



Univerza v Ljubljani
Fakulteta *za elektrotehniko*

UČBENIK

MULTIMEDIJSKI SISTEMI

Neskončno možnosti, nešteto priložnosti.

Klemen Pečnik

Žana Juvan

Matevž Pogačnik



Katalogni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in
univerzitetni knjižnici v Ljubljani

COBISS.SI-ID 136992515

ISBN 978-961-243-445-8 (PDF)

URL: <https://multimedija.info/ucbenik/>

Copyright © 2023 Založba FE. All rights reserved.
Razmnoževanje (tudi fotokopiranje) dela v celoti ali po delih
brez predhodnega dovoljenja Založbe FE prepovedano.

Založnik: Založba FE, Ljubljana

Izdajatelj: Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana

Urednik: prof. dr. Sašo Tomažič

Recenzenta: prof. dr. Andrej Kos, prof. ddr. Iztok Humar

Kraj in leto izida: Ljubljana, 2023

1. elektronska izdaja

Kazalo vsebine

1	Uvod v multimedijske sisteme	1
2	Kompresija in kompresijski postopki.....	3
2.1	Kodek.....	5
2.2	Ločljivost videa (razmerja).....	6
2.3	Bitni pretok.....	6
2.4	Število slik na sekundo in prepletanje.....	7
2.5	Kodna shema – razdalja med ključnimi okvirji	7
2.6	360-stopinjski video	8
3	Oprema za zajem in obdelavo avdio-vizualnih vsebin	11
3.1	Zvok.....	12
3.2	Mikrofoni.....	14
3.3	Audio mešalna miza	18
3.4	Video kamera.....	19
3.4.1	PTZ video kamere	22
3.5	Video mešalna miza	22
3.5.1	Tipi video mešalnih miz.....	23
3.5.2	Časovna neuskkljenost različnih video virov	24
3.6	Stativi.....	25
3.7	Povezave	26
3.8	Inštrumenti	27
3.8.1	Merjenje svetlostne komponente video signalov	27
3.8.2	Merjenje barvne komponente video signalov	30
3.9	RTV produkcija na protokolu IP.....	33
4	Prenos avdio-vizualnih vsebin.....	37
4.1	FM in DAB+ – tehnologije radiodifuznega oddajanja radijskih vsebin.....	39
4.1.1	Prenos signalov in frekvenčna področja	39
4.1.2	FM radio.....	41
4.1.3	DAB+ radio.....	42
4.2	DVB-T – tehnologije radiodifuznega oddajanja televizijskih vsebin.....	43
4.2.1	Prenosni tok in multipleksiranje.....	45
4.2.2	Tabele in opisovanje multipleksa	45
4.2.3	Kanalsko kodiranje	47
4.2.4	Modulacije.....	48
4.2.5	Kapaciteta multipleksa v prenosnem kanalu	51
4.2.6	DVB-T v Sloveniji.....	52
4.3	Druge tehnologije radiodifuznega oddajanja.....	53
4.3.1	Tehnologija prizemnega oddajanja televizijskih programov DVB-T2	54
4.3.2	Tehnologije satelitskega in kabelskega oddajanja DVB-C/C2 in DVB-S/S2.....	54
4.4	Oddajanja televizijskih in radijskih vsebin z internetnimi tehnologijami	54

4.4.1	Tehnologije in sistemi IPTV	55
4.4.2	Pretočne storitve.....	57
5	Načrtovanje uporabniških vmesnikov in uporabniške izkušnje	59
5.1	Pravila za snovanje uporabniške izkušnje.....	60
5.1.1	Potek uporabniško usmerjenega načrtovanja vmesnikov	60
5.1.2	Oblikovalni sistem uporabniških vmesnikov	62
5.1.3	Prilagodljivi uporabniški vmesniki	64
5.1.4	Osnovna pravila načrtovanja uporabniškega vmesnika	65
5.2	Evalvacije uporabniških vmesnikov.....	66
6	Zagotavljanje dostopnosti multimedijskih vsebin.....	69
6.1	Zagotavljanje dostopnosti na spletu.....	70
6.1.1	Zaznavanje.....	70
6.1.1.1	Tekstovne alternative	71
6.1.1.2	Časovni mediji	71
6.1.1.3	Prilagodljivost.....	71
6.1.1.4	Razločljivost.....	72
6.1.2	Operabilnost.....	72
6.1.2.1	Dostopnost preko tipkovnice.....	72
6.1.2.2	Dovolj časa	72
6.1.2.3	Napadi.....	73
6.1.2.4	Navigacija.....	73
6.1.2.5	Vnosne modalitete.....	74
6.1.3	Razumevanje	74
6.1.3.1	Berljivost.....	74
6.1.3.2	Predvidljivost.....	74
6.1.3.3	Pomoč pri vnosu.....	74
6.1.4	Robustnost.....	75
6.1.4.1	Kompatibilnost.....	75
6.2	Mehanizmi zagotavljanja dostopnosti spletnih strani.....	75
6.3	Evalvacija dostopnosti spletnih strani.....	76
6.4	Zagotavljanje dostopnosti televizijskih vsebin	77
6.4.1	Zagotavljanje dostopnosti televizijskih vsebin za gluhe in naglušne.....	77
6.4.2	Zagotavljanje dostopnosti televizijskih vsebin za slepe in slabovidne.....	79
7	Sklep	81

Kazalo slik

Slika 1: Odprt in zaprt GOP	8
Slika 2: Primeri različnih GOP	8
Slika 3: Ekosistem virtualne resničnosti	9
Slika 4: Vidno polje v 360° pogledu	9
Slika 5: Zgradba dinamičnega mikrofona	14
Slika 6: Zgradba kondenzatorskega mikrofona	15
Slika 7: Zgradba tračnega mikrofona	16
Slika 8: Smerni diagrami mikrofонов	17
Slika 9: Frekvenčna odziva in smerna diagrama mikrofонов Neumann TLM 103 in Shure VP64	18
Slika 10: Shema objektiva profesionalne video kamere	20
Slika 11: Osnovne stopnje zaslonke ($f/1.4 - f/8$)	21
Slika 12: Sinhronizacija virov	24
Slika 13: Primer kompozitnega signala črno-bele (zgoraj) in barvne slike (spodaj)	28
Slika 14: Absolutne vrednosti (amplitude in časa) sinhronizacijskega dela kompozitnega signala	29
Slika 15: Praktičen primer uporabe waveforma	30
Slika 16: Primer SMPTE HD barvnega vzorca	31
Slika 17: Izris vektorskopa testne slike	31
Slika 18: Mejne vrednosti posamezne točke na vektorskopu	32
Slika 19: Praktičen primer uporabe vektorskopa	32
Slika 20: Primer sodobnega multimedijskega sistema temelječega na tehnologiji IP	34
Slika 21: Sistemi za sekundarni prenos vsebin	38
Slika 22: Razdelitev radijskega spektra	40
Slika 23: Shema FM signala ene radijske postaje	41
Slika 24: Simbolna shema oddajanja več radijskih postaj v DAB multipleksu	43
Slika 25: Prenos signala	44
Slika 26: Povezave med tabelami, ki opisujejo AV tokove in druge vsebine v transportnem toku	46
Slika 27: Prenosna pot	47
Slika 28: Shema vrstnega reda postopkov pri kanalskem kodiranju	47
Slika 29: Konstelacijski diagrami za različne modulacije	49
Slika 30: Zaščitni intervali	50
Slika 31: Modulacija s štirimi nosilci	50
Slika 32: Multipleksiranje s konstantnim (levo) in variabilnim (desno) bitnim pretokom	52
Slika 33: Geografska porazdelitev oddajanja	52
Slika 34: Pokritost DVB-T Mux A	52
Slika 35: Najbolj značilni tipi anten za DVB-T	53
Slika 36: Visokonivojska arhitektura IPTV sistema	55
Slika 37: Unicast in multicast način prenosa	56
Slika 38: Prilagajanje prenosa pretočnih vsebin	57
Slika 39: Ciklični postopek uporabniško usmerjenega načrtovanja	60
Slika 40: Primer postopka izdelave interaktivnega prototipa	61

Slika 41: Primer uporabe glavne, komplementarne in udarne barve v ustreznem razmerju.....	62
Slika 42: Primeri pisav z različno sporočilnostjo.....	63
Slika 43: Različni stili ikon.....	63
Slika 44: Prikaz uporabniškega vmesnika na različno velikih zaslonih naprav.....	64
Slika 45: Primerjava izgleda enake ikone pri različnih gostotah slikovnih točk na zaslonu.....	65
Slika 46: Primer jasnega systemskega sporočila.....	65
Slika 47: Primer rezultatov UEQ vprašalnika.....	67
Slika 48: Tekstovne alternative.....	71
Slika 49: Različni kontrasti in WCAG ustreznost.....	72
Slika 50: Navigacija po spletni strani.....	73
Slika 51: Dostopnost različnih vnosnih polj.....	75
Slika 52: Primer v spletno stran vgrajenega orodja za izboljšanje dostopnosti.....	76
Slika 53: Rezultat evalvacije skladnosti spletne strani s standardom WCAG 2.1.....	76
Slika 54: Tolmačenje vsebine videa z znakovnim jezikom.....	77
Slika 55: Rešitev z nastavljivim položajem in velikostjo tolmača znakovnega jezika.....	78
Slika 56: Struktura oddajane signala z dodanim zvokovnim kanalom za slepe in slabovidne.....	79

Kazalo tabel

Tabela 1: Najpogosteje uporabljeni kodeki.....	5
Tabela 2: Tehnični podatki različnih mikrofonov.....	17
Tabela 3: Minimalne in maksimalne vrednosti svetlostne komponente.....	29
Tabela 4: Osnovne lastnosti frekvenčnih področij za oddajanje RTV vsebin.....	40
Tabela 5: Informacije oddajane v RDS signalu.....	42
Tabela 6: Kapaciteta prenosnega kanala DVB-T glede na izbrane parametre.....	51

Seznam prevodov

angleški izraz	slovenski izraz
accessibility	dostopnost
accessible	dostopen
adapter plate	prilagoditvena plošča
adaptive streaming	prilagojen prenos vsebin
aperture	zaslonka
audio mixer	avdio mešalna miza
balanced	uravnovežen
bi-directional frame	okvir dvosmernih sprememb
block code	bločna koda
cable	kabelski
camera controller	krmilnik kamere
cardioid	srčnica
channel coding	kanalsko kodiranje
chrominance	krominanca
clipping	porezovanje
closed	zaprt
component	komponenten
composite	kompoziten
condenser microphone	kondenzatorski mikrofonski
constellation diagram	konstelacijski diagram
container	zabojnik
convolutional coding	konvolucijsko kodiranje
cross-fade	preliv
crosspoint	matrika virov
cut	rez
cyclic prefix	ciklična predpona
dark mode	temen način
data carousel	podatkovni vrtiljak
design system	oblikovni sistem
digital signage	digitalno oglaševanje
direct coded picture	okvir nizkih ločljivosti
dolly	trinožnik s kolesi

downconversion	pretvarjanje
dynamic microphone	dinamični mikrofons
effect	učinek
electret microphone	elektret mikrofons
elementary stream	elementarni prenosni tok
energy dispersal	razprševanje energije
external interleaver	časovno prepletanje
f-stop	f-število
fader	drsnik za nastavljanje glasnosti
figure 8	osmica
flickering	utripanje
floor tom	talni tom bobens
focus	ostrina
focus assist	pomoč za ostrenje
focus plane	ravnina ostrenja
frame	okvir
frequency equalizer	frekvenčni izenačevalnik
gain	elektronsko ojačenje svetlosti
hypercardioid	hiper-srčnica
information architecture	informacijska arhitektura
interlacing	prepletanje
iris	zaslonka
key frame	ključni okvir
kick drum	udarni bobens
live	v živo
live transcoding	prekodiranje v živo
lobar	usmerjeni
lossless compression	brezizgubna kompresija
lossy compression	izgubna kompresija
low-cut	omejevalnik nizkih frekvenc
luminance	svetlost
macro	makro
mock-up	vizualno dodelani prototip
modulation	modulacija
multiplexing	multipleksiranje

omnidirectional	vsesmerni
open	odprt
operable	operabilnost
overlay	prekrivna grafika
pan	premikanje
peaking	orodje za poudarjanje ostrih robov s pomočjo posvetljevanja
percivable	zaznavanje
permanently charged plastic element	stalno naelektren plastični izolator
phantom power	fantomsko napajanje
pilot carrier	pilotni nosilec
plugin	vtičnik
pointer	kazalnik
polar pattern	smerni diagram
predictive frame	okvir napovedanih sprememb
preset	prednastavitev
preview	predogled
program	program
progressive	brez prepletanja
puncturing	luknjanje
quick release plate	prilagoditvena plošča
raw	izvorno
reject factor	zavrnitveni faktor
responsive design	prilagodljivo načrtovanje
ribbon microphone	tračni mikrofonski
robust	robustnost
satellite	satelitski
saturation	nasičenje
shotgun	močno usmerjeni
shutter speed	hitrost zaklopke
source coding	izvorno kodiranje
stitching	šivanje
streaming	pretočno predvajanje vsebin
streaming service	pretočna storitev
supercardioid	super-srčnica
T-bar	T ročka

tag	značka
terrestrial	prizemni
tilt	nagibanje
time-based media	časovni mediji
transition	prehod
transition speed	hitrost prehoda
transport stream	transportni tok
tripod	trinožnik
unbalanced	neuravnotežen
understandable	razumevanje
unidirectional	usmerjeni
vectorscope	vektorskop
vision mixer	video mešalna miza
waveform	valovna oblika
waveform monitor	prikazovalnik oblike valov
white balance	belina
wireframe	žični okvir
zoom	povečava

Seznam kratic

kratica	pomen	slovenski izraz
AAC	Advanced Audio Coding	napredno avdio kodiranje
AES	Audio Engineering Society	Društvo za avdio inženiring
AF	Alternative Frequency	alternativna frekvenca
AIT	Application Information Table	tabela aplikacij
AKOS	The Agency for Communication Networks and Services of the Republic of Slovenia	Agencija za komunikacijska omrežja in storitve
AM	Amplitude Modulation	amplitudna modulacija
APSK	Amplitude and Phase-Shift Keying	amplitudno-fazna modulacija
AR	Augmented Reality	obogatena resničnost
ASI	Asynchronous Serial Interface	asinhroni serijski vmesnik
AUX	Auxiliary	pomožni
AV	Audio Video	avdio-video
AV1	Alliance for Open Media Video 1	Združenje za odprte medije video 1
AVC	Advanced Video Coding	napredno video kodiranje
AWB	Auto White Balance	samodejna nastavitev beline
b	bit	bit
B	Byte	oktet
BCH	Bose Chaudhuri Hocquenghem	Bose Chaudhuri Hocquenghem
BER	Bit Error Rate	delež napačnih bitov
BNC	Bayonet Neill–Concelman	bajonet Neill–Concelman
bps	Bits per Second	biti na sekundo
BPSK	Binary Phase Shift Keying	digitalna binarna fazna modulacija
CAT	Conditional Access Table	tabela pogojnih dostopov
CBR	Constant Bit Rate	konstanten bitni pretok
DAB	Digital Audio Broadcasting	digitalna avdio radiodifuzija
DANTE	Digital Audio Network Through Ethernet	digitalno avdio omrežje prek Etherneta
dB	Decibel	decibel
DDR	Digital Disk Recorder	predvajalnik medijskih datotek
DMX-512	Digital Multiplex 512	digitalni multipleks 512
dp	Density Independent Pixels	slikovne točke, neodvisne od gostote
DQPSK	Differential Quadrature Phase-Shift Keying	diferencialna kvadratura fazna modulacija

DVB	Digital Video Broadcasting	digitalna video radiodifuzija
DVB-C	Digital Video Broadcasting - Cable	digitalna kabelska televizija
DVB-S	Digital Video Broadcasting - Satellite	digitalna satelitska televizija
DVB-T	Digital Video Broadcasting - Terrestrial	digitalna prizemna televizija
DVI	Digital Visual Interface	digitalni vizualni vmesnik
EBU	European Broadcasting Union	Evropska radiodifuzna zveza
EHF	Extra High Frequency	področje izjemno visokih frekvenc
EIT	Event Information Table	tabela dogodkov
EON	Enhanced Other Networks	napredna ostala omrežja
EPG	Electronic Programme Guide	elektronski programski vodič
FFT	Fast Fourier Transform	hiter Fourierjev transform
FM	Frequency Modulation	frekvenčna modulacija
fps	Frames per Second	okvirji na sekundo
GI	Guard Interval	zaščitni interval
GIF	Graphics Interchange Format	format slikovne izmenjave
GOP	Group of Pictures	skupina slik med ključnima okvirjema
GPS	Global Positioning System	globalni sistem pozicioniranja
GPU	Graphics Processing Unit	grafična kartica
HbbTV	Hybrid Broadcast Broadband Television	hibridna televizija
HD	High Definition	visoka ločljivost
HDMI	High Definition Media Interface	multimedijski vmesnik visoke ločljivosti
HDS	HyperText transfer Protocol Dynamic Streaming	protokol za prenos nadbesedila z dinamičnim pretakanjem
HEVC	High Efficiency Video Codec	visoko učinkovit video kodirni postopek
HF	High Frequency	področje visokih frekvenc
HLS	HyperText Transfer Protocol Live Streaming	pretakanje v živo preko protokola za prenos nadbesedila
HTML	HyperText Markup Language	jezik za označevanje nadbesedila
IGMP	Internet Group Management Protocol	internetni protokol za upravljanje skupin
IP	Internet Protocol	internetni protokol
IPTV	Internet Protocol Television	televizija prek internetnega protokola
IRE	Institute of Radio Engineers	Inštitut radio inženirjev
ITU-R	International Telecommunication Union - Radiocommunication Sector	Mednarodna zveza za telekomunikacije
J-FET	Junction-gate Field-Effect Transistor	spojni tranzistor na osnovi električnega polja
JPEG	Joint Photographic Experts Group	združena skupina izvedencev za fotografijo

JSON	JavaScript Object Notation	objektni JavaScript zapis
LDPC	Low Density Parity Check	preverjanje paritete z nizko gostoto
LF	Low Frequency	področje nizkih frekvenc
LLVC	Low Latency Video Codec	video kodek z nizko zakasnitvijo
LW	Long Wave	dolgi val
ME	Mix Effect	mešalni učinek
MF	Middle Frequency	področje srednjih frekvenc
MP3	MPEG-1 Audio Layer 3	MPEG-1 avdio sloj 3
MPD	Media Presentation Description	opisna datoteka
MPEG	Motion Picture Experts Group	strokovna skupina za premikajoče se slike
MR	Mixed Reality	mešana resničnost
MSS	Microsoft Smooth Streaming	Microsoft gladko pretakanje
MW	Middle Wave	srednji val
ND	Neutral Density	nevtralen filter
NDI	Network Device Interface	omrežni vmesnik za naprave
NDI Hx	Network Device Interface High Efficiency	visoko zmogljiv omrežni vmesnik za naprave
NDI Hx2	Network Device Interface High Efficiency 2	visoko zmogljiv omrežni vmesnik za naprave 2
NIT	Network Information Table	tabela z informacijami o omrežju in multipleksu
NMI	Networked Media Interface	omrežni medijski vmesnik
NTSC	National Television Standards Committee	Nacionalni komite za standardizacijo televizije
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing	ortogonalno frekvenčno multipleksiranje
OTT	Over-The-Top	dodane storitve
PAL	Phase Alternating Line	vrstično izmenjevanje faze
PAT	Program Association Table	tabela povezav programa
PCIe	Peripheral Component Interconnect Express	medsebojno povezovanje perifernih komponent
PFL	Pre-Fader Listen	poslušanje pred drsnikom
PI	Programme Identifier	identifikator programa
PID	Packet Identifier	identifikator paketa
PMT	Program Map Table	tabela načrta programa
PNG	Portable Network Graphics	prenosna mrežna grafika
PoE	Power over Ethernet	napajanje prek etherneteta
PPM	Peak Programme Meter	merilnik vrhov jakosti programa
PS	Programme Service Name	ime radijske postaje

PSI	Program-Specific Information	informacije, specifične za program
pt	Point	točka
PTY	Programme Type	tip programa
px	Pixel	slikovna pika
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	kvadratura amplitudna modulacija
RAM	Random Access Memory	pomnilnik z naključnim dostopom
RAVENNA	Realtime Audio Video Enhanced Next generation Network Architecture	izboljšana avdio video mrežna arhitektura naslednje generacije v realnem času
RCA	Radio Corporation of America	Ameriška radijska družba
RDS	Radio Data System	radijski podatkovni sistem
RF	Radio Frequency	radio frekvenca
RGB	Red Green Blue	rdeča zelena modra
RT	reverberation time	odmevni čas
RTMP	Real-Time Messaging Protocol	protokol za sporočanje v realnem času
RTV SLO	Radio-Television Slovenia	Radiotelevizija Slovenija
SD	Standard Definition	standardna ločljivost
SDI	Serial Digital Interface	serijski digitalni vmesnik
SDK	Software Development Kit	komplet za razvoj programske opreme
SDT	Service Description Table	tabela z opisom storitev
SECAM	Séquentiel de Couleur à Mémoire	zaporedje barv s spominom
SFN	Single Frequency Network	tehnologija oddajanja na eno frekvenčnih omrežjih
SHF	Super High Frequency	področje super visokih frekvenc
SI	Service Information Table	tabela z informacijami o storitvi
SMPTE	Society of Motion Picture and Television Engineers	Društvo filmskih in televizijskih inženirjev
SNR	Signal-to-Noise Ratio	razmerje signal-šum
SPL	Sound Pressure Level	moč udarnega vala
STB	Set-Top-Box	televizijski sprejemnik
SUS	System Usability Scale	lestvica uporabnosti sistema
SW	Short Wave	kratki val
TA	Traffic Announcement	prometna obvestila
TDT	Time and Date Table	tabela z datumom in uro
TMC	Traffic Message Channel	negovorjena prometna sporočila
TP	Traffic Programme Identifier	identifikator obstoja govornih prometnih obvestil
TRS	Tip Ring Sleeve	konica obroč rokav

UCD	User Centred Design	uporabniško usmerjeno načrtovanje
UEQ	User Experience Questionnaire	vprašalnik za vrednotenje uporabniške izkušnje
UHD	Ultra High Definition	ultra visoka ločljivost
UHF	Ultra High Frequency	področje ultra visokih frekvenc
UI	User Interface	uporabniški vmesnik
USB	Universal Serial Bus	univerzalno serijsko vodilo
USW	Ultra Short Wave	ultra kratki val
UX	User Experience	uporabniška izkušnja
VBR	Variable Bit Rate	spremenljiv bitni pretok
VGA	Video Graphics Array	niz video grafike
VHF	Very High Frequency	področje zelo visokih frekvenc
VLF	Very Low Frequency	področje zelo nizkih frekvenc
VR	Virtual Reality	virtualna resničnost
VU	Volume Unit	prostornina
W3C	World Wide Web Consortium	konzorcij za svetovni splet
WAI	Web Accessibility Initiative	iniciativa za spletno dostopnost
WCAG	Web Content Accessibility Guidelines	smernice za dostopnost spletnih vsebin
WebRTC	Web Real-Time Communication	spletna komunikacija v realnem času
WRC	World Radiocommunication Conference	svetovna konferenca za radijske komunikacije
XLR3	External Line Return (three-pin)	priključek s povratno zunanjo linijo (3-pinski)
XML	Extensible Markup Language	razširljivi označevalni jezik

neskončno možnosti, nešteto priložnosti

MULTIMEDIJA

1

Uvod v multimedijske sisteme

Področje multimedije obsega širok nabor tehnologij in storitev, ki od začetka 21. stoletja doživljajo nesluten razvoj. V učbeniku so naslovljene številne vsebine s področja multimedijskih tehnologij, ki tako predstavljajo osnovo za bolj poglobljeno obravnavo po posameznih področjih. V njem so obravnavani postopki za zgoščevanje (kompresijo) zapisa vsebin, osnovna znanja s področja zajema ter obdelave zvoka in videa, načini prenosa vsebin preko radiodifuznih oz. RTV sistemov in internetnih omrežij, ter osnove načrtovanja uporabniških vmesnikov in zagotavljanje dostopnosti le-teh.

Poglavja v učbeniku tako sledijo standardnemu postopku nastajanja vsebin, njihovim lastnostim, načinom prenosa do končnih uporabnikov in sami uporabi vsebin na različnih napravah. Najprej so obravnavani postopki za zapisovanje multimedijskih vsebin v digitalni obliki ter osnovni pristopi zgoščevanja zapisa z uporabo kodirnih postopkov za zapis avdio in video vsebin. Temu sledi področje zajema oz. ustvarjanja multimedijskih vsebin s poudarkom na opremi za zajem in obdelavo videa in zvoka ter opremi, ki se uporablja pri televizijskih prenosih. Ustvarjeno vsebino je mogoče na različne načine posredovati končnim uporabnikom, zato sta v nadaljevanju predstavljena dva najpogosteje uporabljena načina. Radiodifuzna omrežja omogočajo prenos televizijskih in radijskih vsebin neomejenemu številu uporabnikov preko treh glavnih pristopov: oddajanja preko zemeljskih oddajnikov, satelitskega oddajanja in oddajanja preko namenskih kabelskih omrežij. Vse pogosteje pa uporabniki do vsebin dostopajo preko omrežij z uporabo internetnega protokola (ang. Internet Protocol – IP), bodisi preko upravljanih omrežij za prenos avdio-vizualnih vsebin ali preko klasičnih internetnih storitev, pri čemer ponudniki storitev nimajo nobenega vpliva na delovanje omrežja ali možnosti za zagotavljanje kvalitete storitev. Uporabniki za predvajanje avdio-vizualnih vsebin uporabljajo različne terminalne naprave, ki se med seboj razlikujejo po načinih upravljanja in uporabe, povezovanja,

mobilnosti, velikosti ... Pri vseh napravah in storitvah je poleg tehničnega delovanja pomembna tudi uporabniška izkušnja, saj je od nje odvisno ali bodo uporabniki uporabljali določeno napravo in storitev, ali pa bodo drugje iskali bolj intuitivne in prijazne rešitve. Pri načrtovanju storitev, naprav in aplikacij je pomembno tudi zagotavljanje dostopnosti za uporabnike z gibalnimi ali senzornimi omejitvami ter s tem povezanim vključevanjem tovrstnih uporabnikov v družbo.

Pridobljena znanja se odražajo v uporabnih osnovnih veščinah, ki so potrebne pri delu z multimedijskimi sistemi, ne glede na področje ali njihov namen. Zaradi želje po sistemskem in predvsem širokem razumevanju obravnavanih vsebin so v tem okviru opisane osnove ter predstavljene temeljne tehnologije, oprema in postopki posameznih področij, brez poglobljenih analiz in izračunov.

Kompresija in kompresijski postopki

S postopkom digitalizacije se vrednosti posameznih signalov s pomočjo pretvornikov zapisuje v diskretni obliki z omejeno natančnostjo in omejenim številom nivojev. V primeru zapisa posamezne vrednosti z osmimi bitmi, kot na primer pri zapisu videa v standardnem dinamičnem razponu, se lahko celotno območje signala zapiše z 256 različnimi vrednostmi, saj je $2^8 = 256$.

Osnovna enota informacije pri digitalnih vsebinah je torej 1 bit, ki ima lahko vrednost 0 ali 1. Pri navajanju kapacitet digitalnih prenosnih poti in hitrostih signalov se uporablja enota biti na sekundo (b/s), v nekaterih primerih tudi bps (ang. Bits per Second). Pri zapisu velikosti datotek ali količine podatkov se uporablja zapis količine oktetov (ang. Byte – B), kjer 1 oktet vsebuje 8 bitov. 8000 bitov se lahko torej zapiše s 1000 okteti oz. 1000 B. Pri zapisih je zato pomembna ustrezna uporaba oznak, saj je med enotama b in B razlika za faktor 8.

Zaradi pogosto velike količine podatkov se osnovnim enotam dodaja tudi predpone kot so kilo, mega, giga itd. Pri tem je potrebno izpostaviti dejstvo, da pri uporabi le-teh pogosto prihaja do odstopanj, saj se praviloma kilobit uporablja za zapis faktorja 1000 (decimalni sistem), medtem ko je v svetu računalništva (binarni sistem) pogosteje uporabljen kibibit, ki predstavlja faktor $2^{10} = 1024$. Predvsem pri večjih predponah npr. terabitih in tebibitih postane razlika med vrednostmi obeh načinov zapisa še večja. Kljub temu, da sta predpisani obe možnosti, se lahko zgodi, da bodo podatki o kapaciteti diskov različni glede na operacijski sistem (npr. macOS in Windows) ali pa se podatki z embalaže diska ne bodo ujemali s podatki prikazanimi v operacijskem sistemu.

Za zapis slik, zvoka in videa brez kakršnekoli optimizacije, je potrebno veliko prostora, ali v primeru prenosa velika kapaciteta prenosnega kanala. Za boljše predstavbo je mogoče uporabiti dva vsakdanja primera:

1. Skoraj vsak fotoaparati ima danes najmanj 10,2 megapikslov. Če se za zapis slike uporabi osnovni barvni prostor rdeča – zelena – modra (ang. Red Green Blue – RGB) in vsako komponento zapiše s 14 bitno globino oz. natančnostjo, je potrebno:
 - $10.200.000 \times 3 \times 14 = 428.400.000$ bitov oz. približno 53 MB prostora
 - *Fotografi se v praksi srečujejo npr. z izvornim (ang. Raw) zapisom, vendar je pri tem zapisu že odstranjena redundanca in so slike zato malo manjše kot v navedenem primeru.*
2. Video zapis v standardni ločljivosti (ang. Standard Definition – SD) in standardu vrstičnega izmenjevanja faze (ang. Phase Alternating Line – PAL) (720 × 576) se lahko prav tako zapiše v izvornem formatu. Za to je potrebno:
 - $720 \times 576 = 414.720$ pik (točk)
 - 3 barve (RGB), 8-bitna globina barv, 25 sličic na sekundo (50 pol slik)
 - $414.720 \times 3 \times 8 \times 25 = 248.832.000$ bitov na sekundo oz. približno 31 MB na sekundo

Z drugimi besedami je za prenos enournega videa, zapisanega brez kompresije, preko povezave s hitrostjo 10 Mb/s, potrebnih skoraj 25 ur.

Iz zgornjih primerov je mogoče zaključiti, da za hranjenje, prenos in ogled video vsebin nekomprimirani zapisi niso primerni. Zato se pri zapisu multimedijskih vsebin zelo pogosto (ali skoraj vedno) uporablja optimizacija oz. stiskanje (kompresija). Osnovni namen kompresije je zmanjšati količino podatkov za zapis multimedijskih vsebin. Pri tem se lahko uporabi dva različna načina:

- odstranjevanje **redundantnih** (odvečnih) podatkov
- odstranjevanje **irelevantnih** (nepomembnih) podatkov

Odstranjevanje redundantnih podatkov predstavlja brezizgubno kompresijo (ang. Lossless Compression), medtem ko odstranjevanje irelevantnih podatkov predstavlja izgubno kompresijo (ang. Lossy Compression). Glavna razlika med obema načinoma je v tem, da tehnika brezizgubne kompresije podatke zapiše (stisne) na tak način, da se jih v postopku dekompresije lahko obnovi brez izgub in jih ponovno zgradi v izvorni obliki, medtem ko po izvedbi izgubne kompresije podatkov ni mogoče več obnoviti v povsem izvorni obliki.

Brezizgubno kompresijo se uporablja predvsem za stiskanje vsebin, kjer lahko izguba kakovosti slike, besed ali podatkov (npr. finančnih podatkov) predstavlja težavo. Tehnika izgubne kompresije se uporablja predvsem za stiskanje avdio in video vsebin, kjer je izguba določene količine informacij sprejemljiva. Pri tem velja, da se v postopkih izgubne kompresije iz avdio in video vsebin odstranjuje tiste podatke, ki so nepomembni ali manj pomembni za človeško zaznavo oz. je malo verjetno, da bi jo večina uporabnikov zaznala. Primeri najpogosteje uporabljenih slikovnih formatov brez izgub so RAW, PNG (ang. Portable Network Graphics) in GIF (ang. Graphics Interchange Format), primer slikovnega formata z izgubami pa JPEG (ang. Joint Photographic Experts Group). Vendar je potrebno takoj dodati, da je meja "pomembnosti" podatkov dinamična in ravno premik te meje odločilno vpliva na stopnjo kompresije, hkrati pa obratno sorazmerno tudi na kvaliteto končnega izdelka. Z opazovanjem komprimiranih slik in videa ter poslušanjem zvočnih posnetkov z različnimi parametri kompresije je mogoče ugotoviti vpliv posameznega parametra na končni izdelek.

2.1 Kodek

Izbira kodeka je velikokrat odvisna od sistema, v okviru katerega bo video prenašan in predvajan, pogosto pa je točno določen s standardom. V primeru digitalne prizemne televizije (ang. Digital Video Broadcasting – Terrestrial – DVB-T) v Sloveniji je to uporaba kodeka MPEG4 – Part10 (ang. Motion Picture Experts Group 4 – Part10) imenovanega tudi H.264 oz. AVC (napredno video kodiranje, ang. Advanced Video Coding). Kodeki se med seboj razlikujejo v načinu delovanja, učinkovitosti, kvaliteti itd. Tudi v primerih uporabe lastnega distribucijsko-predvajalnega sistema je pomembna podpora ustreznih kodirnih in dekodirnih postopkov, kot tudi zmogljivost strojne opreme za oba postopka. V primeru prenosov v živo mora biti strojna oprema dovolj zmogljiva, da lahko zagotovi prekodiranje v živo (ang. Live Transcoding). Kadar predvajanje v živo ni potrebno, lahko kodirni postopek traja tudi dalj časa, medtem ko mora dekodirni postopek video vedno prikazovati v realnem času. Kodeki se s časom stalno razvijajo in izboljšujejo, trenutno najpogosteje uporabljeni kodeki za zapis video in avdio vsebin so prikazani v tabeli 1.

video kodeki	avdio kodeki
H.264 (MPEG-4 Part10)	MP3 (MPEG 1, part 3)
H.265 – HEVC	AAC (AAC-HE)
VP9 (in VP8)	Ogg Vorbis
AV1	Opus
ProRes	FLAC

Tabela 1: Najpogosteje uporabljeni kodeki

Tipične bitne hitrosti za video visoke ločljivosti (ang. High Definition – HD) (1920 x 1080), ki je zapisan s kodekom H.264 so pri sekundarni distribuciji (prenos vsebin do končnega uporabnika) med 5 Mb/s in 10 Mb/s, novejša kodeka H.265 oz. HEVC (ang. High Efficiency Video Codec) in VP9 potrebuje približno 50 % manjši bitni pretok (2-3 Mb/s), podobno tudi zapis s kodekom združenja za odprte medije AV1 (ang. Alliance for Open Media Video 1). Novejši kodek H.266 ima še okrog 30 % nižji bitni pretok, vendar so novejši kodeki prilagojeni predvsem za video vsebine višjih ločljivosti npr. 4K ali 8K, zato neposredne primerjave med učinkovitostjo niso ustrezne. Tako novejši kodek (npr. H.266) ne bo bistveno bolj učinkovit za SD signale, medtem ko s kodekom H.263 4K videa sploh ni mogoče zapisati. Na drugi strani se za profesionalne potrebe uporabljajo različni kodirni postopki z večjo natančnostjo in manjšimi izgubami, kot je npr. kodek ProRes, ki se uporablja za profesionalne potrebe in zapisovanje videa v boljši kvaliteti, kar pri videu visoke ločljivosti zahteva bitne hitrosti nekaj 100 Mb/s.

Bitne hitrosti potrebne za zapis oz. prenos avdio vsebin so bistveno manjše od potreb za video vsebine. Tipične hitrosti avdia v stereo obliki, oddajane v radijskih sistemih digitalne avdio radiodifuzije (ang. Digital Audio Broadcasting+ – DAB+), se gibljejo med 48 kb/s in 128 kb/s, običajno pa so zapisane s kodekom družine AAC (napredno avdio kodiranje, ang. Advanced Audio Coding). Ta družina kodekov se po svetu najpogosteje uporablja za oddajanje avdia v radijskih in televizijskih sistemih. Starejši kodek MP3 (MPEG-1 avdio sloj 3, ang. MPEG-1 Audio Layer 3) za enako kvaliteto potrebuje okrog 20 % višji bitni pretok, pri čemer se razlika v kvaliteti med kodekoma pozna predvsem pri nižjih bitnih hitrostih – pod 100 kb/s. Kodeki iz družine AAC podpirajo tudi večkanalni zapis avdia (do 48 avdio kanalov), kodek MP3 pa le stereo zapis. Po kvaliteti je kodeku AAC primerljiv

kodek Opus, ki je odprtokoden in brezplačen za uporabo. Uporaben je na širšem območju bitnih hitrosti kot ostali kodeki in se pogosto uporablja v spletnih in videokonferenčnih rešitvah pri prenosu avdio-video tokov. Kodek Ogg Vorbis pri primerljivi kakovosti zahteva podobne bitne hitrosti kot kodek AAC, uporablja pa se v storitvi za poslušanje glasbe preko spleta – storitev Spotify. Potrebno se je zavedati, da se delovanje kodekov stalno razvija in optimizira, v razvoju so novi kodeki, ki vse bolj zmanjšujejo zahtevane bitne hitrosti pri primerljivi kakovosti avdia in videa.

Podatkovne tokove digitaliziranega avdia in videa je za shranjevanje in prenos potrebno spraviti v zabojnike (ang. Container). Obstaja več različnih tipov zabojnikov, ki se med seboj razlikujejo v tem ali podpirajo vključitev vsebinskih poglavij, interaktivnih menujev, metapodatkov (npr. podnapisi), ter v namenu uporabe (prenos preko internetnih in radiodifuznih omrežij končnim uporabnikom ali za profesionalno uporabo in shranjevanje). Razlikujejo se tudi glede na to ali so brezplačni za uporabo ali ne. Najpogosteje uporabljani formati zabojnikov so Matroska (.mkv), .avi, .mov, .vob, .mxf, .mp4, .webm in .m2ts.

Pri zapisovanju videa s kodekom je mogoče spreminjati številne parametre, kot so npr. ločljivost videa, bitni pretok, število slik na sekundo itd., ki so predstavljeni v nadaljevanju.

2.2 Ločljivost videa (razmerja)

Pri ločljivosti je potrebno upoštevati, da ni pomembno samo število pik (ang. Pixel – px) v vrsticah in stolpcih, ampak tudi razmerje velikosti stranic posamezne pike. Pri standardu PAL (EU televizija standardne ločljivosti) je npr. število (vidnih) pik 720×576, kar predstavlja razmerje 5:4, hkrati pa je splošno znano, da je razmerje stranic prikazovane slike na zaslonu 4:3. Pike torej niso kvadratne ampak imajo razmerje stranic 16:15.

$$\frac{720}{576} = \frac{144 * 5}{144 * 4} = \frac{5}{4} \Rightarrow \frac{5}{4} * \frac{16}{15} = \frac{5 * 4 * 4}{4 * 5 * 3} = \frac{4}{3}$$

Ker so danes v praksi na istih sprejemnikih uporabljana razmerja stranic slike tako 4:3 kot tudi 16:9, je potrebno ob pretvorbi iz enega formata v drugega to upoštevati. Najpogosteje se tako uporablja rezanje videa ali pa dodajanje črnih pasov.

2.3 Bitni pretok

Pri bitnem pretoku se uporabljata dva osnovna načina delovanja:

- **spremenljiv bitni pretok** (ang. Variable Bit Rate – VBR), ki se spreminja glede na potrebo oziroma dinamiko slike
- **konstanten bitni pretok** (ang. Constant Bit Rate – CBR), ki skozi celotno dolžino videa ostaja enak.

Kadar je v videu veliko statičnih scen je običajno bolje izbrati VBR, saj je mogoče s takim načinom prihraniti pri velikosti končnega izdelka. Hkrati je pri VBR mogoče omejiti minimalno in maksimalno vrednost bitnega pretoka, v nekaterih primerih pa določiti povprečno vrednost. Pri CBR se določa kako velik (konstantni) bitni pretok se uporabi za zapis videa. Velikost bitnega pretoka neposredno vpliva na velikost končnega izdelka, oziroma potrebno pasovno širino za prenos. Izbor CBR ali VBR je lahko odvisen tudi od celotnega sistema in načina zasedanja virov, saj je v nekaterih primerih zaželeno, da se bitni pretok ne spreminja.

2.4 Število slik na sekundo in prepletanje

S spreminjanjem števila prikazanih slik oz. okvirjev (ang. Frame) na sekundo je mogoče neposredno vplivati na velikost datotek in na bitni pretok pri prenosu preko omrežij. Vendar tudi pri tem parametru obstajajo meje, saj je v primeru prikaza premajhnega števila sličic na sekundo (ang. Frames per Second – fps). Pri manj kot 16 fps človeško oko opazi utripanje, z višanjem števila slik na sekundo pa sličice "tečejo" bolj gladko, s čimer je uporabniška izkušnja ob gledanju boljša.

V okviru standardov je število sličic na sekundo točno predpisano, za kino format znaša standardno število slik na sekundo 24, pri novejših digitalnih filmih pa tudi 48 fps ter 120 fps. Hitrost 24 fps je bila povezana predvsem z mehanskimi deli kamer pri zajemu in projektorjev pri prikazovanju slike, saj je hitrost dovolj visoka, da je gibanje tekoče, hkrati pa ima število 24 več deliteljev (12, 8, 6, 4, 3, 2), kar predstavlja veliko prednost pri izdelavi mehanskega sistema. Ameriški standard NTSC (Nacionalni komite za standardizacijo televizije, ang. National Television Standards Committee) ima predpisanih 29,97 fps, francoski standard SECAM (zaporedne barve s spominom, fr. Séquentiel de Couleur à Mémoire) pa 25 fps.

