

# Modeliranje sustava temeljenog na V2I komunikaciji za upravljanje pješačkim prijelazom

---

**Tolić, Boris**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:903405>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-13**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -  
Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Boris Tolić**

**MODELIRANJE SUSTAVA TEMELJENOG NA V2I KOMUNIKACIJI ZA  
UPRAVLJANJE PJEŠAČKIM PRIJELAZOM**

**DIPLOMSKI RAD**

**ZAGREB, kolovoz 2023.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**DIPLOMSKI RAD**

**Boris Tolić**

**MODELIRANJE SUSTAVA TEMELJENOG NA V2I KOMUNIKACIJI ZA  
UPRAVLJANJE PJEŠAČKIM PRIJELAZOM**

**MODELING A SYSTEM BASED ON V2I COMMUNICATION TO CONTROL  
PEDESTRIAN CROSSING**

Mentor: prof. dr. sc. Štefica Mrvelj  
Student: Boris Tolić, 2405183041

**ZAGREB, kolovoz 2023.**

## ZAHVALA

Zahvaljujem se profesorici dr. sc. Štefici Mrvelj na velikom strpljenju prilikom izrade diplomskog rada i stručnoj pomoći , kao i na ustrajanju da mi studenti dobijemo najbolje moguće znanje i stručnost kroz cijelo vrijeme našeg školovanja na Fakultetu prometnih znanosti.

Zahvaljujem se roditeljima na pomoći i na kvalitetnom usmjeravanju kroz život i odgoju te predanosti koju su posvetili našoj obitelji, kao i mojoj sestri Katici Tolić Matekalo što me je usmjeravala i savjetovala kroz školovanje.

Zahvaljujem se profesorima, asistentima i predavačima na Fakultetu prometnih znanosti i kolegicama i kolegama s kojima je bilo zadovoljstvo studirati.

Zahvaljujem se supruzi Ivani Tolić i našim sinovima Ivanu i Luki na strpljenju, što su mi bili i jesu konstantna podrška.



Sveučilište u Zagrebu  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb  
**Diplomski studij**

## P O T V R D A

kojom se potvrđuje da je student

**Boris Tolić, 2405183041**

---

izradio diplomski rad pod naslovom (naziv rada na hrv. i engl. jeziku)

**MODELIRANJE SUSTAVA TEMELJENOG NA V2I KOMUNIKACIJI ZA**

---

**UPRAVLJANJE PJEŠAČKIM PRIJELAZOM**

---

**MODELING A SYSTEM BASED ON V2I COMMUNICATION TO CONTROL**

---

**PEDESTRIAN CROSSING**

---

u skladu sa zadanim zadatkom, tezama i pravilima struke te može konačnu (finalnu) verziju diplomskog rada i Potvrdu u elektroničkim oblicima (u PDF-u, pod nazivima za rad „studentov JMBAG.pdf”, a za Potvrdu „potvrda\_studentovJMBAG.pdf”) poslati na adresu elektroničke pošte: [referadaiknjiznica@fpz.unizg.hr](mailto:referadaiknjiznica@fpz.unizg.hr)

Nadzorni nastavnik:

  
prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

---

*Ime i prezime nastavnika/nastavnice*

Zagreb, 18.9.2023

Zagreb, 17. travnja 2023.

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 7266

Pristupnik: **Boris Tolić (2405183041)**  
Studij: Promet  
Smjer: Informacijsko-komunikacijski promet

Zadatak: **Modeliranje sustava temeljenog na V2I komunikaciji za upravljanje pješačkim prijelazom**

### Opis zadatka:

Definirani tehničko-tehnološke zahtjeve predloženog rješenja sustava za upravljanje pješačkim prijelazom. Predložiti model arhitekture i modele za opis interakcije između objekata sustava za upravljanje pješačkim prijelazom. Usporediti predloženo rješenje dinamičkog interaktivnog pješačkog prijelaza s drugim razvijenim sličnim rješenjima.

Mentor:



---

prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:



---

## Sadržaj

Sadržaj .....	1
1. Uvod .....	1
2. Prijedlog i značajke sustava za upravljanje pješačkim prijelazom .....	3
2.1 Razvoj prometnih znakova i počeci primjene.....	4
2.2 Prijedlog sustava za upravljanje pješačkim prijelazom.....	6
2.3 Fizički dijelovi sustava.....	8
2.4 Softverski dio sustava .....	9
3. Značajke komunikacije između vozila i infrastrukture (V2I) i primjene.....	10
3.1 Komunikacije između vozila i entiteta .....	12
3.2 Komunikacija između vozila i infrastrukture (V2I).....	15
4. Konceptualna arhitektura sustava za upravljanje pješačkim prijelazom.....	18
4.1 Proces unutar sustava pješačkog prijelaza .....	19
4.2 UML dijagrami .....	21
5. Modeliranje suradnje između objekata koja omogućava funkcionalnosti sustava u upravljanju pješačkim prijelazom.....	24
5.1 Dijagrami slučaja uporabe .....	24
5.2 Dijagram aktivnosti.....	26
5.3 Dijagrami međudjelovanja .....	27
5.4 Dijagram stanja.....	32
6. Usporedba predloženog rješenja sustava sa sličnim rješenjima pješačkih prijelaza.....	33
6.1 Ustaljeni način obilježavanja pješačkog prijelaza .....	33
6.2 Eksperimentalni način obilježavanja pješačkog prijelaza .....	34
6.3 Usporedba sustava koji se koriste i predloženog sustava u radu.....	37
7. Zaključak.....	40
Popis kratica.....	42
Popis slika .....	44
Popis tablica.....	45

## 1. Uvod

Ukupan se broj vozila na prometnicama konstantno povećava, a s povećanjem raste i potreba za dodatnom prometnom infrastrukturom i prometnim znakovima koji imaju zadatak da bolje i sigurnije reguliraju tok odvijanja prometa. Nastaju veliki problemi, od kojih su najočitiji prometne nesreće u kojima stradavaju najranjivije skupine sudionika u prometu, a to su pješaci i biciklisti.

Zbog potrebe za razvojem inovativnih rješenja i unaprjeđenjem onih već postojećih u službi sigurnosti svih sudionika u prometu, nastaju novi sigurniji sustavi čija je svrha pomoć vozačima automobila. Noviji sustavi asistencije obavještavaju vozače automobila ili samovozeća vozila da se na određenim dionicama prometnica povećava mogućnost da se dogodi ili da se već jest dogodio neželjeni događaj, kao što su zastoj ili prometna nesreća. U ovom će diplomskom radu biti prikazan model sustava za upravljanje pješačkim prijelazom za sigurniji prolazak korisnika pješačkog prijelaza i protok vozila kroz prometnicu.

S obzirom na težnju automobilske industrije za razvojem autonomnih vozila, kao i razvojem informacijsko-komunikacijskih tehnologija koje omogućavaju implementaciju sustava u kojima mogu komunicirati semafori i vozila, u ovome se radu predlaže sustav za upravljanje pješačkim prijelazom čija svrha je povećanje sigurnosti pješaka, posebno djece.

Svrha ovoga istraživanja je analizirati značajke komunikacije vozilo – infrastruktura, kao i mogućnost njezine primjene za predloženi sustav upravljanja pješačkim prijelazom.

Cilj istraživanja je opisati i modelirati, primjenom odgovarajućih UML dijagrama (*Unified Modeling Language - UML*), sustav za upravljanje pješačkim prijelazom koji se temelji na komunikaciji vozilo - infrastruktura (*Vehicle-to-infrastructure - V2I*).

Uz navedeno, cilj je i usporediti predloženo rješenje dinamičkog interaktivnog pješačkog prijelaza s drugim razvijenim sličnim rješenjima.

Naslov diplomskog rada: Modeliranje sustava temeljenog na V2I komunikaciji za upravljanje pješačkim prijelazom. Diplomski rad podijeljen je u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Prijedlog i značajke sustava za upravljanje pješačkim prijelazom
3. Značajke komunikacije između vozila i infrastrukture (V2I) i primjene
4. Konceptualna arhitektura sustava za upravljanje pješačkim prijelazom
5. Modeliranje suradnje između objekata koja omogućava funkcionalnosti sustava za upravljanje pješačkim prijelazom
6. Usporedba predloženog rješenja sustava sa sličnim rješenjima pješačkih prijelaza
7. Zaključak.

U drugom poglavlju opisan je povijesni razvoj primjene prometnih znakova i pješačkog prijelaza te je iznesen prijedlog sustava upravljanja pješačkim prijelazom (sa svim njegovim značajkama i sastavnim dijelovima).



Razvoj komunikacija između vozila i drugih entiteta opisan je u trećem poglavlju ovog diplomskog rada. Prikazane su vrste komunikacija vozila s različitim entitetima, uz naglasak na komunikaciju između vozila i infrastrukture.

Četvrto poglavlje obuhvaća prikaz konceptualne arhitekture sustava koji je i sam sačinjen od nekoliko podsustava. U ovome je poglavlju također objašnjena uloga spomenutih podsustava te je opisana svrha UML dijagrama.

U petom poglavlju, pomoću UML dijagrama slučaja uporabe, dijagrama aktivnosti i dijagrama međudjelovanja, prikazane su komunikacije, veze i redoslijed aktivnosti u sustavu, odnosno između podsustava.

U šestom su poglavlju prikazani eksperimentalni sustavi, ali i sustavi pješačkog prijelaza koji se trenutno upotrebljavaju za upravljanje pješačkim prijelazom. Također, napravljena je usporedba sa sustavom upravljanja pješačkim prijelazom predloženim u ovom radu.

## 2. Prijedlog i značajke sustava za upravljanje pješačkim prijelazom

Postoje veliki nedostaci u već postojećim rješenjima koja se primjenjuju jer još uvijek ne postoji objedinjeno rješenje za korištenje i upravljanje pješačkim prijelazom. Postoje samo rješenja koja se mogu nazvati otocima i koja rade svaki za sebe, kao što je, primjerice, upravljanje pješačkim prijelazom pomoću semafora ili označavanje pješačkih prijelaza pomoću prometnog znaka i iscrtavanjem pješačkog prijelaza na kolniku. Do ovoga trena nije pronađeno rješenje kojim bi, ne samo vozači i samovozeća vozila, nego i pješaci i biciklisti, bili upozoreni na aktivno korištenje pješačkog prijelaza.

Primjena i instaliranje sustava upravljanja pješačkim prijelazom predviđa se za gradska i prigradska naselja gdje se nalaze osjetljive skupine pješaka i biciklista. Instaliranje sustava predviđa se u blizini školskih ustanova, staračkih domova i mjestima gdje je vidljivost pješačkog prijelaza vrlo loša. Najranjivija su skupina sudionika u cestovnom prometu djeca te je potrebna dodatna pažnja na koju bi trebale potaknuti tehnologije koje su dostupne i prezentirane u ovome radu.

Primjenom prometne svjetlosne signalizacije koja bi trebala imati bolju uočljivost od standardnih prometnih znakova, sudionici u cestovnom prometu primali bi obavijesti o opasnim mjestima, kao i o križanjima s pješačkim prijelazima ili o pješačkim prijelazima koji nisu dovoljno uočljivi. Primjenom svjetlosnih prometnih znakova, neki od zadataka i ciljeva su:

- povećati vidljivost prometnih znakova
- smanjiti broj prometnih nesreća
- uspostavljanje pravilnog i urednog toka prolaza vozila, pješaka i biciklista
- povećanje kontinuiranog prometnog toka
- prekidanje prometnog toka kako bi pješaci i biciklisti mogli prijeći prometnicu na siguran način.

Uz dodatnu primjenu tehnologija koje omogućuju automobilima i prometnim znakovima da komuniciraju i rade zajedno u svrhu povećanja sigurnosti sudionika u prometu, samovozeća vozila i vozači automobila bi dobivali dodatne informacije o aktivnom pješačkom prijelazu.

## 2.1 Razvoj prometnih znakova i početci primjene

Početak 19. stoljeća u Velikoj Britaniji započinje razvoj propisa za cestovni promet. Prvi problemi u cestovnom prometu počinju razvojem vozila i prvom zabilježenom prometnom nesrećom u prvom djelu 19. stoljeća. Prvi izglasani zakon za cestovni promet (slika 1.) poznat je pod imenom Lokomotivska djela (eng. *Locomotive Acts*) koji je također poznat pod imenom Zakon crvene zastave (eng. *Red flag acts*). U tom zakonu stoji da svaki vozač na 100 metara ispred vozila ima osobu koja će mahati crvenom zastavom i na taj način upozoriti prolaznike na potencijalnu opasnost. U slučaju prometne nesreće, svu odgovornost preuzima vozač.

Daljnijim razvojem vozila koja napreduju i za pogon koriste motore na unutarnje sagorjevanje te povećanjem kapaciteta u cestovnom prometu početkom 20. stoljeća, utvrđuju se prvi međunarodni propisi. Prva međunarodna konvencija o cestovnom i automobilskom prometu održana je u Parizu, 1909. godine.



**Slika 1.** Primjena zakona poznatog pod imenom Zakon crvene zastave [1]

Počeci primjene svjetlosnih signala i svjetlosnih prometnih znakova započinju u željezničkom prometu, stoga ne čudi informacija da je prvi cestovni prometni semafor izumio John Peake Knight, inženjer koji je bio stručan upravo u željezničkoj signalizaciji. U to se vrijeme za izvor svjetlosti koristio plin, no nakon eksplozija plina u semaforu, izašao je iz uporabe.

Današnji semafori u osnovi su usavršeni semafori koje je 1912. godine izumio Lester Wire, a koristio je samo dvije boje, crvenu i zelenu, dok danas semafori koriste tri boje za signalizaciju i upravljanje prometom.

Prema današnjim zakonima i pravilima koja se primjenjuju u Republici Hrvatskoj za upravljanje prometom, upotrebljavaju se uređaji (semafori) kojima se daju prometni znakovi prometnim svjetlima crvene, žute i zelene boje [2].

Prometna svjetla jesu:

- prometna svjetla za upravljanje prometom
- prometna svjetla za upravljanje prometom pješaka i biciklista
- prometna svjetla za upravljanje javnim gradskim prometom
- prometna svjetla za upravljanje cestovnim prometom na prijelazu ceste preko željezničke pruge
- prometna svjetla za upravljanje prometom i označavanje mjesta radova i zapreka na cesti.

Primjeri svjetlosnih prometnih znakova koji služe za upravljanje prometom pješaka, biciklista ili zajedno pješaka i biciklista, normirano je Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture i to *Pravilnikom o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama* (slika 2.).



**Slika 2.** Prometni svjetlosni znakovi za bicikliste i pješake na uređajima za upravljanje prometom [2]

Pješački prijelaz (eng. *pedestrian crossing*) označava dio površine kolnika (slika 3.) namijenjen za prijelaz pješaka [2]. Postoje indikacije da su pješački prijelazi postojali prije više od 2000 godina, a to se da pretpostaviti i vidjeti na ruševinama Pompeja. Blokovi podignuti na cesti omogućili su pješacima da prijeđu ulicu bez potrebe da zakorače na samu prometnicu. Prvi "pravi" pješački prijelaz, izumio je John Peake Knight (ujedno i izumitelj prvog cestovnog semafora, kao što je već navedeno u radu) postavljen je u ulici Bridge Street u Westminsteru u Londonu, u prosincu 1868. godine. Sredinom prošloga stoljeća dolazi do primjene i početka razvoja pješačkog prijelaza kakav je danas poznat i to uz primjene novih načina informiranja vozača i pješaka. Mjesto na kojem se nalazi pješački prijelaz mora biti obilježeno znakom »pješački prijelaz« i znakom »približavanje obilježenom pješačkom prijelazu«, osim na mjestima na kojima se promet regulira svjetlosnim znakovima (semaforima).

