

# Komunikacijske tehnologije na 5,9 GHz za področje C-ITS

Andrej Štern

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana

E-pošta: andrej.stern@fe.uni-lj.si

## C-ITS Communication Technologies on 5.9 GHz

**Abstract.** ITS services in road scenarios rely on wireless access networks that provide reliable, low-latency, secure, spectrum-efficient and have sufficient capacity. The EU 5.9 GHz band was devoted to ITS road and rail transport without specifying communication technologies due to technological neutrality requirements. Currently, there are two distinct technology groups: microwave 802.11p/bd by ETSI and mobile LTE-V2X and NR-V2X by 3GPP. This paper presents a short overview of spectrum regulation and outlines some major issues that might lead to delayed implementation and road safety provisioning.

### 1 Uvod

Na storitvenih področjih inteligentnih transportnih sistemov ITS (angl. Intelligent Transport Systems) so vključene informacijske in komunikacijske tehnologije, s katerimi smo tako uporabniki kot tudi upravljavci prometne infrastrukture deležni večje prometne varnosti, učinkovitosti in udobnosti potovanja ter pri tem pomembno pripomoremo k varovanju okolja. Te vidike pri načrtovanju skupne prometne politike upošteva tudi Evropska komisija, ki je leta 2017 v Valletti na Malti sprejela deklaracijo [1] z vizijo nič (angl. Vision zero) smrtnih žrtev v prometu do leta 2050 na cestah v EU. S sprejetjem okvira politike EU za varnost v cestnem prometu za obdobje 2021–2030 [2] je bil določen tudi vmesni korak s prepolovitvijo žrtev in ranjenih do 2030.

Ta usmeritev EU se osredotoča na 4 ključna področja zagotavljanja varnosti. Najprej je pod drobnogledom kakovost cestne infrastrukture, ki v EU prispeva k več kot 30% prometnih nesreč. Na tem področju se skuša izboljšati kakovost, vzdrževanje in označbe cestišča, uvajati dodatne zaščitne ukrepe ter posodobiti prometno signalizacijo. Drugi element predstavlja aktivna in pasivna varnost vozil, kjer se s pomočjo nadgradnje predpisov za vozila in pešce (npr. GSR 2019/2144, GPR 78/2009) postavljajo vedno strožje zahteve. V EU je leto 2022 prelomno za uvedbo zmogljivejših varnostnih sistemov, kot so napredno zaviranje v sili, sistem za ohranjanje voznega pasu, prepoznavanje utrujenosti in nepozornosti voznika, samodejno prilagajanje hitrosti omejitvam in drugih [3]. S temi novostmi morajo biti od 6. julija naprej opremljeni vsi novi tipi vozil, za obstoječe modele pa velja prehodno obdobje 2 leti. Tretji element obravnava varno rabo cestnega prometa skozi ravnanje uporabnikov, npr. s spoštovanjem predpisov, s preprečevanjem motenj zaradi uporabe ali spremljanja

drugih naprav, z uporabo brez vpliva alkohola in z uporabo zaščitne opreme. Ker so nesreče zaenkrat še neizogibne, pokriva zadnji sklop področje izboljšanja oskrbe po dogodku z optimizacijo odzivnega časa reševalcev ter s povezovanjem organov za varnost v cestnem prometu in zdravstvenega sektorja [2].

K povečanju kazalnikov učinkovitosti uvedenih ukrepov znatno pripomore uvajanje načel medsebojne izmenjave sporočil oz. kooperativnosti med vozili samimi ter med vozili in infrastrukturo. Z njimi lahko vozila, vozniki, motoristi, kolesarji in pešci presežejo obseg lastnega območja zaznave, npr. z dosegom čutil, kamere ali radarja, in se tako z večjo časovno prednostjo pripravijo na ustrezne manevre.