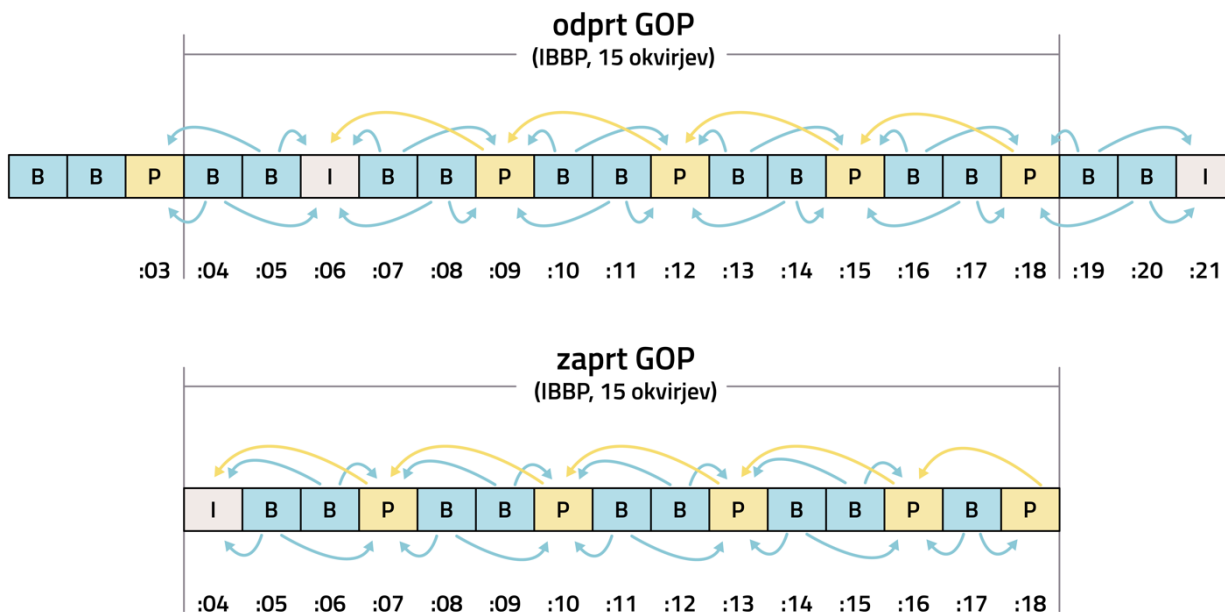
V večjem delu Evrope se uporablja standard PAL, ki ima predpisanih 25 fps. Pri standardu PAL je pogosto v uporabi tudi prepletanje (ang. Interlacing), kjer se vsako sekundo prenaša 50 pol-slik, kar v seštevku pomeni 25 celih slik na sekundo. Tak način zapisa videa zmanjša učinek utripanja. Pri pasovni širini ali količini podatkov na disku je 25 slik na sekundo brez prepletanja (ang. Progressive) – od tod tudi oznaka p , ekvivalentno 50 slikam na sekundo s prepletanjem – oznaka i , vendar to velja le kar se tiče zasedanja prostora na disku ali potrebni pasovni širini. Pri percepciji je kljub temu precej razlik. Pri 50i je utripanje veliko manj moteče oz. opazno zaradi večje frekvence osveževanja, vendar pa pri hitrejših premikih scene v posnetku prihaja do t. i. "glavnik" efekta.

V primeru televizijskih standardov je hitrost sličic povezana predvsem s frekvenco omrežne napetosti (50 Hz ali 60 Hz), ki je ključno vlogo igrala pri sinhronizaciji, saj je frekvenca omrežne napetosti enotna na celotnih področjih držav, celin itd.

2.5 Kodna shema – razdalja med ključnimi okvirji

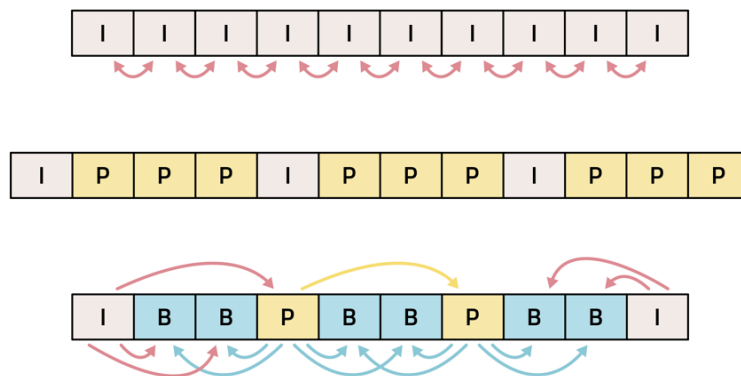
Pri kodiranju MPEG se uporablja **ključne okvirje I** (ang. Key Frames), **okvirje napovedanih sprememb P** (ang. Predictive Frames), **okvirje dvosmernih sprememb B** (ang. Bi-directional Frames), ter danes opuščane **okvirje nizkih ločljivosti D** (ang. Direct Coded Picture), uporabljene kot ikone in za predogled pri hitrem previjanju.

Le okvirji oz. sličice I nosijo celotno informacijo o sliki, medtem ko okvirji P in B predstavljajo zgolj spremembe na sliki med posameznimi okvirji. Na ta način je mogoče doseči dobre stopnje kompresije videa, saj ni potrebno prenašati celotne informacije o vsakem prikazanem okvirju. Namesto tega se vsak okvir izračuna na sprejemni strani. Pri tem obstajajo odprte (ang. Open) in zaprte (ang. Closed) skupine slik med ključnima okvirjema (ang. Group of Pictures – GOP), kjer se v primeru odprtega GOP okvirji B in P lahko sklicujejo na okvirje I izven GOP, pri zaprtem pa ne. Slika 1 prikazuje primera odprtega in zaprtega GOP.



Slika 1: Odprt in zaprt GOP

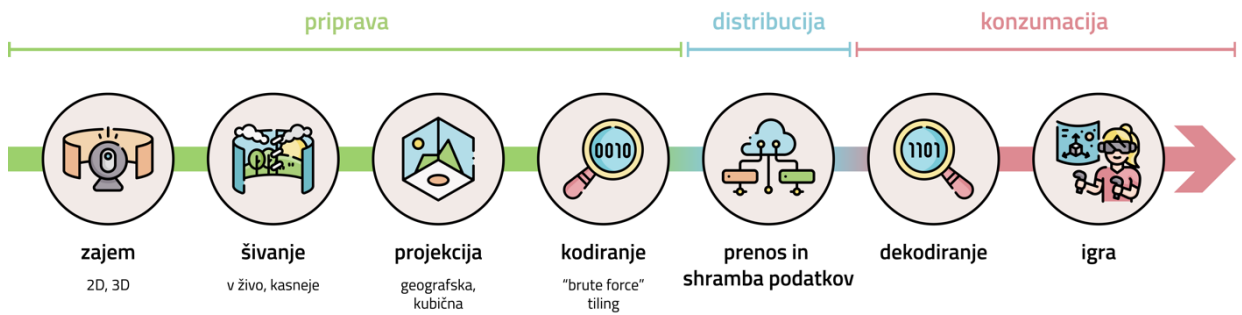
Prav tako je dolžina oz. velikost GOP-a za velikost datotek in kvaliteto slike obratno sorazmerna. Torej večji kot je GOP, slabša bo kvaliteta in manjša bo datoteka (ali pa potrebna pasovna širina). Primeri različnih GOP ter tudi uporabe B in P okvirjev so prikazani na sliki 2.



Slika 2: Primeri različnih GOP

2.6 360-stopinjski video

360-stopinjski video, imenovan tudi sferični video, se z razvojem tehnologije vse pogosteje uporablja na različnih področjih. Posebna lastnost tovrstnih video zapisov je zajem slike s pogledom v celotnem 360° območju okrog kamere. Sliko se zajame z dvema ali več kamerami (lahko tudi nekaj deset kamerami) ter sešije (ang. Stitching) v enotno sferično sliko. Šivi med posameznimi slikami naj bi bili za gledalca neopazni, kar predstavlja izziv programskim rešitvam za obdelavo (šivanje) videa. Po postopku šivanja se 360° video preslika v enega od formatov zapisa za video, zapiše z enim od video kodekov in pripravi za prenos, tipično preko internetnih povezav. Na sprejemni strani oz. na uporabnikovi napravi se video dekodira in predvaja na ustreznem predvajalniku, ki podpira prikaz 360° videa. Slika 3 prikazuje celotno verigo ekosistema virtualne resničnosti (ang. Virtual Reality – VR) od zajema vsebine do končnega uporabnika.



Slika 3: Ekosistem virtualne resničnosti

360° video posnetke je mogoče predvajati na različnih napravah, kot so npr. telefon, računalnik, TV ali napravah virtualne, mešane (ang. Mixed Reality – MR) in obogatene resničnosti (ang. Augmented Reality – AR). Uporabnik lahko spreminja smer pogleda v videu z obračanjem naprave v različne smeri ali z vlečenjem videa s prsti oz. drugimi načini interakcije. Način interakcije z vsebino je zelo pomemben, saj se lahko izbor smeri pogleda določa s pomočjo različnih vmesnikov kot so npr. miška, tipkovnica, VR kazalnik (ang. Pointer) ali obračanjem pogleda, ki se zaznava na podlagi žiroskopov oz. premikov predvajalne naprave.



Slika 4: Vidno polje v 360° pogledu

Zagotavljanje kvalitetnega 360° videa zahteva bistveno višje ločljivosti kot klasični video. Ob upoštevanju dejstva, da lahko človeško oko razloči 60 slikovnih točk na stopinjo, je pri zajemu 360° panorame optimalna ločljivost zajema okrog 21.600 x 10.800 slikovnih točk oz. 21K. Hkrati bi morala tudi očala VR doseči ločljivost zaslona okrog 8K (na oko), da bo slika pred očmi uporabnika optimalna. V praksi to pomeni zahtevane bitne hitrosti nekaj 100 Mb/s, kar je za današnje razmere velika bitna hitrost. Za prenos stereo slike, se pravi dveh ločenih slik za vsako oko, s čimer je mogoče doseči občutek globine, se zahtevane bitne hitrosti še povečajo. Delno je mogoče zahtevano bitno hitrost in ločljivost zmanjšati z uporabo prilagodljivega prenosa z upoštevanjem smeri pogleda uporabnika, pri čemer se v smeri pogleda oddaja visoko kvalitetna, v drugih smereh pa manj kvalitetna slika. Ob spremembi smeri pogleda se nova smer prenaša v visoki kvaliteti, preostali del pa v nižji. Primer 360° videa, z označenim vidnim poljem v visoki kvaliteti in preostalimi deli videa v nižji kvaliteti, je prikazan na sliki 4. S takim pristopom se lahko zahtevano bitno hitrost zmanjša za nekajkrat, a le-ta kljub temu ostaja zelo visoka, hkrati pa tak način zahteva tudi povečanje zmogljivosti strojne opreme na oddajni strani.



3

Oprema za zajem in obdelavo avdio-vizualnih vsebin

Sodobna oprema za zajem in obdelavo avdio-vizualnih vsebin predstavlja bistven del celotnega produkcijskega sistema, tako na profesionalnem studijskem, terenskem, promocijskem, kot tudi na amaterskem področju. Osnova za zajem zvoka so mikrofoni, ki so najpogosteje priključeni na avdio mešalne mize, medtem ko se za zajem videa uporabljajo kamere, ki so v studijskih okoljih priključene na video mešalne mize. Čeprav je mogoče zvok zajeti, upravljati in snemati ali oddajati samostojno (kot na primer radio ali podkasti) ter je tudi video mogoče zajemati ločeno brez zvoka, se pravi izzivi pojavijo pri združevanju in sinhronizaciji oz. časovni uskladitvi obeh. Pri sodobnih avdio-video (ang. Audio-Video – AV) produkcijskih sistemih se pogosto uporabljajo hibridne postavitve, ki vključujejo različne namenske video ali avdio standarde in tehnologije internetnih protokolov, kjer se zaradi različnih obdelav posameznih signalov pojavijo opazne in s tem moteče časovne razlike med posameznimi signali.

V vseh primerih se za doseganje boljših rezultatov uporabljajo tudi različni stativi, nosilci in pritrdila, ki morajo biti prilagojeni opremi (npr. po teži in načinu vpetja) ter uporabi. Hkrati morajo biti tudi ustrezno umeščeni v prostor, postavljeni na primerno podlago, ali pritrjeni v skladu z varnostnimi standardi. Za povezovanje posameznih sklopov med seboj so potrebni tudi kabli z ustreznimi značilnostmi in priključki, za nadzor kvalitete zvoka in slike pa primerni inštrumenti. Povezovanje posameznih komponent v delujočo in uporabno celoto zahteva poznavanje tako posameznih komponent, kot tudi medsebojne združljivosti, standardov, omejitev itd.

3.1 Zvok

Na področju elektrotehnike, še toliko bolj pa na področju telekomunikacij in multimedije, se veliko pozornosti namenja valovanju. Elektromagnetno valovanje, ki je osnova praktično vseh komunikacijskih sistemov, za razširjanje ne potrebuje medija (razširja se tudi v vesolju) in v praznem prostoru potuje s svetlobno hitrostjo $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Za razliko od elektromagnetnega valovanja pa zvok za razširjanje potrebuje medij. Na Zemlji je ta medij najpogosteje zrak, skozi katerega se zvok na nadmorski višini 0 m pri temperaturi 20°C razširja s hitrostjo $v \approx 343 \text{ m/s}$. Hitrost razširjanja zvoka je močno odvisna od gostote, temperature in tlaka medija.

Ker gre pri zvoku za mehansko nihanje molekul, je pri zajemu zvoka treba pretvoriti mehansko nihanje v električno in obratno pri predvajanju zvoka, torej iz električnega nihanja v mehansko. Po pretvorbi zvoka v električno obliko je le-tega mogoče mnogo lažje obdelati oz. preoblikovati. Zvok je mogoče zapisati in obdelati v analogni obliki, lahko pa se analogne signale pretvori v digitalno obliko, kar omogoča še veliko več možnosti za obdelavo. Seveda je pri tem pomembna natančnost digitalizacije ter kvaliteta zapisa (npr. s koliko biti je zapisan vsak vzorec zvoka). Potrebno pa se je zavedati, da na zajem zvoka vpliva veliko dejavnikov, kot so akustika prostora, točka zajema (oddaljenost od vira), namen zajema (npr. ali se bo zajeti zvok predvajal v istem prostoru), hrup oz. motnje okolice, jakost zvoka na izvoru, razpoložljiva oprema za zajem (npr. tip mikrofona) ter vpliv drugih dejavnikov kot so veter, elektromagnetne motnje, vibracije itd. Pri nihanju se kot enota hitrosti nihanja uporablja Hertz (Hz), ki predstavlja število ciklov oz. nihajev na sekundo. Tipično se uporablja za opisovanje frekvence nihanja električnih tokov, elektromagnetnih valovanj in zvoka.

Na akustiko vpliva mnogo dejavnikov in za natančno analizo bi bilo potrebno veliko predznanja in dodatne razlage, zato so navedena zgolj nekatera dejstva, ki jih je smiselno upoštevati pri delu. Akustika prostora opisuje oz. definira kako se bo zvok v določenem prostoru obnašal. Najpogosteje uporabljan parameter pri akustiki prostora je čas odmeva oz. odmevni čas (ang. Reverberation Time – RT), ki je odvisen od različnih dejavnikov ter se lahko močno spreminja s spremembo frekvence. Odmevni časi so podani v sekundah in so najpogosteje definirani kot RT60. S parametrom RT60 je podan čas, v katerem zvok upade za 60 decibelov (dB) ali prevedeno v linearne enote, na 1 milijoninko začetne vrednosti. Sicer obstaja več različnih metod in načinov merjenja, pomembno pa je, da se med seboj primerja parametre, ki so izmerjeni in definirani na enak način. Priporočila glede odmevnih časov so različna, v grobem pa so določeni vsaj osnovni razredi odmevnih časov.

V katedralah in velikih halah so odmevni časi lahko tudi večji od 4 s. V katedrali sv. Pavla v Londonu je bil v prazni katedrali na frekvenci 500 Hz izmerjen odmevni čas kar 11 s, pri polni pa se je le-ta zmanjšal na 7,8 s. Prostori z odmevnimi časi nad 4 s so sicer primerni za glasbo, predvsem orkestralno, medtem ko bo petje slabše razumljivo, prav tako govor. Zato mora biti način govora v katedralah prilagojen, z daljšimi pavzami v besedilih, da se besede ne "prekrivajo preveč". Prostori z odmevnimi časi 2,5 s – 4 s so primerni za izvajanje glasbe zborovskega petja. Glasbo in petje je nekako najbolje izvajati v prostorih z odmevnim časom med 1,3 in 2,5 s, odvisno seveda tudi od zvrsti glasbe. Manjši kot je odmevni čas, bolj bo razumljiv govor, vendar je pri večjih prostorih zelo težko zagotoviti odmevne čase krajše od 1,3 s. V Sloveniji je bil zelo dobro poznan radijski studio 14 na Radioteleviziji Slovenija (RTV SLO), katerega je zasnoval Dušan Vendramin, in je imel povprečen odmevni čas pod 1 s, kljub 190 m² površine. Pri odmevnem času 1 s ali manj glasba zveni precej bolj "trdo" in ni slišati tako bogata in topla. Kljub temu je za snemanje zaželeno, da so odmevni časi čim manjši, saj je odmev veliko lažje dodati pri kasnejši obdelavi kot pa ga izločiti. Prostor z odmevnimi časi manjšimi od 0,3 s se smatra kot akustično mrtev.

Na akustiko v prostoru vpliva več dejavnikov, kot na primer:

- dimenzija prostora,
- oblika prostora,
- uporabljeni materiali,
- oprema v prostoru,
- položaj izvora zvoka in naprave za zajem – mikrofona,
- dejavniki okolja.

Dimenzije prostora vplivajo predvsem na odmevne čase. Zvok se odbija predvsem od ravnih in trdnih sten. Seveda se pri vsakem odboju zmanjša moč zvoka, od razdalje izvora do točke odboja pa je odvisno čez koliko časa bo odmev slišen. Večji kot je prostor, daljši bo ta čas. Seveda se zvok od trdnih površin odbije večkrat, sčasoma pa se energija odbitih zvočnih valov zmanjša pod mejo zaznavanja.

K večkratnim odbojem največ pripomorejo vzporedne stene, saj se zvok v isto smer lahko večkrat odbije (zvočni val, ki pravokotno pade na odbojno površino, se v proti fazi odbije nazaj v isti smeri). V prostorih, ki niso pravokotni in nimajo vzporednih sten, je mnogo manj odmeva, hkrati pa je mogoče z dodajanjem neravnih površin, ki zvoka ne odbijejo ali pa ga celo vpijajo, izboljšati akustične lastnosti prostora oz. zmanjšati odmevne čase. Studiji so zato pogosto nepravilnih oblik, na stenah pa se nahajajo penasti stožci ali debelejšje obloge iz zvočno vpojnih materialov, ter t. i. težke zavese. Poleg vzporednih sten na odmevne čase in odboje v prostoru vplivajo stene ali strehe v obliki parabole, saj se zvok, ki prihaja iz različnih smeri, pri odboju od parabole vedno odbija v isto točko. Primeri takih odbojev se pojavljajo v cerkvah in katedralah ali pa v dvoranah s kupolami (npr. Gospodarsko razstavišče v Ljubljani) in športnih dvoranah (npr. Golovec ali Stožice).

Gradbeno konstrukcijski materiali in materiali dodani v prostore močno vplivajo na akustične lastnosti. Zvok se mnogo bolj odbija od betona in gladke opeke ali kovinskih plošč, kot pa od parjenega betona (siporex) ali lesa. Bolj kot so površine gladke, močnejši bodo odboji, medtem ko se zvok od hrapavih in neravnih površin bistveno slabše odbije, predvsem pa se ne odbija nazaj v isto smer. Dodatno je mogoče odboj zmanjšati z uporabo mehkih materialov, ki zvok vpijajo oz. absorbirajo, ali z dodatnimi elementi v prostoru, kot so oblazinjeno pohištvo, poličke, rastlinje, razni dekorativni ali celo akustični elementi. Bolj kot bo prostor razgiban ter več kot bo prisotne publike, manjši bodo odmevni časi. Položaj in smer izvora zvoka v prostoru, naj bo to govorec, inštrument ali zvočnik, vplivata na razvoj in razširjanje, medtem ko položaj mikrofona ter razdalja med izvorom in mikrofonom močno vplivata na vsebino in kvaliteto zajema. Bližje kot bo mikrofona pevcu ali govorcju, bolj razločno bo zajet zvok in manj ga bo potrebno ojačevati, posledično pa bo v zajetem zvoku manj ozadja, šuma in odbojev. V primeru zajemanja ambientalnega zvoka oz. zajema polno razvitega zvoka v dvorani je potrebno umestiti mikrofona na mesta, kjer je zvok najlepše razvit in je približno enakomerno oddaljen od vseh izvorov.

Pri zajemu zvoka se poleg naštetega pojavljajo tudi dodatne ovire in izzivi kot so npr. vibracije okolice, zgradb, infrastrukture (vlak, prometne ceste, avtobusi ...), vlaga, veter, bližina energetskega vodov, naprave, ki povzročajo iskrenje (npr. krtačni motorji), prisotnost radio frekvenčnih signalov, temperatura itd. Vsi ti dejavniki lahko vplivajo tako na kvaliteto zvoka v prostoru, kot tudi na kvaliteto zajema. Vsega naštetega ni mogoče izločiti, kljub temu pa se lahko z ustreznim pristopom, izbiro mikrofona in njegovo postavitvijo, marsikaterega od motečih dejavnikov zmanjša in s tem izboljša končni izdelek, posnetek ali prenos.

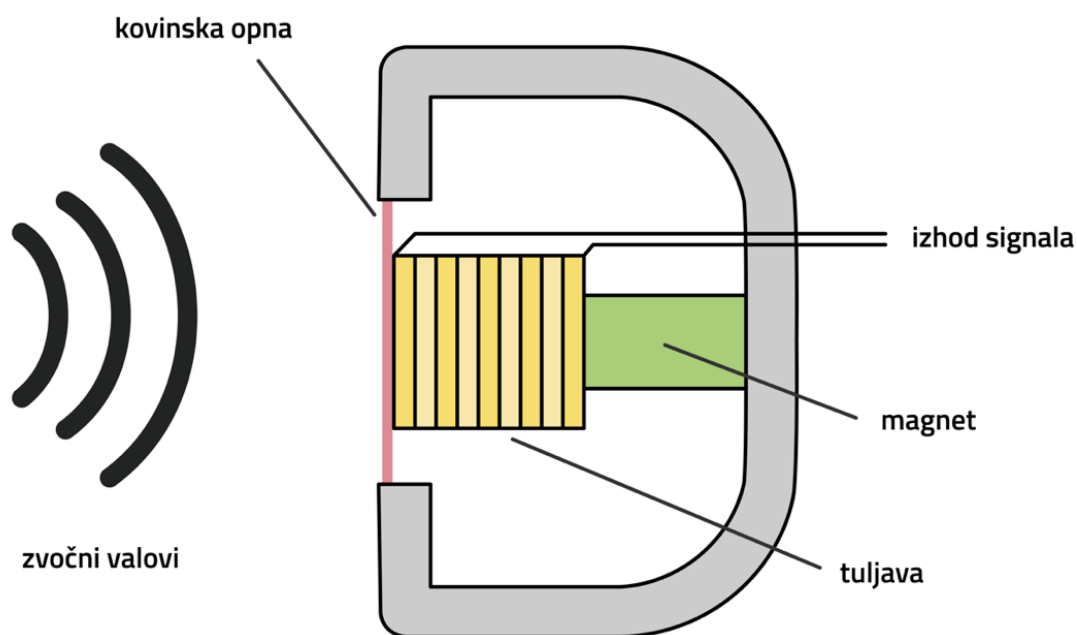
3.2 Mikrofoni

Izbor ustreznega mikrofona je odvisen od številnih dejavnikov, zato je pri izbiri pomembno poznavanje značilnosti posameznih tipov mikrofonov, saj je s tem neposredno pogojena tudi kvaliteta zajetega zvoka. Mikrofone je mogoče razdeliti po načinu pretvarjanja mehanskega nihanja v električno nihanje ter po njihovem smernem diagramu.

Mikrofon mehansko valovanje zračne mase pretvarja v električno valovanje, ki se ga lahko s pomočjo dodatnih naprav obdela in shrani. Glede na način pretvorbe se mikrofoni delijo na:

- dinamične mikrofone (ang. Dynamic Microphone, Moving Coil)
- kondenzatorske mikrofone (ang. Condenser Microphone)
- tračne mikrofone (ang. Ribbon Microphone)

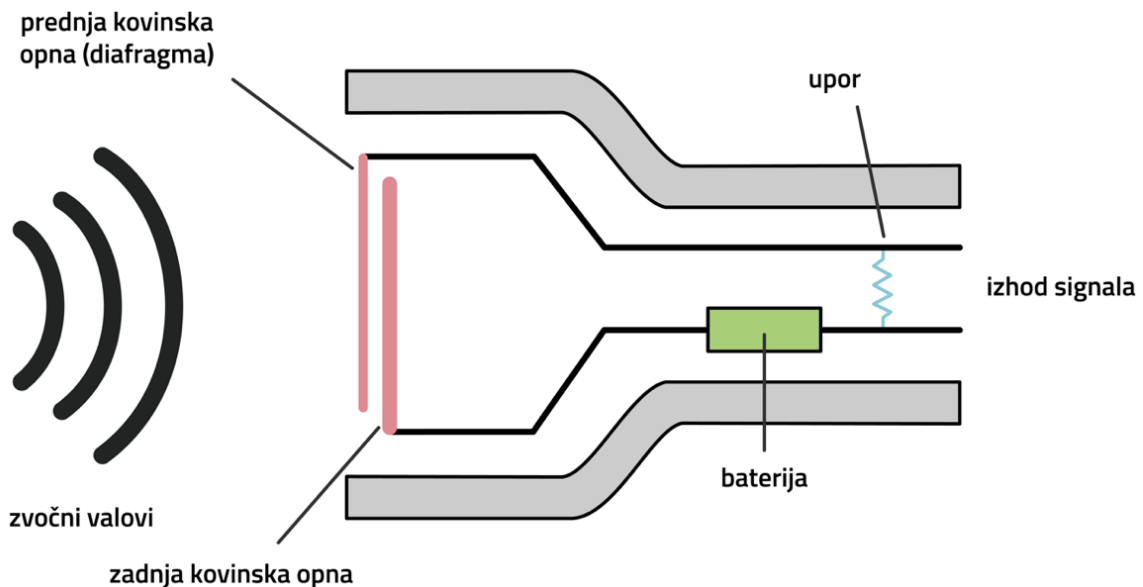
Dinamični mikrofon je sestavljen iz membrane, tuljave in fiksnega magneta. Slika 5 prikazuje shemo takšnega tipa mikrofona, iz katere je razvidno, da nihanje zraka oz. zračni valovi premikajo membrano, na katero je pritrjena lahka tuljava, ki je običajno izdelana iz približno 20 ovojev izredno tanke žice iz aluminija. Ko se tuljava giblje v magnetnem polju, ki ga povzroča stalni magnet, se v njej inducira napetost, ki se preko priključnih žic prenaša do priključnih sponk mikrofona. Tovrstni mikrofoni so zaradi vgrajenega magneta relativno težki, imajo relativno nizko občutljivost in so večinoma vsesmerni oz. neusmerjeni, za delovanje pa ne potrebujejo napajanja.



Slika 5: Zgradba dinamičnega mikrofona

V nasprotju z dinamičnimi mikrofoni pa **kondenzatorski mikrofoni** za svoje delovanje potrebujejo napajanje. Kot je razvidno s slike 6, je kondenzatorski mikrofon sestavljen iz dveh kovinskih plošč, upora in priključnih žic, v vezju na sliki pa je dodana tudi baterija. Mikrofon je izdelan kot kondenzator, sestavljen iz dveh kovinskih plošč, pri čemer je zadnja kovinska opna močnejša in perforirana (luknjičasta), prednja opna (membrana oz. diafragma) pa je izdelana iz tanke folije, na katero je nparjena tanka prevleka iz aluminija.

Naboj kondenzatorja je $Q = C \cdot U$, pri čemer C predstavlja kapaciteto, U pa napetost. S pomočjo napajanja, bodisi baterijskega ali pa fantomskega (ang. Phantom Power), se plošči kondenzatorja naelektrita na konstantno vrednost naboja Q . Ko zvočni valovi zadenejo membrano mikrofona, se razdalja med ploščama spreminja skladno z zvokom in posledično se spreminjata tudi kapacitivnost in napetost. Premik membrane in s tem sprememba napetosti je sicer majhna, a dovolj velika, da se jo lahko s pomočjo ojačevalnika oz. predojačevalnika ojača na ustrezno vrednost.

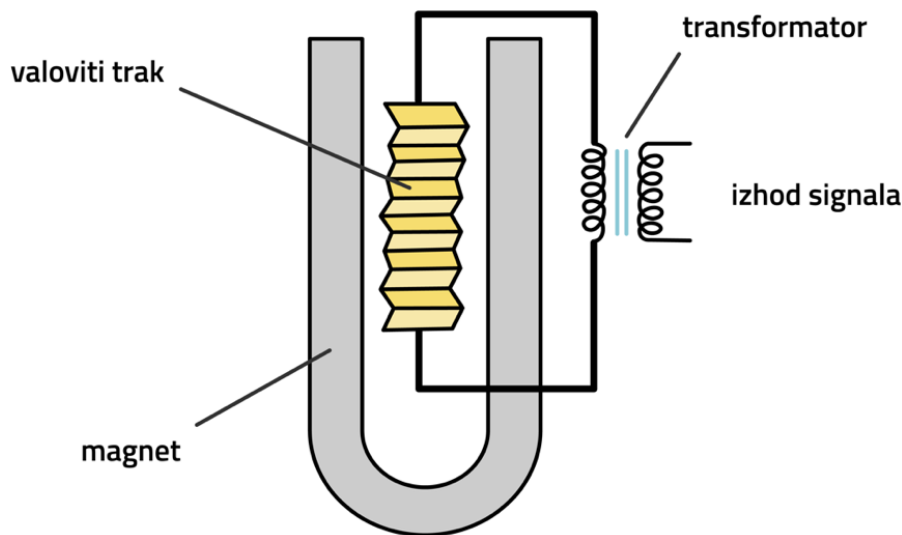


Slika 6: Zgradba kondenzatorskega mikrofona

Če na ploščah ni naboja oz. napajanje ni priključeno, bo sprememba napetosti enaka 0, ker je tudi naboj $Q=0$. Za delovanje tak mikrofon torej potrebuje napajanje. V nekaterih primerih imajo mikrofoni lahko vgrajen baterijski napajalnik, večinoma pa se kondenzatorske mikrofone napaja s pomočjo fantomskega napajanja, ki se ga lahko vklopi na avdio mešalni mizi ali kameri (+48 V). Pri tem V predstavlja volt, enoto za električno napetost oz. razliko električnih potencialov.

Kondenzatorski mikrofoni so bistveno bolj občutljivi od dinamičnih, so mnogo lažji, z različnimi izvedbami pa je mogoče dosežeti veliko različnih usmeritev oz. smernih diagramov, vse od vsesmernega (ang. Omnidirectional) do močno usmerjenega mikrofona (ang. Shotgun).

Kot posebno vrsto kondenzatorskih mikrofonov je smiselno omeniti tudi t. i. elektret mikrofon (ang. Electret Microphone), ki je zgrajen iz posebnih materialov, kot je stalno naelektrjen plastični izolator (ang. Permanently Charged Plastic Element), pri katerih je elektrostatični naboj stalno prisoten na membrani mikrofona. Kljub temu je za delovanje elektret mikrofona potrebno napajanje t. i. spojnega tranzistorja na osnovi električnega polja (ang. Junction-gate Field-Effect Transistor – J-FET), ki služi kot impedančni transformator, saj ima elektret mikrofon zelo visoko upornost. Poleg tega pa spojni tranzistor preprečuje prekomerno razelektritev, ki bi se pojavila, če bi tak kondenzator priključili neposredno na vhod avdio mešalne mize. V okviru razlage delovanja mikrofonov je tranzistor obravnavan kot "sestavni del", ki za delovanje potrebuje napajanje, ter deluje kot ojačevalnik ali impedančni transformator.



Slika 7: Zgradba tračnega mikrofona

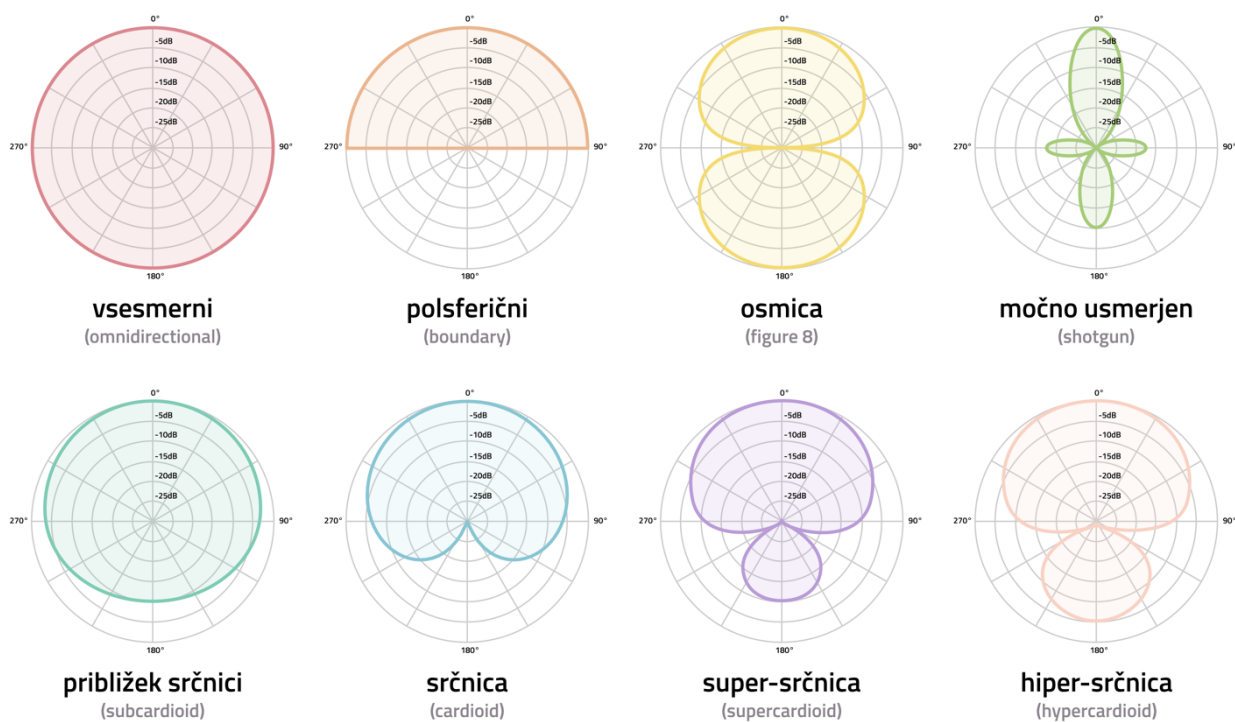
Tretja vrsta mikrofona je **tračni mikrofona**, ki ga sestavlja trajnostni magnet, v katerega je vstavljen tanek aluminijast trak in transformator. Shema tračnega mikrofona in sestavnih delov je prikazana na sliki 7. Zaradi magneta je mikrofona relativno težak, zaradi konstrukcije pa tudi krhek. Nepazljivo ravnanje (padec, večji tresljaji) ali pa priključitev napajanja lahko nepopravljivo uniči trak in s tem tudi mikrofona. Trak ima izredno nizko upornost, zato je že v samem mikrofona vgrajen transformator, ki zviša izhodno upornost mikrofona in ojača nivo izhodnega signala, a hkrati zaradi samih lastnosti transformatorja doda določeno popačenje. Pri tračnem mikrofona je enostavno doseči smerni diagram v obliki 8 – osmica.

Poleg osnovnih lastnosti glede načina pretvarjanja zvočnega valovanja v električno, se mikrofona razlikujejo tudi glede na njihovo usmerjenost. Osnovne tipe mikrofona je glede na smerne diagrame (ang. Polar Pattern) mogoče deliti na:

- vsesmerni (ang. Omnidirectional)
- srčnica (ang. Cardioid)
- super-srčnica (ang. Supercardioid)
- hiper-srčnica (ang. Hypercardioid)
- usmerjeni (ang. Shotgun / Lobar / Unidirectional)
- osmica (ang. Figure 8)

Primeri smernih diagramov so prikazani na sliki 8, kjer se mikrofona nahaja v sredini diagrama in je obrnjen navzgor. Zgornji del diagrama tako predstavlja občutljivost mikrofona s sprednje strani mikrofona, spodnji del diagrama pa občutljivost mikrofona z zadnje strani (ročaj). Izbor ustreznega smernega diagrama je odvisen od tega kaj se zajema in v kakšnih razmerah poteka zajem zvoka.

Pri pevcih je zaželen čim večji zavrnitveni faktor (ang. Reject Factor) zvoka, ki prihaja z zadnje strani mikrofona, torej bo najbolj primeren mikrofona z diagramom srčnice, medtem ko se pri filmskem snemanju zvok pogosto zajema z večje razdalje s t. i. boom mikrofona, zato je za zajem veliko bolj primeren močno usmerjen mikrofona.



Slika 8: Smerni diagrami mikrofonov

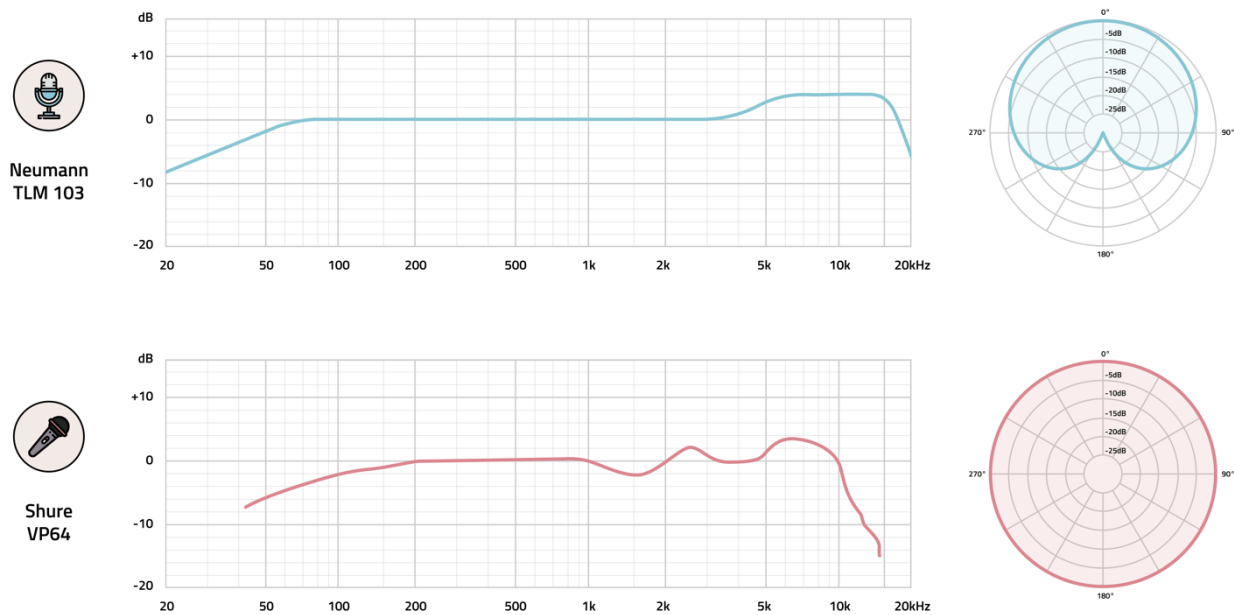
Pri mikrofonih je pomemben tudi frekvenčni odziv oziroma frekvenčni razpon mikrofona, ter kako se njegov smerni diagram spreminja s frekvenco. Pomembno je namreč tudi kakšne frekvence je potrebno zajeti. Lahko je to 5 strunski kontrabas, ki ima najnižji ton B0 pri 31 Hz ter najvišji G4 ton s frekvenco 392 Hz, ali violina, ki ima najnižji ton G3 pri 196 Hz in zelo visok razpon vse do tona A7, s frekvenco 3520 Hz. Seveda velja omeniti, da se pri nihanju strun pojavijo tudi višji harmoniki in 3. harmonik ima v tem primeru frekvenco nad 10 kHz. Udarni boben (ang. Kick Drum) ima zelo veliko moč udarnega vala (ang. Sound Pressure Level – SPL) in frekvenčni razpon med 80 in 150 Hz, medtem ko ima t. i. talni tom boben (ang. Floor Tom) manjši udarni val in nižji frekvenčni razpon med 60 in 110 Hz. Klavir z 8 oktavami pa ima razpon tonov od A0 do C8, torej frekvenčni razpon od 27,5 Hz do 4186 Hz.

Iz danih primerov je mogoče sklepati, da je treba za različne inštrumente uporabljati mikrofone z različnimi frekvenčnimi odzivi, smernimi diagrami, občutljivostjo itd. Določene nepravilnosti oz. pomanjkljivosti posameznih mikrofonov je mogoče popraviti s pomočjo nastavitvev na avdio mešalni mizi ali pa s pomočjo dodatne obdelave zvoka.

model mikrofona	tip	smerni diagram	frekv. razpon	teža	mV/Pa	dBV/Pa
Sennheiser MD42	dinamični	vsesmerni	40 Hz - 18 kHz	360 g	2,0	-54,0
Shure SM94	kondenzatorski	srčnica	40 Hz - 16 kHz	250 g	3,5	-49,1
Neumann TLM103	kondenzatorski	srčnica	20 Hz - 20 kHz	450 g	23,0	-32,8
AKG CGN99	kondenzatorski	hiper-srčnica	50 Hz - 19 kHz	160 g	12,0	-38,4
Sennheiser ME66	kondenzatorski	usmerjeni	40 Hz - 20 kHz	65 g	50,0	-26,0

Tabela 2: Tehnični podatki različnih mikrofonov

Napetost na izhodu mikrofona je pogosto v razredu nekaj mV ali celo manj, pomembno pa je upoštevati, da niso vsi mikrofoni enako občutljivi. Pri navajanju občutljivosti mikrofona je podana vrednost napetosti pri spremembi tlaka za en Pascal (Pa), v literaturi pogosto naveden kot dB SPL. Občutljivost je lahko podana ali v milivoltih na pascal (mV/Pa) ali decibel voltih na pascal (dBV/Pa). Tabela 2 prikazuje zbrane tehnične podatke za 5 različnih mikrofonov. Iz nje lahko razberemo, da je najbolj občutljiv, najbolj usmerjen in tudi najlažji peti mikrofona (Sennheiser ME66), najboljši frekvenčni razpon ima tretji mikrofona (Neumann TLM103) in samo prvi mikrofona (Sennheiser MD42) ne potrebuje napajanja. Slika 9 prikazuje frekvenčna odziva in smerna diagrama dveh pogosto uporabljenih mikrofonov.