Pješački prijelaz može se izvesti kao pravokutnik ili paralelogram. Širina pješačkog prijelaza ovisi o broju pješaka koji ga koriste, a ne smije biti manja od tri metra. Iznimno, širina pješačkog prijelaza može biti dva metra [2].



**Slika 3.** Pješački prijelaz iscrtan na kolniku prometnice

## 2.2 Prijedlog sustava za upravljanje pješačkim prijelazom

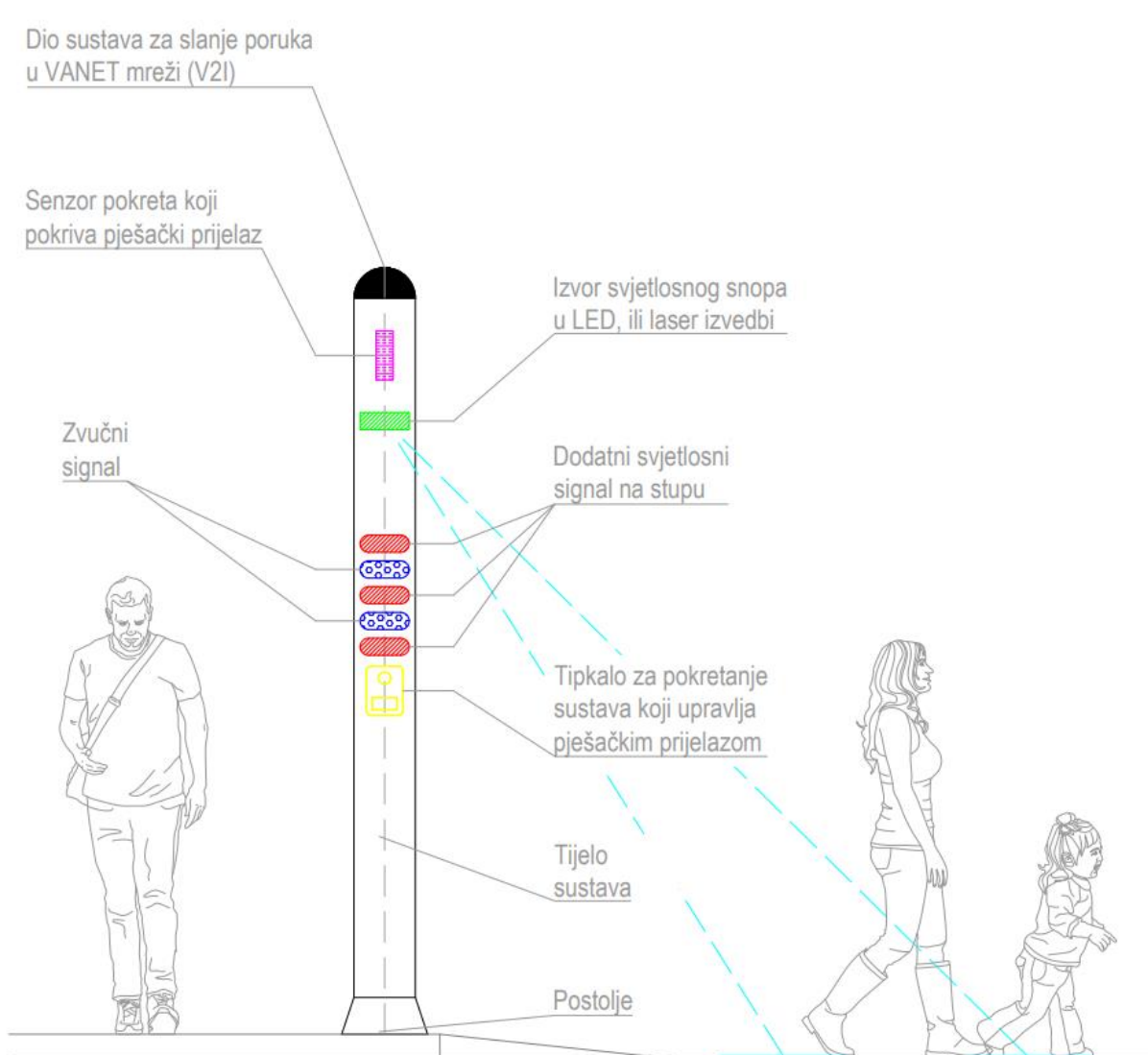
Sustav predložen u ovome radu ima zadatak upozoriti sudionike u cestovnom prometu na aktiviranje i korištenje pješačkog prijelaza (slika 4.), u svrhu smanjenja i izbjegavanja prometnih nesreća.

Način upozoravanja sudionika u cestovnom prometu odvijao bi se na dva načina:

- upozorenje svjetlosnim signalom koji bi projicirao pješački prijelaz na samom kolniku prometnice,
- upozorenje slanjem poruke samovozećem vozilu ili vozaču u automobilu.

Upotrebom svjetlosnih signala bi se iscrtao, odnosno projicirao, pješački prijelaz na već unaprijed označenom dijelu kolnika i time pojačao vizualnu uočljivost, kako za pješake i bicikliste, tako i za vozače automobila. Svjetla se već upotrebljavaju kao prometni znak te omogućavaju primjenu svjetlosne projekcije pješačkog prijelaza u predloženom sustavu diplomskog rada.

Svjetlo kao prometni znak može biti postojano (neprekidno) ili treptajuće (prekidano), dok se za upravljanje prometom upotrebljavaju uređaji (semafori) kojima se daju prometni znakovi prometnim svjetlima crvene, žute i zelene boje [2].



**Slika 4.** Prijedlog sustava za upravljanje pješačkim prijelazom

Sustav za upravljanje pješačkim prijelazom osim vizualnog svjetlosnog upozorenja, šalje poruku nadolazećim vozilima o aktiviranju i korištenju pješačkog prijelaza. Prijenos poruke bi se vršio putem VANET (*A vehicular ad hoc network* - VANET) mreže sustavom slanja poruka.

Da bi se vozače i samovozeće automobile upozorilo na korištenje pješačkog prijelaza, vozila moraju biti opremljena odgovarajućom tehnologijom i opremom. Ta bi oprema i tehnologija omogućile primanje poruke i njezino procesuiranje u slučaju samovozećih vozila, dok bi se u drugim slučajevima na instrument ploči pojavio simbol i upozorio vozača vozila. Sustav također mora imati i odgovarajuću tehnologiju i uređaje za slanje poruke nadolazećim vozilima.

Sustav se sastoji od dva glavna dijela, a to su fizički dio (*hardver*) koji se sastoji od sklopa različitih tehničkih komponenata i inteligentnog dijela koji upravlja samim sustavom (*softver*).

## 2.3 Fizički dijelovi sustava

Sustav za upravljanje pješačkim prijelazom predložen u ovom radu sastoji se od komponenta (slika 4.), podijeljenih u četiri osnovne grupe, a to su:

- komponente tijela sustava / mehanički dio / semaforski stup
- komponente za aktiviranje zvučnog i svjetlosnog signala za projiciranje pješačkog prijelaza na kolniku
- komponente za slanje poruke vozilima kroz sustav VANET mreže
- komponente za upravljanje sustavom.

Sustav za upravljanje pješačkim prijelazom, kao i drugi kompleksni sustavi, sastoji se od podsustava ili grupa sklopova (dijelova) koje zajedno čine cjelinu. Struktura komponenti podijeljenih u četiri osnovne grupe, sastoji se od dijelova opisanih u nastavku.

Komponente tijela sustava (semaforski stup) sastoji se od:

- cijevi na koju se mogu ugraditi potrebni sustavi
- kućište tipkala za pokretanje procesa
- senzori pokreta zaduženi za gašenje sustava
- dodatni dio na donjem dijelu pocinčane cijevi, koji služi kao postolje.

Komponente za aktiviranje zvučnog signala i aktiviranje svjetlosnog signala i projiciranje pješačkog prijelaza na kolniku sastoje se od:

- tipkala za pokretanje cijelog procesa
- ožičenja unutar sustava i izvor električne energije
- izvor svjetlosnog signala koji može biti u LED (*Light-emitting diode* - LED) ili Laser tehnologiji (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* - LASER) koji su zaduženi za reproduciranje pješačkog prijelaza na kolniku
- dodatni svjetlosni signali na samom semaforskom stupu
- zvučnik.

Komponente za slanje poruke vozilima kroz sustav VANET mreže sastoje se od:

- sustavi za komunikaciju između vozila i infrastrukture (V2I) u VANET mreži.

Komponente za upravljanje cijelim procesom u radu predloženog sustava:

- upravljački dijelovi i matična ploča smješteni u kućištu tipkala
- softver, zadužen za upravljanje sustavom i procesima.

## 2.4 Softverski dio sustava

Softverski dio u sustavu upravljanja pješačkim prijelazom i kompletnim procesom može se podijeliti u dva smjera:

- aktivira, nadzire i upravlja kompletnim procesom slanja poruka nadolazećim vozilima o aktivaciji i korištenju pješačkog prijelaza
- aktivira i upravlja kompletnim procesom zvučne i svjetlosne projekcije pješačkog prijelaza na kolniku i na samom semaforskom stupu.

Nakon što nadolazeće vozilo (s vozačem) primi poruku o aktiviranju pješačkog prijelaza, na instrument ploči vozila bi se javila projekcija koja treba biti u obliku svjetlosnog simbola (slika 5.), a uz nju bi išao i zvučni signal. U autonomnim bi vozilima poruka imala zadatak da dodatno upozori sustav za upravljanje vozila i započne proces zaustavljanja vozila dok pješaci ili biciklisti ne prođu kroz pješački prijelaz.



**Slika 5.** Idejni prijedlog svjetlosnog simbola na instrument ploči vozila



### 3. Značajke komunikacije između vozila i infrastrukture (V2I) i primjene

Razvojem komunikacije između vozila i bilo kojeg entiteta koji može utjecati na vozila u cestovnom prometu (*Vehicle to everything - V2X*) stvaraju se preduvjeti za sigurniji promet, sa smanjenjem onečišćenja okoliša, izbjegavanjem prometnih zastoja, smanjenjem prometnih nesreća i drugih neželjenih događaja.

Povećanjem potrebe za mobilnošću ljudi i robe te zbog potrebe da se što brže stigne s polazišta na odredište, raste i potreba za većom primjenom sustava koji povećavaju sigurnost svih aktera u prometu.

Cestovni promet u modernim i velikim gradovima pretrpan je vozilima, što dovodi do svakodnevnih gužvi, zagušenja i zastoja prometa, nepredvidivih prometnih situacija te prometnih nesreća. Neučinkovitost prometa uzrokuje značajne gubitke vremena, smanjuje sigurnost vozača vozila i pješaka, s time da uzrokuje i veliko zagađenje i veliki gubitak energije dobivene iz goriva koja nam služe za pokretanje vozila.

Inteligentni transportni sustavi (*Intelligent transport systems - ITS*) predstavljaju nadogradnju na klasični prometni i transportni sustav, s ciljem sigurnog, pouzdanog i učinkovitog prijevoza putnika i roba. ITS obuhvaćaju sve vrste transporta: cestovni, željeznički, zračni, pomorski i riječni (slika 6.)



**Slika 6.** Inteligentni transportni sustavi [3]

Prijedlog sustava za upravljanje pješačkim prijelazom služi u svrhu informiranja nadolazećih vozila i drugih aktera u prometu o korištenju pješačkog prijelaza u njihovoj

neposrednoj blizini. Komunikaciju između vozila i predloženog sustava u ovom radu omogućuje razmjena poruka kroz VANET mrežu.

VANET mreža (*Vehicular Ad Hoc Network* - VANET), bežična je decentralizirana mreža nastala iz MANET mreže (*Mobile Ad Hoc Network* - MANET) koja je prva *ad-hoc* mreža razvijena u potpunosti. Značajke takve *ad-hoc* mreže je u tome da ima nestabilnu infrastrukturu, a svaki čvor unutar mreže može primiti i slati poruke. *Ad-hoc* mreže vozila imaju vrlo dinamičnu i neuravnoteženu mrežnu topologiju zbog toga što se čvorovi (vozila) konstantno i brzo kreću. Komunikacija je bila podložna stalnim prekidima i kašnjenjima jer je često dolazilo do prekida mreže i dijeljenja na manje cjeline.

Učinkovito je rasprostiranje poruka u *ad-hoc* mrežama vozila veliki izazov i upotrebljavaju se različiti pristupi za pravovremeno slanje hitnih informacija, pokrivanje velikog geografskog područja, omogućavanje učinkovite komunikacije u mrežama s malom gustoćom prometa i sprječavanje širenja nebitnih informacija. Najnoviji istraživački trendovi temelje se na razvoju kvalitetnih algoritama i protokola za komunikaciju između vozila te na njihovoj stvarnoj implementaciji. Preduvjet za primjenu i implementaciju komunikacijskih algoritama i protokola je opremljenost vozila uređajima (*On-Board Unit* - OBU) koji posjeduju sposobnosti bežične komunikacije i obrade podataka.

Mobilno umrežavanje u *ad-hoc* mrežama počelo se razvijati u devedesetim godinama prošloga stoljeća s pojavom bežičnih tehnologija koje su omogućile izravno povezivanje između korisničkih uređaja, a to su:

- Bluetooth: IEEE 802.15.1 za osobne mreže
- 802.11 standard: za bežične WLAN mreže (*Wireless Local Area Network* - WLAN) velikih brzina.

Ta dva standarda omogućila su izravnu komunikaciju između mrežnih uređaja koji su u komunikacijskom dometu bez potrebe za korištenjem infrastruktura [3].

Izvorna komunikacija vozila sa svime koristi WLAN tehnologiju i radi izravno između vozila (*Vehicle to Vehicle* - V2V), kao i između vozila i prometne infrastrukture. Tako se tvori dvosmjerna komunikacijska mreža, a da pri tome nema zahtjeva za komunikacijskom infrastrukturom za komunikaciju vozila, što je ključno za osiguranje sigurnosti u udaljenim ili slabo razvijenim područjima. WLAN je posebno prikladan za V2X komunikaciju zbog niske latencije.

Nastavkom razvoja informacijskih komunikacijskih mreža i pojavom LTE mreže (*Long Term Evolution* - LTE) i 5G mreža (*fifth-generation technology standard for cellular networks*), omogućen je razvoj u komunikaciji V2X i razvoj samovozećih vozila. *Cellular V2X* koristi 3GPP standardiziranu LTE ili 5G mobilnu povezanost za razmjenu poruka između vozila, pješaka i uređaja za kontrolu prometa uz cestu, kao što su prometni signali [10]. U većini slučajeva koristi frekvencijski pojas od 5,9 GHz, što je službeno određena frekvencija ITS-a u većini država.

