjela u drugoj polovici 20. stoljeća. Njena upotreba nije ograničena na industrijsku, već i kućnu uporabu. Ovaj format je bio postepeno zamijenjen digitalnim zapisom krajem 20. stoljeća, no zadnjih desetak godina doživljava svoju reafirmaciju.

2.1 Povijest analognog medija

Analogni zapis je kroz povijest koristio različite vrste medija. Oni su se razlikovali kako izvedbom tako i kvalitetom snimljenog zvuka. U nastavku će biti dan povijesni razvoj i pregled analognih medija.

2.1.1 Počeci

Prije izuma i standardizacije magnetnog medija medij za snimanje zvuka bio je voštani cilindar ili ploča, a uređaj za reprodukciju fonograf. Thomas Edison je 1878. konstruirao fonograf inspiriran Fonautografom, uređajem koji je osmislio Édouard-Léon Scott de Martinville tridesetak godina prije.



Slika 1. Fonograf

Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Phonograph_cylinder

Proces snimanja bio je znatno drukčiji od današnjeg jer se izvor nije snimao putem mikrofona, već slušnog roga koji bi nadolazeće vibracije urezao fonografskom iglom na cilindar ili ploču. Ova tehnika snimanja proizvodi akustični zapis, čija kvaliteta ovisi o građi snimačeg roga.

U drugom desetljeću 20. stoljeća akustična tehnika zamjenjuje se s električnom, koja se umjesto rogom koristi mikrofonom za snimanje zvuka. Električno snimanje nadolazeći signal pretvara u električni signal. On se tada pojačava pomoću pojačala te se zapisuje iglom na površinu diska. Ovo je omogućavalo kvalitetnije snimke s puno većim spektrom frekvencija koje se mogu snimati[1].

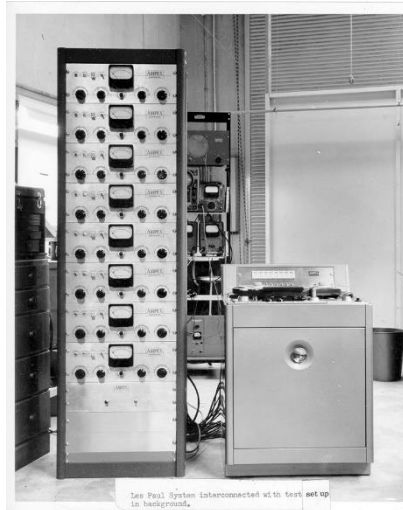
2.1.2 Magnetni medij

Magnetni medij prolazio je mnoge promjene materijala i formata medija dok se nije standardizirao na magnetnoj vrpici. Prvi snimači koristili su magnetnu žicu kao svoji medij, i bili su iznimno popularni za diktiranje tj. snimanje telefonskih razgovora. Njihova uporaba bila je najbrojnija tijekom prve polovice dvadesetog stoljeća. Druga iteracija magnetnog medija bile su čelične vrpce. Uređaj za reprodukciju ovog medija bio je *Blattnerphone*. Čelične su vrpce bile iznimno teške te su se lako kidale, no format je bio dovoljno popularan te je bio aktivan do kasnih 1940-ih.

Klasičnu magnetnu vrpcu kakvu danas poznajemo počela je razvijati tvrtka BASF i AEG tijekom 1930-ih. Prvi praktični snimač bio je AEG Magnetophon K1, demonstriran 1935. u Njemačkoj. Također je razvijena i odabrana vrsta materijala koji će se koristiti za magnetnu vrpcu[2, 3].

2.1.3 Multitrack tehnologija

Tijekom druge polovice 20. stoljeća *multitrack* tehnologija potaknula je veliku revoluciju u tehnologiji studijskog snimanja s obzirom na to da je omogućila snimanje više pojedinačnih signala na jednoj magnetnoj vrpici. Preteče ovog sustava bili su AEG stereo snimači iz Njemačke, no za razvoj klasične tehnologije *multitrackinga* odgovoran je glazbenik i inženjer Les Paul, koji je u ranim 1950-ima naručio 8-kanalni snimač od tvrtke Ampex.



Slika 2. Les Paulov Ampex 8-kanalni snimač

Izvor: <https://museumofmagneticsoundrecording.org/LesPaul.html>

Usprkos broju kanala u Ampex snimaču, industrija je favorizirala 3-kanalne snimače. Gotovo sve Phil Spector produkcije i Motown hitovi bili su snimljeni na 3-kanalnim snimačima. Pioniri 4-kanalnih snimača su bile grupe poput *The Beatles* i *The Rolling Stones* u 1960-ima. Inženjeri Londonskog Abbey Road studija upotrebljavali su tehniku “*bouncing down*”, pomoću koje je moguće snimiti više raznih signala na vrpce nego što broj kanala to podržava. Nakon što su prva četiri signala snimljena na četiri kanala prve vrpce, oni bi se kombinirali i snimili na jedan ili dva kanala sekundarne vrpce te bi tako se moglo snimati na druga dva ili tri kanala novi materijal.

Broj kanala tijekom sljedećih 20 godina povećao se na 24, što je i danas najprihvatljiviji standard analognog snimača.

2.2 Način funkcioniranja i oprema

Analogni zapis jest tehnika spremanja zvučnog signala koji možemo kasnije reproducirati. Ovom metodom spremamo signal izravno na odgovarajući medij. Analogni signal može se spremati na razne medije sa promjenjivom kvalitetom i reprodukcijom, kao što su magnetna vrpca, vinilna ploča, optička vrpca, i rotirajući cilindar. Optička vrpca često se koristila za spremanje i reprodukciju zvuka na filmskoj vrpce, no taj je format daleko od najkvalitetnijeg zbog svoje složenosti i povećeg čujnog šuma[2].

2.2.1 Magnetna vrpca

Format najbolje prilagođen analognom snimanju jest magnetna vrpca, gdje je signal prvo pretvoren u električni signal, a onda u magnetni tok koji ostavlja niz magnetiziranih čestica na mediju koji na dulji rok može zadržati informacije.



Slika 3. Ampex 456 master vrpca

Izvor: <https://www.springair.de/en/ampex-456-grand-master-27-cm-metal-1/2-inch-nab-silver/h60414>

Prvi magnetni snimači koristili su se čeličnom žicom zbog mogućnosti magnetizacije željeza, no žica je bila nepraktična zbog svoje forme, a isto tako opasna. Problem magnetnog medija bio je riješen unijom magnetnih oksida i fleksibilne vrpce, a taj je format revolucionirao cijelu industriju magnetnih snimača.

Ovaj magnetni medij sadrži male čestice magnetnog materijala zalijepljene na susprstat. Te se čestice ne pomiču, već se njihove polarnosti mijenjaju s obzirom na podražaj.

Magnetne snimače nalazimo u raznim konfiguracijama. Za studio upotrebu obično koristimo bar jedan *multitrack* snimač i jedan *mastering* snimač. *Multitrack* snimač teritorijalno dijeli magnetnu vrpcu na više zasebnih kanala, a na svaki možemo snimati pojedinačni signal. Broj ovisi o samome uređaju, a današnje popularne konfiguracije su 8, 16 ili 24 kanala. Moguće je snimati na sve kanale odjednom, no moguća je i kasnija tehnika *overdubbinga* i *punch in/outa*.

Mastering snimač je stereo magnetni snimač na koji snimamo gotovi procesuirani miks izvorno sa *multitracka*[3].

Pri snimanju signal prolazi kroz razne uređaje (*signal path*), koji uključuju mikсни pult, magnetni snimač, efektne uređaje te *mastering* snimač.