Slika 9: Frekvenčna odziva in smerna diagrama mikrofonov Neumann TLM 103 in Shure VP64

3.3 Avdio mešalna miza

Zaželeno je, da se zvočne vire ne glede na njihov izvor primerno uravna in sešteje v končni signal, kar omogoča avdio mešalna miza (ang. Audio Mixer). Avdio mešalna miza omogoča, da se izvore (vhodne signale) izenači tako po glasnosti, kot tudi frekvenčno. Na mikrofonskih vhodih mešalne mize so zato vgrajeni nizko-šumni predojačevalniki, ki omogočajo ojačenje izredno šibkih signalov mikrofonov (nekaj μV) na primerno jakost. Z nastavitvijo **ojačenja** (ang. Gain) se vhodne signale nastavi na ustrezno vrednost. Pogosto se takoj za vhodnim ojačevalnikom nahaja omejevalnik nizkih frekvenc (ang. Low-cut) ter frekvenčni izenačevalnik (ang. Frequency Equalizer), s pomočjo katerega je mogoče uravnati oz. ustrezno poudariti izbrani del frekvenčnega spektra. Običajno je mogoče nastavljati vsaj tri ločena frekvenčna področja.

Nato sledi **usmerjanje signalov** na različne ponore, segment usmerjanja pa se močno razlikuje glede na tip, velikost in proizvajalca posamezne avdio mešalne mize. Pri usmerjanju signalov na izhode SEND ali AUX (pomožni, ang. Auxiliary) se s potenciometri nastavlja jakost vhodnega signala, ki se ga preusmeri na posamezen izhod. Signal vhoda se nato preko drsnika za nastavljanje glasnosti (ang. Fader) usmerja na glavni izhod. Pri vhodnem signalu so običajno še tipke za izklop ali utišanje posameznega vhoda ter za potrebe nadzora še možnost vklopa SOLO ali PFL (poslušanje pred drsnikom, ang. Pre-Fader Listen), ki omogoča, da se na slušalkah ali monitor zvočnikov posluša samo izbrani vhodni signal pred drsnikom (vhodni signal se lahko

poslušča tudi, če le-ta še ni dodan na izhod). Potek signala je enak za vse vhode v mešalno mizo. Na končnem izhodu oblikovanega zvoka se seštejejo vsi signali, kot so nastavljeni s pomočjo gumbov in drsnikov. Seveda zgoraj opisani potek velja zgolj za enostavne analogne mize, medtem ko za boljše analogne ali pa celo digitalne avdio mešalne mize velja, da ponujajo veliko več možnosti in naprednih nastavitvev, ter tudi digitalno obdelavo.

Za ustrezno nastavljanje signalov imajo mešalne mize vgrajene inštrumente za nadzor jakosti vhodnih in izhodnih signalov. Naprednejše mešalne mize imajo merilnike jakosti signala (ang. Volume Unit – VU) ali merilnike vrhov jakosti signala (ang. Peak Programme Meter – PPM) tudi na posameznih vhodih, medtem ko imajo cenejše mize tovrstne merilnike samo na izhodu, na vhodu pa zgolj indikator previsokega vhodnega signala (ang. Clipping). V kolikor se prižiga lučka "clipping" ali pa merilniki prihajajo v rdeče področje, so nivoji signalov previsoki in jih je potrebno ustrezno znižati oz. prilagoditi. Pri tem je potrebno poudariti, da signal na celotni poti ne sme nikjer preseči najvišje vrednosti, saj to pomeni nepopravljivo popačenje zvoka, ki ga ni mogoče nikjer več odpraviti ali popraviti. Nadzor signala od izvora do ponora je zato zelo pomemben na vseh točkah obdelave.

Analogne avdio mešalne mize so za uporabnika s stališča upravljanja bolj enostavne, nastavitve in sama pot signala pa bolj neposredno določena že s samimi fizičnimi vhodi, gumbi in nastavitvami. Za osnovno razumevanje poti signala, konceptov obdelave in mešanja zvoka ter pristopov je zato najbolj primerna ravno analogna mešalna miza. Koncept digitalne avdio mešalne po drugi strani omogoča veliko večji nabor funkcionalnosti in možnosti kot analogne mešalne mize. Eden izmed konceptov malih digitalnih miz je tudi možnost upravljanja le-teh na daljavo preko različnih uporabniških vmesnikov. Uporabniški vmesnik digitalne mešalne mize je lahko nameščen na telefonu, tablici, računalniku ali pa v fizični obliki (kot npr. Behringer X-touch). Pri digitalnih avdio mešalnih mizah se vsi signali za predojačevalniki pretvorijo v digitalno obliko, zato jih je mogoče poljubno preusmerjati, pretvarjati in jim dodajati efekte itd. Ravno zaradi prilagodljivosti je mogoče digitalne mešalne mize izdelati bolj kompaktno in pregledno, saj je mogoče z enim naborom gumbov upravljati nastavitve vseh kanalov.

3.4 Video kamera

V video produkciji je osnovno orodje kamera, seveda poleg vseh ostalih, prav tako pomembnih elementov. Za vsakogar, ki uporablja kamero, je ključnega pomena, da ve, kako s kamero rokovati, pozna njene sestavne dele in sistem nastavljanja ter upravljanja. Med seboj se kamere sicer razlikujejo, vendar kljub temu osnovni koncepti večinoma ostajajo enaki, prihaja le do manjših razlik v izvedbi uporabniškega vmesnika in funkcionalnostih posameznih gumbov oziroma obročev. Seveda se kamere ne razlikujejo zgolj po zunanosti. Največje razlike med njimi so v jedru kamere: v velikostih čipov (senzorjev) za zajem slike, obdelavi slike in video signalov, možnostih zunanega upravljanja, standardih za zapis in nenazadnje tudi standardih za prenos videa (izhodi).

Poznavanje sestavnih delov kamere kot so: ohišje, objektiv in njegove lastnosti, uporabniški vmesnik, iskalo pogleda, ekran, avdio vmesniki ter vhodno/izhodni priključki so zgolj najbolj potrebna osnova. Za ustrezno rokovanje je potrebno mnogo bolj poglobljeno poznavanje osnovnih nastavitvev kamere. Vsak, ki upravlja s kamero, mora poznati vsaj osnove ostrine (ang. Focus), spremenljive goriščne razdalje (ang. Zoom), zaslonke (ang. Iris/Aperture), funkcije makro (ang. Macro), nastavitve temperature svetlobe oz. beline (ang. White Balance), hitrosti zaklopke (ang. Shutter Speed), nevtralnega filtra (ang. Neutral Density – ND), elektronskega

ojačenja svetlosti (ang. Gain), pomožnih orodij za ostrenje kot npr. orodje za poudarjanje ostrih robov s pomočjo posvetljevanja (ang. Peaking), pomoč za ostrenje (ang. Focus Assist), ter še mnogih drugih.

Slika 10 prikazuje shemo objektiva profesionalne video kamere, kjer so označene pozicije vseh obročev. Nastavljanje **ostrine** se v profesionalni produkciji skorajda vedno upravlja ročno s pomočjo prvega obroča na objektivu. Na obroču so napisane razdalje do ravnine ostrenja (ang. Focus Plane) in v kolikor snemalec dobro oceni razdaljo med snemanim objektom in kamero, lahko ostrino nastavi tudi na podlagi razdalje. Pomemben podatek pri ostrini je tudi najbližja točka, kjer je še mogoče izostriti sliko. Zgornja meja je v večini primerov neskončno daleč. V kolikor bi želeli snemati bližje, kot pa to označuje podatek na obroču za ostrenje, bi bilo potrebno premakniti nastavitev **makro**, ki omogoča izostritev objektov, ki so blizu objektivu. Pri tem je potrebno takoj izpostaviti, da je v tem primeru globinska ostrina majhna (plitva), nastavitev pa je ustrezna le na točno določeni goriščni razdalji. Že ob manjši spremembi položaja kamere ali goriščne razdalje, slika ne bo več ostra.

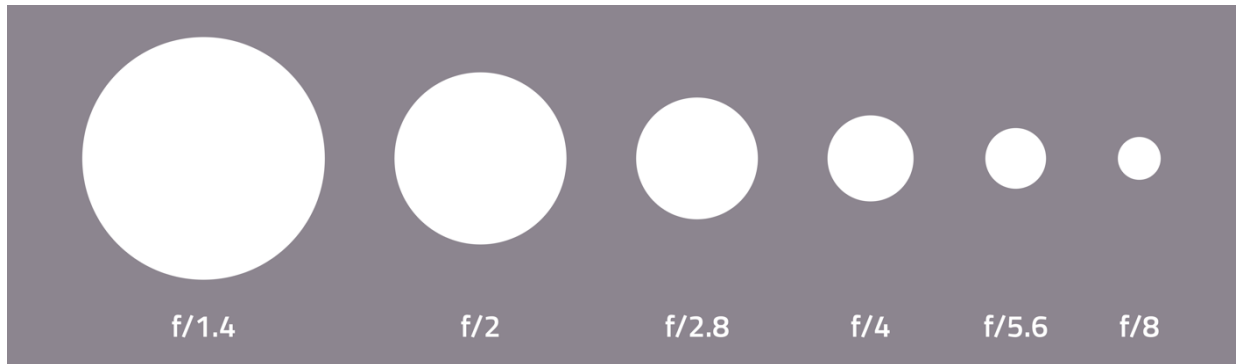


Slika 10: Shema objektiva profesionalne video kamere

Goriščna razdalja oziroma podatek o največji in najmanjši goriščni razdalji ter faktor med njima je osnoven podatek vsakega objektivu. Na sredinskem obroču se nahajajo podatki o goriščnih razdaljah, pri čemer najmanjša številka predstavlja najmanjšo goriščno razdaljo oz. najširši možni kot objektivu, največja številka pa največjo goriščno razdaljo oz. najožji kot objektivu. Razmerje med največjo in najmanjšo številko je hkrati tudi podatek o največji možni povečavi (običajno je to tudi osnovni podatek objektivu). Goriščne razdalje so navadno podane v razmerju glede na 35 mm senzor, čeprav se v video produkciji, še posebej v studijski produkciji, običajno uporablja manjše senzorje. Svetlost slike kot jo vidi kamera je mogoče upravljati na več različnih načinov. Količina vpadle svetlobe je odvisna od ND filtra, ojačenja, odprtosti zaslonke, občutljivosti senzorja in kvalitete objektivu oz. razmerja med goriščno razdaljo in premerom zaslonke – f številko (ang. F-stop).

Nevtralni filter se uporabi pri snemanju močno osvetljenih scen (običajno močno sonce). ND filtri zmanjšajo količino vpadle svetlobe na senzor brez nelinearnega vpliva na barvni spekter slike. Elektronsko ojačenje pomaga posvetliti sliko s pomočjo električnega signala, vendar se pri tem zelo pogosto pojavi tudi opazna popačitev (zrnatost slike). Pri nastavljanju kamer se je potrebno držati osnovnega načela – čim manj elektronskega ojačenja, oz. izogibanje le-tega.

Količino vpadne svetlobe na senzor se najpogosteje natančneje uravnava s pomočjo **zaslonke**. Bolj kot je zaslonka odprta, več svetlobe pade na senzor, bolj kot je zaprta, manj svetlobe pade na senzor. Pri tem se je potrebno zavedati, da odprtost zaslonke (poleg goriščne razdalje in velikosti senzorja) vpliva tudi na globinsko ostrino; bolj kot je zaprta zaslonka, večja je globinska ostrina. Zaslonka se uravnava z zadnjim obročem na objektivu (gledano proti ohišju kamere). Podatka o največjem f številu in številu stopenj odpiranja zaslonke sta prav tako pomembna podatka objektivu. Iz prikaza stopenj, vidnih na sliki 11, je razvidno, da se površina zaslonke pri vsaki stopnji spremeni za faktor 2, medtem ko se polmer pri vsaki stopnji spremeni za faktor $\sqrt{2}$.



Slika 11: Osnovne stopnje zaslonke (f/1.4 – f/8)

Globinska ostrina se pri kamerah nanaša na razdaljo med sprednjo in zadnjo ravnino ostrenja. Sprednja ravnina je najbližja ravnina kameri, na kateri je slika še ostra, zadnja ravnina pa je najbolj oddaljena ravnina, kjer je slika še ostra. Na razdaljo med tema dvema ravninama sicer vpliva več parametrov, v splošnem pa bo pri velikem senzorju, majhni goriščni razdalji in veliki zaslonki (polno odprta) ta razdalja zelo majhna, medtem ko bo pri majhnem senzorju, veliki goriščni razdalji in pri vsaj na pol zaprti zaslonki ta razdalja zelo velika.

Človeško oko se zelo dobro prilagaja temperaturi svetlobe, kar pa ne velja za senzorje kamere. Pri kamerah je zato pomemben tudi vir osvetlitve, saj ima sončna svetloba temperaturo okrog 5600 Kelvinov (K), medtem ko imajo halogenske žarnice temperaturo okrog 2800 K – 3200 K. Lastnostim vpadne svetlobe je potrebno prilagoditi tudi nastavitve kamere, kar se izvede s pomočjo nastavljanja beline. **Belino** je na kamerah mogoče nastavljati ročno ali avtomatsko, v obeh primerih pa je za ustrezno nastavitve potrebna uporaba bele površine. V kolikor belina na kameri ni ustrezno nastavljena, se bo bela površina na kameri pojavila v modrih ali rumenih odtenkih. Za nastavitve beline je kamero potrebno usmeriti v belo površino, ustrezno nastaviti zaslonko, da slika ni pre- ali podosvetljena, razostriti sliko ter pritisniti na gumb za samodejno nastavitve beline (ang. Auto White Balance – AWB). Kamera po pritisku na gumb AWB sama uravnava pravilno belino, pri tem pa je potrebno paziti, da izbirni gumb beline ni nastavljen na prednastavitve (ang. Preset), saj je le-ta namenjena ročnemu nastavljanju temperature svetlobe. Ročno prednastavitve beline je potrebno nastaviti v nastavitvah kamere, pri čemer nekatere kamere omogočajo zgolj preklon med dvema vrednostima (zunaj / znotraj ali npr. 2800 K / 5600 K), medtem ko bolj napredne kamere omogočajo natančnejše nastavitve beline npr. na 100 K natančno.

Na svetlost in ostrino slik vpliva tudi **hitrost zaklopke**, v fotografiji je ekvivalent tej nastavitvi dolžina ekspozicije. Manjša kot je hitrost zaklopke, bolj svetla a hkrati tudi manj ostra bo slika, višja kot je hitrost, bolj izostrena in natančna bo slika, a posledično tudi bolj temna. Kadar je hitrost zaklopke manjša od števila okvirjev na sekundo, se pojavi dodatna zameglitev slike oz. svetlobni rep. Nastavljanje hitrosti zaklopke lahko pomaga izničiti efekt utripanja zaslonov ali svetil (ang. Flickering), ki imajo frekvenco utripanja blizu nastavitvi hitrosti zaklopke.

3.4.1 PTZ video kamere

PTZ kamere so robotizirane video kamere, ki operaterju omogočajo njihovo daljinsko upravljanje oz. premikanje (ang. Pan), nagibanje (ang. Tilt) in povečavo (ang. Zoom). Poleg premikanja je na kameri mogoče nastavljati tudi vse ostale klasične nastavitve, prav tako pa omogočajo tudi shranjevanje prednastavitev lokacije in ostalih nastavitev kamere, kar močno pohitri in poenostavi delo z njimi. En sam operater lahko tako upravlja večje število kamer hkrati. Ker je PTZ kamere mogoče upravljati iz oddaljene lokacije, se le-te pogosto uporabljajo v video produkciji, v izobraževanju in medicini. Upravljati jih je mogoče tudi preko spletnega vmesnika, pod pogojem, da le-ta podpira delovanje oziroma upravljanje kamer preko protokola IP, toda pogosto se izkaže, da je tak način upravljanja preveč okoren za produkcijo v živo. Bolj enostavno in intuitivno je upravljanje s pomočjo prilagojenih PTZ krmilnikov (ang. Camera Controller), kot je npr. Panasonic AW-RP150 ali njegova manjša verzija AW-RP50.

3.5 Video mešalna miza

Pri snemanju z več kamerami je potrebno ustrezno preklapljanje in kombiniranje virov videa, kar omogoča video mešalna miza (ang. Vision Mixer). Video mešalne mize so sicer zgrajene na različne načine, a je pri večini miz koncept postavitve in osnovnega poteka signala enak. Z večanjem števila vhodov in z dodajanjem funkcij se velikost vmesnika sicer povečuje, ohranja pa se koncept postavitve in njena izvedba. Tako so, razen v izjemnih primerih in pri programskih izvedbah mešalnih miz, uporabniški vmesniki ter osnoven način dela podobni pri vseh.

V grobem je arhitekturo video mešalnih miz mogoče razdeliti na matriko virov (v angleški literaturi pogosto označeno kot Crosspoint), nastavitve prehodov (ang. Transition), akcijski del s T-ročko (ang. T-bar), ter nastavitveni del. Matriko virov za vsak mešalni učinek (ang. Mix Effect – ME) sestavlja niz gumbov v 3 ali 4 vrstah, ki so barvno označene: **predogled** (ang. Preview) je označen z zeleno, **v živo ali program** (ang. Live/Program) z rdečo in **učinki** (ang. Effects) z modro ali rumeno barvo.

Kot kažejo že same barve, je najbolj pomembna rdeča vrsta gumbov, saj se tam izbira oz. je izbran vir, ki je trenutno v "etru" oz. na izhodu video mešalne mize. Osnovni način rokovanja z video mešalno mizo predvideva izbor vira, ki bo v naslednjem trenutku šel v program, kar se izvede z izbiro vira v vrstici predogled (zeleno), nato pa se vir, ki je v živo in vir, ki je na predogledu, zamenja s pritiskom na gumb AUTO ali CUT (rez) ali s premikom T-ročke. Razlika med vsemi tremi možnostmi je v tem, da se s pomočjo premikanja **T-ročke** hitrost prehoda nadzoruje ročno; z uporabo tipke **AUTO** prehod poteka skladno s prednastavljeno dolžino prehoda (ang. Transition Speed/Time); s tipko **CUT** pa se vira med seboj zamenjata takoj, brez kakršnega koli prehoda. V primeru uporabe prehoda mora biti ta ustrezno nastavljen oz. izbran v področju izbire prehodov. Najpogosteje uporabljeni prehod je preliv (ang. Cross-Fade). V kolikor se uporabljajo dodatni učinki, se vir, na katerega učinek vpliva, nastavlja v vrstici učinki (modra/rumena linija).

Poleg preklapljanja med slikami in uporabo različnih prehodov video mešalne mize pogosto omogočajo tudi vstavljanje prekrivnih grafik in napisov (ang. Overlay), ki se jih na mešalno mizo priključi kot ločen vir. V nekaterih primerih že sama programska oprema omogoča izdelavo grafik in napisov, v tem primeru se to obravnava kot notranji vir mešalne mize. Prav tako ima lahko video mešalna miza vgrajen snemalnik in predvajalnik medijskih datotek (ang. Digital Disk Recorder – DDR), s pomočjo katerega se lahko predvaja medijske datoteke v program.

3.5.1 Tipi video mešalnih miz

Danes so v uporabi različni tipi video mešalnih miz, od strojnih (kot npr. Panasonic MX-70, Panasonic AV-HS-450, JVC KM-H3000 ...), kombiniranih (kot npr. Newtek Tricaster, Panasonic AV-HLC100 ...), do programskih (kot npr. Wirecast, OBS, vMix ...). Vsak tip ima svoje prednosti in slabosti.

Strojne mešalne mize, torej namenske mešalne mize, katerih strojna oprema je prilagojena izključno mešanju video signalov, so seveda najbolj robustne in zanesljive. Hkrati so tudi najbolj omejene, tako s stališča vhodov in izhodov, kot tudi raznih prilagoditev, kombinacij in uporabe različnih standardov. **Programske mešalne mize** so bistveno bolj prilagodljive saj omogočajo mešanje različnih virov, lažje jih je prilagajati (npr. povečanje števila vhodov), hkrati pa omogočajo tudi neposredno pretočno predvajanje videa na različne spletne portale ali aplikacije (ang. Streaming), dodajanje grafik, slik in animacij. Cena prilagodljivosti se skriva predvsem v manj preglednih vmesnikih, manj robustnem delovanju ter pogostejših izpadih delovanja. Razlog za manj robustno delovanje je dejstvo, da tovrstne rešitve večinoma temeljijo na običajnih operacijskih sistemih Windows in macOS, ki so namenjeni širši uporabi in se zato na tovrstnih sistemih pogosto izvajajo tudi drugi procesi. **Kombinirane mešalne mize** so kombinacija strojnih in programskih miz, le da v tem primeru že proizvajalec omeji uporabo druge programske opreme in poskrbi za ustrezno optimizacijo delovanja operacijskega sistema, še vedno pa je omogočena fleksibilnost sistema.

Programske video mešalne mize je mogoče srečati v različnih kombinacijah in oblikah, običajno gre za programsko opremo, ki teče na operacijskih sistemih Windows ali macOS. Število vhodov in njihovi tipi so omejeni s strojno opremo, saj so za uporabo signalov običajnih video standardov, kot so

- kompozitni (ang. Composite) signali,
- komponentni (ang. Component) signali,
- serijski digitalni vmesnik (ang. Serial Digital Interface – SDI),
- multimedijski vmesnik visoke ločljivosti (ang. High Definition Media Interface – HDMI), in
- digitalni vizualni vmesnik (ang. Digital Visual Interface – DVI),

potrebne dodatne razširitvene kartice za medsebojno povezovanje perifernih komponent. V ta namen so uporabljane rešitve na PCIe vodilih (ang. Peripheral Component Interconnect Express), kot npr. Blackmagic DeckLink, AJA KONA, BlueFish ali različni pretvorniki na univerzalnem serijskem vodilu (ang. Universal Serial Bus – USB), kot npr. Magewell USB converter, Inogeni converter in AJA Capture. Število video vhodov je tako omejeno z največjim številom kartic, ki se jih lahko priključi na posamezen sistem (računalnik) ter številom vhodov posamezne kartice. Pri tem je potrebno upoštevati predvsem največje število individualnih vodil (neodvisnih USB vhodov oz. število "stez" PCIe vodil), ki je odvisno od števila rež, matične plošče in procesorja ter njihovo največjo prenosno hitrost.

Zaradi velike prilagodljivosti se pri programskih video mešalnih mizah kot vhodni signali vse pogosteje uporabljajo omrežni viri, posnetki, zajemi namizja, izhodi iz programov ter navidezni vhodi in izhodi, ki so lahko notranji (izvor na istem računalniku) ali zunanji omrežni viri. Med njimi so najpogostejši:

- programska oprema za zajem namizja, npr. iVGA podjetja NewTek
- omrežni vmesniki za naprave (ang. Network Device Interface – NDI)

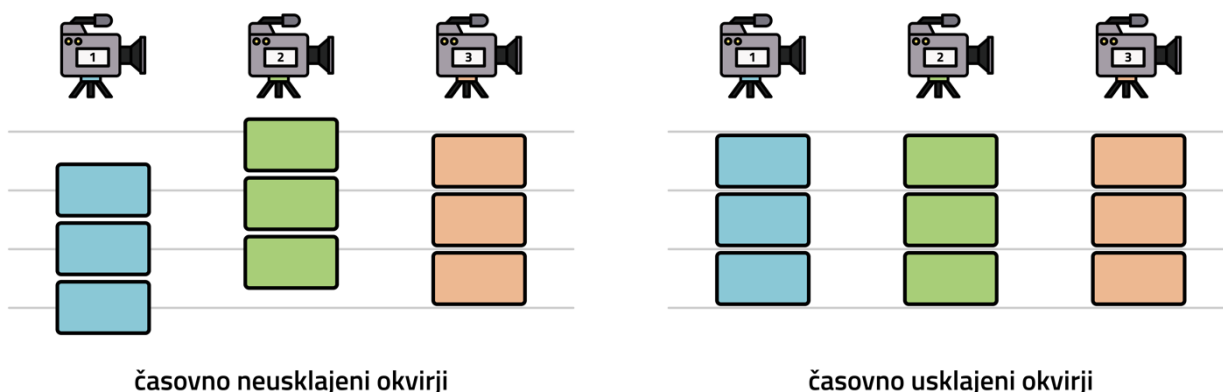
- visoko zmogljivi omrežni vmesniki za naprave (ang. Network Device Interface High Efficiency – NDI|Hx) in visoko zmogljivi omrežni vmesniki za naprave 2 (NDI|Hx2)
- standard združenja inženirjev s področja gibljivih slik in televizije 2110 (ang. Society of Motion Picture and Television Engineers Standard-2110, SMPTE ST-2110)

Kljub navidezno neomejenim možnostim je vključevanje tovrstnih virov omejeno, saj imajo omrežne kartice omejeno največjo prenosno hitrost. Število virov, ki jih je mogoče priključiti, je seveda odvisno predvsem od bitnega pretoka posameznih vhodnih virov. Bitni pretok omrežnih virov je odvisen tudi od uporabe standardov. HD video vir tako pri uporabi NDI|Hx zaseda približno 20 Mb/s, pri polnem NDI približno 100 Mb/s, medtem ko pri uporabi SMPTE ST-2110 video brez kompresije zaseda 3 Gb/s. Dodatne omejitve predstavlja tudi sama arhitektura sistema (računalnika), grafična kartica (ang. Graphics Processing Unit – GPU), procesor, pomnilnik z naključnim dostopom (ang. Random Access Memory – RAM), hitrosti vodil in diskov, ter zmogljivosti uporabljene programske opreme, ki se izvaja na sistemu. Posledično pri tovrstnih sistemih nikoli ni mogoče točno določiti celotne kapacitete ali zmogljivosti sistema, saj je le-ta odvisna od velikega števila dejavnikov, hkrati pa enakega stanja dolgoročno ni mogoče zagotavljati zaradi nadgradenj sistema, zasedenosti diska, okvar in napak na pomnilnikih.

Programske video mešalne mize pogosto vsebujejo tudi različne možnosti za pretočno predvajanje video vsebin. Pri pretočnem predvajanju se lahko uporablja različne načine prenosa videa, npr. s pomočjo protokola za sporočanje v realnem času (ang. Real-Time Messaging Protocol – RTMP), ki ga je mogoče oddajati na različne video platforme kot so Ustream, YouTube in Vimeo. Alternativa protokolu RTMP je protokol za spletno komunikacijo v realnem času (ang. Web Real-Time Communication – WebRTC), s pomočjo katerega se lahko video prenaša na videokonferenčne platforme kot npr. Cisco Webex, MS Teams, Zoom idr. Pri različnih vrstah prenosa je mogoče dosegati različne kvalitete storitev, saj imajo posamezne video-konferenčne platforme lahko omejitve ločljivosti, bitnih pretokov, uporabe kodirnih postopkov ter v sam prenos vnašajo dodatne zakasnitve. V nekaterih primerih se kvaliteta pretočnih vsebin prilagaja končni napravi in prenosni poti, pri drugih pa je le ta stalna.

3.5.2 Časovna neusklajenost različnih video virov

Pri video vsebinah in prenosih v živo se pogosto pojavlja tudi izziv časovne sinhronizacije virov, pri čemer lahko pride do zamikov iz dveh razlogov. Prvi razlog izhaja iz dejstva, da kamere oddajajo video signal ob poljubnem času in brez sinhronizacije začetki sličic oz. posameznih okvirjev niso časovno usklajeni.



Slika 12: Sinhronizacija virov

Tako se lahko začetek okvirja druge kamere pojavi ravno na polovici ali pa na koncu okvirja prve kamere, v vsakem primeru pa je potrebno okvirje pred obdelavo oz. mešanjem časovno poravnati (prva vrstica vsakega posameznega okvirja se mora začeti v istem trenutku). To se lahko izvede neposredno s sinhronizacijo kamer s pomočjo posebnega signala (npr. Genlock) ali pa s pomočjo poravnavanja okvirjev na video mešalni mizi, kar povzroči dodaten zamik oddajanja oz. zakasnitev vsaj enega okvirja. Ker kamere oddajajo signal s 25 ali 50 okvirji na sekundo, v primeru oddajanja s 25 fps, zamik enega okvirja predstavlja 40 ms. Slika 12 prikazuje primer sinhronizacije treh različnih virov.

Drug izziv se pojavi pri uporabi virov v različnih standardih in povezavah z različnimi protokoli. Še posebej v hibridnih sistemih se pogosto uporablja video vire (SDI, composite, HDMI) in omrežne (IP) vire skupaj, pri čemer se je potrebno zavedati, da lahko zaradi uporabe pretvornikov ali različnih standardov zapisa in prenosa videa prihaja do medsebojnih časovnih zamikov, ki jih je težko izenačiti. Še posebej moteči so zamiki med videom in zvokom, zato je pomemben del načrtovanja tudi izenačevanje teh časovnih zamikov ter uskladitev zvoka z video vsebinami. Pri sočasni uporabi virov SDI in NDI|Hx lahko med njimi pride do 6 okvirjev zamika, kar pomeni, da je potrebno tako zvok kot sliko časovno sinhronizirati. Pri oddajanju s 25 fps 6 okvirjev predstavlja 240 ms zamika oz. približno četrtno sekunde, kar je pri ogledu zelo moteče.

3.6 Stativi

Kamero je mogoče uporabljati na različne načine in v različnih okoljih, temu primerna pa mora biti tudi izbira stativa. Pri terenski produkciji se najpogosteje uporabljajo fiksni stativi oz. trinožniki (ang. Tripods), v studiu pa pedestali, ki med drugim omogočajo snemanje med premikanjem kamere oz. vožnjo kamere. Kljub uporabnosti pedestali niso najbolj primerni za uporabo na terenu, predvsem zaradi teže, okornosti in dela, ki ga je potrebno vložiti, da se celoten pedestal sestavi, uravna in pripravi za delo. Ker je zmožnost premikanja kamere pogosto uporabna ali pa celo zahtevana funkcionalnost, se na terenskih produkcijah najpogosteje uporablja kombinacija trinožnika z dodanimi kolesi (ang. Dolly), pri čemer je potrebno poudariti, da ta kombinacija omogoča podobno funkcionalnost, še zdaleč pa ne enake kvalitete in možnosti, ki jih ponuja pedestal.

Pri vseh stativih in pedestalih je pomembno, da se jih ustrezno pripraviti in sestavi. Pred namestitvijo kamere na stativ je potrebno stativ postaviti na ustrezen podstavek ali kolesa, nastaviti višino nog, uravnati glavo s pomočjo vodne tehtnice in zavarovati vse spoje, da se ne premaknejo po namestitvi oz. vpetju kamere. Pred vpetjem kamere je potrebno preveriti tudi, če nosilnost glave in stativa ustreza teži kamere z vso opremo, če sta vertikalni in horizontalni pomik zaklenjena, ter da premer vijaka ustreza navoju na kameri oz. da je uporabljena ustrezna prilagoditvena plošča (ang. Adapter Plate, lahko tudi Quick Release Tripod Plate) za hitro vpenjanje kamere. Vijak na ploščici stativa mora biti ustrezno privit, da se ploščica ne premika. Ko je ploščica ustrezno pritrjena na kamero ali prilagoditveno ploščo, se lahko kamero ali prilagoditveno ploščo vpne na glavo stativa, ki je že ustrezno poravnana s pomočjo vodne tehtnice. Po vpetju kamere na stativ ali ploščo je potrebno zavarovati ploščico stativa, da se ne premika in na kamero dodati vse dodatke in pripomočke (npr. baterija, mikrofoni, sprejemnik), ki so v uporabi pri snemanju ali prenosu v živo. Ko je celoten sistem pripravljen in priključen, je potrebno uravnati še horizontalni pomik ploščice na stativu ter nastaviti vzmet, ki pomaga pri ustrezni horizontalni nastavitvi oz. horizontalnem usmerjanju kamere. V kolikor ima objektiv elektronsko upravljanje goriščne razdalje in ostrine, je potrebno pred uravnavanjem namestiti tudi ročke za

upravljanje. Med postavitvijo stativa in vpenjanjem kamer je potrebno vedno upoštevati tudi navodila proizvajalcev ter pravila varnosti pri delu, še posebej pri težjih sestavnih delih.

Poleg postavitve stativa in kamere na stativ je enako pomemben tudi obraten postopek, saj je zaželeno, da med razstavljanjem ne pride do loma ali poškodb opreme, kablov, tal ali objektov v okolici. Predvsem pa je pomembno, da se vsa oprema zloži na ustrezna za to predvidena mesta v kovčku ali torbi, pri čemer je pomembna tudi smer glave ali objektiva pri vstavljanju v nosilno torbo ali kovček. Nosilne torbe za stativne imajo praviloma na notranji strani z grafiko ali napisom označeno, kje se mora nahajati glava stativa.

3.7 Povezave

Pri povezovanju naprav med seboj je pomembno vedeti, kako so le-te lahko povezane, kakšen tip kabla se lahko uporabi, ter predvsem kakšni priključki (konektorji) so za to potrebni. Poleg same oblike priključka je pomemben tudi uporabljeni standard, zato je pomembno poznavanje enih in drugih. Napake pri izbiri kablov, priključkov in povezovanju večje količine prekonektorjev se v najboljšem primeru odražajo kot izguba signala ali morebitno popačenje, ki se pokaže kot različne napake v sliki (šum, "duhovi", nepravilna osvetlitev, prekinitve v sliki ali izgubljeni okvirji), v določenih primerih pa lahko vodijo celo do uničenja povezovane opreme.

V profesionalnih produkcijah se uporabljajo namenski priključki, vendar je kljub temu, da je mogoč prehod iz enega na drug sistem, pomembno razumevanje ključnih razlik med njimi in njihov namen. Poleg same oblike priključka je seveda pomembno tudi kakšni signali so v uporabi.

Priključek **XLR3** (ang. External Line Return), poznan tudi pod imenom **Canon**, je najpogosteje uporabljen pri avdio povezavah in se lahko uporabi za prenos tako uravnoveženega (ang. Balanced) kot tudi neuravnoveženega (ang. Unbalanced) analognega avdio signala, hkrati pa tudi za prenos digitalnih signalov AES (Društvo za avdio inženiring, ang. Audio Engineering Society) npr. AES3 oz. AES/EBU (Evropska radiodifuzna zveza, ang. European Broadcasting Union). V primeru, da se priključek uporabi za priklop mikrofona, se lahko nanj priključi tudi fantomsko napajanje (+48 V), ki je potrebno za delovanje kondenzatorskih mikrofonov. Priključek XLR3 je pogosto uporabljen tudi pri upravljanju osvetlitve s protokolom DMX-512 (digitalni multipleks 512, ang. Digital Multiplex 512). Čeprav je uporaba XLR3 priključkov v ta namen uradno prepovedana, se zaradi priročnosti postavitve (enak kabel in priključek za več namenov) še vedno pogosto uporablja, nepravilna priključitev pa lahko vodi do uničenja opreme.

Poleg XLR3 priključkov se pogosto pojavljajo tudi:

- priključek **RCA** (Ameriška radijska družba, ang. Radio Corporation of America), imenovan tudi **Chinch**,
- **Jack 6,3** oz. priključek **TRS** (konica obroč rokav, ang. Tip Ring Sleeve),
- **Jack 3,5** (Mini Jack) in
- priključek **BNC** (bajonet Neill–Concelman, ang. Bayonet Neill–Concelman).

Za priključitev zvočnikov se uporabljajo tudi **speakON** in banana priključki. Pri priključevanju različnih naprav se sicer lahko uporabi primerne konektorske adapterje, vendar je ključnega pomena tudi tip prenašanega signala (analogni, digitalni, linijski, mikrofonski, močnostni – priklop zvočnikov).

Podobno kot pri avdio signalih je tudi pri videu, le da je pri videu veliko več različnih standardov, ki so bili razviti za različne namene oz. potrebe. Pri računalniških sistemih se uporabljajo priključki kot npr. VGA (niz video grafike, ang. Video Graphics Array), DVI, HDMI, in Display port, ki so večinoma namenjeni prenosu signalov med grafično kartico in prikazovalnikom (ekran, projektor, TV, video VGA/DVI matrika). Pri video produkciji so v praksi najbolj razširjeni priključki BNC in RCA, v zadnjem času pa so v porastu tudi optični ali hibridni priključki, ki so kombinacija optičnih in bakrenih vodnikov ali pa izključno optičnih vodnikov. Pri tem se je potrebno zavedati, da se lahko na BNC priključku uporabi kompozitni, komponentni ali digitalni SDI video signal. Enak tip priključka se uporablja tudi v druge namene npr. za prenos signalov ASI (asinhroni serijski vmesnik, ang. Asynchronous Serial Interface), radio frekvenčnih signalov (ang. Radio Frequency – RF), in priključevanje naprav kot so antene, oddajniki, sprejemniki in merilna tehnika (osciloskop, frekvenčni generator).

Poznavanje zgolj tipa priključka torej ni zadostno za sklepanje o prenašanem signalu, pomembno je vedeti tudi kakšne naprave so priključene na obeh straneh kabla. Nenazadnje je pomembno tudi kakšen kabel se uporabi, saj se v tehniki uporabljajo različni, predvsem s stališča električne upornosti oz. impedance. Enota za upornost oz. impedanco je ohm (Ω), pri čemer je en ohm ekvivalenten upornosti kabla, v katerem en volt električne napetosti povzroči električni tok velikosti enega ampera. Za prva ethernet omrežja, kjer so se uporabljali še koaksialni kabli, so bili v uporabi kabli s karakteristično impedanco 50Ω (primer takega kabla je npr. RG58), medtem ko se v video produkciji uporablja izključno 75Ω kable (RG59, RG6, L4-CFB itd.) in 75Ω zaključke. Nepravilna uporaba kabla lahko vodi k popačitvi slike, ki lahko postane temnejša ali svetlejša, v primeru digitalnih standardov pa lahko pride do prekinitev ali zmanjšanja dometa signala.

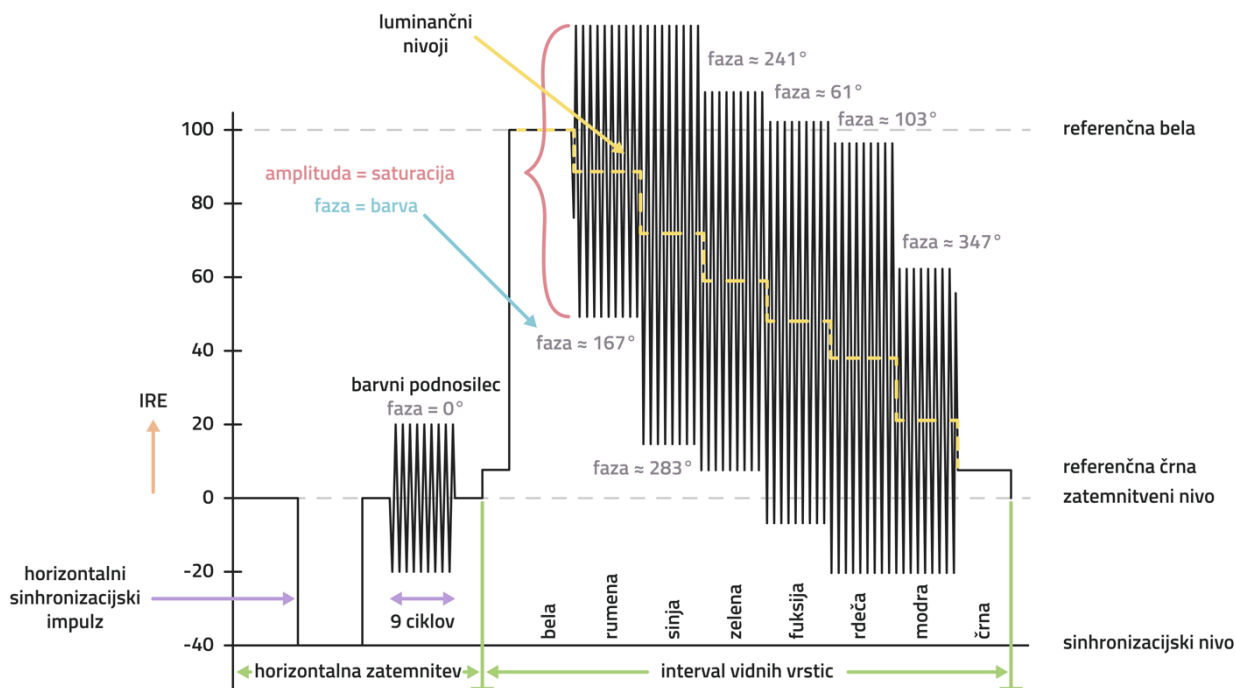
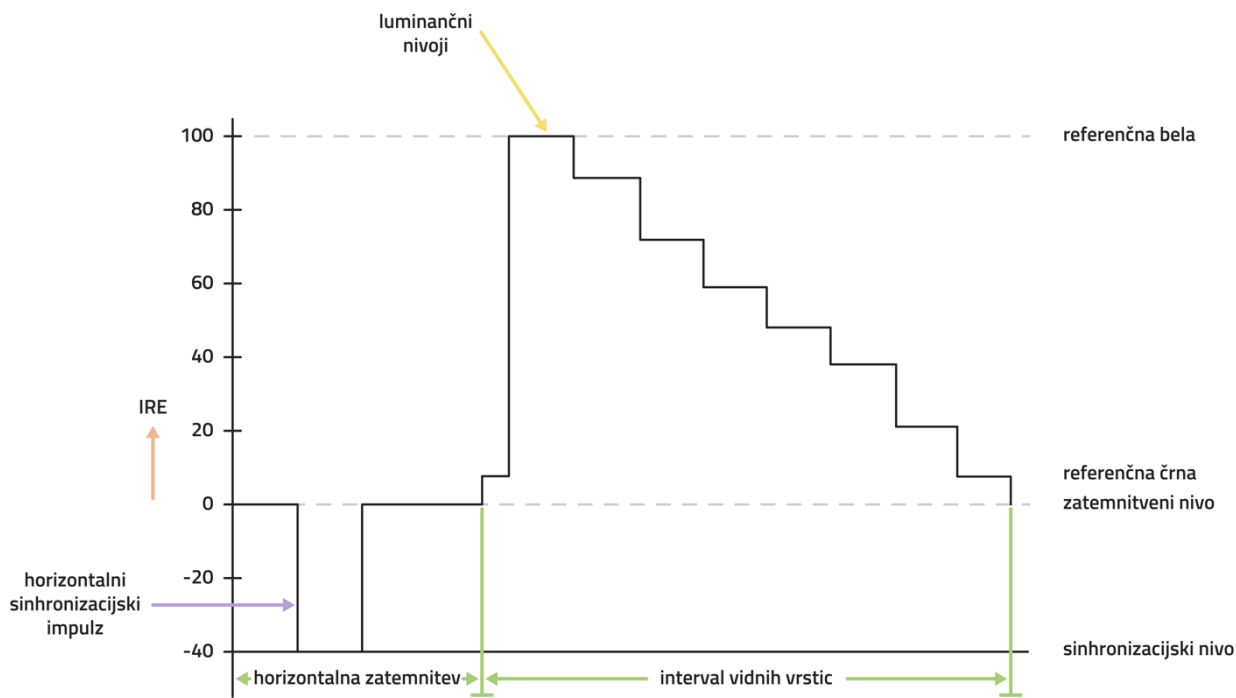
3.8 Inštrumenti

Pri delu na področju radijskih in televizijskih sistemov je pomembno poznavanje vsaj osnovnih lastnosti signalov in standardov, predvsem pa kako se lahko najbolj osnovne stvari pomeni in kako se dobljene rezultate interpretira. Pri delu z različnimi sistemi pogosto prihaja do neskladij, v nekaterih primerih celo do večjih odstopanj med posameznimi elementi. Ena od pomembnejših lastnosti v video produkciji je barvna usklajenost kamer, monitorjev, mešalnih miz itd. ali povedano drugače, zagotovitev da je modra barva res enako modra na vseh napravah. Za ugotavljanje verodostojnosti reprodukcije barv se uporablja merilni inštrument, ki se imenuje vektorskop (ang. Vectorscope), za ugotavljanje primerne osvetlitve (odprtost zaslone, nastavitve ojačenja, nevtralnega filtra, hitrosti zaklopke) pa prikazovalnik oblike valov (ang. Waveform Monitor).