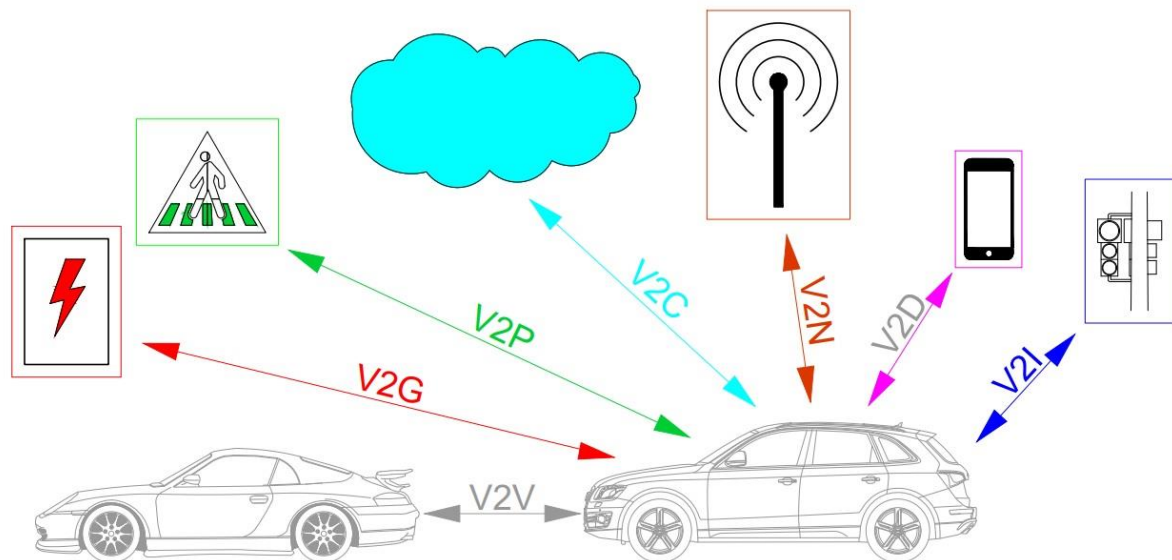
Usvajanje tehnologije *Cellular V2X* u Europskoj uniji i Sjedinjenim Američkim Državama, potaknulo je daljnji razvoj autonomnih vozila i infrastrukture koja ih prati.

Europska unija, u srpnju 2019., objavila je da usvaja tehnološki neutralan pristup C-ITS-u, ostavljajući put da 4G i 5G i druge napredne tehnologije budu dio V2X aplikacija i usluga. U kratkom vremenu u Sjedinjenim Američkim Državama, Federalna komisija za komunikacije krajem 2019. predložila je da se frekvencijski pojas od 30 MHz od 5,9 GHz pojasa dodijeli C-V2X. Taj je prijedlog prihvaćen krajem 2020. godine, a gornjih 30 MHz (5,895–5,925 GHz) dodijeljeno je C-V2X.

### 3.1 Komunikacije između vozila i entiteta

Postoji sedam vrsta povezanosti, odnosno komunikacija između vozila i drugih entiteta (slika 7.) koje zajedno čine skup komunikacija koje se zove *Vehicle-to-everything (V2X)*, a to su:

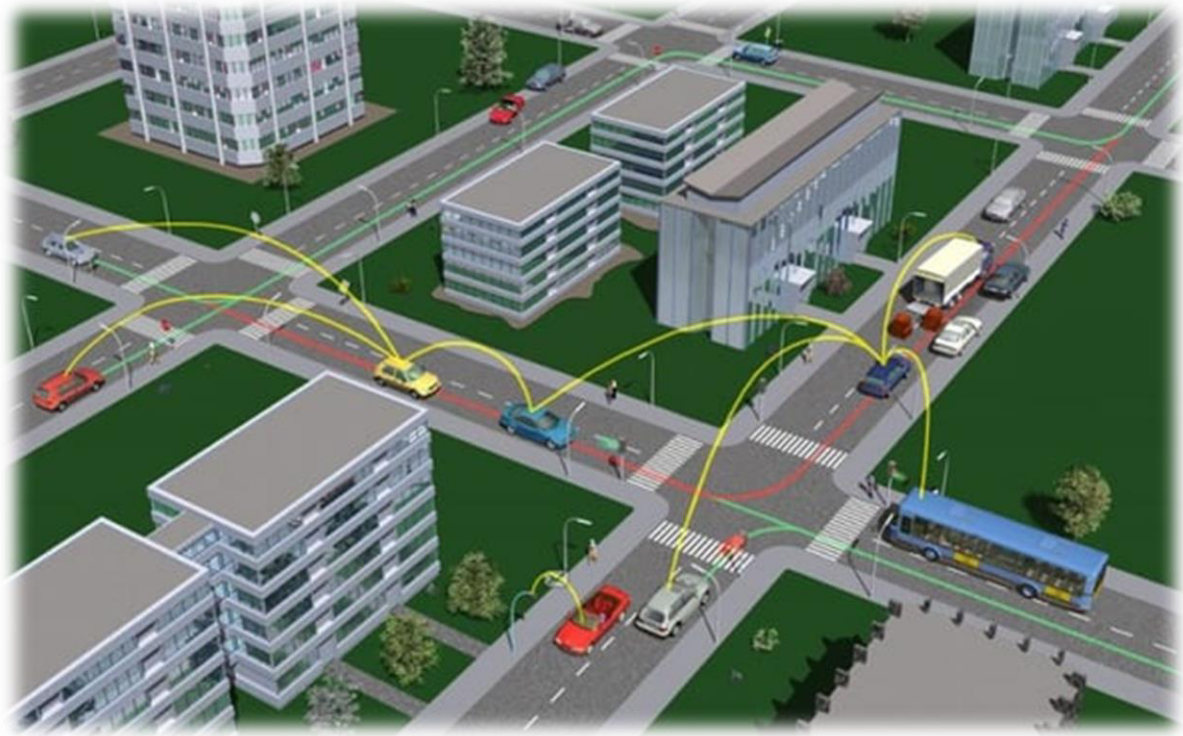
- komunikacija između vozila i infrastrukture (V2I)
- komunikacija između vozila i pješaka (*Vehicle-to-Pedestrian* - V2P)
- komunikacija između vozila i mreže (*Vehicle-to-network* - V2N)
- komunikacija između vozila i oblaka (*Vehicle-to-cloud* - V2C)
- komunikacija prema uređaju (*Vehicle-to-device* - V2D)
- vozilo prema elektro mrežni (*Vehicle-to-grid* - V2G)
- komunikacija između vozila (V2V).



**Slika 7.** Prikaz komunikacije V2X

Komunikacija između vozila (V2V), razmjena je poruka, odnosno podataka među vozilima u stvarnom vremenu. Ova se razmjena obavlja bežično, putem namjenskih frekvencija za komunikaciju kratkog dometa (*Dedicated short-range communication* - DSRC). Radi se o istim frekvencijama koje se koriste u V2I komunikacijama. Zahvaljujući V2V, vozila mogu dijeliti svoju brzinu, lokaciju i smjer, kao i sve druge relevantne informacije, dajući sustavu prikaz okoline od

360 stupnjeva (slika 8.). Budući da je V2V komunikacija zamišljena kao *mesh* mreža, svako vozilo postaje čvor koji može prihvatiti, slati i ponovno slati signale [4].



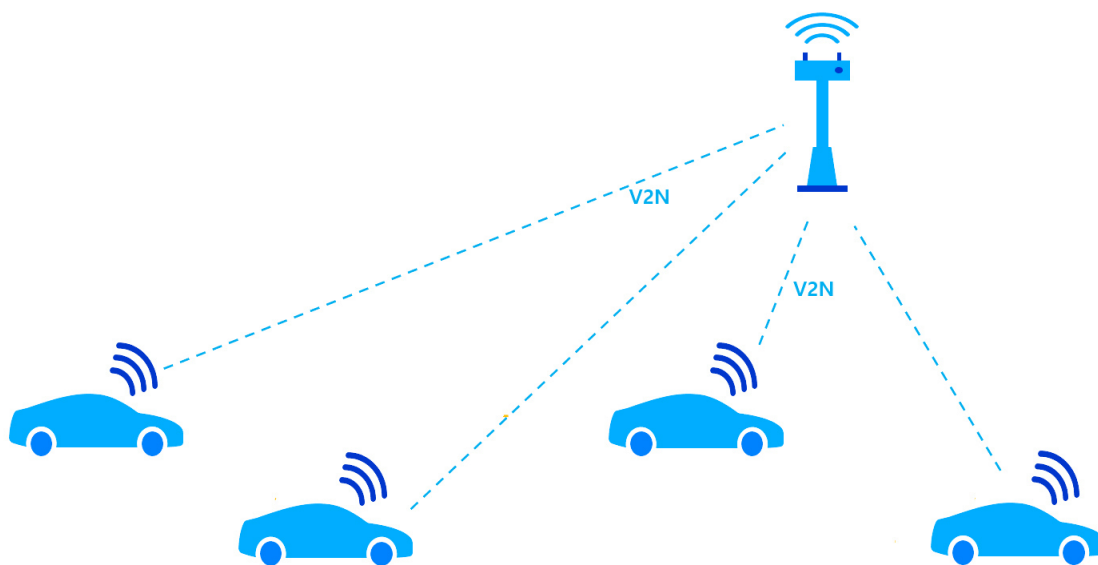
**Slika 8.** Prikaz razmjene podataka V2V [5]

Komunikacija između vozila i pješaka (V2P) jedna je od najnovijih potkategorija V2X komunikacijskog sustava. Druge V2X tehnologije, kao što su V2V i V2I, uključuju automobile i cestovnu infrastrukturu pripremljenu za međusobnu komunikaciju. U V2P komunikaciji pozornost je posvećena komunikaciji pješaka i vozila. Skupine pješaka, odnosno korisnika prometnica, vrlo su različite, a među njima su i neki vrlo osjetljivi pojedinci, kao što su djeca, osobe u invalidskim kolicima, gluhojone ili slabovidne osobe, biciklisti itd. U nekim slučajevima pametni senzori mogli bi se implementirati kako bi se stvorila svijest o prisutnosti aktera kroz komunikaciju. Neki proizvođači automobila u vozilima koriste sustave bazirane na LiDAR tehnologiji za olakšavanje upozorenja o sudaru, kamere od 360 stupnjeva i upozorenja za mrtvi kut u automobilima za otkrivanje pješaka. Međutim, pouzdanost takvih pristupa i tehnologija varira. To objašnjava zašto se razvija nova generacija ručnih uređaja i mobilnih aplikacija kako bi vozači bili svjesni mogućih nesreća [5].

Primjenom komunikacija između vozila i mreže vozila (V2N) mogu se koristiti mobilne mreže za komunikaciju s V2X sustavom upravljanja (Slika 8.). V2N također koristi standard namjenske komunikacije kratkog dometa (DSRC) za interakciju s drugim vozilima, kao i s cestovnom infrastrukturom. Ova razina povezanosti omogućuje da se vozila smatraju "uređajima", baš kao i pametni telefoni, tableti i nosivi uređaji. Pristup LTE, 5G infrastrukturi i DSRC sustavima operatera mobilne mreže omogućuje vozilima sljedeće:

- primanje upozorenja o uvjetima na cesti, vremenskim neprilikama i sl., odnosno V2I komunikaciju
- komunikacija s obližnjim vozilima (putem mobilne mreže i DSRC), odnosno V2V komunikacija
- komunikacija s podatkovnim centrima i ostalim uređajima povezanim na internet (komunikacija od vozila do oblaka – V2C komunikacija)
- uspostava komunikacije s uređajima za pješake (komunikacija između vozila i pješaka – V2P komunikacija).

Koristeći LTE, 5G i DSRC , komunikacija V2N omogućuje vozilima pouzdanu interakciju s infrastrukturom, drugim vozilima, drugim uređajima, pa čak i pješacima [5].

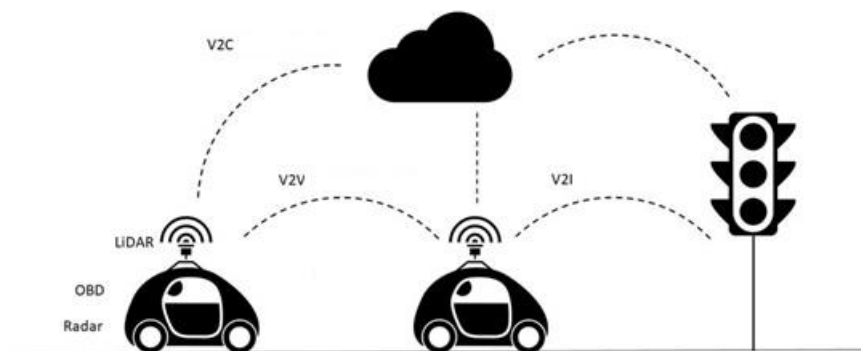


**Slika 9.** Prikaz komunikacije V2N [4]

Komunikacija između vozila i oblaka (V2C) koristi V2N pristup širokopojasnim mobilnim mrežama kako bi ponudila razmjenu podataka s oblakom (slika 9.).

Primjenom ove tehnologije, odnosno komunikacije omogućuje se:

- bežično ažuriranje softvera s poslužitelja u oblaku, putem mobilne ili Wi-Fi veze do povezanog vozila. Ažuriranjem se omogućuje poboljšanje performansi i značajki vozila, ovisno što proizvođači nude kao opcije
- redundancija do DSRC komunikacije
- dijagnostika vozila na daljinu
- dvosmjerna komunikacija s kućanskim aparatima također povezanim s oblakom
- dvosmjerna komunikacija s digitalnim asistentima.



**Slika 10.** Prikaz komunikacije V2C [4]

Komunikacija prema uređaju (V2D) omogućuje vozilima razmjenu podataka s bilo kojim pametnim uređajem, obično putem Bluetooth protokola. Tipična primjena ove tehnologije je *Appleov CarPlay* i *Googleov Android Car* koji pametnim telefonima, tabletima i nosivim uređajima omogućuju interakciju sa sustavima poput navigacije, namještanja parametara vozila, praćenje statistike vožnje i vozila, radio uređaja i drugih sustava zabave.

Vozilo prema mrežnoj komunikaciji (V2G) posljednja je razvijena tehnologija te se za nju može reći da relativno je nova komunikacija između vozila i sustava energetske mreže koje služe za napajanje električnih i hibridnih vozila. Ona omogućuje dvosmjernu razmjenu podataka. Drugim riječima, kada je potrebno, vozila mreži mogu dati električnu energiju, ali se i mogu se napajati, odnosno napuniti svoje baterijske sustave. Komunikacija se ostvaruje između *plug-in* hibridnih vozila (*A plug-in hybrid electric vehicle - PHEV*), baterijskih električnih vozila (*Battery Electric Vehicle - BEV*), pa čak i vodikovih gorivih ćelija vozila (*Hydrogen Fuel Cell Vehicles - HFCEV*) sa sustavom upravljanja električnim mrežama. Zahvaljujući V2G komunikaciji, električna mreža sljedeće generacije moći će učinkovitije balansirati opterećenja.

### 3.2 Komunikacija između vozila i infrastrukture (V2I)

Komunikacija između vozila i infrastrukture (V2I) sastavni je dio ITS-a koji se sastoji od dvosmjerne razmjene informacija između vozila i cestovne infrastrukture (slika 11.).

Informacije koje se razmjenjuju uključuju podatke o prometu koje generira vozilo, podatke prikupljene od drugih vozila, podatke od senzora koji su instalirani u cestovnoj infrastrukturi (kamere, semafori, ulična svjetla za označavanje traka, prometne znakove, parkirnih mjesta, itd.) i podatke emitirane iz ITS-a (ograničenja brzine, vremenski uvjeti, nesreće i sl.).



