Zasnova in vzpostavitev sistema za zagotavljanje dostopnosti na hibridnih dogodkih

Žan Rutar[1], **Žana Juvan**[1], **Klemen Pečnik**[1]

[1]*Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani*
E-pošta: zr10886@student.uni-lj.si, zana.juvan@fe.uni-lj.si, klemen.pecnik@fe.uni-lj.si

Design and Implementation of an Accessibility System for Hybrid Events

Abstract. *Hybrid events combine in-person and remote participation but may create accessibility barriers for people with visual or hearing impairments. This article reviews relevant accessibility methods and presents a practical system developed and tested at several hybrid events. Different configurations of cameras, screens, captioning tools, lighting, backgrounds, and workflows were assessed. Human-generated captions were generally more accurate for names, abbreviations, and technical terminology, while AI transcription was faster, more affordable, easier to deploy, and capable of simultaneous translation. For on-site participants, screens positioned beside the stage provided a balance between visibility, readability, and equipment requirements. For remote participants, captions delivered through the meeting platform API offered greater flexibility than captions embedded in the video feed. The preferred interpreter setup used a compact camera, two angled lights, a green screen, and OBS. Overall, accessibility was improved through careful planning, suitable software, and limited additional equipment, supporting broader participation in educational and public events.*

1 Uvod

Zaradi prepovedi zbiranja večjega števila oseb na isti lokaciji so se med pandemijo COVID-19 številni dogodki, ki so pred uvedbo omejitev potekali v živo, začeli izvajati na daljavo. Mednje so sodile predvsem konference, predstavitve, predavanja in sestanki, njihova izvedba pa je bila omogočena z uporabo digitalnih platform za spletne sestanke, kot je Zoom. Po odpravi omejitev se je pri številnih dogodkih ohranila t. i. hibridna oblika izvedbe, pri kateri je del udeležencev prisotnih na lokaciji dogodka, medtem ko ga ostali udeleženci spremljajo na daljavo [1]. Oddaljenim udeležencem je lahko omogočeno tudi aktivno sodelovanje ali izvedba predavanja z uporabo kamere in mikrofona. Prek omenjenih platform se lahko deli tudi zaslon računalnika, na katerem so prikazane prosojnice, digitalna bela tabla (ang. *whiteboard*) ali druge vsebine. Slika, zajeta s kamero, in vsebina deljenega zaslona se praviloma projicirata na platno v dvorani, da ju vidijo tudi fizično prisotni udeleženci [2].

Pri izvedbi hibridnih dogodkov se vse pogosteje pojavljajo tudi izzivi pri zagotavljanju dostopnosti, saj so med udeleženci in predavatelji lahko prisotne tudi osebe s senzornimi oviranostmi, npr. slepi, slabovidni, gluhi ali naglušni. Brez ustreznih prilagoditev, ki jih mora praviloma zagotavljati organizator, je spremljanje dogodka zanje oteženo ali celo onemogočeno [3].

Prilagoditve je glede na vrsto senzorne oviranosti mogoče razdeliti v dve kategoriji, in sicer na prilagoditve za osebe z okvaro vida ter prilagoditve za osebe z okvaro sluha [4]. Temu morajo biti prilagojene tudi metode in tehnološke rešitve za zagotavljanje dostopnosti. Po podatkih Oddelka Združenih narodov za gospodarske in socialne zadeve (UN DESA) ima približno 15 % svetovnega prebivalstva vsaj eno obliko invalidnosti, med osebami, starimi 60 let ali več, naj bi ta delež znašal vsaj 46 %. Po ocenah ima približno 6 % svetovne populacije sočasno okvaro vida in sluha [5].

Gluhota in naglušnost se med seboj razlikujeta glede na višino praga slišnosti, ki predstavlja jakost najtišjega zvoka, ki ga uho še zazna. Gluhota je opredeljena kot izguba sluha v višini 91 dB ali več, pri frekvencah 500, 1000 in 2000 Hz. Gluhi zvokov in govora ne morejo zaznavati v obsegu, ki bi omogočal zvočno sporazumevanje. Naglušnost označuje izgubo sluha med 26 in 91 dB, pri čemer je zaznavanje zvoka še mogoče, vendar je razumevanje govora že delno ali izrazito oteženo [6]. Na dogodkih so pogosto prisotni tudi različni moteči zvoki, kot so odmev prostora, delovanje prezračevalnih sistemov, šelestenje papirja, šepetanje občinstva ter šum, ki nastaja pri prenosu zvoka prek spletnih platform. Takšne motnje lahko dodatno zmanjšajo razumljivost govora in otežijo spremljanje vsebine, zlasti osebam z okvaro sluha.