2.2.2 Miksni pult

U profesionalnome studiju snimač je spojen na mikсни pult kako bi primao, ali i slao signal prema njemu. Miksni pult služi za uvođenje, podešavanje, procesuiranje i slanje pojedinačnih signala iz ranih izvora. Najčešći brand miksnog pulta tj. konzole jest Solid State Logic ili Neve koji se smatraju industrijskim standardom. Svaki kanal sadrži svoje predpojačalo, EQ filter, kompresor i *routing* sekciju. Predpojačalo je nužno za bilo kakav signal koji nije dovoljno glasan, a razina pojačavanja (*gain*) na predpojačalu ovisi o samoj vrsti signala. Miksni pult često ima *split* konfiguraciju, što znači da ima jednu polovicu pulta dizajniranu za *tracking* (pojačanje i slanje signala na medij), a drugu za *mixing* (primanje signala sa medija i njegovo daljnje manipuliranje)[4, 5].

2.2.3 VU metar

Za promatranje glasnoće signala koristimo *VU metar*. VU metar je pasivni elektromehanički uređaj koji mjeri relativnu glasnoću signala, što nije isto što i najveći vrh signala (*signal peak*). Ovaj metar se nalazi na miksnome pultu, no isto tako i na samome snimaču.



Slika 4. VU metar

Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/VU_meter

Budući da je VU metar mehaničke građe, nije sposoban prikazati vrhove kompleksnog signala u istom trenu. On ne mjeri vrhove signala, već samo reagira ako se vrh “dogodi”. VU metar reagira na dolazeći signal vrlo preciznom brzinom od 300 ms. Vrhovi signala

su uvijek između 5 do 10 dB viši od referentne razine signala koju on prikazuje. Ovaj je metar koristan zbog toga što su vrhovi signala i dalje unutar granica dinamičkog raspona medija s obzirom na to da u suprotnom može doći do neželjene kompresije i distorzije na magnetnom mediju. Optimalna glasnoća na VU metru je 0 VU tj. +4 dBu. Ovom procedurom ostavljamo tzv. *headroom* u signalu koji nam omogućava prihvatljivo i sigurno spremanje signala na medij.[4].

2.3 Snimač, njegova kalibracija i snimanje

Popularni brendovi analognih magnetnih snimača su Otari, Revox, Akai, Tascam, Denon i Studer. Jedan od najcjenjenijih snimača jest 24-kanalni Studer A800 zbog svoje čvrste građe i kvalitete zvuka. Snimač često dolazi s velikim daljinskim upravljačem s osobnim postoljem, putem kojeg je moguće upravljati snimačem bez da smo u njegovoj blizini. Pomoću njega moguće je snimati, reproducirati, i premotati vrpcu.



Slika 5. Studer 24-kanalni snimač

Izvor: <https://reverb.com/fr/p/studer-a827-mch-2-24-track-analog-tape-machine-with-remote-control>

Prije samog snimanja potrebno je kalibrirati i očistiti vanjski mehanizam snimača, što podrazumijeva njegove glave za reprodukciju, brisanje i snimanje, a isto tako i vodilice za vrpcu. Kalibracija se uglavnom vrši pomoću test vrpce na kojoj se nalazi niz tonova raznih frekvencija (najčešće 500 Hz, 1 kHz, 10 kHz i 16 kHz) pomoću kojih podešavamo azimut određene glave. Pri kalibraciji se koristi osciloskop na kojemu se mogu precizno vidjeti nepravilnosti u reprodukciji. Podešavanje se izvršava putem malog odvijača koji ulazi u rupice neposredno blizu same glave. Poželjno je i povremeno demagnetizirati

glave na snimaču jer se na njima akumulira magnetni oksid nakon dulje uporabe, koji utječe na kvalitetu reprodukcije.

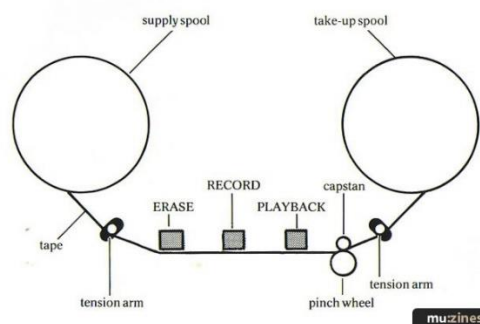
Proces snimanja vrši se tako da se magnetna vrpca navije na snimač te se pomoću daljinskog upravljača odaberu željeni kanali. Tada se pritisće gumb *record* i glava za snimanje zapisuje nadolazeći signal na magnetnu vrpcu[6].

2.3.1 *Punch in/out*

Na snimaču se također može snimati pomoću *punch in/out* tehnike. U slučaju da je glazbenik snimao gitaru i na jednom dijelu pogriješio notu, moguće ju je ispraviti putem snimanja preko mjesta greške. Ovom tehnikom pritisne se *record* samo u trenutku te krive note, gdje ju gitarist ispravi novom snimkom, nakon čega se istog trena zaustavlja snimanje[6].

2.3.2 *Overdubbing*

Tehnika *overdubbinga* omogućuje naknadno snimanje zvuka na jedan ili više kanala dok se istodobno sluša i koristi prijašnje snimljen materijal kao pratnja.



Slika 6. Raspored glava na snimaču

Izvor: <http://www.muzzines.co.uk/articles/how-it-works-tape-machines/1513>

Na slici (slika 6.) su prikazani položaji glava na snimaču. Reprodukcijska glava nalazi se znatno dalje od glava za snimanje i brisanje. Ovo stvara problem kod *overdubbinga* jer reprodukcija vrpce nije sinkronizirana sa snimanjem. Ovaj je problem riješen tako što se tijekom snimanja glava za reprodukciju ne koristi za slušanje vrpce, već glava za snimanje snima i reproducira vrpcu u isto vrijeme. Bitno je spomenuti da snimajuća glava ne reproducira vrpcu jednakom kvalitetom kao i prava reprodukcijska glava.

Nakon što je snimljen materijal zadovoljavajuće kvalitete, započinje proces miksanja snimljenog materijala preko miksnog pulta, a nakon toga je potrebno presnimati stereo izlaz iz pulta na *master* vrpcu koja se snima putem stereo snimača[3].



Slika 7. Studer stereo master snimač

Izvor: <https://www.vintagetools.de/VT-RACKS/Already-sold-gallery/STUDER-A812-2-track-tape-machine-sold.html>

3. DIGITALNI ZAPIS

Digitalni zapis je današnji standard za snimanje zvuka koji pretvara signal u binarnu formu te ga sprema na odgovarajući medij. U usporedbi sa analognim zapisu puno je pristupačniji i efikasniji za upotrebu.

3.1 Povijest

Digitalni zapis je prvotno korišten u vrlo uskim krugovima, ali je vrlo brzo zamijenio analogni zapis kao dominantni format zapisivanja zvuka u glazbenoj industriji.

3.1.1 Počeci

Izvori i počeci digitalne tehnologije postupno su se razvijali tijekom druge polovice 19. stoljeća. Tadašnja upotreba te tehnologije uglavnom se odnosila na telegraf.

Značajan razvoj ovog zapisa nastavlja se 1938. godine, kada je u Francuskoj Alec Reeves patentirao prvu varijantu PCM tehnologije. 1943. godine je tu istu tehnologiju uspješno patentirao u Americi, gdje je bila predložena za telekomunikacijske potrebe.

Prvi prijenos glasa putem digitalne tehnologije bio je u vojnoj uporabi tijekom Drugog svjetskog rata, pomoću SIGSALY opreme, a ista se namjena primijenila za DATAR sustav Kanadske vojske 1949. godine, koji je omogućio prijenos podataka preko većih daljina. 1957. godine Max Mathews je uspio umjetno generirati zvuk pomoću računala, gdje se pomoću ovoga otkrića kasnije razmatra sposobnost snimanja glazbe na računalo[7].