Za področje kooperativnih ITS (C-ITS) v EU je leta 2016 istoimenska platforma [4] podala izhodišča za postopno uvajanje pripadajočih storitev glede na stopnjo avtonomnosti vožnje. Kot prikazuje slika 1, so storitve razvrščene po t.i. dneh (angl. days), od »dne 1« z osnovnim zaznavanjem in prevladujočimi varnostnimi storitvami, do naprednih storitev v »dnevu 4« s polnim medsebojnim sodelovanjem avtonomnih vozil brez potrebe po vozniku. V letu 2018 je platforma C-ITS predstavila še koncept povezane, sodelovalne in avtomatizirane mobilnosti CCAM (angl. Connected, Cooperative and Automated Mobility) [5] s poudarkom na zmanjševanju in odpravljanju voznikovih napak.

	Dan 1	Dan 2	Dan 3	Dan 4
Kooperativnost	Deljenje lastne lokacije	Deljenje zaznanih dogodkov	Deljenje bodočih manevrov	Polno avtonomno sodelovanje
Povezljivost	ITS-G5 & c-V2X	ITS-G5 & c-V2X	ITS-G5 & c-V2X & Nove tehn.	ITS-G5 & c-V2X & Nove tehn.
Avtonomnost	Le pomoč vozniku npr. ADAS	Le nekatere ceste, nujen voznik	Več cest lahko brez voznika	Vse ceste in površine brez voznika

Slika 1. Razvoj storitev C-ITS po korakih k avtonomnosti

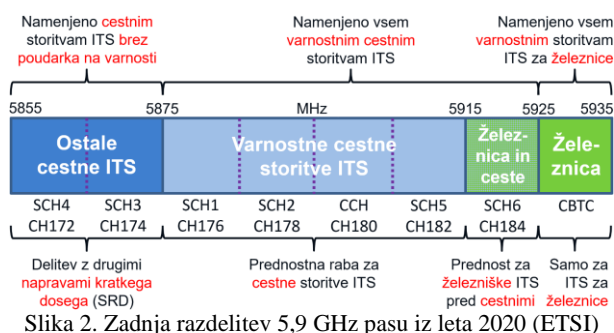
Uvajanje konceptov sodelovanja med udeleženci v prometu ustvarja številne pravne in tehnološke izzive. Med prvimi velja izpostaviti zagotavljanje enotnega delovanja po vsej EU, soobstoj naprednih vozil z drugimi udeleženci v prometu brez opreme C-ITS, nove izzive na področju kibernetske varnosti, varovanje osebnih podatkov in prevzemanje odgovornosti v okviru avtonomne vožnje. Tehnološki izzivi zajemajo izbiro primernih komunikacijskih tehnologij in možnosti hibridne povezljivosti za pokrivanje potreb novo nastalih storitev, soobstoj tehnologij s tradicionalnimi z izogibanjem motenj ter izbiro primernih frekvenčnih

pasov, ki bi hkrati omogočili dovolj pasovne širine in tudi zadosten komunikacijski doseg.

## 2 Določitev frekvenčnega pasu na 5,9 GHz

Evropski radijski spekter za uporabo varnostnih storitev ITS je bil prvotno določen z odločbo Komisije 2008/671/ES v frekvenčnem pasu 5875–5905 MHz [6], oz. skrajšano zapisano na 5,9 GHz. Vpeljava storitev ITS se v navedeni odločbi priznava kot bistven del celovitega pristopa k varnosti v cestnem prometu, saj prometno infrastrukturo in vozila dopolnjujejo z informacijskimi in komunikacijskimi tehnologijami, s čimer preprečujejo morebitne nevarnosti v prometu in zmanjšujejo število nesreč. Pas 5,9 GHz je tako zaznamoval osrednje frekvenčno področje, na katerem se sodobni C-ITS postavljajo tudi danes, čeprav so zaradi novih zahtev storitev in pomanjkanja pasovne širine ter zmogljivosti predvideni tudi dodatni pasovi do 80 GHz.