Članek obravnava različne načine zagotavljanja dostopnosti na dogodkih in zasnovo sistema, ki omogoča dostopnost ne glede na način udeležbe. Poudarek je namenjen rešitvi, ki jo je mogoče vzpostaviti čim preprosteje in z razmeroma nizkimi stroški ter pri tem ohraniti ustrezno raven učinkovitosti.

2 Metode zagotavljanja dostopnosti

Za dogodke, ki v celoti potekajo na spletu, morajo biti metode zagotavljanja dostopnosti prilagojene prenosu prek platform za spletne sestanke. Pri hibridnih dogodkih je treba dostopnost zagotoviti tako oddaljenim kot fizično prisotnim udeležencem, pri čemer uporabljena oprema ne sme omejevati izkušnje udeležencev v dvorani.

2.1 Slepi in slabovidni udeleženci

Oddaljeni udeleženci z okvaro vida lahko pri hibridnih dogodkih uporabljajo programsko opremo za branje zaslona (ang. *screen reader*), ki besedilo uporabniškega vmesnika pretvori v govor [1, 7].

Optično prepoznavanje znakov (ang. *Optical Character Recognition – OCR*) omogoča pretvorbo skeniranega ali fotografiranega besedila v strojno berljivo obliko. Pogosto je vključeno v bralnike zaslona in podprto z umetno inteligenco (ang. *Artificial Intelligence – AI*) [8].

Zvočni opis (ang. *audio description*) med premori v govoru opisuje dogajanje ali predstavljeno vizualno gradivo. Praviloma ga izvaja opisovalec iz govorniške kabine. Zvok se udeležencem posreduje prek slušalk ali indukcijske zanke [1, 5].

Zvočno podnaslavljanje uporablja prikazane podnapise, ki so pretvorjeni v govor. Uporablja se lahko v kombinaciji z zvočnim opisovanjem, predvsem pri sprotnem prevajanju dialoga govorcev v jezik uporabnika [5].

2.2 Gluhi in naglušni udeleženci

2.2.1 Podnapisovanje

Podnapisovanje se lahko deli na dve obliki, in sicer podnapisovanje govora in opisovanje negovornih zvočnih elementov, kot so zvočni učinki in glasba. Podnapisi so lahko pripravljeni vnaprej in dodani videoposnetkom ali pa jih med dogodkom sproti zapisuje usposobljena oseba [5].

V dvorani se podnapisi izpisujejo na zaslonih, kjer jih lahko spremljajo prisotni udeleženci, lahko pa se posredujejo tudi na platformo, prek katere se dogodek prenaša. Oddaljeni udeleženci lahko prikaz prenašane vsebine prilagodijo svojim potrebam, na primer z izbiro tipografije in velikosti pisave [9]. Pri spletnih dogodkih se lahko podnapisi vnašajo neposredno v uporabljeno platformo [10, 11].

Podnapise je mogoče ustvariti tudi samodejno z uporabo umetne inteligence, pri čemer se govor obdeluje na strežniku in nato prikaže na zaslonu. Primer takšne rešitve je slovenski sistem Vox101 [12], ki poleg izdelave podnapisov omogoča tudi prevajanje v tuje jezike. Samodejna transkripcija je vključena tudi v nekatere platforme za spletne sestanke [10, 13].

2.2.2 Tolmačenje v slovenski znakovni jezik

V znakovnih jezikih se pomen izraža s kretnjami, držo telesa in obrazno mimiko. Približno dve tretjini gluhih oseb v Sloveniji uporablja slovenski znakovni jezik kot primarni jezik za sporazumevanje. Na dogodkih je lahko prisoten tolmač, ki na dobro vidnem mestu govorjeno vsebino sproti tolmači v izbrani znakovni jezik. Video tolmača se lahko prek kamere prenaša tudi na uporabljeno platformo, kjer je prikaz trajno pripet na zaslon [14, 15].