3.1.2 Prve komercijalne snimke

Deset godina kasnije, japanski NHK je razvio prvi monouralni PCM enkoder. Taj se uređaj krasio rezolucijom od 12 bita i 30 kHz, a njegove su se informacije spremale na magnetnu vrpcu. On je također koristio kompander kako bi proširio svoj dinamički opseg. 1969. NHK je nadogradio ovaj uređaj na stereo tj. 2 zasebna kanala za snimanje, a isto tako se sama kvaliteta zapisa povećala na 13 bita i 32 kHz.



Slika 8. NHK-ov stereo snimač

Izvor: https://sts.kahaku.go.jp/diversity/document/system/pdf/083_e.pdf



Slika 9. Album *The World Of Stomu Yamash'ta*

Izvor: <https://www.discogs.com/release/1234517-Stomu-Yamashta-The-World-Of-Stomu-Yamashta>

Pomoću ovog NHK-ovog tada još eksperimentalnog uređaja, u siječnju 1971. Denonov inženjer Dr. Takeaki Anazawa snimio je prvi komercijalni digitalni album *The World Of Stomu Yamash'ta* (*Stomu Yamash'ta*), a istom metodom isti taj mjesec snimio je *Something* (*Steve Marcus i Jiro Inagaki*). Oba su albuma bili snimljeni uživo, bez ikakvog

rezanja ili kasnije manipulacije. *Something* je u travnju 1971. stigao na police prodavaonica, i time postao prvi digitalno snimljen album pušten u prodaju.

Sljedeće godine Denon je znatno nadogradio sposobnosti digitalnog snimanja sa svojim 8- kanalnim DN-023R snimačem. On je podržavao kvalitetu 13-bitnog PCM-a sa frekvencijom uzorkovanja od 47.25 kHz, a za svoj medij je koristio istu magnetnu vrpcu korištenu za televizijsko emitiranje. DN-023R je također podržavao uređivanje vrpce, što nije bilo dostupno kod NHK-ovog snimača. Prvi snimljeni album s ovim uređajem je bio *Mozart's String Quartets K.458 and K.421 (Smetana Quartet)*, snimljen u travnju, i kasnije izdan u listopadu 1972[8].

Za dostignuća izvan Japana je bila zaslužna američka kompanija Soundstream, koja je razvila svoju varijantu digitalnog snimača, a pomoću nje je bila snimljena gotovo polovica svih albuma klasične glazbe iz 70-ih. 1976. je pomoću njihovog snimača bila snimljena opera *The Mother Of Us All (Virgil Thomson)*, ujedno i prva američka digitalna snimka. No digitalna je snimka bila snimana usporedno s analognom isključivo kao sigurnosna kopija, a nakon što je bilo zaključeno da je analogna varijanta bila bolje kvalitete, album je izdan isključivo u varijanti analognog *mastera*.

1977. godine Denon je izdao DN-034R. On je bio znatno manjeg volumena od svog predaka, a također je bio prijenosan. Ovaj model je također podržavao 8 kanala stope 47.25 kHz, no bit rate se povećao na 14 bita (koja u teoriji može biti i 15.5 bita zbog *emphasis*). Najznačajnija karakteristika ovog snimača bila je mogućnost *overdubbinga*, koji je nužan za profesionalno studijsko snimanje. Iste godine s ovim uređajem bio je snimljen i prvi američki komercijalni album, *On Green Dolphin Street (Archie Shepp)*.

Te iste godine 3M je demonstrirao prototip svojega snimača (50.4 kHz, 16 bit, 2 kanala) koji je koristio 1-inčnu magnetnu vrpcu brzine vrtnje 45 ips. Dvije godine kasnije će službeno pustiti u prodaju nadograđenu varijantu koja podržava 32 kanala. Zahvaljujući ovome uređaju je 1979. godine bio snimljen prvi pop album *Bop Till You Drop (Ry Cooder)*, a 1982. i kulturni *Nightfly (Donald Fagen)*.

U kasnim 70-ima japanska tvrtka Sony ulazi u digitalni svijet prvo sa PCM-1 enkoderom (44.056 kHz, 14-bit), a ubrzo nakon toga sa PCM-1600. Ovaj je snimač koristio Sonyjev vlastiti proizvod, U-matic kazetu, za spremanje podataka. PCM-1600 je dospio u mnoge

tadašnje profesionalne studije, obilježavajući postupno prihvaćanje uporabe digitalnih snimača u većini profesionalnih studija[8].

3.1.3 Razvoj u 80-ima

Sony 1982. uspostavlja DASH seriju snimača (*Digital Audio Stationary Head*). Medij je bila magnetna vrpca slična analognoj, no i dalje isključivo dizajnirana za uporabu za DASH snimač. Veličina vrpce ovisi o broju kanala. Za 2-kanalni snimač se koristi 0.25 inčna, a za 24/48 kanala 0.5 inčna vrpca.



Slika 10. Sony DASH snimač

Izvor: <https://www.sony.net/Products/proaudio/en/story/story03.html>



Slika 11. Mistubishi ProDigi snimač

Izvor: <https://www.worthpoint.com/worthopedia/mitsubishi-32-track-pro-digital-tape-108818611>

Zbog uporabe CRC-a za korekciju potencijalnih grešaka, vrpca se može lako editirati i rezati sa standardnom opremom koja se inače koristi za analognu ekvivalentu. 3 najpoznatija modela su bili PCM-3402(2 kanala), PCM-3324 (24 kanala), a kasnije i PCM-3348 (48 kanala). Podržana rezolucija je 16 bita sa 44.1 kHz ili 48 kHz, a kasniji model PCM-3348HR podržava rezoluciju čak i do 24 bita sa 48 kHz frekvencije uzorkovanja. Studer je također izdao dva snimača koji podržavaju DASH format. Mitsubishi je isto tako uspostavio svoju seriju ProDigi snimača koji su posebice bili popularni u Nashville sceni, no Sony je definitivno bio popularnija varijanta za snimanje digitalnim pristupom u to vrijeme. Sony kasnije razvija i DAT kazetu. DAT kazeta ne podržava tradicionalno rezanje vrpce, no ona i njezin snimač znatno su manjeg volumena te su prijenosni. U ranim 90-ima će se ovaj format sve češće početi koristiti u profesionalnim studijima.

Paralelno sa DASH i ProDigi formatima se razvijao HDR (*Hard Disk Recording*). Tvrtka New England Digital je 1982. godine nudila takvu nadogradnju za njihov Sintisajzer, a ujedno i radna stanica, Synclavier. Synclavierov *Sample-to-Disk* je bila prva komercijalna varijanta HDR-a[9]. Kasnije alternative uključuju HDU (*Hard Disk Unit*) za sintisajzer PPG Wave, i HDR za Fairlight CMI III radnu stanicu.



Slika 12. Synclavier sistem (circa 1989.)

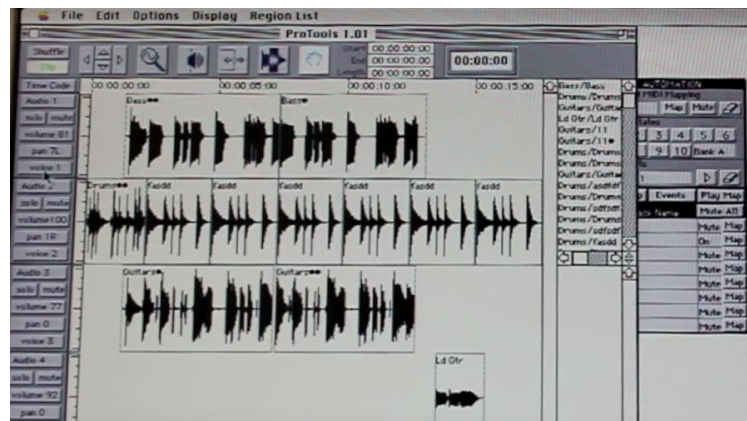
Izvor: <https://gearspace.com/gear/new-england-digital/synclavier-9600>

3.1.3 Pro Tools

1985. tvrtka Digidesign izdaje program Sound Designer za Macintosh. Taj program se prvotno isključivo koristio za editiranje zvukova spremljenih na Emulator II sintisajzeru, no nakon mnogih reizdanja za druge sintisajzere Digidesign razmatra razvijanje programa

u audio editor. Pomoću ovog programa, Macintosh računala, i specijalne audio opreme, Digidesign je razvio paket Sound Tools. S njime je dolazio Sound Designer II, jednostavni mono/stereo editor za Mac SE/ Mac II računala.