Po določitvi frekvenčnega spektra in prvih primerih uporabe so države članice, skupaj s podporo svetovne področne industrije, izvedle različne pobude v zvezi z uporabo frekvenčnega pasu, ki ni nujno namenjen uporabi le za cestne in varnostne storitve. Primeri takšnih pobud v EU so: konzorcij C2C-CC (angl. Car-2-Car Communications Consortium), platforma za harmonizacijo storitev C-Roads, združenje 5GAA (angl. 5G Automotive Association), aktivnosti znotraj 3GPP (angl. 3rd Generation Partnership Project) in dejavnosti standardizacijskih organov, npr. ETSI (angl. European Telecommunications Standards Institute). Oktobra 2020 je zato v EU začel veljati nov Izvedbeni sklep Komisije 2020/1426 [7] o harmonizirani uporabi radiofrekvenčnega spektra na področju 5875-5935 MHz za varnostne storitve inteligentnih prometnih sistemov (IPS), kot so npr. opozarjanje na ovire na cesti, približevanje vozila s prednostjo ali vožnjo v napačno smer. V razširjenem področju s skupno pasovno širino 60 MHz je zgornji 10 MHz pas oz. kanal od 5,925 do 5,935 GHz namenjen le ITS mestnih železnic (razen v posebnih primerih, kjer te ne obstajajo, takrat se lahko nameni tudi za ceste). V glavnini področja 5,875–5,915 GHz ima prednost raba varnih cestnih aplikacij ITS, prekrivajočih se 10 MHz 5,915–5,925 GHz pa se lahko uporablja za cesto in železnico s prednostjo železnice [7].



Slika 2. Zadnja razdelitev 5,9 GHz pasu iz leta 2020 (ETSI)

Na sliki 2 je prikazan celoten spekter ITS na 5,9 GHz, ki vključuje v spodnjem delu od 5,855-5,875 GHz prostor

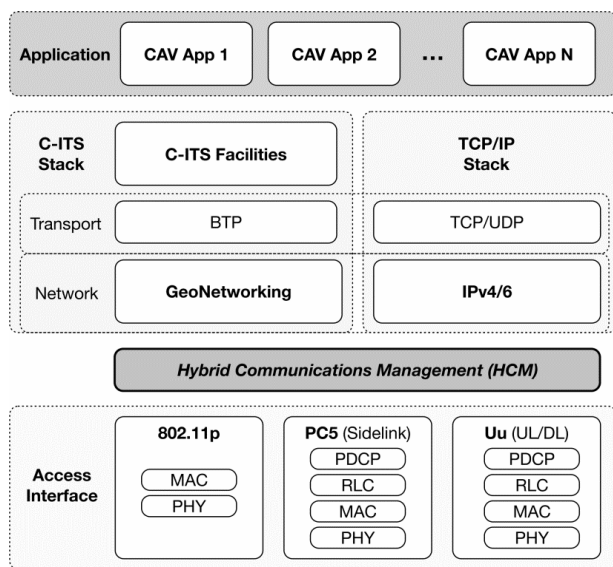
za ceste aplikacije, ki nimajo neposredne povezave z varnostjo, določen od CEPT ECC priporočila (08)01 naprej [8]. Sem spadajo tiste, ki se osredotočajo predvsem na prometno učinkovitost z upravljanjem prometnih tokov, npr. s koordinacijo povezane gruče vozil CACC (angl. Cooperative Adaptive Cruise Control), ter zagotavljajo dodatno pomoč voznikom ali vozilom samim. Poleg tega pa zagotavljajo tudi posodobitev lokalnih informacij, zemljevidov in sporočil, povezanih s prostorom in/ali časom, npr. priporočila hitrosti pred semaforji GLOSA (angl. Green Light Optimal Speed Advisory).