3 Vzpostavitev sistema

V sodelovanju z multimedijsko produkcijo Audire [16] je bilo v obdobju 2025–2026 izvedenih pet hibridnih konferenc, pri katerih je bilo vzpostavljeno zagotavljanje dostopnosti. S pomočjo povratnih informacij udeležencev in lastnih izkušenj s tehničnim delovanjem opreme, so se tekom dogodkov prilagajali načini uporabe metod za zagotavljanje dostopnosti Pripravljena je bila tudi shema celostnega sistema, prikazana na sliki 1.

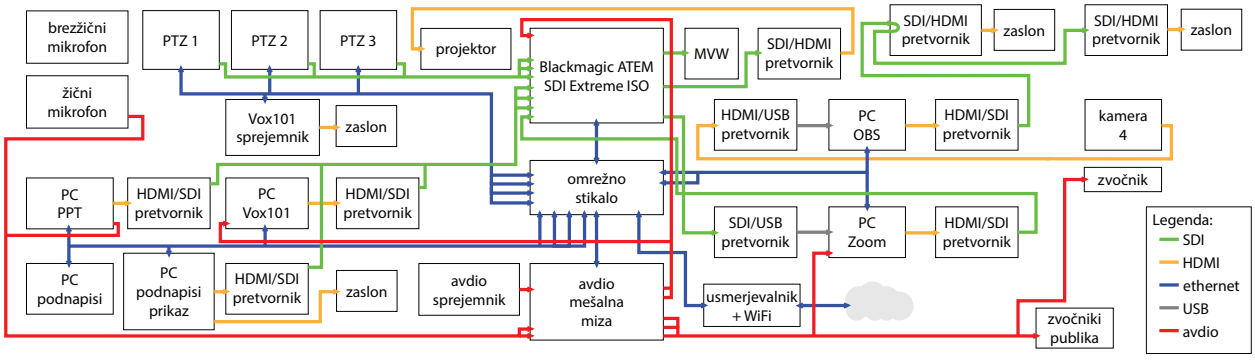
Za izvedbo oddaljenega dela dogodkov je bila izbrana platforma Zoom, saj omogoča preprosto deljenje zaslona, pripenjanje govorcev in sočasno upravljanje sestanka z več uporabniškimi računi. Platforma podpira bralnike zaslona [17] ter več načinov vključevanja podnapisov, vključno z vgrajenimi in zunanjimi rešitvami, povezanimi prek aplikacijskega programskega vmesnika (ang. *Application Programming Interface – API*) [10, 11].

Za zajem videovsebine so bile uporabljene tri vrste kamer: dve kameri JVC GY-HC500E, štiri motorizirane kamere PTZ (ang. *Pan-Tilt-Zoom*) proizvajalca AIDA, PTZ-X20-IP in PTZ-X12-IP, ter kamera Blackmagic Design Micro Studio Camera 4K G2 [18] z izmenljivim objektivom. Kamere AIDA zajemajo bližnje posnetke govorca, celoten pogled dvorane in pogled občinstva. Ker je kamere PTZ mogoče upravljati oddaljeno iz režije, jih lahko upravlja en operater brez prisotnosti kamermanov v prostoru, kjer se odvija dogodek. Video se prenaša prek serijskega digitalnega vmesnika (ang. *Serial Digital Interface – SDI*), upravljanje pa poteka prek internetnega protokola (ang. *Internet Protocol – IP*) po omrežnem kablu. Kjer je potrebno, se za pretvorbo videosignala med vmesnikoma HDMI in SDI uporabljajo pretvorniki Blackmagic Design Micro Bidirectional Converter.

Videoviri se v živo mešajo z video mešalno mizo Blackmagic Design ATEM SDI Extreme ISO [19], ki podpira osem vhodnih in štiri izhodne povezave SDI. Različica ISO omogoča ločeno snemanje vseh vhodnih virov in končne mešane slike na disk prek univerzalnega serijskega vodila tipa C (ang. *Universal Serial Bus Type-C – USB-C*). Pri montaži končnega posnetka po zaključku dogodka ta funkcionalnost omogoča enostavno prilagajanje posnetkov in popravke morebitnih napak, ki so nastale med snemanjem. Prav tako odpravlja potrebo po zunanjih snemalnikih.

