

Prikupljanje podataka pomoću EOBD sučelja i CAN sabirnice

Barišić, Pavao

Undergraduate thesis / Završni rad

2012

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:483990>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-26**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Pavao Barišić

Zagreb, 2012.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Zoran Lulić

Student:

Pavao Barišić

Zagreb, 2012

Izjavljujem da sam ovaj završni rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija kao i navedenu literaturu te raspoložive uređaje.

Zahvaljujem se Prof. dr. sc. Zoranu Luliću na pomoći u radu te na ustupanju vlastitog vozila bez kojeg bi praktični dio rada bio teško izvediv. Također se zahvaljujem i ostalim vlasnicima vozila koji su nesebično ostavili svoje limene ljubimce u mojim rukama. Zahvaljujem se i stručnom suradniku Anti Vučetiću koji me je saslušao i savjetovao kad god je to bilo potrebno.

Pavao Barišić

Sadržaj

Popis slika	III
Popis tablica	V
Popis kratica	VI
Sažetak	VII
1. Uvod	1
2. OBD sustav	2
2.1. Početak OBD sustava	2
2.2. Prva generacija OBD sustava (OBD-I)	3
2.2.1. OBD-I u primjeni	4
2.3. Druga generacija OBD sustava (OBD-II)	6
2.3.1. DLC priključak	9
2.3.2. European-OBD (EOBD)	11
2.3.3. OBD-II komunikacijski protokoli	12
2.3.4. OBD-II u primjeni	14
2.4. Treća generacija OBD sustava (OBD-III)	17
3. CAN protokol	18
3.1. Uvod	18
3.2. Arhitektura	18
3.2.1. Fizički sloj	19
3.2.2. Podatkovni sloj	20
3.2.3. Viši slojevi	20
3.3. Struktura okvira	21
3.3.1. Podatkovni okvir (engl. <i>Data frame</i>)	21
3.3.2. Zahtjev za okvirom (engl. <i>Remote frame</i>)	23
3.3.3. Odgovor na pogrešku (engl. <i>Error frame</i>)	23
3.3.4. Okvir odgode slanja (engl. <i>Overload frame</i>)	23
3.4. CAN pogreške	24
3.5. Tok podataka kroz CAN sabirnicu	25
3.5.1. Brzina protoka podataka	26
4. Informacije dostupne putem OBD-II dijagnostičkog uređaja	27
4.1. Struktura OBD-II kodova pogrešaka (DTC)	27
4.2. Načini rada OBD-II dijagnostičkog uređaja	30
5. Prikupljanje podataka sa CAN sabirnice	33

5.1.	Korištena oprema.....	33
5.2.	Izrada programskog sučelja za očitavanje DTC-ova.....	37
5.2.1.	OpenDiagnostic.vi.....	37
5.2.2.	StartDiagnosticSession.vi.....	37
5.2.3.	ReadDTCByStatus.vi	38
5.2.4.	DTCToString.vi.....	39
5.3.	Podешavanje radnih parametara programskog sučelja	40
5.4.	Testiranje na vozilima	42
5.4.1.	Kia Cee'd.....	43
5.4.2.	Citroen C-Crosser.....	46
5.4.3.	Seat Ibiza	48
5.4.4.	Audi A4	50
5.4.5.	Ford Fusion	53
6.	Zaključak.....	56
	Literatura	57

Popis slika

Slika 2.1. Mogući izgledi OBD-I kontrolne žaruljice, MIL [1].	3
Slika 2.2. OBD-I dijagnostički uređaj Monitor 4000 proizvođača OTC s dodatnim priključcima pomoću koji se spaja na vozila marke GM, Ford, Chrysler i Toyota [1].	5
Slika 2.3. Usporedba nadziranih podsustava OBD-I i OBD-II sustava.	8
Slika 2.4. DLC (Diagnostic Link Connector) priključak, poznat i kao OBD-II priključak ili CARB priključak [1].	9
Slika 2.5. Usporedba OBD-II priključka (lijevo) sa OBD-I priključcima različitih proizvođača, General Motors, Ford, Chrysler (s desna na lijevo) [1].	9
Slika 2.6. Dozvoljena mjesta pozicije dijagnostičkog priključka [5]	11
Slika 2.7. Ispravnost OBD-II sustava na vozilima sa zabilježenom pogreškom (DTC-om) prema istraživanju provedenom od EPA-e 2003. godine [3].	14
Slika 2.8. Univerzalni bluetooth ELM 327 modul sa priloženim odgovarajućim programskim paketom.	16
Slika 2.9. Univerzalni bluetooth ELM 327 modul spojen na smartphone uređaje koji podržavaju iOS i Android operativni sustav.	16
Slika 3.1. Slojevi ISO 11898 normirane arhitekture [2].	18
Slika 3.2. CAN prijenos podataka „101“ [2].	19
Slika 3.3. CAN sabirnica [2].	19
Slika 3.4. Strukturni prikaz podatkovnog okvira [2].	21
Slika 3.5. Primjer arbitraže između čvorova za standardni format, Čvor D pobjeđuje.	22
Slika 3.6. Izgled očitanih signala sa CAN sabirnice na osciloskopu [2].	25
Slika 3.7. Električni uređaji u vozilu povezani preko CAN sabirnice [13].	26
Slika 4.1. Primjer očitano g koda pogreške – DTC-a [1].	29
Slika 4.2. Freeze frame, odnosno korisni podatci pohranjeni skupa sa kodom pogreške [1].	29
Slika 5.1. Uređaj NI USB-8473s.	33
Slika 5.2. Programski paket LabVIEW 2011.	35
Slika 5.3. Shema spajanja EOBD konektora određenog normom SAE J1962 sa DB9 konektorom za komunikaciju putem NI USB-8473s uređaja [10].	35
Slika 5.4. EOBD – DB9 kabeli korišteni za spajanje uređaja NI USB-8473s i vozila. Razlika je u EOBD konektorima, plavi ima plastiku za osiguranje protiv ispadanja.	36

Slika 5.5. LabVIEW povezan sa CAN sabirnicom vozila preko NI USB-8473s uređaja.....	36
Slika 5.6. Shematski prikaz OpenDiagnostic.vi u LabVIEW-u [4].	37
Slika 5.7. Shematski prikaz StartDiagnosticSession.vi u LabVIEW-u [4].	38
Slika 5.8. Shematski prikaz ReadDTCByStatus.vi u LabVIEW-u [4].	38
Slika 5.9. Shematski prikaz DTCToString.vi u LabVIEW-u [4].	39
Slika 5.10. Blok dijagram programskog sučelja za očitavanje DTC-ova sa vozila.	40
Slika 5.11. Programsko sučelje unutar LabVIEW-a za očitavanje DTC-ova sa vozila.	40
Slika 5.12. Lokacija dijagnostičkog priključka na vozilu Kia Cee'd.	43
Slika 5.13. Programsko sučelje za očitavanje radnih vrijednosti motora na vozilu Kia Cee'd.	44
Slika 5.14. Programsko sučelje za očitavanje DTC-ova na vozilu Kia Cee'd.	45
Slika 5.15. Lokacija dijagnostičkog priključka na vozilu Citroen C-Crosser.	46
Slika 5.16. Programsko sučelje za očitavanje DTC-ova na vozilu Citroen C-Crosser.	47
Slika 5.17. Lokacija dijagnostičkog priključka na vozilu Seat Ibiza.	48
Slika 5.18. Pogreška -8260.	49
Slika 5.19. Lokacija dijagnostičkog priključka na vozilu Audi A4.	50
Slika 5.20. Programsko sučelje za očitavanje radnih vrijednosti motora na vozilu Audi A4..	51
Slika 5.21. Programsko sučelje za očitavanje DTC-ova na vozilu Audi A4.	52
Slika 5.22. Lokacija dijagnostičkog priključka na vozilu Ford Fusion.	53
Slika 5.23. Programsko sučelje za očitavanje radnih vrijednosti motora na vozilu Ford Fusion.	54
Slika 5.24. Programsko sučelje za očitavanje DTC-ova na vozilu Ford Fusion.	55

Popis tablica

Tablica 2.1. Značenje pojedinog pina kod OBD-II priključka prema normi SAE J1962 [11].	10
Tablica 2.2. Podsustavi na kojima najčešće dolazi do pogreške prema istraživanju Agencije za zaštitu okoliša iz 2003. godine [3].	15
Tablica 4.1. Slovo na prvom mjestu u DTC-u određuje na koji dio vozila se kod odnosi.	27
Tablica 4.2. Brojka na prvom mjestu u DTC-u određuje o kojoj grupi pogreški se radi.	28
Tablica 4.3. Značenje trećeg mjesta u DTC-u ako je prva oznaka „P“.	28
Tablica 5.1. Postavke parametara za programsko sučelje koje očitava radne vrijednosti motora na vozilu Kia Cee'd.	43
Tablica 5.2. Postavke parametara za programsko sučelje koje očitava dijagnostičke pogreške na vozilu Kia Cee'd.	44
Tablica 5.3. Postavke parametara za programsko sučelje koje očitava radne vrijednosti motora na vozilu Citroen C-Crosser.	46
Tablica 5.4. Postavke parametara za programsko sučelje koje očitava dijagnostičke pogreške na vozilu Citroen C-Crosser.	47
Tablica 5.5. Objašnjenje nekoliko očitanih DTC-ova sa vozila Citroen C-Crosser.	48
Tablica 5.6. Postavke parametara za programsko sučelje koje očitava radne vrijednosti motora na vozilu Seat Ibiza.	49
Tablica 5.7. Postavke parametara za programsko sučelje koje očitava radne vrijednosti motora na vozilu Audi A4.	50
Tablica 5.8. Postavke parametara za programsko sučelje koje očitava dijagnostičke pogreške na vozilu Audi A4.	51
Tablica 5.9. Postavke parametara za programsko sučelje koje očitava radne vrijednosti motora na vozilu Ford Fusion.	53
Tablica 5.10. Postavke parametara za programsko sučelje koje očitava dijagnostičke pogreške na vozilu Ford Fusion.	54

Popis kratica

Kratica	Engleski	Hrvatski
ABS	Anti-lock Brake System	Sustav sprječavanja blokiranja kotača
CAN	Controller Area Network	CAN sabirnica
CARB	California Air Resources Board	Kalifornijska državna uprava za zrak
CRC	Cyclic Redundancy Check	Provjera cikličke redundancije
DLC	Data Link Connector	Dijagnostički priključak
DLL	Data Link Layer	Podatkovni sloj
DTC	Diagnostic Trouble Code	Dijagnostički kod pogreške
ECM	Engine Control Module	Upravljačka jedinica motora
EGR	Exhaust Gas Recirculation	Povratno vođenje ispušnih plinova
EOBD	European On Board Diagnostics	Europska dijagnostika ugrađena u vozilo
EPA	Environmental Protection Agency	Agencija za zaštitu okoliša
GND	Ground	Uzemljenje
HO ₂ S	Heated Oxygen Sensor	Grijana λ -sonda
ID	Identification	Identifikacija
ISO	International Organization of Standardization	Međunarodna organizacija za norme
LLC	Logic Link Control	Upravljanje logičkom vezom
MAC	Medium Access Control	Upravljanje pristupom mediju
MAF	Mass Air Flow	Maseni protok zraka
MAP	Manifold Absolute Pressure	Apsolutni tlak u usisnoj grani
MIL	Malfunction Indicator Lamp	OBD-II Kontrolna žaruljica pogreške
OBD	On-Board Diagnostics	Dijagnostika ugrađena u vozilu
PCM	Powertrain Control Module	Upravljački modul pogonske grupe
PID	Parameter Identification	Identifikator parametara
RTR	Remote Transmission Request	
SAE	Society of Automotive Engineers	Udruga automobilskih inženjera
TP	Transport Protocol	Transportni protokol
VI	Virtual Instrument	Virtualni instrument
VIN	Vehicle Identification Number	Identifikacijski broj vozila – VIN oznaka
WOT	Wide Open Throttle	Zaklopka gasa potpuno otvorena

Sažetak

Zbog ozbiljnog zagađenja zraka do kojeg je došlo radi intenzivnog porasta uporabe vozila pogonjenih motorima s unutrašnjim izgaranjem, zakonodavna tijela uvode norme o dopuštenom zagađenju ispušnim plinovima, a da bi ga proizvođači vozila zadovoljili neophodan je bio daljnji razvoj i unaprjeđivanje sustava za elektroničko ubrizgavanje goriva. Krajem šezdesetih godina prošlog stoljeća u vozila se počinju ugrađivati prvi računalni sustavi za upravljanje radom motora.

Sustav automatske dijagnostike ugrađen u vozilu, OBD (engl. *On-Board Diagnostic*) omogućuje pomoću dijagnostičkog uređaja pristup podacima pohranjenim u memoriji računala u vozilu. Ti podaci su pohranjeni kao kodovi pogrešaka te opisuju o kojoj se pogrešci radi, uvijete pod kojima je pogreška nastupila i na kojem dijelu ili sklopu u vozilu. Postoje specijalni, ali i univerzalni uređaji koji se spajaju na računalni sustav ugrađen u vozilu te omogućavaju očitavanje kako trenutnog stanja svih sustava u vozilu tako i očitavanje kodova pogrešaka.

Povećanjem broja elektroničkih računala (ECU-a, engl. *Electronic Control Unit*) u vozilu pojavljuje se potreba za njihovim povezivanjem radi razmjene podataka te se uvodi serijski komunikacijski protokol CAN (engl. *Controller Area Network*) koji omogućava razmjenu podataka sa svim podsustavima u vozilu, poput sustava za upravljanje radom motora te podsustavima bitnim za sigurnost i udobnost u vozilu.

1. Uvod

Izraz OBD (engl. *On-Board Diagnostic*) se odnosi na sustav automatske dijagnostike i mogućnosti dojava pogreške u vozilima. OBD-I se počeo ugrađivati u vozila početkom 80-ih godina prošlog stoljeća. U to vrijeme, proizvođači su ugrađivali procesore u vozila, koji su kontrolirali sustav paljenja i ubrizgavanja goriva. To je postalo moguće nakon odbacivanja rasplinjača, kao uređaja za pripremu gorive smjese, i prihvaćanja sustava za ubrizgavanje goriva s elektroničkom regulacijom omjera goriva i zraka. Prvi takav sustav predstavila je tvrtka Bosch sa uređajem KE-Jetronic koji je prvi imao senzor kisika (λ -sondu) u ispušnoj cijevi i elektronički regulacijski sklop. Kako su godine prolazile tako su se počeli ugrađivati procesori za kontrolu i ostalih sustava na vozilu, a sami procesori su postajali efikasniji i sposobniji u poslu koji obavljaju.

U saveznoj američkoj državi Kaliforniji problem zagađenja ispušnim plinovima iz vozila postao je opasan po građane pa stoga Kalifornijska državna uprava za zrak – CARB (engl. *California Air Resource Board*) uvodi svojevremeni Eko-test, koji se obavlja prilikom registriranja vozila, a mogla su ga proći samo vozila sa pogonskim agregatom koji ispravno sagorijeva gorivo i isto tako zbrinjava ispušne plinove. Smog, kako su zvali zagađeni zrak, je složenica koja dolazi od dvije engleske riječi: „*smoke*“ (hrv. *dim*) i „*fog*“ (hrv. *magla*). Ustvrdili su da glavni uzrok takvog zagađenja leži u ispušnim plinovima, nedovoljno pročišćenim nakon procesa izgaranja u motoru. Prvi OBD sustavi su nadgledali proces izgaranja u motoru i u slučaju odstupanja od očekivanih vrijednosti pokušavali vratiti na normalne vrijednosti, istovremeno signalizirajući pogrešku vozaču. Pogreška se očitovala kao signalna žaruljica koja se upali na kontrolnoj ploči vozila, upozoravajući ga da nešto nije uredu sa motorom i ispušnim plinovima koje vozilo proizvodi, te da je potreban servis vozila. OBD sustav je nastao kao odgovor proizvođača automobila na ograničenje zagađenja koje vozilo smije proizvesti svojim ispušnim plinovima od strane zakonodavnih tijela.

Implementacija OBD sustava u vozila je naišla na odbijanje od proizvođača zbog milijunskih cifra koje su se trebale potrošiti, no u bezizlaznoj situaciji njihova vozila morala su nekako udovoljiti propisima dozvoljene emisije štetnih plinova i stoga je svaki od proizvođača razvio vlastiti sustav. To je dovelo do šume priključaka i uređaja koji su bili potrebni jednom automehaničaru da bi pristupio popravku vozila. Počevši od 1996. godine, Agencija za zaštitu okoliša – EPA (engl. *Environmental Protection Agency*) je donijela odluku da sva vozila za Američko tržište moraju udovoljavati normama određenim od strane CARB-a. To je bio početak novog, OBD-II sustava koji je imao brojne prednosti nad prvim, OBD-I sustavom. Sam sustav nije više bio samo kontrola odvijenog procesa izgaranja i provjera udovoljavaju li ispušni plinovi normu, sada je posjedovao mogućnosti kontrole učinkovitosti uređaja, mnogo širi raspon bilježenja pogrešaka, snimanje stanja u kojem je došlo do pogreške i najbitnije od svega, a to je standardizacija uređaja. Kao takav OBD-II sustav je postao obvezan u svim vozilima kako u Americi tako u Japanu i Europi, a s napretkom to je dovelo do neorganizirane, teške i velike količine kablova koja je morala biti provučena kroz vozilo kako bi se povezali svi podsustavi. Da bi eliminirali problem proizvođači su tražili drugačiji, odnosno brži, jednostavniji i robusniji način povezivanja podsustava i tu na scenu stupa CAN (engl. *Controller Area Network*) protokol. Od 2004. godine CAN postaje najčešće korišten dijagnostički protokol i implementiran je u većini vozila koja izlaze sa proizvodnih traka tvornica. Još odavno prije standardizacije CAN protokola u automobilističkoj industriji, OBD je prerastao iz uređaja za kontrolu emisije štetnih plinova u nadzorni sustav svih elektroničkih sklopova vozila bez kojih bi današnja moderna vozila bila nezamisliva.

2. OBD sustav

2.1. Početak OBD sustava

Temelji OBD (engl. *On-Board Diagnostic*) sustava uslijedili su nedugo nakon što je CARB (engl. *California Air Resource Board*) donijela legislativu o kontroli ispušnih plinova motornih vozila 1970. godine na području savezne američke države Kalifornije. Zatim je istu usvojio Američki kongres i istovremeno osnovao Agenciju za zaštitu okoliša EPA (engl. *Environmental Protection Agency*) koja donosi Uredbu o čistom zraku (engl. *The Clean Air Act*) gdje se traži 90 postotno smanjenje štetnih tvari u ispušnim sustavima motornih vozila do 1975. godine. Razlog tomu je bio oblak smoga koji je progutao cijeli Los Angeles 1948. godine, a nakon kojeg su lokalne vlasti su okrivile Southern California Gas Company-u čija je primarna funkcija proizvodnja butadiena. Nakon što su poduzeli mjere istraživanja uzroka nastanka smoga rezultati su pokazali da u suhim vrućim klimama sunce djeluje kao katalizator i potiče fotokemijsku reakciju između ugljikovodika (HC), iz naftnih rafinerija, sa dušičnim oksidima (NO_x), iz ispuha motornih vozila, i tvori ozon (O_3) koji se naziva smogom. Do tog zaključka se došlo jer su gumeni proizvodi, a pod tim i automobilski pneumatici, trajali znatno manje na području Kalifornije nego drugdje. Kao konačan dokaz je test na prisutnost ozona sa uzorkom gume, koja kad se izloži visokoj koncentraciji ozona razvije pukotine na površini za samo 7 minuta.

Donijete regulative naišle su na ozbiljno negodovanje kod proizvođača automobila jer su značile razvijanje nove tehnologije koja zahtjeva ulaganje milijunskih iznosa u istraživanje. Svi motori s unutarnjim izgaranjem u svojim ispušnim plinovima imaju štetne spojeve koji su rezultat nepotpunog izgaranja mješavine goriva i zraka, a ono je rezultat lokalnog nedostatka kisika (O_2) da bi svaka molekula goriva mogla potpuno izgorjeti. Količina neizgorjelog goriva je vrlo mala i ne utječe osjetno na potrošnju goriva, međutim u ispušnim plinovima ta količina je vrlo štetna i postaje primarna briga. Tri organizacije, CARB, EPA i SAE (engl. *Society of Automotive Engineers*), 1980. godine započnu ulagati velike napore u istraživanje slučaja neizgorjelog goriva i do 1988. prva generacija OBD sustava (OBD-I) je morala biti ugrađena u svako vozilo prodano u Kaliforniji, a njihovim stopama su uskoro pošle cijele Sjedinjene Američke Države.

Ključ efikasnog smanjenja štetnih tvari u ispušnim plinovima nalazio se u elektronički upravljanoj sustavu kontrole ispušnim plinovima, koji je mogao obavljati sljedeće funkcije:

1. Trenutno odgovoriti na zahtjev za smjesom goriva i zraka, za bilo koju radnu točku motora.
2. Izračunati optimalan kut pretpaljenja za maksimalnu učinkovitost procesa izgaranja u motoru.
3. Izvršiti gore navedene funkcije bez negativnog utjecaja na performanse motora i potrošnju goriva.

Prva je prepreka za smanjenje štetnih tvari u ispušnim plinovima rasplinjač, koji nije moguće ugoditi da pravilno dozira gorivo u svim radnim točkama motora. Zbog toga rasplinjač odlazi u povijest, a njegovo mjesto preuzima sustav za ubrizgavanje goriva s elektroničkom regulacijom omjera goriva i zraka. Drugi uređaj je λ -sonda, pomoću koje se osigurava strogo stehiometrijska smjesa goriva i zraka ($\lambda = 1,00 \pm < 3\%$) koja osigurava potpuno izgaranje i visok stupanj pretvorbe u katalizatoru. Treći, najbitniji u priči o smanjenju štetnih tvari u ispušnim plinovima, je katalizator koji selektivno pretvara dio štetnih tvari iz ispušnih plinova u neškodljive.

2.2. Prva generacija OBD sustava (OBD-I)

OBD-I je prvotno zamišljen kao sustav za nadgledanje rada sustava za ubrizgavanje goriva, dok je riječ o količini štetnih tvari u ispušnim plinovima, kao sredstvo koje upozorava vozača ako nešto nije uredu sa radom motora i potencijalno može izazvati povećanje štetnih tvari u ispušnim plinovima. Dodatno, OBD-I je teoretski zamišljen sa mogućnošću samokontrole sustava dovoda i paljenja goriva, kao i da prati njihovu sposobnost u održavanju štetnih tvari u ispušnim plinovima pod kontrolom. Također, sustav ima mogućnost ispisivanja šifre pogreške, koje bi naposljetku služile servisnim tehničarima kao uputa na kojem dijelu vozila je došlo do nepravilnog rada motora, kako bi se što lakše mogao otkloniti kvar zamjenom ili popravkom. Na ovo su proizvođači automobila gledali kao dodatnu prednost sustava.

Računalo motora, ECM (engl. *Engine Control Module*) ili PCM (engl. *Powertrain Control Module*), upravlja sustavima senzora (npr. senzor protoka kisika) i aktuatora (npr. brizgaljka goriva) motora koji osiguravaju predviđene performanse i predviđeno zagađenje u ispušnim plinovima. Senzori i aktuatori skupa sa dijagnostičkim programom koji nadzire rad računala motora se nazivaju OBD sustav.

