



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

Data logging vozu Formula Student

Logging data of Formula Student

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Libor Novotný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Daniel Zuth, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky
Student: **Libor Novotný**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Aplikovaná informatika a řízení
Vedoucí práce: **Ing. Daniel Zuth, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Data logging vozu Formula Student

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat popisem stávající jednotky ECU a dalaloggeru v projektu Formula Student a možného rozšíření jednotky pro záznam dat. Dále budou popsány použité snímače a akční prvky a jejich signály pro digitalizaci a následný záznam v čase.

Cíle bakalářské práce:

Popište stávající stav jednotky ECU.
Popište požadavky na nový systém a oblasti zlepšení plánovaného rozšíření.
Popište novou jednotku pro záznam dat.
Popište použité snímače a signály pro záznam dat.
Proveďte testovací záznam s exportem naměřených dat.

Seznam doporučené literatury:

NOVÁK, Petr. Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 8073001411.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá popisem principu senzorů použitých na monopostu Formule student. Dále je popsána řídicí jednotka a její přídatné moduly, nastíněno zlepšení monopostu v oblasti elektroniky a implementace dataloggeru Omega L2. Podrobněji popisuje důvod použití senzorů a aktuátorů na vozidle. Popis je doplněn ukázkou naměřených dat.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with description of sensors principle which are used in Formula student monopost. There are also descriptions of ECU, expanding units and improvement which can be done in electronics of the vehicle, also implementation of datalogger Omega L2. Reasons why are specific sensors and actuators used is described. The bachelor thesis also contains demonstration of logged data.

KLÍČOVÁ SLOVA

ECU, Liferacing, datalogging, senzory, aktuátory, Formula student

KEYWORDS

ECU, Liferacing, datalogging, sensors, actuators, Formula student

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NOVOTNÝ, L. *Data logging vozu Formula Student*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Daniel Zuth, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat především celé rodině a přítelkyni za trpělivost a podporu během celé doby studia. Dále bych chtěl poděkovat současným i bývalým členům TU Brno racing za předané zkušenosti a rady, obzvláště pak našemu fakultnímu zástupci Ing. Michalovi Janouškovi Ph.D., bez jehož rad bych se při stavbě monopostu neobešel. Chtěl bych poděkovat také mému vedoucímu Ing. Danielovi Zuthovi Ph.D. za věcné připomínky při psaní bakalářské práce. V neposlední řadě děkuji našim sponzorům, bez kterých by projekt Formula student nemohl existovat.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Daniela Zutha, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu literatury.

V Brně dne 23. 5. 2018

.....

Libor Novotný

OBSAH

1	ÚVOD.....	15
2	PRINCIP SENZORŮ POUŽITÝCH NA VOZIDLE	17
2.1	Tlakové	17
2.1.1	Pressure gauge	17
2.2	Teplotní.....	17
2.2.1	Termočlánek	17
2.2.2	Termistor	18
2.3	Snímače polohy	18
2.3.1	Indukční senzory.....	18
2.3.2	Hallovy snímače	18
2.3.3	Rotační potenciometry.....	18
2.3.4	Rotační magnetický enkodér	19
2.4	Lambda Sonda	19
2.5	MEMS snímače	19
2.5.1	MEMS Akcelerometry	20
2.5.2	MEMS Gyroskopy.....	20
3	DATA LOGGING FORMULA STUDENT	21
3.1	Formula student	21
3.2	TU Brno racing	22
3.2.1	ECU – Liferacing F88	23
3.2.2	Elektronická instalace.....	23
3.2.3	Upgrade stávajícího systému – Omega L2	25
3.3	Pinout ECU Liferacing F88.....	26
3.3.1	Pinout Expansion boxu Liferacing X10	27
3.3.2	Seznam použitých senzorů	27
3.4	Tlakové senzory.....	28
3.4.1	Tlak motorového a turbo oleje.....	29
3.4.2	Tlak v sání	29
3.4.3	Tlak za restriktorem.....	29
3.4.4	Tlak paliva	29
3.4.5	Brake pressure	29
3.5	Teplotní senzory	30
3.5.1	Teplota oleje motoru.....	30
3.5.2	Teplota chladící kapaliny.....	30
3.5.3	Teplota paliva	30
3.5.4	Teplota v sání.....	31
3.6	Lambda sonda.....	31
3.7	Poziční senzory.....	32
3.7.1	Actual gear position.....	32
3.7.2	Cam phase.....	33
3.7.3	Crank phase	33
3.7.4	Turbine speed sensor	33
3.7.5	Damper position	33
3.7.6	Throttle position senzor	33
3.7.7	Wheel speed.....	34
3.7.8	Steering wheel angle.....	34

3.8	Akcelerometry.....	35
3.9	GPS snímač.....	35
3.10	Propojení stávajícího systému s novým dataloggerem Omega L2	36
4	AKTUÁTORY	37
4.1	Vstřikovače	38
4.2	Zapalovací cívka	38
4.3	Shifting valve	38
4.4	Pneumatický válec	38
4.5	DRS valve	39
4.6	Ventilátor	39
4.7	Regulátor plnicího tlaku.....	39
5	ZÁVĚR.....	41
6	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	43
7	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	45

1 ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá popisem ECU, která je použita v monopostu Dragon 8. Dragon 8 je závodní monopost navrhnutý a sestavený studenty VUT v rámci celosvětového projektu Formula Student.

V první části se nachází stručný popis principu senzorů, které jsou použity přímo na Dragonu 8. Jedná se o popisy teplotních a tlakových senzorů, dále jsou rozebrány snímače polohy, MEMS akcelerometr a gyroskop, na závěr kapitoly je popsána lambda sonda.

Druhá část začíná stručným shrnutím soutěže Formula student, popisem týmu TU Brno racing, který se této soutěže účastní osmým rokem, a následným popisem monopostu. Následuje popis řídicí jednotky Liferacing F88, její zapojení a postup při návrhu kabeláže a její výroby. Navazuje se výčtem senzorů, které jsou přítomny na vozidle. Popisuje se upgrade v rámci elektroniky, cílem bylo použít nový datalogger Cosworth Omega L2 místo stávající Expansion boxu X10 od firmy Liferacing. Poté jsou popsány konkrétní senzory použité na monopostu. U senzorů, kde je výstup „zajímavý“ jsou přiloženy naměřená data. V závěru této kapitoly jsou zobrazeny data z nového dataloggeru a demonstruje se tak funkční propojení dataloggeru s ECU.

Třetí část je popisem aktuátorů. Jsou zde obsaženy standartní aktuátory jako cívka, vstříkovače, ventilátor a wastegate aktuátor, tak i ty méně časté u běžných automobilů jako je řadící ventil a válec nebo systém DRS, který se používá například ve Formuli 1.

2 PRINCIP SENZORŮ POUŽITÝCH NA VOZIDLE

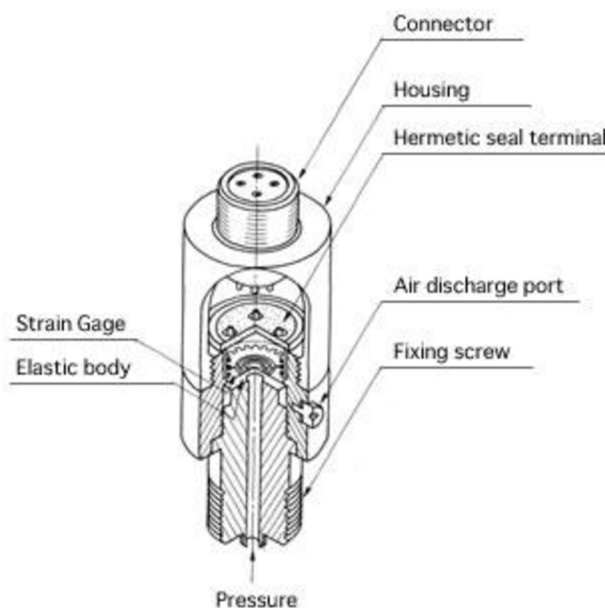
2.1 Tlakové

2.1.1 Pressure gauge

„Tenzometrické“ snímače tlaku využívají změny tvaru pružné membrány. Deformace je měřena tenzometrem a následně převedena na elektrické napětí. Deformace probíhá vůči prostředí s referenčním tlakem, jedině tak můžeme přesně měřit tlak, který působí z druhé strany na membránu. Tyto tlakové sensory většinou obsahují v těle elektroniku včetně zesilovače signálu.

