

Pilotna postavitve C-ITS tehnologije ITS-G5 v Sloveniji

Andrej Štern

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana
E-pošta: andrej.stern@fe.uni-lj.si

Pilot deployment of C-ITS technology ITS-G5 in Slovenia

Abstract. Cooperative ITS systems are based on communication technologies that enable vehicles and road infrastructure to be electronically visible and interactive. Slovenia is the core member of EU platform C-Roads with the main goal to link C-ITS pilot deployment projects across EU in order to ensure the interoperability of the C-ITS services for cooperative, connected and automated driving reality.

This paper summarizes the Slovenian ITS-G5 deployment on motorway A1 from Postojna to Divača, according to C-Roads evaluation and assessment plan, cross-border interoperability requirements, and other essential activities that will provide the European C-ITS harmonisation.

1 Uvod

Povečanje varnosti prometa z vpeljavo naprednih tehnoloških rešitev je eden temeljnih ciljev skupne evropske prometne politike. V letu 2020 smo v EU kljub 17% znižanju statistike zaradi pandemije za posledicami nesreč izgubili 18.800 oseb [1], približno 5-krat toliko pa jih je utrpelo poškodbe z resnimi posledicami. Glavni tehnološki vzvod za doseg ciljev je vpeljava kooperativnih inteligentnih transportnih rešitev C-ITS kot nadgradnje uveljavljenih naprednih sistemov za pomoč vozniku, ki delujejo s pomočjo lastnega tipanja in zaznavanja okolice. Sistemi C-ITS tako predstavljajo dodaten kooperativen sloj z izmenjavo informacij med deležniki s pomočjo radijskih tehnologij na namenskem frekvenčnem področju na 5,9 GHz. Z njimi postanejo vozila, prometni znaki in druga občestna infrastruktura elektronsko vidni in ozaveščeni tudi preko meja zaznave kamer in mikrovalovnih radarjev.

Kooperativnost v imenu storitev pa ne predstavlja zgolj tehnologije v obliki mikrovalovne ETSI ITS-G5 ali mobilne C-V2X, pač pa tudi sodelovanje med različnimi akterji, npr. upravljavci infrastrukture, proizvajalci vozil, logističnimi podjetji, zakonodajnimi organi in civilno družbo. Tako se je v Evropi v zadnjih letih izvedlo več sodelovanj z delnim združevanjem akterjev, npr. projekta NordicWay [2] in InterCor [3], konzorcij Car2Car [4] in platforma C-Roads [5], katere prvi rezultati v slovenskem prostoru so v nadaljevanju tudi predstavljeni.

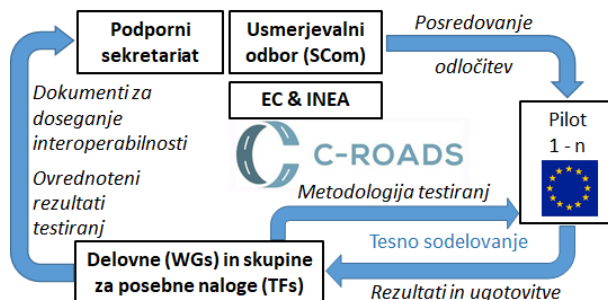
2 Platforma C-Roads

Platforma C-Roads je bila z začetnimi 8 državami (Avstrija, Belgija, Francija, Nemčija, Nizozemska,

Češka, Velika Britanija in Slovenija) vzpostavljena v okviru financiranja CEF leta 2016, nabor sodelujočih pa se je do danes razširil na 18 jedrnih članic, 7 pridruženih in 43 predstavnikov večjih evropskih mest [5].

V skladu s prometno politiko EU se C-Roads osredotoča na tri pomembne stebre varnostne politike na evropskih cestah: povečanje varnosti, zagotavljanje učinkovitosti in zmanjševanje vplivov na okolje. Vzpostavljeni mehanizmi omogočajo pilotno uvajanje interoperabilnih storitev C-ITS z vključevanjem zainteresiranih partnerjev iz zasebnega in javnega sektorja, kjer so npr. ministrstva, upravljavci cest, telekomunikacijski operaterji, avtomobilska industrija, transportna podjetja in raziskovalne inštitucije.