Ukoliko OBD sustav uoči problem u radu motora, odgovarajuća pogreška sa šifrom, DTC (engl. *Diagnostic Trouble Code*), bit će spremljena u memoriju računala motora. Sljedeći korak, kontrolna žaruljica na instrument ploči vozila – MIL (engl. *Malfunctions Indicated Light*) se trajno upali, upozoravajući vozača da je otkriven problem i da je potreban servis vozila. Kada servisni tehničar dobije zadatak popraviti vozilo, pomoću dijagnostičkog uređaja će se očitati DTC i prema jedinstvenom kodu problema brže i preciznije izvršiti popravak.



Slika 2.1. Mogući izgledi OBD-I kontrolne žaruljice, MIL [1].

U slučaju da kontrolna žaruljica – MIL treperi to je znak da je nastali problem s motorom vrlo ozbiljan i da uzrokuje značajno povećanje štetnih tvari u ispušnim plinovima. U opisanom slučaju vozač je dužan usporiti vozilo i potražiti te obaviti servis vozila što je prije moguće. Već nakon kratkog perioda rada motora u ovakvom stanju, komponente zadužene za kontrolu i tretiranje štetnih tvari u ispušnim plinovima su ugrožene i mogu biti ozbiljno oštećene. Rad motora dok treperi MIL najčešće dovodi do prijevremene zamjene katalizatora, koji je najskuplja komponenta sustava za tretiranje štetnih tvari ispušnog sustava.

Bitno je znati da je upaljena kontrolna žaruljica (MIL) tu da upozori i obavijesti vozača o potrebi za servisom, a ne o potrebi za zaustavljanjem vozila.

2.2.1. OBD-I u primjeni

Serviseri, mehaničari i slično stručno osoblje zaduženo za popravljanje vozila je po implementaciji OBD sustava trebalo dobiti bitno jednostavniji i ubrzaniji posao. Zamišljeno je da samo trebaju očitati kod nastalog problema spajanjem dijagnostičkog uređaja s vozilom i popravkom ili zamjenom problematičnog dijela proglasiti vozilo ispravnim. Međutim, zamjena dijelova sugeriranih DTC-ovima, naposljetku nije stvarno popravila mnoge od pokvarenih vozila. Zapravo, slabe žičane veze između uređaja, propuštanja u usisnom sustavu, pokvarena računala koja nisu mogla uočiti grešku u svom radu, loši senzori koji ne bi inicirali DTC i motori sa problemima mehaničke prirode su doveli do rasula u industriji servisa automobila na par godina.

Umjesto niže obrazovanog osoblja, koje se očekivalo da će biti potrebno implementacijom OBD sustava u vozila, dogodilo se da osoblje mora biti jednako obrazovano sa još višim stupnjem iskustva u popravljanju vozila, dakle upravo obrnuto. Proces čitanja i razumijevanja podataka iz OBD-I sustava nije bio jednostavan, jer nije bilo ili je bilo vrlo malo dostupnih informacija nezavisnim servisnim stanicama i njihovom osoblju kako to izvesti. U prilog tome je išla i činjenica da su uređaji za paljenje, ubrizgavanje goriva i kontrolu ispušnih plinova bili povezani preko računala motora (ECU) i ako jedan uređaj radi problem, DTC može indicirati da je problem na skroz drugom uređaju, a evidentirana pogreška je nastala zbog problematičnog uređaja. Slijepo se oslanjajući na informaciju koju je zabilježio OBD, osoblje servisa bi potrošilo sate pokušavajući popraviti ispravan uređaj koji je OBD sustav DTC-om prijavio kao neispravan.

Uz sve prednosti OBD-I sustava praksa je pokazala brojne mane u praktičnoj primjeni:

- Konektori za dijagnostičke uređaje nisu bili standardizirani. Tehničko osoblje je trebalo posjedovati veliki raspon priključaka za uspješno spajanje na OBD-I sustav na različitim vozilima (vidi sliku 2.2.).
- Kodovi pogrešaka nisu bili dosljedni između proizvođača automobila. Tehničko osoblje je trebalo posebne informacije za svako vozilo da bi bilo u mogućnosti protumačiti rezultate očitane sa OBD-I sustava.
- Imena za različite sustave ispušnih plinova i motora nisu bila standardizirana. Tehničko osoblje je moralo biti upoznato sa specifičnom terminologijom vozila.
- Kriterij koji je palio kontrolnu žaruljicu ili MIL nije bio isti među proizvođačima automobila. Nije bilo propisano koliko uređaj, nadgledan od strane OBD-I sustava, mora odstupat od očekivanih vrijednosti da bi se upalio MIL na instrument ploči vozila.
- Pozicija konektora je ovisila o proizvođaču automobila. Često je znala biti na teško dostupnom mjestu i tako otežati posao tehničkom osoblju u prikupljanju informacija.
- Količina informacija dostupnih preko dijagnostičkog uređaja je ovisila o proizvođaču automobila. Različit broj senzora i aktuatora je bio spojen na računalo motora.



Slika 2.2. OBD-I dijagnostički uređaj Monitor 4000 proizvođača OTC s dodatnim priključcima pomoću koji se spaja na vozila marke GM, Ford, Chrysler i Toyota [1].

OBD-I sustavi su bili toliko manjkavi da većina njih nije mogla ustanoviti je li motor i njegov sustav ispušnih plinova zapravo radi ispravno. U stvarnosti vozilo je moglo velike količine neizgorjelog goriva izbacivati iz cilindra kroz ispuh i ne palit nikakve kontrolne žaruljice, unatoč OBD-I nadzornom sustavu, pružajući tako informaciju vozaču da je s vozilom sve uredu. Čest je primjer prije navedenog i manjkavosti OBD-I sustava interakcija između katalizatora i OBD-I sustava. Katalizator bi često bio „začepljen“, bilo zbog previše bogate smjese, propuštanja rashladne tekućine u cilindar ili zbog previše prijeđenih kilometara, izazivajući tako smanjenje snage motora. Stoga su katalizatori često bivali ilegalno uklonjeni i nikad zamijenjeni. OBD-I sustav nije bio sposoban otkriti nedostatak katalizatora, pa tako se ni MIL nije upalio.

Uvidjevši ograničenja OBD-I sustava, Kalifornijska državna uprava za zrak (CARB) je u suradnji sa Američkom Agencijom za zaštitu okoliša (EPA) i Udrugom automobilskih inženjera (SAE) donijela nove smjernice za OBD sustav koje su rezultirale novom generacijom sustava.

2.3. Druga generacija OBD sustava (OBD-II)

OBD-I je bio relativno jednostavan, nadzirao je samo osjetnik protoka kisika, sustav za povratno vođenje ispušnih plinova u usisnu granu (EGR, engl. *Exhaust Gas Recirculation*), sustav za dovod goriva i računalo motora (ECM). OBD-I je bio korak u pravom smjeru, no nedostatak standardizacije među proizvođačima automobila ga je sputavao i sprječavao u daljnjem razvoju. Automehaničar je morao imati različite priključke za rad na različitim modelima i markama vozila, a nekim sustavima moglo se pristupiti samo preko skupih tvorničkih dijagnostičkih uređaja. OBD-I nije mogao otkriti određene probleme kao npr. uništen katalizator ili izostanak zapaljenja smjese u cilindru. Osim toga, OBD-I sustav nije mogao nadzirati progresivno trošenje (propadanje) komponenti vezanih uz sustav ispušnih plinova.

1994. godine, Američka EPA i CARB su propisali skup novih pooštrenih smjernica vezanih uz primjenu OBD sustava u vozilima. Smjernice, koje su se zvale OBD-II, su bile donijete tako da novi sustav automatske dijagnostike bude sposoban otkriti kvarove na sustavu za kontrolu i zbrinjavanje ispušnih plinova te olakšati njihovo popravljavanje prije nego se performanse vozila pogoršaju. Kontrolna žaruljica na instrument ploči vozila (MIL) sada je podešena da se upali ako u sastavu ispušnih plinova koncentracija ugljikovodika (HC), ugljičnog monoksida (CO), dušičnih oksida (NO_x) ili drugih štetnih tvari poraste 1,5 puta više od dozvoljenih vrijednosti po normama za tu godinu modela vozila.

Norme propisuju:

- Svaki puta kad nasumično izostajanje zapaljenja gorive smjese izaziva porast koncentracije ugljikovodika (HC) u ispušnim plinovima.
- Svaki puta kad radna učinkovitost katalizatora padne ispod određenog praga.
- Svaki puta kada neki od ključnih senzora ili drugih uređaja za kontrolu ispušnih plinova zataji.
- Svaki puta kad sustav otkrije propuštanje zraka u zatvoreni sustav dovoda goriva.
- Za Dieslove motore – svaki puta kada greška u EGR sustavu dovede do porasta koncentracije dušičnih oksida (NO_x) u ispušnim plinovima.

Stoga, kontrolna žaruljica – MIL se može upaliti iako izgleda da vozilo radi ispravno i nema očitih problema s voznim svojstvima. To je zato što vozilo može raditi ispravno usprkos povećanju štetnih tvari u ispušnim plinovima, a MIL je samo sredstvo za upozoravanje vozača kako vozilo zagađuje više nego što je dopušteno.

Bitna prednost za daljnji razvoj OBD-II nad OBD-I sustavom je standardiziranje kodova pogreški (DTC) i dijagnostičke opreme. Zahtijevano je da svi proizvođači automobila moraju udovoljiti sljedećim smjernicama:

- 16-pinski normirani priključak, zvan DLC (engl. *Diagnostic Link Connector*) sa unaprijed određenim funkcijama pinova, lokacijom, veličinom i oblikom.
- Komunikacijski protokol između dijagnostičkog uređaja i računala motora.
- Normirani popis kodova pogrešaka, DTC, koji koriste svi proizvođači.
- Normirani popis identifikacijskih parametara (PID, engl. *Parameter IDentification*) koji koriste svi proizvođači.
- Mogućnost pohranjivanja u kojim radnim uvjetima je pogreška (DTC) nastala, u memoriji računala.

OBD-II sustav je uveo dodatne elektroničke uređaje, a zbog naprednijeg softvera i dodatne mogućnosti nad onima u OBD-I sustavu, a to su:

- Dvostruko veći broj senzora kisika od vozila koja ne posjeduju OBD-II sustav, sa sensorima koji su obično grijani (HO₂S, engl. *Heated O₂ Sensor*). Dodatni senzori su postavljeni iza katalizatora kako bi se nadzirala učinkovitost istog.
- Računalo motora (ECM) sa više procesorske snage.
- *Read Only* memorija sa mogućnošću elektroničkog brisanja i programiranja (EEPROM, engl. *Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) koja dopušta računalu motora nadogradnju na posljednju verziju softvera koristeći vanjsko računalo spojeno preko DLC-a.
- EGR sustav sa linijskim EGR ventilom koji je elektronički upravljani i ima senzor vertikalnog položaja.
- Sekvencijalno ubrizgavanje goriva
- Senzor apsolutnog tlaka u usisnoj cijevi (MAP, engl. *Manifold Absolute Pressure*) i senzor masenog protoka zraka (MAF, engl. *Mass Air Flow*) za nadzor protoka zraka i opterećenja motora.

Kada se detektira problem koji može izazvati znatan porast štetnih tvari u ispuhu, OBD-II sustav upali kontrolnu žaruljicu na instrument ploči - MIL, kako bi upozorio vozača da je potreban pregled vozila kod serviser. Serviser tada može spojiti dijagnostički uređaj preko standardiziranog DLC priključka i utvrditi točan razlog paljenja kontrolne žaruljice.

Sa spojenim OBD-II dijagnostičkim uređajem na vozilo se općenito može doći do tri informacije:

- Je li *Malfunctions Indicated Light* (MIL) naredba postavljena na 'on' ili 'off'.
- Koji od kodova pogrešaka – DTC-ova, ako ikoji, su pohranjeni u memoriji računala
- Stanje spremnosti nadzornih sustava (engl. *Readiness Monitors*)

Današnji OBD-II sustavi nadziru stanje do 11 podsistema vezanih za kontrolu ispušnih plinova obavljajući kontinuirane ili periodične testove specifičnih komponenti i stanja vozila: (Sosnowski 2001) Tri podsustava koje se kontinuirano nadziru su izgaranje, dovod goriva i sveobuhvatne komponente (CCM, engl. *Comprehensive Components*). Preostalih osam podsustava nadzire se samo periodično ili ako su određeni uvjeti zadovoljeni. Algoritmi koji se koriste za nadzor ovih osam periodičnih su specifični za svakog proizvođača i uključuju parametre kao okolišnu temperaturu ili uvjete vožnje. Većina vozila će imati barem pet od osam podsustava:

- Katalizator,
- Sustav sprječavanja ishlapljivanja goriva i/ili kontrola propuštanja,
- Senzor kisika (O₂) u ispušnom plinu – λ-sonda,
- Grijane senzora kisika u ispušnom plinu – λ-sonde,
- Sustav za recirkulaciju ispušnih plinova u usisnu granu (EGR).

Nadziranje preostala tri podsustava nisu nužna u svim vozilima:

- Klima uređaj,
- Upuhivanje sekundarnog zraka,
- Grijani katalizator



Slika 2.3. Usporedba nadziranih podsustava OBD-I i OBD-II sustava.

Readiness Monitor funkcija osigurava da vozilo ima dovoljno vremena za provođenje svih potrebnih provjera vezanih uz kontrolu ispušnih plinova. Kada je dijagnostički uređaj spojen na OBD-II sustav, *Readiness Monitor* može davati informaciju:

- Spreman (engl. *Ready*) - informacija tražena od određenog podsustava je spremna,
- Nespreman (engl. *Not Ready*) - informacija tražena od određenog podsustava još nije spremna,
- Nije primjenjivo (engl. *Not Applicable*) - vozilo nije opremljeno sa traženim podsustavom, tražena informacija je nedostupna.

Ako *Readiness Monitor* nije spreman (*Not Ready*) vozilo se mora provesti kroz par ciklusa normalne vožnje kako bi dijagnostički uređaj mogao normalno očitavati informacije.

OBD-II sustav može zabilježiti pogrešku vezanu za ispušne plinove (DTC) i servisne pogreške koje nisu povezane s ispušnim plinovima:

Tip A – *Diagnostic Trouble Codes* (DTC-ovi) su najozbiljnije pogreške i aktivirat će MIL nakon samo jednog slučaja. Kada je aktiviran Tip A pogreške, OBD-II sustav pohranjuje kod pogreške (DTC-a), nastajanje pogreške i uvjete u kojima je pogreška nastala (engl. *freeze frame data*) kako bi kasnije lakše uočili i uklonili problem.

Tip B – *Diagnostic Trouble Codes* (DTC-ovi) su manje ozbiljni problemi u ispušnim plinovima i moraju se dogoditi barem dva puta uzastopno prije nego će se aktivirati MIL. Kada se odvijaju uvjeti za aktiviranje MIL kontrolne žaruljice, pohranjuje se kod pogreške, nastajanje pogreške i uvjeti u kojima je pogreška nastala, kao i u slučaju pogreške Tipa A.

Tip C i D pogreške nisu vezane uz ispušne plinove. Tip C pogreška može aktivirati MIL kontrolnu žaruljicu ili neku drugu kontrolnu žaruljicu na instrument ploči vozila. Tip D pogreške ne mogu dovesti do aktiviranja MIL kontrolne žaruljice.

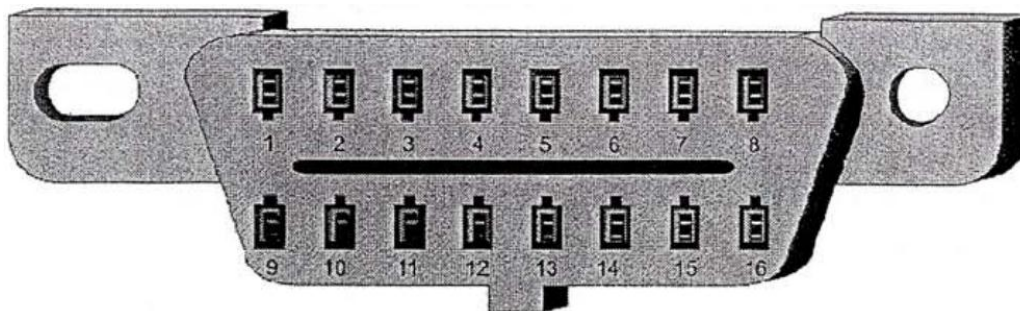
SAE standardi vezani za OBD-II sustav su:

- J1930 – Terminologija za sve bitne komponente vezane uz kontrolu ispušnih plinova
- J1962 – *Diagnostic (Data) Link Connector* – DLC priključak i njegova lokacija
- J2190 – Načini rada dijagnostičkih uređaja (engl. *Diagnostic Test Modes*)
- J2012 – Dijagnostički kodovi pogreški (DTC, engl. *Diagnostic Trouble Codes*)

U Sjedinjenim Američkim Državama, vozila do 6350 kg (14 000 *pounds*) s godinom proizvodnje od 1996. su morala biti opremljena OBD-II sustavom. Sva osobna vozila i kombiji s godinom proizvodnje od 1997. pogonjeni Dieslovim motorom su također morali udovoljavati OBD-II zahtjevima. U Kanadi, OBD-II su morala posjedovati sva vozila od 1998. godine proizvodnje.

2.3.1. DLC priključak

Uvođenje OBD-II sustava u vozila donijelo je standardizirani 16-pinski priključak koji je identičan za američka, japanska i europska vozila. Standardom SAE J1962 je propisana funkcija pinova te lokacija, veličina i oblik priključka.



Slika 2.4. DLC (*Diagnostic Link Connector*) priključak, poznat i kao OBD-II priključak ili CARB priključak [1].



Slika 2.5. Usporedba OBD-II priključka (lijevo) sa OBD-I priključcima različitih proizvođača, General Motors, Ford, Chrysler (s desna na lijevo) [1].

SAE je normom J1962 propisao funkciju pinova na priključku koji se koriste za OBD-II dijagnostičke uređaje. U tablici 2.1. navedena je funkcija svakog od pinova.

Tablica 2.1. Značenje pojedinog pina kod OBD-II priključka prema normi SAE J1962 [11].

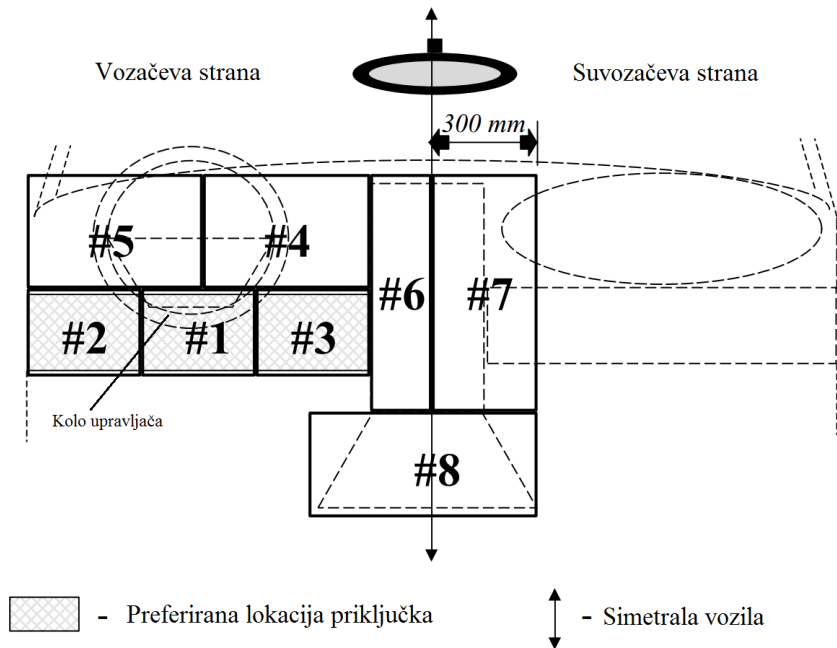
Pin	Značenje
1	GM-ov interni tvornički protokol: J2411 GMLAN/SWC/Jednožičani CAN
2	Prijenos podataka prema SAE J1850 J1859 (Bus +)
3	Ford DCL (+) Argentina, Brazil (prije OBD-II) 1997-2000, USA, Europe, Bus (+)
4	Uzemljenje šasije (minus pol akumulatora, masa)
5	Uzemljenje signala (masa signala)
6	CAN High (ISO 15765 i SAE J2284)
7	Prijenos podataka prema ISO-9141-2 K vod i ISO/DIS 14230-4
8	Ne koristi se
9	Ne koristi se
10	Prijenos podataka prema SAE J1850 (Bus -)
11	Ford DCL (-) Argentina, Brazil (prije OBD-II) 1997-2000, USA, Europe, Bus (-)
12	Ne koristi se
13	Ne koristi se
14	CAN Low (ISO 15765 i SAE J2284)
15	Prijenos podataka prema ISO-9141-2 L vod i ISO/DIS 14230-4
16	Baterija (plus pol akumulatora)

Da bi se prepoznalo koji protokol je korišten u vozilu, potrebno je pregledati DLC priključak i vidjeti koji pinovi su prisutni u priključku. Današnji uređaji će automatski prepoznati po kojem protokolu radi sustav automatske dijagnostike u vozilu.

- SAE J1850 VPW - priključak bi trebao imati metalne kontakte na mjestu pinova 2, 4, 5, i 16.
- SAE J1850 PWM - priključak bi trebao imati metalne kontakte na mjestu pinova 2, 4, 5, 10, i 16.
- ISO 9141-2 - priključak bi trebao imati metalne kontakte na mjestu pinova 4, 5, 7, 15, i 16.
- ISO 15765 - priključak bi trebao imati metalne kontakte na mjestu pinova 4, 5, 6, 14, i 16
- ISO 14230 - priključak bi trebao imati metalne kontakte na mjestu pinova 4, 5, 7, 15, i 16.

Vozila većinom imaju mogućnost komuniciranja sa dijagnostičkim uređajima preko samo jednog protokola. Broj podržanih protokola dijagnostičkog uređaja bio je proporcionalan cijeni uređaja. Do danas, standardizacija, popularnost i globalizacija OBD-II dijagnostičkih uređaja učinile su svoje pa sada većina podržava sve navedene protokole i cijena je pristupačna svakome.

Normom J1962 pozicija DLC priključka je definirana da mora bit u jednom od područja prikazanih slikom 2.2. Obično se nalazi ispod kola upravljača, a iznad upravljačkih papučica (gas, kočnica, spojka) tj. u području označenim sa #1, #2 i #3.



Slika 2.6. Dozvoljena mjesta pozicije dijagnostičkog priključka [5]

2.3.2. European-OBD (EOBD)

Europski Parlament je izdao vlastitu direktivu koja je usmjerena na smanjenje zagađenja od motornih vozila, a poznata je kao smjernica Europske unije EURO-3, koja se nadovezala na već postojeće smjernice EURO-1 i EURO-2. Kao dodatak postojećim, EURO-3 smjernica je sadržavala direktivu koja nalaže nadziranje pojedinih podsustava odgovornih za sastav ispušnih plinova, po uzoru na Američki OBD-II sustav.

EOBD (*European On Board Diagnostics*) propisi su Europski ekvivalent Američkog OBD-II sustava i primjenjuju se na putnička vozila kategorije M1 (Motorna vozila za prijevoz osoba koja osim vozačkog sjedišta imaju najviše 8 sjedećih mjesta i najveću dopuštenu masu 2500kg ili manje) prvi puta registrirana u Europskoj uniji od 1.siječnja 2001. godine za vozila pogonjena Ottovim motorom i od 1. siječnja 2004. godine za vozila pogonjena Dieselovim motorom. Za tek predstavljene, nove, modele propisi vrijede godinu dana ranije (1. siječnja 2000. godine za vozila sa Ottovim motorom i 1. siječnja 2003. godine za vozila s Dieselovim motorom). Za putnička vozila sa najvećom dopuštenom masom većom od 2500 kg (kategorije M2 i M3) i teretna vozila najveće dopuštene mase do 3500kg (kategorija N1) propisi vrijede od 1. siječnja 2002. godine za vozila pogonjena Ottovim motorom i 1. siječnja 2007. godine za vozila pogonjena Dieselovim motorom.