Snímače můžeme podle typu měřeného tlaku dělit na:

- Absolutní – referenčním tlakem je vakuum
- Relativní – referenčním tlakem je známý tlak, který je dán výrobcem
- Diferenční – referenčním tlakem je aktuální atmosférický tlak



Obrázek 1 – popis snímače tlaku [5]

2.2 Teplotní

2.2.1 Termočlánek

Termočlánky jsou snímače teploty, které využívají termoelektrického jevu. Termoelektrický jev vzniká tam, kde jsou spojeny vodiče dvou různých kovů do uzavřeného obvodu. V praxi se setkáváme s pojmy studený a teplý spoj měření. Pokud mají tyto spoje rozdílnou teplotu, vzniká na spojích rozdílný elektrický potenciál.

2.2.2 Termistor

Termistor je polovodičová elektrická součástka, u které je její odpor závislý na teplotě. Podle teplotní závislosti rozlišuje NTC a PTC termistory. U NTC termistorů, elektrický odpor se zvyšující se teplotou klesá, u PTC naopak. Nevýhodou je velice nelineární charakteristika.

2.3 Snímače polohy

2.3.1 Indukční senzory

Když se snímaný kovový (elektricky vodivý) předmět pohybuje kolem senzoru, cívka umístěná v těle senzoru indukuje napětí. Indukční senzory jsou bezkontaktní senzory polohy, ve výsledku tak tyto senzory najdeme tam, kde jiné, než bezkontaktní měření nejde aplikovat. Příkladem aplikací může být například poloha klikové hřídele.

2.3.2 Hallový snímač

Napájená polovodičová součástka, která reaguje na změnu magnetického pole. Magnetické pole způsobuje magnetický tok, vyvolá přesun náboje na opačné strany polovodiče, výsledkem je pak rozdílný elektrický potenciál na opačných stranách polovodiče. Výstupem je typicky velmi nízké napětí v mV, proto bývá součástí senzoru elektronika, která signál zesiluje.

Výstupní signál má podobu čtvercového signálu a hodnoty 5/12 V, dle výrobce. O tuto podobu signálu se stará Schmittův klopný obvod. Amplituda signálu zůstává konstantní, frekvence se mění úměrně otáčkám.

2.3.3 Rotační potenciometry

Rotační potenciometry jsou jednoduché snímače, které mění svůj odpor v závislosti natočení hřídelky, která je přímo spojena s otáčející se součástí.

2.3.4 Rotační magnetický enkodér

Rotační magnetický enkodér se skládá ze 3 částí, ze samotného senzoru, pomocného elektrického obvodu a rotačního disku. Po obvodu disku je pevný počet magnetických pólů. V závislosti na tom, jak se disk otáčí, senzor detekuje změnu magnetického pole, které konvertuje na napěťový výstup. Elektrický obvod, který je součástí senzoru signál upravuje dle typu provedení, výrobce atd. Citlivost enkodéru je dáno počtem magnetických pólů po obvodu disku.



Obrázek 2 – rotační magnetický enkodér Contelec [6]

2.4 Lambda Sonda

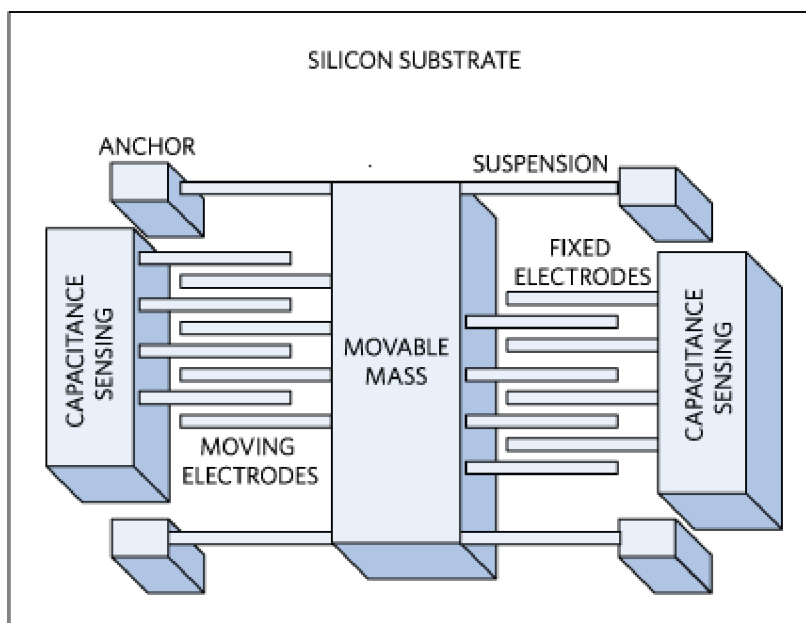
Lambda sonda je kyslíkový snímač, který měří zbylý kyslík ve výfukových plynech, a tak kontroluje ideální množství spálené směsi. Pokud je směs bohatá $\lambda < 1$ a naopak. Jak už funkce napovídá lambda sonda se nachází ve výfukovém systému. Samotná konstrukce snímače musí zajistit, že odolá tomuto prostředí.

2.5 MEMS snímače

Zkratka MEMS znamená Micro Electro Mechanical Systems jsou snímače velice malých rozměrů. Tyto součástky jsou vyráběny v podobě mikročipů s pohyblivými součástmi. Následný popis odpovídá kapacitnímu provedení snímače. Princip spočívá ve změně kapacit mezi elektrodami. Ke změně kapacity dochází při pohybu senzoru, kdy se jeho pohyblivá část s elektrodami, nazývaná také seismická hmota, hýbe vůči pevně uloženým elektrodám. Výsledná změna kapacity je pak úměrná rychlosti pohybu.

2.5.1 MEMS Akcelerometry

MEMS akcelerometry měří zrychlení podle typu konstrukce až ve 3 osách.



Obrázek 3 – konstrukce MEMS akcelerometru [7]

2.5.2 MEMS Gyroskopy

Gyroskopy jsou snímače, které měří pohyb, konkrétně jde o měření úhlové rychlosti. Rotace je měřena ve 3 směrech, takzvané Roll, Pitch, Yaw. Obdobně jako u akcelerometrů se zde setkáváme s MEMS technologií, gyroskopy využívají ke své činnosti Coriolisovu sílu.

3 DATA LOGGING FORMULA STUDENT

3.1 Formula student

Formula student je inženýrská soutěž ve které univerzitní týmy navrhují, vyrábějí a testují monopost formulového typu. Každá soutěž, ať už v Německu nebo v Maďarsku, má stejná pravidla. Celkový počet bodů, které tým může získat je rozdělen do několika disciplín, statických a dynamických. Následující řádky shrnují cíle jednotlivých disciplín. V závorkách je vždy uveden maximální počet bodů, které lze za disciplínu získat [8]. Pro co nejlepší celkové umístění je nutno pokud možno neztratit příliš mnoho bodů v žádné z disciplín. Na stupních vítězů jednotlivé týmy většinou dělí pár bodů.