Delovni cikel platforme C-Roads predstavlja tesno sodelovanje med vodstvom, izvedenimi piloti po posameznih državah in delovnimi skupinami (WG), med katere so porazdeljena področja dela, npr. organizacijski vidiki, določitev nabora storitev, priprava tehnoloških osnov, zagotavljanje interoperabilnosti in ocenjevanje učinkov pilotov.



Slika 1: Delovni cikel platforme C-Roads

Začetne implementacije storitev zajemajo primere uporabe iz scenarija »C-ITS Day 1«. Med njimi prevladujejo skupine opozoril na cestna dela in druge nevarne lokacije, prenosi občestne signalizacije v vozilo ter zbiranje podatkov iz vozil.



Slika 2: Storitve po scenariju »C-ITS Day 1«

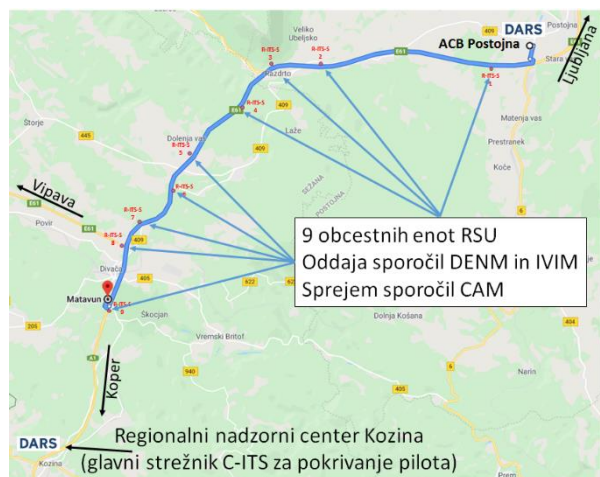
3 Pilotni projekt ITS-G5 v Sloveniji

V okviru platforme C-Roads je pilotni projekt C-ITS z mikrovalovno tehnologijo ITS-G5 zaživel leta 2019 na odseku avtoceste A1 med Postojno in Divačo. Ta odsek je bil namerno izbran zaradi ekstremnih vremenskih razmer, zlasti v zimskem času (močan veter, megla, snežne nevihte), kar je pogosto povzročalo prometne nesreče, v katerih je bilo udeleženih celo do 70 vozil (primer megle v letu 2016). Izhodiščno pokrivanje bolj obremenjenih prometnih poti z višjo oceno tveganja predstavlja tudi glavno vodilo pri bodočih širitvah kooperativnih sistemov po Sloveniji in Evropi.

Tabela 1: Pregled realnih dogodkov na testni trasi ITS-G5 Postojna - Divača v obdobju prvih 5 mesecev leta 2021

Dogodek	Število dogodkov	Skupno trajanje	Povprečno trajanje
Delo na cesti	45	291 ur	388 min
Okvara vozila	44	44,1 ur	60,2 min
Ovire na cesti	31	17,2 ur	33,2 min
Zastoji	24	39,5 ur	98,8 min
Vremenski	7	40,2 ur	344,7 min
Nesreča	6	9,2 ur	92,3 min
Ostalo	1	0,8 ur	48 min

Na tej trasi je družba DARS s pomočjo zunanjih izvajalcev na drogove cestnih vremenskih postaj, video nadzornih kamer in portale s spremenljivo prometno informativno signalizacijo namestila 9 obcestnih enot RSU (angl. Roadside Unit) s tehnologijo ITS-G5.



Slika 3: Prikaz lokacije in postavitve pilota C-ITS na A1

Enote RSU so krmiljene in napajane prek vmesnika PoE iz bližnje komunikacije omarice, povezane v regionalni nadzorni center (RNC) Kozina, za časovno sinhronizacijo pa se uporablja vgrajen sprejemnik GNSS.