Tehnička implementacija EOBD sustava je u suštini ista kao i OBD-II sustava, sa istom SAE J1962 normom koja propisuje DLC priključak i protokole za komunikaciju između uređaja i vozila.

Ponekad je moguće čuti izraz EOBD2 koji je marketinški trik, a koriste ga neki proizvođači vozila da izdvoje svoje OBD-II sustave jer posjeduju neke dodatne mogućnosti koje nisu propisane u standardnim OBD-II sustavima. U ovom slučaju 'E' znači poboljšan (engl. *Enhanced*).

EURO-3 smjernicom propisane su sljedeće maksimalne količine štetnih tvari u ispušnim plinovima za putnička vozila do 2500 kg pogonjena Ottovim motorima:

- Ugljični monoksid (CO) – 3,2 g/km
- Ugljikovodici (HC) – 0,4 g/km
- Dušični oksidi (NO_x) – 0,6 g/km

EOBD propisuje nadziranje funkcija sljedećih podsustava:

- Katalizatora
- Grijača katalizatora (ako postoji)
- Detekcije izostanka zapaljenja smjese
- Dovoda goriva
- Senzora protoka kisika
- Sustava upuhivanja sekundarnog zraka (ako je moguće)
- Poklopca spremnika goriva

U Sjedinjenim Američkim Državama vozila koja udovoljavaju OBD-II propise moraju imati sustav za nadziranje isparavanja u sustavu dovoda goriva i upuhivanje sekundarnog zraka za vrijeme hladnog starta (engl. *Cold start*). Za razliku od Američkih OBD-II propisa, EOBD, kad je uveden (2000. god.), nije morao nadzirati isparavanje u sustavu dovoda goriva. Europska Unija je te mjere poduzela tek predstavljanjem sofisticiranijih OBD-II sustava u Direktivi 94/12/EC.

2.3.3. OBD-II komunikacijski protokoli

Dok su parametri (PID-ovi) i informacije propisane OBD-II sustavom iste među svim proizvođačima vozila, sa komunikacijskim protokolima između dijagnostičkih uređaja i OBD-II sustava su imali više slobode. Pa tako postoje 4 različita komunikacijska protokola u upotrebi: ISO 9141, J1850 PWM, J1850 VPW i ISO 14230-4. Peti je CAN (engl. *Controller Area Network*) protokol i postao je obavezan na svim vozilima od 2008. godine.

Dok su parametri (PID-ovi) i informacije propisane OBD-II sustavom iste među svim proizvođačima vozila, sa komunikacijskim protokolima između dijagnostičkih uređaja i OBD-II sustava dano je više slobode. Pa tako postoje 4 različita komunikacijska protokola u upotrebi: ISO 9141, J1850 PWM, J1850 VPW i ISO 14230-4. Peti je CAN protokol i postao je obavezan na svim vozilima od 2008. godine. EPA je dozvolila upotrebu CAN protokola u modelima vozila s godinom proizvodnje 2004. – 2007. skupa sa 4 postojeća. 2008. godine CAN postaje jedini dozvoljeni protokol u vozilima za Američko tržište, a postojeći (ISO 9141, J1850 PWM, J1850 VPW i ISO 14230-4) su zabranjeni.

OBD-II protokoli su:

1. SAE J1850 PWM (engl. *Puls Width Modulation*) (Koristi se na vozilima marke Ford, ali samo u SAD-u)
 - Pin 2: Sabirnica - (engl. *Bus -*)
 - Pin 10: Sabirnica +
 - Visoki napon je + 5 V
 - Duljina poruke je ograničena na 12 bajtova (engl. *bytes*)

2. SAE J1850 VPW (engl. *Variable Puls Width*) (Promjenjiva širina impulsa) (norma za GM, engl. *General Motors*)
 - Pin 2: Sabirnica +
 - Visoki napon je + 7 V
 - Točka odluke je + 3.5 V
 - Duljina poruke je ograničena na 12 bajtova

3. ISO 9141-2 (Koristi se na vozilima marke Chrysler, na svim vozilima Europskog i većini Azijskog podrijetla)
 - Pin 7: K vod
 - Pin 15: L vod (neobavezan)
 - Duljina poruke je ograničena na 12 bajtova

4. ISO 14230 KWP2000 (Keyword Protocol 2000) normu koriste većina Europskih i Azijskih proizvođača vozila.
 - Pin 7: K vod
 - Pin 15: L vod (neobavezan)
 - Fizikalna razina signala identična sa ISO 9141-2
 - Poruka može sadržavati do 255 bajtova u podatkovnom polju

5. ISO 15765 CAN (250 kbit/s ili 500 kbit/s)
 - Pin 6: CANHigh
 - Pin 14: CANLow
 - Koristi se u svim vozilima s godinom proizvodnje 2008.

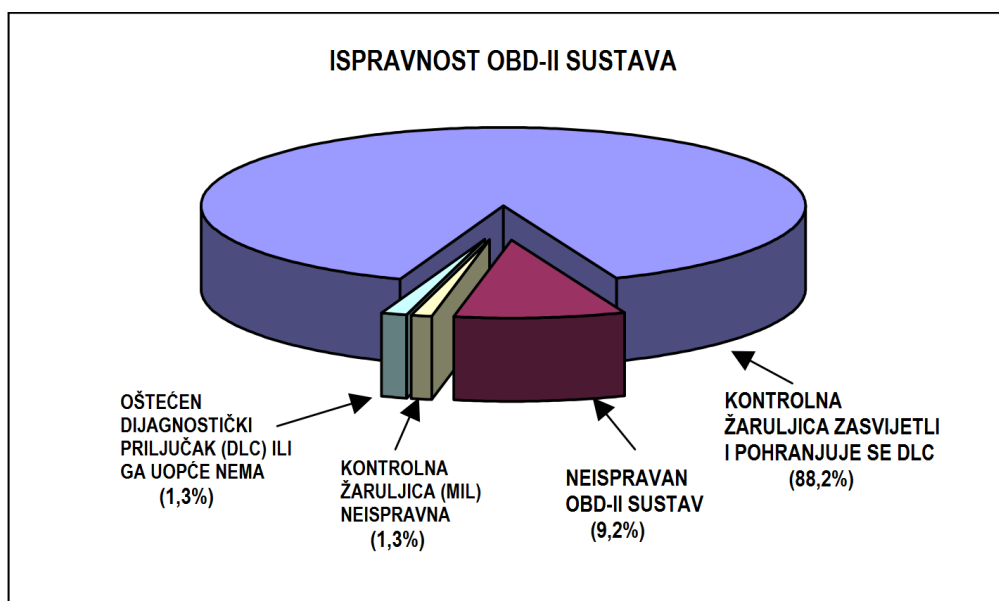
Pinovi 4 (minus pol baterije) i 16 (plus pol baterije) su sadržani u svim konfiguracijama. Norme ISO 9142 i ISO 14230 koriste iste pinove tako da se ne može razaznati koji se protokol koristi pregledavajući isključivo samo priključak.

2.3.4. OBD-II u primjeni

Otklonivši praktične nedostatke OBD-I sustava standardizacijom priključka, lokacije priključka, komunikacijskih protokola i pogreški, OBD-II je bio revolucija naspram sustava prve generacije. Kada je postao obavezan 1996. godine u SAD-u, osoblje servisnih centara je bilo skeptično, zbog neslavnog početka prve generacije i konfuzije koju su unijeli dijagnostički uređaji svojim indiciranjem na neispravne komponente koje to obično nisu bile. Nakon par godina od uvođenja pokazalo se da druga generacija OBD-a obavlja ono što je prvotno bilo zamišljeno za OBD-I sustav, na način kako je to bilo zamišljeno. Posjedovanjem OBD-II dijagnostičkog uređaja, koji su obično podržavali više komunikacijskih protokola odjednom, praktički je svatko mogao se spojiti na OBD sustav vozila i dijagnosticirati zbog čega svijetli kontrolna žaruljica na instrument ploči. Kod pogreške (DTC) je standardiziran i uređaj je automatski ispisivao koja komponenta je neispravna, neovisno o modelu i marki vozila. Danas se inzistira na soluciji da sve komponente u vozilima budu elektronički upravljane i kontrolirane, što itekako ide u prilog OBD-u jer ih on nadzire, te tako može još lakše dijagnosticirati uzrok kvara ili neispravnosti.

U vrijeme dok je OBD-I sustav bio aktualan, često se dijagnoza davala na račun optičkog i zvučnog pregleda svih bitni komponenti vozila, a tek ukoliko takva metoda ne uspije nevoljko se u ruke uzimao OBD-I dijagnostički uređaj i mukotrpno se pokušavalo spojiti na OBD sustav vozila. Danas ako je vozilo neispravno ili mu svijetli neka od kontrolnih žaruljica i kao takvo se primi na servis, prvo se spaja na OBD-II dijagnostički uređaj i iščitavaju se sve pogreške kako bi se dijagnosticirali neispravni uređaji i komponente. Popravkom istih problem u zadovoljavajućem postotku slučajeva biva riješen, a postotak se povećava iz godine u godinu.

Slika 2.7. pokazuje ispravnost OBD-II sustava na vozilima testiranim 2003. godine. Većina kvarova (88,2%) rezultira slučajem gdje zasvijetli kontrolna žaruljica na instrument ploči vozila (MIL) i pohrani se kod pogreške (DTC). 9,2% vozila s greškom je imalo neispravan OBD-II sustav, dok je 1,3% vozila s greškom palo na testu provjere ispravnosti kontrolne žaruljice (MIL). Na kraju, 1,3% vozila s greškom nije uopće imalo OBD-II priključak (DLC) ili je bio oštećen pa test ispravnosti nije bilo moguće provesti.



Slika 2.7. Ispravnost OBD-II sustava na vozilima sa zabilježenom pogreškom (DTC-om) prema istraživanju provedenom od EPA-e 2003. godine [3].

Rezultati OBD-II dijagnostičkih testova pružaju tehničkom osoblju detaljan izvor informacija vezanih uz pogreške nastale u radu motora. No dijagnostički uređaji mogu poslužiti i za praćenje svih parametara motora nadziranih OBD-II sustavom u stvarnom vremenu prilikom rada motora, što je iznimno korisno prilikom ugađanja motora za npr. auto trke. Svi očitani DTC-ovi su specifični i indikacija su koja ili koje komponente sustava su zatajile ili ne rade prema očekivanom. Tablica 2.1. pokazuje na kojim podsustavima se najčešće pojavila pogreška u vozilu prema istraživanju EPA iz 2003. godine.

Tablica 2.2. Podsustavi na kojima najčešće dolazi do pogreške prema istraživanju Agencije za zaštitu okoliša iz 2003. godine [3].

Komponenta/Podsustav	Vozila s greškom (DTC-om)	Opis
Mjerenje protoka goriva i zraka	35,9 %	Moderna računalom-upravljana vozila zahtijevaju stehiometrijski omjer goriva i zraka za učinkovit rad katalizatora, dobre performanse i optimalnu potrošnju goriva. Neispravnost ovih sustava može dovesti do loših performansi vozila, povećane potrošnje goriva i smanjenja kvalitete ispušnih plinova. Također može dovesti do prijevremene zamjene katalizatora i λ -sondi.
Sustav paljenja i ubrizgavanja	19,8 %	Neispravnost nekog od ovih sustava dovodi do loših performansi vozila, smanjenja kvalitete ispušnih plinova i vodi do prijevremene zamjene komponenata sustava.
EGR	13,8 %	Neispravnost na ovom sustavu može dovesti do povećanja koncentracije dušičnih oksida (NO_x) u ispušnim plinovima, lošijih performansi vozila i može uzrokovati pregrijavanje motora.
Učinkovitost katalizatora	12,2 %	OBD-II sustav nadzire radnu učinkovitost katalizatora.
Sustav sprječavanja ishlapljivanja goriva	9,6 %	Sustav koji skuplja i vraća pare goriva iz spremnika goriva i sustava dovoda goriva. Ukoliko je ovaj sustav neispravan dolazi do prekomjerne emisije ugljikovodika (HC) u atmosferu.

Posljednjih godina, vrlo popularan način spajanja među „običnim“ (kućnim) korisnicima je preko bežične *bluetooth* tehnologije koja omogućava povezivanje s dijagnostičkim uređajima (mobiteli, prijenosna i stolna računala) s instaliranim programskim paketima s podrškom za bežične OBD-II module. Većina uređaja podržava svih 5 komunikacijskih protokola, rade sa vrlo velikim brojem vozila svih proizvođača, nude napredne mogućnosti (npr. brisanje DTC-ova) i podržani su na gotovo svim operativnim sustavima. Činjenica da je broj korisnika veći iz dana u dan ne čudi ako se u obzir uzme cijena jednog takvog uređaja koja iznosi 100 kn, što ga čini dostupnim svakome. Većina tih korisnika nema stvarne potrebe za mogućnostima koje uređaj nudi, ali zbog dostupnosti i zabave koju uređaj može ponuditi povećanje broja korisnika ne čudi.

Na sljedećim slikama prikazan je univerzalni *bluetooth* OBD-II uređaj sa ELM 327 čipom koji podržava sve protokole (uključujući i CAN) te nudi jednostavno povezivanje između dijagnostičkog uređaja i vozila što je vrlo bitno amaterskim korisnicima. Pomoću njega se lako dolazi do podataka o trenutnoj ili prosječnoj potrošnji goriva, a kako se cijene goriva svaka dva tjedna uglavnom povećavaju, svaka ovakva informacija će poslužiti u nastojanju da se pokuša optimizirati potrošnja.



Slika 2.8. Univerzalni bluetooth ELM 327 modul sa priloženim odgovarajućim programskim paketom.



Slika 2.9. Univerzalni bluetooth ELM 327 modul spojen na smartphone uređaje koji podržavaju iOS i Android operativni sustav.

2.4. Treća generacija OBD sustava (OBD-III)

OBD-II sustav je već preko 15 godina aktualan i zato u saveznoj američkoj državi Kaliforniji, mjestu „rođenja“ *On-Board Diagnostics*-a, odavno razmišljaju o novoj generaciji automatske dijagnostike. Za cilj je postavljeno eliminiranje potrebe dolaska vozila na Eko-test. Time se želi izaći u susret vozačima i povećati njihovo povjerenje u sam OBD sustav.

Ideja je eliminirati potrebu za Eko-testom na vozilima koja rade ispravno, odnosno vozilima kojima kontrolna žaruljica (MIL) ne svijetli, a „natjerati“ ona vozila koja su neispravna, odnosno vozila kojima kontrolna žaruljica (MIL) svijetli, na testiranje i eventualni popravak neispravnih komponenti. Ova ideja podrazumijeva korištenje bežičnih odašiljača kao sredstvo za identificiranje vozila koja imaju neispravne komponente, odnosno kojima svijetli kontrolna žaruljica – MIL.

Daljinsko prikupljanje OBD informacija se naziva OBD X ili OBD-III. Koncept uključuje upotrebu bežičnih tehnologija za ispitivanje OBD računala ugrađenog u vozilo. Ova vrsta daljinskog skeniranja informacija o čistoći ispušnih plinova mogla bi se provoditi sa bilo koje lokacije uz cestu sa postavljenom bežičnom stanicom. Nastoji se omogućiti testiranje velikog broja vozila i to dok su u upotrebi bez potrebe za ljudskim resursima. U Kaliforniji se nadaju da bi takav sustav bio istovremeno jednostavan i pouzdan za vozače.

Već 2003. godine CARB je objavio rezultate istraživanja izvedivosti bežičnog OBD sustava. Zaključak istraživanja je:

„Izvedivost ugrađivanja daljinske komunikacije u OBD sustave na nova vozila se demonstrirala kroz uspješnu studiju koristeći pet vozila opremljenim prototipovima sustava. OBD sustav sa bežičnim sučeljem, nazvan OBD-III, bi bio financijski isplativa alternativa trenutnom Kalifornijskom programu za ispitivanje i održavanje vozila, „*Smog Check*“. Velika prepreka predstavljanju ovakvog OBD sustava je očekivano opiranje javnosti zbog toga što se ovo može interpretirati kao „*Big Brother*“ pristup prema ispitivanju vozila. Pravo na privatnost će biti velika prepreka provedbi masovne ugradnje OBD-III sustava.“ (CARB 2003.)

3. CAN protokol

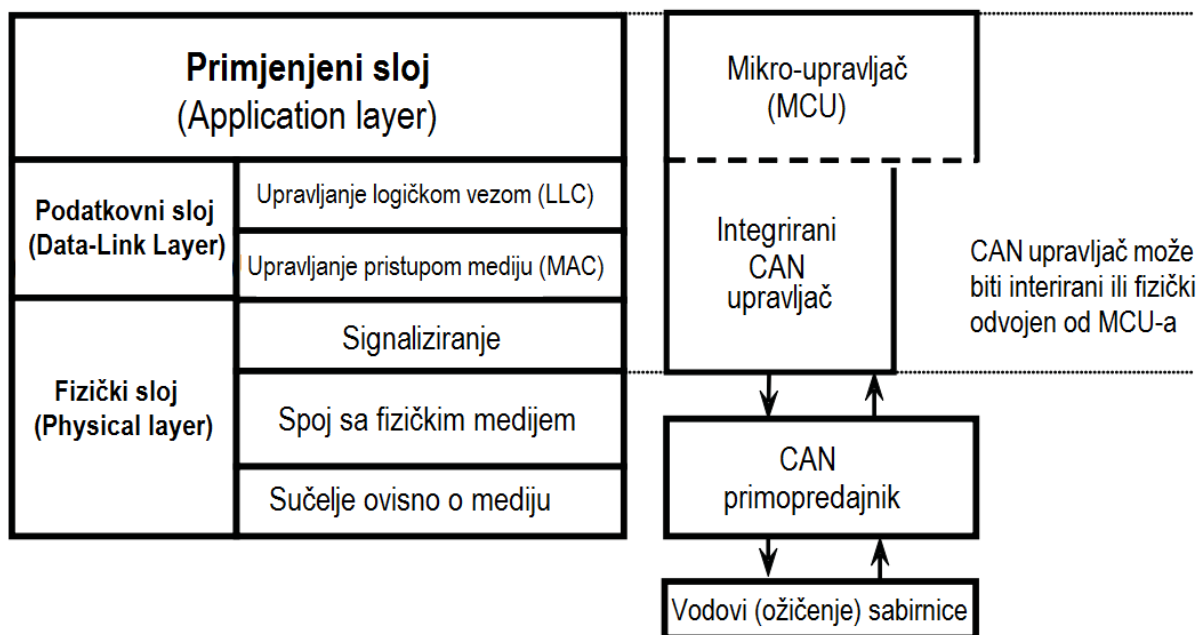
3.1. Uvod

Još od 1980-ih primjenom CAN sabirnice u automobilima riješeni su mnogi problemi izazvani velikim brojem žica između različitih elektroničkih uređaja. CAN (engl. *Controller Area Network*) je serijski komunikacijski protokol koji je osmišljen prvenstveno za potrebe automobilske industrije ali se koristi i u ostalima granama industrije. Prije CAN-a, svi proizvođači vozila su koristili princip od točke do točke (engl. *Point-to-Point*) za povezivanje elektroničkih uređaja u vozilima. Zbog povećanja raspona upotrebe elektroničkih uređaja, ožičenje između komponenti postaje teže, duže, skuplje i neorganizirano. Samim time i popravci istih postaju mnogo kompliciraniji i teži. Bosch je 1983. godine razvio CAN protokol da bi riješio spomenute probleme te povećao sigurnost i robusnost. Kao početak CAN protokola smatra se SAE-ov kongres 1986. godine kada ga je Bosch predstavio. Kako bi standardizirao CAN, Bosch je 1991. objavio *CAN Specification 2.0*. Slično je napravio i ISO kada je objavio normu 11898 želeći podržati razvoj CAN protokola. Danas, zbog svojih dobrih performansi, pouzdanosti i niske cijene, CAN se koristi ne samo u auto industriji nego i u drugim područjima (klimatizacija, osiguranje, agrikultura, medicina itd.)

3.2. Arhitektura

CAN Specification 2.0 i ISO 11898 definiraju dva najniža sloja protokola CAN:

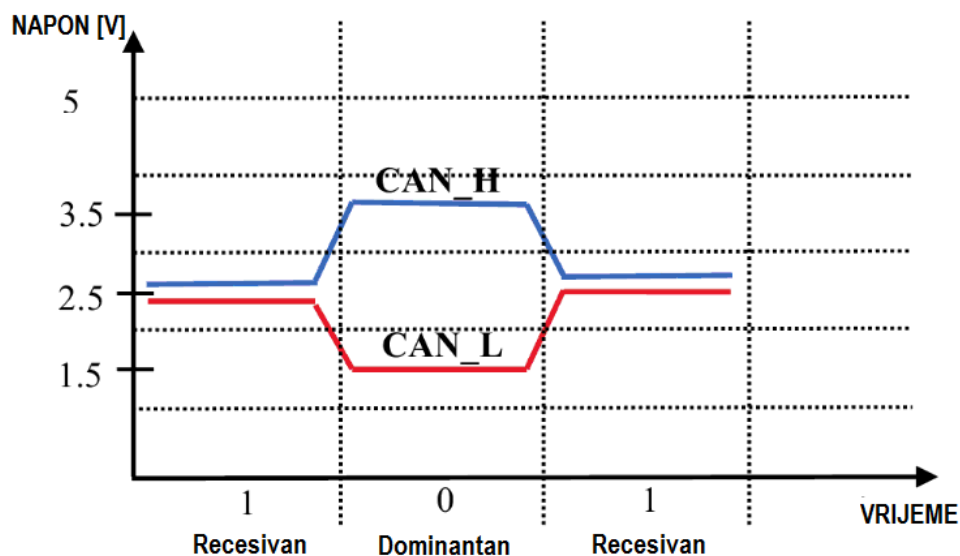
- Fizički sloj (engl. *Physical layer*): definira potrebna svojstva medija za prijenos podataka
- Podatkovni sloj (DLL, engl. *Data-link layer*): definira konverziju digitalnih podataka u definirani slijed bitova



Slika 3.1. Slojevi ISO 11898 normirane arhitekture [2].

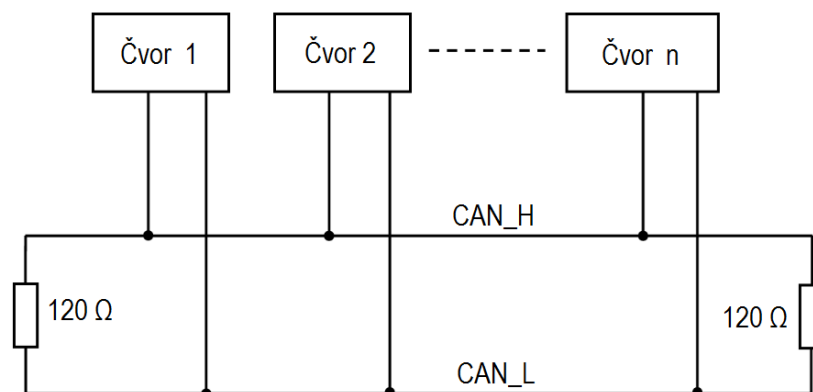
3.2.1. Fizički sloj

CAN Specification 2.0 definira kako se signali u CAN sabirnici prenose u fizičkom sloju. Definicija sadrži kodiranje bita, trajanje bita i sinkronizaciju. Prema ISO 11898 CAN čvor kao prijenosni medij koristi metalnu paricu (dva upredena vodiča), od kojih se jedna koristi za "CAN High" i ima raspon napona od 2,5 V do 4 V, a druga za "CAN Low" i ima raspon napona od 1 V do 2,5 V. Različiti naponi na CAN_H i CAN_L prikazuju jedno od dva logička stanja, recesivno (*logic 1*) ili dominantno (*logic 0*). Ako je razlika napona manja od 0,5 V u stanju primanja poruke ili manja od 1,5 V u stanju slanja poruke, logičko stanje je recesivno (*logic 1*). U svim ostalim slučajevima logičko stanje je dominantno (*logic 0*). Slika 3.2. prikazuje prijenos podataka u CAN sabirnici: 1 (recesivan), 0 (dominantan), 1 (recesivan).