- **Statické disciplíny**
 - **Marketingový plán – 75 pts**
před fiktivními investory se obhájí plán sériové výroby vozu
 - **Analýza nákladů – 100 pts**
hodnotí se správné nacenění a vhodnost výrobního procesu jednotlivých dílů
 - **Konstrukční návrh – 150 pts**
cílem této disciplíny je hodnotit konstrukční řešení automobilu
- **Dynamické disciplíny**
 - **Akcelerace – 75 pts**
hodnotí se zrychlení vozu na trati dlouhé 75 m
 - **Skid Pad – 75 pts**
jízda na trati ve tvaru čísla 8
 - **Autocross – 100 pts**
hodnotí se čas na velice technické trati, výsledný čas je brán jako kvalifikace do Endurance
 - **Endurance – 325 pts**
vytrvalostní závod na 22 km, v polovině závodu je nutná výměna řidičů
 - **Efficiency – 100 pts**
mezi dynamické disciplíny se počítá i spotřeba paliva

3.2 TU Brno racing

TU Brno racing je studentský tým reprezentující Vysoké učení technické v Brně. Naši pohonnou jednotkou je přeplňovaný jednoválec. Vycházíme z motoru Husqvarna 501 FE, díky přeplňování jsme dokázali zvýšit výkon motoru téměř o polovinu. V sezoně 2016 - 2017 jsme se dokázali na všech závodech umístit v předních pozicích, a tak se náš tým v průběhu sezony dostal na 5. místo světového žebříčku.



Obrázek 4 – monopost Dragon 7 [9]

3.2.1 ECU – Liferacing F88

Vůz je vybaven řídicí jednotkou Liferacing F88. Jednotka je využívána pro řízení motoru i záznam dat.

Tabulka 1 – parametry ECU [10]

	LifeRacing F88
Analogové vstupy	24 + 6
Digitální vstupy	0
Výstupy	28
Konektor	88 Way Bosch / AMP sealed connector
Hmotnost [g]	485

3.2.2 Elektronická instalace

Elektronická instalace se skládá z 250 metrů kabelů. Jedná se o kabely SPEC 44, které se nabízí v mnoha modifikacích (stíněné opláštění, dvoulinka, trojlinka atd.). Vodič je používán pro motorsport a military aplikace. Vodiče typu 44 mají vynikající mechanické vlastnosti, jsou teplotně odolné v rozmezí $-65\text{ °C} \div 150\text{ °C}$, mají dvouvrstvou, tenkostěnnou izolaci (polyalken + PVDF), která je odolná vůči mechanickému poškození a provozním kapalinám automobilu, tyto kabely jsou taktéž samozhášivé. Oproti klasickým kabelům s izolací z PVC a PTFE mají menší průměr izolace, tím pádem dochází i k úspoře hmotnosti o jednu třetinu oproti PTFE izolaci [11].

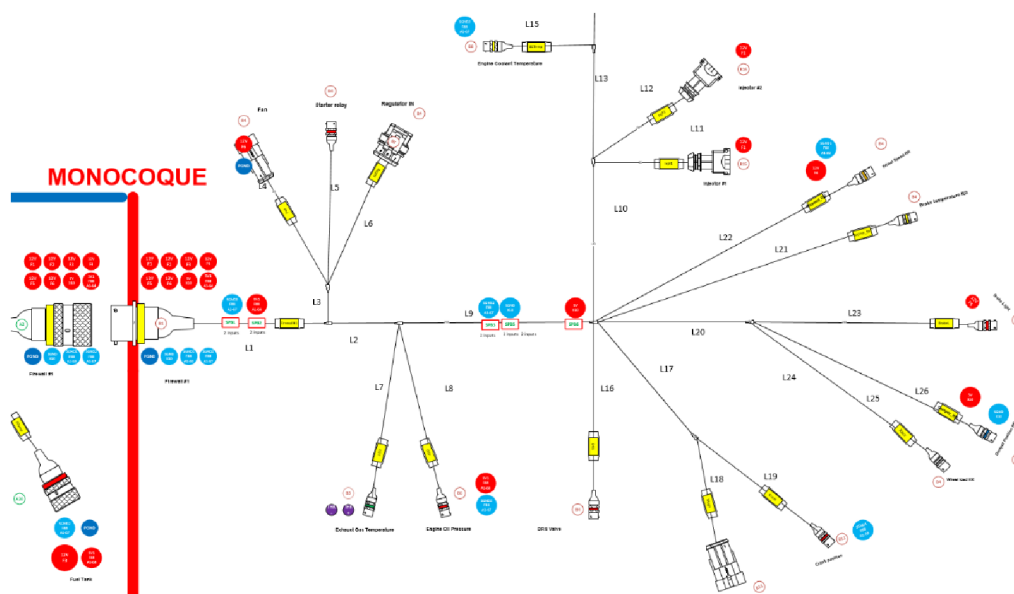


Obrázek 5 – detail kabeláže

Kabely jsou dodatečně ošetřeny proti mechanickému poškození pomocí smršťovací bužírky Raychem Boot DR-25, která je stejně tak jako samotné kabely odolná vůči provozním kapalinám [12].

Drtivá většina konektorů, které jsou použity jsou Deutsch connectors. Tyto konektory jsou používány v autosport a military aplikacích. Vynikají velice malými rozměry a nízkou hmotností. Mezi další přednosti těchto konektorů patří soustružené kontakty, které jsou vyráběny i na malé průřezy kabelů. Kontakty se lisují pomocí krimpovacích kleští DMC, na kterých jde nastavit hloubka i síla stisku. Nedochozí tak k „přelisování“ kontaktu a kabely se v soustružených kontaktech na rozdíl od lisovaných neulamují. Některé konektory musí být OEM, například konektor klapky, turbíny speed senzoru, či pro vstříkovače od firmy BOSCH, protože se konektor nachází přímo na těle těchto zařízení.

Veškerou kabeláž použitou na vozidle jsem navrhoval sám za použití softwaru Microsoft Visio. Výroba kabeláže je taktéž moje práce.



Obrázek 6 – návrh kabeláže v MS Visio

3.2.3 Upgrade stávajícího systému – Omega L2

Z důvodu nedostatku analogových vstupů pro účely měření například teplot pneumatik, či účinností a tlakových ztrát vodního a olejové chladiče bylo za potřeby zvýšení počtu analogových vstupů. V plánu bylo vyměnit stávající Expansion box X10 za datalogger Omega L2. V průběhu zimní návrhové části se však ukázal Expansion box jako nepostradatelný, z důvodu dalších požadavků na analogové vstupy. V současnosti je do Expansion boxu zapojeno 5 senzorů a 4 vstupy z volantu. Další 1 vstup zůstává nezapojen.

Datalogger i Expansion box komunikuje pomocí CAN sběrnice s řídicí jednotkou, což umožňuje zobrazení všech kanálů, které je schopna zobrazit řídicí jednotka.