Program je ovisio o zvučnoj kartici Sound Accelerator, koja je podržavala 2 kanala rezolucije 16 bita i 44.1/48 kHz. Sound Designer II je također podržavao EQ, *time stretching*, *crossfade* i *fade in/out* efekte. Njegov file format SDII je bio prvi popularni format za digitalne audio datoteke, no današnji najčešći formati su WAV i AIFF[3].



Slika 13. Pro Tools 1.01 sučelje

Izvor: <https://www.exound.com/articles/2d5058e4-8bfe-4897-9e4e-4e6a503fffdb>



Slika 14. Pro Tools s odgovarajućim hardverom

Izvor: <https://www.muzines.co.uk/articles/digidesign-pro-tools/9294>

1991. Digidesign je izdao prvu inačicu DAW programa Pro Tools. Za njegov paket programa ProDeck (miksiranje) i ProEdit (editiranje) je bila potrebna Audiomedia zvučna kartica, koja je podržavala dva analogna i dva digitalna ulaza i izlaza (I/O). 1993. je izdan Pro Tools II, koji je spojio ProDeck i ProEdit u jedan program, i ujedno popravio mnoge nedostatke prošle inačice tog paketa. Dodatni program DAE (Digidesign Audio Engine) je također bio prisutan u paketu, koji omogućuje korištenje hardvera drugih tvrtki. Prodavši se preko 8000 kopija, Pro Tools II je postao prvi najprodavaniji DAW, a time i ubrzo postaje industrijski standard za snimanje zvuka. Tu je titulu zadržao i do današnjeg dana.

3.1.4 Današnja upotreba

Tijekom cijelih 90-ih i 2000-ih digitalna se tehnologija znatno unaprijedila, i najvažnije, svela na manje komponentata. Za današnju dostojno kvalitetnu snimku dovoljno je imati relativno snažno računalo, audio sučelje i mikrofoni ili neki drugi izvor zvuka. Makar je Pro Tools zlatni standard studijskog snimanja, postoje i mnogi drugi popularni programi za editiranje zvuka, kao što su Ableton, Logic Pro, Studio One, Reaper, Digital Performer i FL Studio.



Slika 15. Današnji Pro Tools (inačica 2022.4)

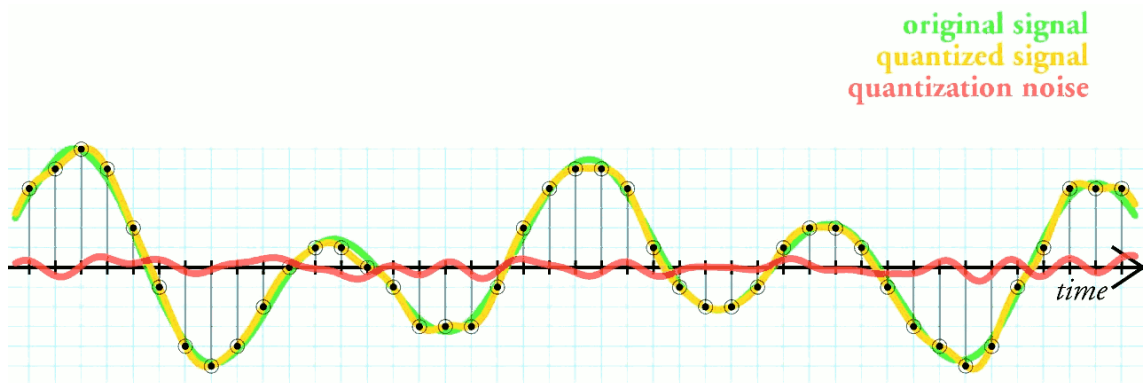
Izvor:

https://shop.avid.com/apmp/ccrz__ProductDetails?viewState=DetailView&sku=DYNA20001&utm_campaign=ultimate-savings-50-offptu&utm_source=avidlink&utm_medium=avidapp&cartID=

3.2 Terminologija i način funkcioniranja

Digitalni audio u pravilu sadržava snimku izrazito visoke kvalitete koja se može savršeno reproducirati, bez ikakve buduće degradacije. Kako bi ovo bilo moguće, PCM enkoder pretvara neprestani analogni val zvuka u binarni kod. Tu dolazi do kvantizacije i uzorkovanja signala, a ta se pretvorba postiže s ADC uređajem, tj. *Analog To Digital Converterom*. Kako bi se enkodirani sadržaj mogao reproducirati, mora se provući kroz DAC tj. *Digital To Analog Converter*, koji vraća signal u prvobitno analogno stanje. Analogni signal koji dolazi iz DAC-a treba svaki put zvučati identično, dok god nije medij slučajno postao korumpiran ili je bio modificiran. Kako bi se osiguralo da je digitalni signal spremljen s gotovo istom razinom detalja kao njegov izvor mora se koristiti odgovarajući *Bit Depth* i *Sample Rate*[4].

3.2.1 Kvantizacija i uzorkovanje signala



Slika 16. Reprzentacija digitalno spremljenog vala

Izvor: [https://en.wikipedia.org/wiki/Quantization_\(signal_processing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Quantization_(signal_processing))

Analogni signal, ušavši u ADC, pri pretvorbi u digitalni zapis podvrgnut je procesu kvantizacije (*quantization*) i uzorkovanja (*sampling*). Uzorkovanje pretvara strujni signal u niz brojeva, a kvantizacija pretvara te brojeve u brojeve koji se mogu zapisati u diskretnom setu vrijednosti binarnog koda. Najčešće, te vrijednosti zapisane su kao binarna riječ fiksne duljine. Najčešće veličine binarnih riječi i razina kvantizacije jesu 8 bita(256 razina), 16 bita(65,536) i 24 bita (16.8 milijuna razina).

Razliku između ulazne vrijednosti signala i njegove kvantizirane vrijednosti zovemo kvantizacijskom greškom, a ona se ponekad modelira kao kvantizacijski šum zbog svoje stohastičke prirode. Što je razina kvantizacije veća, to je kvantizacijski šum manji.

Kada digitalni zapis želimo reproducirati, onda ga šalјemo kroz DAC koji pretvara digitalni kod u strujni signal prikladan za tradicionalni razglas[10].

3.2.2 Bit Depth

Bit Depth određuje maksimalan raspon dinamike signala, tj. Dynamic Range. Što je broj bitova veći, dobiva se kvalitetniji SQNR (*Signal-to-quantization-noise-ratio*). 16-bitna rezolucija mođe imati 65,536 jedinstvenih vrijednosti, a taj se broj povećava na 16,777,216 različitih vrijednosti ako je rezolucija 24 bita. Sa visokim bit depth-om imamo mogućnost snimanja izrazito dinamičnih signala, bez čujne distorzije ili grešaka pri kvantizaciji.

SQNR objašnjava odnos maksimalne jačine signala i kvantizacijskog šuma. U idealnom ADC uređaju SQNR mođeimo izračunati putem sljedeće formule:

$$SQNR = 20\log_{10}(2^Q) \approx 6.02 \cdot Q \text{ dB}$$

Formula 1. SQNR jednadžba

gdje je Q broj bitova, a konačna jedinica dB (decibel). U slučaju da je Q jednak 16, SQNR će iznositi 96.33 dB, što je vrlo blizu specifikaciji audio CD SNR-a. Dodavanjem jednog bita povećavamo SQNR za otprilike 6 dB.