## 3 Tehnološka nevtralnost na pasu 5,9 GHz

Ob določitvi spektra na 5,9 GHz pripadajoče komunikacijske tehnologije za C-ITS niso bile predpisane, saj ETSI (npr. v Direktivah 2002/21/ES in 2018/1972) zagovarja načelo tehnološko nevtralne ureditve. To pomeni, da regulativni organ na pasu tehnologije ne predpisuje niti daje prednosti njeni uporabi. Obstaja pa možnost zagovarjanja posameznih tehnologij za pospeševanje posebnih storitev, katerih cilj je npr. povečanje učinkovitosti radiofrekvenčnega spektra, izboljšanje kakovosti, zmogljivosti in zanesljivosti storitev ter nadgradljivosti tehnologije. Tako je frekvenčni pas na 5,9 GHz po določbi določen le storitveno - kot primeren za tiste storitve ITS med vozili in/ali infrastrukturo, kjer se lahko bistveno izboljšajo učinkovitost transportnega sistema, varnost vseh uporabnikov cest in udobnost mobilnosti [6].

Na podlagi prizadevanj industrije sta bili razviti dve konkurenčni tehnologiji za komunikacijo kratkega dosega med vozili in njihovo okolico. Leta 2010 je bila določena izpeljanka iz WiFi omrežij, danes v Evropi poznana pod imenom ITS-G5. Njen fizični sloj pokriva namenski standard IEEE 802.11p, dodatno opisan v ETSI EN 302 663 [9]. Z razvojem 4. generacije (4G) mobilne telefonije so se v 3GPP različici 14 (R14) leta 2017 pojavile prve specifikacije namenske rabe celičnih omrežij za komunikacijo C-V2X (angl. Cellular Vehicle-to-anything). Med snovanjem teh specifikacij v letu 2016 je prvo poročilo platforme C-ITS [4] podalo mnenje, da nobena od takratnih tehnologij (ITS-G5 in C-V2X v nastajanju) ne more zagotoviti celotnega obsega potrebnih storitev za C-ITS. Za doseganje njihove zadostne kakovosti je bil predlagan koncept hibridne komunikacije, kjer se lahko izkoristijo prednosti dopolnjujočih se in ne nasprotujočih si tehnologij. Ker je v tem primeru potrebno zagotoviti prenos sporočil C-ITS, ki je neodvisen od dostopovne komunikacijske tehnologije, so se začele raziskovati skupne hibridne komunikacijske protokolne arhitekture [10, 11], kot je prikazana na sliki 3 [10]. Za uspešno sodelovanje obeh tehnologij je predviden vmesni sloj za upravljanje hibridnih komunikacij HCM (angl. Hybrid Communications Management), ki skrbi za izbiro, konfiguracijo in nadzor nad pravilno aktivacijo komunikacijskega profila za ITS-G5 ali C-V2X.

Pomemben mejnik pri uvajanju teh tehnologij v realno življenje je bila v letu 2019 predlagana in zavržena Delegirana uredba C(2019)1789 [12], s katero je Evropska komisija skušala razjasniti komunikacijsko tehnologijo C-ITS za vgradnjo v vozila. Zreli standard ITS-G5 je bil predlagan kot (trenutna) osnova za neposredno komunikacijo med vozili in infrastrukturo na kratke razdalje, mobilne tehnologije C-V2X pa kot dopolnilo za premagovanje razdalj. To je za nekatere akterje z večjim poudarkom na mobilnih različicah (npr. države Finska, Nemčija, Francija in Italija, proizvajalce tehnologij Qualcomm, Ericsson, Huawei in Samsung ter proizvajalce vozil BMW, Daimler, Ford in skupino PSA) kršilo načela tehnološke nevtralnosti. Kljub utemeljevanju Evropske komisije o nujnosti takojšnjega sprejetja za uveljavljanje sprejetih varnostnih ukrepov in podpori s strani proizvajalcev vozil Volkswagen, Renault in Toyota, ter ponudnikov opreme, npr. NXP, je ob glasovanju uredba bila zavržena.