Za namene dodatnih testiranj na različnih lokacijah, npr. na testnem poligonu za prikaz elektronskega označevanja mesta dogodka, je zagotovljena tudi premična enota RSU, nameščena na prikolico za prevoz prometne signalizacije. Povezljivost RSU v mobilnih in avtonomno delujočih primerih je zagotovljena s pomočjo širokopasovne mobilne tehnologije LTE.



Slika 4: Namestitev enote RSU na ogrodje znaka SPIS

Testiranje obcestne infrastrukture poteka z vozili z nameščeno napravo OBU (angl. Onboard Unit) z več komunikacijskimi vmesniki, časovno sinhronizacijo GNSS in inercialnimi senzorji. V pilotni fazi, kjer sprejem sporočil čez integriran vmesnik ITS-G5 in prikaz na osrednjem zaslonu še ni možen (razen v nekaterih vozilih koncerna VW in odprtim WiFi v primeru Tesle), je strojna arhitektura od sprejema do prikaza postavljena večplastno. Najprej radijski modul na strehi vozila sprejme sporočilo, ga preko Ethernet vmesnika posreduje v lokalno mrežo, od tam pa preko tehnologije WiFi na tablični računalnik, ki služi kot nadomestek vgrajenega zaslona HMI (angl. Human-Machine Interface).

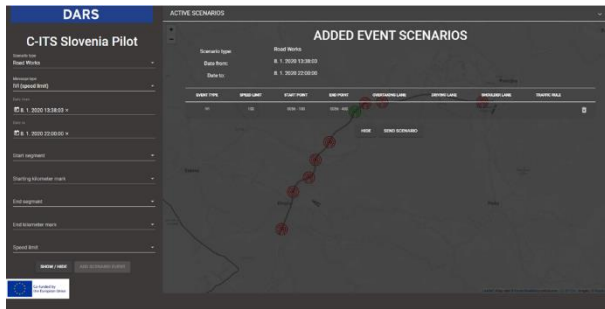


Slika 5: Oprema v vozilu: OBU in HMI

V prvi fazi testiranj so se podatki za pošiljanje proti vozilu (I2V) ustvarili v spletnem vmesniku za urejanje namenskih testnih dogodkov, saj je njihovo realno število relativno nizko (Tabela 1), predvidijo pa se lahko samo določene zapore zaradi vzdrževalnih del.

S pomočjo spletnega vmesnika na sliki 6 se tako določi vrsta dogodka (npr. delo na cesti), potrebni ukrepi (npr. zmanjšanje hitrosti na 100 km/h), vrsta sporočila (npr. DENM, IVI), geografsko področje veljavnosti dogodka, časovna veljavnost dogodka, lahko pa se nastavi tudi območje, na katerem bo dogodek sporočen čez eno ali več RSU.

V smeri iz vozila proti nadzornemu centru (V2I) in v okolico (V2V) se oddajajo sporočila CAM (angl. Cooperative Awareness Messages) s podatki o lokaciji, hitrosti in dinamiki gibanja vozila. Pogostost oddaje se spreminja glede na hitrost vozila in lahko doseže največ 10 Hz (trenutno testno deluje s hitrostjo do 2 Hz).