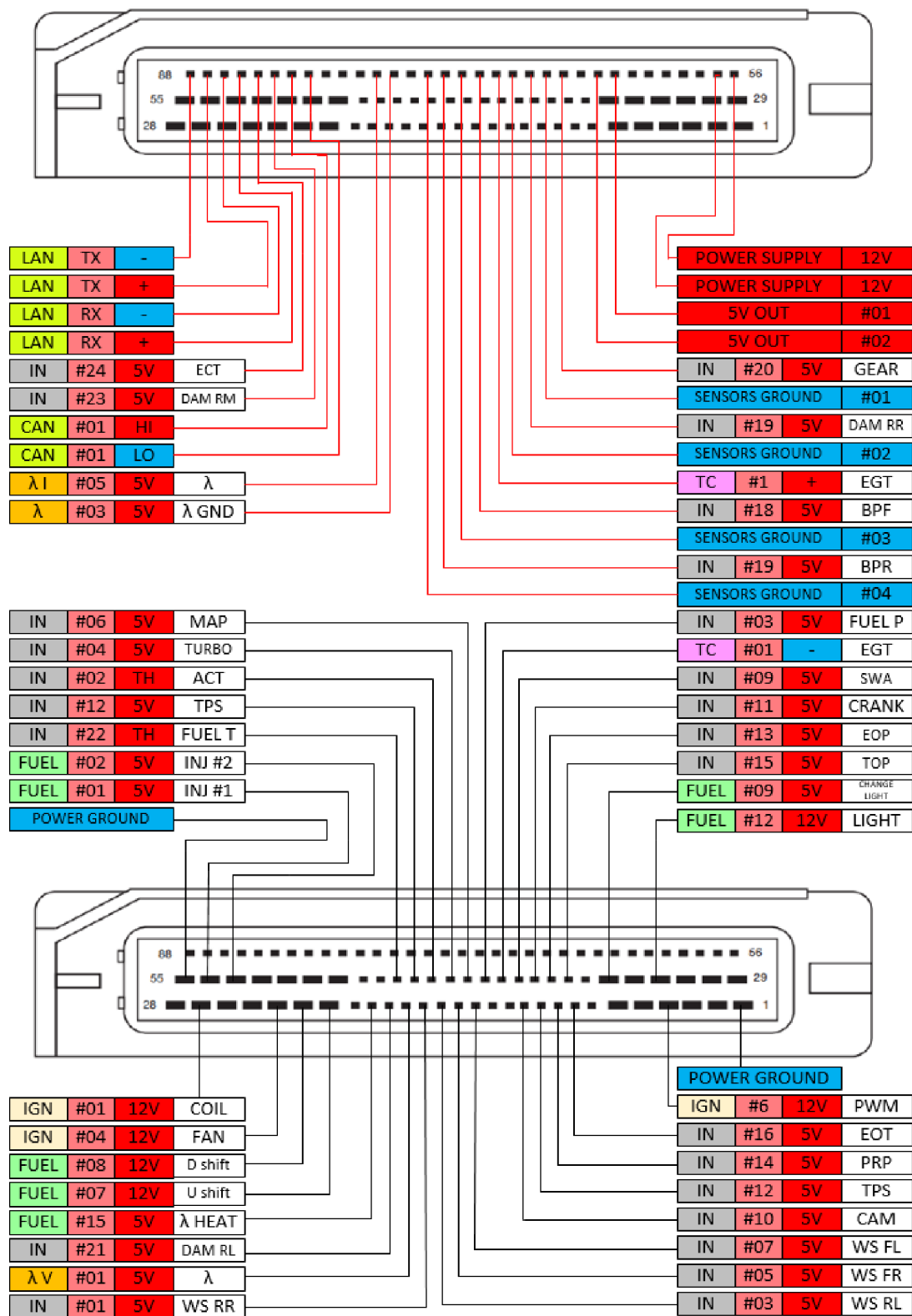
Tabulka 2 – porovnání parametrů Omega L2 a X10 [13][14]

	Omega L2	X10
Analogové vstupy	16	10
Digitální vstupy	6	-
Výstupy	-	10
Konektor	AS214-35PA + AS214-35PN	35 Way AMP sealed connector
Hmotnost [g]	269	360



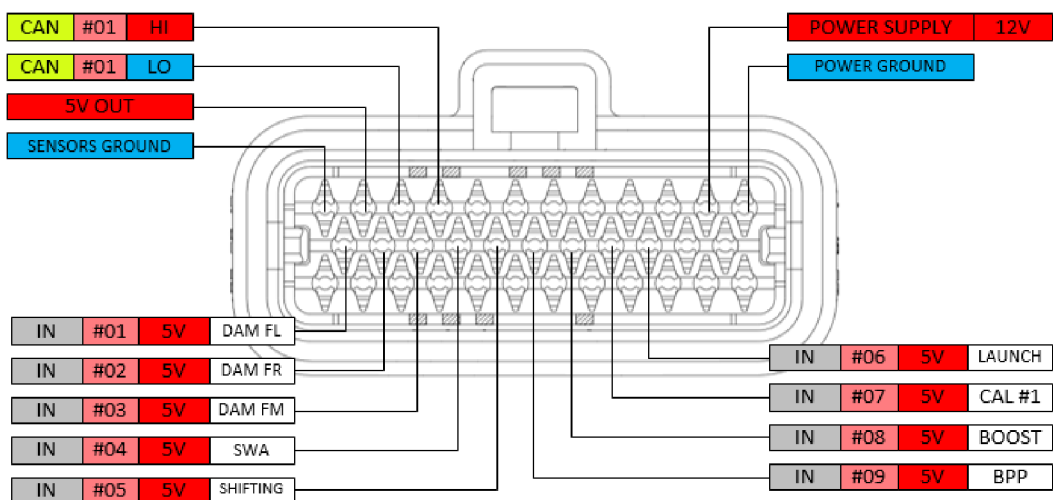
Obrázek 7 – zleva ECU Liferacing F88, datalogger Coswort Omega L2, Expansion box Liferacing X10, v popředí chassis modul Liferacing GPS-AG50

3.3 Pinout ECU Liferacing F88



Obrázek 8 – pinout ECU

3.3.1 Pinout Expansion boxu Liferacing X10



Obrázek 9 – pinout Expansion boxu X10

3.3.2 Seznam použitých senzorů

V následující tabulce jsou zobrazeny použité senzory. Žlutou barvou jsou zobrazeny teplotní senzory, červenou barvou jsou zobrazeny tlakové senzory, modrou barvou pak poziční senzory, bílou barvou mají senzory, které nejsou jednoduše kategorizovatelné. V zeleném rámečku jsou pak uvedeny senzory určené pro vehicle dynamics, k činnosti motoru tak nejsou potřeba.


Tabulka 3 – seznam použitých senzorů

Engine oil temperature	Engine oil pressure	Turbine speed	GPS	λ sensor
Engine coolant temperature	Turbine oil pressure	Throttle position	Gyroscope	
Engine gas temperature	Manifold absolute pressure	Cam phase	Akcelerometer	
Fuel temperature	Fuel pressure	Crank position		
Air charge temperature	Post restrictor pressure	Actual gear position	Wheel speed (4x)	
	Brake Fluid pressure (2x)	Damper position (6x)	Steering wheel angle	

3.4 Tlakové senzory

Tlakové senzory jsou použity od firmy KA Sensors. Jedná se o senzory řady „ASL“. Tyto senzory mají velké pracovní rozsahy od 1 do 400 bar. Napájeny jsou 5 V DC. Výstup je pak v rozsahu 0,5 – 4,5 V. Důležitá je i velice nízká odchylka od linearitu, která bývá +/- 0.125 %. Dále je velkou výhodou, že mají volitelný typ závitu. V našem případě jde především o palcový kuželový závit typu NPT nebo palcový závit UNF [15]. Tyto závity jsou voleny, protože používáme fittings od firmy Goodridge, které mají právě tyto závity.

Každý tlakový senzor je vybaven individuálním kalibračním listem, v kterém vidíme přesný „Zero offset“. V přiloženého obrázku je „Zero offset“ stejný jako udává datasheet.