U teoriji, 24-bitni zapis bi trebao podržavati SQNR od 144 dB, no zbog današnjih ograničenja u IC tehnologiji, moguć je maksimalni SQNR od 123 dB, što je efektivno bit depth od 21 bita.

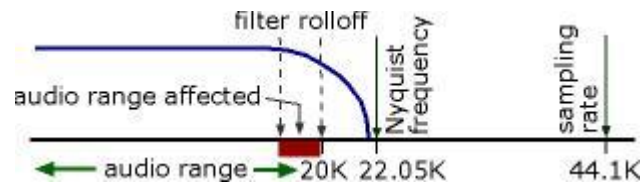
Bit Depth ne utječe na mogući raspon frekvencije. Taj parametar ovisi o frekvenciji uzorkovanja (*Sample Rate*)[4].

3.2.3 Sample Rate

Sample Rate tj. frekvencija uzorkovanja mjeri se u Hz (herc). To je broj digitalnih uzoraka snimljenih u sekundi ($f_s = 1/T$). Ako je frekvencija uzorkovanja 48 kHz, to znači da zapis sadrži 48,000 uzoraka po sekundi. Pomoću frekvencije uzorkovanja također se određuje raspon frekvencija koje se mogu snimiti. Prema Nyquist-Shannon teoremu, stopa uzorkovanja mora biti dvostruko veće vrijednosti od najviše frekvencije koju se želi snimati ($f_s/2$). Time se smanjuje distorzija prouzrokovana efektom *aliasing*.

Budući da ljudsko uho ima relativni raspon 20-20,000 Hz, obično se koristi frekvencija uzorkovanja od 44.1 kHz, koja u teoriji može snimati frekvencije do 22.05 kHz.

ADC konverteri protežu signal kroz *Low Pass Filter* (LPF) koji filtrira frekvencije iznad Nyquistove granice, što znači da je 20 kHz praktička granica za stopu od 44.1 kHz. Zbog ovoga danas je prihvatljivije snimanje sa stopom od 48 kHz ili više, s obzirom na to da se tako smanjuje efekt *aliasinga* i LPF-a, a razlika u megabajtima je zanemariva [11].



Slika 17. Utjecaj low pass filtera na zapis

Izvor: https://cmtext.indiana.edu/digital_audio/chapter5_rate.php

3.2.4 DPCM i ADPCM

PCM signal nije temeljen na samo jednoj metodi zapisa signala. Osim klasičnog linearnog PCM-a postoji i DPCM (*Differential Pulse Code Modulation*). DPCM enkodira PCM vrijednosti kao razlike između trenutne i predviđene vrijednosti. Algoritam predviđa sljedeći uzorak znajući prijašnje uzorke, i tako enkoder sprema samo razlike između predviđanja i stvarne vrijednosti. Ako je predviđena vrijednost dovoljno precizna, može se koristiti manje bita za zapis nego što bi to zahtijevala prava vrijednost. Ova metoda zapisa u usporedbi s linearnim PCM-om smanjuje broj bitova po uzorku za otprilike 25%.

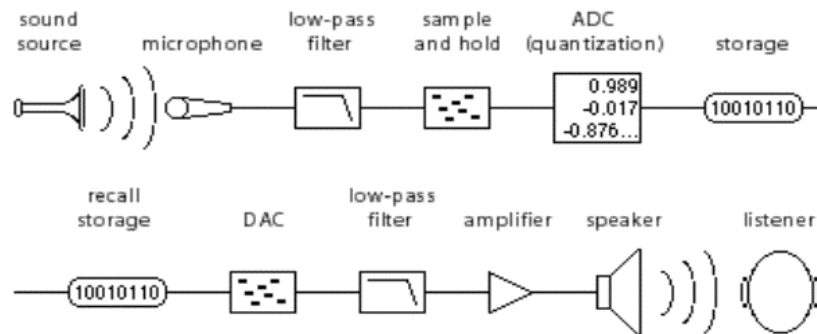
ADPCM (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*) je varijanta DPCM-a koja varira veličinu razine kvantizacije, a ona se najčešće nalazi u telekomunikacijskoj uporabi[10].

3.3 Oprema i tipični proces snimanja

U današnje doba snimanje zvuka dostupno je na gotovo svakom računalu ili mobitelu. Profesionalni studiji danas koriste kombinaciju analognih i digitalnih komponenata za snimanje i reprodukciju zvuka, no sam se proces može svesti na puno manje komponenata ako je u pitanju kućni studio. Današnja oprema za digitalno snimanje znatno je manjeg volumena nego što je ikad prije bila, i pristupačnija je amaterima zbog puno niže cijene za *entry-level* uređaje. Prvotno, digitalni zapis nije imao stroži standard kao danas. Prije nego što je HDD postao pristupačan i jeftin, digitalni zapis se spremao na magnetnu

vrpču, i ujedno se snimao putem određenog magnetnog snimača. Tijekom 90-ih veličina HDD-a znatno se unaprijedila, što je preselilo digitalno snimanje gotovo isključivo na takav format. Za razliku od digitalne opreme, analogna oprema nije se znatno promijenila od kraja dvadesetog stoljeća.

Potrebno nam je računalo (katkad može biti i mobitel) s odgovarajućim softverom, zvučna kartica (audio interface) i izvor signala[4].



Slika 18. Dijagram spremanja i reprodukcije digitalnog zapisa

Izvor: <https://web.mat.upc.edu/lali.barriere/mim/apuntsMMintro.pdf>

3.3.1 Softver

Program za snimanje i editiranje zvuka može biti bilo koji, no u industriji se najčešće koristi Pro Tools. Ovaj program barata vrlo naprednim tehnikama editiranja i miksanja zvuka, i ne koristi se isključivo za glazbu, već i za ostale namjene dizajniranja zvuka u filmovima i televiziji. Ostale alternative uključuju Reaper, Cubase, ili Studio One, ali i besplatni program Audacity.

3.3.2 Zvučna kartica

Zvučna kartica uglavnom se spaja na računalo preko USB ili Thunderbolt priključka. Ona vrši pretvorbu signala u digitalni zapis putem svojih ulaza, a isto tako i obratno putem svojih izlaza. Tipične konfiguracije ulaza i izlaza su 2, 4, 8, 16 i 24. Kartice s manje ulaza najčešće sadrže interno predpojačalo, dok kartice sa 24+ ulaza obično zahtijevaju neko eksterno predpojačalo. Cijena varira o broju ulaza/izlaza, samoj kvaliteti građe, no velik čimbenik koji utječe na cijenu također je i ugrađeno predpojačalo ako je prisutno[3, 4].



Slika 19. SSL2 zvučna kartica

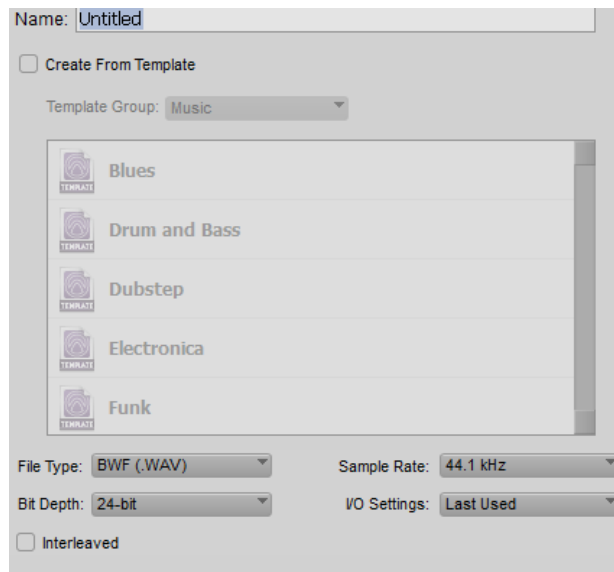
Izvor: <https://www.sweetwater.com/store/detail/SSL2--solid-state-logic-ssl2-usb-audio-interface>

3.3.3 Proces

Za demonstraciju koristiti će se Pro Tools 12(PT12) i zvučna kartica SSL2.