Slika 3. Protokolni sklad za hibridne komunikacije V2X [10]

Tako je odločitev o vgradnji komunikacijskih tehnologij C-ITS v sodobna vozila še danes prepuščena samim proizvajalcem vozil. Ker se koridorji vzdolž evropskega cestnega omrežja TEN-T za tehnologijo 5G šele vzpostavljajo in testirajo, lahko to predstavlja znatno zakasnitev pri uveljavljanju ukrepov za povečanje varnosti prometa. Edini večji proizvajalec vozil, ki je z vgradnjo tehnologije ITS-G5 v nekatere modele začel serijsko že leta 2019, je Volkswagen (modeli Golf 8 in električni ID). Danes je v EU na 20.000 km cest in avtocest že nameščenih okoli 2500 pripadajočih obcestnih enot RSU (angl. Roadside Unit), med drugim trenutno 11 v Sloveniji na območju avtocestnega regionalnega nadzornega centra Kozina [13].

#### 4 Lastnosti tehnologij ITS-G5 in C-V2X

Tehnologija ITS-G5 uporablja levi del protokolnega sklada, predstavljenega na sliki 3. Zgornja plast aplikacij ITS se nanaša na uporabniške storitve ITS na področju varnosti, učinkovitosti in udobja v prometu. Te aplikacije

se zagotovijo s prenosom sporočil, določenih v podporni plasti »C-ITS Facilities«, kjer se zagotavlja podatkovne strukture za shranjevanje, združevanje in vzdrževanje podatkov različnih vrst in virov. Omrežni in transportni sloj imata dve možnosti, za varnostne in ostale ne varnostno usmerjene aplikacije. Transportni protokol BTP (angl. Basic Transport Protocol) skrbi za uokvirjanje sporočil, npr. CAM, DENM, IVIM, SPATEM in ostalih, ter njihovo posredovanje v obliki ne-povezanega in ne-zanesljivega prenosa, podobno kot poznani protokol UDP. Na omrežnem nivoju je uporabljen namenski protokol GeoNetworking, ki podpira neposredno komunikacijo in različne topologije geografsko odvisnih naslavljanj: geo-unicast, geo-broadcast, geo-anycast, oddajo preko enega komunikacijskega skoka in topološko naslavljanje. Aplikacije, ki niso varnostne, uporabljajo internetne protokole, zlasti IPv6 s TCP in UDP.

ITS-G5 ima fizično in povezavno plast 802.11p izpeljano iz WiFi različice 802.11a, standardizirane za uporabo v ZDA na 5 GHz od leta 1999 naprej. Ker se je standard WiFi do danes neprestano nadgrajeval, npr. 802.11b/g/n/ac/ax, je bila leta 2019 ustanovljena delovna skupina IEEE 802.11bd za razvoj naslednje generacije mikrovalovnih tehnologij V2X, ki bi zagotavljala večjo prepustnost, zanesljivost, učinkovitost in podaljšan doseg z uporabo sodobnih pristopov, uporabljenih v različici 802.11ac (WiFi 5). Primerjava nekaterih značilnosti obeh dostopovnih tehnologij ITS-G5 je predstavljena v tabeli 1 [14].

Tabela 1. Primerjava lastnosti 802.11p in 802.11bd

Lastnost/Mehanizem	802.11p	802.11bd
Osnovana na	802.11a	802.11ac
Frekvenčni pas	5,9 GHz	5,9 GHz/60 GHz
Širina kanala	10 MHz	10/20 MHz
Razmik podnosilnikov	156,25 kHz	Od 78,125 do 312,5 kHz
Kanalsko kodiranje	BCC	LDPC
Ponovitve oddaje	Brez	Odvisno od zasedenosti
Ciklični prefiks (CP)	1,6 us	1,6 us in 3,2 us
Št. prostorskih tokov	1	Več
Rel. hitrost delovanja	250 km/h	500 km/h
Efektivni doseg	~1 km	Do 2 km
Pričakovana zakasnitev (E2E)	<100 ms	0,5-10 ms (pri 300 m) 10-100 ms (pri 2 km)
Prenosna hitrost	~6 Mbit/s	~15-23 Mbit/s