3.8.1 Merjenje svetlostne komponente video signalov

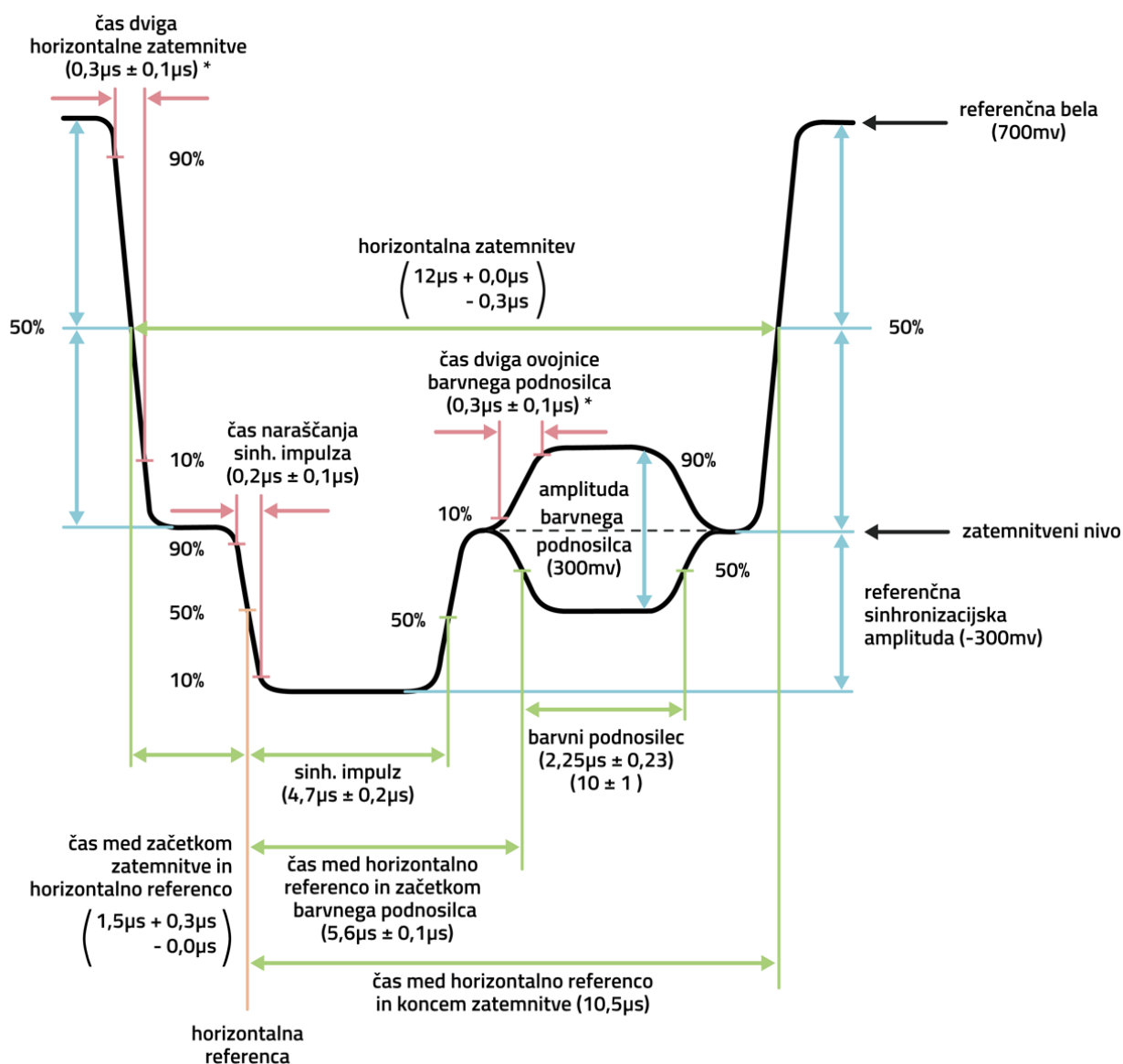
Signali v elektrotehnik in posledično tudi v video produkciji imajo predpisane zgornje in spodnje meje. Video signali imajo lahko sicer različno spodnjo in zgornjo mejo, ki sta odvisni od uporabljenega standarda, zato so pri delu z video signalu pomembne relativne vrednosti in razmerja (npr. od 0 % do 100 %).

Najpogosteje so pri video produkciji uporabljeni kompozitni, komponentni in SDI signali. Kompozitni signal omogoča prenos analogne barvne slike preko enega kabla in je sestavljen iz svetlostnega oz. luminančnega (ang. Luminance) in barvnega oz. krominančnega (ang. Chrominance) dela. Svetlostno komponento oz. luminanco predstavljajo svetlosti posameznih točk, krominanco pa barva točk. Če se reproducira samo svetlostni del, je na zaslonu vidna samo črno-bela slika. Primer kompozitnega signala je predstavljen na slikah 13 in 14.



Slika 13: Primer kompozitnega signala črno-bele (zgoraj) in barvne slike (spodaj)

Z inštrumentom za merjenje svetlostne komponente (ang. Waveform) se tako tipično preverja napetostne nivoje video signala (npr. nivo referenčne bele barve in zatemnitveni nivo za črno barvo) ter čase trajanja posameznih delov signala, ki so predstavljeni na obeh slikah (npr. čas dviga horizontalne zatemnitve, čas trajanja sinhronizacijskega impulza, čas trajanja horizontalne zatemnitve). Vse navedene količine imajo s standardom predpisane vrednosti in dopustna odstopanja, ki jih je z uporabo tega inštrumenta mogoče preveriti ter po potrebi ustrezno prilagoditi.



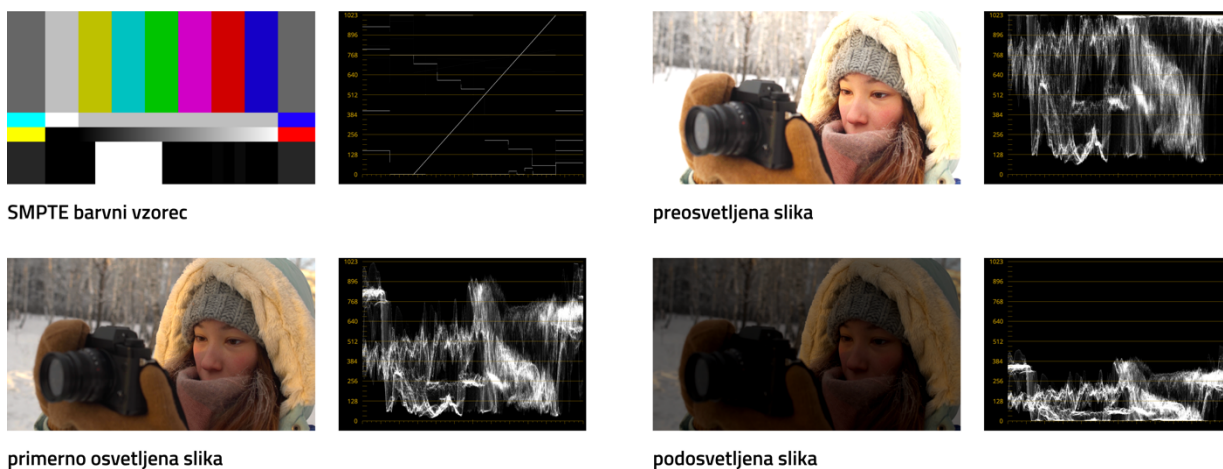
Slika 14: Absolutne vrednosti (amplitude in časa) sinhronizacijskega dela kompozitnega signala

Na sliki 13 je amplituda izražena v enoti IRE (Inštitut radio inženirjev, ang. Institute of Radio Engineers), kar pove, da gre za NTSC standard, na sliki 14 pa je amplituda izražena v voltih, kot jo predpisuje PAL standard. Najvišje in najmanjše vrednosti so med PAL in NTSC standardom povezane, kot je razvidno iz tabele 3. Celotna informacija o svetlosti posamezne točke je torej zapisana v napetostnem območju med 0 V in 700 mV, pri čemer 0 V predstavlja popolnoma črno, 700 mV pa popolnoma belo točko.

luminanca	PAL (V)	NTSC (IRE)
sinhronizacijski impulz	-0.3	-43
minimum (črnina)	0.0	0
maksimum (bela)	0.7	100

Tabela 3: Minimalne in maksimalne vrednosti svetlostne komponente

Waveform tako omogoča hitro ocenjevanje svetlosti slike oz. posameznih delov slike, kar operaterju pomaga pri pravih nastavitvah zaslone, zaklopke, elektronskega ojačenja, ND filtra oz. pri nastavljanju pravilne svetlosti slike na kameri. V večini primerov se na inštrumentu prikaže seštevek vseh vrstic posameznega okvirčka, razen v primeru uporabe profesionalnih inštrumentov, ki omogočajo opazovanje posamezne vrstice. Podrobnejša analiza sinhronizacijskega dela signala, kot je prikazan na sliki 14, omogoča tehnikom usklajevanje virov in preverjanje ustreznosti delovanja posameznih komponent, kar je potrebno izvesti preden se sistem uporabi za produkcijo. Opazovanje intervala vidnega dela vrstic pa poteka skozi celoten proces uporabe video sistema, saj omogoča zagotavljanje ustrezne tehnične kakovosti slike, ki ni samoumevna in je odvisna od tehnika, ki upravlja z nastavitvami. V skladu s smernicami in priporočili naj bi bili obrazi oseb (belopoltih) na waveform zaslonu nekje med 65 % in 75 %, kar je seveda groba ocena, ki jo je potrebno prilagajati tudi preostalim delom slike. Unikatno določena meja za posamezen prenos hkrati omogoča zagotavljanje enakih nivojev na vseh virih cel čas trajanja prenosa, kar je ključnega pomena pri zagotavljanju kakovosti videa.



Slika 15: Praktičen primer uporabe waveforma

Na sliki 15 je prikazan praktičen primer uporabe waveforma, kjer je levo zgoraj prikazan SMPTE barvni vzorec in pripadajoč graf na waveformu, levo spodaj pa ustrezno osvetljen video in temu pripadajoč graf na waveformu. Najsvetlejši deli slike dosegajo vrednosti blizu 100 %, najtemnejši deli se dotikajo črte pri 0 %, celotna slika je lepo razporejena čez celotno področje grafa. Po drugi strani pa je slika desno zgoraj presvetla, na waveform grafu je mogoče opaziti črto na 100 % ter večjo gostoto v zgornjem delu grafa, črni deli slike se ne dotikajo 0 % ampak so dvignjeni "od tal" in so na sliki sive barve. Slika desno spodaj pa je pretemna, kar je lepo razvidno tudi iz waveform grafa, saj najsvetlejši deli slike ne presegajo 50 %, na spodnjem delu okrog 0 % pa se je nabrala večja gostota točk. Za zagotavljanje tehnične kakovosti slike se je potrebno izogniti primerom, kot so prikazani na desnem delu slike 15.

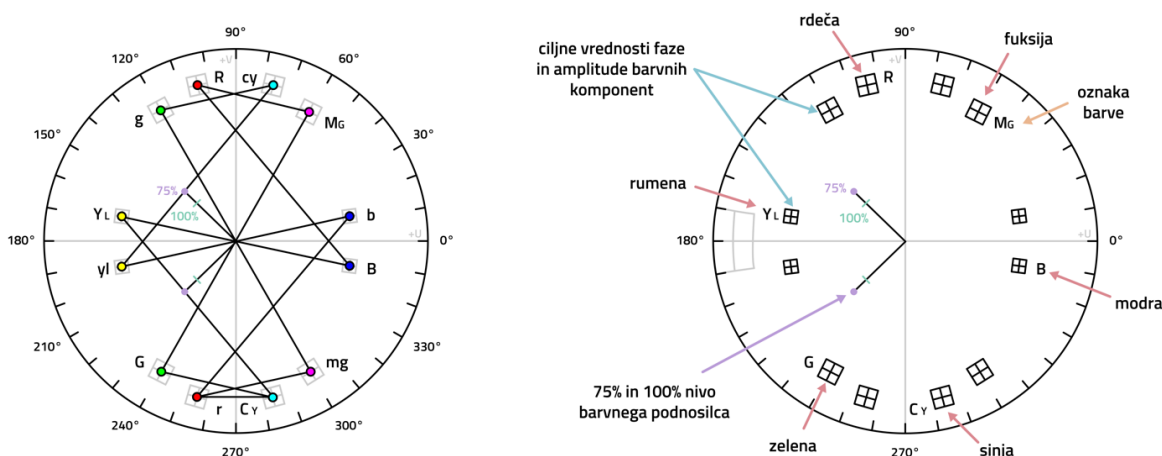
3.8.2 Merjenje barvne komponente video signalov

S pomočjo waveforma je mogoče opazovanje nivojev črnin in belin (osvetlitve), medtem ko je s pomočjo vektorskopa mogoče ugotavljati barvno pravilnost in usklajenost oziroma barvne lastnosti slike. Gre sicer za relativno zapleten izris oz. graf, iz katerega je mogoče razbrati veliko informacij, predstavlja pa fazno razliko signala PAL, s katero je zapisana barva posamezne točke. Primer ustreznega grafa je prikazan na sliki 17, pri čemer je potrebno poudariti, da izrisan graf ustreza SMPTE barvnemu vzorcu, ki je določen s strani združenja SMPTE in je prikazan na sliki 16.



Slika 16: Primer SMPTE HD barvnega vzorca

Pri prenosu v živo je mogoče iz grafa na vektorskopu razbrati zastopanost barv ter njihovo nasičenje (ang. Saturation). Na grafu vektorskopa ima vsaka barva svoj predpisani kot oz. fazo, medtem ko oddaljenost od središča grafa predstavlja nasičenje posamezne barve na opazovani sliki. V kolikor se pri opazovanju testnega barvnega vzorca nekatere točke na grafu pojavijo izven predpisanih vrednosti, ki so bolj natančno predstavljene na sliki 17, to pomeni, da tak signal oziroma naprava ni v skladu s predpisanimi standardi in jo je potrebno ustrezno ponastaviti, popraviti, ali v nekaterih skrajnih primerih izločiti.

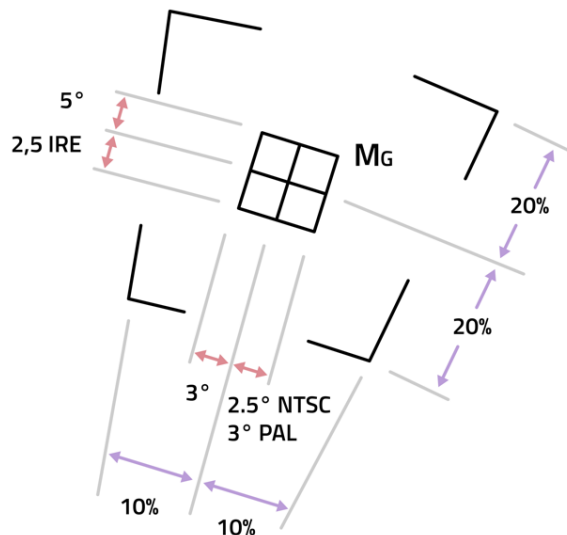


Slika 17: Izris vektorskopa testne slike

Vzorec na sliki 17 je neposredno povezan z vzorcem SMPTE in prikazan graf (črte med posameznimi barvnimi točkami) neposredno sledi zaporedju barv na SMPTE vzorcu (rumena-sinja-zelena-fuksija-rdeča-modra). V kolikor so črte med pikami ukrivljene to pomeni, da prihaja na prehodu med barvnimi trakovi do popačenja, kar je najpogosteje opazno pri analognih zapisih ter pri morebitnih pretvorbah signalov iz višje v nižjo ločljivost. Pri pretvorbi se zaradi pretvarjanja (ang. Downconversion) iz višje ločljivosti v nižjo posamezne točke barvno seštevajo, kar povzroča napake ob ostrih prehodih tako s stališča ostrine slike kot tudi barvne pravilnosti.

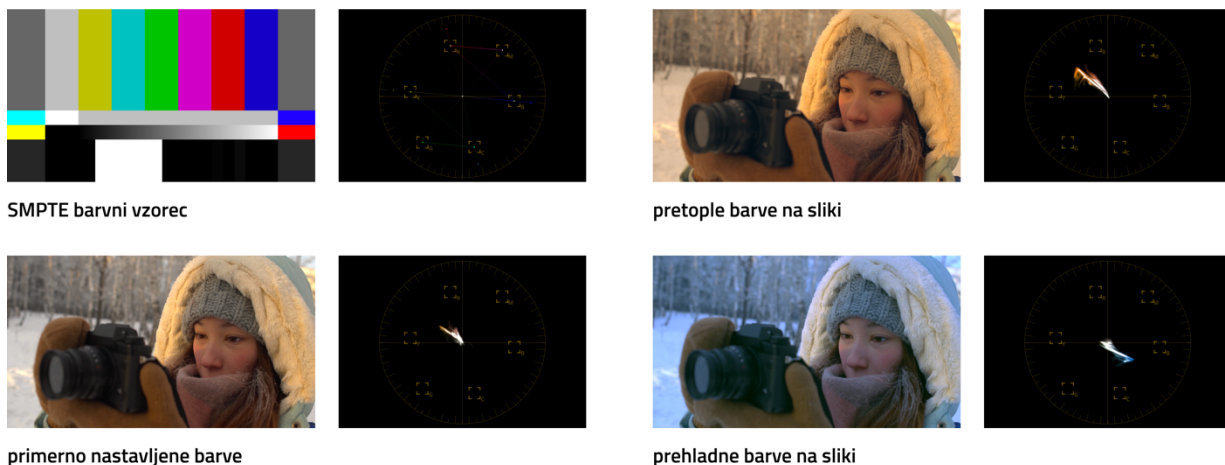
Na vektorskopu se nahajajo kvadratki, ki predstavljajo meje sprejemljivega odstopanja za posamezno barvo. Po standardu PAL so vrednosti teh meja 3° v fazi in 5% v amplitudi, primer za ciljno točko barve fuksija (ang. Magenta – M_G) je prikazan na sliki 18. Pri kalibraciji naprav v video produkciji je potrebno spraviti vse signale posameznih virov ob uporabi testnih barvnih vzorcev v predpisane male kvadratke, tako kot je to razvidno s slike 17.

Pri odčitavanju grafa pa je pomembno, da sta inštrument in merjena naprava nastavljena na isti standard. V kolikor je mogoče s prilagoditvijo amplitude in/ali faze spraviti vse točke v ustrezne kvadratke gre zgolj za linearno odstopanje, ki ga je mogoče z lahkoto kompenzirati oziroma odpraviti. V primeru, da se točke pojavljajo naključno izven kvadratkov, bodisi po fazi bodisi po amplitudi v različnih smereh, pa gre za nelinearna popačenja, ki jih je zelo težko odpraviti, izhod take naprave ali sistema pa je tehnično neustrezen.



Slika 18: Mejne vrednosti posamezne točke na vektorskopu

S pomočjo vektorskopa se nastavlja tudi ustrezno temperaturo svetlobe oz. belino na kamerah in sicer tako, da se pred kamero postavi belo površino, nato pa se s spreminjanjem nastavitve beline na kameri doseže stanje, da je na vektorskopu pika v samem središču grafa oz. da slika nima barvnih komponent.



Slika 19: Praktičen primer uporabe vektorskopa

Na sliki 19 je prikazan praktičen primer uporabe vektorskopa, pri čemer je levo zgoraj prikazan SMPTE barvni vzorec in pripadajoč graf vektorskopa, levo spodaj slika s pravilno nastavljenjo belino, na desni strani pa sta primera nepravilno nastavljenjo beline. V zgornjem primeru je prisotno preveč rdeče-rumenih odtenkov, kar je razvidno tudi iz grafa vektorskopa, medtem ko je na spodnji sliki prisotnih preveč modro-sinjih odtenkov, kar je prav tako razvidno iz grafa vektorskopa. V zgornjem primeru bi bilo torej potrebno belino popraviti za približno -2000 K, na spodnji pa za +2000 K, da bi bila slika barvno ustrezna.

3.9 RTV produkcija na protokolu IP

Video produkcija se nenehno razvija in izboljšuje in že nekaj let se kaže trend prehoda produkcijskih video sistemov na IP tehnologije. Zviševanje ločljivosti in števila okvirjev na sekundo se odraža v zahtevah po vse višjih hitrostih prenosa, HD s 50 slikami na sekundo s 3 Gb/s, 4K60p 12 Gb/s, 8K že 24 Gb/s. Za tako visoke prenosne hitrosti klasični SDI kabli enostavno niso več primerni, saj se maksimalna uporabna dolžina kabla pri takih hitrostih precej zmanjša. Hkrati v omrežjih IP prenosne hitrosti naraščajo in povezave s 100 Gb/s niso več nekaj posebnega. Zato so vse pogosteje tudi na področju RTV tehnike v uporabi IP tehnologije.

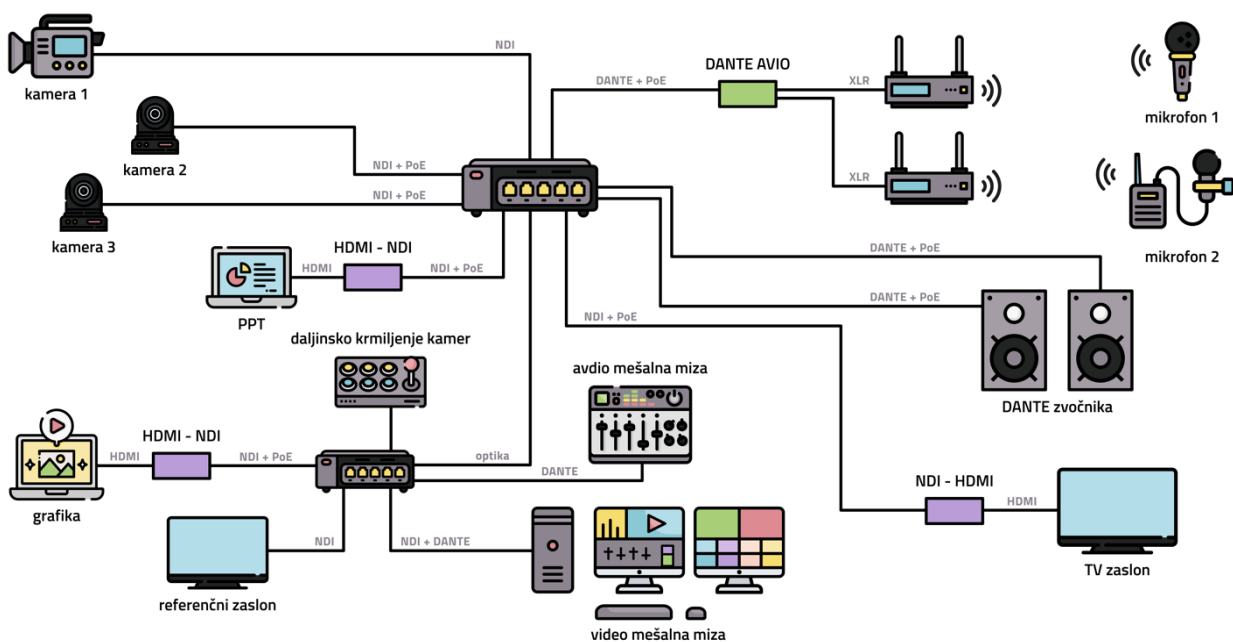
Seveda so za to potrebni tudi ustrezni standardi in pri teh velja omeniti vsaj nekaj osnovnih. Na nivoju profesionalne produkcije sta zagotovo najpomembnejša standarda SMPTE 2022 in SMPTE 2110. Pri standardu **SMPTE 2022** se signal SDI načeloma zgolj enkapsulira oz. pretvori v IP, pri čemer se ohranja celotna struktura SDI signala. Hkrati to pomeni, da se v enem prenosnem toku prenašajo video, avdio, podatki, ter tudi ovojnica SDI. Pri večjih produkcijskih sistemih to ni najbolj smiselno, saj se v okviru produkcijskega sistema sliko, zvok, nadzor in upravljanje kamer in luči vedno upravlja ločeno. Tako je nesmiselno, da bi video prenosni tok prenašali tudi na avdio mešalno mizo ali na sistem za tehnično kontrolo kamer. Ta problem je rešen v okviru standarda **SMPTE 2110**, kjer se vsak tip vira (avdio, video, podatki, časovna sinhronizacija) prenaša ločeno v svojem prenosnem toku, s pomočjo naprednejšega upravljanja prenosnih tokov IGMP v3 (internetni protokol za upravljanje skupin verzije 3, ang. Internet Group Management Protocol version 3) pa se le-te usmerja zgolj na tiste naprave, ki so dotični vir zahtevale. Oba omenjena standarda SMPTE sta bila razvita in sta predvidena za delovanje v profesionalni produkciji kot neposredna zamenjava za SDI, torej nekompresiran signal, z velikimi bitnimi pretoki (12 Gb/s za 4K60p video, 24 Gbit za 8K video), kar predstavlja velik zalogaj tudi za omrežno opremo. V primeru uporabe 15 kamernega videoprodukcijskega sistema v ločljivosti 4K bi samo za video pretoke na stikalu potrebovali 180 Gb/s, enako tudi za videomatrični sistem in video mešalno mizo, kar predstavlja relativno velik izziv tudi za naprave in omrežno opremo. Z razvojem podatkovnih centrov in omrežnih sistemov pa se stikala in ostala omrežna oprema hitro razvijajo in danes so prenosne hitrosti 100-400 Gb/s že povsem običajne.

V polprofesionalni produkciji se pojavljajo tudi drugi standardi in protokoli, ki omogočajo prenos avdio-video signalov preko omrežij IP. Trg, ali še bolje rečeno področje, se deli na video produkcijske sisteme in sisteme za avtomatizacijo ter digitalno oglaševanje (ang. Digital Signage). Na obeh delih področja so se pojavili številni standardi in ideje, kako AV signale prenašati preko omrežij IP. Na področju avtomatizacije stavb in digitalnega oglaševanja so velika podjetja, ki proizvajajo opremo, vložila veliko sredstev v razvoj, vendar so rezultati pogosto nepovezani in omejeni na posameznega proizvajalca. Primeri teh so npr. **SDVoE** združenja SDVoE Alliance, **DM NVX** podjetja CRESTRON, **SVSI** podjetja Harman ali **HDBaseT-IP** združenja HDBaseT Alliance.

Na drugi strani sta npr. podjetji Sony in Newtek razvijali vsaka svoj standard za prenos produkcijskih video signalov preko omrežij IP. V podjetju Sony so izdelali omrežni medijski vmesnik (ang. Networked Media Interface – **NMI**), ki poleg tehnologij prenosa vključuje tudi poseben video kodek z nizko zakasnitvijo (ang. Low Latency Video Codec – LLVC). Medtem je podjetje Newtek razvilo tehnologijo **NDI**. Za razliko od NMI so razvijalci pri NDI ponudili tudi komplet za razvoj programske opreme (ang. Software Development Kit – SDK) in posledično je veliko proizvajalcev programske opreme vključilo podporo NDI v programske video mešalne sisteme.

Podjetje Newtek je NDI vključilo tudi v svoje video mešalne mize in v sklopu lastne proizvodnje ponujajo trenutno najbolj zmogljive hibridne video mešalne mize. Vključevanje in posvajanje NDI se je razširilo tudi na strani številnih proizvajalcev opreme, ki so NDI vključili v številne sisteme, predvsem v kamere (Panasonic, BirdDog, Aver, PTZ Optics, AIDA, JVC, LUMENS, CANON, SONY in številni drugi). NDI obstaja v več različicah, najbolj osnovna NDI|HX uporablja za osnovo video kodek H.264, bitni pretok vira je v razredu 8-20 Mb/s, zakasnitev pa med 3 in 5 okvirji. Verzija 2 NDI|Hx2 poleg H.264 vključuje še podporo za kodek H.265, omogoča več funkcionalnosti in kompatibilnosti, bitni pretok enega vira pa je v velikostnem razredu 1-50 Mb/s. NDI ali pogosto imenovan tudi polni NDI pa uporablja poseben NDI kodek z bitnimi pretoki okrog 100 Mb/s za HD in 250 Mb/s za 4K, ter z zakasnitvijo do 1 okvirja, pri čemer zakasnitev pomeni časovno razliko med izvorom (npr. zaslon/ura/studio) in ponorom (vhod na video mešalni mizi). Prednost uporabe NDI rešitev je predvsem v uporabi obstoječih omrežij IP, pri čemer je potrebno poudariti, da je za ustrezno delovanje potrebna omrežna oprema s podporo hitrostim vsaj 1 Gb/s ali več. Veliko naprav NDI podpira tudi napajanje preko ethernet ožičenja (ang. Power over Ethernet – PoE), kar dodatno poenostavi postavitve opreme in prilagodljivost celotnega sistema.

Tako kot za video se tudi za avdio vse pogosteje uporabljajo različni standardi, ki omogočajo prenos avdio signalov preko omrežij IP. Praktično vsi sodobni video standardi, ki omogočajo prenos videa preko omrežja IP, omogočajo tudi vključevanje avdio signalov, a so kljub temu potrebni ustrezni standardi tudi za samostojen prenos avdio signalov. Med njimi so DANTE (digitalno avdio omrežje prek etherneteta, ang. Digital Audio Network Through Ethernet), RAVENNA (izboljšana avdio video mrežna arhitektura naslednje generacije, ki deluje v realnem času, ang. Realtime Audio Video Enhanced Next generation Network Architecture) in AES-67. Vsi omogočajo prenos kvalitetnega nekompresiranega avdio signala preko omrežij IP z možnostjo napajanja naprav (pretvorniki, mikrofoni, zvočniki) vse do maksimalne moči zagotovljene s strani omrežnega stikala oz. standarda PoE.



Slika 20: Primer sodobnega multimedijskega sistema temelječega na tehnologiji IP

Čeprav je postavitve osnovnega produkcijskega sistema na videz enostavna, se v praksi pogosto zgodi, da je potrebno zelo dobro poznavanje vseh elementov sistema, tako zvoka, videa, krmilnih sistemov, omrežnih sistemov in programske opreme, da vse deluje kot načrtovano. Načrtovanje in postavitve AV produkcijskih sistemov je zapleten postopek, ki od načrtovalca zahteva dobro poznavanje vseh podsistemov, okoliščin, posebnosti in zahtev naročnika. Večji kot je sistem, bolj kompleksen je postopek načrtovanja in hkrati tudi bolj zahteven za vzdrževanje in upravljanje. Slika 20 prikazuje primer enostavnega NDI AV produkcijskega sistema, na katerem je razvidna postavitve vseh elementov. Poleg že naštetih prednosti pa tovrstni sodobni sistemi omogočajo tudi visoko stopnjo prilagodljivosti in možnosti za razširitve ter oddaljeno upravljanje.



4

Prenos avdio-vizualnih vsebin

Digitalizacija avdio in video vsebin je skozi razvoj kodekov za učinkovito kompresijo videa in avdia omogočila prihod digitalne televizije in digitalnega radia. Standardi za digitalno video radiodifuzijo (ang. Digital Video Broadcasting – DVB) so v 90ih letih prejšnjega stoletja postavili nov mejnik v tehničnem razvoju in omogočili nekajkrat višje število televizijskih kanalov na MHz pasovne širine, kot so bili na voljo pri uporabi analogne tehnologije. Podobno se je zgodilo z oddajanjem radijskih postaj, saj je standard DAB oz. DAB+ omogočil nekajkrat večje število radijskih postaj kot pri analognem radiu. S prihodom druge generacije tehnologij DVB se je učinkovitost digitalnega oddajanja še povečala in se približala teoretični meji učinkovitosti oddajanja. Ob tem so se pojavile tudi nove interaktivne storitve, aplikacije, video vsebine večjih ločljivosti, možnost oddajanja prostorskega zvoka in še kaj. Z uvedbo in razširitvijo internetnih omrežij, ki so postajala vse bolj zmogljiva in prepustna, so se pojavili ponudniki spletnih avdio-vizualnih vsebin. Način prenosa preko internetnih protokolov je omogočil tudi ogled vsebin na zahtevo in danes spletni video portali in aplikacije, kot npr. YouTube, Facebook, Netflix in Amazon Prime, predstavljajo največji delež pri uporabi avdio-vizualnih vsebin.

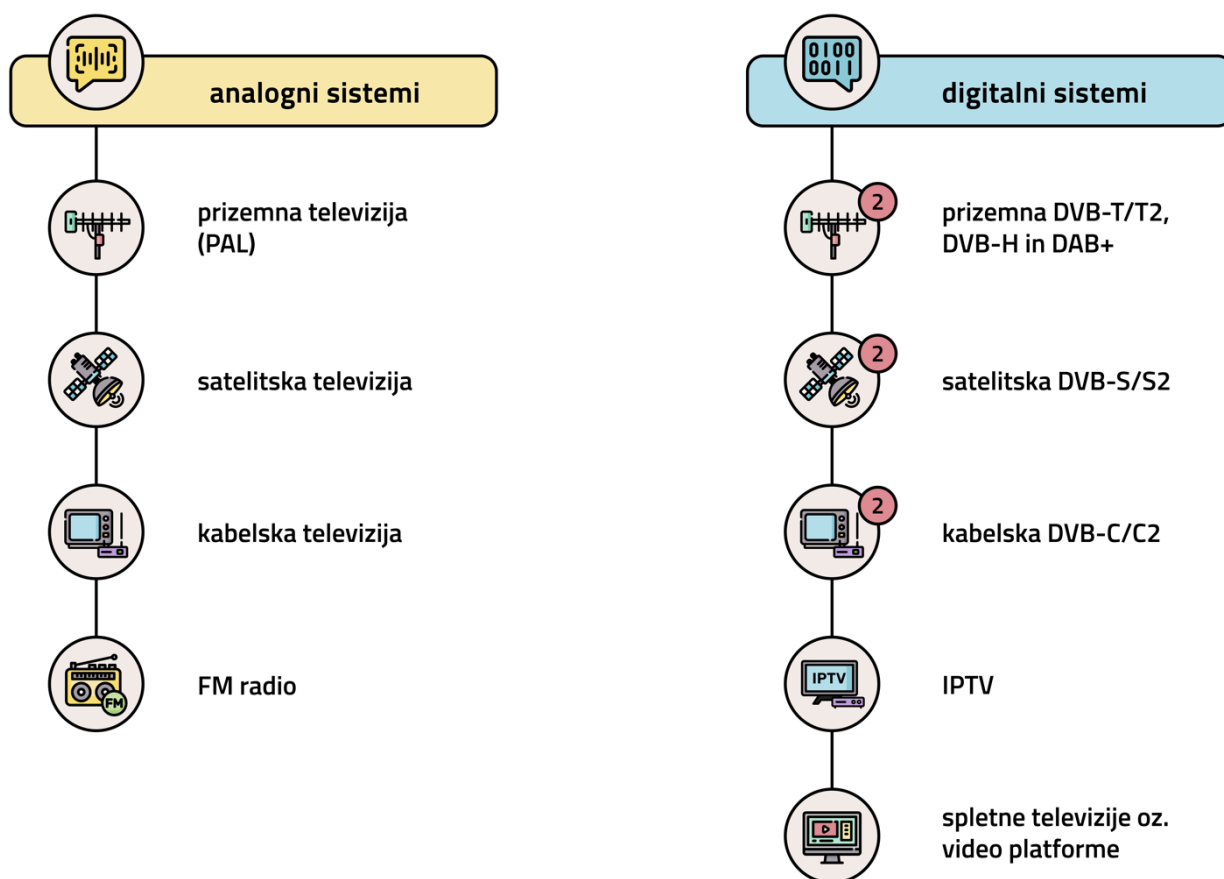
Studijski signali digitalne televizije so zajeti v zelo visoki kvaliteti in dosegajo hitrosti 270 Mb/s za standardno ločljivost in 1,5 Gb/s za visoko ločljivost, te hitrosti so za vsebine višje ločljivosti (4K in 8K) še nekajkrat višje. Signali oziroma vsebine so za potrebe oddajanja končnim odjemalcem ustrezno prekodirane na bistveno manjše hitrosti in dosegajo 1,5-3 Mb/s za standardno ločljivost (kodek H.264) in 4-10 Mb/s za video visoke ločljivosti (kodek H.264). S prihodom videa ultra visoke ločljivosti (ang. Ultra High Definition – UHD) oz. 4K, bitne hitrosti dosegajo 12-20 Mb/s, tipično pa se za to kvaliteto in hitrosti uporabljajo novejši kodeki, kot je npr. H.265, ki omogoča skoraj za polovico manjše bitne hitrosti kot kodek H.264 za enako perceptivno kakovost slike. Podobno je pri avdio vsebinah, saj uporaba naprednih kodekov za zapis avdia (npr. AAC HE) omogoča

oddajanje kvalitetnih audio signalov pri bitnih hitrostih že med 48 Kb/s in 128 Kb/s. Radio kot medij se zaenkrat še vedno oddaja v analogni obliki (FM), hkrati pa se vzporedno oddaja tudi v digitalni obliki (DAB).

Veriga audio-vizualnih sistemov se prične pri ustvarjanju vsebin oz. produkciji, ki je razdeljena na več podsklopov. Produkciji sledi distribucija vsebin, v sklopu katere so obravnavana različna prenosna omrežja. Ta se v splošnem delijo na:

- **primarna prenosna omrežja** (prenos v okviru produkcijskih hiš, oddajnikov in satelitskih up-linkov)
- **sekundarna prenosna omrežja** (prenos vsebin do končnih uporabnikov/naročnikov)

Prav na področju sistemov za sekundarni prenos vsebin so danes praktično povsod v uporabi le še digitalni sistemi, ki so v večini primerov že nadomestili analogne sisteme. Sisteme za sekundarni prenos vsebin je mogoče razdeliti na več pristopov in tehnologij, razdelitev je prikazana na sliki 21.



Slika 21: Sistemi za sekundarni prenos vsebin

Vsak od naštetih sistemov se razlikuje po načinu razširjanja oz. distribucije. Prizemni (ang. Terrestrial) in satelitski (ang. Satellite) sistem sta radiodifuzna, pri katerih se signal oz. vsebine razširjajo po zraku preko radijskega spektra, pri kabelskih sistemih (ang. Cable), televiziji prek internetnega protokola (ang. Internet Protocol Television – IPTV) in spletnih televizijah pa se signali/vsebine večinoma razširjajo oz. prenašajo preko kabelskih povezav in omrežij. Razlog zakaj slednja dva sistema nista zajeta pod pojmom kabelska televizija je predvsem v različnih tehnologijah prenosa, kot tudi v načinu delovanja. Glede načina delovanja se od radiodifuzije razlikujejo tudi t. i. spletne video platforme, saj se recimo YouTube težko primerja s "klasično" televizijo, vendar pa tovrstni mediji v sodobnem svetu predstavljajo največji delež razširjanja vsebin.

Kot že omenjeno so analogni sistemi v zatonu in jih povsod po svetu nadomeščajo digitalni. Predvsem se to dogaja na področju oddajanja po zraku, ker je radijski spekter omejena in dragocena naravna dobrina, hkrati pa je način prenosa in zapisa vsebin po internetnih omrežjih že od samega začetka digitalen. Tako je od analognih sistemov v uporabi ostal le še FM radio, ki pa ga počasi nadomešča oddajanje z uporabo DAB+ in samo še vprašanje časa je, kdaj se bo opustilo tudi tega.