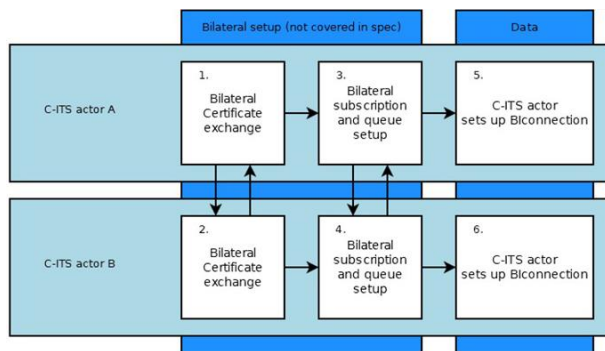


Slika 6: Spletni vmesnik za ustvarjanje testnih dogodkov

Arhitektura C-ITS se na segmentu zbiranja resničnih podatkov ter njihovega realno-časovnega posredovanja uporabnikom neprestano izpopolnjuje. V okviru platforme C-Roads (in v sorodnih projektih) so bili tako določeni obvezni gradniki razširljive arhitekture C-ITS v obliki t.i. hibridne rešitve. Hibrid se nanaša na sodobno komplementarno uporabo mikrolavovnih tehnologij ITS-G5, osnovanih na vmesnikih IEEE 802.11p in 802.11bd, ter mobilnih tehnologij v omrežjih 4G in 5G s profili C-V2X oz. 5G NR V2X.

Osrednji gradnik v razširjeni arhitekturi tako predstavlja t.i. centralna postaja C-ITS-S (angl. Central ITS Station) z glavnimi nalogami zbiranja, obdelave, filtriranja in ciljnega posredovanja podatkov do občestnih enot R-ITS-S (angl. Roadside ITS Station) oz. v povratni smeri do centrov za nadzor prometa TCC (angl. Traffic Control Centre).

Interoperabilnost v hibridnih načinih komunikacije in pri povezovanju med različnimi cestnimi operaterji oz. regijami bo zagotovljena z vpeljavo namenskega protokola C-ITS IP BI (angl. IP Basic Interface) [6].

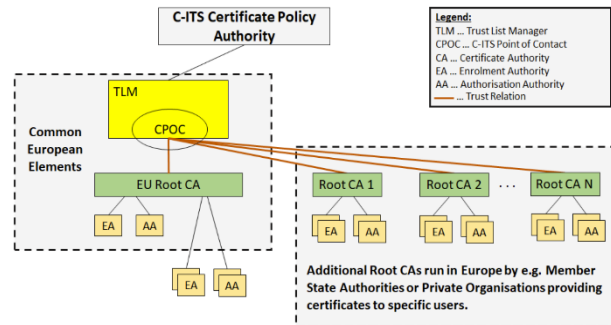


Slika 7: Vzpostavitev komunikacije prek vmesnika IP BI [6]

Kot kaže prejšnja slika, komunikacija poteka s pomočjo nastajajočega skupnega evropskega modela zaupanja. Model temelji na evropski certifikacijski politiki za C-ITS, ki se kot temeljna tehnična podlaga sklicuje na ustrezne standarde ETSI za certifikate in upravljanje PKI.

Ker enoten evropski certifikat za C-ITS še ne obstaja [7], so za testiranje interoperabilnosti med različnimi državami dovoljene posamezne rešitve, uvrščene na skupno listo ECTL (angl. European Certificate Trust List). V Sloveniji zato zaenkrat uporabljamo rešitev češkega podjetja TeskaLabs, ki je bila avgusta 2020 med prvimi odobrena za čezmejna testiranja v okviru platforme C-Roads. Z uvrstitvijo na nivo L0 ECTL je

Slovenija tako pridobila možnost uporabe OBU DARS na avtocestah vseh drugih držav z uvrščenimi certifikati, katerih seznam se počasi dopolnjuje.



Slika 8: Arhitektura evropskega C-ITS modela zaupanja [7]

4 Prvi rezultati testiranja

Testiranje in ovrednotenje delovanje sistema ITS-G5 v Evropi je bilo v zadnjih 2 letih zaradi znanih omejitev pri gibanju in druženju precej okrnjeno. Uradni zaključki na platformi C-Roads 1 so premaknjeni na konec 2021 in tudi v Sloveniji so se v obdobjih manjših omejitev izvedle le meritve tehničnih parametrov vzpostavljene infrastrukture. Ocena vpliva posameznih storitev C-ITS s pomočjo realnih voženj z vključevanjem statistične množice uporabnikov se tako načrtuje še v naslednjih mesecih. Velik del testiranja uporabniških odzivov na vzporedno mobilno aplikacijo DARS Promet+ pa je bil z uporabniki izveden tudi v simulatorjih vožnje.