Slika 3.2. CAN prijenos podataka „101“ [2].

Na CAN sabirnicu moraju biti spojena barem dva čvora. Kako bi se minimizirala mogućnost reflektiranja signala, otpornik od $120\ \Omega$ postavlja se na svaki kraj sabirnice. Ti otpornici se u CAN terminologiji nazivaju terminatorima, a propisani su normom ISO 11898. Zbog ograničavajućih električnih svojstava CAN upravljača (engl. *Bus driver*) moguće je spojiti do 32 čvora na sabirnicu. Kako bi se postigla brzina prijenosa podataka od 1 Mbit/s sabirnica mora biti kraća od 40 m, a svaki čvor smije biti udaljen od sabirnice maksimalno 30 cm. Prikaz CAN sabirnice dan je na slici 3.3.



Slika 3.3. CAN sabirnica [2].

Razlikujemo dvije vrste CAN protokola ovisno o brzini prijenosa podataka:

1. CAN velike brzine (engl. *High-speed CAN*): Standardiziran ISO 11898-2 normom, najčešće korišteni protokol u vozilima. Maksimalna brzina prijenosa podataka je 1 Mbit/s sa maksimalnom dužinom sabirnice od 40 m. Duža sabirnica se može postići, ali na račun brzine prijenosa podataka. Npr. 130 m duga sabirnica podržava maksimalnu brzinu prijenosa podataka od 500 kbit/s, 270 m duga sabirnica može postići brzinu prijenosa do 250 kbit/s. CAN velike brzine se najčešće koristi za upravljanje sustavima poput ABS-a (engl. *Anti-lock Brake System*), računala motora (ECM), ispušnog sustava i sl.
2. CAN male brzine/tolerantan na kvarove (Low-speed/Fault-tolerant CAN): Standardiziran ISO 11898-3 normom, posjeduje maksimalnu brzinu prijenosa podataka od 125 kbit/s. Od CAN-a velike brzine razlikuje se, osim po brzini prijenosa podataka, po sposobnosti toleriranja kvarova. Ako je jedna od žica odrezana ili kratko spojena, CAN sabirnica još uvijek može raditi. To je zato što funkcionira na relativnim promjenama napona. U vozilima, ova vrsta CAN-a se koristi za kontrolu uređaja za povećanje komfora vozača i putnika kao npr. podešavanje sjedala, namještanje retrovizora, zaključavanje vrata i sl.

3.2.2. Podatkovni sloj

Podatkovni sloj (DLL) je jedan sloj iznad fizičkog sloja. Njegova funkcija je spojiti signale primljene od fizičkog sloja u smislenu poruku, kako bi se osigurala procedura za kontrolu konverzije podataka. Podatkovni sloj je podijeljen u dva podsloja: upravljanje logičkom vezom (LLC, engl. *Logic Link Control*) i upravljanje pristupom mediju (MAC, engl. *Medium Access Control*).

- **LLC:** osigurava tri funkcije: filtriranje prihvaćenih okvira, obavještavanje o preopterećenju i upravljanje oporavkom. Funkcija filtriranja prihvaćenih okvira vrši se temeljem analize posebnih identifikatora (engl. *IDentifier*) u okviru, a to pomaže primateljima odlučiti jesu li okviri relevantni za njih ili ne. Funkcija obavještavanja o preopterećenju će poslati okvir preopterećenja (engl. *Overload frame*) kada god je primatelj nesproman za novi okvir s ciljem odgode slanja okvira. Upravljanje oporavkom osigurava sredstva za automatsko ponovno slanje okvira koji je bio odgođen prilikom prošlog pokušaju slanja.
- **MAC:** utvrđuje kome je dozvoljen pristup fizičkom mediju. Služi kao sučelje između podsloja LLC i fizičkog sloja. Podsloj MAC upravlja pristupom fizičkom mediju i određuje koja poruka ima pravo prijenosa. Ovaj podsloj također je odgovoran za kodiranje okvira, određivanje prava pristupa, detekciju pogreške, signalizaciju pogreške i preuzimanje podataka.

-

3.2.3. Viši slojevi

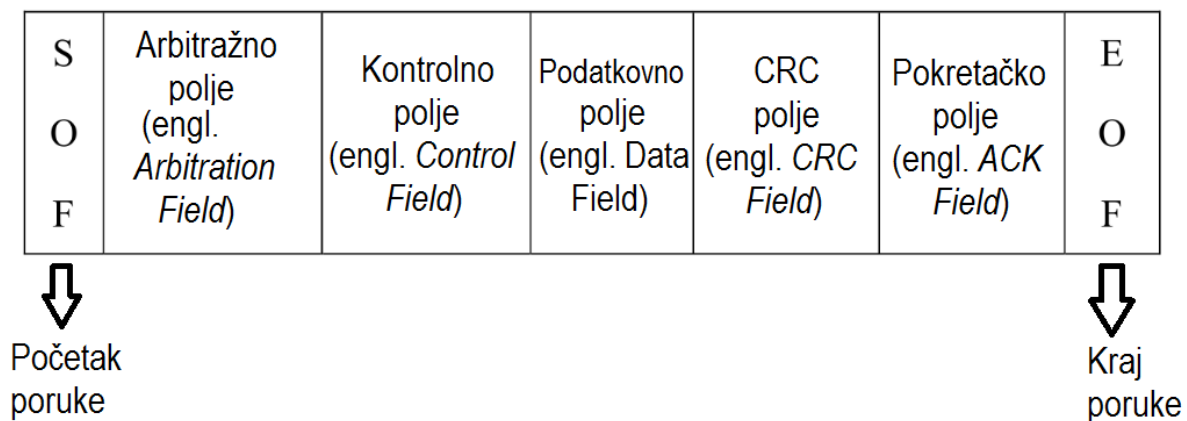
CAN Specification 2.0 i ISO 11898 skupa definiraju samo fizički i podatkovni sloj. U njima nisu definirani zadatci drugih slojeva. Postoje asocijacije, organizacije i kompanije koje dopunjavaju CAN definiciju, specificirajući više slojeve protokola za CAN. Česti protokoli su CANopen (CAN in Automation), DeviceNET (Allen Bradley), CAN Kingdom (KVASER), J1939 (SAE) itd. (U zagradama su navedeni proizvođači protokola)

3.3. Struktura okvira

U sustavu komunikacije u CAN sabirnici, poruke za slanje i prihvata imaju četiri različita tipa okvira: podatkovni okvir (engl. *Data frame*), zahtjev za okvirom (engl. *Remote frame*), odgovor na pogrešku (engl. *Error frame*) i odgoda slanja (engl. *Overload frame*). Podatkovni okvir i zahtjev za okvirom su odvojeni od prethodnih okvira, neovisno o tipu, sa posebnim poljem bitova zvanim međuokvirni prostor (engl. *Interframe space*).

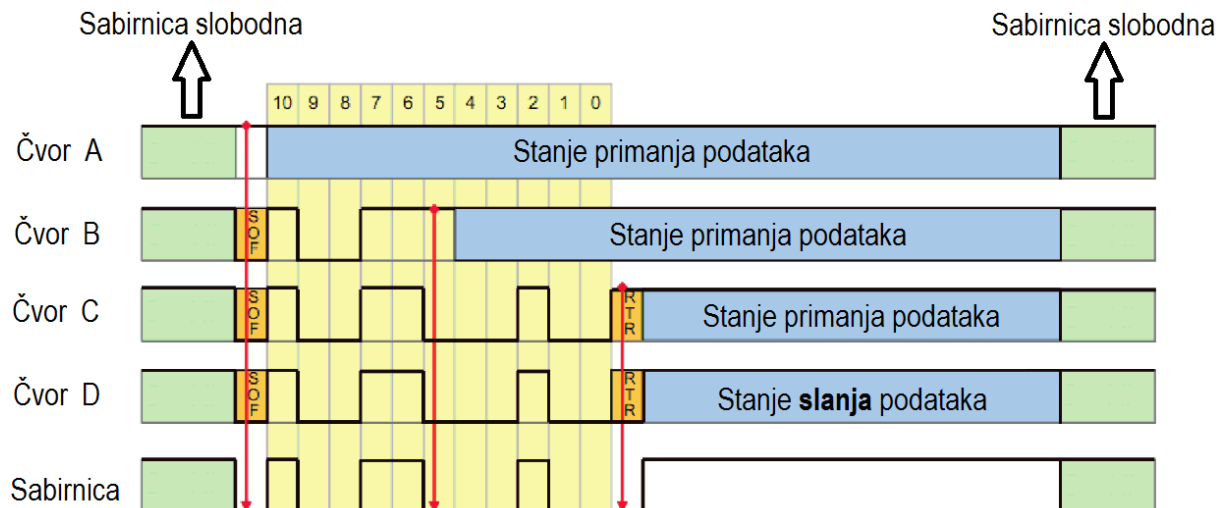
3.3.1. Podatkovni okvir (engl. *Data frame*)

Podatkovni okvir prenosi informacije od pošiljatelja (engl. *Transmitter*) prema svim primateljima (engl. *Receivers*) i sastoji se od sedam polja prikazanih slikom 3.4..



Slika 3.4. Strukturni prikaz podatkovnog okvira [2].

- Početak okvira (SOF, engl. *Start of frame*)
 - Ovo polje sadrži jedan dominantni bit (*logic 0*) i označava početni bit podatkovnog okvira i zahtjeva za okvirom.
- Arbitražno polje (engl. *Arbitration field*)
 - Arbitražno polje označava važnost okvira. Sastoji se od identifikacijskog polja i dominantnog RTR (engl. *Remote Transmission Request*) bita. Identifikacijsko polje je u svakom okviru jedinstveno i ima dvije funkcije: pomoću njega čvor raspoznaje je li okvir poslan njemu i određuje prioritet okvira u slučaju da se dva ili više čvorova „natječu“ za prioritet unutar sabirnice. Ako dva ili više čvorova u isto vrijeme šalju okvir, prioritet unutar sabirnice dobiva onaj okvir koji ima najveći prioritet. U slučaju da čvor pošalje dominantni bit (logičku nulu), sabirnica će ga primiti i poslati svim čvorovima. Kada čvor koji šalje okvir otkrije dominantan bit u usporedbi s njegovim, prekinut će slanje okvira i pričekati period kada će sabirnica biti slobodna, prije nego pokuša ponovno poslati. Na taj način, čvor s najnižim identifikatorom (ID-om) dobiva najveći prioritet i dobiva arbitražu za prijenos. Slika 3.5 prikazuje arbitražni primjer.



Slika 3.5. Primjer arbitraže između čvorova za standardni format, Čvor D pobjeđuje.

Na slici 3.5. čvorovi A, B, C i D se natječu za pravo prvenstva za slanje okvira u CAN sabirnici. Čvor D ima najmanji identifikator i dobiva najviši prioritet slanja te dobiva arbitražu. Time čvor D ima prvi pravo slati podatke CAN sabirnici.

Ovisno o bitu oznake ekstenzije identifikatora (IDE, engl. *Identifier Extension Flag*), identifikacijsko polje ima dva formata: Standardni (osnovni) format i produženi format.

- 1) Standardni format (CAN spec A): IDE je dominantan. Arbitražno polje se sastoji od 11 bitnog standardnog identifikatora.
 - 2) Produženi format (CAN spec B): IDE je recesivan. Arbitražno polje se sastoji od 11 bitnog standardnog identifikatora, recesivnog SRR (engl. *Substitute Remote Request*) bita, recesivnog IDE bita i 18 bitnog produžetka identifikatora.
- Kontrolno polje (engl. *Control Field*)
 - Ovo polje označava broj podatkovnih bajtova (engl. *Byte*) u okviru koje treba poslati. Sastoji se od šest bitova. Sadrži kod podatkovne duljine (engl. *Data length code*) i dva bita koja su rezervirana za daljnje proširenje. Rezervirani bitovi moraju biti poslani kao dominantni. Primatelj prihvaća dominantne i recesivne bitove u svim kombinacijama. Kod duljine podatka označava koliko je bitova uključeno u podatkovnom polju. Kod duljine podatka je širok četiri bita i poslan je unutar kontrolnog polja.
 - Podatkovno polje (engl. *Data field*)
 - Sastoji se od podatka koji je poslan unutar podatkovnog paketa (engl. *Data frame*). Može sadržavati od 0 do 8 bajtova, od kojih svaki sadrži osam bitova. U sebi sadrži podatke radi koji je okvir i poslan.
 - CRC polje (CRC, engl. *Cyclic Redundancy Check*)
 - Ovo polje provjerava ima li u poslanom okviru pogreški. Sastoji se od 15-bitnog CRC slijeda i jednog recesivnog CRC graničnog bita (engl. *Delimiter*). Ovo polje provjerava poredak izvedenih kodova cikličke redundancije koji su najprikladniji za polja koja sadrže manje od 127 bitova.

- ACK polje (engl. *ACKnowledge field*)
 - ACK polje se sastoji od dva bita, jedan bit je ACK otvor (engl. *ACK slot*), a drugi bit je recesivni ACK graničnik. Čvor koji šalje okvir koristi samo recesivni *ACK slot* bit. Čvor koji prima ispravan okvir će poslati dominantni *ACK slot* bit s ciljem zamjene recesivnog bita. Kada čvor koji je poslao okvir otkrije dominantni *ACK slot* bit, znat će da je barem jedan čvor ispravno primio okvir.
- Kraj poruke (engl. *End of frame*)
 - Ovo polje označava kraj okvira i sastoji se od sedam recesivnih bitova.

3.3.2. Zahtjev za okvirom (engl. *Remote frame*)

Čvor koji prima okvir (engl. *Receiver node*) koristi zahtjev za okvirom da bi inicirao zahtjev za slanje podataka, prema čvoru ili čvorovima od kojih to traži (engl. *Transmitter node*). Slično kao i podatkovni okvir, sastoji se od šest polja: početnog (SOF), arbitražnog, kontrolnog, CRC, ACK i krajnjeg polja (EOF).

3.3.3. Odgovor na pogrešku (engl. *Error frame*)

Okvir pogreške se šalje sa bilo kojeg čvora u slučaju da je otkrivena pogreška u sabirnici. Sastoji se od dva polja: oznaka pogreške (engl. *Error flag*) i graničnik pogreške (engl. *Error delimiter*).

- Aktivnu oznaku pogreške čini šest uzastopnih dominantnih bitova. Ako čvor na kojem je došlo do pogreške otkrije pogrešku, signalizirat će to slanjem aktivne oznake pogreške (engl. *Active error flag*). Kao posljedica toga, svi ostali čvorovi će detektirati stanje pogreške i početi slati oznake pogreške. Slijed dominantnih bitova je produkt superpozicije oznaka pogreški poslanih sa pojedinačnih čvorova. Ukupna duljina slijeda varira između šest i dvanaest bitova.
- Pasivnu oznaku pogreške čini šest uzastopnih pasivnih bitova. Ako čvor na kojem je došlo do pogreške otkrije pogrešku, signalizirat će to slanjem pasivne oznake pogreške (engl. *Passive error flag*). Čvor sa pasivnom pogreškom će čekati šest uzastopnih bitova istog polariteta, a kada je šest bitova istog polariteta detektirano pasivna oznaka pogreške bit će gotova.

Graničnik pogreške se sastoji od osam recesivnih bitova. Nakon slanja oznake pogreške, svaki čvor šalje recesivni bit i nadzire sabirnicu dok ne otkrije recesivan bit. Kada ga otkrije, sabirnica će poslati još sedam recesivnih bitova.

3.3.4. Okvir odgode slanja (engl. *Overload frame*)

Okvir odgode slanja koristi čvor koji prima okvir kako bi obavijestio da trenutno nije u mogućnosti primiti nijedan više okvir. Dva su uvjeta koja mogu dovesti do slanja okvira odgode slanja.

- 1) Interni uvjeti (čvora koji prima okvir) zahtijevaju odgodu sljedećeg podatkovnog okvira ili zahtjeva za okvirom.

- 2) Kada CAN čvor udvostruči dominantni bit na osmom (posljednjem) bitu graničnika pogreške ili graničnika preopterećenja, početak će slati okvir odgode slanja.

Slično kao i graničnik pogreške, graničnik preopterećenja se također sastoji od dva polja: oznake preopterećenja (sastoji se od 6 do 12 dominantnih bitova) i graničnika preopterećenja (sastoji se od 8 recesivnih bitova).

3.4. CAN pogreške

Robusnost CAN-a može se pripisati njegovim sveobuhvatnim procedurama provjere pogreške. CAN protokol uključuje pet metoda provjere pogreške: tri na razini okvira i dvije na razini bitova. Ako okvir ne prođe bilo koju od ovih 5 metoda, neće biti prihvaćena te će čvor koji prima poruku generirati odgovor na pogrešku (engl. *Error frame*). Čvor koji šalje će bit prisiljen slati poruku sve dok se ne primi ispravno. Međutim, ako čvor koji šalje poruku s pogreškom napravi zastoj u sabirnici stalno šaljući istu poruku, ukida mu se mogućnost daljnjeg slanja kada pošalje grešku određeni broj puta (engl. *Error limit*).

1) Kontrola bitova

Svaki čvor koji šalje poruku u CAN sabirnicu nadzire razinu poslanog signala. Ako se razina očitano signala razlikuje od one poslane, nastaje Bit pogreška (engl. *Bit error*).

2) Punjenje bitovima

Kada čvor pošalje pet uzastopnih bitova iste logičke razine, dodat će se šesti bit suprotne logičke razine na slijed izlaznih bitova. Primatelj će ukloniti ovaj šesti bit. To je način na koji se signalizira *Stuff error*.

3) Provjera poruke

Neki dijelovi CAN poruke imaju predodređen sadržaj (EOF, CRC graničnik, ACK graničnik). Ako CAN upravljač otkrije nepravilnu vrijednost u jednom od ovih polja, signalizira se Gradivna greška (engl. *Form error*).

4) Potvrдна greška

Svi čvorovi na sabirnici koji ispravno prime poruku (neovisno je li sadržaj poruke namijenjen njima) moraju poslati dominantni bit u tzv. Potvrđni Otvor (ACK otvor, engl. *Acknowledgement Slot*) poruke. Ako pošiljalac ne može otkriti dominantni bit u ACK otvoru, signalizira se Potvrđna greška (engl. *Acknowledgement error*).

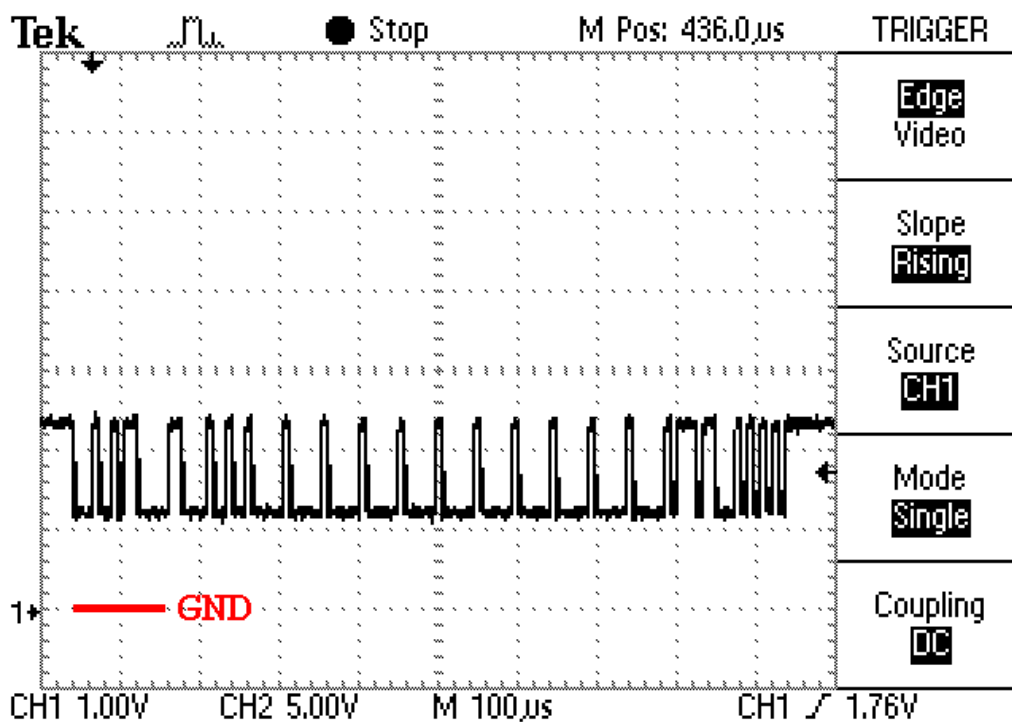
5) Provjera Cikličke Redundancije

Svaka poruka sadrži 15-bitnu provjeru cikličke redundancije (CRC), i bilo koji čvor koji detektira drugačiji CRC u poruci od onog što je on proračunao da bi trebalo bit, signalizirat će CRC grešku.

3.5. Tok podataka kroz CAN sabirnicu

Svaki čvor koji je spojen na sabirnicu sposoban je slati i primiti signale (poruke). Nadalje, svaki čvor ima svoj CAN identifikacijski kod tj. jedinstvenu adresu u sabirnici. Ona omogućava čvoru da prima signale i podatke potrebne za njegovo pravilno funkcioniranje, i istovremeno zanemaruje informacije namijenjene drugim čvorovima koji dijele sabirnicu. Kada čvor pošalje poruku u sabirnicu, informacija je kodirana tako da drugi čvorovi mogu prepoznati izvor poruke.

Podatci su poslani kao slijed jednostavnih digitalnih zapisa sastavljen od nula i jedinica. Kada bi se poslani podatci pogledali preko osciloskopa, vidjeli bi kvadratne valove koji se izmjenjuju između visokog i niskog naponskog očitavanja (slika 3.6.). Očitavanja niskog napona obično odgovaraju nulama, dok očitavanja visokog napona odgovaraju jedinici. Stvarna naponska očitavanja će ovisiti od primjene i protokola koje koristi proizvođač vozila.



Slika 3.6. Izgled očitanih signala sa CAN sabirnice na osciloskopu [2].

CAN standard zahtjeva poseban format poslanih podataka, u obliku okvira. Svaka poruka koju čvor pošalje u ili primi sa sabirnice mora sadržavati početni bit (zvan još i početak okvira ili SOF), zatim identifikacijski kod (11-bitni kod koji opisuje što poruka sadrži), zatim prioritetni kod (RTR bit) koji opisiva važnost poruke, zatim stvarne (konkretne) podatke opisane sa 0-8 bajtova, zatim idu bitovi koji provjeravaju informaciju (CRC), pred kraj dolazi potvrda o primitku poruke i konačno na kraju završni bitovi ili EOF-bits.

Održavanje reda u sabirnici se provodi provjerom važnosti poruke. Važnije (prioritetnije) poruke imaju prednost, a ostvaruju je dominantnim bitom (0). Ako je prvi bit 0 onda poruka dobiva prioritet ispred drugih, u suprotnom, kada je prvi bit 1, poruka dobiva niži prioritet. Prema tome, poruka sa najvišim prioritetom uvijek prva preuzima sabirnicu i dolazi na ciljanu destinaciju, no to ponekad znači da poruke s niskim prioritetom moraju čekati da se sabirnica oslobodi.