Calibration of Pressure Transducer

Date:	20 February 2017	Calibration data	
Transducer type:	ASL-S1002-4A2-ABV-050-000	Serial number:	422139
Pressure range:	0 to 10 Bar SG	Zero offset V:	0.500
Supply voltage:	5Vdc	Span V:	4.000
Output (P):	0.5 to 4.5V	Non-linearity % FS:	-0.125
Pressure fitting:	1/8" NPT		
		Electrical Connection:	+ Supply Red
Output (T):		50cm 26AWG FEP	0V/common Blue
		Insulated Screened	+ Output (P) Yellow
Calibration units (P):	Bar	Cable	Output (T)
Calibration units (T):			Output (T)
Calibrated by:	AT		
(P) = Pressure. (T) = Temperature			
KA Sensors hereby certifies that the above item has been inspected, tested and calibrated in all respects with the customer's order.			
www.kasensors.com		TEL: UK +44 (0) 1476 568057	TEL: USA (203) 792 8686

Obrázek 10 – kalibrační list tlakového senzoru

3.4.1 Tlak motorového a turbo oleje

Olej se používá jak pro mazání motoru, tak pro mazání turbodmychadla. Instalací turbodmychadla se extrémně zvýšilo zatížení celého motoru, a tak se často stává, že olej uniká. Je proto zcela nezbytné, aby vždy nejméně jedna osoba sledovala telemetrická data z vozidla a v případě náhlého poklesu tlaku oleje vozidlo ihned zastavila, aby nedošlo k zadření motoru, či turbodmychadla. Může nastat také opačný problém, kdy je tlak příliš velký, to může indikovat například překážku v olejovém okruhu.

Rozsah: 0–10 bar

Výstup: 0,5-4,5 V

3.4.2 Tlak v sání

Tím, že používáme přeplňovaný motor je tlak v sání jeden z klíčových senzorů pro určení zatížení motoru, a tak se používá pro okamžitou regulaci množství vstříknutého paliva, měří se v airboxu.

Rozsah: 0,2–5 bar

Výstup: 0,5-4,5 V

3.4.3 Tlak za restriktorem

Tlak snímáný na konci restriktoru u vstupu do turbodmychadla. Jeden z mnoha „drobných“ korekčních senzorů určených také k regulaci množství vstříknutého paliva.

Rozsah: 0–3 bar

Výstup: 0,5-4,5 V

3.4.4 Tlak paliva

Tlak paliva je snímáný v palivové nádrži za regulátorem tlaku paliva. Tlak paliva je nutné kontrolovat z důvodu rozdílného plnicího tlaku turbodmychadla. Tím, že turbodmychadlo plní motor vyšším, než atmosférickým tlakem je nutno tento rozdíl tlaku přičíst ke standardnímu tlaku palivové pumpy, který je 3 bary.

Rozsah: 0–10 bar

Výstup: 0,5-4,5 V

3.4.5 Brake pressure

Tlak v brzdových hadicích, snímán pro přední i zadní brzdový okruh. Důležitý údaj pro nastavení jízdních vlastností vozidla.

Rozsah: 0–200 bar

Výstup: 0,5-4,5 V

3.5 Teplotní senzory

Pro teplotu oleje motoru, chladicí kapaliny a teploty paliva se používá stejný typ termistoru. Tyto termistory jsou vybrány z důvodu téměř lineární charakteristiky v rozsahu námi měřených teplot. Není pro nás ani tak důležitá časová konstanta, ale relativní přesnost senzoru.

Tabulka 3 – parametry termistoru [16]

Typ termistoru	NTC
Odpor při 25 °C	3 kΩ
Časová konstanta	15 s
Přesnost	1 %

Pro měření teploty v sání se používá jiný termistor, který rozeberu níže.

3.5.1 Teplota oleje motoru

Teplota oleje je měřena v místě výpustného šroubu oleje. Originální šroub je vyměněn za šroub s navrtanou hlavou, v které je umístěn termistor.

Správná teplota je nutná pro správné mazací vlastnosti oleje. Je dobré nezatěžovat motor tzv. studenými starty, kdy je teplota oleje příliš nízká a motor podává vysoký výkon. Proto motor vždy nejdříve nastartuje a čekáme, až se teplota oleje dostane zhruba k 90 °C, až pak je vhodné provozovat motor na plné zatížení.

U přeplňovaného jednoválce se může teplota oleje v letních měsících vyšplhat i k 130 °C, což je velice kritická teplota. V takových situacích nastává odstávka vozidla.

3.5.2 Teplota chladicí kapaliny

Chladicí médium pro motor i turbodmychadlo je destilovaná voda. Teplota chladicí kapaliny se měří v hlavě válce, v místě, kde se nachází jeden z chladících kanálků.

3.5.3 Teplota paliva

Používané palivo je E85, které má podíl ethanolu 85 %. Ethanol má teplotu varu 78,3 °C [17]. Je tedy naprosto nezbytné kontrolovat teplotu paliva a držet jí pod uvedenou hodnotou. Teplota paliva je navíc používána i pro regulaci vstříknutého objemu paliva.

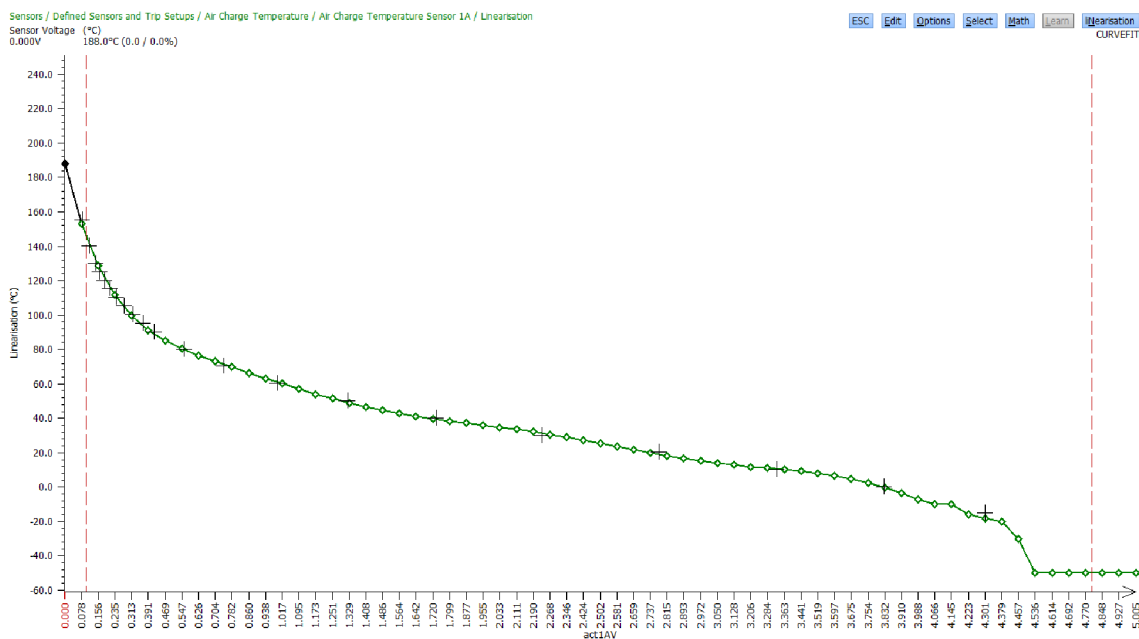
3.5.4 Teplota v sání

Teplota v sání se měří v airboxu. Měří se tedy až v místě, kdy stlačený vzduch turbodmychadlem projde přes škrtící klapku a intercooler. Používá se pro okamžitou korekci vstříknutého paliva, proto je nezbytná rychlá odezva senzoru.

Tabulka 4 – parametry senzoru teploty v sání [18]

Typ termistoru	NTC
Odpor při 25 °C	100 kΩ
Časová konstanta	200 ms
Přesnost při 25 °C	+/- 0,2 °C

Následující obrázek ukazuje linearizaci senzoru teploty v sání. Stejně jako tento senzor kalibrujeme i všechny ostatní na základě údajů od výrobce, na ukázkou byl však vybrán tento termistor z důvodu demonstrace nelineárního průběhu. Můžeme vidět několik křížků, které odpovídají hodnotám v datasheetu a následnou linearizaci, kterou provádí řídicí jednotka.