4.1 FM in DAB+ – tehnologije radiodifuznega oddajanja radijskih vsebin

Oddajanje radijskih vsebin je, zgodovinsko gledano, prvi primer množičnega oddajanja multimedijskih vsebin, namenjenih širšemu krogu poslušalcev. Ti za sprejem oddajane avdio signala potrebujejo ustrezno napravo – radijski sprejemnik. Oddajanje radia se je začelo v 20. letih 20. stoletja in se je relativno hitro razširilo po vsem svetu. Prvotna tehnologija oddajanja je bila analogno oddajanje z amplitudno modulacijo (ang. Amplitude Modulation – AM) v enokanalni (mono) tehniki, danes pa se v praksi največ uporablja analogno oddajanje v stereo tehniki s frekvenčno modulacijo (ang. Frequency Modulation – FM) in digitalno oddajanje v dvokanalni (stereo) ali enokanalni tehniki s tehnologijo DAB+.

4.1.1 Prenos signalov in frekvenčna področja

Prenos radijskih signalov s pomočjo različnih modulacij je omogočil prenašanje zvoka (radio), kasneje pa tudi videa (televizija) na daljavo. Uporaba elektromagnetnega valovanja za prenos informacij sega v 19. stoletje, večji preboj uporabe elektromagnetnega valovanja za prenos na daljavo pa se je zgodil v začetku 20. stoletja. V Sloveniji se radio v obliki kot je poznan danes prvič omenja v letu 1924, ko je inženir Marij Osana pričel s poskusnim oddajanjem radia z lastnoročno izdelanim oddajnikom, leta 1928 pa z rednim oddajanjem prične tudi Radio Ljubljana. Tehnologije prenosa signalov so se skozi čas razvijale in na začetku je radio deloval na področju nizkih (ang. Low Frequency – LF), srednjih (ang. Middle Frequency – MF) in visokih frekvenc (ang. High Frequency – HF) ter z uporabo amplitudne modulacije. Kasneje se je na področju ultra kratkih valov (ang. Ultra Short Wave – USW) pojavila tudi frekvenčna modulacija, ki je omogočila izboljšanje kvalitete prenosa, za tem pa tudi stereo način prenosa zvoka. Razvoj modulacij, tehnik kodiranja ter možnost izdelave multipleksiranega signala pred samo frekvenčno modulacijo je omogočilo dodatne možnosti in vključevanje digitalnih podatkov v FM radijski signal, imenovan radijski podatkovni sistem (ang. Radio Data System – RDS). Po skoraj 100 letih obstoja analognega radia se je pojavil še digitalni radio in sicer v dveh različnih tehnoloških oblikah. Prva je internetni radio, kjer se radijski program prenaša s pomočjo protokolov IP, druga pa je DAB radio, kjer se signal prenaša podobno kot pri analognem radiju, le da je tokrat v prenosni signal s pomočjo diferencialne kvadrature fazne modulacije (ang. Differential Quadrature Phase-Shift Keying – DQPSK) zapisan digitalni signal.

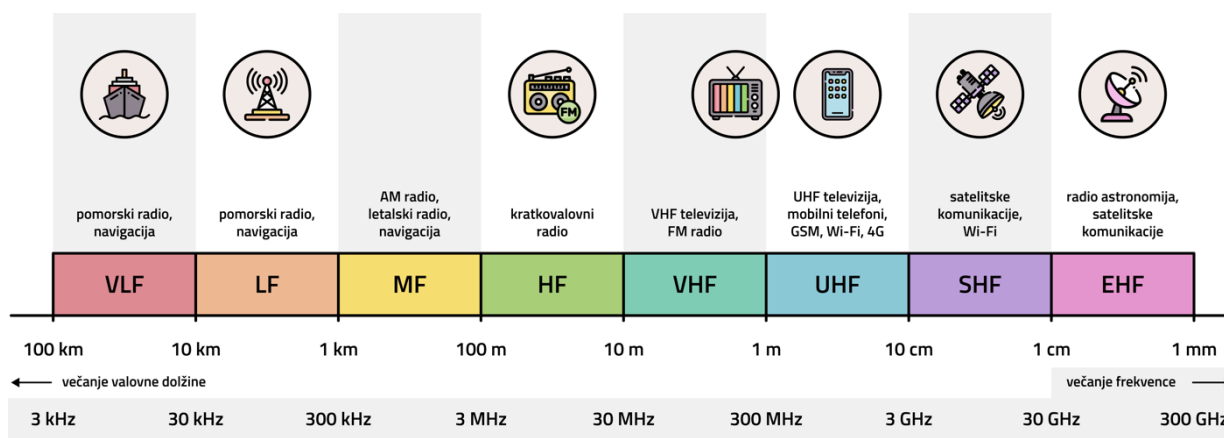
Radijski spekter je omejena naravna dobrina in kot taka regulirana s strani agencij. V Sloveniji za to skrbi Agencija za komunikacijska omrežja in storitve (AKOS), v mednarodnem prostoru pa mednarodna zveza za telekomunikacije (ang. International Telecommunication Union - Radiocommunication Sector – ITU-R) in v njenem okviru svetovna konferenca za radijske komunikacije (ang. World Radiocommunication Conference – WRC). Delitev frekvenčnih področij in delitev frekvenc v okviru kontinentov je določena s sporazumi in generalno delitvijo področij. Osnovne lastnosti frekvenčnih področij, uporabljanih za oddajanje radijskih in televizijskih vsebin, so prikazane v tabeli 4.

	naziv	frekv. pas	razmik kanalov	področja pokrivanja	slišno frekv. območje	tip	uporaba
LF	nizke frekvence	148,5 kHz - 283,5 kHz	9 kHz	kontinent	pod 4,5 kHz	mono	govor
MF	srednje frekvence	526,5 kHz - 1606,5 kHz	9 kHz / 10 kHz (US)	kontinent	pod 4,5 kHz	mono	govor
HF	visoke frekvence	3,9 MHz - 26,1 MHz	5 kHz	svet	pod 4,5 kHz	mono	govor in glasba
VHF	zelo visoke frekvence	87,5 MHz - 108 MHz	100 kHz	regija	cca. 15 kHz	stereo	FM radio govora in glasba
VHF	zelo visoke frekvence	174 MHz - 240 MHz	7 MHz (TV) / 1712 kHz (DAB)	regija	fleksibilno	mono / stereo	DAB+ govora in glasba
UHF	ultra visoke frekvence	470 MHz - 862 MHz	8 MHz	regija	fleksibilno	TV	DVB-T/T2

Tabela 4: Osnovne lastnosti frekvenčnih področij za oddajanje RTV vsebin

Celoten radijski spekter je seveda še precej širši od dela, ki se uporablja za oddajanje RTV vsebin in se uporablja za različne namene. Področja nizkih frekvenc in zelo nizkih frekvenc (ang. Very Low Frequency – VLF) se tako uporabljajo tudi za pomorski radio in navigacijo, poleg oddajanja radijskih postaj v področju LF. Področje srednjih frekvenc se, poleg oddajanja radijskih postaj, uporablja tudi za komunikacijo z letali in navigacijo.

Področji visokih frekvenc in zelo visokih frekvenc (ang. Very High Frequency – VHF) se uporabljata zgolj za oddajanje radijskih in TV vsebin, naslednje področje ultra visokih frekvenc (ang. Ultra High Frequency – UHF) pa si oddajanje radijskih in TV vsebin deli z operaterji mobilne telefonije in Wi-Fi oddajanjem. Področji super visokih frekvenc (ang. Super High Frequency – SHF) in izjemno visokih frekvenc (ang. Extra High Frequency – EHF) se uporabljata za satelitske komunikacije in druge namene. Opisana delitev radijskega spektra je grafično prikazana na sliki 22, s poudarki na napravah, ki posamezen del spektra uporabljajo.



Slika 22: Razdelitev radijskega spektra

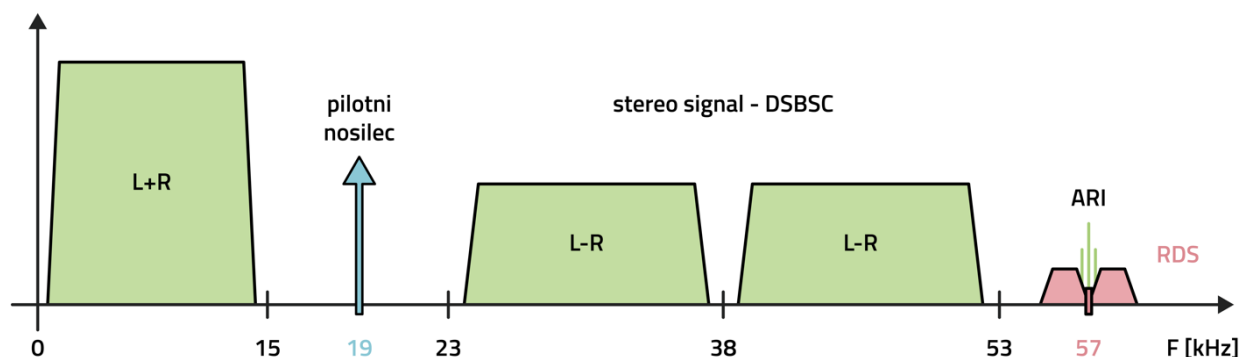
4.1.2 FM radio

Frekvenčna modulacija je omogočila bistveno boljšo kvaliteto zvoka na sprejemu, saj le-ta ni odvisna od sprememb amplitude na prenosni poti. Najprej se je uveljavil enokanalni (mono) način prenosa, kasneje z razvojem polprevodnikov pa še stereo oz. dvokanalni način, ki je v uporabi še danes.

Signal analognega FM stereo oddajanja je sestavljen iz:

- mono signala, ki vsebuje vsoto levega in desnega avdio kanala (L+R),
- pilotnega nosilca na 19 kHz,
- razlike levega in desnega avdio kanala (L-R), in
- RDS signala.

Slika 23 prikazuje shemo FM multipleksa ene radijske postaje.



Slika 23: Shema FM signala ene radijske postaje

FM multipleks sestavljajo torej vsota obeh kanalov v osnovnem pasu, pilotni nosilec na 19 kHz, dvobočno amplitudno modulirana razlika levega in desnega kanala s stisnjenim nosilcem na 38 kHz (dvokratnik pilotnega nosilca), ter na 57 kHz (trikratnik pilotnega nosilca) še digitalni podatkovni sistem RDS.

Razlog za tak način oddajanja je v zagotavljanju sprejema in predvajanja stereo signala na vseh sprejemnikih, tako enokanalnih oz. mono, kot tudi stereo sprejemnikih. Enokanalni sprejemniki so bili v času vpeljevanja stereo FM oddajanja prevladujoči in so lahko sprejemali in predvajali samo spodnji del signala (zvok v osnovnem pasu), torej vsoto levega in desnega avdio kanala. Novejši stereo sprejemniki FM za ločeno predvajanje levega in desnega avdio kanala uporabijo preprost postopek, kjer signala L+R ter L-R enkrat seštejejo, drugič pa odštejejo in tako dobijo ločen zvok za levi in desni kanal.

1. levi avdio kanal: $(L+R) + (L-R) = 2L$
2. desni avdio kanal: $(L+R) - (L-R) = 2R$

RDS signal je bil dodan v 80. letih 20. stoletja in uporablja digitalno binarno fazno modulacijo (ang. Binary Phase Shift Keying – BPSK) za prenos podatkov do radijskih sprejemnikov. Kljub nizkim hitrostim prenosa se lahko z RDS posreduje veliko različnih informacij, ki omogočajo dodatne storitve, predvsem pa izboljšujejo uporabniško izkušnjo. Poleg najbolj znanih informacij, kot sta ime radijske postaje in žanr predvajane glasbe, sistem omogoča prenos številnih drugih informacij – nekaj glavnih je predstavljenih v tabeli 5.

oznaka	ime	opis
PS	Programme Service Name	ime radijske postaje
AF	Alternative Frequency	alternativne frekvence radijske postaje
PI	Programme Identifier	identifikator radijske postaje
PTY	Programme Type	tip oz. žanr oddajane radijske oddaje
TP	Traffic Programme identifier	indikator obstoja govorjenih prometnih obvestil
TA	Traffic Announcement	indikator trenutnega oddajanja govorjenih prometnih obvestil
EON	Enhanced Other Networks	informacije o lokalnih postajah, ki trenutno predvajajo prometna obvestila
TMC	Traffic Message Channel	negovorjena prometna sporočila

Tabela 5: Informacije oddajane v RDS signalu

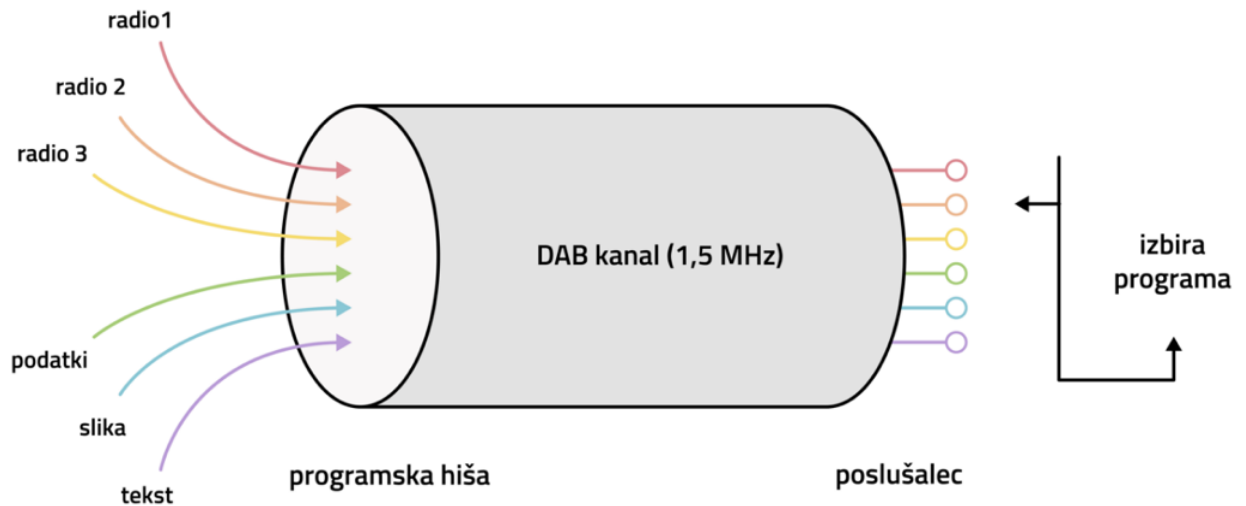
Poleg podatkov, ki so namenjeni radijskim sprejemnikom in uporabnikom, se v okviru RDS lahko prenašajo tudi TMC sporočila, ki so namenjena navigacijskim napravam in se oddajajo v FM signalu zgolj zaradi široke prisotnosti le-teh. Dekodira in prikazuje jih navigacijska naprava, prav tako pa omogočajo tudi obveščanje o dogodkih na cestah, kot so zastoji, nesreče, dela na cesti itd. Drugi podatki v RDS so namenjeni radijskemu sprejemniku in vsebujejo informacije o imenu radijske postaje, spisek alternativnih frekvenc za to radijsko postajo, informacijo o tem ali radijska postaja oddaja govorjene prometne informacije in kdaj, ter druge informacije.

4.1.3 DAB+ radio

Oddajanje radijskih postaj v digitalni tehniki se je začelo ob prehodu iz 20. v 21. stoletje, za prenos oz. distribucijo le-tega pa obstaja več različnih tehnologij in standardov. V Evropi se danes uporablja standard DAB+, ki je nastal kot nadgradnja standarda DAB. V osnovi so pri tehnologiji DAB+ radijske postaje najprej digitalizirane in zapisane z avdio kodekom, tipično se v ta namen uporablja kodek AAC HE. Sledi dodajanje zaščitnih bitov, ki služijo zagotavljanju prenosa v šumnih kanalih, nato pa so radijske postaje multipleksirane oz. združene v en prenosni tok. Ta se oddaja v digitalnem načinu s pomočjo diferencialne kvadrature modulacije DQPSK, oddajane preko radiodifuznega oddajanja. Pri tem se lahko posamezne radijske postaje oddaja v različnih kvalitetah in le-te posledično potrebujejo večje ali manjše bitne hitrosti. V praksi se neto bitne hitrosti gibljejo med 24 kb/s in 136 kb/s, nižje hitrosti običajno pomenijo oddajanje v mono tehniki in slabši kvaliteti.

Bitnemu toku avdio signala posamezne radijske postaje se lahko doda še druge vsebine kot so slike, radijski spored in prometne informacije, nato pa se, kot omenjeno, oddajajo vsebine vsake posamezne postaje zaščitni z dodajanjem redundantnih (zaščitnih) bitov. Ta postopek imenovan tudi kanalsko kodiranje je bolj detajlno opisan v poglavju Kanalsko kodiranje. Skupek oddajanih radijskih postaj se imenuje multipleks DAB+ in se ga oddaja v enotnem frekvenčnem pasu na izbrani centralni frekvenci. Slika 24 prikazuje simbolno shemo takega multipleksa. Pri oddajanju digitalnega radia, se podobno kot pri digitalni televiziji, uporablja tehnologija oddajanja na enofrekvenčnih omrežjih (ang. Single Frequency Network – SFN), kar zahteva uporabo t. i. zaščitnega intervala (ang. Guard Interval – GI) za vsak oddajani simbol. Simboli predstavljajo zapis bitov pri prenosu, vsak simbol vsebuje zapis 1, 2, 4 ali več bitov, odvisno od uporabljane modulacije. Zaradi tehnologije SFN je potrebno multipleks oddajati na več 1000 frekvenčnih podnosilcih, kar je dodatno opisano v poglavju

Modulacije. Uporaba teh tehnologij omogoča okrog 20-krat boljši izkoristek frekvenčnega spektra od klasičnih analognih FM tehnologij. Poleg tega omogoča oddajanje z DAB+ tehnologijo večjo fleksibilnost oddajanja, saj je mogoče kapacitete posameznih radijskih postaj prilagajati z namenom oddajanja ene radijske postaje v boljši kakovosti ali več postaj v nižji kakovosti.



Slika 24: Simbolna shema oddajanja več radijskih postaj v DAB multipleksu

4.2 DVB-T – tehnologije radiodifuznega oddajanja televizijskih vsebin

Radiodifuzne tehnologije prenosa televizijskih vsebin vključujejo:

- digitalna prizemna televizija (ang. Digital Video Broadcasting - Terrestrial – DVB-T/T2),
- digitalna kabelska televizija (ang. Digital Video Broadcasting - Cable – DVB C/C2) in
- digitalna satelitska televizija (ang. Digital Video Broadcasting - Satellite – DVB S/S2).

Vse so v osnovi podobne DVB-T, zato bodo v sklopu obravnave le-teh poudarjene predvsem razlike do tehnologije DVB-T. Za prizemno oddajanje DVB-T so v uporabi iste radijske frekvence in širine kanalov v področju ultra visokih frekvenc, kot so bile uporabljane že v času analogne televizije, natančneje:

- UHF IV: 470-614 MHz (8 MHz na kanal – 21-38 kanal)
- UHF V: 614-862 MHz (8 MHz na kanal – 39-69 kanal)

Uporaba kanala 21 obsega frekvenčno področje 470-478 MHz, centralna frekvenca pa je v tem primeru 474 MHz. Pri nastavljanju oddajnikov in sprejemnikov je treba tako poznati predvsem centralne frekvence kanalov. Za izračun pripadajoče frekvence poljubnega kanala je dovolj, če je poznan podatek za en kanal/frekvenco in širino posameznega kanala, ki je 8 MHz.

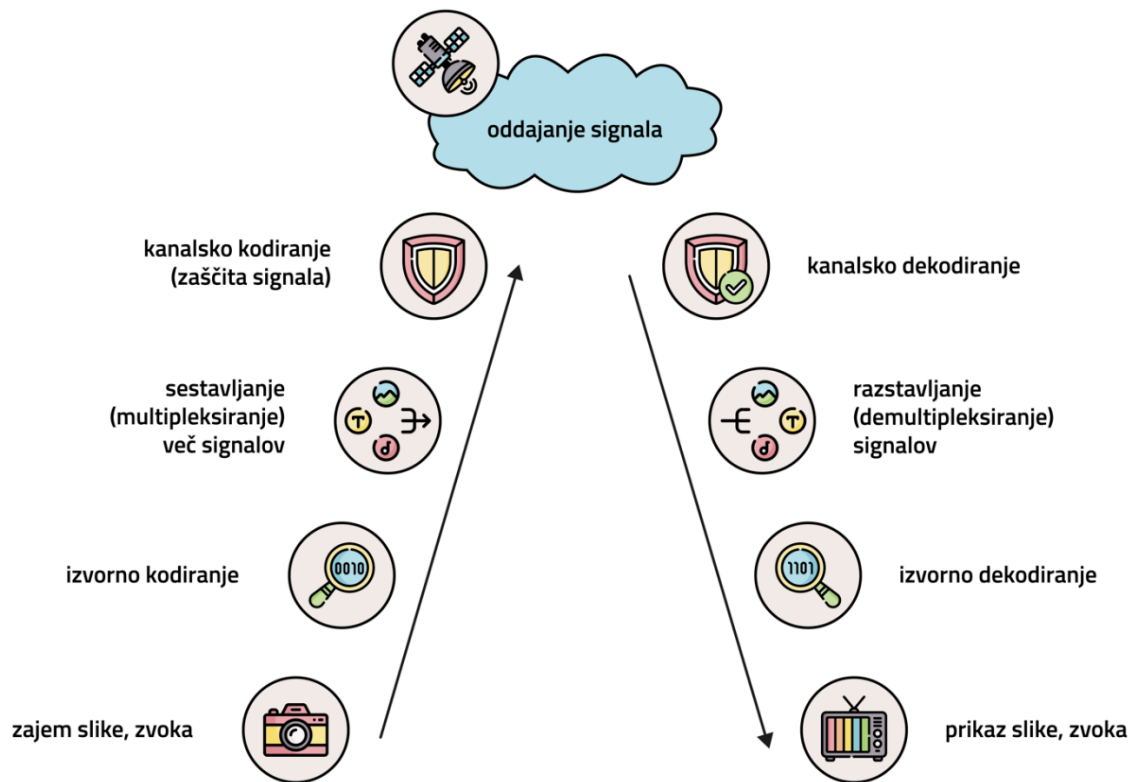
Primer: Kanal 21 ima npr. centralno frekvenco 474 MHz, frekvenco kanala 45 lahko izračunamo:

$$45 - 21 = 24 \text{ kanalov razlike}$$

$$24 \times 8 \text{ MHz} = 192 \text{ MHz razlike med kanalom 21 in 45}$$

$$\text{centralna frekvenca kanala 45 je tako: } 474 \text{ MHz} + 192 \text{ MHz} = 666 \text{ MHz}$$

V Sloveniji je bilo na začetku oddajanja DVB-T uporabljano področje UHF od 21 do 69 kanala, po uveljavitvi dogovora leta 2012 na konferenci WRC-12 pa so kanali 61-69 namenjeni operaterjem mobilnih komunikacij.



Slika 25: Prenos signala

Verigo sekundarne distribucije za DVB-T omrežje je mogoče razdeliti na nekaj bistvenih korakov, prikazanih na sliki 25. Na oddajnem delu se veriga začne z **zajemom slike in zvoka**, ki se jih v naslednjem koraku zapiše z uporabo ustreznih kodekov – **izvorno kodiranje** (ang. Source Coding). S tem se audio in video tokove pretvori v obliko, ki je primerna za oddajanje, saj imajo ustrezno bitno hitrost in kvaliteto ter so zapisani z ustreznim kodekom. V naslednjem koraku se s pomočjo **multipleksiranja** (ang. Multiplexing) audio in video tokove več TV programov združi v enoten podatkovni tok ter doda tabele, ki opisujejo njegovo strukturo. Sledijo postopki **kanalskega kodiranja** (ang. Channel Coding), ki dodajo zaščito oddajani vsebini z dodajanjem redundantnih bitov in s tem omogočajo sprejem, kljub šumu in motnjam na prenosni poti. Naslednji korak predstavlja priprava digitalnega zapisa signala na **oddajanje** z uporabo tehnologije ortogonalnega frekvenčnega multipleksiranja (ang. Orthogonal Frequency-Division Multiplexing – OFDM) in izbrano **digitalno modulacijo** ter samo oddajanje signala z oddajniki in antenami.

Na sprejemnem delu si ustrezni koraki seveda sledijo v obratnem vrstnem redu. Najprej je potrebno oddajani signal **sprejeti** z anteno, ter ga v postopku **demodulacije** pretvoriti v digitalni tok. Nato se s postopki **kanalskega dekodiranja** odstranjujejo napake v sprejetem podatkovnem toku in iz njega izlušči enoten podatkovni tok, ki vključuje vse TV programe oddajane multipleksa. Ob izbiri posameznega TV programa, ki ga uporabnik želi gledati, se iz enotnega podatkovnega toka prebere tiste audio in video tokove, ki pripadajo izbranemu TV programu. Le-te je nato potrebno še **izvorno dekodirati** in sliko ter zvok **predvajati** na TV sprejemniku.

Principi zajema slike ter izvornega kodiranja avdia in videa so razloženi že v prejšnjih poglavjih, zato so v nadaljevanju opisani ostali koraki v verigi sekundarne distribucije.

4.2.1 Prenosni tok in multipleksiranje

Pri analogni televiziji se zaradi načina delovanja sistema na enem kanalu (frekvenci) lahko predvaja oziroma prenaša le en televizijski program. Pri digitalni televiziji pa se na tem istem kanalu lahko prenaša več televizijskih kanalov. Njihovo število je omejeno s kapaciteto prenosne poti, ki je odvisna od izbranih tehničnih parametrov, ter od izvornega kodiranja in posledične pasovne širine video signalov. Da je oddajanje več različnih TV programov oziroma tokov mogoče oddajati v enem kanalu, je potrebno izvesti postopek multipleksiranja, ki je ključni element v verigi vseh sistemov DVB.

Pri multipleksiranju se več različnih elementarnih tokov (video, avdio, tekst in ostale podatkovne vsebine) združuje v en skupni transportni tok (ang. Transport Stream), ki se ga potem posreduje preko prenosne poti. Pri tem je potrebno poudariti, da ne gre zgolj za multipleks avdio-video vsebin, temveč tudi dodatnih podatkovnih tokov in storitev. V transportni tok so vključene tudi vse tabele, ki opisujejo avdio vsebine, video vsebine, podatkovne tokove, omrežje ter ostale storitve: teletext, časovne oznake za podporo snemanja, elektronski programski vodič (ang. Electronic Programme Guide – EPG), zaklepanje vsebin, dodatne storitve itd. Vsaka posamezna oddajana vsebina (avdio tokovi, video tokovi, podatki, tabele itd.) ima svoj unikatni identifikator paketa (ang. Packet Identifier – PID), ki je zapisan v glavi vseh paketov, ki vsebujejo to vsebino. To predstavlja osnovo za identifikacijo vsebin v transportnem toku in se uporablja pri ekstrakciji elementarnih tokov izbranega TV programa iz skupnega transportnega toka z namenom njegovega predvajanja.

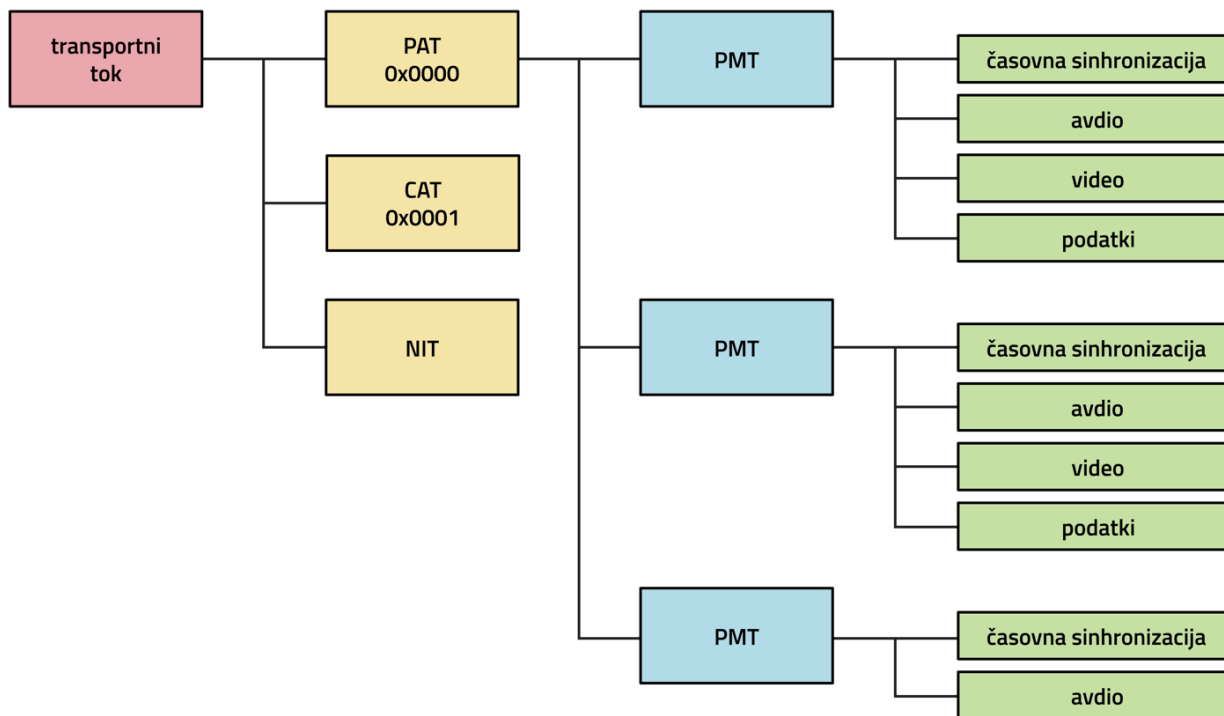
Poleg videa, zvoka in teksta se lahko v multipleks dodaja tudi dodatne vsebine, kot so npr. aplikacije, podatki v podatkovnem vrtiljaku (ang. Data Carousel). Oboje se lahko dodaja kot samostojno storitev ali pa kot storitev vezano na določen program. Pri dodajanju podatkovnega vrtiljaka in predvajalnikov je treba vedno paziti, da bruto kapaciteta vsebine ne preseže maksimalne kapacitete transportnega toka.

4.2.2 Tabele in opisovanje multipleksa

S pomočjo multipleksiranja se v prenosni tok vključuje oziroma združuje različne vsebine, tabele, in podatke v zaključeno celoto, ki se potem prenaša preko omrežja DVB. S stališča prenosnega toka skorajda ni pomembno preko kakšne prenosne poti se ga prenaša (kabel, satelit, zemeljsko oddajanje). Prenosni tok in številne tabele, ki opisujejo prenašano vsebino so definirani v MPEG-2 specifikaciji (MPEG-2 Part1: Systems) in v DVB specifikaciji oz. standardu ETSI EN 300 468.

Tabela z informacijami o omrežju in multipleksu (ang. Network Information Table – NIT) vsebuje informacije o centralni frekvenci multipleksa, tipu modulacije, številu frekvenčnih nosilcev, kodnem razmerju, dolžini zaščitnega intervala in druge tehnične parametre. Za identifikacijo prenašanih TV programov in informacije o njim pripadajočim elementarnim prenosnim tokovom (ang. Elementary Stream) je uporabljena tabela povezav programa (ang. Program Association Table – PAT), ki vsebuje podatke o vsebini multipleksa in tabele načrta programa (ang. Program Map Table – PMT), ki vsebujejo podatke o elementarnih tokovih enega TV programa. PAT tako vsebuje seznam vseh TV programov v multipleksu in povezave na njihove pripadajoče PMT tabele, zato je oddajana ena sama PAT tabela za en multipleks, medtem ko je število PMT tabel odvisno od števila storitev (programov), ki so vključeni v multipleksu oz. v transportnem toku. V PMT tabeli se nahajajo podatki o elementarnih tokovih, ki pripadajo posameznemu TV programu, kar vključuje podatke o pripadajočem video toku, enem ali več avdio tokovih, teletextu in morebitnih interaktivnih aplikacijah. Vse pripadajoče vsebine TV programa so v PMT tabeli označene s PIDI paketov transportnega toka, ki jih vsebujejo.

Tabela pogojnih dostopov (ang. Conditional Access Table – CAT) se uporablja za upravljanje ključev za odklepanje TV programov, katerih dostop je omejen in posledično so vsebine zaščitene oz. kriptirane. Primer povezave med tabelami, ki opisujejo avdio-vizualne vsebine in druge podatke v transportnem toku je prikazan na sliki 26. Vse štiri table skupaj se imenujejo PSI table (informacije, specifične za program, ang. Program-Specific Information), poleg teh se v DVB prenosnem toku lahko nahajajo še dodatne table z informacijami o storitvi (ang. Service Information Table – SI), v katerih se prenašajo dodatne informacije (table BAT, SDT, EIT, RST, TDT, TOT, ST, AIT, SIT in DIT).



Slika 26: Povezave med tabelami, ki opisujejo AV tokove in druge vsebine v transportnem toku

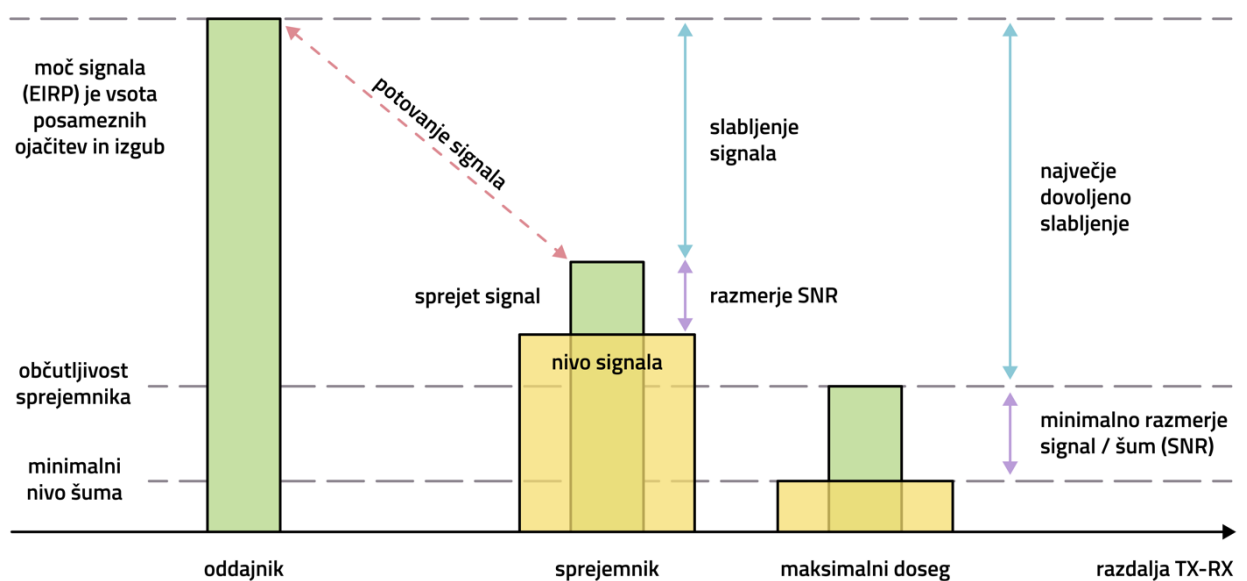
V tem okviru je potrebno izpostaviti naslednje table:

- tabela z opisom storitev (ang. Service Description Table – SDT), ki vsebuje podatke o oddajanih TV programih (npr. ime programa, izdajatelj, opis)
- tabela dogodkov (ang. Event Information Table – EIT), ki vsebuje informacije elektronskega programskega vodiča
- tabela aplikacij (ang. Application Information Table – AIT), ki vsebuje informacije o oddajanih aplikacijah
- tabela z datumom in uro (ang. Time and Date Table – TDT)
- tabela z informacijami o omrežju in multipleksu (ang. Network Information Table – NIT), ki vsebuje informacije o uporabljenem kodnem razmerju, številu frekvenčnih nosilcev, dolžini zaščitnega intervala in centralni frekvenci oddajane multipleksa.

Vse te table so ključne za ustrezno prikazovanje in sestavljanje končnega prikaza na sprejemni strani. Nekatere (predvsem PSI table) so ključne in brez njih sprejemnik ne more prikazati ničesar, medtem ko ostale predvsem izboljšajo uporabniško izkušnjo pri uporabi storitev.

4.2.3 Kanalsko kodiranje

Zaradi prenosa multipleksa do končnega uporabnika po različnih prenosnih kanalih, kjer se pojavljajo šum, odboji, vremenske in druge motnje, je le-tega potrebno ustrezno zaščititi. Nivo signala z oddaljenostjo od oddajnika pada in s tem se razmerje signal-šum (ang. Signal-to-Noise Ratio – SNR) poslabšuje, kar je prikazano na sliki 27. Zaščita signala se izvaja z uporabo postopkov kanalskega kodiranja, kar pomeni, da se z ustreznimi matematičnimi postopki podatkovnemu toku dodaja redundantne bite in oktete. Dodana redundanca na sprejemni strani omogoča detekcijo in korekcijo omejenega števila napačno sprejetih bitov, kar ob zadostnem nivoju razmerja signal-šum na prenosni poti omogoča dovolj nizko število napak v popravljenem podatkovnem toku in s tem uspešno predvajanje prenašanih TV programov in pripadajočih vsebin. Korekcija napačno sprejetih bitov je seveda omejena in odvisna od stopnje dodane redundance in minimalnega razmerja signal-šum, ki ga dodana stopnja redundance zahteva.



Slika 27: Prenosna pot

V osnovi se pri tehnologijah DVB-T uporabljata dva glavna postopka kanalskega kodiranja in sicer bločne kode (ang. Block Code) kot je Reed Solomon ter konvolucijsko kodiranje (ang. Convolutional Coding). Oba postopka se dopolnjujeta z dodatno obdelavo podatkovnega toka in sicer z razprševanjem energije (ang. Energy Dispersal), ter s časovnim prepletanjem oddajanih podatkov (ang. External Interleaver). Shema vrstnega reda uporabljenih postopkov je prikazana na sliki 28.



Slika 28: Shema vrstnega reda postopkov pri kanalskem kodiranju

Prvi korak v okviru kanalskega kodiranja predstavlja **razprševanje energije**, kar pomeni razbitje dolgih nizov enic oz. ničel v podatkovnem toku. To se izvaja s pomočjo psevdo naključnega generatorja. S tem postopkom se je mogoče izogniti neželenemu pojavu enosmerne napetosti, ki bi nastala pri daljšem nizu enic ali ničel.

V naslednjem koraku sledi t. i. **zunanje kodiranje** oz. postopek Reed-Solomon, kjer se vsakemu paketu transportnega toka, doda 16 redundantnih oktetov, kar pomeni, da se dolžina paketa poveča z osnovnih 188 oktetov na 204 oktete. Zaradi 16 dodanih oktetov je mogoče na sprejemni strani z obratnim postopkom v vsakem paketu popraviti do 8 pri prenosu pokvarjenih oktetov, hkrati pa to povzroči 8 % poslabšanje razmerja neto-bruto kapacitete podatkovnega toka.

S tretjim korakom se v postopku kanalskega kodiranja poskuša izboljšati pogoje za delovanje postopka Reed Solomon. Ker se napake pogosto pojavljajo v skupkih, postopek Reed Solomon pa lahko popravi do 8 napačno sprejetih oktetov v okviru enega paketa transportnega toka, je smiselno napake pri sprejemu razpršiti čez več paketov, zato da na posamezni paket ne pride več kot 8 napačno sprejetih oktetov. Razprševanje skupkov napak čez več paketov se lahko doseže s **časovnim prepletanjem**, ki je zasnovano tako, da se vsak oddajani oktet zamakne za N mest, na sprejemni strani pa se izvede obraten postopek. Tako se morebitni skupki napak razpršijo čez več paketov s čimer se bistveno lažje doseže manj kot 8 napačno sprejetih oktetov na en paket. Pri DVB-T je v uporabi Fourneyev prepletalnik z zamikom za $N=17$ mest.

V četrtem koraku se uporabi še t. i. **konvolucijsko kodiranje**, kar je dodatna, močna zaščita oddajanih podatkov. Konvolucijski kodirnik v prvem koraku za vhodni tok podatkov ustvari dva izhodna tokova, vsakega z enako hitrostjo kot je vhodni tok. Zaradi narave delovanja konvolucijskega kodiranja je pri sprejetem signalu, v katerem so se zaradi neidealnih razmer na prenosni poti zgodile napake, mogoče po principu največje verjetnosti ocenjevati kakšna zaporedja ničel in enic so bila (najverjetneje) oddana in s tem popravljati napake v sprejetem signalu. Zaradi velikega poslabšanja neto-bruto razmerja v prvem koraku konvolucijskega kodiranja (za vsak osnovni bit, ki vstopi v konvolucijski kodirnik se na izhodu pojavita dva bita, torej pade učinkovitost (hitrost) oddajanja na polovico) se tipično uporabi naknadno zmanjševanje razmerja med redundantnimi in osnovnimi biti. Postopek zmanjševanja deleža redundantnih bitov se imenuje luknjanje (ang. Puncturing) in se izvaja skladno s predpisanimi vzorci.