**Slika 11.** Prikaz razmjene podataka V2I

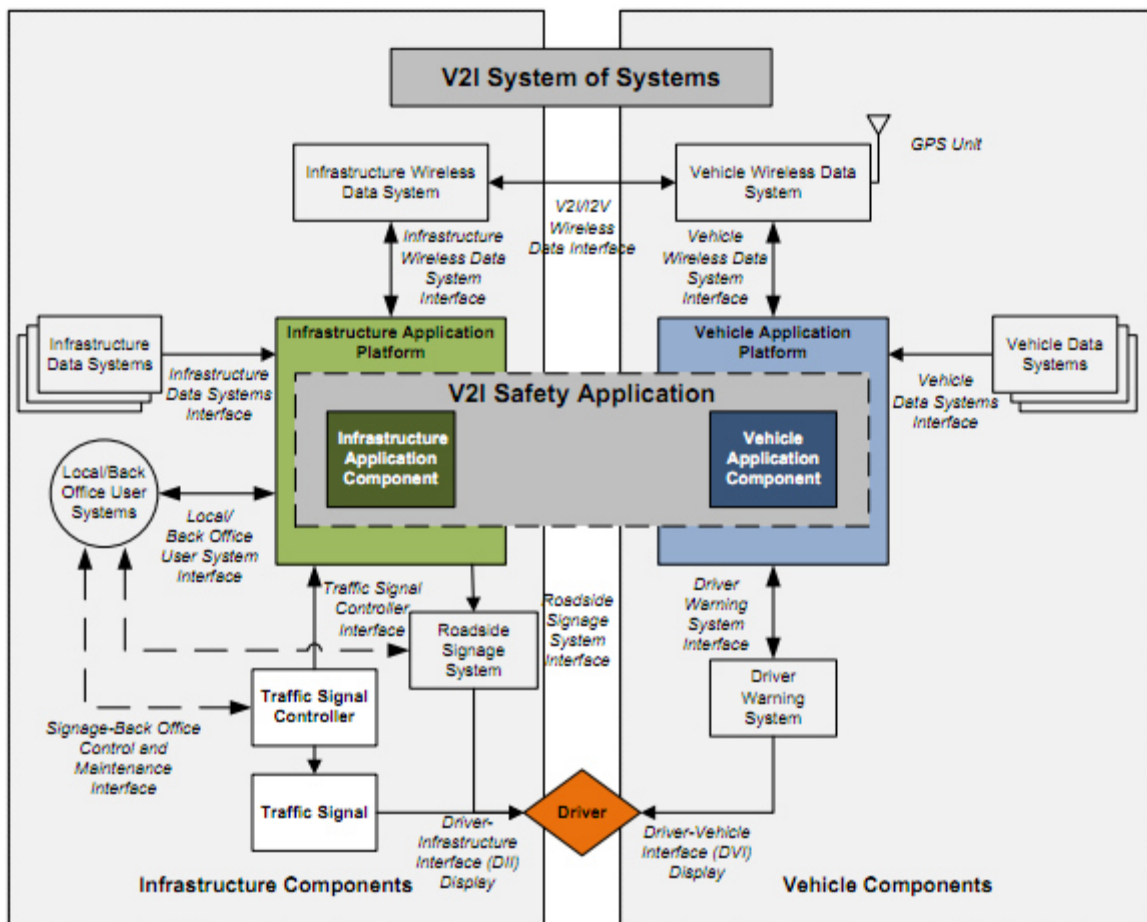
Tehnologija od vozila do infrastrukture (V2I) komunikacijski je okvir koji omogućuje da nekoliko vozila dijeli informacije s različitim uređajima koji podržavaju sustav autocesta ili druge vrste prometnice određene države. Ovi se uređaji, između ostalog, sastoje od RFID čitača, znakova, kamera, uređivača traka, ulične rasvjete i parkirnih mjesta. Omogućena mrežom hardvera i softvera, V2I tehnologija je bežična i dvosmjerna: informacije s infrastrukturnih uređaja lako se prenose u vozilo putem *ad-hoc* mreže i obrnuto.

Slično tehnologiji V2V, V2I koristi namjenske komunikacijske frekvencije kratkog dometa u prijenosu podataka. V2I senzori se koriste u inteligentnom transportnom sustavu za prikupljanje podataka i izdavanje savjeta korisnicima prometnica u stvarnom vremenu o različitim događajima na cesti, kao što su prometne gužve, gradilišta, stanje na cesti, parkirne zone, itd. [5].

Funkcionalna arhitektura V2I sustava (slika 11.) temelji se na određenim zahtjevima performansa. Postoje brojni elementi, tj. komponente na kojima je izgrađen sustav V2I. Arhitektura sustava dijeli se na dvije glavne komponente:

- infrastrukturna aplikacijska komponenta
- aplikacijska komponenta u vozilima.

Infrastrukturna aplikacijska komponenta je smještena na platformi same infrastrukture, dok je komponenta aplikacije vozila smještena na platformi aplikacije u vozilima. Ove komponente integriraju i obrađuju podatke o infrastrukturi i vozilu kako bi vozačima poslale koordiniranu poruku. Podaci se dijele putem bežičnog podatkovnog sučelja.



**Slika 12.** Arhitektura V2I [5]

Infrastruktorna aplikacijska platforma nudi sučelje podrške za razmjenu podataka s različitim podatkovnim sustavima, lokalnim korisničkim sustavima, kontrolorima prometne signalizacije i sustavima prometne signalizacije. Infrastruktorna aplikacijska komponenta prenosi upozorenja putem znakova dinamičke poruke koji su vidljivi prilazećim vozilima. S druge strane, aplikacijska platforma za vozila nudi sučelje podrške za prikupljanje informacija iz različitih sustava upozorenja vozila i vozača, putem zaslona sučelja vozač-vozilo. Aplikacijska komponenta u vozilima prenosi poruke putem sučelja upozorenja vozača koje je specifično za vozilo ili slično porukama koje prikazuju statični znakovi uz cestu. Sigurnosna primjena sustava V2I koordinira prikaz poruka u vozilu i poruka uz cestu vozačima. Poruke specifične za vozila namijenjene su vozačima i prenose trenutne informacije, a daju i bolju prezentaciju stanja na prometnicama nego što to rade znakovi uz cestu. Prvo ne smije biti u sukobu s drugim [6].



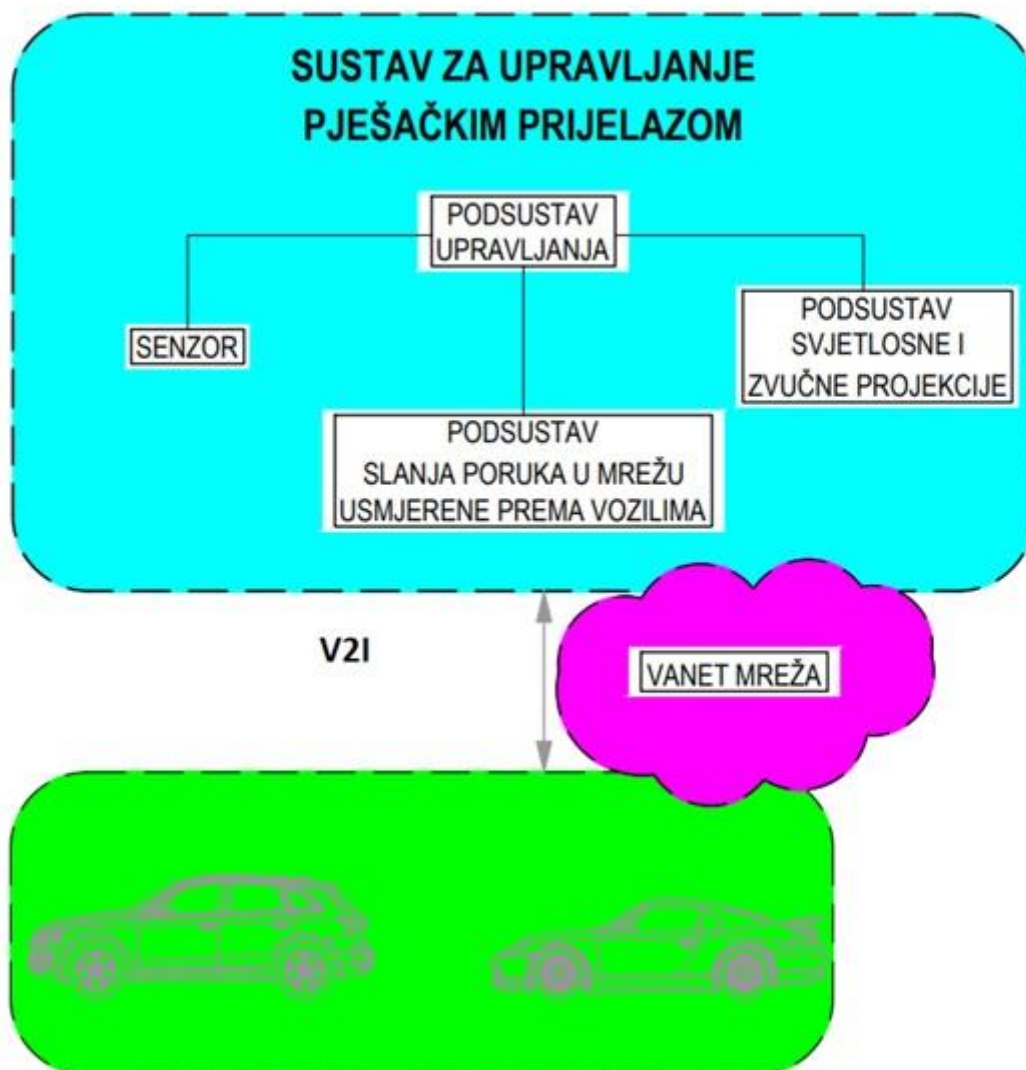
#### **4. Konceptualna arhitektura sustava za upravljanje pješačkim prijelazom**

Konceptualna arhitektura sustava pješačkog prijelaza u ovom diplomskom radu predstavlja idejno rješenje modela za upravljanje pješačkim prijelazom s prikazom njegovih podsustava. Uz to, definiraju se struktura, opis funkcioniranja i ponašanje sustava. Kompletan idejni sustav pješačkog prijelaza sastoji se od komponenti i podsustava koji imaju zajednički cilj, a to je da sustav daje pouzdane i kvalitetne rezultate. Kompletnim predloženim sustavom upravlja i koordinira podsustav zadužen za upravljanje koji po primitku inicijalne informacije od korisnika pješačkog prijelaza pokreće zvučnu i svjetlosnu projekciju na samom semaforском stupu te projicira svjetlosno ocrtavanje pješačkog prijelaza na prometnici. Također, podsustav upravljanja aktivira podsustav slanja poruka prema vozilima kroz VANET mrežu i podsustav senzora. Kada dobije povratne informacije od podsustava senzora da nema korisnika pješačkog prijelaza, on gasi sustav, tako da ga sljedeći korisnici pješačkog prijelaza mogu ponovno pokrenuti.

Arhitektura sustava (slika 13.) se sastoji od sljedećih podsustava:

- podsustav upravljanja i korisničko sučelje
- podsustav svjetlosne i zvučne projekcije
- podsustav za slanje poruka u mreže
- podsustav senzora.

Arhitektura povezanosti podsustava u jednu cjelinu i povezanost sa vozilom kroz komunikacijske kanale VANET mreže u kojoj vozila predstavljaju čvorove mreže, prikazana je na slici 13.



**Slika 13.** Arhitektura povezanosti podsustava sa vozilom

Predloženi sustav koji služi za upravljanje pješačkim prijelazom, dijeli se na dva djela - statički dio sustava i aktivni dio sustava.

Statički dio sustava predstavlja onaj dio sustava koji je vizualan, odnosno fizički opipljiv, a aktivni dio sustava predstavlja dio sustava koji kroz podsustave reproducira svjetlosnu i zvučnu projekciju, ali i podsustav koji komunicira s vozilima slanjem poruke o aktiviranju i korištenju pješačkog prijelaza u neposrednoj blizini.

#### 4.1 Procesi unutar sustava pješačkog prijelaza

Aktiviranje procesa unutar sustava pješačkog prijelaza prilikom njegova korištenja, započinje davanjem inicijalnog signala u podsustavu upravljanja, kada se na korisničkom sučelju pritisne tipkalo koje aktivira pješak, odnosno korisnik pješačkog prijelaza na semaforskom stupu.

Ovisno o izvedbi samog podsustava za pokretanje, umjesto tipkala se mogu primijeniti i podsustavi za aktiviranje procesa koji imaju sučelja za pokretanje upotrebom privjeska s infracrvenom tehnologijom (*infrared* - IR) ili čip privjesak s elektroničkim ključem, ovisno o potrebi aktiviranja i vremenskoj duljini korištenja pješačkog prijelaza. To daje mogućnost da sustav u samom startu prepozna i poveća vrijeme korištenja pješačkog prijelaza, npr. ako neki korisnik ili skupina korisnika treba više vremena da prođu kroz sam pješački prijelaz, prelazak skupine djece iz vrtića ili škola. U ovom radu fokus je na predstavljanju sustava upravljanja pješačkim prijelazom pritiskom korisnika na tipkalo koje se nalazi na semaforskom stupu.

Nakon inicijalnog pokretanja sustava, tipkalo šalje informaciju podsustavu koji je zadužen za slanje poruke kroz telekomunikacijsku mrežu, a poruka je usmjerena prema nailazećim vozilima. Podsustav se u tom trenutku spaja na VANET mrežu kojom šalje jasnu i nedvosmislenu poruku o aktiviranju i korištenju pješačkog sustava. Vozila koja se nalaze na udaljenosti unutar 150 metara dobivaju poruku o korištenju pješačkog prijelaza u njihovoj neposrednoj blizini.

Uz vremensku zadržku od četiri sekunde podsustav za aktiviranje svjetlosnog snopa projicira svjetlosni pješački prijelaz na kolniku. Zadržka od četiri sekunde odnosi se na područja primjene gdje je ograničenje brzine kretanja vozila 40 km / h kako bi se vozila stigla pravovremeno zaustaviti. Vrijeme zadržke projiciranja svjetlosnog pješačkog prijelaza na kolniku ovisi o dozvoljenom maksimalnom ograničenju brzine kretanja vozila i vremenu koje je potrebno vozilu da se zaustavi (duljina puta u tom vremenu).

Podsustav zadužen za svjetlosnu i zvučnu projekciju aktivira signale (zvučne i svjetlosne) koji su smješteni na samom semaforskom stupu, a koji po primitku inicijalnog signala odmah aktiviraju svoju funkciju, ne čekajući da prođe vrijeme zadržke od četiri sekunde. Zvučni signal ima zadatak obavijestiti slijepu i kratkovidnu osobu kada je najbolje prijeći preko pješačkog prijelaza. Prvo se pojavljuje zvuk koji označava aktivaciju pješačkog prijelaza, a zatim se promjenom zvuka daje signal da je pješački prijelaz spreman za prelazak.

Svjetlosni signali na samom semaforskom stupu služe za bolju vizualizaciju i bolju uočljivost vozačima i vozilima koja su opremljena sustavima čitanja prometnih znakova.

Na taj način vozači i vozila (samovozeći automobili u budućnosti) na dva različita načina dobivaju informacije o aktiviranju i korištenju pješačkog prijelaza.

Nakon svih odrađenih procesa, unutar sustava se aktivira svjetlosna projekcija i korisnici mogu započeti prelazak pješačkog prijelaza, uz dodatnu osobnu sigurnosnu kontrolu prometa.

Za proces gašenja svjetlosnih i zvučnih signala, odnosno prestanak korištenja pješačkog prijelaza zadužen je podsustav senzora. Zadatak senzora je da započne proces nadgledanja pješačkog prijelaza i da javi povratnu informaciju podsustavu za upravljanje kada na pješačkom prijelazu nema korisnika, odnosno šalje poruku podsustavu za upravljanje da je ciklus korištenja pješačkog prijelaza završen. Nakon toga, kompletan sustav prelazi u stanje mirovanja i pripravnosti do ponovne aktivacije.

Procesi rada unutar sustava za upravljanje pješačkim prijelazom opisani su pomoću ujedinjenog jezika za modeliranje, odnosno UML dijagrama.