Obrázek 11 – linearizace senzoru teploty v sání

3.6 Lambda sonda

Lambda sonda je primárním regulátorem paliva, ovlivňuje jeho množství více než MAP senzor. Její správná funkce je tak naprosto nezbytná.

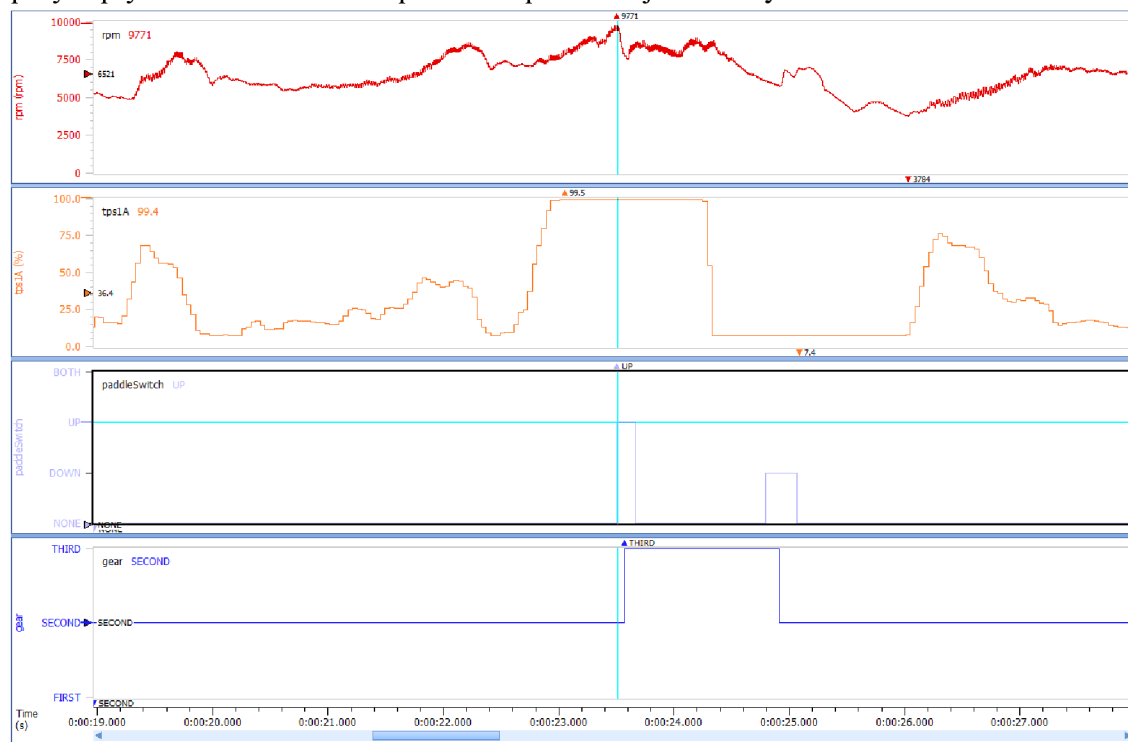
3.7 Poziční senzory

Poziční senzory na vozidle by se dali rozdělit do více kategorií (viz. první část), v následujících řádcích je však všechny shrnu do jedné kategorie ať už se jedná o rotační potenciometry nebo například indukční snímače.

3.7.1 Actual gear position

Snímač aktuálně zařazeného stupně je rotační magnetický enkodér, který je umístěn na řadicím bubínku, jeho druhá část je pak upevněna na blok motoru. Pokud se nepodaří zařadit na první pokus, senzor udává pořád stejnou, či jen nepatrnou změnu napětí, která je v úspěšném případě skoková. ECU tak dá znova impuls na přeřazení až do té doby, dokud není úspěšně zařazeno.

Na přiloženém výstupu můžeme vidět 4 údaje: RPM, TPS, paddleSwitch, GEAR. Ve 3. grafu vidíme vstup tlačítka z volantu, který říká ECU, aby přeřadila na vyšší rychlostní stupeň. Ve 4. grafu vidíme že za určitou dobu (zde méně než 0,1 ms), motor úspěšně zařadil na vyšší rychlostní stupeň. V prvních dvou grafech pak vidíme, že řidič řadil pod plným plynem. V závislosti na přeřazení pak klesající otáčky motoru.



Obrázek 12 – výstup senzoru – Actual Gear Position

3.7.2 Cam phase

Senzor polohy vačkové hřídele je umístěn na ventilovém krytu. Snímá rychlost otáčení čepu dekompresoru.

Poloha vačkové hřídele se synchronizuje s polohou klikové hřídele a je tak naprosto nutné, aby tento senzor fungoval. Bez jeho správného fungování nebo nesynchronizování s polohou klikové hřídele není ECU schopna určit okamžik zapálení směsi.

3.7.3 Crank phase

Senzor klikové hřídele se nachází na krytu alternátoru. Snímá rotaci ozubeného kola, které je umístěno na alternátoru.

Tento senzor je jeden z kritických viz. synchronizování polohy vačkové a klikové hřídele.

3.7.4 Turbine speed sensor

Turbine speed senzor snímá rychlost otáčení kompresorového kola turbodmychadla, je tedy umístěn v kompresorovém housingu. Tento senzor obsahuje i elektroniku, která signál už upravuje tak, aby se dal rozumně přijímat. Turbodmychadlo se točí v tisících kRPM a tak pokud by byl senzor připojen přímo ke sběrnici, zbytečně by ji tak zatěžoval.

Je nutné sledovat rychlost otáčení turbodmychadla, protože když se turbodmychadlo dostane nad svoje limitní otáčky, může dojít k jeho nenávratnému poškození,

3.7.5 Damper position

Damper position, který na voze D7 byl realizován pomocí lineárního potenciometru, který byl připevněn k tlumiči, a tak měřil jeho zdvih. Toto řešení se ukázalo jako nevhodné, neboť se u potenciometrů vždy vylomil uniball, za který byl sensor upevněn. Nejistilo se, zda k tomuto poškození docházelo díky nadměrnému zatížení nebo špatnému dílenskému provedení. Za podmínek, ve kterých byl provozován, to mohla být kombinace obojího. Na současném voze D8 je damper position řešen kruhovým potenciometrem, který je umístěn přímo ve vahadle.

3.7.6 Throttle position sensor

Senzor snímá natočení škrtkové klapky. Protože používáme přeplňovaný motor, tak je tento senzor spíše informativní a používá se tak hlavně pro správné nastavení škrtkové klapky při nastartování vozidla.

3.7.7 Wheel speed

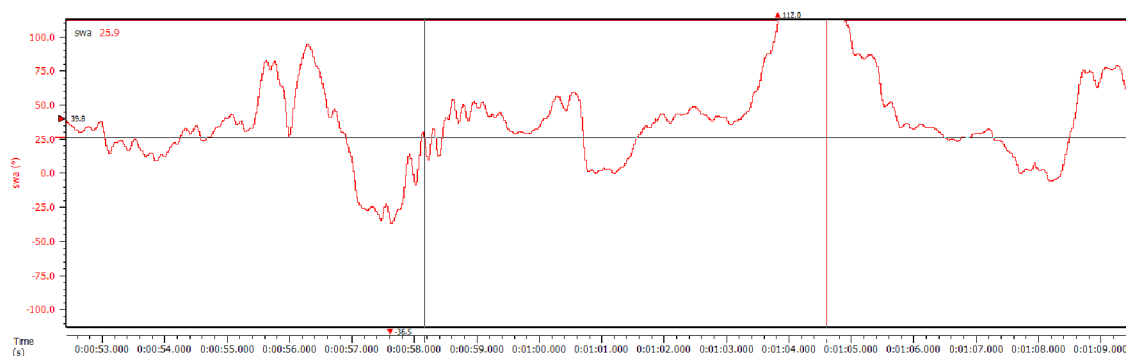
Senzor, který snímá rychlost otáčení kol. Realizován indukčním snímačem, který je usazen v těhlíci vozu. Je nasměrován na náboj, v kterém jsou po celém obvodu díry a snímá tak změnu magnetického pole.