3.5.1. Brzina protoka podataka

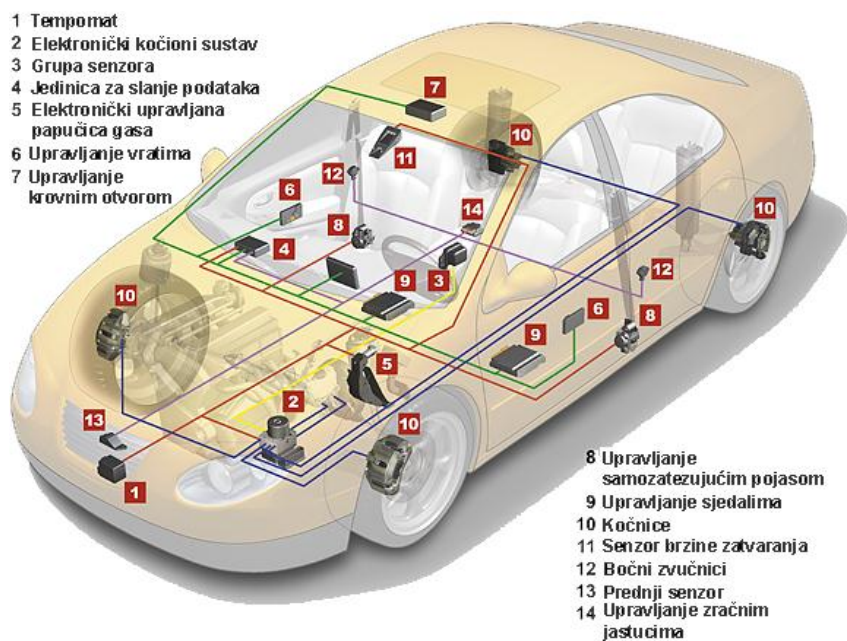
Informacije u vozilu opremljenim CAN sustavom se razmjenjuju preko serijski spojene sabirnice, kao što je slučaj u većini automobila danas. Sabirnica je „krug“ koji prenosi svu elektroničku komunikaciju između čvorova. Sabirnica može imati jedan ili dva vodiča(žice). Ako ima dva onda su oni obično isprepleteni da bi se poništile elektromagnetske smetnje. Brzina kojom informacije putuju kroz sabirnicu varira ovisno o razredu klase (engl. *Class rating*) sabirnice, kao i o protokolu kojem se sabirnica prilagođava.

Brzina sabirnice „Klase A“ je relativno spora, obično manja od 10 Kbit/s. Ova klasa sabirnice limitirana je na jednostavne upravljačke funkcije kao npr. elektroničko upravljanje prozorima, elektroničko upravljanje položajima sjedala, elektroničko upravljanje retrovizorima, elektroničko upravljanje svjetlima i sl.

Sabirnica „Klase B“ može raditi sa brzinama od 10 Kbit/s do 125 Kbit/s, ovisno o protokolu (SAE J1850 ili ISO 9141-2). Ova brzina razmjene podataka dovoljno je velika za prenošenje kompleksnijih informacija i vremenski osjetljivih podataka. Sustavi koji će biti povezani ovim razredom sabirnice su elektronički upravljane mjenjačke kontrole, sustavi protiv krađe, klima uređaji.

„Klasa C“ je sabirnica s trenutno najbržom podržanom brzinom razmjene informacija. Može postići brzine do 1 Mbit/s, što je do 100 puta brže nego tipična sabirnica „Klase B“. Većina vozila koja trenutno koristi sabirnicu „Klase C“ rade sa brzinama od oko 500 Kbit/s, što je dovoljno brzo za računalo motora (ECM), zračne jastuke, ABS kočnice i elektroničke sustave koji doprinose stabilnosti vozila tijekom kritičnih manevara na cesti. Još brže CAN sabirnice se očekuju u „Klasi D“ sa brzinama od preko 1 Mbit/s. Takve brzine su potrebne za pojedine zabavne sustave koje zahtijevaju velike brzine prijenosa zvučnih i video podataka.

Proizvođači vozila sami biraju koji razred sabirnice će koristiti za povezivanje kojih uređaja, pa se često kombinira više razreda u istom vozilu.



Slika 3.7. Električni uređaji u vozilu povezani preko CAN sabirnice [13].

4. Informacije dostupne putem OBD-II dijagnostičkog uređaja

OBD-II omogućuje pristup brojnim podacima pohranjenim u ECU-u i nudi dragocjenu informaciju o tome kada se i pod kojim uvjetima pogreška u vozilu dogodila. Norma SAE J1979 definira načine prikupljanja dijagnostičkih podataka i popis parametara koji su dostupni putem ECU-a. Razni dostupni podatci su adresirani pomoću parametarskih identifikacijskih brojeva, PID-ova koji su također definirani u SAE J1979. Kodovi pogrešaka – DTC-ovi su definirani normom SAE J2012, a osim tih kodova proizvođačima je dopušteno proširiti sustav sa svojim kodovima vezanim za specifične slučajeve.

4.1. Struktura OBD-II kodova pogrešaka (DTC)

OBD-II sustav pogrešaka podijeljen je u dvije grupe. Podjela se vrši na opće (engl. *Generic*) i pogreške koje kontrolira proizvođač vozila (OEM, engl. *Original Equipment Manufacturer*). Obje grupe pogrešaka koriste isti način kodiranja, a to je slovo nakon kojeg slijede četiri brojke. Slovo označava sustav na kojem je pogreška nastala, prvi broj označava podrijetlo pogreške (opća ili proizvođačeva), dok su ostala tri broja vezana uz mjesto i vrstu pogreške. Opće pogreške su definirane normom ISO DIS 15031-6 (SAE J 2012) "*Powertrain system diagnostic trouble codes*" i na svakom vozilu, neovisno o proizvođaču, mora značiti isti kvar ili neispravnost. Značenje pogreški definiranih od strane proizvođača može se pronaći u servisnim uputama vozila, ili alternativno u ovlaštenim servisima.

Opće pogreške, one u kojima je prvi broj 0, su propisane SAE-ovim standardima i terminologijom. Većinu OBD-II terminologije propisao je SAE, organizacija koja izrađuje automobilističke standarde u SAD-u. U Europi tu ulogu ima ISO (engl. *International Standards Organization*).

DTC-ovi se, bili oni opći ili od strane proizvođača, pohranjuju u memoriju računala motora na dva načina: trenutno ili postepeno. Temelje se na dozvoljenim emisijama štetnih tvari u ispuhu. Ako sustav(vozilo) ne udovolji dozvoljenim emisijama automatski se zapisuje pogreška u memoriju PCM-a. Provjera se vrši od trenutka paljenja motora, neovisno o temperaturi motora i stanju vozila (mirovanje ili vožnja). Od OBD-II sustava se tražila egzaktnost, nije smio vozača dovoditi u sumnju, pa su se stoga pojedine pogreške morale ponoviti, odnosno zabilježiti dva ili više puta. Većina OBD-II pogreški, da bi bila memorirana, mora se dogoditi dva puta, a samo one koje su u stanju naštetiti sustavu ili komponentama se zapisuju u memoriju već na prvu pojavu.

Kodovi pogrešaka se sastoje od 5 mjesta (npr. P 0 1 0 1) gdje svaka pozicija ima svoje određeno značenje:

- I. Prvo mjesto u DTC-u određuje slovo koje identificira glavni sustav gdje je pogreška nastala. Tablicom 4.1. dano je značenje mogućih slova.

Tablica 4.1. Značenje slova na prvom mjestu u kodu dijagnostičke pogreške.

Slovo	Značenje slova
P	Pogon (engl. <i>Powertrain</i>)
B	Karoserijska (engl. <i>Body</i>)
C	Šasija (engl. <i>Chassis</i>)
U	Mreža (engl. <i>Network</i>)

- II.** Drugo mjesto DTC-a je brojka koja opisuje grupu kojoj pogreška pripada. S obzirom na značenje može biti opća ili od strane proizvođača. Pojedina vrijednost prvog broja DTC-a objašnjena je u tablici 4.2.

Tablica 4.2. Značenje brojke na prvom mjestu u kodu dijagnostičke pogreške.

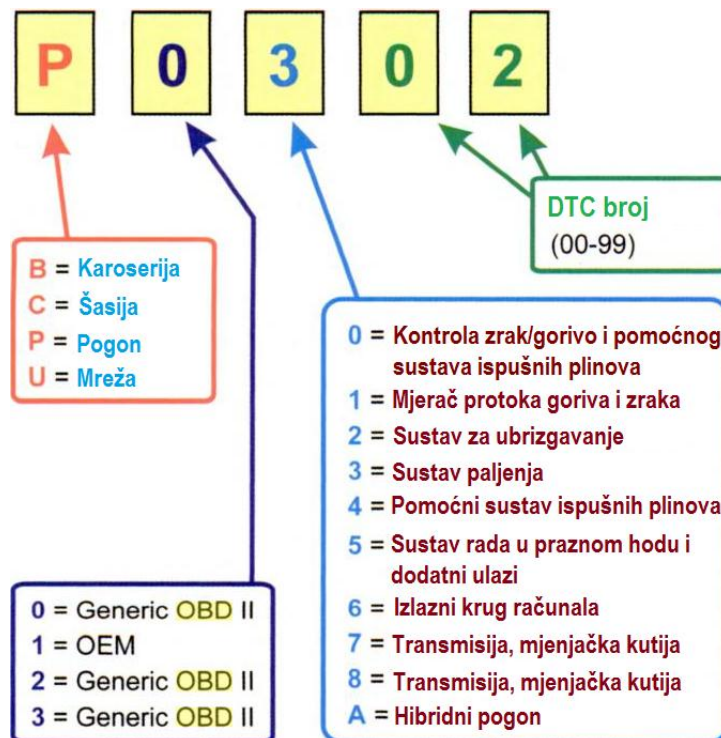
Vrijednost	Značenje broja
0	Opća
1	Pogreška definirana od proizvođača (OEM)
2	Opća
3	Opća

- III.** Treće mjesto DTC-a je broj koji upućuje na određen sustav ili podsustav gdje se problem i/ili neispravnost nalazi. Ako je prvo slovo u DTC-u „P“ (Pogon) tada treće mjesto određuje specifične sklopove ili dijelove sustava. Vrijednosti i objašnjenja mogućih vrijednosti dana su u tablici 4.3.

Tablica 4.3. Značenje trećeg mjesta u kodu dijagnostičke pogreške ako je prva oznaka „P“.

Vrijednost	Značenje
0	Kontrola dovoda zraka/goriva i pomoćnog sustava ispušnih plinova
1	Mjerač protoka zraka i goriva
2	Sustav za ubrizgavanje
3	Sustav paljenja
4	Pomoćni sustav ispušnih plinova
5	Sustav rada u praznom hodu i dodatni ulazi
6	Izlazni krug računala
7	Transmisija, mjenjačka kutija
8	Transmisija, mjenjačka kutija
A	Hibridni pogon

- IV.** Na četvrtom i petom mjestu DTC-a su brojevi koji detaljno određuju koji dio podsustava je neispravan i svojstva pogreške. Poprimaju vrijednosti od 0 do 9.



Slika 4.1. Primjer očitanoj kodu pogreške – DTC-a [1].

Podatci koji se pohranjuju u memoriju računala u isto vrijeme kad i kod pogreške (DTC) se zovu *Freeze Frame*. U tim podacima pohranjeno je stvarno stanje prisutno u vozilu za vrijeme nastanka DTC-a, a pohranjuju se samo određeni parametri bitni za konkretnu pogrešku. Ovo može biti vrlo korisno prilikom pokušaja dijagnosticiranja točnog kvara. Na slici 4.2. prikazan je primjer *Freeze Frame*-a.

Time	Description	Value	Units
Pre-existing	Fuel System 2 Status (FF)	UNUSED	
Pre-existing	Fuel System 1 Status (FF)	CLOSED	
Pre-existing	Calculated Load (FF)	47.5	%
Pre-existing	Engine Coolant Temp (FF)	396	F
Pre-existing	Short Term Fuel Trim B1 (FF)	-20.31	%
Pre-existing	Long Term Fuel Trim B1 (FF)	-1.6	%
Pre-existing	Engine Vacuum (FF)	15.7	in.hg
Pre-existing	Intake MAP (FF)	14.2	in.hg
Pre-existing	Engine RPM (FF)	797	RPM
Pre-existing	Vehicle Speed (FF)	3.7	MPH
Pre-existing	Intake Air Temp (FF)	117	F
Pre-existing	Absolute Throttle Position (FF)	9.4	%

Slika 4.2. Freeze Frame podatci pohranjeni skupa sa kodom pogreške [1].

4.2. Načini rada OBD-II dijagnostičkog uređaja

Normom ISO 15031-5 (SAE J 1979) *Road vehicles - Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics* opisano je funkcioniranje i format podataka za pojedine načine rada. Norma propisuje 9 načina (engl. *Mode*) rada (način 01 do 09) dijagnostičkog uređaja.

- **Mode 01** - se koristi za identifikaciju koje pogonske jedinice (engl. *Powertrain*) su dostupne za dijagnostički uređaj. U ovom načinu rada dijagnostički uređaj iščitava PID-ove koji opisuju trenutne vrijednosti sustava s kojima motor radi. Npr. u ovom načinu rada mogu biti dostupne informacije poput:
 - ulaznih ili izlaznih analognih signala poput brzine vrtnje motora, temperature motora, napona na lambda sonde itd.;
 - ulaznih ili izlaznih digitalnih signala poput informacije o tome da li je pritisnuta spojka, da li je zaklopka za snagu u položaju za prazni hod ili je širom otvorena (engl. *Wide Open Throttle*, WOT) itd.;
 - proračunski elementi kojima računalo motora upravlja radom motora poput duljine trajanja ubrizgavanja itd.;
 - informacije o trenutnom statusnom stanju (da/ne) pojedinih sustava na vozilu poput: uključenost i postojanje klima-uređaja, postojanje CAN sabirnice, postojanje ABS-a, ASR-a, ESP-a, itd.
- **Mode 02** - U ovom načinu rada dijagnostički uređaj čita vrijednosti podataka (engl. *Freeze Frame*) koji su memorirani (zapisani) u trenutku nastupanja neke pogreške. Na taj se način mogu pročitati podaci o memoriranoj pogrešci (npr. P0122 što znači da je došlo do pogreške na senzoru pedale akceleratora). Iz zapisanih podataka može se npr. utvrditi da je pogreška nastupila dok je motor radio brzinom vrtnje 850 min⁻¹, temperatura rashladnog sredstva motora je tada bila 19°C, a motor je radio na opterećenju od 25,5% itd. Ovdje prikazane vrijednosti su uobičajeno isti PID-ovi (iste vrijednosti) koje se mogu vidjeti i u modu 01 s tim da se tamo prikazuju trenutne vrijednosti rada motora, a u ovom modu rada prikazuju se vrijednosti koje su zabilježene u trenutku nastajanja pogreške u sustavu.
- **Mode 03** - ispisuje peteroznamenaste brojeve odnosno kodove nastalih pogrešaka. Ovo je uobičajeni i poznati dijagnostički način rada. U ovom načinu rada dijagnostički uređaj čita sve kodove pogrešaka (neki OBD-II čitači uz kod pogreške prikazuju i objašnjenje što prikazani kod znači). Npr. ako dijagnostički uređaj pročita pogrešku P0100 to znači da je pogreška negdje na senzoru koji mjeri maseni protok zraka u motor. U ovom načinu rada ne mora biti prikazana samo jedna pogreška već se prikazuju sve pogreške koje su spremljene u memoriju odgovarajućeg ECU-a. Najčešće ima više memoriranih pogrešaka za samo jedan kvar. Važno je naglasiti da se u ovom načinu rada iščitavaju tzv. potvrđene pogreške u sustavu. To znači da se pogreška dogodila najmanje dva ili tri puta pa stoga je memorirana u računalu kao trajna pogreška. Ovaj način rada (mode 03) je normiran način za očitavanje pogrešaka pohranjenih u računalu uz pomoć OBD-II sustava.
- **Mode 04** - koristi se za brisanje dijagnostičkih podataka vezanih uz emisiju ispušnih plinova. To uključuje i brisanje kako spremljenih DTC-ova tako i onih u nastajanju (nije se dogodila dovoljan broj puta), uključujući i *Freeze Frame* podatke. Također, pokretanjem ovog dijela programa brišu se i sve nepotvrđene pogreške koje se trenutno nalaze u modu 07. Kada se jednom provede brisanje svih pogrešaka i testnih

rezultata na nikakav način se više ne može rekonstruirati postojanje tih informacija na motoru (osim ako motor nije popravljen pa će se iste pogreške ponoviti).

- **Mode 05** - omogućuje nadzor λ -sonde te podataka vezanih uz tu sondu. Postoji devet mogućnosti za dijagnozu:
 - \$01 Granica napona λ -sonde od bogate prema siromašnoj smjesi
 - \$02 Granica napona λ -sonde od siromašne prema bogatoj smjesi
 - \$03 Granica niskog napona na sondi za mjerenje vremena prekidača
 - \$04 Granica visokog napona na sondi za mjerenje vremena prekidača
 - \$05 Vrijeme prekidanja (u milisekundama) od bogate prema siromašnoj smjesi
 - \$06 Vrijeme prekidanja (u milisekundama) od siromašne prema bogatoj smjesi
 - \$07 Najniži napon za testiranje
 - \$08 Najviši napon za testiranje
 - \$09 Vrijeme između prijelaza napona (u milisekundama)
- **Mode 06** - se koristi za praćenje rezultata kontinuiranog i nekontinuiranog sistema praćenja ugrađene automatske dijagnostike. To su uglavnom najmanje i najveće vrijednosti te trenutne vrijednosti pojedinog nekontinuiranog praćenja. Ovaj način rada razlikuje se od proizvođača do proizvođača vozila. Naime, OBD-II sustavom nije definirano što se u ovom načinu rada treba prikazati ili testirati te se uobičajeno u ovom načinu rada prikazuju one vrijednosti ili funkcije pojedinih senzora ili sklopova koji nisu pokriveni OBD-II promatranjem, odnosno vrijednosti ili funkcije vezane uz pojedinog proizvođača vozila.
- **Mode 07** - se koristi za dijagnostičke pogreške vezane uz emisiju ispušnih plinova nastale za vrijeme posljednje ili zadnje završene vožnje. Omogućava testnoj opremi da održi dijagnostičke pogreške „u nastajanju“ vezane uz dijelove odnosno sklopove koji utječu na emisiju štetnih plinova otkrivene za vrijeme posljednje ili zadnje završene vožnje. Ovaj način rada važan je za servisere kako bi ustanovili je li kvar zabilježen putem dijagnostičkog uređaja otklonjen, odnosno nakon brisanja pogreške iz memorije i testne vožnje odmah nakon, pojavljuje li se očitana pogreška opet.
- **Mode 08** - Ovaj način rada predviđen je za ciljano pokretanje pojedinih testova izvršnih elemenata (aktuatora) na pojedinim sklopovima motora. Npr. ovdje se može pokrenuti test kojim se otvara ventil na spremniku benzinskih para iz spremnika goriva, test kojim se pokreće EGR ventil, test kojim se podižu igle u brizgaljkama ili test kojim se pokreće zaklopka za promjenu obujma usisne grane itd.
- **Mode 09** - se koristi za pronalaženje bitnih informacija o vozilu poput:
 - VIN oznake (engl. Vehicle Identification Number),
 - CALID (engl. *Calibration Identification*), identifikacijski broj programa instaliranog na ECU,
 - CVN (engl. *Calibration Verification Number*), broj koji se koristi za provjeru integriteta programske opreme u vozilu,
 - Brojilo trenutnih procesa u vozilu,

- Kod Ottovog motora:
 - Postojanje katalizatora.
 - Postojanje λ -sondi.
 - Postojanje sustava za recirkulaciju ispušnih plinova (EGR)
- Kod Dieselovog motora:
 - Postojanje NO_x redukcijskog katalizatora.
 - Postojanje adsorpcijskog filtera čestica.
 - Postojanje određenog sustava napajanja gorivom.
- **Mode 0A** - ispisuje pohranjene stalne ili trajne (engl. *Permanent*) pogreške vezane uz emisiju ispušnih plinova. Prema CARB-u svaki dijagnostički kod zbog kojeg se uključuje MIL i sprema u neizbrisivu memoriju mora bit zapisan kao kod stalne pogreške.

5. Prikupljanje podataka sa CAN sabirnice

Cilj svakog teoretskog dijela rada je objašnjenje i bolje razumijevanje onog što će se izvoditi u praksi. CAN sabirnica uvedena je s ciljem povećanja robusnosti, brzine i jednostavnosti, no iz trećeg poglavlja u kojem se opisuje način rada tog mrežnog protokola ne nazire se jednostavnost. Njegova jednostavnost je u lakoći kojom se uređaji spajaju na sabirnicu. Uvođenje CAN-a kao jedinog dopuštenog protokola je bio najlakši način rješavanja problema gomilanja bakrenih ožičenja u vozilu, što je dovelo do nekontroliranog značajnog povećanja mase samog vozila. Sabirnicu predstavljaju dva isprepletana vodiča razvedena po cijelom vozilu, dok se uređaji umrežavaju sa dva vodiča i to po jedan spojen na svaki od vodiča sabirnice. Spajanje na sabirnicu ide standardno preko dijagnostičkog priključka (DLC-a) i dijagnostičkog uređaja koji podržava CAN protokol. U ovom radu dijagnostički uređaj će predstavljat računalo i uređaj NI USB-8473s tvrtke National Instruments, a komunikacija između računala, spomenutog uređaja i vozila vršit će se pomoću programskog paketa LabVIEW 2011. U sklopu završnog rada potrebno je unutar LabVIEW-a izraditi programsko sučelje za očitavanje dijagnostičkih kodova pogrešaka – DTC-ova i proučiti mogućnosti spajanja na CAN sabirnicu različitih proizvođača vozila (npr. Audi, Citroen, Kia, Seat, Ford) i očitavanja podataka s nje, odnosno praćenje radnih parametara motora.

5.1. Korištena oprema

Za povezivanje i komunikaciju između računala i vozila koristit će se:

1. Uređaj NI USB-8473s
2. Programski paket LabVIEW 2011
3. Dijagnostički kabel
4. Laptop sa instaliranim operativnim sustavom Microsoft Windows 7

ad 1) Uređaj NI USB-8473s proizvodi tvrtka National Instruments koja je osnovana 1976. godine te ima svoje podružnice diljem svijeta. Cijena uređaj u vrijeme pisanja rada (2012. godina) iznosila je 599 €.



Slika 5.1. Uređaj NI USB-8473s.

Karakteristike uređaja:

- Jedan ulaz za high-speed CAN, low-speed CAN te LIN
- Moguća hardverska sinkronizacija
- High-speed USB
- Očitavanje pogrešaka sa CAN sabirnice

CAN sučelje:

- CAN upravljač Philips SJA1000
- Razmjena podataka od 1 Mb/s pri 100 % opterećenju sabirnice
- Kompatibilan sa normom ISO 11898 (11-bitni i 29-bitni identifikator)

Operativni sustav:

- Windows Vista/XP/2000/Windows 7

Preporučeni softverski programi za korištenje uređaja:

- LabVIEW
- LabWindows/CVI
- Visual C++ 6.0
- Visual Basic 6.0
- Borland C/C++

Uređaj NI USB-8473s sadrži Hi-Speed USB sučelje za nadziranje, testiranje i spremanje podataka sa CAN-a i LIN-a (engl. *Local Interconnect Network*).