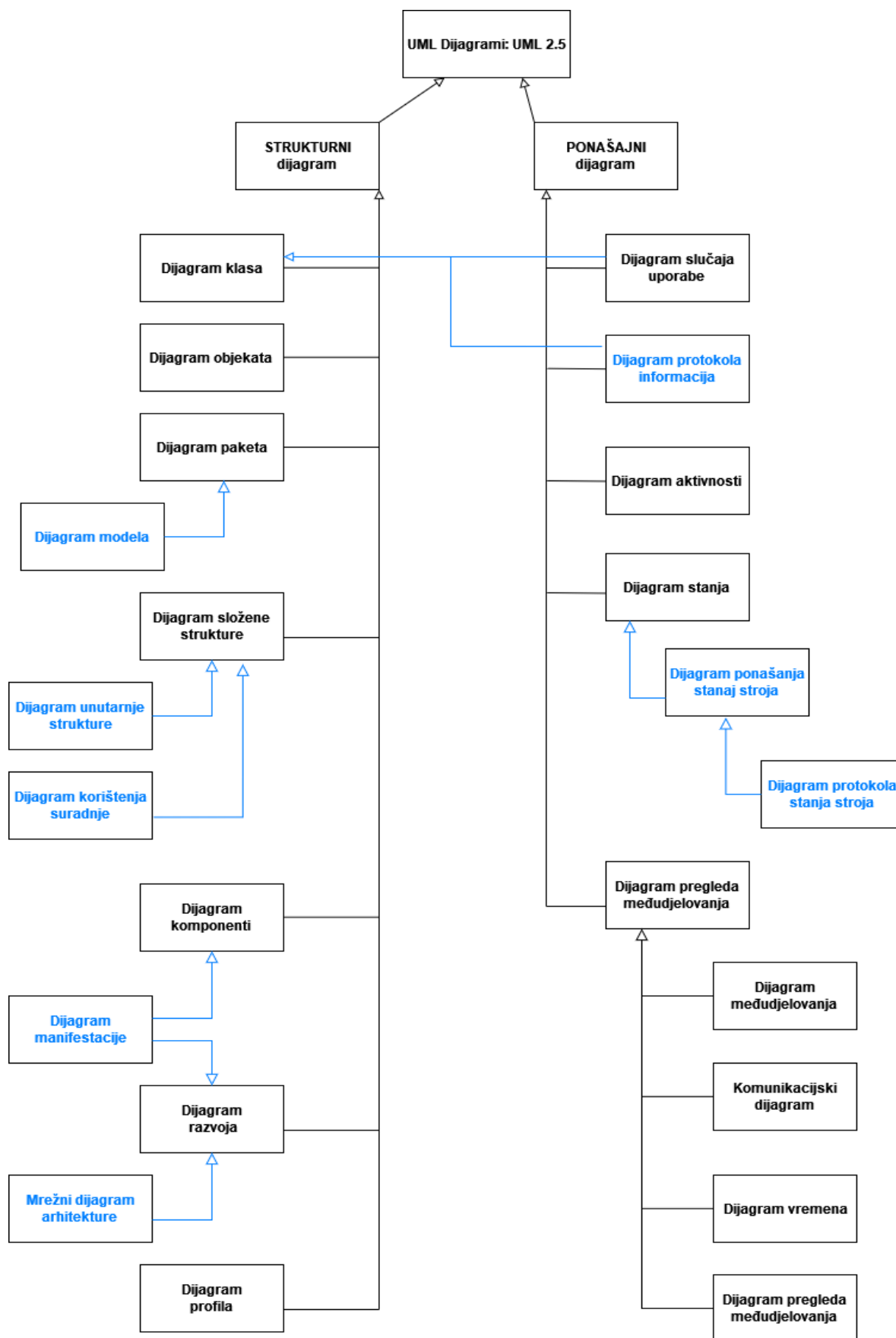
## 4.2 UML dijagrami

Ujedinjeni jezik za modeliranje jest jezik prvenstveno namijenjen programskoj podršci, a može se koristiti i za opće namjene. Drugim riječima, to je alat koji služi za vizualizaciju, opis, izgradnju i dokumentiranje programske podrške kod analize i izrade sustava. Primjena UML dijagrama u diplomskom radu će pomoći prezentirati i vizualno prikazati veze podsustava unutar sustava upravljanja pješačkim prijelazom i redoslijede aktivnosti.

Povijest i razvoj UML dijagrama se događa u devedesetim godinama prošloga stoljeća. Dizajneri UML jezika su Grady Booch, Ivar Jacobson i James Rumbaugh, koji su ga kreirali od 1994. do 1997. godine.

Jezik je normirala *Grupa za upravljanje objektima (Object Management Group - OMG)* s prvom normom iz 1997., a s inačicom UML-a 2.4 iz 2011. godine. UML uključuje skup tehnika koje ostvaruju grafički prikaz objektno-orientiranih računalnih sustava. Računalni sustav modelira se raznovrsnim dijagramima, od kojih se svaki koristi za prikaz sustava iz ponešto drugačije perspektive [9].

Dijagrami unutar UML-a mogu se podijeliti s obzirom na dinamičnost na statičke i dinamičke dijagrame. UML dijagrami još se mogu prikazati s obzirom na statičnost, odnosno pokretljivost, a po tome se dijagrami dijele na statičke i dinamičke. U statičkim dijagramima ne razmatra se vremenska komponenta sustava, već se daju slike dijelova ili cijelog sustava kakav postoji ili se želi prikazati u nekom trenutku. Težnja dinamičkih dijagrama je uključenje međudjelovanja sudionika i vremenske komponente u opis sustava kako bi se modelirali sljedovi događaja unutar sustava [9]. Razvoj dijagrama mijenjao se u nekoliko navrata i, prema tome razvoju, aktualni se UML dijagrami nazivaju UML 2. Trenutno se upotrebljava i usvojena je inačica UML 2.5. U samom razvoju UML dijagrama nastala je podjela UML dijagrama s obzirom na to modeliraju li strukturu sustava (eng. *structure diagram*) ili ponašanje sustava (eng. *behavior diagram*). U nastavku je prikazana podjela UML 2.5 dijagrama prema strukturi i ponašanju, u većoj se mjeri slaže s podjelom na statičke i dinamičke dijagrame, osim dijagrama obrasca uporabe koji, iako modelira ponašanje, ne modelira vremensku komponentu sustava. Rezultat ovakve podjele je veći broj pojedinačnih dijagrama (slika 14).



Slika 14. UML 2.5 struktura i podjela dijagrama [9]

Modeliranje je jedna od najbolje prihvaćenih i dokazanih inženjerskih tehnika. Model arhitekture sustava pomaže u prezentiranju konačnog proizvoda korisniku. Modeliranje je značajnije za velike sustave jer se takvi sustavi ne mogu shvatiti u potpunosti. Kako bi se postigao bolji uvid u sustav, modelari se usredotočuju na samo jedan aspekt/pogled sustava. Time je omogućeno modelaru da radi na većoj razini apstrakcije, što u konačnici rezultira boljim modelom sustava [10]. UML jezik i alati su korisni svim članovima koji sudjeluju u procesu stvaranja i razvoja nekog sustava ili koji opisuju već postojeći sustav.

## 5. Modeliranje suradnje između objekata koja omogućava funkcionalnosti sustava u upravljanju pješačkim prijelazom

Modeliranje sustava prikazuje skup procesa, komponenti i podsustava međusobno povezanih u jednu cjelinu.

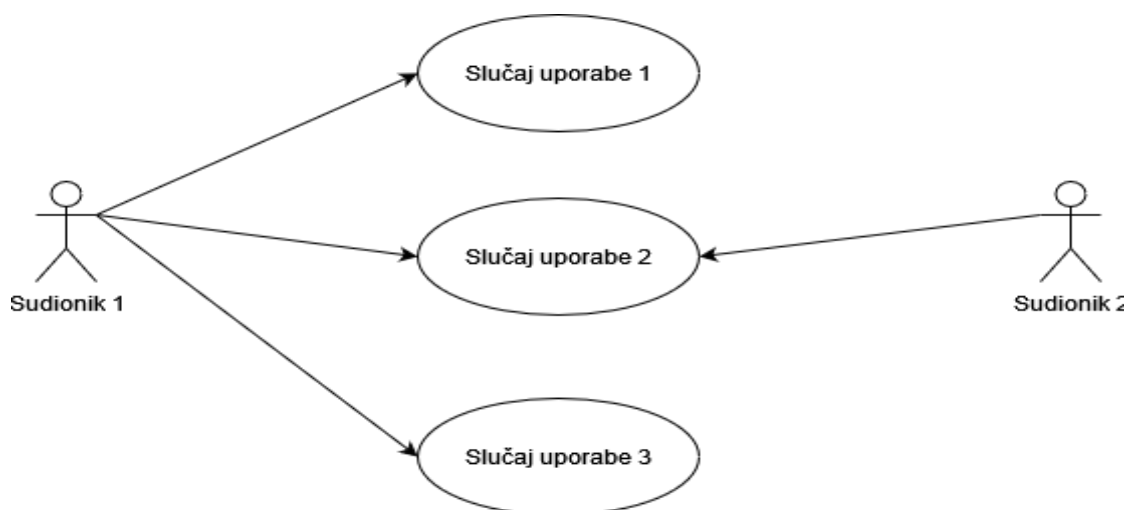
Modeli se izrađuju radi boljeg razumijevanje sustava koji razvijamo, pomažu kod vizualizacije stvarnog ili zamišljenog sustava, opisuju strukturu i ponašanje sustava, predstavljaju predložak za izgradnju sustava i dokumentiraju postupke izgradnje sustava [11].

Primjenom odgovarajućih UML dijagrama bit će prezentirani modeli zamišljenog sustava za upravljanje pješačkom prijelazom.

### 5.1 Dijagrami slučaja uporabe

Dijagrami slučaja uporabe (eng. *Use Case*) su statički UML-dijagrami. Smatraju se jednim od najučinkovitijih dijagrama koji koriste tekst i koji definiraju navedene slučajeve u dijagramu. Dobro su rješenje za vizualni prikaz sustava i općenito poslovnih procesa, te ih je lako shvatiti nemaju puno nepotrebnog zapisa, što dijagram čini lako čitljivim. Slučajevi uporabe služe kao pomoć pri razumijevanju inženjera programiranja i korisnicima sustava, i u provjeri valjanosti arhitekture sustava. Dijagrami slučaja uporabe uključuju aktere (eng. *Actors*) i slučajeve uporabe, jedan akter može biti uključen u samo jedan slučaj uporabe ili više njih, isto tako više slučajeva uporabe može imati više aktera.

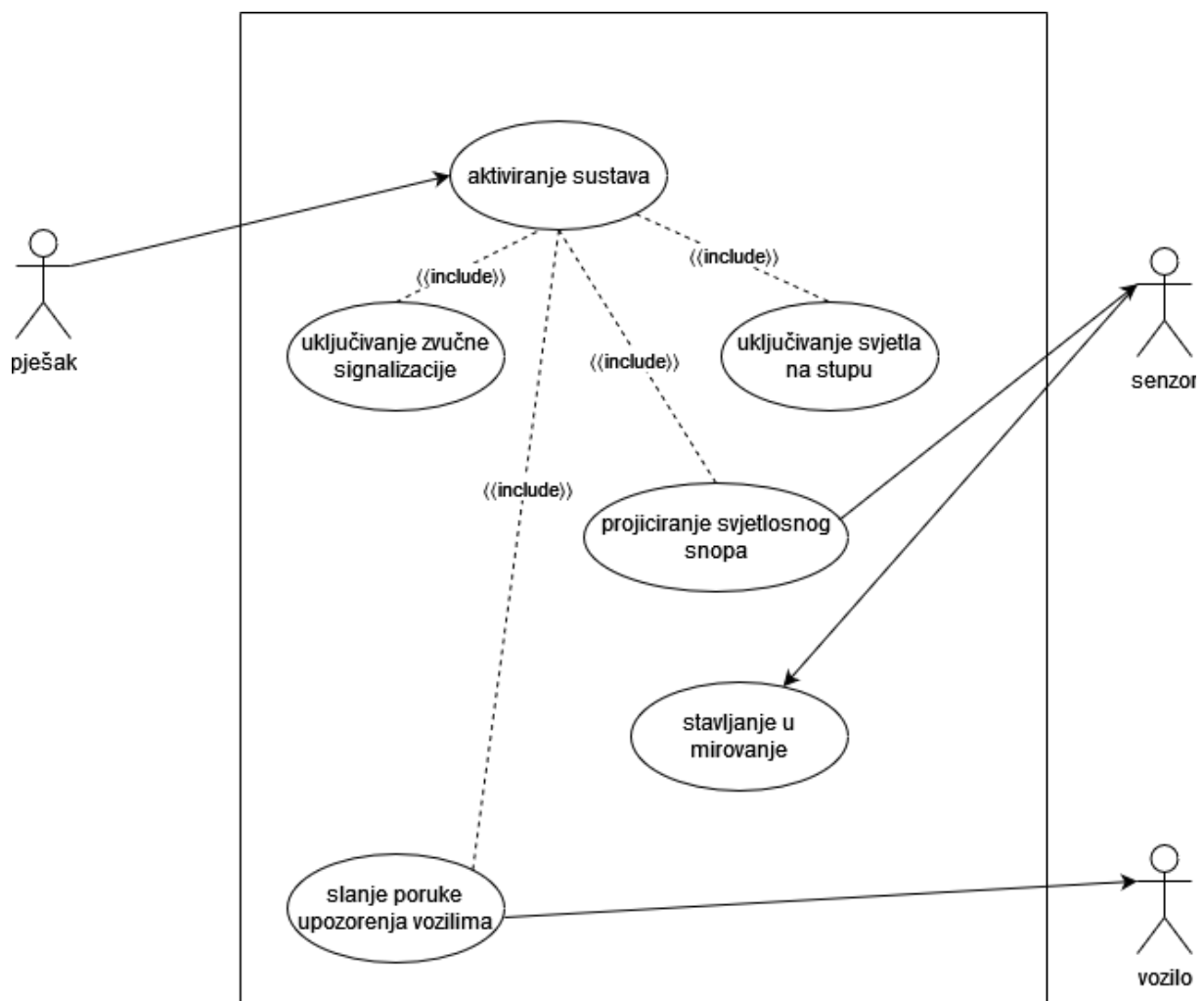
Sudionici (akteri, agenti) predstavljaju uloge korisnika u odnosu na modelirani sustav a mogu predstavljati i zasebne jedinice (entitete) izvan modeliranog sustava, npr. druge sustave ili baze podataka [11]. Osnovni simboli i označavanje u dijagramima slučaja uporabe (slika 15.) sastoje se od simbola osobe koji se pozicionira sa lijeve ili desne strane slučaja uporabe ovisno o tome predstavlja li direktno sudjelovanje u slučaju uporabe, ako da onda se smješta sa lijeve strane. Crtama i strelicama se označavaju (povezuju) akteri i odgovarajući slučajevi uporabe.



**Slika 15.** Simboli i označavanje u dijagramima slučaja uporabe

Modela predloženog sustava upravljanja pješačkim prelazom prikazan UML dijagramom slučaja uporabe nalazi se na slici 16. Sa slike je vidljivo da su sudionici/akteri: pješak, senzor i vozilo. Funkcionalnosti predloženog sustava predočene su pojedinim slučajevima uporabe kako je to prikazano na slici 16 ( aktiviranje sustava, uključivanje zvučne signalizacije, slanje poruke upozorenja vozilima, uključivanje svjetla na stupu, projiciranje svjetlosnog snopa i stanje mirovanja).

Veze među navedenim slučajevima uporabe ukazuju na odnos između pojedinih slučajeva uporabe, tako aktiviranje sustava uključuje i tijekove događaja svih uključenih slučajeva uporabe prikazanih na dijagramu. Aktiviranje sustava pokreće sudionik – pješak, dok je rezultat slučaja uporabe projiciranje svjetlosnog snopa namijenjen sudioniku - senzor kako bi mogao pokrenuti praćenje pokreta. Rezultat slučaja uporabe slanje poruke upozorenja vozilima namijenjen je sudioniku - vozilo. Sudionik – senzor izravno sudjeluje u izvođenju slučaja uporabe stavljanje sustava u mirovanje.