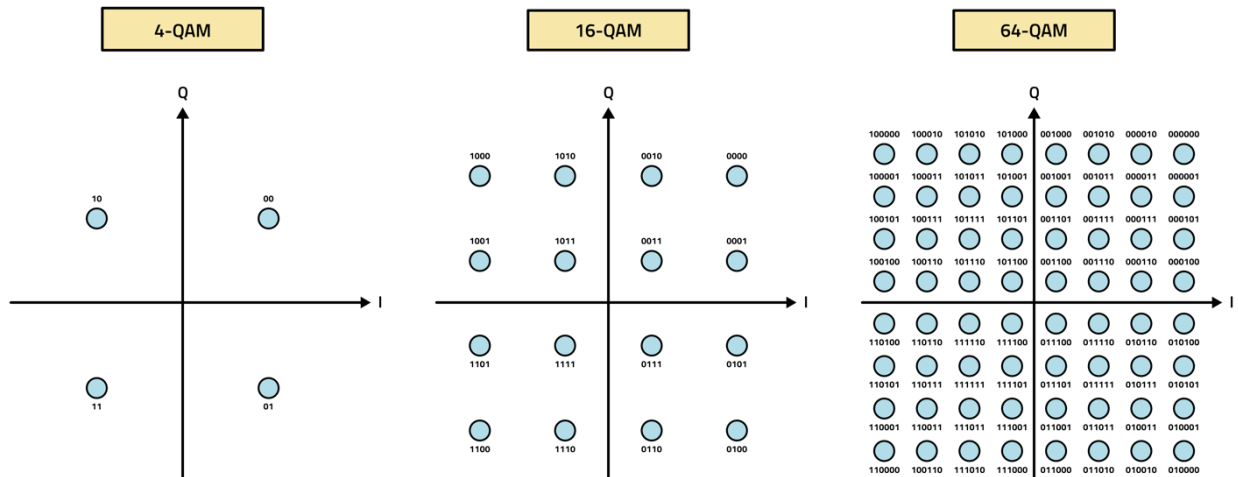
Pri DVB-T se v praksi uporabljajo kodna razmerja $1/2$, $2/3$, $3/4$, $5/6$ in $7/8$. Podatkovni tok s kodnim razmerjem $1/2$ je seveda najbolj zaščiten proti šumu in motnjam na prenosni poti, posledično pa ima najmanjšo neto kapaciteto prenosa. Tisti s kodnim razmerjem $7/8$ je najmanj zaščiten proti šumu in motnjam, ima pa največjo neto kapaciteto. Tipični nivoji razmerja signal-šum, ki so zahtevani za posamezno kodno razmerje in uporabljeno modulacijo, so prikazani v tabeli 6 v poglavju Kapaciteta multipleksa v prenosnem kanalu.

4.2.4 Modulacije

Postopki digitalne modulacije omogočajo, da se informacije, ki so v obliki enic in ničel, zapišejo v amplitudo, fazo ali frekvenco nosilnega signala. V taki obliki jih je mogoče prenašati na velike razdalje, način zapisovanja teh informacij vpliva tako na pasovno širino, kot tudi na robustnost zapisa na motnje v prenosnem kanalu. Tipično se zapiše več bitov v en simbol, pri čemer večje število bitov na simbol pomeni večje zahtevano razmerje signal-šum na prenosni poti in večjo hitrost oddajanja. Hkrati je tudi hitrost oddajanja simbolov pozitivno korelirana s hitrostjo oddajanja podatkov, pri tem pa seveda vpliva na pasovno širino oddajane signala.

V praksi se pri DVB-T uporablja kvadrature amplitudne modulacije (ang. Quadrature Amplitude Modulation – QAM), kjer ima vsak oddajani simbol svojo lokacijo na konstelacijskem diagramu (ang. Constellation Diagram). Lokacija simbola na konstelacijskem diagramu je opisana s fazo in amplitudo signala, oz. z vrednostmi

(koordinatami) I in Q za dva, med seboj ortogonalna, nosilca. Konstelacijski diagrami za modulacije 4-QAM (QPSK), 16-QAM in 64-QAM so prikazani na sliki 29, s katere je razvidno, da se z večanjem števila možnih simbolov povečuje število prenesenih bitov na simbol in s tem hitrost prenosa podatkov. Hkrati so modulacije višjih redov bolj občutljive na šum oz. motnje na prenosni poti. Pri QPSK se tako z vsakim oddanim simbolom oddata 2 bita, pri 16-QAM 4 biti, pri 64-QAM pa 6 bitov. V Sloveniji se za nacionalne multiplekse DVB-T uporablja modulacija 64-QAM.

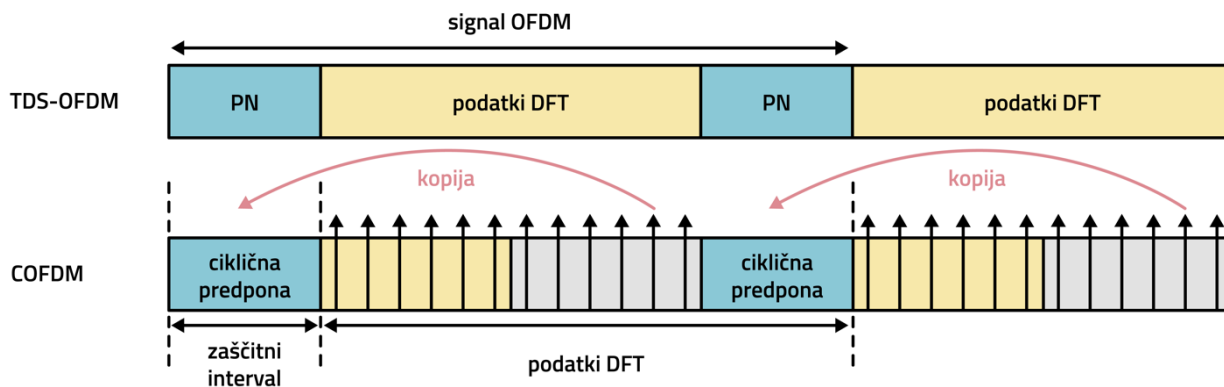


Slika 29: Konstelacijski diagrami za različne modulacije

Dodatno povečanje učinkovitosti oddajanja digitalnih signalov se lahko doseže z oddajanjem z enofrekvenčnimi omrežji. To pomeni, da se na širšem geografskem območju na vseh oddajnikih oddaja enake vsebine (multiplekse) na istih frekvencah, česar z analognimi tehnologijami sploh ni mogoče doseči. Ker je vsak sprejemnik različno oddaljen od oddajnikov v dosegu katerih je, signali teh oddajnikov pridejo do sprejemnika ob različnih časih. Posledično je potrebno uvesti mehanizem čakanja na zakasnele in odbite signale, ki do sprejemnika pridejo z različnimi medsebojnimi zakasnitvami.

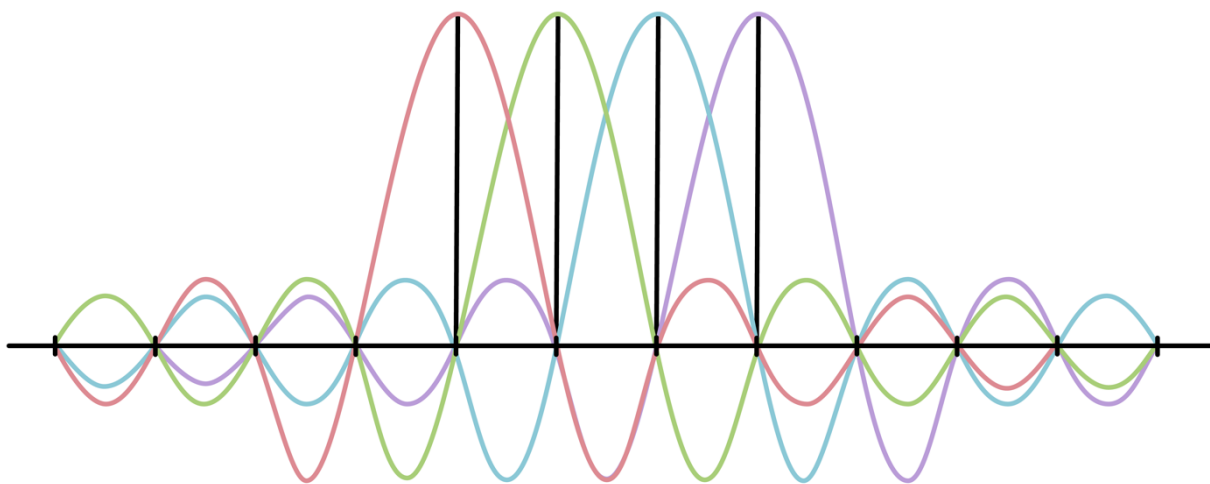
Rešitev, je uvedba zaščitnih intervalov za vsak oddajani simbol. Zaščitni interval predstavlja del simbola OFDM oz. predstavlja čas čakanja na signale, ki prispejo do antene z zakasnitvijo (v primerjavi s prvim sprejetim signalom). Ker se signali razširjajo po različnih poteh, pride med njimi do kratkega zamika in če je ta zamik krajši od dolžine zaščitnega intervala, se lahko sprejete signale uporabi za izboljšanje sprejema. V zaščitni interval je vgrajena ciklična predpona (ang. Cyclic Prefix) oz. kopija zadnjega dela signala OFDM. Dolžina zaščitnega intervala je lahko različna, tipično pa predstavlja 1/4 do 1/32 trajanja simbola.

Pri DVB-T in trajanju simbola 896 μ s to pomeni maksimalno čakanje zakasnelih signalov v dolžini med 224 μ s in 28 μ s, kar pomeni razliko v dolžini poti signalov med 67,2 km in 8,4 km. Te razdalje tako predstavljajo maksimalne dovoljene razdalje med posameznimi oddajniki, ki oddajajo na isti frekvenci. Potrebno je izpolniti še precej drugih pogojev med drugim tudi natančno časovno sinhronizacijo, ki jo je mogoče na oddajnikih zagotavljati npr. preko omrežja globalnega sistema pozicioniranja (ang. Global Positioning System – GPS). Slika 30 prikazuje izvedbo zaščitnega intervala s kopiranjem zadnjega dela simbola na njegov začetek oz. ciklične predpone.



Slika 30: Zaščitni intervali

Uvedba zaščitnega intervala z dolžino $1/4$ trajanja simbola v trajanju nekaj $100 \mu\text{s}$ pomeni nekaj $1000\times$ upočasnjeno oddajanje posameznih simbolov in s tem za enak faktor zmanjšano prenosno bitno hitrost. Posledično se uvede hkratno oddajanje na več 1000 frekvenčnih nosilcih. V ta namen se uporablja tehnologija OFDM, kjer se za prenos informacije uporablja med seboj ortogonalne podnosilce. Pri predpisanem standardu za DVB-T se lahko uporablja 2K (2048) ali 8K (8192) nosilcev (v Sloveniji je v uporabi način 8k), v literaturi in navajanju lastnosti se pogosto pojavlja oznaka npr. FFT = 8k, saj gre za poseben način implementacije hitrega Fourierjevega transformata (ang. Fast Fourier Transform – FFT). Slika 31 prikazuje tak način modulacije s štirimi, med seboj ortogonalnimi, nosilci.



Slika 31: Modulacija s štirimi nosilci

Oznaka 8K nosilcev v praksi pomeni uporabo 6817 frekvenčnih nosilcev. Od teh je 6048 nosilcev namenjenih prenosu podatkov (audio in video, tabele itd.), ostali frekvenčni nosilci pa so t. i. pilotni nosilci (ang. Pilot Carrier). Pilotni frekvenčni nosilci so namenjeni ocenjevanju "kvalitete" prenosnega kanala v smislu frekvenčnih in faznih motenj ter prenosu informacij o parametrizaciji oddajanega multipleksa (kodno razmerje, tip modulacije, dolžina zaščitnega intervala). Z uporabo pilotnih nosilcev lahko sprejemnik delno popravi sprejeti signal in s tem izboljša sprejem. V okviru oddajanja na podatkovnih nosilcih je v uporabi še frekvenčno prepletanje oddajanih simbolov. V tem okviru se simbole, ki nosijo med seboj časovno zaporedne bite, razporedi na frekvenčne nosilce, ki v spektru niso blizu skupaj. Na ta način se je mogoče izogniti večjemu številu časovno zaporednih napak, ki se lahko zgodijo zaradi presih v delu frekvenčnega spektra, s čimer je olajšano delo korekcijskim mehanizmom za popraviljanje napak na sprejemni strani.

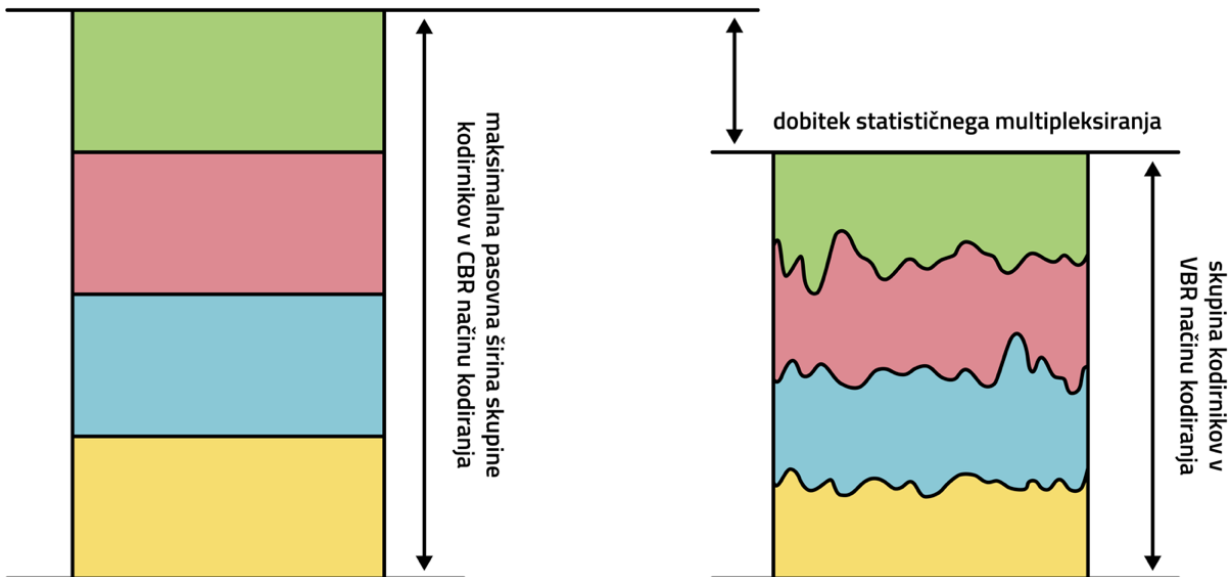
4.2.5 Kapaciteta multipleksa v prenosnem kanalu

Postopki uporabljeni pri oddajanju DVB-T signala (kanalsko kodiranje, modulacije, število frekvenčnih nosilcev, dolžina zaščitnega intervala) vplivajo tako na maksimalno bitno hitrost oddajane multipleksa, kakor tudi na njegovo odpornost na šum v prenosnem kanalu. Pri izvedbi DVB-T omrežja je potrebno poiskati najustreznejše parametre oddajanja glede na prenosno pot in željeno zmogljivost prenosa.

			zahtevan C/N za BER $= 2 \cdot 10^{-4}$	zaščitni intervali			
sistem	modulacija	kodno razmerje	Gaussov šum	1/4	1/8	1/16	1/32
8MHz							
A1	QPSK	1/2	3,1	4,98	5,53	5,85	6,03
A2	QPSK	2/3	4,9	6,64	7,37	7,81	8,04
A3	QPSK	3/4	5,9	7,46	8,29	8,78	9,05
A5	QPSK	5/6	6,9	8,29	9,22	9,76	10,05
A7	QPSK	7/8	7,7	8,71	9,68	10,25	10,56
B1	16-QAM	1/2	8,8	9,95	11,06	11,71	12,06
B2	16-QAM	2/3	11,1	13,27	14,75	15,61	16,09
B3	16-QAM	3/4	12,5	14,93	16,59	17,56	18,10
B5	16-QAM	5/6	13,5	16,59	18,43	19,52	20,11
B7	16-QAM	7/8	13,9	17,42	19,35	20,49	21,11
C1	64-QAM	1/2	14,4	14,93	16,59	17,56	18,10
C2	64-QAM	2/3	16,5	19,91	22,12	23,42	24,13
C3	64-QAM	3/4	18,0	22,39	24,88	26,35	27,14
C5	64-QAM	5/6	19,3	24,88	27,65	29,27	30,16
C7	64-QAM	7/8	20,1	26,13	29,03	30,74	31,67

Tabela 6: Kapaciteta prenosnega kanala DVB-T glede na izbrane parametre

Tabela 6 prikazuje različne možnosti glede uporabljene modulacije, kodnega razmerja ter dolžine zaščitnega intervala, pri čemer sta za vsako od možnih kombinacij tehničnih parametrov navedena neto bitna hitrost ter zahtevano razmerje signal-šum. Opaziti je mogoče, da pri uporabi zmogljivejših modulacij (npr. 64-QAM namesto 16-QAM) neto bitna hitrost narašča, kakor tudi v primeru šibkejšega kodnega razmerja (npr. 7/8 namesto 3/4), hkrati pa je v teh primerih potrebno zagotoviti ustrezno večje razmerje signal-šum. Pri ogledu zahtev za razmerje signal-šum na primeru parametrov, ki se v Sloveniji uporabljajo za oddajanje multipleksa A in multipleksa C, je mogoče opaziti, da je v obeh primerih uporabljena modulacija 64-QAM in dolžina zaščitnega intervala 1/4. Kodni razmerji nista enaki in sicer je pri multipleksu A uporabljeno kodno razmerje 2/3 pri multipleksu C pa 3/4. Posledično se za oddajanje multipleksa A potrebuje razmerje signal-šum 16,5 dB za multipleks C pa kar 18 dB, hkrati pa omogoča multipleks A nekaj manjšo neto bitno hitrost (19,9 Mb/s) kot multipleks C (22,39 Mb/s). Podatki v tabeli predvidevajo širino frekvenčnega pasu 8 MHz in zahtevani delež napačnih bitov (ang. Bit Error Rate – BER) po uporabi kanalskega dekodiranja $2 \cdot 10^{-4}$.



Slika 32: Multipleksiranje s konstantnim (levo) in variabilnim (desno) bitnim pretokom

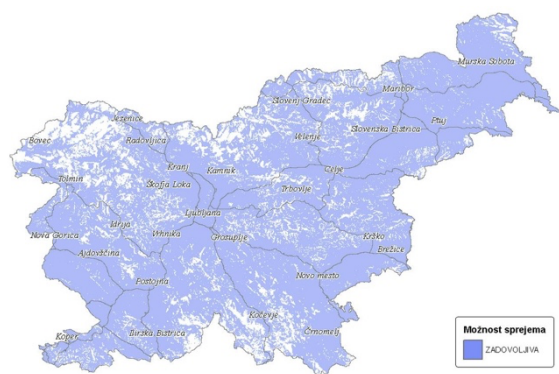
Pri oddajanju se lahko avdio in video tokove oddaja na dva načina. Prvi način je s konstantno bitno hitrostjo za vse avdio-video tokove, drugi pa uporablja variabilno bitno hitrost avdio-video tokov. Pri slednjem načinu je mogoče prihraniti precej razpoložljive bitne hitrosti, saj se izkorišča variabilnost posameznih bitnih pretokov, ki so statistično multipleksirani. Primerjava multipleksiranja s konstantnimi in variabilnimi bitnimi pretoki je prikazana na sliki 32.

4.2.6 DVB-T v Sloveniji

V Sloveniji se danes prizemni TV signal oddaja izključno v digitalni tehniki po standardu DVB-T. Operater digitalne prizemne televizije – javni zavod RTV Slovenija, razpolaga z odločbami o dodelitvi radijskih frekvenc, ki mu dovoljujejo (zakon pa celo narekuje) pokrivanje cele Slovenije, kar trenutno izvajajo z dvema nacionalnima multipleksoma (multipleks A in C). Poleg nacionalnega so v uporabi še lokalni multipleksi, ki so namenjeni lokalnim oziroma regionalnim televizijskim programom. Operaterji omrežij lokalnih multipleksov so predvsem izdajatelji lokalnih TV programov, ki so prek javnih razpisov pridobili odločbe o dodelitvi radijskih frekvenc za posamezen multipleks.



Slika 33: Geografska porazdelitev oddajanja



Slika 34: Pokritost DVB-T Mux A

Multipleks A je v Sloveniji geografsko razdeljen na tri regije (zahod, center in vzhod), njegova vsebina pa je odvisna od regije. Slika 33 prikazuje geografsko porazdelitev oddajanja, slika 34 pa pokritost s signalom multipleksa A v Sloveniji. Več informacij je na voljo na spletnih straneh RTV Slovenija.

Kvaliteta sprejema DVB-T signala je odvisna od položaja, tipa in usmerjenosti antene ter tudi od povezave antene s sprejemnikom. Večina uporabljenih anten je usmerjenih, kar pomeni, da je zelo pomembno v katero smer je antena obrnjena (smer v katero "kaže") in njena polarizacija (ali je postavljena ležeče ali pokončno). Tudi fizična namestitvev antene igra pomembno vlogo, znotraj stavb je sprejem veliko slabši kot v primeru, če je antena nameščena zunaj (npr. na strehi ali fasadi). Prav tako na sprejem vpliva tudi tip antene. Najbolj značilne antene za DVB-T so logaritemska antena, sobna antena in yagi antena, prikazane na sliki 35.



Slika 35: Najbolj značilni tipi anten za DVB-T

Vsaka antena ima določen dobitok oz. ojačanje (ang. Gain), ta pa je odvisen od tipa in velikosti antene. Logaritemska antena ima dobitok do 20dB, sobna antena skupaj z ojačevalnikom do 36 dB, dobitok yagi antene pa je med 11 dB in 16 dB.

Poleg namestitve antene je pomembna tudi namestitvev ojačevalnikov, delilnikov ter uporabljenih kablov. Za nameščanje anten in ojačevalnikov veljajo naslednja pravila:

- ojačevalnik se mora nahajati čim bližje anteni, večje ojačenje ne pomeni nujno boljšega sprejema
- antena mora ustrezati frekvenčnemu področju oddajane signala
- uporablja se le impedančno prilagojene delilnike (75Ω)
- uporablja se le kable s pravilno karakteristično impedanco (75Ω)
- poškodovani kabli lahko zelo poslabšajo sprejem
- kable se poskusi napeljati od antene do sprejemnika v enem kosu s čim manj (pre)konektorji

4.3 Druge tehnologije radiodifuznega oddajanja

Poleg opisanega radiodifuznega prizemnega oddajanja radijskih in televizijskih programov s tehnologijami DAB+ in DVB-T obstajajo tudi druge oblike radiodifuznega oddajanja, kot so nova generacija prizemnega oddajanja televizije DVB-T2 ter kabelsko DVB-C oz. DVB-C2 in satelitsko oddajanje DVB-S oz. DVB-S2. Omenjene tehnologije so sorodne tehnologiji DVB-T, razlikujejo se v nekaj aspektih, ki so bodisi posledica tehničnega napredka na tem področju (DVB-T2) ali različnih lastnosti prenosnega kanala pri kabelskem in satelitskem oddajanju (DVB-C/C2 in DVB-S/S2). Te tehnologije so zato na kratko opisane v obliki primerjave s tehnologijo DVB-T.

4.3.1 Tehnologija prizemnega oddajanja televizijskih programov DVB-T2

Glavni cilj razvoja tehnologije DVB-T2 je bil povečanje izkoristka oddajanja za vsaj 30 %, kar v praksi pomeni tolikšno povečanje neto bitne hitrosti oddajanih vsebin v enakem frekvenčnem pasu. To je mogoče doseči s pomočjo nekaj tehnoloških nadgradenj in izboljšav, med katerimi je najpomembnejša menjava tehnologij kanalskega kodiranja z naprednejšimi matematičnimi postopki, kot sta BCH (ang. Bose Chaudhuri Hocquenghem) in LDPC (preverjanje paritete z nizko gostoto, ang. Low Density Parity Check). Poleg teh tehnologij je bilo uvedeno oddajanje na večjem številu frekvenčnih podnosilcev (do 32K), kar je omogočilo relativno skrajšanje zaščitnih intervalov, uporabljeno pa je tudi rotiranje modulacijskih konstelacij, dodatna prepletanja itd. To je omogočilo uvedbo novih tipov storitev in večjo fleksibilnost pri oddajanju, hkrati pa so tovrstni pristopi omogočili dodatno približevanje teoretični meji oddajanja po Shannonevem teoremu.

4.3.2 Tehnologije satelitskega in kabelskega oddajanja DVB-C/C2 in DVB-S/S2

Pri satelitskem in kabelskem oddajanju televizijskih (in radijskih) programov so v osnovi uporabljene podobne tehnologije in pristopi kot pri prizemnem oddajanju. Bistvena razlika med njimi je v lastnostih prenosnih kanalov, zaradi česar je za čim boljši izkoristek spektra potrebno prilagoditi nekaj tehničnih parametrov.

Pri satelitskem oddajanju je oddajnik na geostacionarni orbiti, ki je od Zemlje in s tem od sprejemnikov oddaljena približno 36.000 kilometrov. To pomeni, da je na Zemlji sprejeti signal močno oslavljen in s tem bolj občutljiv na šum. Posledično je treba pri satelitskem oddajanju uporabljati modulacije nižjega reda, tipično so to QPSK pri DVB-S in do 32-APSK (amplitudno-fazna modulacija, ang. Amplitude and Phase-Shift Keying) pri DVB-S2. Zaradi tega vsak oddani simbol nosi manjše število bitov kot pri DVB-T in s tem je neto bitna hitrost oddajanja v enakem frekvenčnem pasu bistveno manjša. V ta namen se pri satelitskem oddajanju uporablja širše frekvenčne pasove, tipično okrog 27 MHz, s čimer je mogoče doseči ustrezne bitne hitrosti za oddajanje večjega števila televizijskih programov. Zaradi usmerjenosti satelitskih anten v geostacionarne satelite in hkratnega sprejema signala s samo enega satelita brez odbojev, pri satelitskem oddajanju tehnologija OFDM in pripadajoči zaščitni intervali niso potrebni.

Pri kabelskem oddajanju so razmere glede jakosti signala v primerjavi s prizemnim oddajanjem ravno nasprotno kot pri satelitskem oddajanju. Kabel predstavlja bistveno boljši prenosni kanal z večjimi jakostmi signala na sprejemni strani (do 20 dB večje razmerje signal-šum), kar pomeni, da se pri tehnologijah DVB-C in DVB-C2 lahko uporabljajo modulacije višjega reda (do 256-QAM pri DVB-C in do 4096-QAM pri DVB-C2), ki trenutno omogočajo tri- do štiri-krat višje bitne hitrosti v enakem frekvenčnem pasu. Pri oddajanju s tehnologijo DVB-C OFDM in zaščitni intervali niso vključeni, medtem ko pri tehnologiji DVB-C2 so. Posledično je pri DVB-C2 mogoče doseči okrog 30 % višjo hitrost oddajanja. Vse našteje tehnologije se z leti nadgrajujejo in s tem približujejo teoretični meji oddajanja v danem frekvenčnem pasu.

4.4 Oddajanja televizijskih in radijskih vsebin z internetnimi tehnologijami

Internetna omrežja so v zadnjih treh desetletjih doživela hiter razvoj in v zadnjem desetletju postala vsakdanja dobrina. Začetki internetnih povezav v devetdesetih letih prejšnjega stoletja so temeljili na modemskih povezavah, ki so dosegale hitrost nekaj deset kb/s, po letu 2000 pa so se razširila širokopasovna omrežja, ki so dosegala že megabitne hitrosti. Prehod na optična omrežja je razpoložljive hitrosti še povečal, vzporedno z njimi

so se hitro razširila tudi mobilna internetna omrežja, ki že nekaj let omogočajo prenose internetnih vsebin z megabitnimi hitrosti praktično vsakemu uporabniku. Vzporedno s tem je potekal tudi razvoj kodekov za avdio in video vsebine, ki je z vsako generacijo približno razpolovil zahtevano bitno hitrost za ogled avdio-vizualnih vsebin, s čimer se je uporaba le-teh močno povečala. Temu razvoju je sledil tudi hiter razvoj strojne in programske opreme na vseh tipih naprav, ki je omogočil iskanje in prikaz teh vsebin v okviru interaktivnih aplikacij.

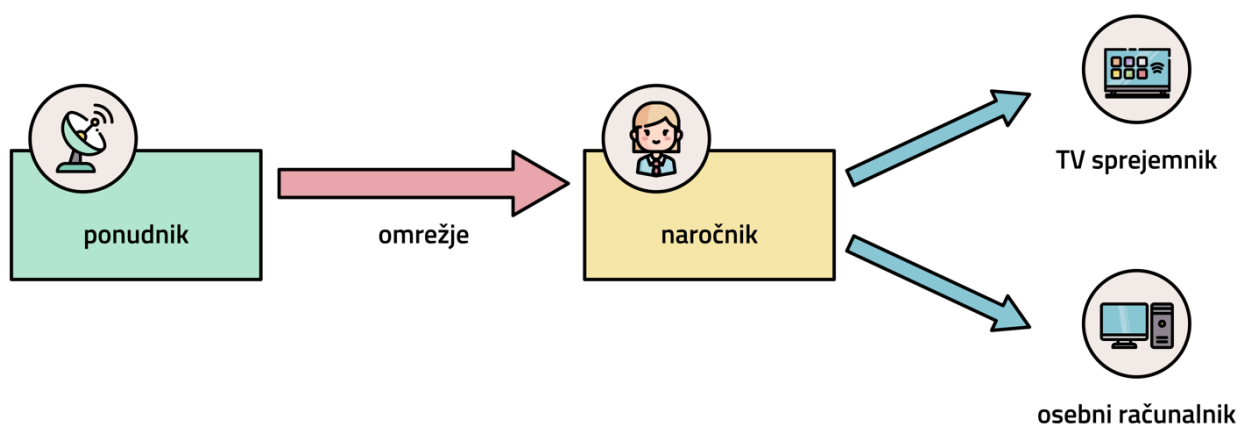
Rezultat hitrega razvoja na omenjenih področjih je tako povzročil prihod in hitro širitev novih oblik distribucije avdio-vizualnih vsebin na vseh napravah. Po letu 2000 so se pojavili t. i. IPTV operaterji, ki so ponujali ogled televizijskih programov preko internetnih tehnologij, slednje pa so omogočale tudi dodatne storitve in funkcionalnosti, ki jih radiodifuzna distribucija ni podpirala. Vzporedno z IPTV rešitvami so se hitro razširile tudi spletne video platforme, ki so ponujale ogled video posnetkov, ustvarjenih s strani končnih uporabnikov (npr. YouTube, Videomotion) ter platforme, ki so ponujale plačljive vsebine, tipično filme in serije, s čimer so nadomestili storitve klasičnih videotek. Danes so v uporabi internetne pretočne storitve (ang. Streaming Service) ali dodane storitve (ang. Over-The-Top – OTT), ki postajajo vse pomembnejši ekonomski dejavnik na tem področju in so prevzele pomemben delež končnih uporabnikov.

4.4.1 Tehnologije in sistemi IPTV

IPTV sistemi so definirani kot multimedijske storitve, npr. televizijski programi, druge avdio-vizualne vsebine, tekst in podatki, ki so prenašani preko upravljanih omrežij IP, ki zagotavljajo zahtevani nivo kvalitete storitev, varnost, interaktivnost in zanesljivost. Prav upravljana omrežja IP in s tem zagotavljanje zahtevane pasovne širine predstavljajo pomemben del pri zagotavljanju kvalitetnega prenosa multimedijskih vsebin, predvsem zaradi približevanja zanesljivosti in zagotovljenim kapacitetam za prenos vsebin, kot jih imajo radiodifuzni sistemi.

IPTV sistemi so sestavljeni iz treh glavnih entitet in sicer s strani:

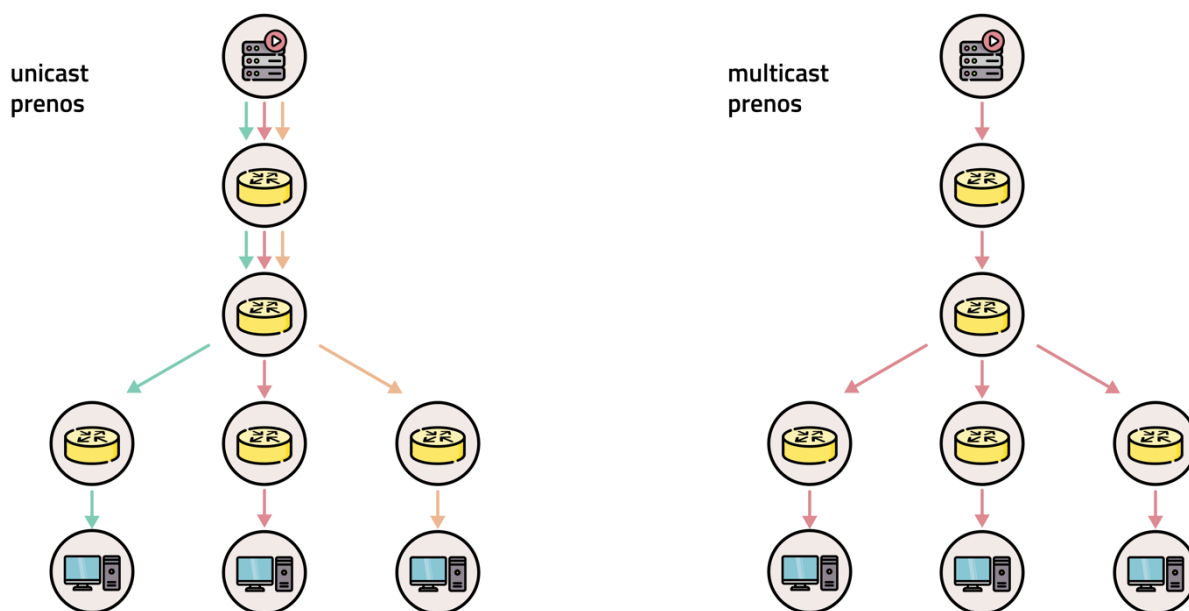
1. **ponudnika storitev**, kjer se nahajajo vsi strežniški sistemi in kjer se izvaja vključitev vseh oddajanih vsebin v IPTV sistem,
2. **omrežja** za prenos vsebin in
3. **naročnikove strani**, kjer se prenašane vsebine in podatki prikazujejo na uporabnikovih napravah.



Slika 36: Visokonivojska arhitektura IPTV sistema

IPTV sistemi zahtevajo uporabo televizijskih sprejemnikov (ang. Set-Top-Box – STB) na katerih teče ustrezna programska oprema, ki komunicira s strežniško stranjo ponudnika in uporabniku omogoča izbiro in ogled vsebin preko namenskega uporabniškega vmesnika. Slika 36 prikazuje visokonivojsko arhitekturo IPTV sistema.

V tovrstnih sistemih se na strani ponudnika agregirajo vsebine in podatki namenjeni nadaljnji distribuciji končnim uporabnikom. Vsebine se prilagodijo za prenos na uporabniške naprave, kar v praksi pomeni, da se vsi TV programi, ki jih operater dobi v sistem po različnih kanalih, prekodirajo z uporabo ustreznega kodeka, s čimer se nastavi ciljna bitna hitrost in drugi tehnični parametri avdia in videa. Podatki namenjeni aplikacijam se prav tako zapišejo v ustrezne strukturirane formate za izmenjavo podatkov, običajno z uporabo razširljivega označevalnega jezika (ang. Extensible Markup Language – XML) ali objektnega JavaScript zapisa (ang. JavaScript Object Notation – JSON), da so razumljivi programski opremi, ki teče na uporabnikovih STB sprejemnikih. Prilagojene avdio-vizualne vsebine in podatki se nato prenašajo preko omrežja do sprejemnikov končnih uporabnikov.



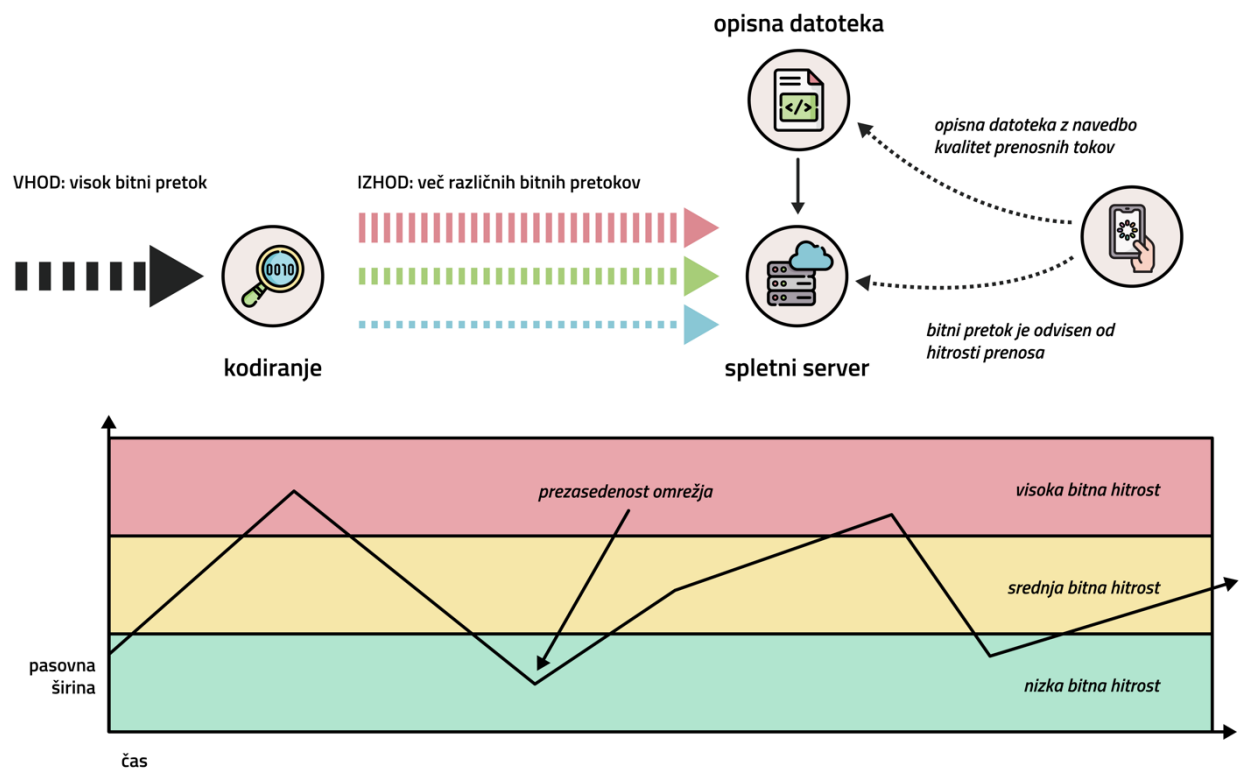
Slika 37: Unicast in multicast način prenosa

Možnost kombiniranja oddajanja TV programov s številnimi storitvami v obliki interaktivnih aplikacij, prilagodljivo oddajanje s časovnim zamikom, ter oddajanje na zahtevo so prednosti prenosa multimedijskih vsebin preko sistemov IPTV, saj omogočajo večji nabor interaktivnih storitev in za uporabnika bolj fleksibilno uporabo vsebin. Slaba stran fleksibilnosti oddajanja avdio-vizualnih vsebin v sistemih IPTV pa je veliko večja poraba omrežnih virov, saj se pri gledanju z zamikom ali ogledu vsebin na zahtevo za vsakega uporabnika oddaja svoj avdio-video tok. V splošnem se pri sistemih IPTV uporablja dva načina oddajanja vsebin in sicer unicast ter multicast. Način **unicast** je zgoraj opisani primer oddajanja avdio-vizualnih vsebin vsakemu uporabniku posebej, način **multicast** pa je uporabljan, ko večje število uporabnikov gleda isti linearni TV program brez časovnega zamika. V tem primeru se lahko po hrbteničnem delu omrežja oddaja samo en avdio-vizualni tok za vse uporabnike skupaj, ki se multiplicira šele na zadnjem segmentu omrežja, ko je potrebno vsebine dostaviti na STB sprejemnik vsakega od teh uporabnikov. Multicast način je tako bolj učinkovit in porabi manj omrežnih virov kot unicast način. Unicast in multicast načina oddajanja sta grafično prikazana na sliki 37.

Velika večina IPTV operaterjev poleg možnosti ogleda številnih TV programov in uporabe aplikacij na STB sprejemnikih ponuja tudi ogled teh vsebin na mobilnih napravah in osebnih računalnikih. Pri prenosu pretočnih vsebin IPTV operater ne zagotavlja enake kvalitete prenosa kot pri prenosu linearnih TV programov na STB sprejemnike, zato so v teh primerih uporabljeni drugi pristopi zagotavljanja dostave vsebin končnemu uporabniku.

4.4.2 Pretočne storitve

V skupino pretočnih storitev se šteje tiste vsebine, katerih ponudniki ne zagotavljajo zahtevane bitne hitrosti omrežja, kot je v primeru prenosa vsebin na STB sprejemnike operaterjev IPTV. V to skupino spadajo trenutno najhitreje rastoče storitve kot so spletne videoteke (npr. Netflix, HBO, Disney, Amazon Prime itd.), socialna omrežja, ki omogočajo prenos videa (Facebook Meta, YouTube, Instagram itd.) ter druge platforme. Ti ponudniki nimajo možnosti upravljanja omrežij tako kot operaterji IPTV, temveč nastopajo le v vlogi ponudnika vsebin. Posledično so omrežja v določenih obdobjih premalo prepustna za prenos teh vsebin v polni kvaliteti.