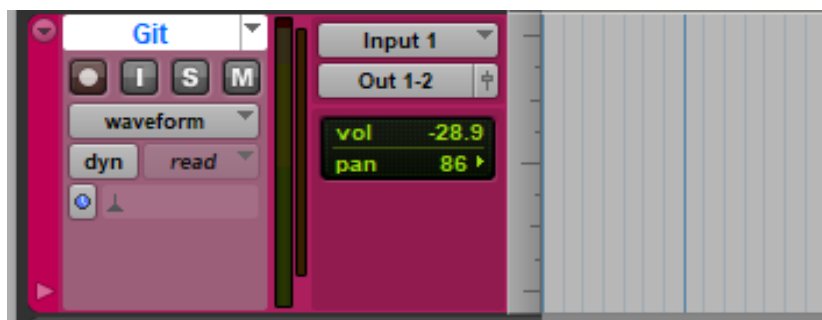
Nakon priključivanja zvučne kartice, potrebno je instalirati nužne ASIO drivere. Tada se pokreće PT12 gdje se odabire SSL2 kao aktivno sučelje. Tu se također može birati *buffer size*, koji govori u koliko uzoraka računalno može procesuirati dolazeći signal. Što je *buffer size* veći, to je veće kašnjenje signala (*latency*). Što je *buffer size* manji, tako je i kašnjenje signala manje. Ako računalno nije dovoljno snažno za mali *buffer size*, može doći do zvučnih grešaka.

Pri stvaranju novog projekta PT12 traži da se odabere *bit depth*, *sample rate* i format u kojem će se zapis spremati. U ovoj demonstraciji koristiti će se WAV format rezolucije 24 bita i 44.1 kHz [osobni izvor].



Slika 20. Stvaranje novog projekta u PT12

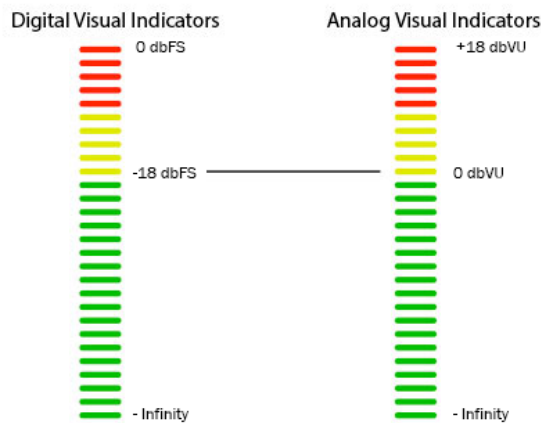
Izvor: osobni izvor



Slika 21. Stvaranje novog kanala u PT12

Izvor: osobni izvor

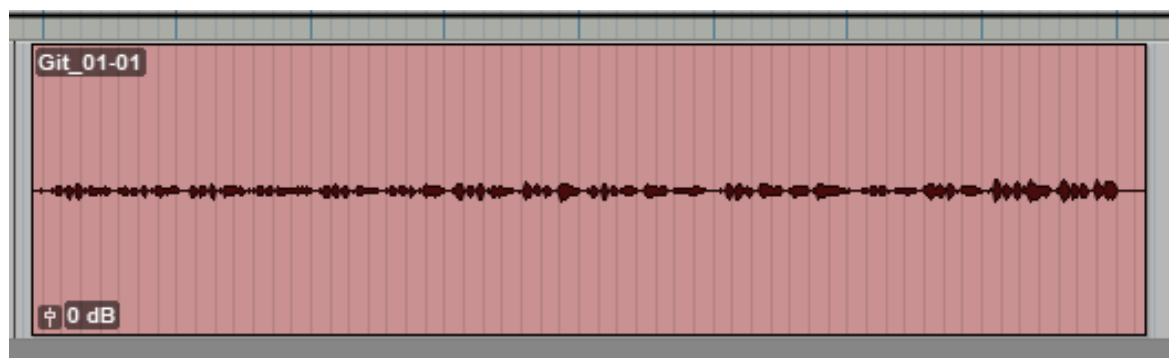
U PT12 stvara se novi kanal gdje se bira ulaz broj 1. Na taj ulaz spojen je dinamički mikrofon pomoću kojega se snima električna gitara. Kako bi se postigao dovoljno glasan signal, može se upravljati jačinom predpojačala na SSL2-u (dok gitara svira) dok signal ne bude zadovoljavajući. Jačinu signala moguće je motriti u PT12, no i na samome SSL2 sučelju.



Slika 22. Usporedba dBFS i VU metra

Izvor: <https://www.realhd-audio.com/?p=1455>

-12 dB FS (decibel full scale) smatra se optimalnom jačinom signala, što je u analognome svijetu vrlo blizu 0 VU (+4 dBu). U slučaju da se želi pratiti signal putem VU metra, može se upotrijebiti plug-in inačica tog metra. Potrebno je izbjegavati prijestup signala preko 0 dB FS, s obzirom na to da tada dolazi do *clippinga*. Signal zbog svoje glasnoće ne može se pravilno zapisati i dolazi do vrlo neugodne distorzije signala tijekom reprodukcije. Nakon što su svi uvjeti zadovoljeni, mora se označiti potreban kanal za snimanje i gumb za snimanje (*record*). Tada se pritisne gumb *play* i signal se počinje snimati. Nakon snimanja potrebno je pritisnuti *stop*. Sada je moguće preslušati snimku, manipulirati njome i eksportirati je u WAV ili MP3 formatu [osobni izvor].



Slika 23. Prikaz snimljenog zapisa u PT12

Izvor: osobni izvor

4. PREDNOSTI I NEDOSTATCI ANALOGNE I DIGITALNE TEHNOLOGIJE

Obadva formata imaju svoje prednosti i mane, koji su vrlo različiti ovisno o kojem zapisu je riječ.

4.1 Pozadinski šum

Pri reprodukciji analogne magnetne vrpce može se jasno čuti pozadinski šum. On je uvijek prisutan na analognome mediju, a njegova jačina i prisutnost ovisi o kvaliteti opreme i materijalu od kojeg je načinjena vrpca. Digitalni zapis ne pati od ovakvog problema jer se zapisuje u nulama i jedinicama koje se tek kasnije dekodiraju u analogni signal (osim ako je šum bio prisutan u izvornom signalu).

Kako bi se ublažila ova pojava može se upotrebljavati uređaj za smanjenje šuma (*noise reduction*). Poznati sustavi za smanjenje šuma jesu DBX i Dolby SR. Ovi uređaji iznimno su korisni pri kopiranju analogne vrpce na drugu vrpcu kako bi se smanjila generacijska degradacija [3].



Slika 24. DBX modul za redukciju šuma

Izvor: https://www.hifiengine.com/manual_library/dbx/224.shtml

4.2 Generacijska degradacija

Analogni se zapis tijekom kopiranja mora pretvoriti natrag u strujni signal kako bi se mogao spremati na medij. Budući da se tijekom kopiranja kopira izlaz iz magnetnog snimača/čitača, kopira se i pozadinski šum na sljedeću kopiju. Zbog ovoga je svaka sljedeća kopija prethodne kopije znatno lošije kvalitete i većeg šuma.

Za razliku od analognog medija, digitalne su kopije identične izvornome materijalu i mogu se umnožavati bez ikakve generacijske degradacije. Digitalni zapis isključivo se sastoji od nula i jedinica, što omogućuje jasno i precizno kopiranje izvornog materijala. Digitalni zapis ne zahtijeva pretvorbu u analogni signal, tj. reprodukciju tijekom kopiranja jer se sam zapisuje u binarnom obliku.