Uporaba scenarijev V2X z mobilnimi tehnologijami poteka od 3GPP različice R14 naprej [15]. Prva izvedba LTE-V2X iz R14 in R15 ni zmogla delovati z nizkimi zakasnitvami in visoko zanesljivostjo, s hitrimi podatkovnimi prenosi ter ponuditi zadostno zmogljivost omrežja, kar se zahteva pri prenosu kritičnih varnostnih opozoril in pri usklajevanju vožnje v tesnih gruclah vozil oz. kamionov. Zato je različica R16 z uvedbo omrežja nove generacije 5G predstavila nov radijski vmesnik NR (angl. New Radio), ki zagotavlja izjemno zanesljive komunikacije z nizko zakasnitvijo s posebno podmnožico tehnologij NR-V2X. Med procesom standardizacije se je 3GPP odločil, da bo novejši NR-V2X raje dopolnjeval LTE-V2X kot pa ga nadomeščal, saj je LTE-V2X že nameščen in NR-V2X z njim tehnološko ni združljiv. Tako se za novo opremljena vozila pričakuje

vgradnjo skupnih radijskih dostopov RAT (angl. Radio Access Technologies): LTE PC5 in NR PC5 za neposredno komunikacijo med vozili, imenovano tudi »Sidelink«, ter LTE Uu in NR Uu za komunikacijo prek obcestne infrastrukture. Prav ta raznolikost in nezdržljivost tehnologij znotraj mobilne družine je večkrat omenjena kot omejujoč dejavnik za uveljavitev. Primerjava nekaterih značilnosti obeh dostopovnih mobilnih tehnologij V2X je predstavljena v tabeli 2 [16].

Tabela 2. Primerjava lastnosti LTE-V2X in NR-V2X

Lastnost/ Mehanizem	LTE-V2X R14&R15	NR-V2X R16
Osnovana na	4G/LTE	5G/NR
Frekv. pas	5,9 GHz	5,9 GHz do 52,6 GHz
Širina kanala	10/20 MHz	10/20/40/60/80/100 MHz
Razmik podnosilnikov	15 kHz	Sub-6 GHz: 15-60 kHz mmWave: 60, 120 kHz
MCS	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Multipleks	FDM	TDM
Kanalsko kodiranje	Turbo (data) Conv. (control)	LDPC (data) Polar (control)
Ponovitve	Blind	HARQ
Zakasnitev E2E	~50 ms	0,5-10 ms (500 m doseg) 10-100 ms (2 km doseg)
Prenosna hitrost	~13-16 Mbit/s	~30-60 Mbit/s

## 5 Sklep

Z uvedbo storitev C-ITS si Evropska unija prizadeva slediti zadanemu cilju o zmanjšanju in celo odpravi prometnih nesreč do leta 2030 oz. 2050. Zato si Komisija prizadeva s predlogi postopnih uveljavitev, ki načeloma zaradi zrelosti in stanja tehnike daje prednost mikrovalovnim tehnologijam, hkrati pa spodbuja razvoj in vpeljavo celičnih različic. Področje 5,9 GHz s skupno pasovno širino 60 MHz za cestni promet tako postaja testni poligon, kjer morajo te tehnologije sobivati, se izogibati motenju drugih in se celo dopolnjevati v obliki hibridnih rešitev. V Sloveniji je v okviru platforme C-Roads zaenkrat lokalno vzpostavljena le tehnologija ITS-G5, izvajajo pa se številne aktivnosti, ki bi v naslednjih letih omogočile tudi uporabo zmogljivejših različic NR-V2X iz mobilnih omrežij.