Poleg podpore za bralnike zaslona, vključene v platformo Zoom, sta bili uporabljeni dve osnovni metodi zagotavljanja dostopnosti, podnapisovanje in tolmačenje govora v slovenski znakovni jezik. Podnapisi so bili ustvarjeni ročno ali z uporabo sistema Vox101. Pri ročnem podnapisovanju je operater besedilo vnašal neposredno v Zoom ali v program Text on Top [20]. Pri uporabi sistema Vox101 je namenski računalnik prejel zvok govorca, ga posredoval strežniku, ki ga je obdelal in vrnil besedilo.

Za prikaz v dvorani je bil signal iz sprejemnega računalnika prek povezave SDI posredovan na zaslone v dvorani. Ob vsakem zaslonu je bil signal SDI pretvorjen v signal HDMI ter prek prehodnega izhoda (ang. *loop through*) posredovan do naslednjega pretvornika. Preizkušenih je bilo več postavitev zaslonov v dvorani: posamezen zaslon na odru, zaslona levo in desno ob odru ter zaslona na stranskih stenah dvorane. Za oddaljene udeležence je bila izvedena primerjava prenosa podnapisov prek vmesnika API in vključitve podnapisov neposredno v video govorca. Ocenjene so bile tudi različne oblikovne lastnosti podnapisov, med drugim prosojno ali neprosojno ozadje,



Slika 1: Shema končne postavitve sistema hibridnega dogodka.

tipografija z okraski ali brez okraskov ter različne barvne kombinacije besedila in ozadja. Pri podnapisovanju z umetno inteligenco je bilo preizkušeno tudi zeleno ozadje, ki je bilo odstranjeno z video mešalno mizo ATEM.

Tolmač, ki je med dogodkom sedel ali stal, je bil sprva zajet s kamero JVC, nato pa s kamero Blackmagic z razdalje približno 1–1,5 m, kot prikazuje slika 2. Signal kamere JVC je bil prek povezave SDI poslan v mešalno mizo ATEM ali v računalnik s programsko opremo Open Broadcaster Software (OBS) in kartico za zajem videa (ang. *video capture card*). Signal kamere Blackmagic je bil v računalnik posredovan prek povezave HDMI. Primerjani sta bili postavitvi tolmača v ospredju dvorane in ob režiji v njenem zadnjem delu, pri čemer je bila slika prikazana tudi na zaslonu ob odru. Dodatno sta bili preizkušeni dve barvi ozadja, bela in zelena, slednja je bila odstranjena z video mešalno mizo ATEM ali v programu OBS. Preizkušeni so bili trije načini osvetlitve tolmača. V prvem primeru je bila uporabljena ena luč, nameščena neposredno nad kamero, v drugem ena luč pod kotom 30° glede na optično os kamere, v tretjem pa dve luči, nameščeni levo in desno od kamere pod kotoma -45° in +45°.



Slika 2: Postavitev opreme za zajem slike tolmača.

4 Ugotovitve in priporočila za izvedbo

Izvedeni dogodki in popravki sistema so privedli do praktičnih smernic za prenose hibridnih dogodkov.

Podnapisovanje, ki ga izvaja usposobljena oseba, je praviloma natančnejše pri zapisovanju imen, kratic in strokovnih izrazov. Njihovo prepoznavanje je mogoče izboljšati tudi v sistemu Vox101, če se pred dogodkom naloži seznam pričakovanih izrazov. Ker je neprekinjeno tipkanje časovno in fizično zahtevno, sta na daljših dogodkih običajno potrebni dve osebi, medtem ko so sistemi, kot je Vox101, hitrejši in cenovno dostopnejši. Omogočajo tudi naknadno popravljanje napak brez prekinitve sprotne transkripcije. Počasnejše ročno podnapisovanje pa lahko ob predhodnem dogovoru govorca spodbudi k zmernejšem tempu govora, ki je razumljivejši tudi za druge udeležence.