Korištenje uređaja pogodno je za razne aplikacije poput:

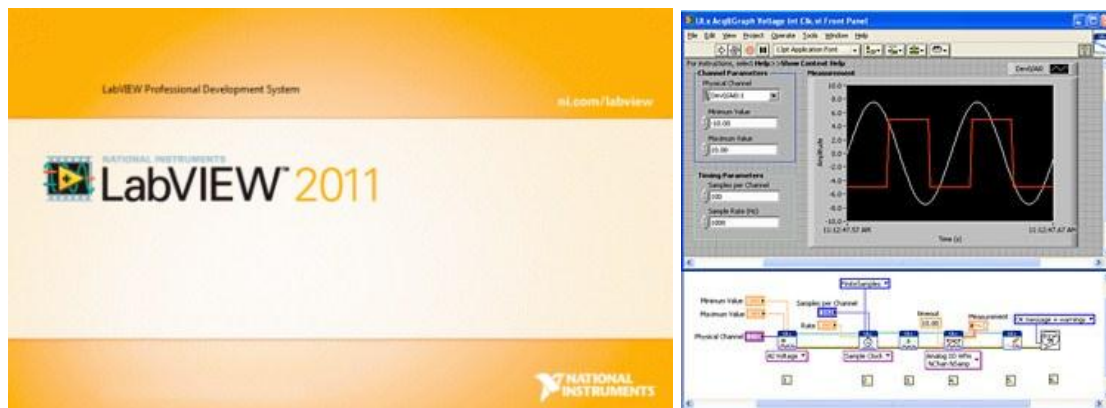
- Nadziranje i prikupljanje podataka sa vozila
- Nadziranje protoka podataka na sabirnici
- Sinkronizirano prikupljanje podataka te provjera ispravnosti podataka
- Razvoj i testiranje CAN uređaja

Uređaj NI USB 8473s koristi standardni muški 9 pinski D-Sub (DB9) priključak za spajanje sa CAN ili LIN sabirnicom.

Tvrtka National Instruments razvila je NI-CAN drivere za operativne sustave Windows Vista/XP/2000/7 te se uz pomoć softverskih rješenja poput LabVIEW-a omogućuje prikupljanje te analiza prikupljenih podataka sa CAN sabirnice.

ad 2) Programski paket LabVIEW je grafičko sučelje za programiranje koje je namijenjeno inženjerima i znanstvenicima za razvijanje sofisticiranih mjerenja, testova i upravljanja sustavima preko intuitivnih grafičkih ikona i vodiča („žica“) koje nalikuju dijagramu toka. Nudi povezivanje sa brojnim hardverskim uređajima i pruža na stotine opcija za napredno analiziranje i prikaz analiziranih podataka. LabVIEW je programski paket koji podržava sve poznate operativne sustave i od kad je predstavljen 1986. vodeći je program u

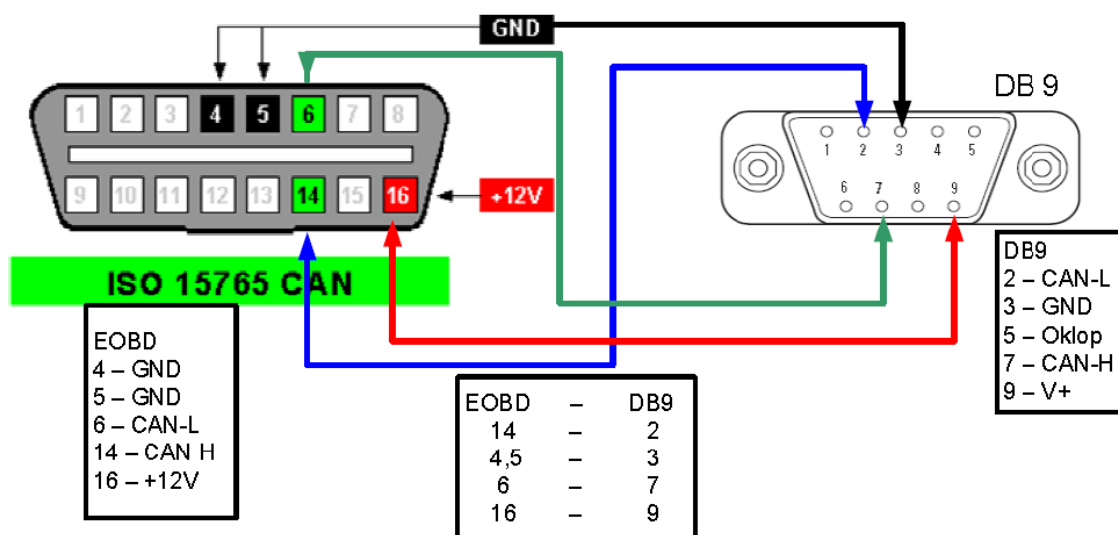
industrijskoj primjeni. Razvila ga je tvrtka National Instruments, ista tvrtka koja je napravila i uređaj NI USB 8473s.



Slika 5.2. Programski paket LabVIEW 2011.

Unutar programskog paketa LabVIEW 2011 potrebno je napraviti programsko sučelje za komunikaciju između CAN sabirnice vozila i uređaja NI USB-8473s koje će očitavati dijagnostičke kodove pogrešaka. Za to je osim samog LabVIEW-a potrebno instalirati dodatno i NI Automotive Diagnostic Command Set te NI-CAN drivere za uređaj NI USB-8473s. ADCS-om (engl. *Automotive Diagnostic Command Set*) instaliramo virtualne instrumente koji omogućavaju povezivanje računala sa CAN sabirnicom vozila i prikupljanje te slanje podataka na istu. Postupak izrade programskog sučelja za očitavanje DTC-ova bit će objašnjen naknadno.

ad 3) Dijagnostički kabel koji povezuje vozilo i uređaj NI USB-8473s je nabavljen skupa s uređajem. Na jednom kraju spojen je RS232 (DB9) 9-pinski priključak dok je na drugom kraju spojen EOBD 16-pinski priključak. Shema spajanja dana je slikom 5.3.



Slika 5.3. Shema spajanja EOBD konektora određenog normom SAE J1962 sa DB9 konektorom za komunikaciju putem NI USB-8473s uređaja [10].

Zbog nekompatibilnosti kabela dobivenog skupa s uređajem s nekima od vozila, bilo je potrebno napraviti kabel prema istoj shemi samo sa drugačijim EOBD priključkom. Problem dobivenog kabela je u plastičnom osiguraču protiv ispadanja na EOBD priključku koji nije kompatibilan sa svim vozilima, pa može doći do nemogućnosti uključivanja istog zbog „sudara“ sa nekim drugim plastičnim elementima oko dijagnostičkog priključka. Na jednom i drugom kabelu spojeni su samo prinovi 4, 5, 6,14 i 16 zbog, kako je već prije rečeno, konfiguracije koju koristi CAN protokol. Oba kabela su prikazana na slici 5.4..



Slika 5.4. EOBD – DB9 kabele korišteni za spajanje uređaja NI USB-8473s i vozila. Razlika je u EOBD konektorima, plavi ima plastiku za osiguranje protiv ispadanja.

Kada se dijagnostički kabel uključi u vozilo i uređaj, te kad se uređaj spoji na računalo i pokrene programsko sučelje unutar LabVIEW-a, imamo situaciju kao na slici 5.5..



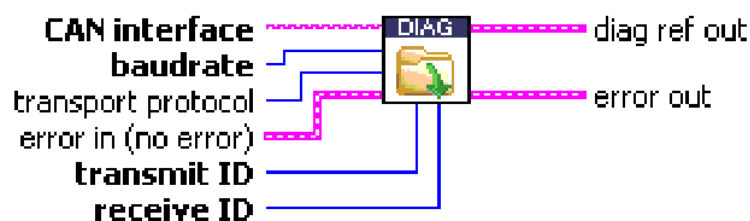
Slika 5.5. LabVIEW povezan sa CAN sabirnicom vozila preko NI USB-8473s uređaja.

5.2. Izrada programskog sučelja za očitavanje DTC-ova

Uz pomoć programskog paketa LabVIEW 2011 i instaliranog dodatka ADCS potrebno je izraditi sučelje za očitavanje dijagnostičkih kodova pogrešaka (DTC-ova). Sučelje se sastoji od virtualnog instrumenata za inicijalizaciju razmjene podataka sa CAN sabirnicom vozila, virtualnog instrumenta za pokretanje dijagnostičke sesije u željenom načinu rada, virtualnog instrumenta za očitavanje DTC-ova i virtualnog instrumenta za dekodiranje očitanih DTC-ova.

5.2.1. OpenDiagnostic.vi

Ovaj virtualni instrument otvara dijagnostički komunikacijski kanal prema ECU-u. Potrebno je inicirati razmjenu podataka s CAN sabirnicom pomoću funkcije *OpenDiagnostic.vi* (vi engl. *Virtual instrument*). CAN port, definiran kao ulazni, se inicijalizira i upute za upravljanje njime bivaju pohranjene u *diag ref out* funkciji, a to služi kao referenca za daljnje dijagnostičke funkcije. Komunikacija sa ECU-om se ne uspostavlja u ovom dijelu. Da bi se započela dijagnostička sesija na ECU-u potrebno je pokrenuti *StartDiagnosticSession.vi*. Općenito nije potrebno upravljati postavkama *diag ref out* funkcije.



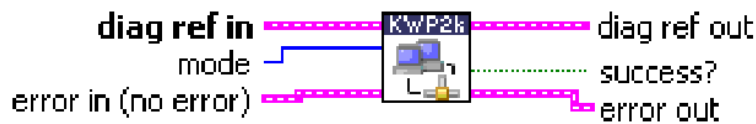
Slika 5.6. Shematski prikaz *OpenDiagnostic.vi* u LabVIEW-u [4].

- **CAN interface** određuje CAN sučelje preko kojeg se odvija razmjena podataka. Imena *CAN interface*-a su povezana sa vrijednostima CAN porta određenog u MAX-u (engl. *Measurement and Automation Explorer*) te će kreću od CAN0 sve do CAN63.
- **Baudrate** određuje brzinu prijenosa podataka.
- **Transport protokol** određuje protokol prijenosa dijagnostičkih poruka putem CAN mreže. U ovom radu korišten je **ISO TP - Normal Mode** koji je određen normom ISO 15765-2. Svih 8 bajtova CAN poruke se koriste za prijenos podataka.
- **Transmit ID** je CAN identifikator slanja dijagnostičkog zahtjeva za porukama.
- **Receive ID** je CAN identifikator slanja dijagnostičkih odgovora.
- **Error in** je funkcija koja opisuje uvjete pri kojima je pogreška nastupila u *vi*-u.
- **Diag ref out** je funkcija koji sadrži sve neophodne dijagnostičke informacije.
- **Error out** opisuje nastalu pogrešku u *vi*-u.

5.2.2. StartDiagnosticSession.vi

Ovaj virtualni instrument omogućava i pokreće pojedine dijagnostičke načine rada spomenute u poglavlju 4.2.. Normom ISO 15031-5 (SAE J 1979) *Road vehicles - Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics* opisano je funkcioniranje i format podataka za pojedine načine rada.

Norma propisuje 9 načina (engl. *Mode*) rada (način 01 do 09) dijagnostičkog uređaja. Dijagnostička sesija može započeti samo ako je komunikacija sa ECU-om (engl. *Electronic Control Unit*), odnosno elektroničkom upravljačkom jedinicom pokrenuta. Dakle za pravilno funkcioniranje nužan je preduvjet ispravno podešenih parametara za *OpenDiagnostic.vi*. Ako se pojedina dijagnostička sesija ne zatraži nakon *OpenDiagnostic.vi*, automatski će se pokrenuti osnovna sesija u ECU-u.

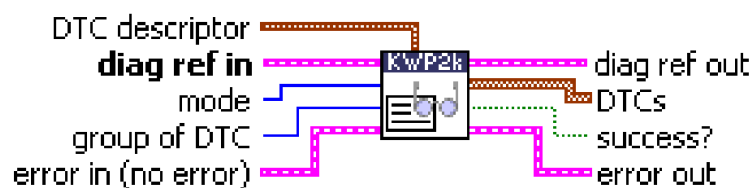


Slika 5.7. Shematski prikaz *StartDiagnosticSession.vi* u LabVIEW-u [4].

- **Diag ref in** definira upravljanje dijagnostičkom sesijom dobivenom od *OpenDiagnostic.vi* i vezu sa sljedećim dijagnostičkim virtualnim instrumentima. U pravilu, nije potrebno ručno upravljati postavkama ove funkcije.
- **Mode** određuje u kojem načinu rada želimo da se dijagnostička sesija odvija.
- **Error in (no error)** je funkcija koja opisuje uvjete pri kojima je pogreška nastupila u *vi*-u.
- **Diag ref out** je funkcija koji sadrži sve neophodne dijagnostičke informacije.
- **Success?** indikator uspješnosti pokretanja odabrane dijagnostičke sesije.
- **Error out** opisuje nastalu pogrešku u *vi*-u.

5.2.3. ReadDTCByStatus.vi

Ovaj virtualni instrument očitava odabrane dijagnostičke kodove pogrešaka prema statusu iz memorije ECU-a. Ako promatramo prema grupi dijagnostičkih kodova pogrešaka koje želimo očitati postoje *Powertrain* (Pogon), *Body* (Karoserija), *Network* (Mreža), *Chassis* (Šasija). Također, postoji sedam statusa DTC-ova, a oni su navedeni u shematskom objašnjenju virtualnog instrumenta.



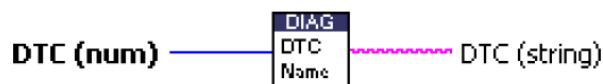
Slika 5.8. Shematski prikaz *ReadDTCByStatus.vi* u LabVIEW-u [4].

- **DTC descriptor** je funkcija koja opisiva zapise DTC-ova poslane od ECU-a. Sadrži veličinu zapisa DTC-a u bajtovima, veličinu zapisa statusa DTC-a, veličinu zapisa dodatnog opisa DTC-a, opis poretka bajtova.
- **Diag ref in** definira upravljanje dijagnostičkom sesijom dobivenom od *OpenDiagnostic.vi* i vezu sa sljedećim dijagnostičkim virtualnim instrumentima. U pravilu, nije potrebno ručno upravljati postavkama ove funkcije.

- **Mode** definira vrstu dijagnostičkih kodova pogrešaka koje se očitavaju. Uobičajene vrijednosti su:
 - 2: Sve prepoznate (engl. *All identified*)
 - 3: Sve podržane (engl. *All supported*)
- **Group of DTC** određuje grupu dijagnostičkih kodova pogrešaka koje će se očitati. Sljedeće vrijednosti su u heksadecimalnom zapisu, a imaju značenje:
 - 0x0000 Svi DTC-ovi vezani uz pogon (P)
 - 0x4000 Svi DTC-ovi vezani uz šasiju (C)
 - 0x8000 Svi DTC-ovi vezani uz karoseriju (B)
 - 0xC000 Svi DTC-ovi vezani uz mrežu (U)
 - 0xFF00 Svi DTC-ovi (P, C, B, U)
- **Error in (no error)** je funkcija koja opisuje uvjete pri kojima je pogreška nastupila u *vi-u*.
- **Diag ref out** je funkcija koji sadrži sve neophodne dijagnostičke informacije.
- **DTCs** ispisiva očitani niz dijagnostičkih kodova pogrešaka. Također ispisiva status DTC-a koji može biti:
 - 0 Test nije uspio
 - 1 Test nije uspio u ovom ciklusu nadziranja
 - 2 DTC na čekanju (ista greška se treba dogoditi još jedan ili dva puta)
 - 3 Potvrđeni DTC
 - 4 Test nije obavljen od prethodnog brisanja DTC-ova
 - 5 Test nije uspio od prethodnog brisanja
 - 6 Test nije obavljen za vrijeme ovog ciklusa nadziranja
 - 7 Zahtjev za upozoravajućom žaruljicom (MIL)
- **Success?** indikator uspješnosti očitavanja DTC-ova.
- **Error out** opisuje nastalu pogrešku u *vi-u*.

5.2.4. DTCToString.vi

Ovaj virtualni instrument očitane DTC-ove koji su u numeričkom formatu dekodira i ispisuje u poznatom formatu od jednog slova i četiri broja.

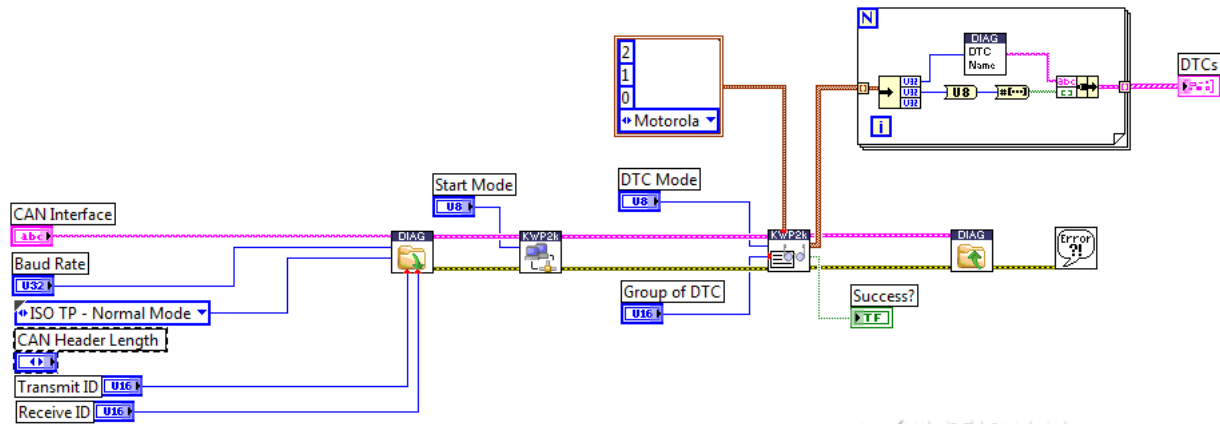


Slika 5.9. Shematski prikaz *DTCToString.vi* u *LabVIEW-u* [4].

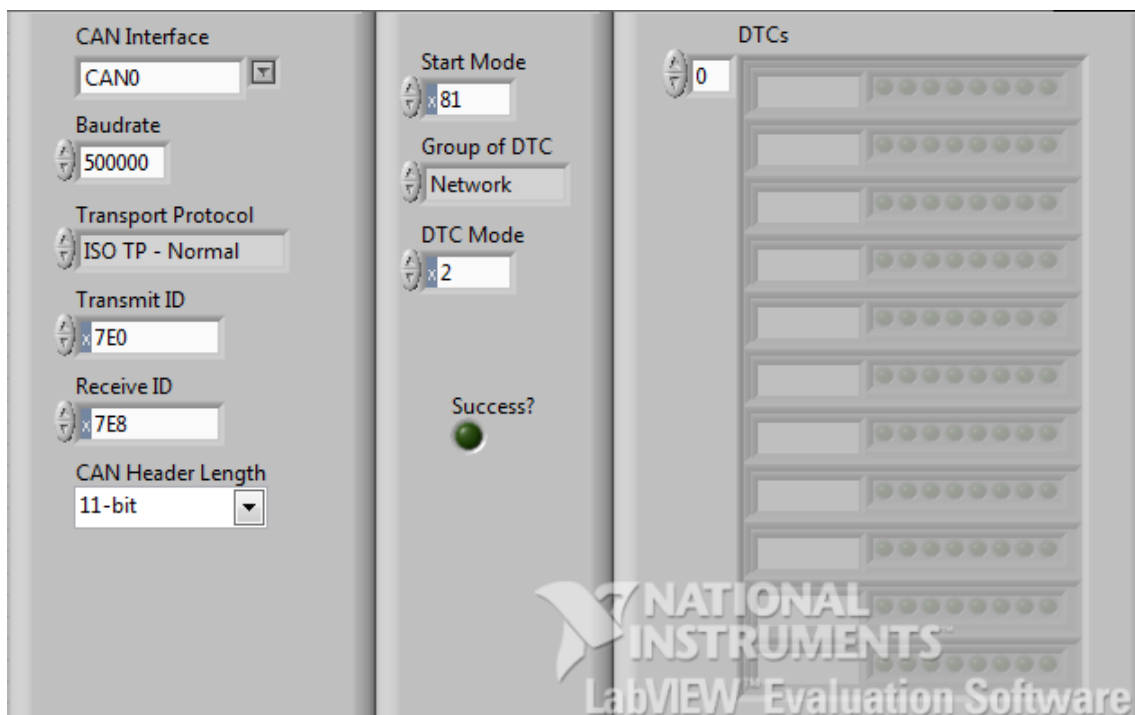
- **DTC (num)** ulazna numerička vrijednost prethodno očitano DTC-a
- **DTC (string)** izlazna vrijednost DTC-a u formatu jednog slova i četiri broja (PXXXX)

5.3. Podešavanje radnih parametara programskog sučelja

Nakon što je programsko sučelje napravljeno, prije samog povezivanja sa CAN sabirnicom vozila potrebno je podesiti ulazne parametre svakog od virtualnih instrumenata. Izgled i blok dijagram konačnog programskog sučelja dani su na sljedećim slikama.



Slika 5.10. Blok dijagram programskog sučelja za očitavanje DTC-ova sa vozila.



Slika 5.11. Programsko sučelje unutar LabVIEW-a za očitavanje DTC-ova sa vozila.

Ulazni parametri u prvom stupcu programskog sučelja na slici 5.11. podešavaju *OpenDiagnostic.vi* koji je odgovoran za inicijalizaciju komunikacije između CAN sabirnice vozila i računala.

CAN Interface je sučelje preko kojeg će se dijagnostičke informacije razmjenjivati i u pravilu to je CAN0.

Baudrate je brzina prijenosa podataka između CAN sabirnice i uređaja NI USB-8473s. Ta brzina mora biti ista kao i brzina komuniciranja unutar sabirnice među čvorovima. Ona ovisi o klasi sabirnice koju je proizvođač ugradio u vozilo, a u većini slučajeva radi se o 500000 kbit/s ili 125000 kbit/s. Brzina prijenosa podataka se može izmjeriti sa osciloskopom mjereći trajanje dominantnog ili recesivnog stanja signala.

Transport protocol-om je definiran način prenošenja dijagnostičkih poruka unutar CAN sabirnice. Svaki od protokola je standardiziran, a ponuđen je izbor između tri:

1. *ISO TP – Normal mode*: Ovaj transportni protokol je definiran u ISO 15765-2 normi. Svih 8 bajtova za podatkovni okvir se koristi za prijenos podataka.
2. *ISO TP – Mixed mode*: Ovaj transportni protokol je također definiran u ISO 15765-2 normi. Razlika od prvog transportnog protokola je što se prvi bajt podatkovnog okvira koristi za adresiranje produžetka.
3. *VW TP 2.0*

Najčešće korišten transportni protokol je *ISO TP – Normal mode*, a poneka Japanska vozila koriste *ISO TP – Mixed mode*, dok se *VW TP 2.0* koristi u vozilima Njemačkog proizvođača vozila Volkswagen. *VW TP 2.0* su usvojili još neki proizvođači jer je to jedan od starijih transportnih protokola koji je bio popularan i prije CAN-a.

Transmit ID je CAN identifikator koji je potreban za slanje zahtjeva sa računala za dijagnostičkim informacijama prema ECU-u. Standardizirani su u ISO 15765-4 prema adresama ECU uređaja. *Transmit ID* je „ključ“ koji otvara vrata za komunikaciju između ECU-a i dijagnostičkog uređaja. Uobičajene vrijednosti su u heksadecimalnom zapisu i iznose 7E0 i 7DF. Ako dijagnostički uređaj (računalo) pošalje ispravan *transmit ID*, CAN sabirnica će dopustiti slanje zahtjeva prema ECU-u. U slučaju krivog *transmit ID*-a nema nikakvih odgovora od ECU-a sve dok se ne pošalje ispravan „ključ“.