Tento senzor je důležitý z hlediska kontroly trakce v disciplíně akcelerace. V drtivé většině se ale jedná o důležitý údaj pro nastavení jízdních vlastností vozidla. Při brždění může například sledovat jakou rychlostí se otáčí kola a podle toho tak nastavit brake balance. Při akceleraci pak v porovnání s TPS můžeme sledovat chování diferenciálu.

3.7.8 Steering wheel angle

Rotační magnetický enkodér umístěný ve sloupku řízení. Opět senzor, který se využívá k nastavení podvozku vozidla.

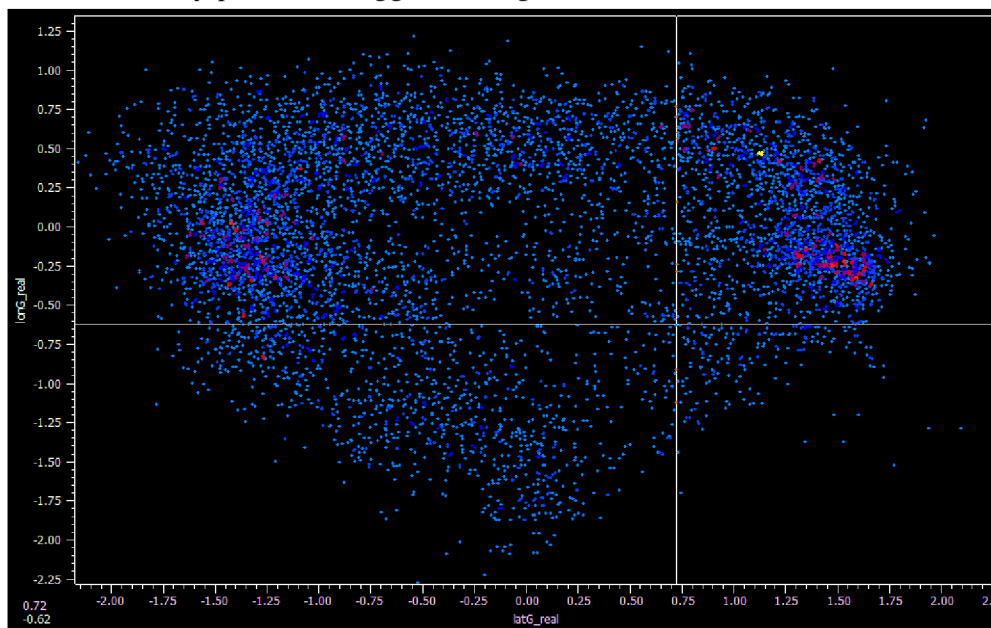
V přiloženém grafu vidíme 2 situace, kdy se vozidlo nechová optimálně, pro popsání výstupu tohoto senzoru se však jedná o ideální situaci. Na černém záměrném kříži vidíme, že řidič musel několikrát konrovat řízení při výjezdu ze zatáčky, vozidlo zde bylo přetáčivé. Na červeném záměrném kříži pak vidíme, že volant je dlouho dobu na svém „dorazu“, toto chování jasně indikuje nedotáčivost vozidla v průjezdu zatáčkou.



Obrázek 13 – výstup senzoru – Steering wheel angle

3.8 Akcelerometry

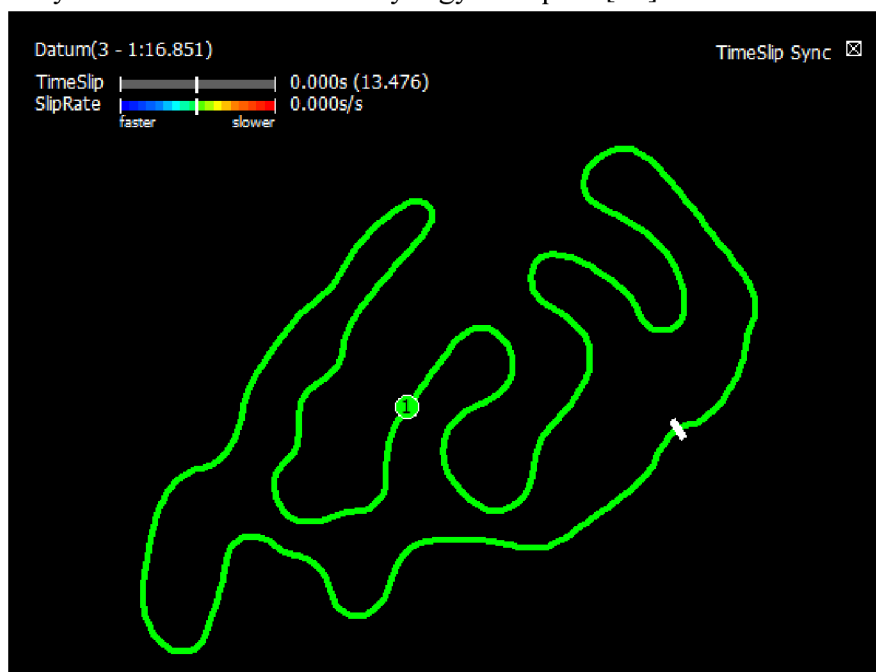
Vozidlo využívá 2 akcelerometrů, jeden je umístěn v Chassis modulu, umístěného ve středu vozidla, druhý pak v dataloggeru Omega L2.



Obrázek 14 – výstup z akcelerometrů

3.9 GPS snímač

Námi použitý GPS senzor je opět od firmy LifeRacing, typ GPS-AG50, který je umístěn pod sedačkou v pomyslném středu vozidla. Kromě aktuální pozice vozu je senzor vybaven 3 osým akcelerometrem a 3 osým gyroskopem [19].