Zasloni ob straneh dvorane so bližje gledalcem, zato je mogoče z manjšo velikostjo znakov prikazati več besedila, zaslon na čelu dvorane pa omogoča sočasno spremljanje govorca in podnapisov. Z vidika preglednosti in količine opreme se kot najprimernejša kaže uporaba dveh zaslonov ob odru, pri čemer je na enem prikazan tolmač, na drugem pa podnapisi. Udeležencem brez ustreznega pogleda na zaslon je lahko omogočeno spremljanje prek izbrane platforme ali spletnega prikaza sistema Vox101 na osebni napravi. Za oddaljene udeležence je prenos podnapisov prek vmesnika Zoom API prilagodljivejši od njihove vključitve v video, saj omogoča spreminjanje lastnosti prikaza in podpira uporabo bralnika zaslona. Njegova implementacija je zahtevnejša, ker ni podprta pri vseh sistemih za podnapisovanje. Ena od združljivih rešitev je Text on Tap [21], vendar sta za implementacijo potrebna vsaj dva računalnika. Pri prevedenih podnapisih govora tujih govorcev lahko udeleženci uporabljajo bralnik zaslona kot obliko zvočnega podnapisovanja.

Pri podnapisih, vključenih v video, je za dobro čitljivost ključen visok svetlostni kontrast med besedilom in ozadjem. Čeprav neprosojno ozadje zagotavlja stabilen kontrast, lahko prekrije del slike. Priporočena je uporaba tipografije brez okraskov, saj omogoča boljše razločevanje posameznih znakov. Kot kompromis se lahko uporabi kombinacija podnapisov, vključenih v video, in dodatne povezave do spletnega prikaza sistema Vox101.

Odstranjevanje zelenega ozadja pri podnapisih ni dalo zadovoljivih rezultatov, saj so se na robovih črk pojavljali artefakti. Ti nastanejo pri pretvorbi vektorskega besedila v rastrsko obliko, pri kateri robne slikovne točke vsebujejo mešanico barve besedila in ozadja. Enostavne funkcije za odstranjevanje ozadja na mešalni mizi ATEM jih ne odstranijo dovolj natančno, zato je učinkovitejše uporabiti program OBS, ki omogoča natančnejšo določitev razpona

barvnih odtenkov, ki jih sistem izloča.

Kadar mora tolmač zaradi prostorske omejitve stati pred dvorano, je primernejša uporaba kamere Blackmagic Micro Studio Camera 4K G2, saj zaradi majhnih dimenzij in tankega stojala le malo ovira pogled občinstva. Zeleno ozadje je na takšnem mestu za prisotne udeležence moteče, čeprav omogoča večjo prilagodljivost pri prenosu in montaži. Kot primernejša se zato kaže postavitev tolmača ob režiji, njegova slika pa se prenaša na zaslon ob odru, kjer je lahko prikazana tudi večje od naravne velikosti.

Z uporabo navidezne kamere v programu OBS se lahko video tolmača iz računalnika, kjer se odstranjuje ozadje, neposredno posreduje v Zoom. Udeležencem se lahko omogoči uporabo lastnega digitalnega ozadja, zlasti pri dogodkih, namenjenih osebam z okvaro sluha ali vida.

Pri osvetlitvi tolmača je treba preprečiti bleščanje in zagotoviti enakomerno osvetljenost, zato uporaba le ene luči nad kamero ni zadostna. Najprimernejša se je izkazala uporaba dveh luči pod kotoma $-45°$ in $+45°$, pri čemer mora biti ena nekoliko močnejša, da se na obrazu ohrani kontrast, potreben za zaznavanje mimike. Za dogodke, ki v celoti potekajo na spletu, tako zadostujeta dve luči, kamera na stojalu ter računalnik s programoma OBS in Zoom, povezan s kamero prek kartice za zajem videa.

5 Zaključek

Dostopnost dogodkov pomembno prispeva k širšemu vključevanju vseh posameznikov v družbo. Raziskava je pokazala, da je mogoče z ustreznim načrtovanjem dostopnost hibridnih dogodkov izboljšati že z razmeroma majhno količino dodatne opreme. V prihodnje bi bilo smiselno več pozornosti nameniti dostopnosti za slepe in slabovidne udeležence v dvorani ter nadaljnji evalvaciji sistema Vox101 Priporočljivo je, da organizatorji pri vseh dogodkih zagotovijo vsaj osnovno raven dostopnosti in jo obravnavajo kot sestavni del kakovostne izvedbe.

Zahvala

Raziskavo je delno podprla Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) v okviru programske skupine »Decentralizirane rešitve za digitalizacijo industrije ter pametnih mest in skupnosti« (P2-0425).