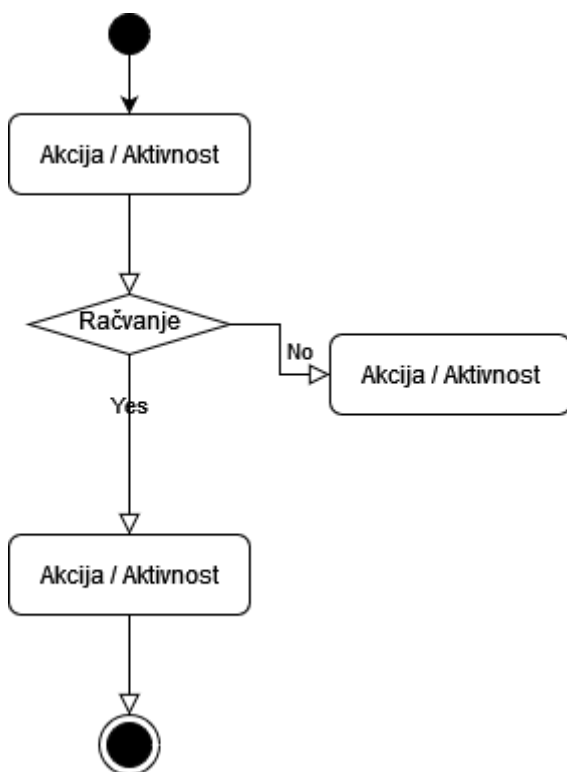
**Slika 16.** Slučaj uporabe predloženog sustava upravljanja pješačkim prijelazom



## 5.2 Dijagram aktivnosti

Dijagram aktivnosti (eng. *diagram activiti*) je svrstan u dinamičke dijagrame UML jezika. Radni tok dijagram aktivnosti prikazuje (ili kontrolni tok) aktivnosti koje se obavljaju u sustavu korak po korak. Stoga je kod dijagrama aktivnosti naglasak na jednostavnosti i poslovnim operacijama koje se uvijek odvijaju slijedno, jedna za drugom. Obuhvaća prijelaze, grananja i stapanja te račvanja i stapanja. Koristi se kod modeliranja radnog tijeka, opisa rada algoritma ili detalja računanja.

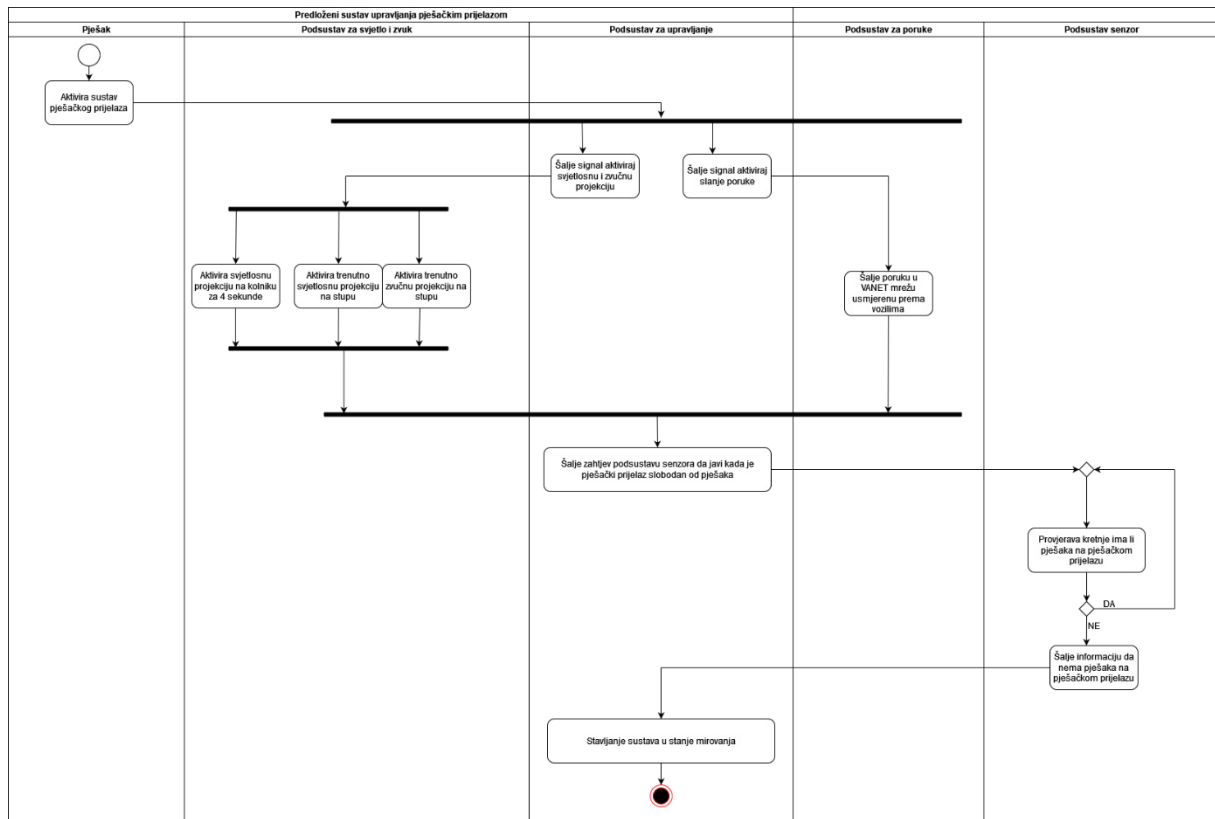
Osnovi simboli i označavanje kod kreiranja dijagrama aktivnosti prikazani su na slici 17. Početak i kraj aktivnosti dijagrama se označavaju krugovima, koji se razlikuju po svojoj vizualnoj strukturi, dok aktivnosti i akcije označavaju se s istim simbolom pravokutnika čije manje stranice su zaobljene ili četverokutom sa zaobljenim vrhovima, ovisno o alatima pomoću kojih se izrađuje dijagram. Račvanja i spajanja se označavaju simbolom romba.



**Slika 17.** Simboli, početak i kraj, akcija i aktivnosti i račvanja kod kreiranja dijagrama aktivnosti

Dijagramom aktivnosti na slici 18 prikazan je tijek aktivnosti nakon što korisnik pješačkog prijelaza pritiskom na tipkalo zatraži od sustava za upravljanja pješačkim prijelazom da aktivira sustav, odnosno svjetlosnu i zvučnu projekciju i slanje poruke nailazećim vozilima da se zaustave za vrijeme trajanja korištenja pješačkog prijelaza. Aktiviranjem tipkala podsustav za upravljanje dobiva informaciju da je potrebno projicirati svjetlosnu i zvučnu projekciju za upozorenje sudionika u prometu te se aktivira slanje poruka prema vozilima. To se slanje poruka odvija se kroz podsustav zadužen za slanje poruka kroz komunikaciju sustava VANET mreže. Nakon što se aktiviraju zvučno i svjetlosno upozorenje na samom semaforskom stupu,

a poruka bude poslana nailazećim vozilima, aktivira se svjetlosna projekcija pješačkog prijelaza na prometnici. Ta se aktivacija dogodi četiri sekunde od pritiska pješaka na tipkalo, a zatim se aktivira podsustav senzora kojima je svrha praćenje prolaska pješaka pješačkim prijelazom. Kada zabilježi da se prijelaz više ne koristi, senzor daje informaciju podsustavu upravljanja da se sustav gasi i stavlja u mirovanje, do sljedeće aktivacije sustava.



**Slika 18.** Dijagram aktivnosti predloženog sustava upravljanja pješačkim prijelazom

### 5.3 Dijagrami međudjelovanja

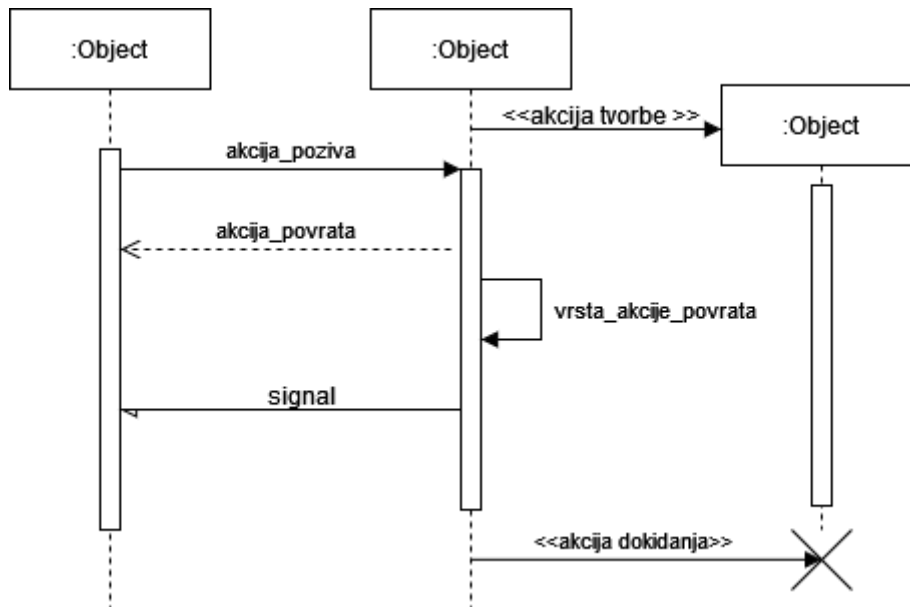
Dijagram međudjelovanja (eng. *Sequence diagram*) određuju se objekti i usmjeren je na vremenski redoslijed poruka između objekata. Sastoji se od četiri elementa:

- oznake objekata
- crte života objekta (koji označava trajanje i život objekta)
- težište nadzora
- poruke koje prikazuju akcije između objekata.

Simboli i elementi dijagrama (slika 19.) upotrebljavaju se za vizualno kreiranje dijagrama. Pravokutnici se koriste za označavanje objekata, objekti se povezuju crtama i strelicama, crte života označavaju životni vijek i povezani su akcijama.

Poruke ili akcije koje je potrebno izvršiti se šalju između objekata i podijeljene su u pet vrsta. Na svaku akciju poziva mora postojati odgovor, takozvane akcije odziva (eng. *returne action*). Akcije su:

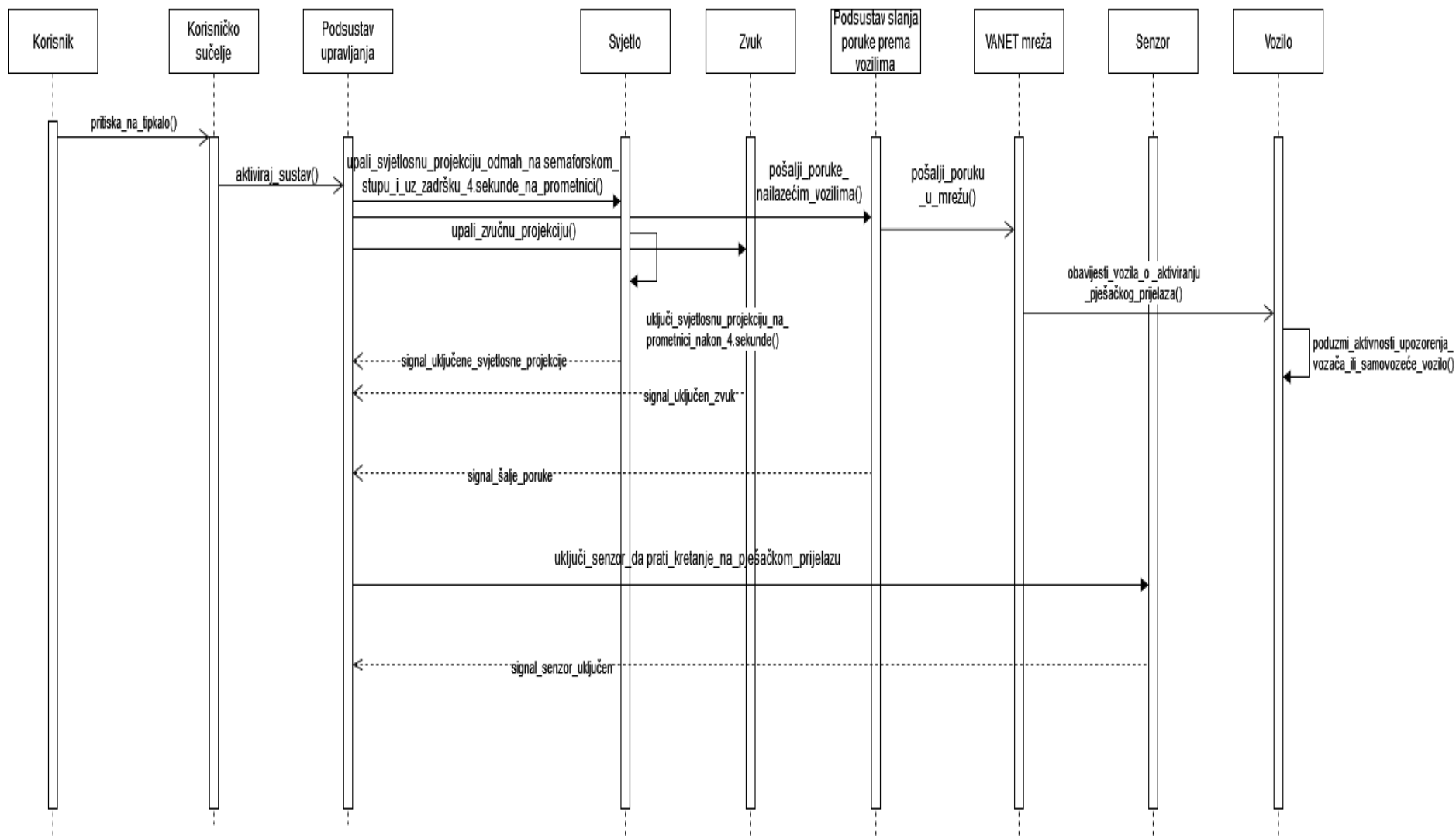
- akcija poziva (engl. *Call Action*)
- akcije povrata (engl. *Return Action*)
- akcija odašiljanja (engl. *Send Action*)
- akcija tvorbe (engl. *Create Action*)
- akcija dokidanja (engl. *Destroy Action*).