Slika 38: Prilagajanje prenosa pretočnih vsebin

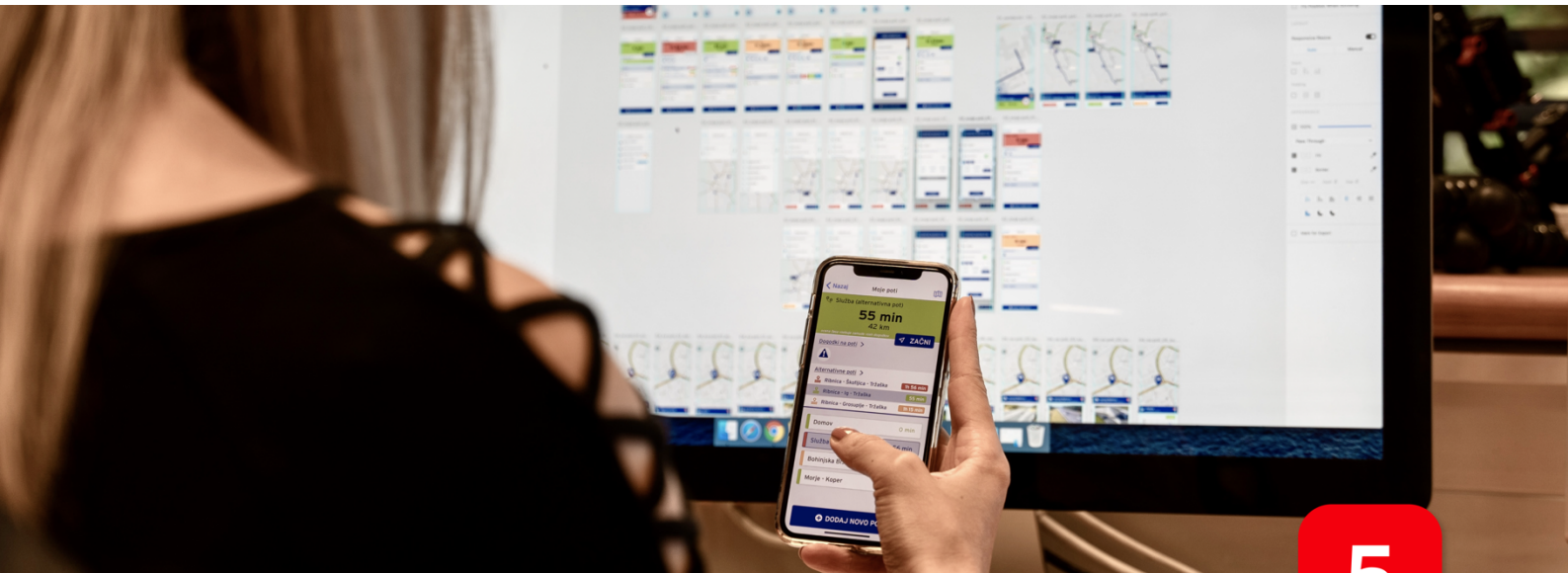
Pristop k reševanju tega problema je uvedba prilagojenega prenosa vsebin (ang. Adaptive Streaming), kjer se hitrost in s tem kvaliteta prenašane audio-vizualne vsebine prilagajata trenutnim razmeram na prenosni poti v omrežju. Osnovni princip prilagojenega prenosa pretočnih vsebin je prikazan na sliki 38, na kateri so prikazane spremembe prepustnosti omrežja skozi čas in posledično spreminjanje kvalitete toka audio-vizualnih vsebin.

Za prilagojen način prenosa pretočnih vsebin se danes uporablja nekaj protokolov, ki temeljijo na protokolu HTTP, med njimi so najpogosteje uporabljene implementacije podjetij Apple s protokolom HLS (pretakanje v živo preko protokola za prenos hiperbesedila, ang. HyperText Transfer Protocol Live Streaming), Microsoft s protokolom MSS (Microsoft gladko pretakanje, ang. Microsoft Smooth Streaming) in Adobe s protokolom HDS

(protokol za prenos hiperbesedila z dinamičnim pretakanjem, ang. HyperText Transfer Protocol Dynamic Streaming). V želji po uvedbi mednarodnega standarda so v okviru organizacije MPEG razvili specifikacijo imenovano MPEG-DASH, njene implementacije pa so vse bolj razširjene in v uporabi.

Delovanje vseh omenjenih pristopov temelji na podobnem principu. Video tok za oddajanje je potrebno na strežniški strani prekoderirati v več različnih kvalitet z različnimi bitnimi hitrostmi (npr. 500 kb/s, 1,5 Mb/s, 2,5 Mb/s in 5 Mb/s). Opcijsko se lahko enako naredi tudi z audio tokovi, ki pa imajo že v osnovi bistveno nižje bitne hitrosti in s tem manjšo potrebno po prilagojenem oddajanju. Video tokove vseh kvalitet se nato razreže na segmente v dolžini nekaj sekund in omogoči dostop do njih za odjemalce. Vse dostopne kvalitete avdia in videa s podatki o ločljivosti, kodeku, pripadajoče segmente s časovnimi informacijami in druge podatke, potrebne za dostop do vsebin, so zapisane v opisni datoteki (ang. Media Presentation Description – MPD) v formatu XML.

Prilagojen prenos vsebin sledi naslednjemu postopku: odjemalec na uporabnikovi napravi k sebi prenese opisno datoteko MPD izbrane vsebine ter od strežnika zahteva prve segmente vsebine v izbrani kvaliteti. Če je dostopna hitrost omrežja v danem trenutku prenizka za izbrano kvaliteto (bitno hitrost), odjemalec zahteva segmente z nižjo kvaliteto in jih predvaja dokler se prepustnost oz. hitrost omrežja ne poveča in lahko zahteva segmente z višjo kvaliteto in bitno hitrostjo. Ta postopek se tako odvija ves čas predvajanja izbrane vsebine.



5

Načrtovanje uporabniških vmesnikov in uporabniške izkušnje

Uporabniški vmesniki so prisotni vsepovsod, bodisi doma, na ulici ali na delovnem mestu. Nekateri so analogni, kot na primer kljuka za odpiranje vrat in oken ter ventili za odpiranje in zapiranje pipe, vse bolj številni pa postajajo digitalni uporabniški vmesniki. V današnjem svetu ljudje tako vsakodnevno dostopajo do številnih spletnih portalov ter uporabljajo aplikacije na različnih digitalnih napravah.

Scenariji uporabe so številni: iskanje informacij, zabava, spletni nakupi, komunikacija s prijatelji in znanci itd. Ljudje naprave in storitve uporabljajo skozi njihove uporabniške vmesnike, izkušnja pri uporabi le-teh pa je lahko zelo različna in pogosto neustrezna. Z naraščanjem števila digitalnih naprav pomen dobre uporabniške izkušnje (ang. User Experience – UX) sicer pridobiva na pomembnosti, zato je potrebno upoštevati pravila snovanja dobre uporabniške izkušnje na vse večjem številu naprav. Tipičen primer so na primer uporabniški vmesniki (ang. User Interface – UI) v avtomobilih, ki so bili še pred nekaj leti več ali manj analogni, danes pa jih nadomeščajo vse večji zasloni, ki omogočajo upravljanje različnih funkcionalnosti avtomobila, kakor tudi uporabo multimedijskih storitev. Pri tem klasične gumbne in stikalne vse pogosteje nadomeščajo zasloni na dotik in glasovno upravljanje, kar pa ne pomeni, da je s tem uporabniška izkušnja boljša.

Hkrati se je potrebno zavedati, da so digitalne storitve in rešitve namenjene različnim ciljnim skupinam, med katerimi so tudi uporabniki, ki živijo z različnimi senzornimi ali fizičnimi omejitvami. Sodobne tehnologije danes že omogočajo dostop do svetovnega spleta in multimedijskih vsebin tudi slepim, gluhim in drugim uporabnikom z omejitvami, v ta namen pa je potrebno poznati tudi pravila snovanja t. i. dostopnih (ang. Accessible) vsebin.

5.1 Pravila za snovanje uporabniške izkušnje

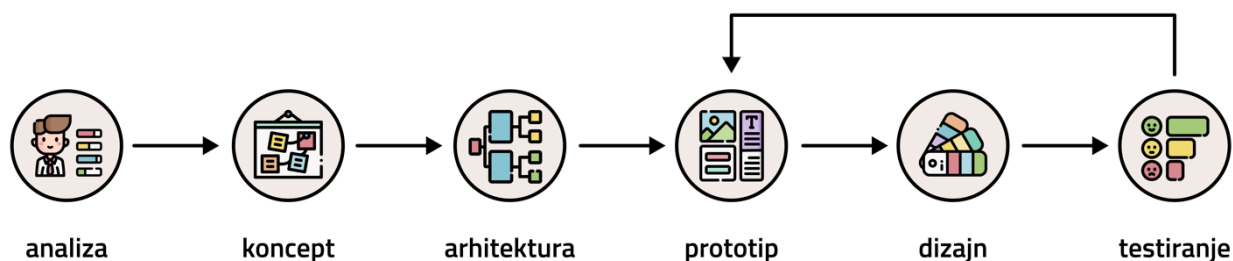
Pri postopku snovanja dobre uporabniške izkušnje se je potrebno zavedati, da uporabnika ne zanimajo tehnologije potrebne za izvedbo rešitve, temveč želi storitev čim lažje in učinkovito uporabljati. Dobri vmesniki podpirajo vedenje oz. uporabo rešitev z nebolečim spoznavanjem novih funkcionalnosti. Dejstvo je, da bodo uporabniki slabo uporabniško izkušnjo hitro opazili, medtem ko gre pri dobri izkušnji predvsem za ravno pravšnji občutek kontrole, ustreznost izziva pri uporabi in včasih celo za izgubo občutka za čas. Uporabniški vmesniki naj bodo čimbolj enostavni in naj ponujajo toliko kompleksnosti, kolikor je uporabnik v danem trenutku potrebuje. Pri tem je potrebno upoštevati mentaliteto, psihične in fiziološke sposobnosti ciljnih uporabnikov, ter le-te aktivno vključiti v postopek snovanja nove storitve in njenih uporabniških vmesnikov na različnih napravah. Ta pristop se imenuje uporabniško usmerjeno načrtovanje (ang. User Centred Design – UCD).

5.1.1 Potek uporabniško usmerjenega načrtovanja vmesnikov

Potek načrtovanja uporabniških vmesnikov in pripadajočih rešitev poteka v več fazah. Te se v grobem lahko razdeli na naslednje korake:

1. **analiza** (ciljni uporabniki in njihove želje, potrebe, bolečine, konkurenca in obstoječe storitve/produkti)
2. **koncept** (idejna zasnova funkcionalnosti, pravila uporabniške izkušnje, modalnosti upravljanja)
3. **arhitektura** (določitev strukture informacij in vsebin)
4. **prototipiranje** (žični model, mock-up, interaktivni prototip)
5. **dizajn** (vizualni)
6. **testiranje in evalvacije**

Uporabniško usmerjeno načrtovanje zahteva vključevanje predstavnikov ciljnih uporabnikov že od samega začetka procesa načrtovanja uporabniškega vmesnika in pripadajočih storitev. Po pregledu obstoječih podobnih rešitev je v začetni fazi smiselno identificirati ciljne uporabnike oz. skupine le-teh, ter jih opisati s t. i. personami. Persone vsebujejo opise različnih lastnosti uporabnika, kot so na primer demografski podatki, osebne lastnosti, motivacijski faktorji ter druge relevantne podatke. Na ta način si je v postopku snovanja vmesnika mogoče bolje predstavljati ciljnega uporabnika ter identificirati ustrezne osebe za sodelovanje pri razvoju vmesnika.

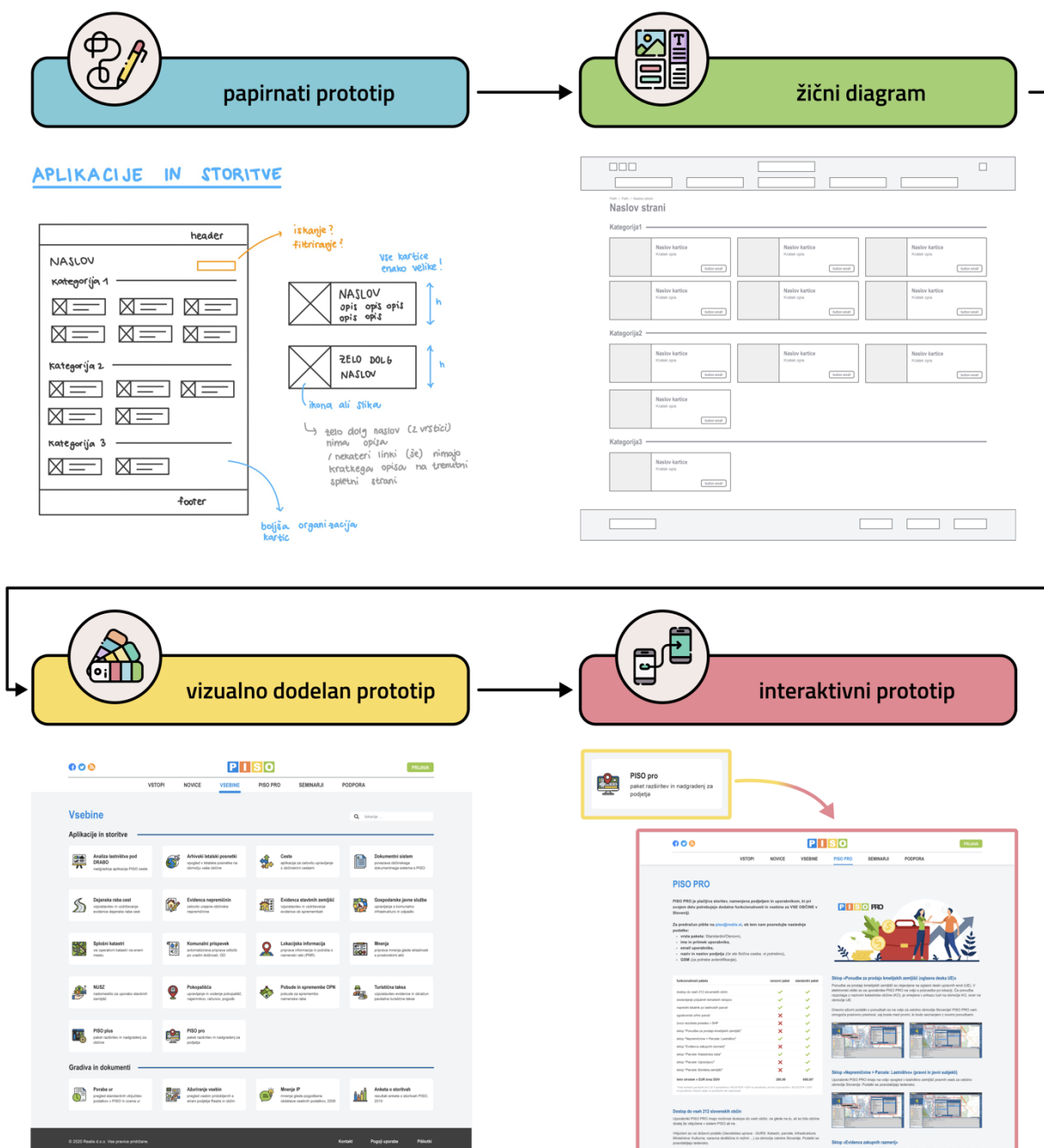


Slika 39: Ciklični postopek uporabniško usmerjenega načrtovanja

Po izdelavi idejnega koncepta rešitve je mogoče s pomočjo nekaj ciljnih uporabnikov skozi različne postopke, ki vključujejo intervjuje, neformalne razgovore in druge metode, izdelati informacijsko arhitekturo (ang. Information Architecture). Ta, na osnovi razvrstitve ciljev in motivov, vključuje grupiranje vsebin in funkcionalnosti ter določanje stopnje pomembnosti le-teh. Informacijska arhitektura predstavlja osnovo za

izdelavo prvih prototipov, ki so lahko v fizični (papirnati) ali digitalni obliki ter ponujajo različne stopnje interaktivnosti. Zgodnji prototipi so t. i. žični diagrami (ang. Wireframe) in so namenjeni zgodnjemu testiranju koncepta uporabniškega vmesnika in informacijske arhitekture z nekaj ciljnimi uporabniki. Po potrditvi njihove ustreznosti se prototipu doda polni vizualni dizajn. Končen izdelek je polno funkcionalni prototip, katerega se lahko ponovno testira s ciljnimi uporabniki. V primeru identificiranih napak ali slabosti vmesnika je potrebno izvesti zahtevane izboljšave, nato pa prototip ponovno preizkusiti s testnimi uporabniki. Ciklični postopek načrtovanja je prikazan na sliki 39.

Obstajajo tudi druge vrste prototipov, kot so vizualno dodelani prototipi (ang. Mock-up), ki pa ne ponujajo interaktivnosti. Primeri žičnega diagrama, vizualno dodelanega prototipa in polno interaktivnega prototipa so prikazani na sliki 40.



Slika 40: Primer postopka izdelave interaktivnega prototipa

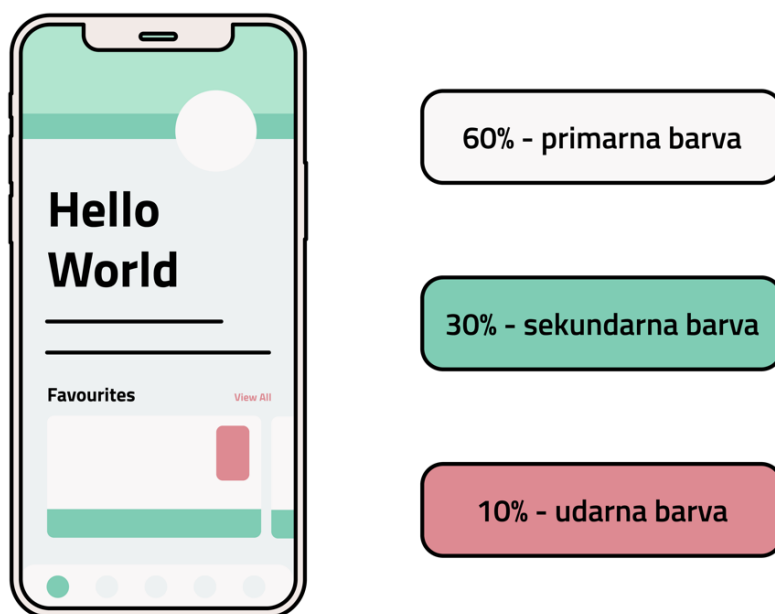
Zgodnje vključevanje uporabnikov v postopku uporabniško usmerjenega načrtovanja tako omogoča, da se že v zgodnji fazi razvoja oceni uporabniški vmesnik produkta ali storitve, identificira morebitne slabosti in napake ter se jih odpravi še pred implementacijo končne rešitve. Na ta način je mogoče prihraniti veliko časa in sredstev ter hitreje priti do ustreznega uporabniškega vmesnika.

5.1.2 Oblikovalni sistem uporabniških vmesnikov

Za namen zasnove interaktivnih prototipov in kasnejše izdelave rešitve je potrebno določiti t. i. oblikovalni sistem (ang. Design System) uporabniškega vmesnika. Ta vsebuje dizajn vseh glavnih vizualnih gradnikov uporabniškega vmesnika kot so barve, pisave in komponente (gumbi, ikone, vnosna polja, meniji, pojavna sporočila, tabele). S pravočasno in konsistentno določitvijo oblikovalnega sistema pred začetkom izdelave prototipov se lahko prihrani veliko časa in vložka v kasnejšem razvoju, pa tudi izgled in delno funkcionalnost rešitve s tem pridobita na kvaliteti.

Z uporabo ustreznih orodij za oblikovanje, kot sta npr. Adobe Xd in Figma, je dobro zastavljen oblikovalni sistem mogoče hitro spremeniti, če je npr. treba spremeniti vse instance nekega elementa. Z ustreznim oblikovalnim sistemom je močno olajšano delo tudi programerjem, saj je v njem določeno tudi obnašanje uporabniškega vmesnika in njegovih gradnikov v vseh scenarijih interakcije (npr. ob postavitvi kurzorja na gumb ali ikono, ob kliku na interaktivni element, ob napačnem vnosu v vnosno polje). Dobro zasnovan oblikovalni sistem tako omogoča fleksibilno ustvarjanje in vzdrževanje rešitve, tako v fazi načrtovanja, kot tudi v fazi izvedbe.

Določitev ustrezne barvne palete, v okviru katere se izbere glavno, komplementarno in t. i. udarno barvo, omogoča izvedbo ustreznih poudarkov v uporabniškem vmesniku in s tem večjo preglednost in intuitivnost le-tega. Te tri barve se tipično uporablja v razmerju 60:30:10, primer je prikazan na sliki 41. Sama izbira barvne palete omogoča ustrezno komunikacijo z uporabniki in percepcijo blagovne znamke, saj različne barve odražajo različen sentiment oz. sporočilo.



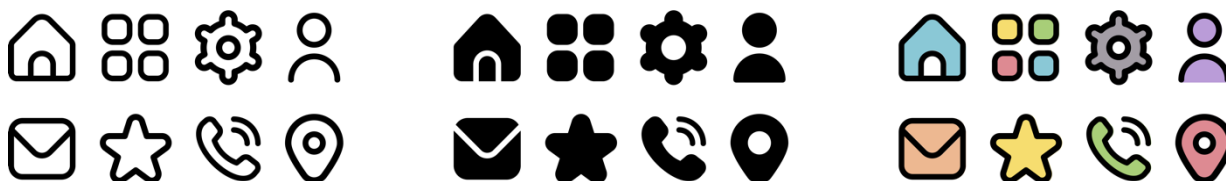
Slika 41: Primer uporabe glavne, komplementarne in udarne barve v ustreznem razmerju

Podobno je tudi z izbiro tipografije oz. pisave, kjer različne družine pisav odražajo različno sporočilo oz. vplivajo na percepcijo rešitve in blagovne znamke, ki stoji za njo (npr. profesionalnost, igrivost, resnost, sočutje, zdravje). Ne glede na izbiro družine pisav pa je pomembno, da se izbere vsaj štiri osnovne velikosti pisav in se jih nato ustrezno uporablja za glavne naslove ter naslove in tekste na nižjih nivojih znotraj uporabniškega vmesnika. Uporabljati je potrebno tudi zadostne presledke med črkami in vrsticami, kar zagotavlja boljše berljivost teksta. Zagotoviti je potrebno še ustrezne kontraste, kar je pomembno ne le za zagotavljanje dostopnosti (ang. Accessibility) za npr. slabovidne osebe, temveč tudi zaradi splošne berljivosti (npr. kontrastno razmerje mora biti vsaj 4,5 : 1). Slika 42 prikazuje nekaj primerov različnih družin pisav in njihovo sporočilnost.



Slika 42: Primeri pisav z različno sporočilnostjo

Izbira ustrezne ikonografije je pogosto podcenjena, dejstvo pa je, da premišljeno izbrane ikone močno povečajo razumljivost uporabniškega vmesnika, kakor tudi samo vsečnost. Tako kot z barvami ali pisavo je z ikonografijo mogoče vplivati na percepcijo same rešitve, saj tudi ta lahko odraža različna občutja in ima veliko sporočilnost. Eden glavnih poudarkov pri izbiri ikonografije je zagotavljanje konsistentnost, tako v stilu, kot tudi v barvah in debelinah obrob. Prav tako pa je pomembno upoštevanje končnih velikosti ikon znotraj vmesnika, saj zelo natančno izdelane in detajlne ikone ne bodo vidne v majhnih velikostih. Pomemben aspekt izbire ikon predstavlja tudi sam pomen in sporočilnost ter namen uporabe. Primeri različnih stilov ikon so prikazani na sliki 43.



Slika 43: Različni stili ikon

Podobna pravila veljajo za slike in vse ostale komponente, kot so gumbi, stikala ali izbirni menuji, ki so uporabljene znotraj uporabniškega vmesnika.

5.1.3 Prilagodljivi uporabniški vmesniki

Dandanes obstaja zelo veliko število naprav, na katerih je mogoče prikazovati spletne strani in aplikacije. Te naprave se med seboj razlikujejo po velikosti, ločljivosti zaslonov, orientaciji (pokončni in ležeči format), kar pomeni, da je uporabniške vmesnike potrebno zasnovati na način, da bodo na vseh napravah prikazani na ustrezen oz. uporabniku prijazen in všečen način. Ta pristop se imenuje prilagodljivo načrtovanje uporabniških vmesnikov (ang. Responsive Design).

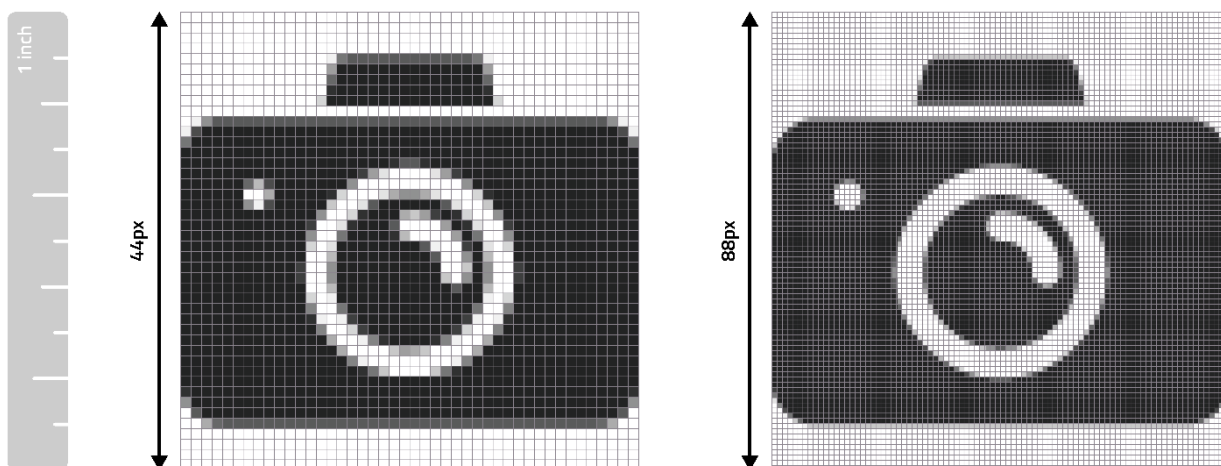
Na večjih zaslonih je mogoče naenkrat prikazati večje število elementov, orodnih vrstic in drugih vizualnih gradnikov, na manjših zaslonih pa je potrebno nekatere elemente skriti in omogočiti njihov priklic na zahtevo. Primer enakovrednega uporabniškega vmesnika na dveh zaslonih različne velikosti (osebni računalnik in mobilni telefon) je prikazan na sliki 44. Uporabniški vmesnik na večjem zaslonu hkrati prikazuje vse dele vmesnika, na manjšem zaslonu pa je hkrati prikazan le del vsebin, medtem ko je prikaz drugih delov zaslona mogoč s premikanjem zaslona gor-dol ali na zahtevo.



Slika 44: Prikaz uporabniškega vmesnika na različno velikih zaslonih naprav

Drug izziv je različna gostota slikovnih pik na različnih zaslonih, ki lahko povzroči različne velikosti elementov, če so le-te določene s številom slikovnih pik. V ta namen se velikosti elementov določa z mersko enoto, ki je neodvisna od gostote slikovnih točk zaslona. Na sistemih Android se ta enota imenuje dp (ang. Density Independent Pixels) in predstavlja velikost slikovne točke pri gostoti 160 slikovnih točk na inch. Podoben pristop uporablja podjetje Apple za svoje naprave, le da se merska enota, ki je neodvisna od gostote slikovnih točk, imenuje pt (ang. Points).

Na sliki 45 je prikazana velikosti ikone na dveh zaslonih od katerih ima eden dvakrat večjo gostoto slikovnih točk od drugega zaslona. Opaziti je mogoče, da pri zaslonu z večjo gostoto ikona zaseda 4x večje število slikovnih točk, hkrati pa je enake velikosti v centimetrih, kar pomeni primerljivo percepcijo in velikost pri prikazu na zaslonu.



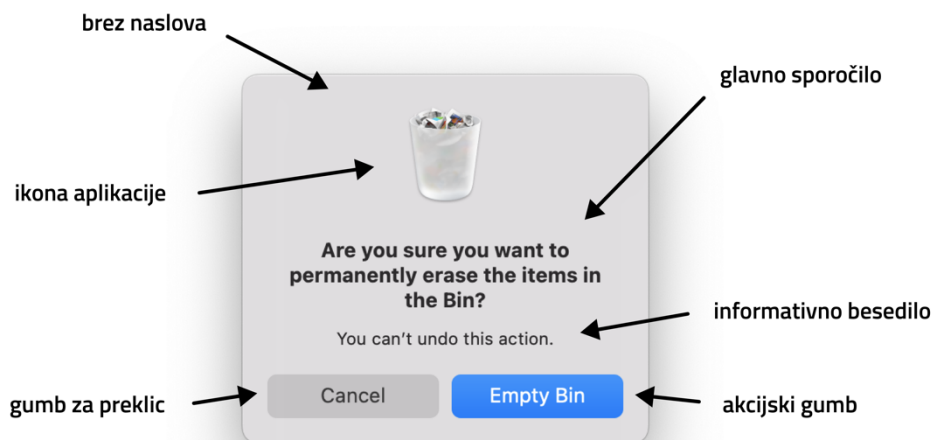
Slika 45: Primerjava izgleda enake ikone pri različnih gostotah slikovnih točk na zaslonu

5.1.4 Osnovna pravila načrtovanja uporabniškega vmesnika

Pri načrtovanju uporabniških vmesnikov je smiselno upoštevati tri osnovne skupine pravil, ki so razdeljena na tri področja:

1. uporabnik naj ima vmesnik med uporabo ves čas pod svojo kontrolo
2. zmanjševanje obremenitve uporabnikovega spomina
3. konsistentnost uporabniškega vmesnika

V prvi skupini, kjer **naj ima uporabnik vmesnik pod kontrolo**, je postavljenih nekaj pravil, ki skrbijo za primernost vmesnika za vse uporabnike, ne glede na njihova znanja in izkušnje. Pomembno je, da ima uporabnik na voljo več načinov interakcije, možnost spremembe fokusa brez izgube informacij ali konteksta prejšnje uporabe. Sporočila morajo biti jasna in morajo podajati opisne poti in izhode, omogočena mora biti takojšnja povratna informacija in koraki nazaj, prav tako pa tudi možnost neposredne manipulacije objektov vmesnika. Uporabniški vmesnik naj bo pri tem pregleden in nenasičen. Primer ustreznega sporočila, ki sledi vsem zastavljenim pravilom, je prikazan na sliki 46.



Slika 46: Primer jasnega sistema sporočila

Druga skupina pravil je namenjena **zmanjševanju obremenitve uporabnikovega spomina**, s čimer je potrebno poskrbeti, da je uporaba vmesnika za uporabnika čim manj naporna. Upoštevanje te skupine pravil zahteva, da je uporabniški vmesnik zasnovan tako, da se uporabnik zanaša na prepoznavo in ne na priklic iz spomina, da jim vmesnik ponudi vizualne namige, omogoči privzete nastavitve in bližnjice ter uporabi vizualne elemente iz življenja. Pri tem naj bodo ukazi nad objekti čim bolj intuitivni.

Tretja skupina pravil naslavlja **konsistentnost vmesnikov**, s čimer se dodatno poveča preprostost uporabe, saj uporabniki prepoznajo ustrezne načine uporabe iz preteklih izkušenj. Pravilo konsistentnosti zahteva, da se ohrani konsistenco vseh delov vmesnika v okviru rešitve, da so rezultati interakcije vedno enaki, da se uporabi enake ikone za enak namen in v splošnem ohrani kontekst uporabniške izkušnje skozi celotno rešitev. Prav tako mora biti uporabniški vmesnik konsistenten z že uveljavljenimi oz. obstoječimi rešitvami na trgu, v smislu načina interakcij, navigacije, uporabe standardiziranih ikon (npr. ikona hiške za domov), in v nekaterih primerih celo postavitve določenih elementov znotraj vmesnika.

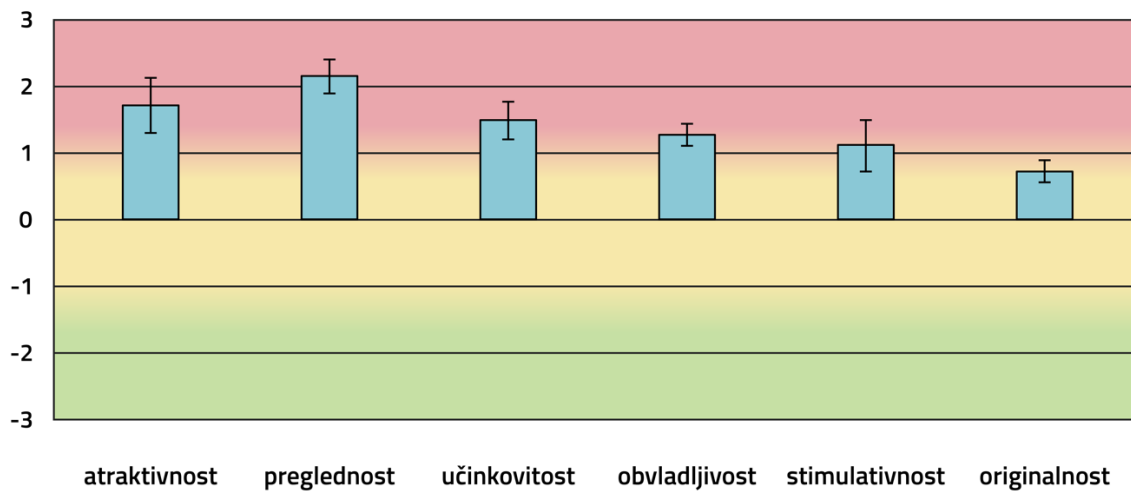
Pri tem je potrebno poudariti, da se ni mogoče vedno in v celoti držati vseh pravil, pomembno pa je pravilno oceniti katera pravila so v določeni situaciji pomembnejša od drugih.

Ostala splošna pravila načrtovanja uporabniških vmesnikov predpisujejo dovolj velike razmike med vizualnimi elementi (tekst, slike, meniji), jasno označevanje izpostavljenih vsebin in elementov, jasne povratne informacije in sporočila o napakah ter priporočilo, da naj bo uporabniški vmesnik na voljo tudi v temnem načinu (ang. Dark Mode). To priporočilo je uporabno tako za nočno uporabo naprav, kot za splošno uporabo, saj so v tem načinu kontrasti bolj izraziti, pri mobilnih napravah pa se s tem prihrani tudi nekaj energije.

5.2 Evalvacije uporabniških vmesnikov

V postopku snovanja uporabniških vmesnikov je pomemben korak tudi njihova evalvacija, s čimer je mogoče objektivno oceniti njihovo ustreznost, intuitivnost, sodobnost in druge aspekte, ki so pomembni za sprejetje novih storitev in rešitev. V ta namen obstaja izjemno veliko število metodologij in pristopov, ki se med seboj razlikujejo po namenu, tipu in količini povratnih informacij ter posledično primernosti za različne namene in faze uporabe.

V grobem jih je mogoče razdeliti na več načinov; kot kvantitativne ali kvalitativne metode, objektivne ali subjektivne metode, pristope, ki vključujejo standardizirane vprašalnike, vodene intervjuje z razmišljanjem na glas in opazovanjem neverbalne komunikacije sodelujočih itd. Eden od aktualnih pristopov objektivne evalvacije, ki daje kvantitativne rezultate, je **sledenje pogledu** uporabnika med uporabo rešitve. S tem pristopom se meri čas zadrževanja pogleda na različnih delih vmesnika in potovanje pogleda med elementi vmesnika, za ta namen pa je potrebno imeti ustrezno strojno in programsko opremo. Poleg tega obstaja vrsta uporabnih in standardiziranih **vprašalnikov** s katerimi se lahko oceni uporabniško izkušnjo neke rešitve. Nekateri med njimi, kot je lestvica uporabnosti sistema (ang. System Usability Scale – SUS), uporabniško izkušnjo ovrednotijo z eno samo vrednostjo na skali 0-100. Drugi, kot je vprašalnik za vrednotenje uporabniške izkušnje (ang. User Experience Questionnaire – UEQ), pa jo ovrednotijo z več vrednostmi, ki predstavljajo tako pragmatične kot hedonistične aspekte uporabe. Med njimi je mogoče zaslediti aspekte kot so preglednost, originalnost, učinkovitost, obvladljivost, stimulativnost ter atraktivnost. Primer ocene rešitve z vprašalnikom UEQ je prikazan na sliki 47.



Slika 47: Primer rezultatov UEQ vprašalnika

Ne glede na uporabljene postopke je sodelujočim uporabnikom potrebno razložiti, da testiranje rešitve in njenega uporabniškega vmesnika ni test uporabnikovega znanja, temveč je to test izdelanega uporabniškega vmesnika. Testirajočega uporabnika je tako potrebno pripraviti do izvajanja samostojnih akcij in s tem odkrivanja njihovega mentalnega modela med uporabo. V postopku testiranja se je potrebno zanimati predvsem za vedenje uporabnika in ne le za predloge sprememb vmesnika. V vsakem primeru je pomembno zavedanje, da je testiranje oz. evalvacije potrebno začeti že v fazi prototipiranja in ga nadaljevati v obdobju, ko je rešitev že na voljo končnim uporabnikom.



Zagotavljanje dostopnosti multimedijskih vsebin

V družbi so številne osebe, ki imajo različne disfunkcije oziroma oviranosti, s staranjem prebivalstva pa se njihovo število še povečuje. Trenutno je v Sloveniji okrog 8 % prebivalcev, ki imajo status invalida, ocenjuje pa se, da je v Evropi stopnja invalidnosti 10-15 %. Izraz "invalid" se uporablja v pravnih besedilih, zlasti v zakonodaji in v besedilih, ki se sklicujejo na zakone. Gre za osebe s trajno prirojeno ali pridobljeno telesno ali duševno motnjo, ki je ni mogoče odpraviti z zdravljenjem z medicinsko rehabilitacijo, oseba pa je zato delno ali popolno nezmožna za izobraževanje, delo ali samostojno življenje, zaradi česar ji je priznan poseben pravni položaj.

Invalidom so pravice zagotovljene s številnimi domačimi in mednarodnimi akti, med katerimi so najpomembnejši Konvencija Združenih narodov o pravicah invalidov, Ustava Republike Slovenije, Evropska direktiva o dostopnosti spletišč in mobilnih aplikacij javnega sektorja, ter številni zakoni, ki urejajo dotično področje.

V grobem se invalidnosti lahko razdeli na naslednje kategorije:

- slepota in slabovidnost
- gluhotata in naglušnost
- gibalna oviranost
- motnje v duševnem razvoju
- druge kategorije invalidnosti kot so gluho-slepi, otroci s posebnimi potrebami itd.

Za premoščanje ovir pri uporabi multimedijskih vsebin, mobilnosti in samostojnem življenju nasploh, kar je zajeto v okviru zagotavljanja dostopnosti, so na voljo številne rešitve, pripomočki in standardi, ki invalidnim osebam omogočajo boljše in samostojnejše življenje. Zagotavljanje dostopnosti je v interesu celotne družbe in predstavlja pomemben aspekt enakosti in solidarnosti.

Različne kategorije invalidnosti potrebujejo različne pristope k reševanju omejitev. V tem poglavju je poudarek predvsem na senzornih invalidih, se pravi na slepih in slabovidnih ter gluhih in naglušnih. Predstavljene so rešitve za dostop in uporabo multimedijskih vsebin na različnih multimedijskih napravah s posebnim poudarkom na dostopu do spletnih vsebin.

6.1 Zagotavljanje dostopnosti na spletu

Svetovni splet je v zadnjih letih postal najpomembnejši vir informacij, novic, zabave in poslovanja. Kot ključni element komunikacije in organizacije v življenju ljudi je zato še posebej pomembno, da so informacije in storitve, ki jih ponuja, dostopne.

Skupine invalidov se pri uporabi svetovnega spleta seveda srečujejo z različnimi težavami. Gibalno ovirane osebe morajo premagovati ovire pri uporabi tipkovnice in miške, zato uporabljajo alternativne naprave za doseganje enake funkcionalnosti. Slepici tipično potrebujejo bralnik zaslona in Braillovo vrstico v obliki strojne opreme, slabovidni, ki nekaj še vidijo, pa zadostne kontraste in velikosti črk. Gluhi pogosto ne znajo brati in bi zato potrebovali predstavitev vsebin v znakovnem jeziku, ki pa trenutno niso tako pogoste. Posledično so gluhi na spletu bolj omejeni kot slepi uporabniki.

Dostopnost spletišč je v obliki smernic za dostopnost spletnih vsebin (ang. Web Content Accessibility Guidelines – WCAG) definiral Konzorcij za svetovni splet (ang. World Wide Web Consortium – W3C) v okviru svoje Inicijative za spletno dostopnost (ang. Web Accessibility Initiative – WAI). Trenutna verzija priporočil z oznako 2.1 je bila objavljena leta 2018 in je vključena v evropski standard EN 301 549 V2.1.2 (2018-08). V okviru WCAG 2.1 so priporočila organizirana v štiri načela, ki opisujejo osnovne cilje dostopnosti spletnih vsebin:

- **zaznavanje** (ang. Percievable)
- **operabilnost** (ang. Operable)
- **razumevanje** (ang. Understandable)
- **robustnost** (ang. Robust)

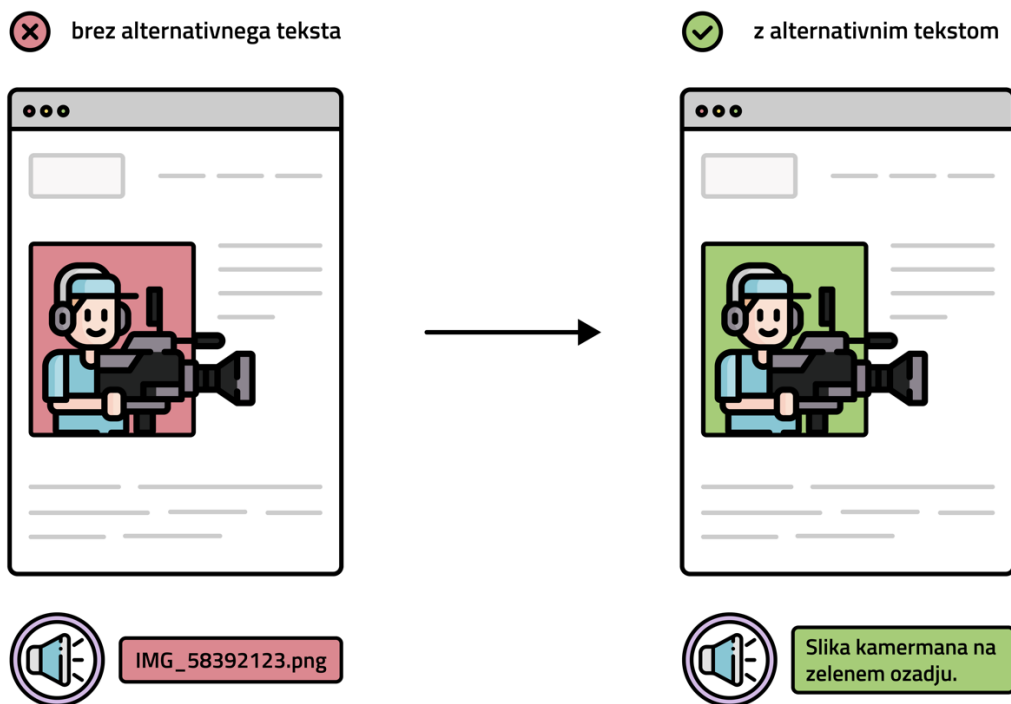
Za vsako priporočilo so definirani kriteriji uspešnosti, s katerimi se preveri skladnost s priporočili. Obstajajo trije nivoji skladnosti: A (nizka), AA (srednja) in AAA (visoka). V nadaljevanju so predstavljeni posamezni sklopi priporočil in skupine uporabnikov za katere je upoštevanje teh priporočil bistveno.