Literatura

[1] R. Torkar, "Zasnova in izvedba hibridnega video konferenčnega dogodka z zagotavljanjem dostopnosti," thesis, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, 2025. [Na spletu]. Dostopno na: https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=167997

[2] V. A. Pulkina and A. A. Chugunova, "The Specifics of Advertising and PR in the Organization and Conduct of Online Events," in *2021 Communication Strategies in Digital Society Seminar (ComSDS)*, Apr. 2021, pp. 74–78. [Na spletu]. Dostopno na: https://ieeexplore.ieee.org/document/9422847

[3] L. Kotar, "Digitalna dostopnost : nujna za nekatere, koristna za vse," thesis, Univerza na Primorskem, Pedagoška fakulteta, 2021. [Na spletu]. Dostopno na: https://repozitorij.upr.si/IzpisGradiva.php?id=17142

[4] A. Gyurica, "Zagotavljanje dostopnosti do prilagojenih vsebin na televizijskih sprejemnikih za uporabnike s senzorno oviranostjo," thesis, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, 2016. [Na spletu]. Dostopno na: https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=85619

[5] F. J. Cabrera Blázquez, M. Cappello, A. Lacourt, E. Munch, J. Radel-Cormann, and S. Valais, "Accessibility of audiovisual content for persons with disabilities," *IRIS Plus*, Apr. 2023. [Na spletu]. Dostopno na: https://rm.coe.int/iris-plus-2023-01en-accessibility-of-audiovisual-content-for-persons-w/1680ab1bdc

[6] ZDGNS, "O nas - ZDGNS." [Na spletu]. Dostopno na: https://zveza-gns.si/o-nas

[7] AFB, "Screen Readers." [Na spletu]. Dostopno na: https://www.afb.org/blindness-and-low-vision/using-technology/assistive-technology-products/screen-readers

[8] BOIA, "What Is OCR (Optical Character Recognition) for Accessibility?" Dec. 2023. [Na spletu]. Dostopno na: https://www.boia.org/blog/what-is-ocr-for-accessibility

[9] Zoom, "Adjusting the size of chats and captions," Mar. 2026. [Na spletu]. Dostopno na: https://support.zoom.com/hc?id=zm_kb&sysparm_article=KB0058202

[10] ——, "Accessibility." [Na spletu]. Dostopno na: https://www.zoom.com/en/accessibility/

[11] ——, "Managing manual captions," Dec. 2024. [Na spletu]. Dostopno na: https://support.zoom.com/hc/en/article?id=zm_kb&sysparm_article=KB0062490&cms_guid=false&lang=en-US

[12] Vox101, "Vox101 - Real-Time Translation & Display System," 2024. [Na spletu]. Dostopno na: https://vox101.com/

[13] Webex, "Webex Accessibility Features | Collaboration For Everyone." [Na spletu]. Dostopno na: https://www.webex.com/us/en/solutions/cross-platform/accessibility.html

[14] ZDGNS, "Znakovni jezik - ZDGNS." [Na spletu]. Dostopno na: https://zveza-gns.si/znakovni-jezik

[15] L. Horvat, "Slovenski znakovni jezik in njegova uporaba na javnem radiotelevizijskem servisu v Sloveniji (RTV SLO)) : diplomsko delo," thesis, Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor, 2021. [Na spletu]. Dostopno na: https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?id=80005

[16] Audire, "Audire," 2026. [Na spletu]. Dostopno na: https://audire.si/

[17] Zoom, "One platform to connect." [Na spletu]. Dostopno na: https://www.zoom.com

[18] BMD, "Micro Studio Camera – Tech Specs | Blackmagic Design." [Na spletu]. Dostopno na: https://www.blackmagicdesign.com/products/blackmagicmicrostudiocamera/techspecs/W-CST-14

[19] ——, "ATEM SDI – Tech Specs | Blackmagic Design." [Na spletu]. Dostopno na: https://www.blackmagicdesign.com/products/atemsdi/techspecs/W-APS-36

[20] SP-Quality, "Text on Top." [Na spletu]. Dostopno na: https://text-on-top.com/en/

[21] ——, "Text on Tap for Zoom." [Na spletu]. Dostopno na: https://www.text-on-tap.live/zoom.html