## Literatura

- [1] Evropska komisija: Deklaracija o varnosti cestnega prometa, Valletta, Malta, 2017, [https://eumos.eu/wp-content/uploads/2017/07/Valletta\\_Declaration\\_on\\_Improving\\_Road\\_Safety.pdf](https://eumos.eu/wp-content/uploads/2017/07/Valletta_Declaration_on_Improving_Road_Safety.pdf)
- [2] Evropska komisija, Generalni direktorat za mobilnost in promet: Next steps towards 'Vision Zero' - EU road safety policy framework 2021-2030, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2832/391271>
- [3] Evropska komisija, New rules to improve road safety and enable fully driverless vehicles in the EU, 2022, [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_22\\_4312](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_4312)

- [4] C-ITS Platform, Final Report, januar 2016, <https://transport.ec.europa.eu/system/files/2016-09/c-its-platform-final-report-january-2016.pdf>
- [5] C-ITS Platform, Phase II, CCAM, september 2017, [https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/intelligent-transport-systems/cooperative-connected-and-automated-mobility-ccam\\_en](https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/intelligent-transport-systems/cooperative-connected-and-automated-mobility-ccam_en)
- [6] Evropska komisija, Odločba 2008/671/ES o usklajeni uporabi radiofrekvenčnega spektra v frekvenčnem pasu 5875-5905 MHz za varnostne aplikacije ITS, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008D0671>
- [7] Evropska komisija, Izvedbeni sklep Komisije 2020/1426 z dne 7. oktobra 2020 o harmonizirani uporabi radiofrekvenčnega spektra v frekvenčnem pasu 5875-5935 MHz za varnostne aplikacije IPS, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020D1426>
- [8] CEPT ECC Recommendation (08)01, Use of the band 5855-5875 MHz for Intelligent Transport Systems (ITS), 2008-2020, <https://docdb.cept.org/download/1835>
- [9] ETSI, EN 302 663 V1.3.1, ITS-G5 Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band, 2020, [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302699/302663/01.03.01\\_60/en\\_302663v010301p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302699/302663/01.03.01_60/en_302663v010301p.pdf)
- [10] R. Jacob et al., Hybrid V2X Communications: Multi-RAT as Enabler for Connected Autonomous Driving, 29th Annual International Symposium PIMRC, 2018, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8580953>
- [11] Naudts, D. et al., Vehicular Communication Management Framework: A Flexible Hybrid Connectivity Platform for CCAM Services, MDPI, Future Internet, <https://5g-mobix.com/assets/files/futureinternet-13-00081.pdf>
- [12] Evropska komisija, Delegirana uredba Komisije (EU) o dopolnitvi Direktive 2010/40/EU Evropskega parlamenta in Sveta v zvezi z uvajanjem in operativno uporabo sodelovalnih inteligentnih prometnih sistemov, 2019, [https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=C\(2019\)1789&lang=sl](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=C(2019)1789&lang=sl)
- [13] Spletni zemljevid Evropske komisije, TENtec Interactive Map Viewer, <https://ec.europa.eu/transport/infrastructure/tentec/tentec-portal/map/maps.html>
- [14] Shrestha, R. et al., Evolution of V2X Communication and Integration of Blockchain for Security Enhancements, Electronics, izdaja 9/9, 2020, <https://www.mdpi.com/2079-9292/9/9/1338>
- [15] Harounabadi, M. et al., V2X in 3GPP Standardization: NR Sidelink in Release-16 and Beyond, IEEE Comm. Standards Mag., vol. 5, no. 1, 2021, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9392777>
- [16] Naik, G. et al., IEEE 802.11bd & 5G NR V2X: Evolution of Radio Access Technologies for V2X Communications, IEEE Access, vol. 7, 2019, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8723326>