Ovo ne znači da je digitalni medij otporan na gubitak podataka, no zbog snažnog algoritma korekcije grešaka fatalne greške u zapisu mogu se ispraviti do određene razine [3].

4.3 Fizička degradacija

U teoriji i analogni i digitalni zapis može postati oštećen ili istrošen zbog pogrešne upotrebe ili lošeg održavanja, no digitalni zapis ima prednost spremanja na razne medije promjenjive trajnosti, a neki od tih medija ne reproduciraju se putem pomičnog mehanizma. Analogna vrpca mora biti u fizičkom kontaktu s mehanizmom snimača i glavom za reprodukciju, što nakon duljeg korištenja smanjuje svojstva vrpce. Zapisane informacije mogu se početi gubiti (često visoke frekvencije), a taj je zapis nemoguće identično kopirati na drugu noviju vrpcu bez nekog gubitka u kvaliteti.



Slika 25. Oštećena magnetna vrpca pogođena sticky-shed sindromom

Izvor: <https://archivistapprenticeship.wordpress.com/2017/12/13/sticky-shed-syndrome-in-audiotapes/>

Neke magnetne vrpce znaju biti pogođene *sticky-shed* sindromom zbog nakupljene vlage na ljepilu koje lijepi magnetne okside na vrpcu. Takve je vrpce potrebno ostaviti u pećnici na određeno vrijeme kako bi se uklonila vlaga. Proces traje od 1 do 8 sati na

temperaturama između 50-60 °C. Ispečena vrpca može se normalno koristiti na nekoliko mjeseci dok opet ne počne pokazivati simptome *sticky-shed* sindroma [12, 3].

4.4 Editiranje i modificiranje zapisa

Digitalni se zapis u današnje doba snima i editira pomoću računala. Zbog svoje brzine i nelinearnog pristupa, digitalni zapis spremljen na tvrdi disk moguće je editirati bez ikakvog destruktivnog utjecaja. Proces rezanja male sekcije ili preuređivanja audio zapisa lako je izvediv u samo nekoliko klikova mišem, a proces je povratan.



Slika 26. Stolić za rezanje i lijepljenje vrpce zajedno sa britvom i ljepljivom vrpcom

Izvor: https://www.runwayproaudio.com/roxdon_tape_splicing_block_plus_tape.htm

Analogna je vrpca linearni medij, ograničena na fizičko destruktivno rezanje i lijepljenje. Editiranje se vrši na malom stoliću ugrađenom na snimaču, gdje se putem žileta i ljepljive vrpce magnetna vrpca reže i spaja. Proces traje dulje nego digitalno editiranje te zahtijeva veću preciznost zbog destruktivne prirode. Kako bi se saznalo gdje se vrpca mora fizički rezati, potrebno je ručno pomicati vrpcu dok se ne čuje početak tražene sekcije na snimci. Tada se vrpca označava markerom ili olovkom i postavlja na stolić za rezanje. Vrpcu je preporučeno rezati kutom od 45° ili 60°, što osigurava čišći prijelaz između dvaju dijelova vrpce. Nakon toga učvršćuju se dijelovi vrpce ljepljivom vrpcom i presluša se dobiveni rezultat [13, 14].

4.5 Cijena i održavanje

Oprema za digitalno snimanje danas je vrlo kompaktna i pristupačna i koristi se skoro uvijek zajedno sa računalom. Kako bi se kvalitetno mogao snimiti nekakav signal potrebno nam je računalo, zvučna kartica i izvor zvuka. Zvučne kartice variraju po cijeni,

no *entry-level* kartice koštaju između tisuću i dvije tisuće kuna. Nude se razni programi za snimanje i manipulaciju zapisa, a neki su od njih besplatni. Održavanje opreme nije strogo i često kao kod analogne.

Analogna oprema nije se znatno promijenila od standardizacije digitalnog snimanja u 90-ima. Puno je pristupačnija, no i dalje znatno skuplja od digitalne, i zauzima puno mjesta. Industrijski standardi poput Studer snimača i dalje koštaju preko 20 tisuća kuna, ako ne i više. Uz snimač je potrebno kupiti magnetnu vrpca koja isto ima svoju cijenu. Za analognu opremu potrebno je dnevno održavanje tj. čišćenje mehanizma i kalibracija glava kako bi se signal mogao uopće kvalitetno snimati i reproducirati [3].

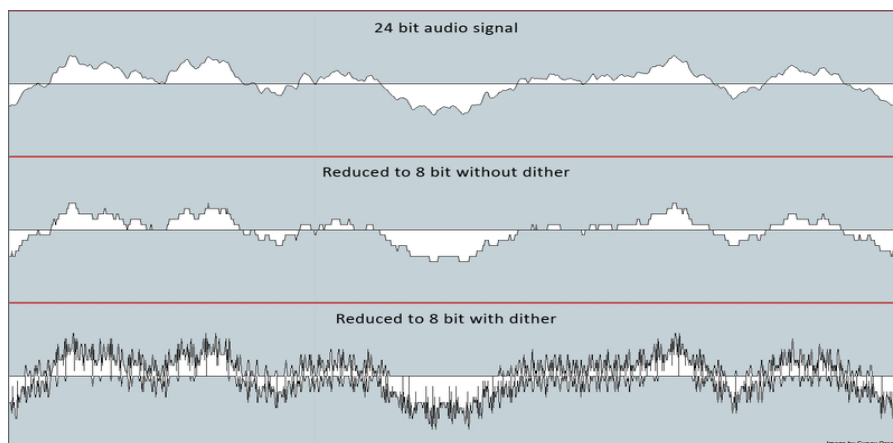
4.6 Dugotrajnost opreme

Makar se analogna oprema nije znatno unaprijedila od kraja dvadesetog stoljeća, njezin proces ostao je vrlo sličan, pa tako i njezin format. Magnetna vrpca može se reproducirati na drugim snimačima uz nužnu kalibraciju, ali je tehnologija relativno ista.

Snimanje digitalnog zapisa danas je čvrsto povezano sa računalnim softverom, koji se stalno mijenja. Starije projekte više nije moguće otvoriti ako je softver nadograđen na previsoku verziju. Zvučne kartice također su povezane sa softverom tj. driverom koji nije kompatibilan sa svakim računalom ili operacijskim sustavom. Zbog ovoga je stalno potrebno nadograđivati opremu i softver ili odustati od nadogradnje opreme[osobni izvor].

4.7 Greške pri kvantizaciji

U nekim okolnostima morat će se promijeniti rezolucija projekta ili audio zapisa. Pri pretvorbi digitalnog signala u drugu (često manju) rezoluciju, mogu se dogoditi greške pri kvantizaciji koje stvaraju nepotrebnu distorziju u signalu. Kako bi se ova pojava minimizirala, može se upotrebljavati *dither plugin* pri renderiranju audio zapisa. *Dither plugin* dodaje tihi šum koji randomizira kvantizacijsku distorziju te ju čini manje neugodnom uhu[15].