Receive ID je CAN identifikator koji je potreban za slanje odgovora od ECU-a sa dijagnostičkim informacijama prema računalu. Također su standardizirani u ISO 15765-4 prema adresama dijagnostičkih uređaja. Uobičajena vrijednost je u heksadecimalnom zapisu i iznosi 7E8. Slično kao za *Transmit ID*, vrijedi i za *Receive ID*, on omogućava slanje odgovora od ECU-a natrag prema računalu. Ako nije ispravan za ispitivano vozilo neće doći do komunikacije.

CAN Header Length označava duljinu CAN arbitražnog okvira koji sadrži u sebi važnost poruke u CAN sabirnici. Unutar ovog okvira pohranjen je i *Transmit* i *Receive ID*. Može biti 11-bitni ako se radi o normalnom arbitražnom okviru ili 29-bitni ukoliko se radi o produženom arbitražnom okviru. Duljina arbitražnog okvira je najčešće 11-bitna, a prednost 29-bitne bi bila u većem broju kombinacija bitova prilikom određivanja važnosti poruka. 29-bitno arbitražno polje će se vjerojatno koristiti u skorij budućnosti, kada se broj elektroničkih uređaja spojenih na sabirnicu, a time i broj poruka koje istovremeno stižu na sabirnicu, još poveća.

Ako je bilo koji od ovih parametara krivo podešen komunikacija se neće uspostaviti i dijagnostička sesija neće biti pokrenuta. Do ovih parametara se teško dolazi jer se razlikuju od proizvođača do proizvođača, a nisu deklarirane na vozilima. Sve to smanjiva šanse uspješnog povezivanja CAN sabirnice i uređaja. Prema podacima iz ISO 15765-4 *Transmit ID* i *Receive ID* dolaze u parovima ovisno o adresi ECU-a s kojim želimo komunicirati (adresa za ECU motora i ECU transmisije je različita). Za komunikaciju sa ECU-om motora koji obično ima adresu #1 odgovarajući par u heksadecimalnom zapisu je 7E0 i 7E8. Međutim, prilikom ispitivanja u sklopu ovog rada, došlo je do nekih nejasnoća jer se za povezivanje s jednim od

vozila koristio par 7DF i 7E8, u kojem 7DF služi za provjeru funkcionalnosti adresiranih zahtjeva za porukom, prema ISO 15765-4.

U drugom stupcu programskog sučelja na slici 5.11. **Start mode** parametar podešava *StartDiagnosticSession.vi* koji je odgovoran za pokretanje pojedinog načina rada dijagnostičke sesije. Zapis parametra je u heksadecimalnom obliku i za pokretanje *Mode 03* načina rada koji se koristi za očitavanje dijagnostičkih pogrešaka potrebno je unijeti 81.

Group of DTC određuje grupu dijagnostičkih kodova pogrešaka koje će se očitati. Ovaj parametar ne može uzrokovati probleme prilikom komuniciranja s CAN sabirnicom, jer svaka od opcija je ispravna i rezultat će dijagnostičkim kodovima pogrešaka koje smo odabrali.

DTC mode definira vrstu dijagnostičkih kodova pogrešaka koje se očitavaju. Ukoliko unesemo vrijednost 2 dobit ćemo sve prepoznate DTC-ove, a sve podržane DTC-ove dobivamo unošenjem vrijednosti 3. Opet se radi o heksadecimalnom zapisu. Kod ovog parametra postoji mogućnost pogreške jer vrijednost opcije „očitaj sve DTC-ove“ prepuštena je proizvođaču na volju. Također, proizvođač može dodati još neke opcije za očitavanje pojedinih DTC-ova, a te informacije su dostupne samo onima koje sam proizvođač odabere.

DTCs u trećem stupcu rezultat je svega što smo prije podešavali. Ispisiva očitane dijagnostičke kodove pogreška, a u slučaju da ih je više od 11, pomoću opcije u vrhu pomičemo stupac prema dolje.

5.4. Testiranje na vozilima

S ciljem proučavanja kompatibilnosti vozila različitih proizvođača testiranje je provedeno na nekoliko modela vozila. Vozilo može pristupiti testu ako zadovoljava sljedeće uvjete:

1. Posjedovanje EOBD priključka, koji je propisan EURO-3 normom.
2. Komunikacija između elektroničkih uređaja mora se vršiti preko CAN sabirnice, odnosno vozilo mora podržavati CAN protokol što bi značilo da na 16-pinskom dijagnostičkom priključku posjeduje pinove 4, 5, 6, 14 i 16.

Prvi uvjet je zadovoljen za sva vozila koja su pogonjena Ottovim motorom od 2001. godine i za sva vozila pogonjena Diesellovim motorom od 2004. godine. Drugi uvjet zadovoljavaju vozila koja su proizvedena 2008. godine i nakon. CAN protokol je normom ISO 15765-4 postao obavezan na svim vozilima proizvedenim od 2008. godine. Bez obzira na to, radi prednosti koje CAN nudi, proizvođači su ga ugrađivali u vozila i prije 2008. pa tako jedno od testiranih vozila je proizvedeno 2006. godine.

Nabavka dovoljnog broj vozila za testiranje je problem zbog prosječne starosti vozila u Hrvatskoj (11 godina), a strah i nevjerica koji nastupe kada se vlasniku objasni procedura prilikom testiranja još dodatno doprinose problemu nabavke. Iako je gotovo nemoguće da test naškodi vozilu, dužnost je vlasnike upozoriti kako uvijek postoji mogućnost da nešto pođe krivo. Sve to, skupa sa rokovima predaje završnog rada, je dovelo do brojke od 5 testirana vozila. Radi se o modelima: Citroen C-Crosser (2008. god.), Audi A4 (2006. god.), Seat Ibiza (2010. god.), Kia Cee'd (2009. god.), Ford Fusion (2011. god.).

Prilikom testiranja prvo potrebno je locirati dijagnostički priključak na vozilu – DLC koji se prema normi SAE J1962 uglavnom nalazi u području ispod upravljačkog kola. Kada se locira i dijagnostička oprema ispravno poveže, provjerava se mogućnost povezivanja s CAN sabirnicom pokretanjem programskog sučelja za očitavanje VIN oznake vozila, broja okretaja motora i temperature rashladne tekućine motora. Ukoliko to prođe uspješno pokreće se programsko sučelje za očitavanje dijagnostičkih kodova pogrešaka (DTC-ova). Ovaj

redosljed koristi se zbog načina rada dijagnostičke sesije koja je prema osnovnim postavkama podešena u *mode 01*, a on služi za očitavanje radnih vrijednosti motora, dok *mode 03* treba pokrenuti dodatnim virtualnim instrumentom unutar programskog sučelja (*StartDiagnosticSession.vi*) pa postoji šansa da vozilo iz nekog razloga odbije taj način rada. Također oba programska sučelja na svakom vozilu testirana su dok je vozilo imalo pokrenut motor i kada je bio dan samo kontakt.

5.4.1. Kia Cee'd

Radi se o modelu korejskog proizvođača proizvedenom 2009. godine što ga svrstava među vozila koja zadovoljavaju prije navedene uvjete mogućnosti pristupanja testu. Dijagnostički priključak nalazi se na vozačevoj strani, neposredno iznad pedale za isključivanje spojke, nezaštićen poklopcem. Točna lokacija vidljiva je na slici 5.12..



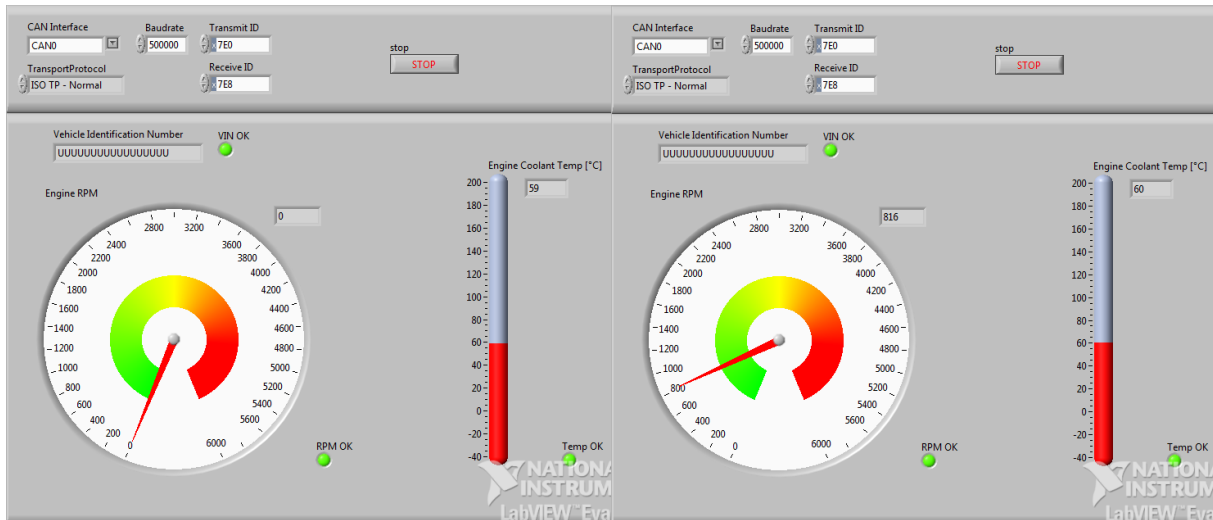
Slika 5.12. Lokacija dijagnostičkog priključka na vozilu Kia Cee'd.

Korištene su sljedeće vrijednosti parametara za programsko sučelje koje očitava radne vrijednosti motora:

Tablica 5.1. Postavke parametara za programsko sučelje koje očitava radne vrijednosti motora na vozilu Kia Cee'd.

Parametar	Vrijednost
CAN Interface	CAN0
Baudrate	500 000
Transport Protocol	ISO TP – Normal
Transmit ID	7E0
Receive ID	7E8

Vrijednosti parametara *Transmit ID* i *Receive ID* su zadane prema normi ISO 15765-4, a ostali parametri podešeni su prema vrijednostima koje su normirane u ISO 15765-2. Povezivanje programskog sučelja sa CAN sabirnicom vozila izvršeno je uspješno za vrijeme dok je motor vozila pokrenut i za vrijeme dok je bio dan samo kontakt. Oba slučaja vidljiva su na slici ispod.



Slika 5.13. Programsko sučelje za očitavanje radnih vrijednosti motora na vozilu Kia Cee'd.

Nakon uspješnog očitavanja radnih vrijednosti motora slijedi očitavanje dijagnostičkih pogrešaka vozila. Korištene su iste vrijednosti početnih parametara kao u tablici 5.1. te dodatno vrijednosti prikazane u tablici 5.2. za podešavanje načina rada dijagnostičke sesije i očitavanje željenih DTC-ova.

Tablica 5.2. Postavke parametara za programsko sučelje koje očitava dijagnostičke pogreške na vozilu Kia Cee'd.

Parametar	Vrijednost
Start Mode	81
Group of DTCs	All
DTC Mode	0

Vrijednost parametra *Start Mode* je u heksadecimalnom zapisu i ona inicira način rada dijagnostičke sesije koji služi za očitavanje i brisanje dijagnostičkih pogrešaka. Pod *Group of DTCs* odabrano je „All“ što znači da će se očitati svi DTC-ovi, dok je za *DTC Mode* odabrana vrijednost 0 jer u tom načinu rada ispisivaju se sve vrste dijagnostičkih pogrešaka. Računalo se ponovno uspješno povezal preko programskog sučelja na CAN sabirnicu, pokrenulo način rada dijagnostičke sesije za očitavanje DTC-ova te ih uspješno očitalo iz memorije računala motora, što se vidi na slici 5.14..



Slika 5.14. Programsko sučelje za očitavanje DTC-ova na vozilu Kia Cee'd.

Indikator uspješnosti očitavanja (zelena žaruljica sa natpisom „Success?“) je upaljen što znači da su pogreške uspješno očitane iz memorije računala motora (ECU-a). Na vozilu nisu zabilježene nikakve dijagnostičke pogreške stoga je broj očitanih DTC-ova nula. Indikator uspješnosti očitavanja upalio se u slučaju kad je motor vozila bio pokrenut i kada je bio dan samo kontakt.

Zaključak: Vozilo je potpuno kompatibilno sa uređajem NI USB-8473s i programskim sučeljem napravljenim u programskom paketu LabView 2011. Vrijednosti parametara za inicijalizaciju komunikacije se podudaraju sa onima iz normi 15765-2 i 15765-4. Spajanje na CAN sabirnicu vozila je uspješno izvedeno.

5.4.2. Citroen C-Crosser

Radi se o modelu francuskog proizvođača proizvedenom 2008. godine što ga svrstava među vozila koja zadovoljavaju prije navedene uvjete mogućnosti pristupanja testu. Dijagnostički priključak nalazi se na vozačevoj strani, lijevo iznad pedale za kočenje, nezaštićen poklopcem. Točna lokacija vidljiva je ne slici 5.15..



Slika 5.15. Lokacija dijagnostičkog priključka na vozilu Citroen C-Crosser.

Korištene su sljedeće vrijednosti parametara za programsko sučelje koje očitava radne vrijednosti motora:

Tablica 5.3. Postavke parametara za programsko sučelje koje očitava radne vrijednosti motora na vozilu Citroen C-Crosser.

Parametar	Vrijednost
CAN Interface	CAN0
Baudrate	500 000
Transport Protocol	ISO TP – Normal
Transmit ID	7E0
Receive ID	7E8

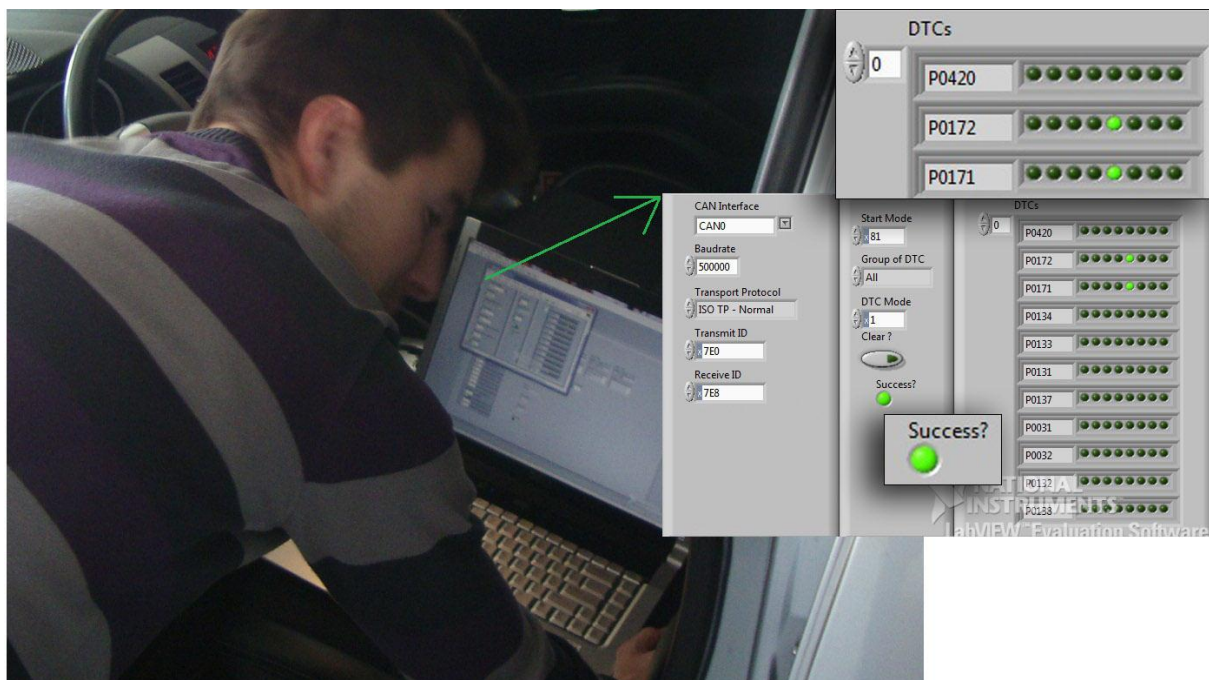
Vrijednosti parametara *Transmit ID* i *Receive ID* su zadane prema normi ISO 15765-4, a ostali parametri podešeni su prema vrijednostima koje su normirane u ISO 15765-2. Povezivanje programskog sučelja sa CAN sabirnicom vozila izvršeno je uspješno i za vrijeme dok je motor vozila pokrenut i za vrijeme dok je bio dan samo kontakt.

Nakon uspješnog očitavanja radnih vrijednosti motora slijedi očitavanje dijagnostičkih pogrešaka vozila. Korištene su iste vrijednosti početnih parametara kao u tablici 5.3. te dodatno vrijednosti prikazane u tablici 5.4. za podešavanje načina rada dijagnostičke sesije i očitavanje željenih DTC-ova.

Tablica 5.4. Postavke parametara za programsko sučelje koje očitava dijagnostičke pogreške na vozilu Citroen C-Crosser

Parametar	Vrijednost
Start Mode	81
Group of DTCs	All
DTC Mode	1

Vrijednost parametra *Start Mode* je u heksadecimalnom zapisu i ona inicira način rada dijagnostičke sesije koji služi za očitavanje i brisanje dijagnostičkih pogrešaka. Pod *Group of DTCs* odabrano je „All“ što znači da će se očitati svi DTC-ovi, dok je za *DTC Mode* odabrana vrijednost 1 jer u tom načinu rada ispisivaju se sve dijagnostičke pogreške opasne po motor i komponente ispušnog sustava. Računalo se ponovno uspješno povezal preko programskog sučelja na CAN sabirnicu, pokrenulo način rada dijagnostičke sesije za očitavanje DTC-ova te ih uspješno očitalo, što se vidi na slici 5.16..



Slika 5.16. Programsko sučelje za očitavanje DTC-ova na vozilu Citroen C-Crosser.

Indikator uspješnosti očitavanja (zelena žaruljica sa natpisom „Success?“) je upaljen što znači da su pogreške uspješno očitane iz memorije računala motora (ECU-a). U prvom očitavanju pogreške su ispravno očitane međutim, sudeći prema rezultatima nijedna nije bila zapisana u memoriji ECU-a. Nakon toga na vozilu su pogreške namjerno izazvane s ciljem testiranja pouzdanosti programa. Dijagnostičke pogreške su nastale zbog iskopčavanja senzora protoka zraka (MAF engl. *Mass Air Flow*) koji služi za određivanje količine goriva koja će se ubrizgati kako bi smjesa za izgaranje bila stehiometrijska i izgaranje takvo da katalizator postiže najveću učinkovitost. Vozilo tada prelazi u način rada koji ubrizgava gorivo prema mapama ubrizgavanja pohranjenim u ECU-u i dopušta brzine vrtnje motora takve da se osigura dovoljna mobilnost za npr. odvesti vozilo na servis. Nakon što je pouzdanost programa potvrđena senzor protoka zraka ponovno je ukopčan, no to nije dovelo do gašenja kontrolne žaruljice (MIL) na instrument ploči vozila. Također, očitavanje DTC-ova nakon što se ponovno ukopčao MAF senzor je bilo identično. To je normalno zato što DTC-ovi ostaju u

memoriji računala motora sve dok se ne izbrišu dijagnostičkim uređajem, a kontrolna žaruljica na instrument ploči će se ugasi tek nakon određenog broja normalnih ciklusa vožnje koji ovise od proizvođača do proizvođača. Indikator uspješnosti očitavanja upalio se u slučaju kad je motor vozila bio pokrenut i kada je bio dan samo kontakt.

Tablica 5.5. Objašnjenje nekoliko očitanih DTC-ova sa vozila Citroen C-Crosser.

DTC	Objašnjenje
P0420	Učinkovitost katalizatora ispod dozvoljenog praga (senzor 1)
P0172	Goriva smjesa prebogata ($\lambda < 0,97$)
P0171	Goriva smjesa presiromašna ($\lambda > 1,03$)

Objašnjenje dijagnostičkih kodova pogrešaka lako se može pronaći upisivanjem koda pogreške u Google tražilicu. Inače je objašnjenje dano na dijagnostičkom uređaju, ali to nije slučaj s ovim uređajem. Za primjer su uzeta prva tri očitana DTC-a koja potvrđuju probleme nastale neispravnošću ili isključivanjem senzora protoka zraka. Njihova objašnjenja upućuju da je problem u određivanju potrebne količine goriva za ubrizgavanje i stvaranje stehiometrijske smjese, a posljedica toga je siromašna ili bogata smjesa što dalje uzrokuje smanjenu učinkovitost katalizatora.

Zaključak: Vozilo je potpuno kompatibilno sa uređajem NI USB-8473s i programskim sučeljem napravljenim u programskom paketu LabView 2011. Vrijednosti parametara za inicijalizaciju komunikacije se podudaraju sa onima iz normi 15765-2 i 15765-4. Spajanje na CAN sabirnicu vozila je uspješno izvedeno. U ovom slučaju nema smisla tražiti objašnjenje za sve očitane DTC-ove jer poznat je uzrok problema.

5.4.3. Seat Ibiza

Radi se o modelu španjolskog proizvođača proizvedenom 2010. godine što ga svrstava među vozila koja zadovoljavaju prije navedene uvjete mogućnosti pristupanja testu. Dijagnostički priključak nalazi se na vozačevoj strani, ispod lijevo od upravljačkog kola, zaštićen poklopcem pod kojim se nalaze i osigurači. Točna lokacija vidljiva je na slici 5.17..



Slika 5.17. Lokacija dijagnostičkog priključka na vozilu Seat Ibiza.

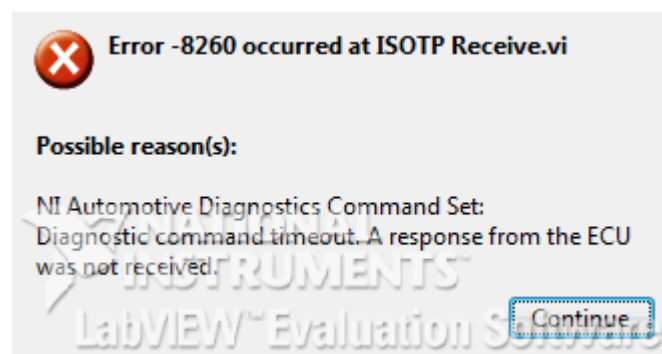
Korištene su sljedeće vrijednosti parametara za programsko sučelje koje očitava radne vrijednosti motora:

Tablica 5.6. Postavke parametara za programsko sučelje koje očitava radne vrijednosti motora na vozilu Seat Ibiza.

Parametar	Vrijednost
CAN Interface	CAN0
Baudrate	500 000, 250 000, 125 000
Transport Protocol	ISO TP – Normal, ISO TP Mixed, VW TP 2,0
Transmit ID	7E0,7DF, 7DE, 7E1,7E2
Receive ID	7E8,7E7,7E9

Povezivanje programskog sučelja za očitavanje radnih vrijednosti motora sa CAN sabirnicom vozila nije uspjelo. Prilikom prvog pokušaja povezivanja korištene su vrijednosti parametara kao i u vozilima s kojima je uspješno stvorena veza. Pogreška koju program izbacuje je „*Error 8260 occurred at ISOTP receive.vi*“ (slika 5.18.) što znači da je na virtualnom instrumentu za inicijalizaciju transportnog protokola došlo do pogreške prilikom primanja poruke. Uzrok tome je kriva vrijednost *Transmit ID* i/ili *Receive ID*-a zbog kojih ECU nije odgovorio. Pod razlog nastanka pogreške navodi se da odgovor od ECU-a nije primljen ni nakon prolaska zadanog vremena čekanja (engl. *Timeout*).