6.1.1 Zaznavanje

Informacije in komponente uporabniškega vmesnika morajo biti predstavljene uporabnikom na načine, ki jih uporabniki lahko zaznavajo. To pomeni, da morajo biti uporabniki sposobni zaznavati predstavljene informacije in le-te ne smejo biti nevidne vsem njihovim čutom.

6.1.1.1 Tekstovne alternative

Ponuditi je treba tekstovno alternativo za vse netekstovne vsebine (npr. slike, animacije, interaktivne elemente, druge grafične komponente). Primer uporabe tekstovne alternative prikazuje slika 48.



Slika 48: Tekstovne alternative

Priporočilo je namenjeno predvsem slepim in slabovidnim, ki imajo težave z branjem teksta in gledanjem ostalih vizualnih elementov (fotografije, slike, grafi, animacije, spletne publikacije itd.). Težave imajo lahko tudi gluhi in naglušni, če so informacije predstavljene v zvočni obliki, in zato potrebujejo tekstovne alternative.

6.1.1.2 Časovni mediji

Ponuditi je treba alternativo za medije, ki temeljijo na času (ang. Time-Based Media), npr. zvočni in video posnetki. Za vse zvočne posnetke je treba zagotoviti alternativni tekstovni dokument, ki je ekvivalent posnetku (npr. tekstovni prepis), za video posnetke pa je treba zagotoviti podnapise. Za skladnost nivoja AA je treba podnapise zagotoviti tudi pri prenosih v živo, prav tako je treba za ta nivo zagotoviti zvočne opise posnetih video vsebin. Za nivo AAA je treba za zvočne in video posnetke zagotoviti ekvivalent z uporabo znakovnega jezika (tolmač znakovnega jezika). Priporočilo je namenjeno predvsem gluhim in naglušnim, ki imajo težave s poslušanjem zvoka v posnetkih ali na dogodkih v živo. Priporočilo naslavlja tudi slepe in slabovidne, ki ne vidijo video posnetkov in bi lahko opis dobili preko zvočnega opisa za vizualne informacije.

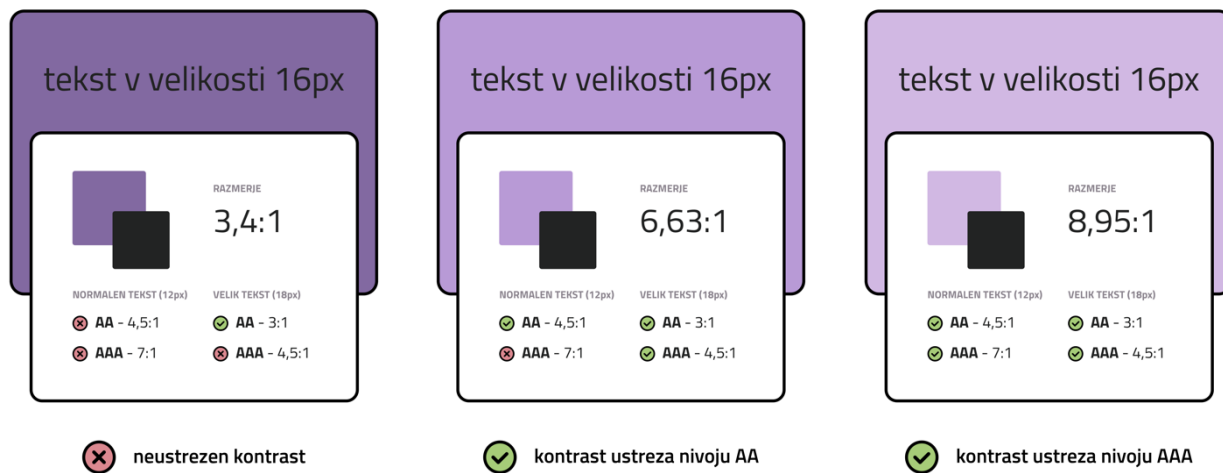
6.1.1.3 Prilagodljivost

Ustvarjati je treba vsebine, ki jih je možno predstavljati na različne načine (npr. z enostavnejšim videzom) brez izgube informacij ali strukture. Namen priporočila je zagotoviti, da so informacije predstavljene na način, ki ga uporabniki lahko zaznavajo, npr. da so informacije izgovorjene na glas ali pa so predstavljene z enostavnejšim videzom. Ena od možnosti je, da so informacije predstavljene na način, ki je lahko ugotovljen s programsko opremo, da jih le-ta lahko nato predstavi na različne načine (vizualno, zvočno, taktilno itd.). Predvsem je pomembno, da so vsebine ustvarjene tako, da jih lahko bralnik zaslona na ustrezen način predstavi uporabniku.

6.1.1.4 Razločljivost

Uporabnikom je treba poenostaviti gledanje in poslušanje, med drugim tudi z ločevanjem ozadja in ospredja. Pri uporabi barv je pomembno, da barve ne smejo biti edini način posredovanja informacij, namigovanja na akcije, sugeriranja odgovora itd. Percepcija barv se lahko razlikuje, zato je treba paziti, na kakšen način se uporabljajo (nivo A).

Pri uporabi zvoka je v primeru, da se zvok pojavi avtomatsko za več kot 3 sekunde, treba vzpostaviti mehanizem za ustavljanje zvoka, ki je ločen od sistemskega upravljanja zvoka (nivo A).



Slika 49: Različni kontrasti in WCAG ustreznost

Pomembna je tudi izbira pravega kontrasta med vizualno predstavitevjo teksta/slike in ozadjem, pri čemer naj bi bilo razmerje najmanj 4,5:1 (nivo AA). Izjeme so velike pisave, kjer je razmerje lahko najmanj 3:1 za nivo AA. Za nivo AAA pa se zahteva razmerje najmanj 7:1 oz. za veliko pisavo 4,5:1. Primer ustreznih in neustreznih kontrastov je prikazan na sliki 49. Izjema so logotipi, ki imajo lahko kakršenkoli kontrast, seveda pa je priporočljiva uporaba verzij logotipa s katerimi je mogoče doseči primerna kontrastna razmerja. Priporočilo je namenjeno osebam z različnimi oviranostmi.

6.1.2 Operabilnost

Komponente uporabniškega vmesnika in navigacija morajo biti operabilne. To pomeni, da morajo biti uporabniki sposobni uporabljati uporabniški vmesnik.

6.1.2.1 Dostopnost preko tipkovnice

Vsa funkcionalnost mora biti dostopna s tipkovnico. Za nivo A so dovoljene določene izjeme, za nivo AAA pa izjeme niso dovoljene. Priporočilo je namenjeno vsem, ki ne morejo uporabljati miške, najpogosteje so to slepe osebe in tetraplegiki.

6.1.2.2 Dovolj časa

Uporabnik mora imeti na voljo dovolj časa za prebiranje in uporabo vsebin. V primeru, da so vsebine časovno omejene, mora imeti uporabnik možnost prilagajanja časa za prikaz (nivo A). Časovno omejene vsebine se tipično pojavljajo v situacijah, ko poteka interakcija uporabnika s spletno stranjo, na primer ob nakupu izdelka

ali vstopnic, uporabi spletne banke itd., ko imajo uporabniki za izpolnjevanje vnosnih polj na voljo omejen čas, da dokončajo postopek.

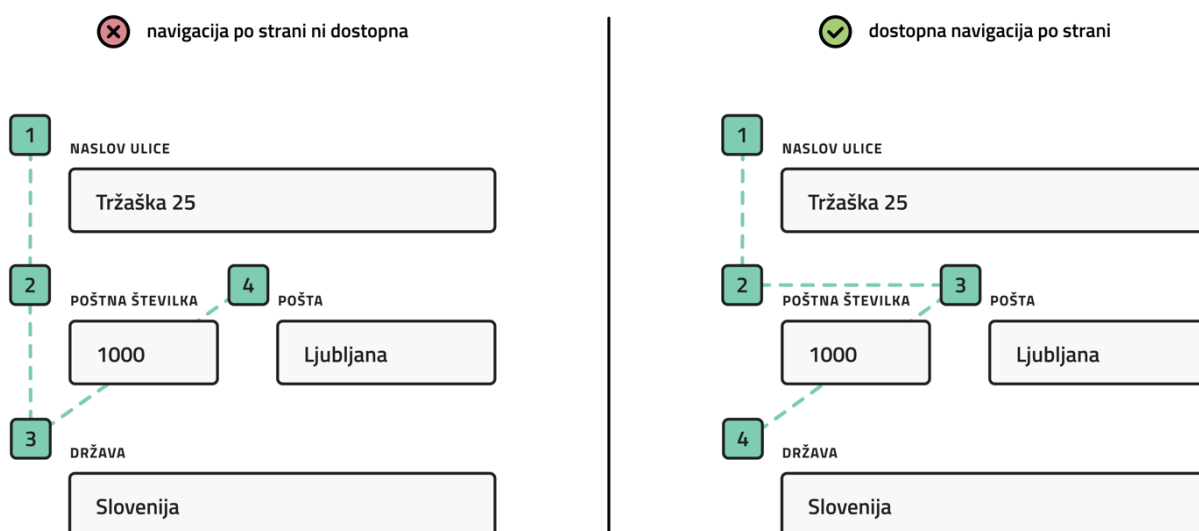
Priporočilo je namenjeno različnim skupinam, ki potrebujejo več časa, da odreagirajo, vnesejo tekst oz. dokončajo aktivnosti. Slabovidni potrebujejo več časa za branje in lociranje informacij na zaslonu. Slepri uporabljajo bralnik zaslona in potrebujejo več časa za razumevanje postavitve zaslona, za iskanje informacij in navigacijo na zaslonu. Ljudje s kognitivnimi oz. jezikovnimi omejitvami potrebujejo več časa za branje in razumevanje. Gluhi najraje komunicirajo z znakovnim jezikom in za branje običajno potrebujejo nekoliko več časa kot ostali.

6.1.2.3 Napadi

Izogibati se je potrebno načrtovanju vsebin, ki lahko povzročijo napade. Utripajoče vsebine lahko negativno vplivajo na uporabnike in vodijo v negativne reakcije oz. epileptične napade. Takim vsebinam se je treba izogibati oz. jih je treba uporabljati na način, ki ne prinaša tveganj (nivo A). Priporočilo je namenjeno različnim skupinam, ki so občutljive na agresivne utripajoče vsebine, ki se pojavljajo na spletnih straneh. Še posebej so tovrstne vsebine nevarne za ljudi s fotosenzitivno epilepsijo, kjer epilepsijo izzovejo različni provokativni dejavniki, najpogosteje gre za svetlobne dražljaje.

6.1.2.4 Navigacija

Obstajati morajo načini, ki uporabnikom omogočajo navigacijo, iskanje vsebin in ugotavljanje, kje na spletni strani se nahajajo. Za spletno dostopnost je pomembna dobro definirana navigacija po spletišču. Spletne strani morajo imeti opisljive in informativne naslove strani, zaporedje navigacije med povezavami, obrazci in drugimi elementi mora biti logično in intuitivno, ter namen povezave jasen iz konteksta povezave (nivo A). Primer dobre in slabe navigacije po spletni strani je prikazan na sliki 50. Za nivo AA je treba implementirati različne načine dostopanja do spletnih strani (npr. kazalo, zemljevid strani, iskalnik itd.), glave in oznake obrazcev morajo opisovati temo oz. namen, uporabniki pa morajo imeti možnost izvedeti lokacijo fokusa na spletni strani. Priporočilo je namenjeno različnim skupinam, ki jim lahko navigacija po spletišču izboljša uporabniško izkušnjo. Še posebej je dobro definirana navigacija v pomoč slepim in slabovidnim, ki lahko tako hitreje dostopajo do najpomembnejših vsebin.



Slika 50: Navigacija po spletni strani

6.1.2.5 Vnosne modalitete

Potrebno je omogočiti alternativne poenostavljene vnosne načine z enkratnimi kretnjami tam, kjer je uporaba tipkovnice izključena.

6.1.3 Razumevanje

Razumevanje informacije in operiranje z uporabniškim vmesnikom mora biti razumljivo. To pomeni, da morajo biti uporabniki sposobni razumeti informacije in način dela z uporabniškim vmesnikom oz. vsebine in operacije ne smejo biti nerazumljive.

6.1.3.1 Berljivost

Vsebina mora biti berljiva in razumljiva. Za nivo A je treba implementirati programsko prepoznavanje jezika spletne strani (npr. z uporabo `<html lang="en">`). Če je del spletne strani v drugem jeziku, je treba za nivo AA ta del označiti z drugim jezikom (npr. uporaba `<blockquote lang="es">`). Berljivost olajša delo podpornim tehnologijam, kot so na primer bralniki zaslonov, ki tako lažje obdelajo vsebine. Priporočilo je namenjeno predvsem slepim in slabovidnim ter tudi drugim skupinam, ki imajo določene težave z berljivostjo (npr. tuj jezik).

6.1.3.2 Predvidljivost

Spletne strani naj se pojavljajo in funkcionirajo na predvidljiv način. Veliko težav ljudem povzročajo nekonsistentni in nepredvidljivi uporabniški vmesniki. Treba je težiti k predvidljivemu uporabniškemu vmesniku.

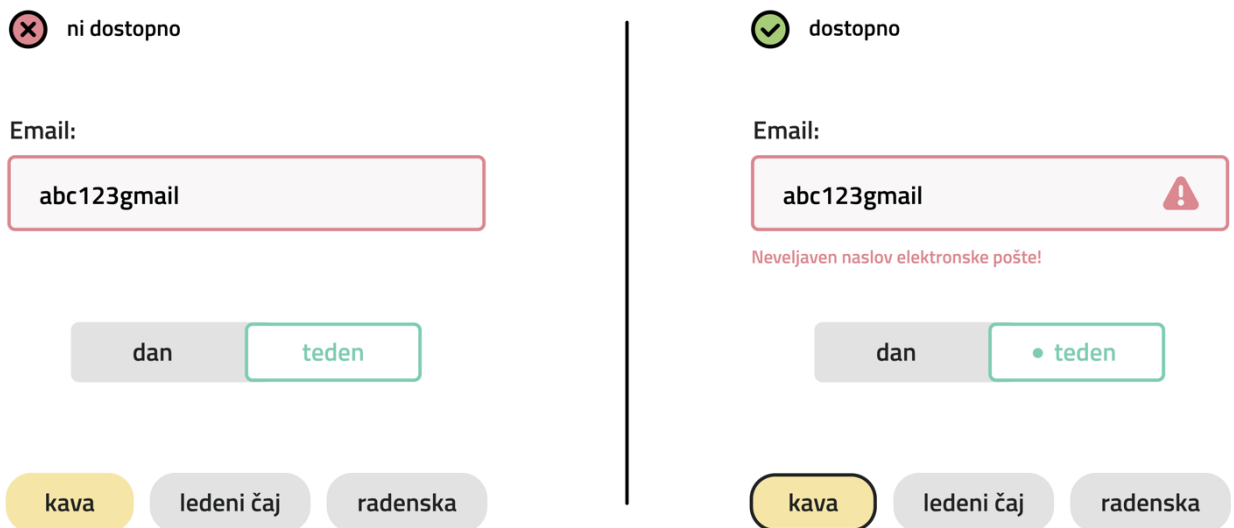
Za nivo A je treba zagotoviti, da se pomembnejše spremembe na uporabniškem vmesniku ne zgodijo brez uporabnikovega soglasja (npr. ob vnosih v obrazce, ob premikanju med komponentami). Za nivo AA je treba zagotoviti dosledno navigacijo, ki je enaka (se ponavlja) za različne spletne strani. Prav tako morajo biti elementi z enako funkcionalnostjo, ki se pojavljajo na različnih straneh, dosledno identificirani (npr. iskalno polje mora imeti vedno enako oznako).

6.1.3.3 Pomoč pri vnosu

Pri delu na spletni strani lahko prihaja do napak, katere je treba minimizirati. Do njih še posebej prihaja pri vnosu podatkov v obrazce. Uporabniku je treba pomagati s preprečevanjem in popravljanjem napak. V primeru napake pri vnosu (npr. pri vpisu podatkov v obrazec) je treba napako identificirati in uporabniku opisati problem. V primeru zahtevanega vnosa je treba uporabniku podati oznake oz. navodila (nivo A), kot je prikazano na sliki 51. Poleg tega je potrebno interaktivne elemente in vnosna polja ustrezno opisati, tako z imeni, kot tudi z oznako ali so le-ta obvezna ali ne.

Za nivo AA je treba v primeru napake uporabniku predlagati popravke. V primeru občutljivih podatkov (npr. pravni, finančni itd.) mora biti omogočeno, da so brisanja in spremembe reverzibilne (vrnitev v začetno stanje), preverjene (z možnostjo popravljanja) in potrjene (obstajati mora mehanizem za pregled in potrditev podatkov).

Priporočilo je namenjeno različnim skupinam, ki od spletne strani pričakujejo pomoč pri vnosu. Še posebej je treba imeti v mislih slepe in slabovidne, za katere so primerni predvsem tekstovni opisi napak, izogibati pa se je treba opisom, ki temeljijo izključno na uporabi barv.



Slika 51: Dostopnost različnih vnosnih polj

6.1.4 Robustnost

Vsebine morajo biti dovolj robustne, da so lahko zanesljivo interpretirane s pomočjo različnih prikazovalnikov in raznih tehničnih pripomočkov. To pomeni, da morajo biti uporabniki sposobni dostopati do vsebin tudi, če se tehnologije razvijajo naprej (če so se tehnologije spremenile, morajo vsebine ostati dostopne).

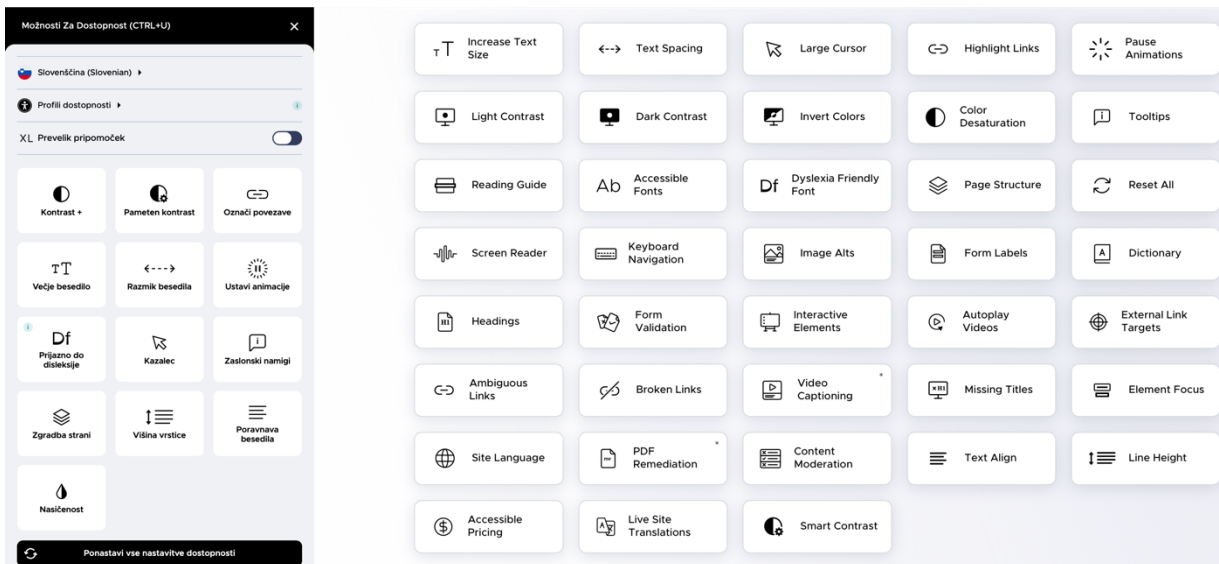
6.1.4.1 Kompatibilnost

Treba je maksimirati kompatibilnost vsebin s trenutnimi in bodočimi uporabniškimi agenti, vključno s podpornimi tehnologijami. Vsebine morajo biti zastavljene robustno, tako da jih bodo lahko interpretirala sedanja in bodoča orodja, ki jih uporabljajo uporabniki. Vsebine naj bo tako moč prikazati v starejših, trenutnih in bodočih brskalnikih. Za nivo A je treba zagotoviti, da se za prikaz vsebin uporablja standardni jezik za označevanje nadbesedila (ang. HyperText Markup Language – HTML) in da se ne uporablja odstopanj oz. razširitev, ki niso podprte na vseh brskalnikih. Konkretno to pomeni, da je potrebno zaključevati značke (ang. Tag) v HTML dokumentu in se izogibati podvajanju oznak z enako identifikacijo. Posebej je treba paziti pri uporabi tehnologij Flash, Java, Silverlight in Javascript, pri katerih lahko prihaja do razlik pri podpori v brskalnikih.

Priporočilo je namenjeno različnim skupinam, še posebej tistim, ki uporabljajo starejše brskalnike in razne tehnične pripomočke. Namenjeno je tudi tistim, ki uporabljajo različne nove mobilne naprave (pametni telefoni in tablice).

6.2 Mehanizmi zagotavljanja dostopnosti spletnih strani

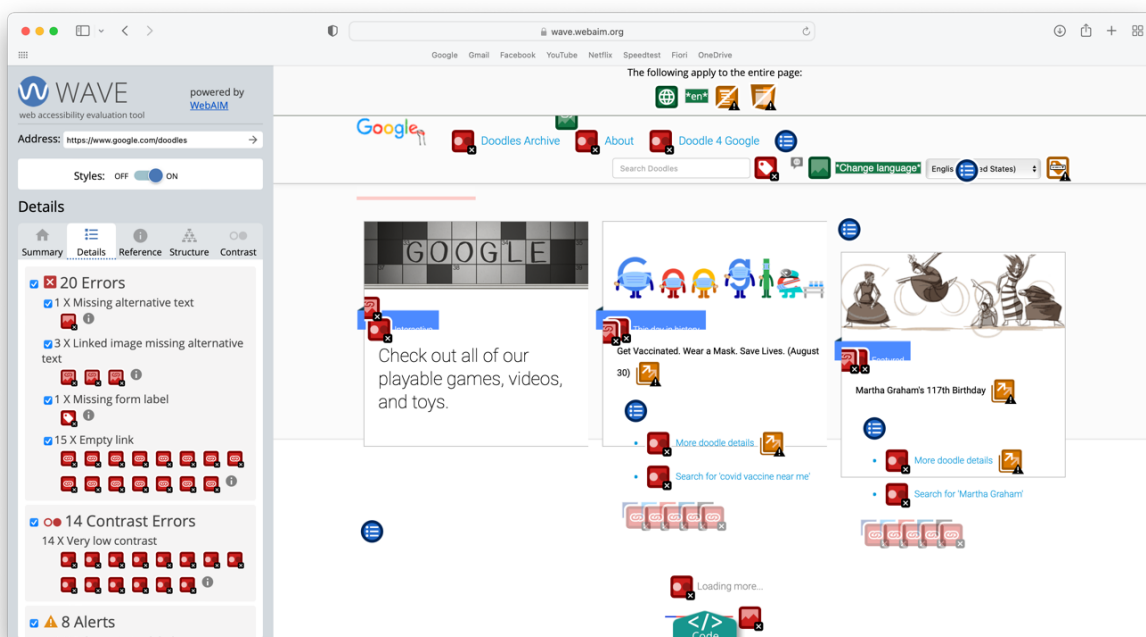
Spletne strani morajo torej zagotavljati dostopnost skladno z opisanimi smernicami. Ker so stopnje okvar senzornih čutov pri ljudeh, kot npr. sluh in vid, zelo različne, so vedno dobrodošle rešitve, ki omogočajo prilagodljivo nastavljanje nivoja dostopnosti. S tem so mišljene možnosti nastavljanja velikosti pisave, kontrasta, višine vrstic in razmakov med njimi, sprememb tipa pisave za uporabnike z disleksijo, možnost povečevanja velikosti kazalca itd. V ta namen nekatere spletne strani ponujajo namenske menuje oz. orodja, kjer uporabnik lahko nastavlja omenjene parametre. Primer takega menuja je prikazan na sliki 52.



Slika 52: Primer v spletno stran vgrajenega orodja za izboljšanje dostopnosti

6.3 Evalvacija dostopnosti spletnih strani

Zagotavljanje dostopnosti spletnih strani vključuje tudi preverjanje skladnosti spletnih strani s pravili WCAG. V ta namen obstajajo številna orodja, med katerimi so nekatera plačljiva, druga pa brezplačna. Nekatera med njimi so v obliki spletnih strani, v katere se vpiše spletni naslov strani, katere dostopnost želimo preveriti, druga so v obliki vtičnikov za brskalnike (ang. Plugin), tretja v obliki samostojnih aplikacij. Večina teh orodij ponuja možnost izbire nivoja skladnosti (npr. WCAG 2.1 A, AA ali AAA), za katerega se preveri ciljno spletno stran, nekatera pa ponujajo tudi možnost evalvacije skladno z različnimi mednarodnimi standardi za dostopnost.



Slika 53: Rezultat evalvacije skladnosti spletne strani s standardom WCAG 2.1

Rezultate evalvacije orodja predstavljajo na različne načine, večina v obliki spletne strani ali PDF datoteke s spiskom napak in opozoril glede neskladnosti s standardi za zagotavljanje dostopnosti. Spisek orodij je na voljo na spletni strani organizacije W3C WAI-orodja. Dejstvo je, da ta orodja ne dajejo povsem enakih rezultatov in da je smiselno hkrati uporabiti več orodij in na koncu izvesti še ročno preverjanje skladnosti s priporočili in standardi. Slika 53 prikazuje rezultat evalvacije spletne strani z orodjem WAVE WebAIM, kjer so prikazane napake in opozorila glede skladnosti s standardom WCAG 2.1 nivo AA.

6.4 Zagotavljanje dostopnosti televizijskih vsebin

Zagotavljanje dostopnosti audio-vizualnih vsebin na TV sprejemnikih je v Sloveniji prisotno od leta 1980, ko je RTV Slovenija v sodelovanju z Zvezo društev gluhih in naglušnih Slovenije začela s predvajanjem oddaje Prisluhljivo tišini. To je prva oddaja, ki je vključevala prevod v slovenski znakovni jezik s tolmačem znakovnega jezika. Danes številne TV hiše v Evropi in po svetu zagotavljajo dostopnost televizijskih vsebin tako za gluhe in naglušne, kakor tudi za slepe in slabovidne osebe. Tehnologije zagotavljanja dostopnosti se tako delijo na tehnologije zagotavljanja dostopnosti za eno in drugo ciljno skupino.

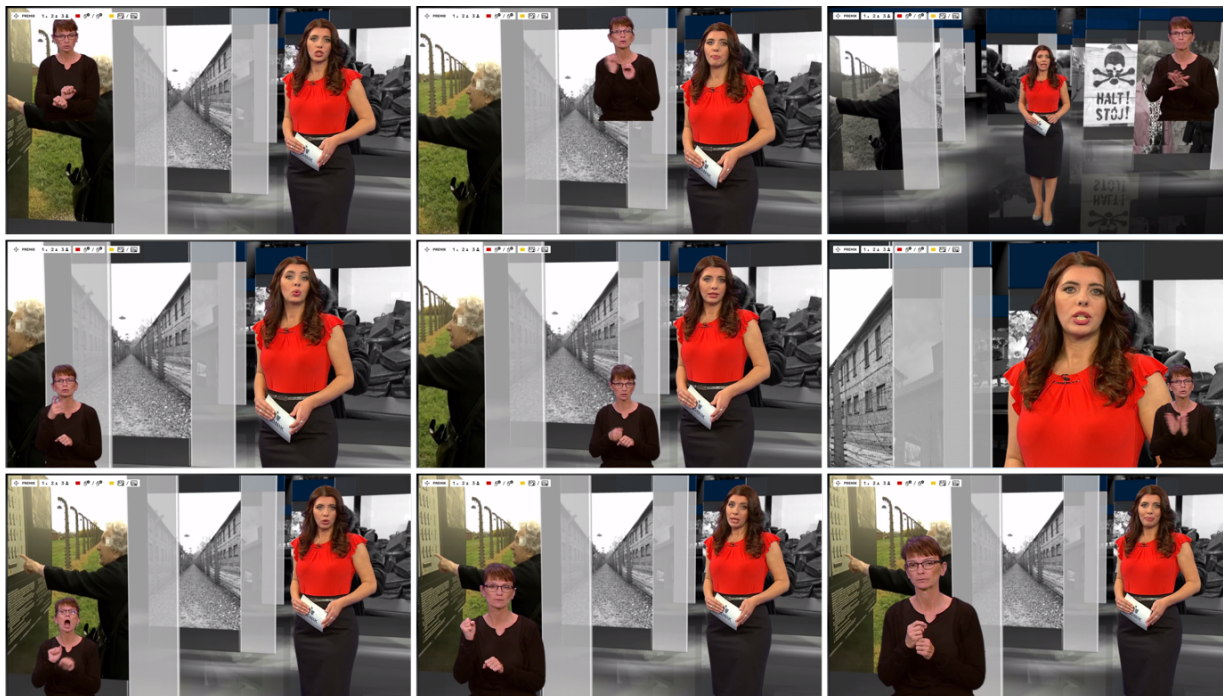
6.4.1 Zagotavljanje dostopnosti televizijskih vsebin za gluhe in naglušne

Glavna pristopa k zagotavljanju dostopnosti televizijskih vsebin za gluhe gledalce sta vključitev tolmača znakovnega jezika in podnaslavljanje oddaj. Vključitev tolmača zahteva ustrezno postavitev sistema, kjer se video posnetek tolmača, ki je posnet pred zelenim ali modrim ozadjem, s pomočjo video mešalne mize in izločanja enobarvnega ozadja postavi preko predvajane vsebine tako, da ta čim manj prekriva pomembne informacije na zaslonu. Primer zaslona s tolmačem znakovnega jezika je prikazan na sliki 54. Pri tovrstni postavitvi je tolmač, kakor bi temu rekli v žargonu, "zapečen" v osnovni video in tako vedno pokriva določen del vsebine ter je hkrati za vse uporabnike prisoten, enako velik in na isti lokaciji.



Slika 54: Tolmačenje vsebine videa z znakovnim jezikom

Z uporabo tehnologij hibridne televizije druge generacije (ang. Hybrid Broadcast Broadband Television – HbbTV) je mogoče izdelati rešitve, ki omogočajo uporabnikom premikanje tolmača po zaslonu, kakor tudi spreminjanje njegove velikosti in postavitve, kar lahko izboljša uporabniško izkušnjo gluhih. Hkrati je omogočen vklop in izklop videa s tolmačem, tako da gledalcev, ki ne potrebujejo tolmača, le-ta ne moti, gluhi pa ga lahko kadarkoli prižgejo s pomočjo gumba na daljinskem upravljalniku. Primer tovrstne rešitve je prikazan na sliki 55.



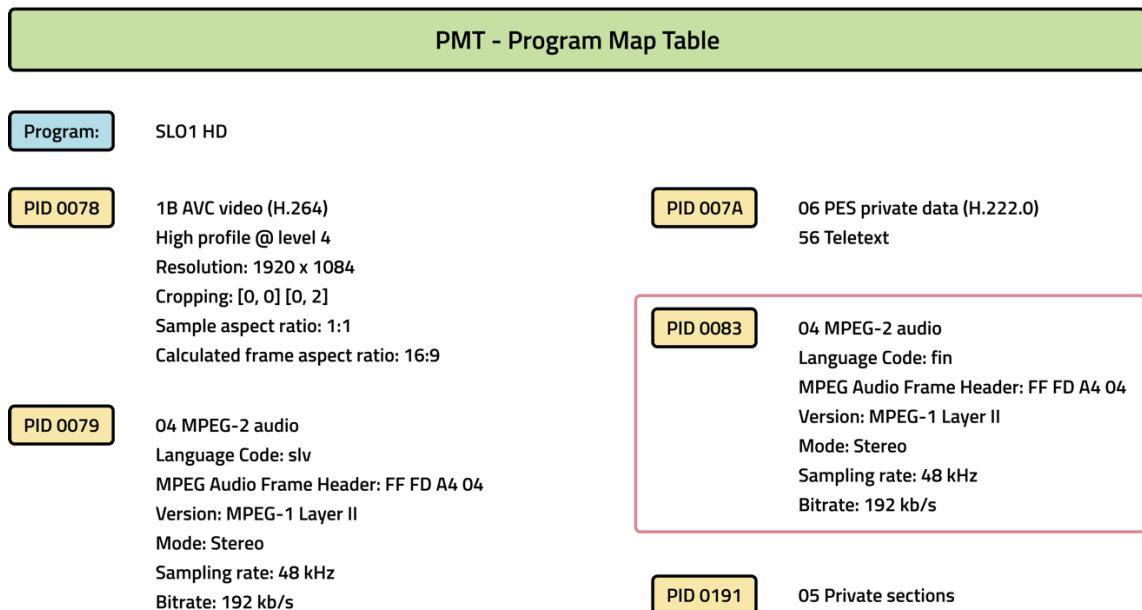
Slika 55: Rešitev z nastavljivim položajem in velikostjo tolmača znakovnega jezika

Doseg tovrstnih rešitev je trenutno žal omejen, ker veliko proizvajalcev TV sprejemnikov (še) ne podpira prikazovanja dveh video virov hkrati. Za razliko od klasičnega dodajanja tolmača v program, kjer sliko v sliki izdelajo že v TV hiši s pomočjo video mešalne mize, to v primeru uporabe HbbTV aplikacije naredi televizijski sprejemnik. Uporaba HbbTV aplikacije kot orodja za povečanje dostopnosti v tem primeru ne predstavlja zmanjšanja stroškov ponudnika storitev, ampak predvsem izboljšanje uporabniške izkušnje, dostopnosti in kvalitete storitev. V primeru RTV SLO bi uporaba take aplikacije pomenila tudi optimizacijo programske sheme, saj ne bi potrebovali ločenega programa (SLO3) za oddajanje vsebin, ki so stalno opremljene z znakovnim jezikom in podnapisi.

Drugi način zagotavljanja dostopnosti je podnaslavljanje vsebin. Podnapisi so navadno prisotni na dnu ekrana, razen v primeru, kadar prekrivajo pomemben del slike, v tem primeru so postavljeni na vrh ekrana. Podnapisi poleg zapisa govorne besede lahko vključujejo tudi opise drugih zvočnih informacij, ki so pomembne za razumevanje dogajanja na sliki (šumi, poki, zvoki vremenski pojavi, glasba). Za ločevanje govorcev se lahko uporabi barvne podnapise, kar dodatno poveča razumevanje zvočnih vsebin. V Sloveniji za nekatere oddaje v multimedijem centru RTV SLO pripravljajo dodatno podnaslavljanje vsebin, ogled le-teh pa je mogoč preko teleteksta na strani 770 oziroma na 771 za program SLO1 in na strani 772 za program SLO2. Čeprav je po priporočilih za gluhe in naglušne priporočljiv prikaz belega besedila na črnem ozadju, se TV hiše pogosto poslužujejo sivega ali pol-prosojnega ozadja, ki je načeloma bolje sprejet med gledalci brez težav z vidom ali sluhom.

6.4.2 Zagotavljanje dostopnosti televizijskih vsebin za slepe in slabovidne

Dostopnost TV vsebin za slepe in slabovidne uporabnike je omogočena z uporabo pridruženega oz. dodatnega zvokovnega kanala. Le-ta poleg originalnega zvočnega zapisa vključuje tudi dodaten zvočni opis dogajanja na sceni, ter napise na zaslonu, ki jih pripoveduje govorec med premori v govoru. Hkrati lahko pridruženi zvokovni kanal vključuje tudi branje podnapisov, s čimer se omogoči razumevanje govora pri vsebinah v tujih jezikih. Branje podnapisov se lahko izvede s pomočjo govorca ali s pomočjo računalniške sinteze govora, ki danes dosega že odlično kakovost in podobnost s človeškim govorcem. Za potrebe računalniškega branja podnapisov je le-te potrebno zagotoviti v ločenem tekstovnem formatu.



Slika 56: Struktura oddajenega signala z dodanim zvokovnim kanalom za slepe in slabovidne

Predvajanje pridruženega zvokovnega kanala lahko uporabniki izberejo v nastavitvah na TV sprejemniku ali STB sprejemniku. V primeru oddajanja preko tehnologij DVB se pridruženi zvokovni kanal oddaja hkrati z originalnim zvokovnim kanalom, s tem, da imata v tabelah različni oznaki jezika, v sistemih IPTV pa sistem uporabniku oddaja le izbrani zvokovni kanal. Slika 56 prikazuje oddajanje dodatnega zvokovnega kanala za slepe in slabovidne na TV programu Slovenija 1, zapisano v obliki PMT tabele pri oddajanju z DVB-T. Zaradi pomanjkanja ustrezne kode jezika pridruženega zvokovnega kanala za slepe, se v ta namen uporablja oznaka fin (finski jezik), originalni zvokovni kanal pa ima oznako slv (slovenski jezik). Čeprav je področje dostopnosti čedalje bolj v ospredju ter tudi urejeno s predpisi, se s tem ukvarjajo le tiste ustanove, ki jim zakon le-to narekuje. Zelo težko je zaslediti kakršno koli komercialno storitev, kjer bi vsebine prilagajali za gluhe in naglušne ali slepe in slabovidne. Največ vsebine in tudi prilagoditev prihaja ravno z nacionalne televizije (RTV SLO), kjer vso vsebino, ki je kakorkoli prilagojena senzornim invalidom, združujejo tudi na spletnem portalu *dostopno.si*.

Na področju dostopnosti vsebin in storitev je torej še mnogo prostora za novosti in izboljšave. Hkrati tudi razvoj multimedijskih sistemov, računalniške sinteze in strojnega učenja, omogoča vse boljše in naprednejše storitve, ki omogočajo sintezo govora ali tolmačenje v znakovni jezik s pomočjo računalniških sistemov. Za doseganje skupnega cilja ter zagotavljanja boljše dostopnosti vsebin in storitev pa bo potrebno večje sprejemanje tehnoloških rešitev s strani skupnosti slepih in slabovidnih ter gluhih in naglušnih, kot tudi boljše razumevanje potreb dotičnih skupin s strani razvijalcev sodobnih sistemov.



Sklep

Cilj učbenika je predstavitev področja multimedije tako s stališča multimedijskih vsebin kakor tudi njihove distribucije. Področje je tako precej široko in obravnava bistvena poglavja s področja zajema audio-vizualnih vsebin, njihove digitalizacije in zapisa, različne načine in tehnologije distribucije do končnih uporabnikov ter nenazadnje področje uporabniške izkušnje in zagotavljanja dostopnosti teh vsebin na uporabnikovih napravah. V delovanje sodobnih multimedijskih sistemov so vključena prav vsa omenjena področja, zato je sistemsko razumevanje te tematike pomembno. Bolj poglobljena obravnava vsakega od obravnavanih vsebinskih sklopov pa se izvaja pri drugih predmetih študija multimedije.

Pomemben del področja multimedije je ne le tehnični, temveč tudi človeški aspekt, saj so uporabniki tisti, ki se odločajo za uporabo oz. ogled določenih vsebin. Naše navade, ki v zadnjih letih povzročajo izjemen porast internetnega prometa zaradi vse večje porabe multimedijskih vsebin, imajo vpliv tudi na prihajajoče tehnične in vsebinske rešitve ter bodo rezultirale v novih storitvah in delno tudi uporabniških napravah. Pri tem je še posebej pomembna uporabniška izkušnja rešitev in zagotavljanje dostopnosti za ljudi s fizičnimi ali senzornimi omejitvami. Ob stalni rasti uporabe multimedijskih vsebin, njihovih vse večjih formatih, novih kodekih in stalni rasti prepustnosti internetnih omrežij, se lahko tudi v prihodnosti pričakuje stalen razvoj na tem področju in širitev na nova področja uporabe.

Viri in literatura

- [1] Fischer W., Digital video and audio broadcasting technology – A practical engineering guide, Fourth edition, Springer, 2020
- [2] Tozer E.P.J., Broadcast engineer's reference book, Elsevier Inc., 2012
- [3] Whitaker J.C., Standard Handbook of broadcast engineering, McGraw-Hill, 2005
- [4] Whitaker J., Benson B., Standard handbook of video and television engineering – 4th edition, McGraw-Hill, 2003
- [5] Simpson W., Video over IP, A practical guide to technology and applications, Focal press, 2006
- [6] Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems, 2019, https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300400_300499/300468/01.16.01_60/en_300468v011601p.pdf
- [7] Moggridge B., Designing interactions, MIT press, Cambridge Massachusetts, 2007
- [8] Sharp H., Preece J., Rogers Y., Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction – 5th edition, John Wiley and sons, 2019
- [9] Lauesen S., User interface design – a software engineers perspective, Pearson education limited, 2005
- [10] Evropska direktiva o dostopnosti spletišč in mobilnih aplikacij javnega sektorja 2016/2012, 2016, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32016L2102>
- [11] Inicijativa za spletno dostopnost (W3C Web Accessibility Initiative – WAI), <https://www.w3.org/WAI/fundamentals/>
- [12] Demšar D., Kranjc A., Malovrh M., Spletni viri brez ovir, Beletrina, 2020