**Slika 19.** Simboli i elementi dijagrama međudjelovanja

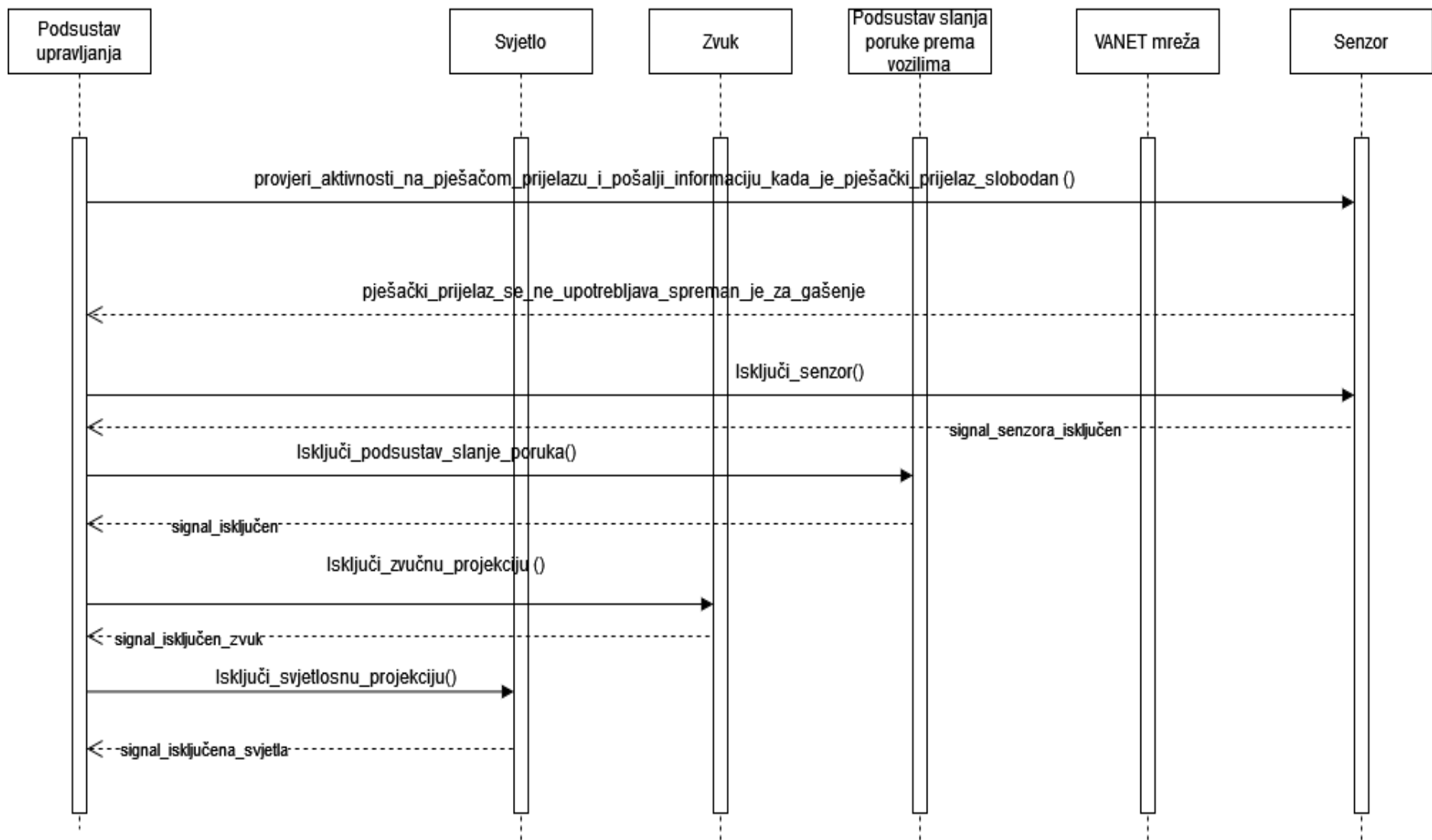
Kod akcije povrata (engl. *Return Action*) objekt koji daje akciju očekuje povratnu vrijednost odredišnog objekta od odredišnog objekta na poslanu akciju. Akcija tvorbe (engl. *Create Action*) kreira novi objekt, dok akcija dokidanja (eng. *Destroy Action*) prekida postojanje objekata. Kada objekt koji šalje poruku ne očekuje povratnu akciju onda se upotrebljava akcija signal (eng. *Send Action*).

Prikazan dijagrama međudjelovanja (slici 20.) u kojem je opisan vremenski redoslijed akcija između objekata potrebnih da bi predloženi sustav za upravljanje pješačkim prijelazom projicirao svjetlosni snop na prometnicu i poslao poruku nailazećim vozila da se upotrebljava pješački prijelaz u njihovoj blizini. Proces uključivanja sustava za upravljanje pješačkim prijelazom počinje na korisničkom sučelju kada korisnik pritisne tipkalo. Podsustav upravljanja odmah šalje akciju da podsustav za zvuk uključi zvučni signal, a podsustav za poruke odmah dobiva akciju da pošalje poruke nailazećim vozilima kroz VANET mrežu. Podsustav za svjetlo dobiva akciju da treba aktivirati svjetlosnu projekciju na semaforskom supu odmah te nakon četiri sekunde treba projicirati pješački prijelaz na prometnici. Senzor se zatim uključuje i prati ima li korisnika pješačkog prijelaza. Kada ustanovi da nitko ne koristi pješački prijelaz, započinje gašenje sustava.



Slika 20. Dijagram međudjelovanja predloženog sustava za slučaj aktiviranja sustava

Upotrebom dijagrama međudjelovanja (slika 21.) prikazuje se vremenski redoslijed akcija (poruka) između objekata prilikom gašenja sustava, odnosno stavljanje sustava u stanje mirovanja i pripravnosti za sljedećeg korisnika pješačkog prijelaza. Proces isključivanja sustava i stavljanje sustava u mirovanje kada se ne koristi, započinje senzor. Kada senzor provjeri i pošalje akciju podsustavu za upravljanje da se pješački prijelaz više ne koristi, tada podsustav upravljanja šalje akcije trima podsustavima (za poruke, svjetlo i zvuk) da se isključe. Završna akcija je isključenje senzora.



Slika 21. Dijagram međudjelovanja predloženog sustava za slučaj stavljanje u mirovanje sustava

## 5.4 Dijagram stanja

Dijagram stanja (eng. *state machine diagram*), to je dijagram koji se svrstava u dinamički dijagrame. Ovi dijagrami ne prikazuju niti aktere niti vanjsko sučelje prema krajnjim korisnicima nego razrađuju ponašanje sustava u smislu aktivnosti i prijelaza između stanja. Dijagramom stanja pratimo život objekata kroz događaje.

Događaji se dijele u odnosu na aktivnosti koje se izvršavaju. Događaji se mogu podijeliti ovisnosti u kojem se objekti nalaze u tom trenu:

1. Događaj poziva (engl. *Event Call*)– sinkroni način komunikacije se vrši između objekata, u smislu objekt koji poziva metodu drugog objekata, poziva vlastitu metodu i učinka kao poziva akcije.

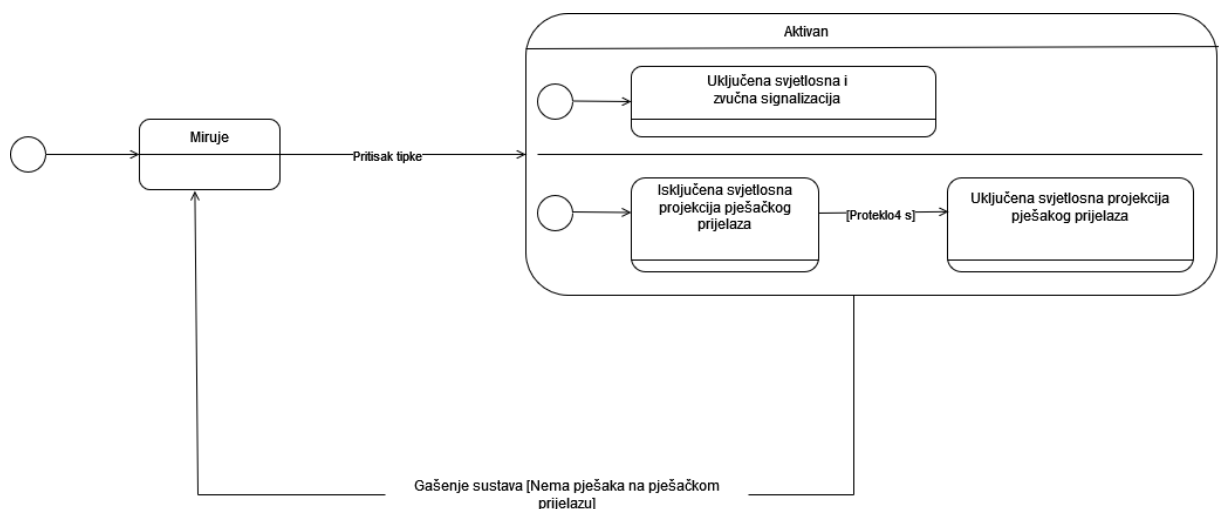
2. Vremenski događaj (engl. *Time Event*) – nakon protoka određenog predviđenog vremena izvršava se pomoću riječi „poslije“ navedenog vremenskog pomaka.

3. Događaj promjene ( engl. *Change Event*) – ukoliko se uvjet ispuni, nastupa događaj promjene, koji se izvršava uz pomoć riječi „kada“ nakon koje slijedi Boole-ov izraz.

4. Signal – komuniciranje na asinkroni način između objekata [11].

Kod dijagrama stanja moguća je situacija da se objekt može nalaziti u raznim uvjetima i prelaziti iz jednog u drugi. Stanje u kojem se objekt nalazi je zapravo uvjet životnog vijeka u kojem se objekt nalazi određeno konačno vrijeme, te objekt u tim stanjima može biti aktivan, u stanju čekanja na pojavu konkretnog događaja i ispunjavati jedan ili više uvjeta. Simbol kojim se prikazuju stanja objekata je pravokutnik zaobljenih vrhova [11].

Sustav upravljanja pješačkim prijelazom iz pogleda dijagrama stanja prikazan je na slici 22.



Slika 22. Dijagram stanja

## 6. Usporedba predloženog rješenja sustava sa sličnim rješenjima pješačkih prijelaza

### 6.1 Ustaljeni način obilježavanja pješačkog prijelaza

Prometni znakovi, signalizacija i oprema na cestama su sredstva i uređaji koji sudionike u prometu upozoravaju na opasnost, definiraju zabrane, ograničenja i obaveze te pružaju potrebne obavijesti za siguran i nesmetan promet [2].

Za obilježavanje pješačkih prijelaza najčešće se koriste prometni znakovi ocrtavanja pješačkog prijelaza na samom kolniku i postavljanjem prometnog znaka u blizini samog pješačkog prijelaza (slika 23).



**Slika 23.** Pješački prijelaz ocrtan na kolniku sa znakom

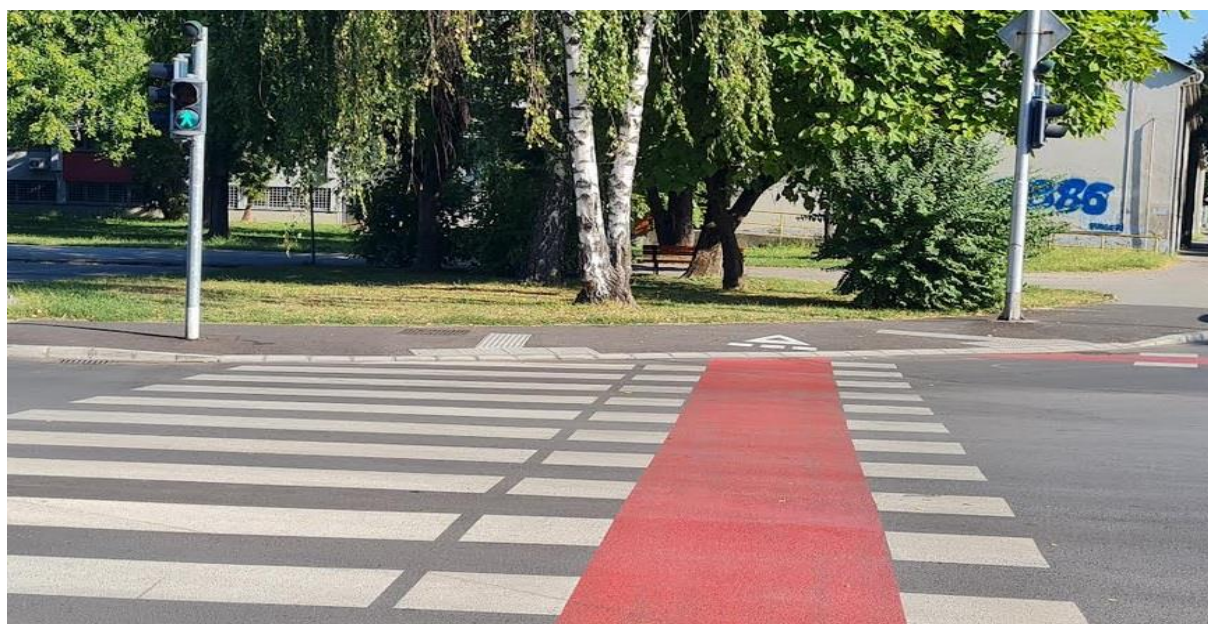
Osim pješačkih prijelaza koji su obilježeni iscrtavanjem pješačkog prijelaza na kolniku i postavljanjem prometnog znaka, koji kao zadatak imaju upozoriti sudionike u prometu, postoje pješački prijelazi koji su vizualno označeni upotrebom svjetlosnog signala koji kao rezultat imaju bolju uočljivost (slika 24.).





**Slika 24.** Iscrtni pješački prijelaz vizualno označen upotrebom svjetlosnog signala

Za upravljanje pješačkim prijelazima u urbanijem naseljima, odnosno naseljima s većim brojem korisnika pješačkog prijelaza i jačim intenzitetom cestovnog prometa, najrasprostranjenije je rješenje upravljanje pomoću semaforских stupova sa svjetlosnim naredbama (slika 25.).



**Slika 25.** Pješački prijelaz i biciklistička staza, reguliranje prometa semaforским stupom

## 6.2 Eksperimentalni način obilježavanja pješačkog prijelaza

Razvojem različitih područja tehnologija i opreme, one se mogu primijeniti na već ustaljena područja primjene, jedan od primjera je bolja vizualna označenost pješačkih prijelaza.

Kao primjer eksperimentalne tehnologije pješačkog prijelaza je *Starling Crossing* tehnologija koja predstavlja interaktivni pješački prijelaz koji dinamički reagira u stvarnom vremenu kako bi pješaci, biciklisti i vozači bili sigurniji i svjesniji jedni drugih [12].

Većina razvoja tehnologija u cestovnom području tehnika i tehnologija usredotočena je na vozila, ali s prijelazom *Starling (STigmeric Adaptive Responsive LearnING Crossing)* stvorena je osjetljiva cestovna površina koja stavlja ljude na prvo mjesto.

Iako koristi poznate i razumljive oznake i boje na cesti, *Starling Crossing* dinamički reagira u stvarnom vremenu na različite uvjete i može modificirati uzorke, raspored, konfiguraciju, veličinu i orijentaciju pješačkih prijelaza kako bi sigurnost pješaka bila prioritet. Cjelokupna kolnička površina na području prijelaza nadzire se kamerama i ugrađeno je računalo koje kontrolira LED diode vidljive iz svih kutova gledanja, danju i noću (slika 26.).



**Slika 26.** Starling Crossing, prikaz pješačkog prijelaza [12]

Cilj i ključna načela dizajna uključuju nastojanje da se poboljša perceptivna svijest ljudi bez ometanja te isticanje sigurnosnih odnosa između ljudi i automobila kako bi mogli sami donositi odluke, umjesto da im se govori što da rade.

U posebno opasnoj situaciji, kada pješak žuri preko ulice, ali je u mrtvom kutu biciklista ili vozača, *Starling Crossing* prilagođava se u stvarnom vremenu kako bi privukao njihovu pozornost izravno na lokaciju i putanju skrivenog pješaka (slika 27.).



**Slika 27.** Starling Crossing, prikaz putanje pješačkog prijelaza koji nije na okomitoj putanji [12]

Postoje i drugi eksperimentalni pješački prijelazi uz Starling Crossing tehnologiju koji koriste podno osvjetljene pješačke prijelaze. Podno osvjetljeni pješački prijelaz (slika 28.) razvili su zaposlenici IBM-a (eng. *International Business Machines*), a naziv eksperimentalnog prijelaza je *Flashing Zebra Crossing*.