Nakon pogreške -8260, povezivanje nije uspjelo niti sa drugim preporučenim kombinacijama *Transmit ID* i *Receive ID*-a koje su dane u normi ISO 15765-4. Također, svi transportni protokoli su isprobani, no tada greška koju program izbacuje je drugačije prirode. Naime, u objašnjenju pogreške stoji kako nije prepoznata CAN sabirnica ili je došlo do pogreške u transportnom protokolu što upućuje da je *ISO TP – Normal* ispravno odabrana vrijednost. Promjena brzine isto tako nije imala efekta na nastalu pogrešku.



Slika 5.18. Pogreška -8260.

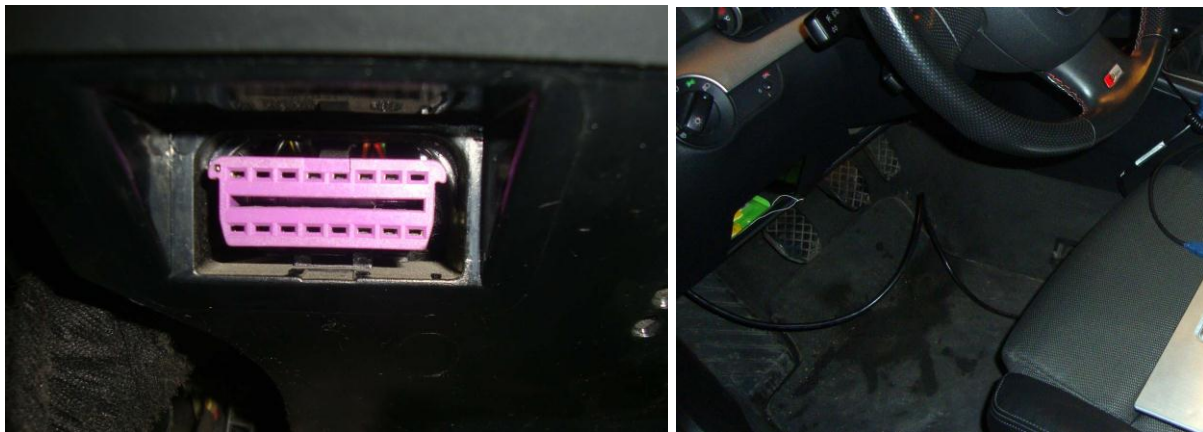
Povezivanje programskog sučelja sa CAN sabirnicom nije uspjelo ni u slučaju dok je motor vozila pokrenut, ni u slučaju dok je bio dan samo kontakt.

Do iste pogreške došlo je prilikom pokušaja povezivanja programskog sučelja za očitavanje dijagnostičkih pogrešaka. Uzroci pogreške su isti kao i pri pokušaju povezivanja sa programskim sučeljem za očitavanje radnih vrijednosti motora. Korištene su iste vrijednosti početnih parametara kao u tablici 5.6. te dodatno vrijednosti prikazane u tablici 5.2. za podešavanje načina rada dijagnostičke sesije i očitavanje željenih DTC-ova.

Zaključak: Vrijednosti parametara za inicijalizaciju komunikacije se ne podudaraju sa onima iz normi 15765-2 i 15765-4. Spajanje na CAN sabirnicu vozila nije uspjelo. Ne sumnja se u kompatibilnost uređaja NI USB-8473s, kao ni u programski paket LabVIEW 2011 iz razloga što program izbacuje različite pogreške prilikom promjene vrijednosti parametara. To upućuje na ispravnu vezu između uređaja i CAN sabirnice, ali neispravnu inicijalizaciju komunikacije. Razlog tomu leži u pogrešnim vrijednostima *Transmit ID* i *Receive ID*-a za koje se ispostavilo da nisu one koje su dane u normi ISO 15765-4.

5.4.4. Audi A4

Radi se o modelu njemačkog proizvođača proizvedenom 2006. godine što ga svrstava među vozila koja ne zadovoljavaju nužno prije navedene uvjete mogućnosti pristupanja testu. Međutim, pregledom dijagnostičkog priključka zaključeno je kako vozilo posjeduje CAN sabirnicu jer su pinovi 4, 5, 6, 14 i 16 prisutni, iako je proizvođač primoran koristiti CAN protokol tek od 2008. godine. Dijagnostički priključak nalazi se na vozačevoj strani, lijevo iznad pedale za isključivanje spojke, nezaštićen poklopcem. Priključak je vidljiv na slici 5.19..



Slika 5.19. Lokacija dijagnostičkog priključka na vozilu Audi A4.

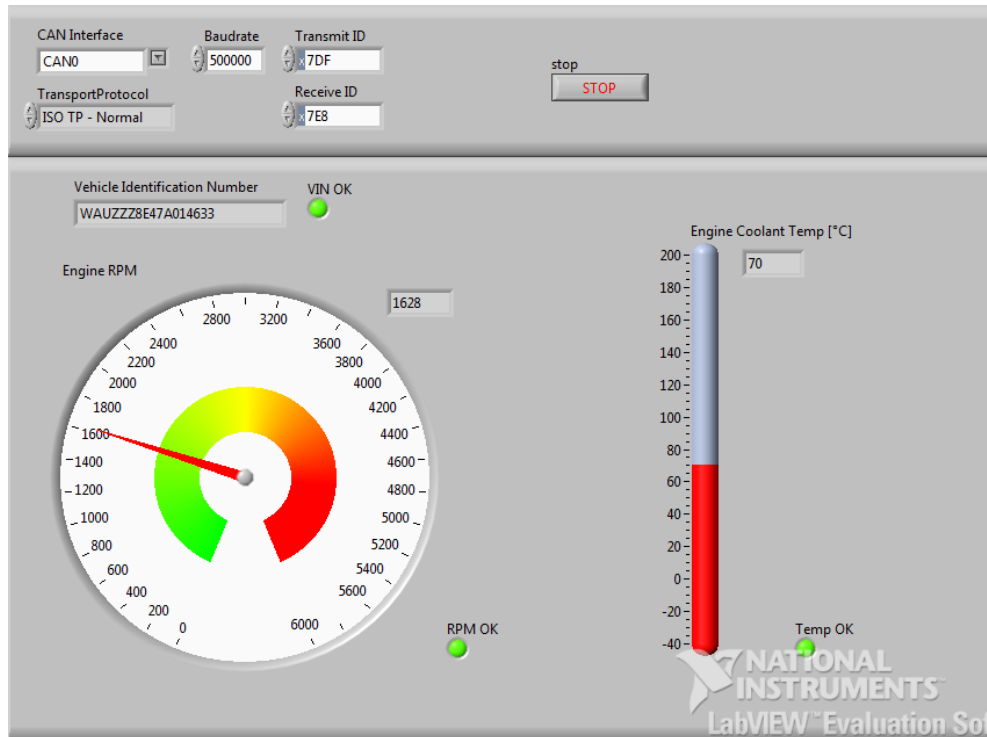
Korištene su sljedeće vrijednosti parametara za programsko sučelje koje očitava radne vrijednosti motora:

Tablica 5.7. Postavke parametara za programsko sučelje koje očitava radne vrijednosti motora na vozilu Audi A4.

Parametar	Vrijednost
CAN Interface	CAN0
Baudrate	500 000
Transport Protocol	ISO TP – Normal
Transmit ID	7DF
Receive ID	7E8

Vrijednosti parametara *Transmit ID* i *Receive ID* su zadane prema normi ISO 15765-4, a ostali parametri podešeni su prema vrijednostima koje su normirane u ISO 15765-2. Povezivanje programskog sučelja sa CAN sabirnicom vozila izvršeno je uspješno. Vrijednost

Transmit ID-a nije bila 7E0 kao na ostalim vozilima koja su uspješno povezana, nego 7DF koja je u normi ISO 15765-4 navedena kao provjera funkcionalnosti adresiranih zahtjeva za porukom. Povezivanje programskog sučelja sa CAN sabirnicom vozila izvršeno je uspješno za vrijeme dok je motor vozila pokrenut i za vrijeme dok je bio dan samo kontakt. Na slici 5.20. prikazano je programsko sučelje dok je motor vozila pokrenut.



Slika 5.20. Programsko sučelje za očitavanje radnih vrijednosti motora na vozilu Audi A4.

Nakon uspješnog očitavanja radnih vrijednosti motora slijedi očitavanje dijagnostičkih pogrešaka vozila. Korištene su iste vrijednosti početnih parametara kao u tablici 5.7. te dodatno vrijednosti prikazane u tablici 5.8. za podešavanje načina rada dijagnostičke sesije i očitavanje željenih DTC-ova.

Tablica 5.8. Postavke parametara za programsko sučelje koje očitava dijagnostičke pogreške na vozilu Audi A4.

Parametar	Vrijednost
Start Mode	81
Group of DTCs	All
DTC Mode	0, 1, 2, 3

Vrijednost parametra *Start Mode* je u heksadecimalnom zapisu i ona inicira način rada dijagnostičke sesije koji služi za očitavanje i brisanje dijagnostičkih pogrešaka. Pod *Group of DTCs* odabrano je „All“ što znači da će se očitati svi DTC-ovi, dok su za *DTC Mode* odabrane vrijednosti 0, 1, 2 i 3. Računalo se nije uspješno povezal te je program izbacio pogrešku -8260 što znači da inicijalizacija komunikacije nije uspjela. To je neočekivano, jer se programsko sučelje za očitavanje radnih vrijednosti uspješno povezal, a koristi se identičan virtualni instrument (*OpenDiagnostic.vi*) sa identičnim postavkama za povezivanje u oba programska sučelja. Pretpostavka je da u konkretnom vozilu na CAN sabirnicu nisu

spojeni svi uređaji jer su prisutni i drugi protokoli. To se zaključuje pregledavanjem dijagnostičkog priključka koji osim pinova 4, 5, 6, 14 i 16 sadrži i pinove 7 i 15. Pinovi 4, 5, 7, 15 i 16 se koriste kod ISO 14230 KWP2000 protokola, koji se ugrađivao u većinu europskih vozila prije nego je CAN protokol postao obavezan (2008. god.), što je slučaj kod ovog vozila (2006. god.).



Slika 5.21. Programsko sučelje za očitavanje DTC-ova na vozilu Audi A4.

Indikator uspješnosti očitavanja (zelena žaruljica sa natpisom „Success?“) nije upaljen što znači da pogreške nisu očitane iz memorije računala motora (ECU-a). Nijedna kontrolna žaruljica na instrument ploči, pa tako ni MIL, nije bila upaljena, što bi značilo da je vozilo ispravno. Povezivanje je bilo neuspješno i za vrijeme dok je motor vozila bio pokrenut i za vrijeme dok je bio dan samo kontakt.

Zaključak: Vozilo je kompatibilno sa uređajem NI USB-8473s i programskim sučeljem napravljenim u programskom paketu LabView 2011. Vrijednosti parametara za inicijalizaciju komunikacije se djelomično podudaraju sa onima iz norme 15765-2 (*Transmit ID* je drugačiji nego kod ostalih vozila) i potpuno sa onima iz norme 15765-4. Spajanje na CAN sabirnicu vozila je uspješno izvedeno, međutim prilikom pokušaja prebacivanja dijagnostičke sesije iz načina rada za očitavanje radnih vrijednosti motora u način rada gdje se očitavaju i brišu dijagnostičke pogreške dolazi do pogreške -8260. Pretpostavlja se da je razlog pogreške postojanje više EOBD protokola i ne postojanje veze među pojedinim elektroničkim uređajima sa CAN sabirnicom.

5.4.5. Ford Fusion

Radi se o modelu američkog proizvođača za europsko tržište proizvedenom 2011. godine što ga svrstava među vozila koja zadovoljavaju prije navedene uvjete mogućnosti pristupanja testu. Dijagnostički priključak nalazi se na vozačevoj strani, neposredno ispod kola upravljača, zaštićen poklopcem. Točna lokacija vidljiva je na slici ispod.



Slika 5.22. Lokacija dijagnostičkog priključka na vozilu Ford Fusion.

Korištene su sljedeće vrijednosti parametara za programsko sučelje koje očitava radne vrijednosti motora:

Tablica 5.9. Postavke parametara za programsko sučelje koje očitava radne vrijednosti motora na vozilu Ford Fusion.

Parametar	Vrijednost
CAN Interface	CAN0
Baudrate	500 000
Transport Protocol	ISO TP – Normal
Transmit ID	7E0
Receive ID	7E8

Vrijednosti parametara *Transmit ID* i *Receive ID* su zadane prema normi ISO 15765-4, a ostali parametri podešeni su prema vrijednostima koje su normirane u ISO 15765-2. Povezivanje programskog sučelja sa CAN sabirnicom vozila izvršeno je uspješno za vrijeme dok je motor vozila pokrenut i za vrijeme dok je bio dan samo kontakt. Programsko sučelje za očitavanje radnih vrijednosti motora dok je vozilo imalo pokrenut motor dano je na slici 5.23..



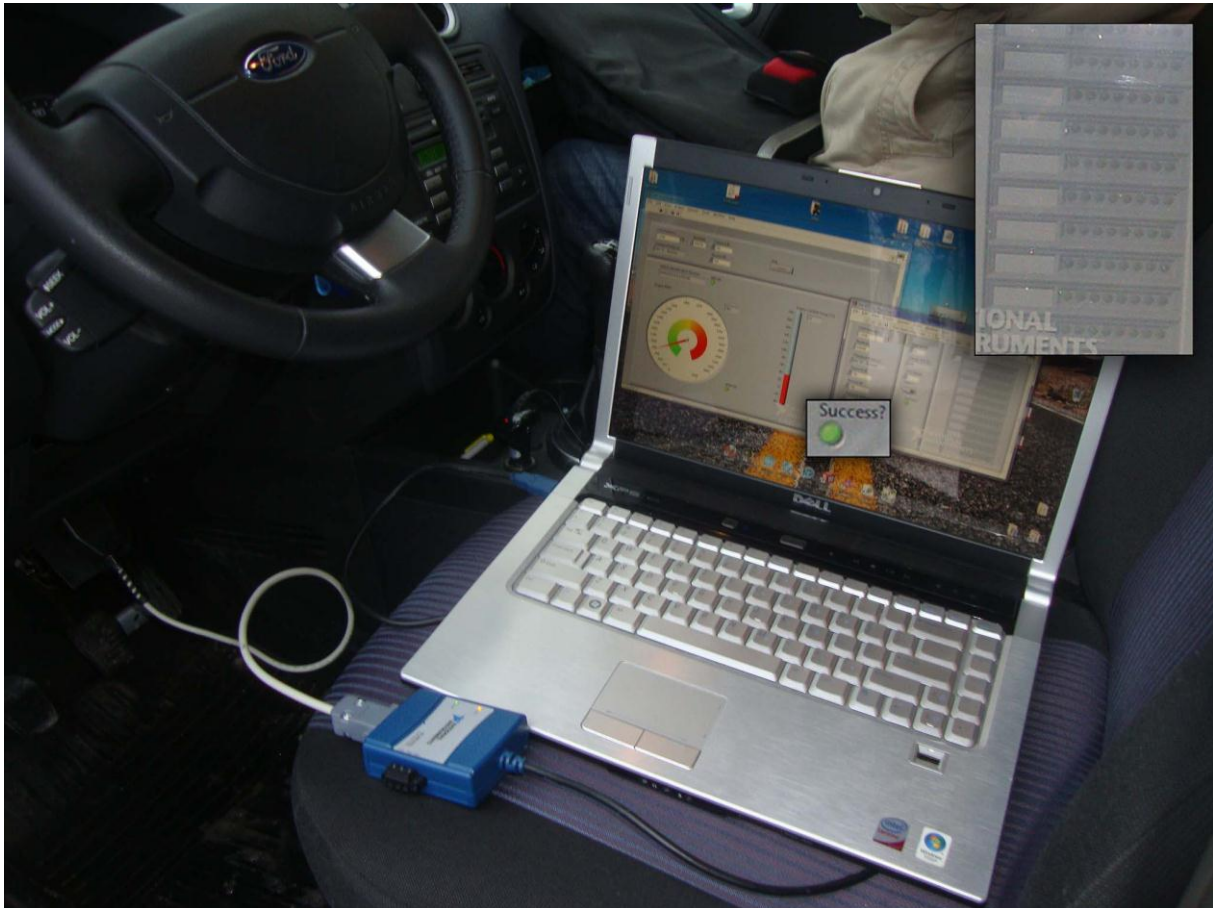
Slika 5.23. Programsko sučelje za očitavanje radnih vrijednosti motora na vozilu Ford Fusion.

Nakon uspješnog očitavanja radnih vrijednosti motora slijedi očitavanje dijagnostičkih pogrešaka vozila. Korištene su iste vrijednosti početnih parametara kao u tablici 5.9. te dodatno vrijednosti prikazane u tablici 5.10. za podešavanje načina rada dijagnostičke sesije i očitavanje željenih DTC-ova.

Tablica 5.10. Postavke parametara za programsko sučelje koje očitava dijagnostičke pogreške na vozilu Ford Fusion.

Parametar	Vrijednost
Start Mode	81
Group of DTCs	All
DTC Mode	0

Vrijednost parametra *Start Mode* je u heksadecimalnom zapisu i ona inicira način rada dijagnostičke sesije koji služi za očitavanje i brisanje dijagnostičkih pogrešaka. Pod *Group of DTCs* odabrano je „All“ što znači da će se očitati svi DTC-ovi, dok je za *DTC Mode* odabrana vrijednost 0 jer u tom načinu rada ispisivaju se sve vrste dijagnostičkih pogrešaka. Računalo se ponovno uspješno povezano preko programskog sučelja na CAN sabirnicu, pokrenulo način rada dijagnostičke sesije za očitavanje DTC-ova te ih uspješno očitalo, što se vidi sa slike 5.24.



Slika 5.24. Programsko sučelje za očitavanje DTC-ova na vozilu Ford Fusion.

Indikator uspješnosti očitavanja (zelena žaruljica sa natpisom „Success?“) je upaljen što znači da su pogreške uspješno očitane iz memorije računala motora (ECU-a). Na vozilu nisu zabilježene nikakve dijagnostičke pogreške pa je zato broj očitanih DTC-ova nula. Indikator uspješnosti očitavanja upalio se u slučaju kad je motor vozila bio pokrenut i kada je bio dan samo kontakt.

Zaključak: Vozilo je potpuno kompatibilno sa uređajem NI USB-8473s i programskim sučeljem napravljenim u programskom paketu LabView 2011. Vrijednosti parametara za inicijalizaciju komunikacije se podudaraju sa onima iz normi 15765-2 i 15765-4. Spajanje na CAN sabirnicu vozila je uspješno izvedeno.

6. Zaključak

Povećanjem broja elektroničkih upravljačkih jedinica (ECU-a) u vozilu pojavljuje se potreba za njihovim povezivanjem radi razmjene podataka i zajedničkog djelovanja te se uvodi serijski komunikacijski protokol CAN koji omogućava razmjenu podataka sa svim podsustavima u vozilu i brzu međusobnu komunikaciju s ciljem povećanja sigurnosti i udobnosti vozila.

Posjedovanje uređaja poput onoga korištenog u radu skupa sa programskim paketom LabVIEW pruža teoretski neograničene mogućnosti (ovisi samo o programerskim sposobnostima korisnika) nadgledanja i zapisivanja radnih karakteristika vozila. Naknadno je moguće obraditi te grafički prikazati očitane podatke iz kojih se mogu dobiti dragocjene informacije o ekonomičnosti i performansama vozila.

Slučaj gdje se upali kontrolna žaruljica na instrument ploči vozila (MIL), ne znači nužno da je vozilo potrebno odvesti na servis. Vlasnik, ukoliko posjeduje osnovno znanje o auto-dijagnostici, zna da lako može nabaviti dijagnostički uređaj koji će očitati dijagnostičke kodove pogrešaka i pratiti radne vrijednosti motora. Tumačenje dijagnostičkih kodova pogrešaka dano je na samom uređaju, a ukoliko to nije slučaj relativno lako ga se pronađe. Ukoliko se radi o jednostavnom kvaru vlasnik ga može sam pokušati otkloniti. Time si je uštedio novac i vrijeme, a s druge strane ponešto i naučio. Cilj jednostavnih i jeftinih dijagnostičkih uređaja nije oduzimanje posla auto-servisima, jer su i vlasnici vozila i auto-servisi njihove mušterije.

Stupanj standardizacije koji je postignut do danas zaslužan je za uspješnost OBD sustava, a uvođenje CAN protokola kao jedinog dopuštenog na vozilima od 2008. godine uveden je jedinstveni „jezik“ komunikacije među elektroničkim komponentama vozila. Rezultat toga su jednostavnost komunikacije i visoka tolerancija na pogreške među elektroničkim upravljačkim jedinicama, što za posljedicu ima i razvoj dijagnostičkih uređaja sa naprednim mogućnostima dostupnim i normalnim korisnicima.

Cijena kompleta korištenog u izradi ovog završnog rada nije prihvatljiva normalnim korisnicima i nema smisla vršiti tolika ulaganja ako se ne misli „profesionalno“ iskoristiti mogućnosti uređaja. Za normalne korisnike željne boljeg upoznavanja sa svojim vozilom postoje uređaji po vrlo prihvatljivim cijenama te besplatni softveri koji idu uz njih, a pružaju dobre mogućnosti nadziranja rada vozila.

Povezivanje na CAN sabirnicu sa opremom korištenom u ovom završnom radu zahtjeva poznavanje **svih** vrijednosti parametara potrebnih za uspostavljanje komunikacije sa konkretnim vozilom. S obzirom da su takve informacije teško dostupne, način spajanja korišten u ovom radu može često dovesti do dileme oko uzroka neuspješnog povezivanja. Kod gotovih rješenja, potrebne informacije su pohranjene u samom dijagnostičkom uređaju pa to oslobađa korisnika ovakvih problema. S druge strane opet, gotova rješenja ne posjeduju mogućnosti programiranja korisničkog sučelja pa je na korisniku da izabere.

Literatura

- [1] Tracy Martin, How to use automotive diagnostic scanners, 2007.
- [2] Yu Zhu, CAN and FPGA Communication Engineering, Diplomica Verlag GmbH 2010.
- [3] D. Cope Enterprises, On-Board Diagnostics II (OBDII), Travanj 2004.
- [4] National Instruments, ADCS User Manual, 2009.
- [5] Rover Group Limited, European On-Board Diagnostics, 1999.
- [6] International Standard Organization, ISO 15765-2, 2004.
- [7] International Standard Organization, ISO 15765-4, 2004.
- [8] Robert Bosch GmbH, CAN Specification 2.0, 1991.
- [9] Steve Corrigan, Introduction to the Controller Area Network (CAN), Srpanj 2007.
- [10] Ante Vučetić, Diplomski rad, studeni 2010.
- [11] http://en.wikipedia.org/wiki/On-board_diagnostics
- [12] http://en.wikipedia.org/wiki/OBD-II_PIDs
- [13] http://www.aa1car.com/library/can_systems.htm
- [14] EPA, Effectiveness of On-Board Diagnostic I/M Testing, Rujan 2003.
- [15] Tristan Jones, Using LabVIEW for Automotive Communications and Diagnostics, 2010
- [16] Al Santini, OBD II: Functions, Monitors and Diagnostic Techniques, 2010.
- [17] Mahalec I., Lulić Z., Kozarac D.; Motori s unutarnjim izgaranjem, Zagreb 2010.