4.1 Testiranje radijske dosegljivosti ITS-G5

Po vzpostavitvi testnega poligona je bila izdelana analiza radijskega dosega komunikacije med vozili in RSU. Vsako vozilo je v sporočilu CAM s frekvenco 1 Hz oddajalo anonimizirane podatke o tipu in vlogi vozila, hitrosti in smeri vožnje ter pospešku in lokaciji vozila, na RSU pa so se podatki zbrali, ožigosali s podatki RSU in poslali na centralni strežnik. Vsaka testna vožnja se je večkrat ponovila, saj radijski pogoji niso vedno enaki. Tako je npr. za RSU pri Pivki znašal najdaljši sprejem med 214 m in 336 m s srednjo vrednostjo 282 m in odklonom 43,6 m.

Tabela 2: Podatki o radijskih dosegih sporočil CAM

Sprejemnik	Najkrajši	Najdaljši	Povprečje
RSU 1	214 m	336 m	282 m
RSU 2	180 m	254 m	214 m
RSU 3	182 m	454 m	334 m
RSU 4	122 m	219 m	179 m
RSU 5	91 m	598 m	341 m
RSU 6	184 m	241 m	210 m
RSU 7	192 m	305 m	252 m
RSU 8	302 m	461 m	399 m
RSU 9	300 m	691 m	436 m

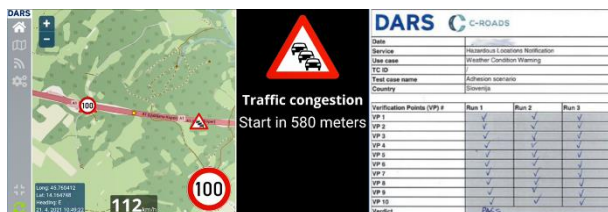
Tabela 2 podaja precejšnja odstopanja v izmerjenih dosegih komunikacije V2I. Pri podrobnem pregledu parametrov namestitve RSU in okoliške trase avtoceste je bilo ugotovljeno, da najboljši rezultati izvirajo iz ravnih in dobro preglednih odsekov (npr. RSU 9 pri Divači) brez radijskega zastiranja z okoliškimi objekti (portali, table, visoke ograje).

4.2 Testiranje prenosa prometnih dogodkov

V naslednjem koraku se je izvedel preizkus celotne verige prenosa dogodka iz centralne aplikacije do vozila. V tem primeru je pomembno zagotoviti skladnost implementiranih storitev (angl. C-ITS services) in njihovih primerov uporabe (angl. use case) z dokumentacijo platforme C-Roads, saj je od upoštevanja odvisen tudi naslednji korak - čezobmejna testiranja.

Prva storitev za obveščanje o nevarnih lokacijah HLN (angl. Hazardous Locations Notification) je vsebovala naslednje primere: HLN-OR (angl. Obstacle on the road), HLN-AWWD (angl. Alert Wrong Way Driving), HLN-TJA (angl. Traffic Jam Ahead), HLN-AZ (angl. Accident Zone) in HLN-WCW (angl. Weather Condition Warning). Druga storitev je zajemala obvestila o delu na cesti RWW (angl. Road Works Warning), med njimi RWW-LC (angl. Lane Closure) in RWW-RC (angl. Road Closure). Ta začetni nabor storitev je bil kasneje tudi razširjen z dodatnimi primeri uporabe in storitvami, kot je prenos prometne signalizacije v vozilo IVS (angl. In-Vehicle Signage).

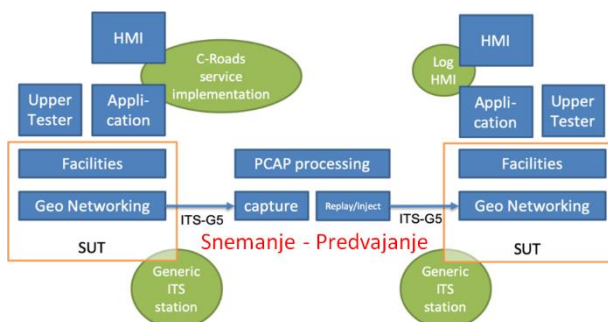
Testiranje je potekalo z nastavitvijo oddaje časovno ustreznih dogodkov po posameznih enotah RSU, s sprotnim preverjanjem prikaza na tabličnem računalniku v vozilu in izpolnjevanjem verifikacijskega poročila.