Slika 27. Usporedba originalnog 24-bitnog zapisa, 8-bitne konverzije, i 8-bitne konverzije sa ditheringom

Izvor: <https://emastered.com/blog/what-is-dithering-audio>

ANALOGNI ZAPIS	DIGITALNI ZAPIS
Sadrži pozadinski šum zbog fizičkih svojstva magnetnog medija.	Ne sadrži pozadinski šum, već potencijalni kvantizacijski šum.
Tokom kopiranja dolazi do generacijske degradacije	Omogućava bezbrojno umnožavanje kopija, bez gubitka kvalitete.
Ukoliko se vrpca ne tretira dobro, dolazi do raznih oblika fizičke degradacije koji nepovratno oštećuju zapis.	Zapis nije ograničen na jedan medij, te fizička degradacija ovisna o mediju, no greške se mogu djelomično ispraviti pomoću algoritma korekcije grešaka.
Zapis se sprema na magnetni medij, koji je linearne i destruktivne prirode.	Digitalni zapis se sprema na tvrdi disk te je njegov pristup ne-linearan i omogućava ne-destruktivno editiranje.
Cijena je visoka, čak i za najjeftiniju opremu. Zahtjeva dnevnu kalibraciju i čišćenje. Zauzima puno prostora.	Oprema je vrlo pristupačna i jeftina, također lako zamjenjiva. Zauzima puno manje prostora od analogne, te je lako primjenjiva u manjim prostorima.
Analogna oprema je uglavnom vrlo standardizirana, pošto se tehnologija nije mijenjala u zadnjih 20 godina, što upućuje na vrlo jasno korištenje opreme neovisno o njezinoj starosti.	Digitalna oprema se mahnito mijenja svake godine, pošto ovisi o softverskoj podršci. Zbog toga može doći do nepodudaranja zapisa sa određenim hardverom i softverom

Tablica 1. Usporedba prednosti i nedostataka analognog i digitalnog zapisa

Izvor: prikaz autora

5. ZAKLJUČAK

Digitalna tehnologija je riješila razne probleme analognog medija. Ne zahtijeva pretjerano održavanje te je oslobođena raznih fizičkih tj. mehaničkih ograničenja magnetne vrpce, kao što je pozadinski šum, generacijska i fizička degradacija. Digitalni medij se može neograničeno umnožavati, te je svaka kopija identična, bez ikakve generacijske degradacije, svojstvene analognom mediju. Zahvaljujući snažnom algoritmu za korekciju grešaka, digitalni medij je čitljiv čak i u oštećenom stanju. Osim toga ne prati ga pozadinski šum kao magnetnu vrpcu, no moguć je kvantizacijski šum ako je zapis neispravno snimljen ili pretvoren u niže rezolucije.

Editiranje i modificiranje zapisa izrazito je brzo i efikasno u usporedbi s fizičkim rezanjem analogne magnetne vrpce, koja je destruktivne prirode. Ovo je omogućilo širu uporabu digitalnog snimanja za vlastite potrebe, a ne samo u profesionalnim studijima. Kod analognog zapisa vrpca se mora ručno rezati, što može ponekad biti neprecizno. Preveliko odstupanje od željenog reza ili lijepljenja može izazvati loš prijelaz između dvije vrpce ili u najgorem slučaju nepopravljivu štetu.

Budući da je digitalno snimanje danas čvrsto povezano s računalnim softverom, moguće je koristiti profesionalne programe i opremu s znatno manjim troškom. No digitalna se oprema stalno mijenja te zahtijeva konstantnu nadogradnju ako se želi baratati najnovijim metodama i tehnikama snimanja.

Nakon usporedbe ova dva zapisa može se zaključiti da je danas digitalni zapis daleko isplativiji, zbog svoje kvalitete, jednostavnosti uporabe, i brže mogućnosti obrade.

LITERATURA

- [1] PsSpatialAudio, *Early Recordings And How To Deal With Them*, dostupno na: <http://pspatialaudio.com/acoustic%20recordings.htm>, pristupljeno 7. srpnja 2022.
- [2] Engel F., Hammar P.(2006). *A Selected History of Magnetic Recording*, dostupno na: https://www.richardhess.com/tape/history/Engel_Hammar--Magnetic_Tape_History.pdf, pristupljeno 20. lipnja 2022.
- [3] Ballou G.(2008). *Handbook for Sound Engineers, Fourth Edition*, Elsevier, Burlington
- [4] Owsinski B. (2017). *The Recording Engineer's Handbook, Fourth Edition*, Bobby Owsinski Media Group, Burbank
- [5] Görne T. (2008). *Tontechnik*, Carl Hanser Verlag, München
- [6] Eargle J. (1992). *Handbook Of Recording Engineering, Second Edition*, Springer Science+Business Media, New York
- [7] Matthew T., *The Man Who Made His Computer Sing: Max Mathews & the Invention of Digital Music*, dostupno na: <https://5mag.net/features/max-mathews-inventor-digital-music/>, pristupljeno 7. srpnja 2022.
- [8] Anazawa T. (2014). *Historical Development of Analog Disk Recording Technology and Artifacts Now in Existence*, National Museum of Nature and Science Technology Systematization Survey Report, Vol.21, str. 1.-77.
- [9] *Synclavier History*, dostupno na: <http://www.500sound.com/synclavierhistory.html>, pristupljeno 7. srpnja 2022.
- [10] Pohlmann K. C. (2011). *Principles of Digital Audio, Sixth Edition*, McGraw-Hill Education, New York
- [11] Introduction To Computer Music, *Chapter Five: Digital Audio*, dostupno na: https://cmtext.indiana.edu/digital_audio/chapter5_rate.php, pristupljeno 7. srpnja 2022.
- [12] Hess R. L. (2008). *Tape Degradation Factors and Challenges in Predicting Tape Life*, ARSC Journal XXXIV, str. 240.-274.

[13] Holkeboer J., *An Intro to Analog Tape Splicing & Editing*, dostupno na:
<https://tapeop.com/tutorials/11/intro-analog-tape-splicing-and-editing-and-tape-loops/>,
pristupljeno 7. srpnja 2022.

[14] Gilby P., *Tape Editing Techniques*, dostupno na:
<http://www.muzines.co.uk/articles/tape-editing-techniques/2840>, pristupljeno 7. srpnja
2022.

[15] Dickreiter M., Dittel V., Hoeg W., Wöhr M.(2014). *Handbuch der
Tonstudioteknik*, Strauss GmbH, Mörlenbach

POPIS SLIKA

<i>Slika 1. Fonograf</i>	2
<i>Slika 2. Les Paulov Ampex 8-kanalni snimač</i>	4
<i>Slika 3. Ampex 456 master vrpca</i>	5
<i>Slika 4. VU metar</i>	6
<i>Slika 5. Studer 24-kanalni snimač</i>	7
<i>Slika 6. Raspored glava na snimaču</i>	8
<i>Slika 7. Studer stereo master snimač</i>	9
<i>Slika 8. NHK-ov stereo snimač</i>	11
<i>Slika 9. Album The World Of Stomu Yamash'ta</i>	11
<i>Slika 10. Sony DASH snimač</i>	13
<i>Slika 11. Mistubishi ProDigi snimač</i>	13
<i>Slika 12. Synclavier sistem (circa 1989.)</i>	14
<i>Slika 13. Pro Tools 1.01 sučelje</i>	15
<i>Slika 14. Pro Tools s odgovarajućim hardverom</i>	15
<i>Slika 15. Današnji Pro Tools (inačica 2022.4)</i>	16
<i>Slika 16. Reprezentacija digitalno spremljenog vala</i>	17
<i>Slika 17. Utjecaj low pass filtera na zapis</i>	19
<i>Slika 18. Dijagram spremanja i reprodukcije digitalnog zapisa</i>	20
<i>Slika 19. SSL2 zvučna kartica</i>	21
<i>Slika 20. Stvaranje novog projekta u PT12</i>	22
<i>Slika 21. Stvaranje novog kanala u PT12</i>	22
<i>Slika 22. Usporedba dBFS i VU metra</i>	23
<i>Slika 23. Prikaz snimljenog zapisa u PT12</i>	23
<i>Slika 24. DBX modul za redukciju šuma</i>	24
<i>Slika 25. Oštećena magnetna vrpca pogođena sticky-shed sindromom</i>	25
<i>Slika 26. Stolić za rezanje i lijepljenje vrpce zajedno sa britvom i ljepljivom vrpcom</i> ..	26
<i>Slika 27. Usporedba originalnog 24-bitnog zapisa, 8-bitne konverzije, i 8-bitne konverzije sa ditheringom</i>	28

POPIS TABLICA

Tablica 1. Usporedba prednosti i nedostataka analognog i digitalnog zapisa.....28