**Slika 28.** IBM prikaz [13]

Predloženi eksperimentalni sustav radi na način da prilikom prelaska pješaka preko *Flashing Zebra Crossing* zasvijetli bijela boja i na taj se način daje vizualno upozorenje da se u tom trenutku koristi pješački prijelaz. Izvor za osvjetljenje bijelih polja na pješačkom prijelazu je u LED tehnologiji [13].

### 6.3 Usporedba sustava koji se koriste i predloženog sustava u radu

Za sustave upravljanja pješačkim prijelazima koji se trenutno koriste na mjestima gdje je dopušteno prijeći prometnicu, s oprezom možemo prognozirati da će se u budućnosti ići u preinake, tj. nadogradnje sustava. Prvenstveno zato što je težnja autoindustrije i trend razvoja u cestovnom prometu da vozila budu što samostalnija, odnosno da se smanji utjecaj ljudskog faktora i da ljudi ne sudjeluju kao vozači, a sve s ciljem smanjenja prometnih nesreća. Takav trend sam po sebi nameće izmjene u sustavu komunikacije između vozila i infrastrukture (V2I), tako i infrastrukture zadužene za upravljanje pješačkim prijelazom te se zahtjeva veliki broj izmjene poruka u stvarnom vremenu i njihovo procesuiranje.

Osim informiranja vozača i samovozećih vozila potrebno je informirati i druge sudionike u cestovnom prometu, uz naglasak na najranjiviju skupinu, a to su pješaci i biciklisti. S tim ciljem predloženi sustav ima vizualno svjetlosno projekciju pješačkog prijelaza na kolniku i dodatnu svjetlosnu projekciju na samom semaforском stupu, kao i zvučnu projekciju za slabovidne osobe. Uz svjetlosnu i zvučnu projekciju, on informira vozače vozila i samovozeća vozila slanjem poruke da je aktiviran pješački prijelaz koji se nalazi u neposrednoj blizini.

Usporedbom predloženog sustava upravljanja pješačkim prijelazom i prezentiranih eksperimentalnih sustava (*Starling Crossing* i *Flashing Zebra Crossing*), pretpostavka je da dolazi trend promjena kod obilježavanja i komunikacije u rješenjima pješačkih prijelaza. Sustavi *Starling Crossing* i *Flashing Zebra Crossing* još su uvijek u eksperimentalnom statusu i prilično su kompleksni za izradu, a i financijski zahtijevaju više novčanih sredstava, naročito *Starling Crossing* sustav.

Usporedba prednosti i nedostataka predloženog sustava za upravljanje pješačkim prijelazom u diplomskom radu i sustavima koji se trenutno koriste i eksperimentalnim sustavima prikazani su u tablici 1.

**Tablica 1.** Usporedba prednosti i nedostataka

Prednosti sustava	Pješački prijelaz ocrtan na kolniku sa znakom	Pješački prijelaz s upotrebom svjetlosnog signala i iscrtanim pješačkim prijelazom	Pješački prijelaz i biciklistička staza, reguliranje prometa semaforskim stupom	Predloženi sustav upravljanja pješačkim prijelazom	<i>Starling Crossing</i>	<i>Flashing Zebra Crossing</i>
Dobra uočljivost pješačkog prijelaza tijekom kiše	✓	✓✓	✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
Dobra uočljivost pješačkog prijelaza kada je snijeg na prometnici	✓	✓	✓	✓✓✓	✓✓	✓✓
Dobra uočljivost pješačkog prijelaza noću	✓	✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
Dobra uočljivost pješačkog prijelaza kod refleksije sunca	✓	✓	✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
Mogućnost informiranja vozila o korištenju pješačkog prijelaza	○	○	○	✓✓✓	○	○
Zadržka pješaka da ne krene odmah na pješački prijelaz	✓	✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓
NEDOSTACI						

Ne zahtijeva visoka financijska sredstva kod instalacije	✓✓✓	✓✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓
Ne zahtijeva visoka financijska sredstva kod održavanja	✓✓✓	✓✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓
Potrebno vrijeme za prilagodbu na sustav	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓	✓	✓

Legenda za čitanje tablice:

- o – nema mogućnost
- ✓ - loš rezultat u usporedbi
- ✓✓ - srednji rezultat u usporedbi
- ✓✓✓ - najbolji rezultat u usporedbi.

Zaključak usporedbe trenutnih sustava pješačkih prijelaza je da će, kada se ubrza razvoj samovozećih vozila i poveća njihova primjena, doći i do ubranog razvoja potrebnih infrastruktura za sigurnost svih aktera u cestovnom prometu.

## 7. Zaključak

Komunikacijske mreže između vozila i drugih entiteta postale su područje velikih istraživanja znanstvenika i telekomunikacijskih kompanija diljem svijeta.

Autoindustrija u posljednjem desetljeću ulaže velika financijska sredstva u razvoj i implementaciju tehnologija u vozila s ciljem da se smanji broj prometnih nesreća i da vozila budu potpuno autonomna ili da kroz sustave asistencije u vozilima upozore vozače na potencijalne ili već postojeće probleme na njihovoj ruti vožnje.

Pravovremena informacija može pridonijeti sprječavanju neželjenog događaja u cestovnom prometu, primjerice prometne nesreće. Pomoću svjetlosnih signala i znakova za informiranje sudionika u prometu, šalju se vidljive i jasne informacije i upozorenja. Slanjem poruka o potencijalnim opasnostima na prometnici, samovozećim se vozilima i vozačima daje dodatno upozorenje na postojanje opasnosti koju treba izbjeći.

Moderno društvo u kojem se trenutno nalazimo teži smanjenju broja prometnih nesreća i jedan je od glavnih razloga za razvoj i implementaciju komunikacije između vozila i drugih entiteta, kroz ad-hoc mrežu vozila.

Razvojem 5G mreže ostvarene su mogućnosti da se podaci i informacije mogu slati gotovo trenutno, odnosno s vrlo malim kašnjenjima u mreži. To će u budućnosti potencijalno omogućiti da samovozeća vozila i vozači vozila pravovremeno dobiju informacije o stanju na prometnicima i potencijalnim opasnim mjestima i situacijama.

U ovome je radu predstavljen zamišljeni sustav upravljanja pješačkim prijelazom koji komunicira s vozilima kroz sustav komunikacije VANET mreže i koji šalje poruke nailazećim vozilima kada se pješački prijelaz koristi. Osim slanja poruka, sustav ima i svjetlosnu projekciju na samom semaforском stupu, kao i iscrtavanje pješačkog prijelaza na prometnici pomoću LED ili Laser svjetlosne tehnologije. Upozorenja, međutim, nisu samo vizualne prirode. Naime, kada je sustav aktivan, javlja se i zvučni signal.

Upravljanje pješačkim prijelazima trenutno se odvija pomoću prometnih znakova i ocrtavanja pješačkog prijelaza na prometnici. Trenutno najsigurniji način upravljanja pješačkim prijelazima jest onaj pomoću semaforске regulacije.

Analizom postojećih rješenja i njihovom usporedbom nameće se zaključak da se razvojem samovozećih vozila i razvojem sustava pomoći (asistencija vozačima vozila) dolazi i do razvoja i primjene novijih tehnologija kao prometnih znakova i pravila u svrhu informiranja i upravljanja prometom.

## Literatura:

- [1] Cleaner Oceans Foundation. *Red flag*. Preuzeto s: [http://www.oceansplasticcleanup.com/Politics\\_Plastics\\_Oceans\\_Cleanup/Red\\_Flag\\_Act\\_Locomotive\\_1865\\_Cars\\_Speed\\_Limits\\_Man\\_Running\\_Carrying\\_A.htm](http://www.oceansplasticcleanup.com/Politics_Plastics_Oceans_Cleanup/Red_Flag_Act_Locomotive_1865_Cars_Speed_Limits_Man_Running_Carrying_A.htm) [Pristupljeno: 04. rujna 2023]
- [2] Republika Hrvatska. *Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama. Izdanje: 1823*. Zagreb: Narodne novine; 2019.
- [3] Balen J. *Učinkovito rasprostiranje poruka u mrežama vozila zasnovano na njihovom položaju*. Disertacija. Sveučilište u Osijeku; 2014.
- [4] Rgbsi. *Seven Types of Vehicle Connectivity*. Preuzeto s: <https://blog.rgbsi.com/7-types-of-vehicle-connectivity> [Pristupljeno: 02. rujana 2023]
- [5] Stephens D, Schroeder J, Klein R. Vehicle-to-infrastructure (V2I) safety applications : performance requirements. Introduction and common requirements. Washington: U.S.A. Department of Transportation; 2015. vol. 1. Preuzeto s: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/3592> [Pristupljeno: 02. rujana 2023]
- [6] Everythingrf. *V2X (Vehicle-to-Everything)*. Preuzeto s: <https://www.everythingrf.com/community/what-is-v2x> [Pristupljeno: 03. rujana 2023]
- [7] Researchgate. *V2C*. Preuzeto s: [https://www.researchgate.net/figure/Attack-points-through-communications\\_fig3\\_343522424](https://www.researchgate.net/figure/Attack-points-through-communications_fig3_343522424) [Pristupljeno: 06. rujna 2023]
- [8] Papathanassiou. A. T, Khoryaev A. *Cellular V2X as the Essential Enabler of Superior Global Connected Transportation Services. IEEE 5G Tech Focus: Volume 1. Number 2.*; 2017. Preuzeto s: <https://futurenetworks.ieee.org/tech-focus/june-2017/cellular-v2x> [Pristupljeno: 06. rujna 2023]
- [9] Jović A, Horvat M, Grudenić I. *UML-dijagrami: Zbirka primjera i riješenih zadataka*. Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računalstva Sveučilišta u Zagrebu; 2013.
- [10] Booch G, Rumbaugh J, Jacobson I. *The Unified Modeling Language User Guide*. Massachusetts: Publisher Addison Wesley, 1998.
- [11] Mrvelj Š. *Analiza i modeliranje prometnih sustava*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu. 2020./2021
- [12] Umbrellium. *Starling – crossing*. Preuzeto s: <https://umbrellium.co.uk/projects/starling-crossing/> [Pristupljeno: 26. kolovoza 2023]
- [13] IBM - *International Business Machines Corporation*. Preuzeto s : <https://www.ibm.com/blogs/think/be-en/2014/03/26/how-do-you-make-a-smarter-planet/> [Pristupljeno: 25. kolovoza 2023]



## Popis kratica

VANET	(A vehicular ad hoc network) mreža za komunikaciju vozila
MANET	(Mobile ad hoc network) prva mreža za komunikaciju vozila
LED	(Light-emitting diode) Svjetleća dioda
LASER	(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) pojačanje svjetlosti s pomoću stimulirane emisije zračenja
V2X	(Vehicle-to-everything) komunikacija vozila prema svim entitetima
ITS	(Intelligent transport systems) inteligentni transportni sustavi
OBU	(On-Board Unit, skraćeno) oprema u vozila za komunikacija između vozila i drugih entita
WLAN	(Wireless Local Area Network) bežična lokalna mreža
LTE	(Long Term Evolution) mreža četvrte generacije u bežičnim telekomunikacijama
3GPP	(The 3rd Generation Partnership Project ) standard usvojen za mrežne sustave od više korisnika u komunikaciji s vozilima
C-V2X	(Cellular V2X ) 3GPP standard za V2X aplikacije kao što su samovozeći automobili
V2V	(Vehicle-to-vehicle) komunikacija između vozila
V2I	(Vehicle-to-infrastructure) komunikacija između vozila i infrastrukture
V2P	(Vehicle-to-Pedestrian) komunikacija između vozila i pješaka
V2N	(Vehicle-to- network) komunikacija između vozila i mreže
V2C	(Vehicle-to- cloud) komunikacija između vozila i oblaka
V2D	(Vehicle-to-device) komunikacija prema uređaju
V2G	(Vehicle-to-grid) vozilo prema elektro mrežni
Lidar zrake	(Light Detection and Ranging) optički mjerni instrument koji odašilje laserske zrake
DSRC dometa	(Dedicated short-range communication) namjenska komunikacija kratkog dometa
UML	(Unified Modeling Language) standardizirani jezik za modeliranje koji se sastoji od integriranog skupa dijagrama
PHEV	(A plug-in hybrid electric vehicle) električno vozilo na baterije
BEV	(Battery Electric Vehicle - BEV) plug-in hibridno električno vozilo

HFCEV (Hydrogen Fuel Cell Vehicles) električna vozila na vodikove gorivne čelije  
C-ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems and Services) kooperativni inteligentni transportni sustavi i usluge

## Popis slika

<b>Slika 1.</b> Primjena zakona poznatog pod imenom Zakon crvene zastave [1].....	4
<b>Slika 2.</b> Prometni svjetlosni znakovi za bicikliste i pješake na uređajima za upravljanje prometom [2] .	5
<b>Slika 3.</b> Pješački prijelaz iscrtan na kolniku prometnice .....	6
<b>Slika 4.</b> Prijedlog sustava za upravljanje pješačkim prijelazom .....	7
<b>Slika 5.</b> Idejni prijedlog svjetlosnog simbola na instrument ploči vozila .....	9
<b>Slika 6.</b> Inteligentni transportni sustavi [3].....	10
<b>Slika 7.</b> Prikaz komunikacije V2X .....	12
<b>Slika 8.</b> Prikaz razmjene podataka V2V [5] .....	13
<b>Slika 9.</b> Prikaz komunikacije V2N [4] .....	14
<b>Slika 10.</b> Prikaz komunikacije V2C [4].....	15
<b>Slika 11.</b> Prikaz razmjene podataka V2I.....	16
<b>Slika 12.</b> Arhitektura V2I [5] .....	17
<b>Slika 13.</b> Arhitektura povezanosti podsustava sa vozilom.....	19
<b>Slika 14.</b> UML 2.5 struktura i podjela dijagrama [9] .....	22
<b>Slika 15.</b> Simboli i označavanje u dijagramima slučaja uporabe .....	24
<b>Slika 16.</b> Slučaj uporabe predloženog sustava upravljanja pješačkim prijelazom .....	25
<b>Slika 17.</b> Simboli, početak i kraj, akcija i aktivnosti i račvanja kod kreiranja dijagrama aktivnosti .....	26
<b>Slika 18.</b> Dijagram aktivnosti predloženog sustava upravljanja pješačkim prijelazom.....	27
<b>Slika 19.</b> Simboli i elementi dijagrama međudjelovanja .....	28
<b>Slika 20.</b> Dijagram međudjelovanja predloženog sustava za slučaj aktiviranja sustava .....	29
<b>Slika 21.</b> Dijagram međudjelovanja predloženog sustava za slučaj stavljanje u mirovanje sustava.....	31
<b>Slika 22.</b> Dijagram stanja .....	32
<b>Slika 23.</b> Pješački prijelaz ocrtan na kolniku sa znakom .....	33
<b>Slika 24.</b> Iscrtani pješački prijelaz vizualno označen upotrebom svjetlosnog signala .....	34
<b>Slika 25.</b> Pješački prijelaz i biciklistička staza, reguliranje prometa semaforskim stupom.....	34
<b>Slika 26.</b> Starling Crossing, prikaz pješačkog prijelaza [12] .....	35
<b>Slika 27.</b> Starling Crossing, prikaz putanje pješačkog prijelaza koji nije na okomitoj putanji [12] .....	36
<b>Slika 28.</b> IBM prikaz [13].....	36

## **Popis tablica**

<b>Tablica 1.</b> Usporedba prednosti i nedostataka .....	38
---	----

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je \_\_\_\_\_ diplomski rad \_\_\_\_\_  
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom Modeliranje sustava temeljenog na V2I komunikaciji za upravljanje pješačkim prijelazom , u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 15.09.2023

Boris Tolić Boris T.  
(ime i prezime, potpis)