Slika 9: Primer obrazca z verifikacijskimi točkami in prikaza na zaslonu HMI

4.3 Čezmejna testiranja

V zadnji fazi so bila predvidena križna testiranja s sosednjimi državami, ki zaradi ukrepov omejenega gibanja zaradi pandemije niso bila izvedljiva. Zato je bila uvedena nadomestna možnost izmenjave posnetih dnevniških zapisov [8] v formatu PCAP. Ti so nastali z realnimi voznjami in snemanji v lastni državi, kjer je OBU shranjeval sprejete okvirje iz okoliških RSU.



Slika 10: Mehanizem snemanja in predvajanja datotek PCAP v časovnem čezmejnem določanju interoperabilnosti

Pri snemanju so bila zajeta sporočila ustrezno zavarovana s certifikatom AA (angl. Authorization Authority), da se je lahko izvedel preizkus vgrajene varnosti na obeh straneh. Ta certifikat AA je bil datotekam PCAP tudi priložen, zato so lahko bile v sosednjih in ostalih državah predvajane njihovim enotam OBU. S tem se je preverilo skladnost tudi višje-nivojskih protokolov in profilov storitev, testiranja pa so bila za slovensko stran uspešna.

5 Sklep

Testiranja zmogljivosti, uporabnosti in evropske skladnosti tehnologije ITS-G5 so pomemben korak k povečanju prometne varnosti. Glavni cilji aktivnosti področnih evropskih projektov so določitev uporabnih scenarijev, njihovo ovrednotenje v realnih okoljih ter priprava ustreznih zakonodajnih podlag. Kljub zrelosti tehnologije ITS-G5 in njenih prvih serijskih implementacijah v vozilih pa na nivoju EU še ni odločeno, katera komunikacijska tehnologija bo prevladala. Tako se v Sloveniji pod okriljem družbe DARS razvija tudi že platforma za hibridni model, kjer bosta ITS-G5 in C-V2X sobivali in se ustrezno dopolnjevali.

Literatura

Večina neopredeljenih virov izhaja iz internih gradiv platforme C-Roads, evropskih poročil z omejenim dostopom do delovnih različic in posredovanih podatkov družbe DARS d.d. Ostali javno dostopni viri so navedeni v nadaljevanju.

- [1] Evropska komisija, „Road safety,“ april 2021. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_1767.
- [2] NordicWay. <https://www.nordicway.net/>.
- [3] InterCor. <https://intercor-project.eu/>.
- [4] Car-to-car konzorcij. <https://www.car-2-car.org/>.
- [5] Platforma C-Roads. <https://www.c-roads.eu/>.
- [6] C-Roads WG2/TF4, „C-ITS IP Based Interface Profile, Version 2.0.2 (draft),“ junij 2021.
- [7] Evropska komisija, „Certificate Policy for Deployment and Operation of European C-ITS,“ junij 2018. [Elektronski]. Available: https://ec.europa.eu/transport/sites/default/files/c-its_certificate_policy-v1.1.pdf.
- [8] C.-R. WG2/TF5, „Cross-Border Testing: PCAP Exchange v0.2“, 2020.

Zahvala

Avtor se zahvaljuje družbi DARS d.d. za sodelovanje na projektih C-ITS, zaupano vlogo slovenskega koordinatorja delovne skupine 3 (C-Roads WG3), posredovane statistične podatke, slikovna gradiva in dokumentacijo. Prav tako velja zahvala matičnemu laboratoriju za telekomunikacije na UL FE za vzpodbudno delovno okolje in podporo pri uresničevanju zadanih ciljev.