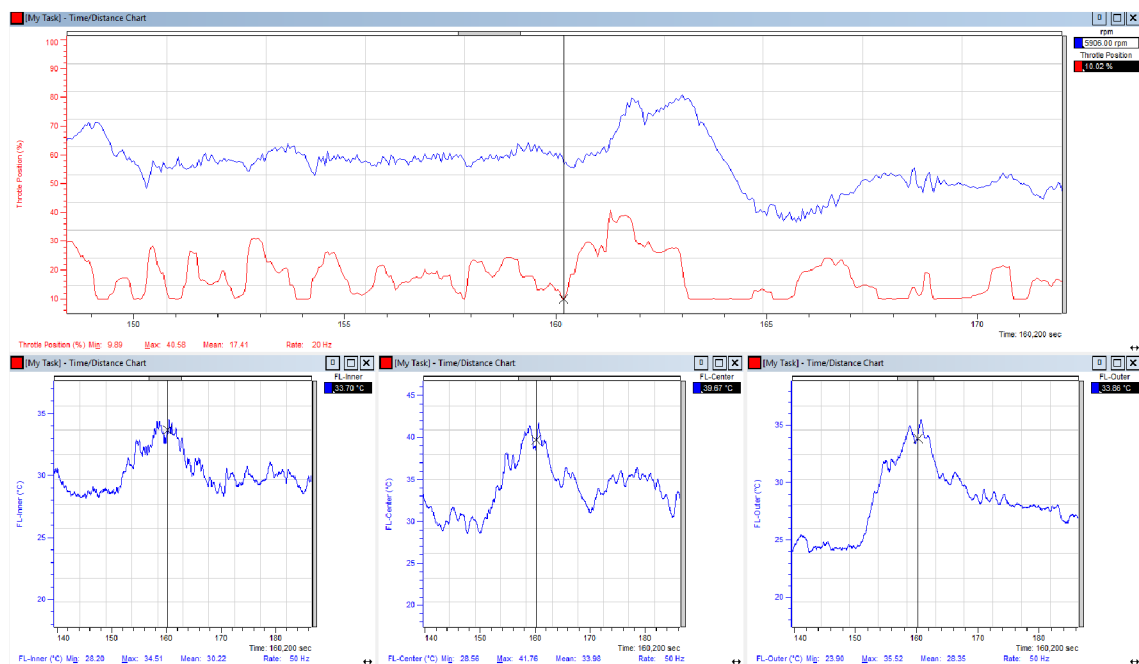


Obrázek 15 – výstup GPS snímače, zde konkrétně trať z FSG

3.10 Propojení stávajícího systému s novým dataloggerem Omega L2

Cílem bylo propojit stávající systém s novým dataloggerem. Toho bylo úspěšně dosaženo. Oba systémy spolu komunikují po CAN sběrnici, a tak je pouze na uživateli, které kanály bude posílat do dataloggeru.

V ukázce jsou zobrazeny data z testování v Drnholci, kde může vidět 4 grafy. V horní polovině vidíme graf RPM (modrá) a TPS (červená). V dolní polovině pak vidíme 3 grafy teplot předního levého kola. Jde o teploty naměřené na vnitřku, uprostřed a na kraji kola. Tyto hodnoty se logují přímo do dataloggeru. RPM a TPS je pak pomocí CAN sběrnici posláno z řídicí jednotky.

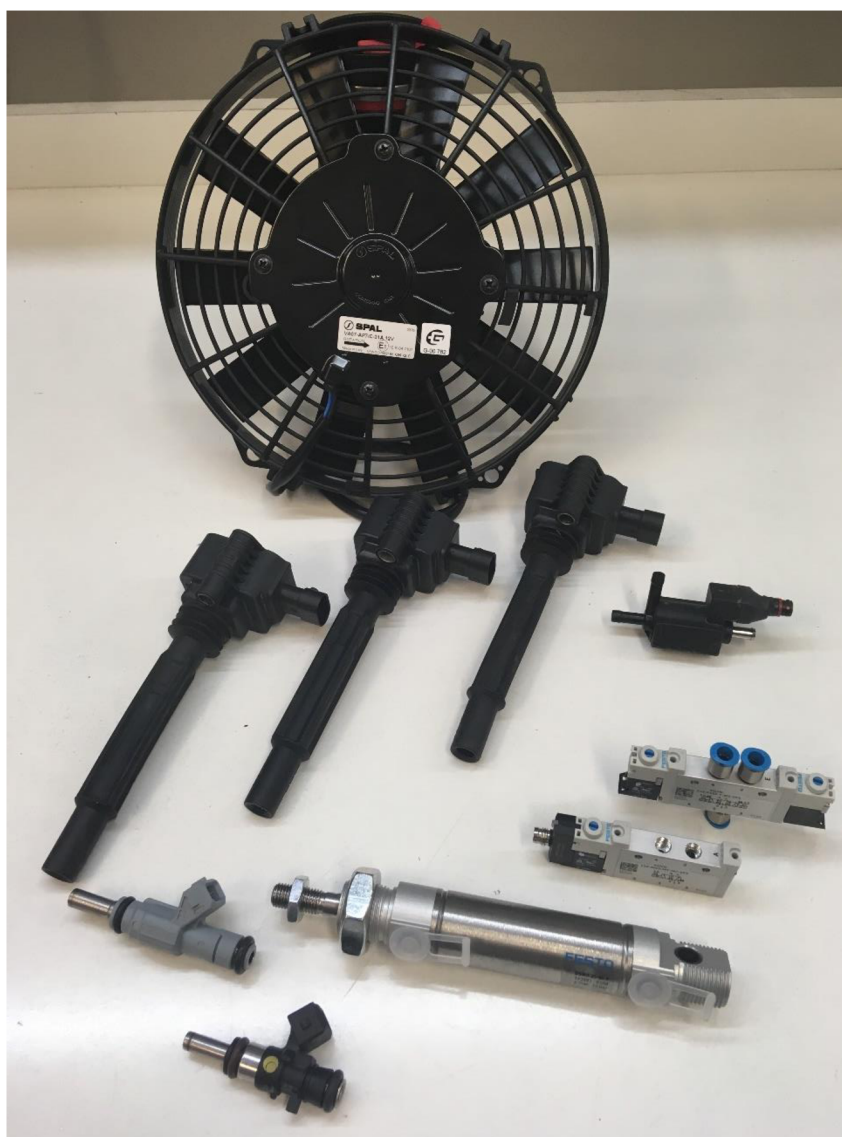


Obrázek 16 – ukázka dat naměřených dataloggerem Omega L2

4 AKTUÁTORY

V této kapitole budou popsány použité aktuátory na vozidle. Účel, za jakým je použita zapalovací cívka, vstřikovače apod. je zcela jasný, a tak se jejich popisu budu věnovat méně než prvkům, které si zaslouží delší popis.

Všechny prvky se řídí pomocí definovaných strategií v ECU. U složitějších prvků jako jsou vstřikovače, cívka a regulátor plnicího tlaku jde o 3D mapy, které obsahují různé snímané veličiny, podle kterých se řídí činnosti aktuátorů. Pro řízení činnosti ventilátoru, řadicího a DRS ventilů je využíváno spínacích hodnot. Jde například o dosažení určité teploty chladící kapaliny, či zmáčknutí spínače řazení.



Obrázek 17 – aktuátory

4.1 Vstříkovače

Pouze jediný vstříkovač by nestačil z důvodu menšího stechiometrického poměru, které má palivo E85. E85 má stechiometrický poměr 9,8:1, zatímco benzín má stechiometrický poměr 14,7:1. Z uvedených hodnot vidíme, že potřebuje výrazně bohatší směs (objem vzduchu zůstává stejný), což znamená větší objem vstříknutého paliva zhruba o 35 %. Námi použité vstříkovače tak musí mít dostatečně velká průtok a musí být odolné vůči palivu E85.

Tabulka 5 – porovnání vstříkovačů [20] [21]

	BOSCH EV 12	BOSCH EV 14
sériové číslo	0 280 158 040	0 280 157 000
průtok při tlaku 3 bary [g/mm ³]	670/980	310/453
typ vstříku	kónický	2x kónický
typ housingu	kompaktní	standart

4.2 Zapalovací cívka

Zapalovací cívka (BERU ZS 090) je vybrána z důvodu její flexibilní konstrukce. Bosch motorsport cívky, které měli rigidní konstrukci a byly tak pevně zafixovány, nedokázaly odolat velkým vibracím, které jdou od motoru. Tyto cívky vydržely většinou kolem 100 km a poté přestaly fungovat z důvodu destrukce svého těla. Výměnou za tuto cívku jsme se těchto problému zbavili, a navíc tak ušetřili náklady za nákup výrazně dražších cívek, které zdaleka nedosahovaly takové spolehlivosti.

4.3 Shifting valve

Ventil použitý pro řazení je bistabilní 3 cestný ventil s 5 porty od firmy FESTO VUVG-L10-P53E-T-M5-5P3. Ovládací tlak ventilu je 10 bar. Z tlakové lahve, v které je tlak 300 bar, regulujeme tlak záměrně na 12 bar. Tlak je dále přiveden 2 porty do řadícího válce.

4.4 Pneumatický válec

Dvojčinný pneumatický válec FESTO DSNU-25-40-P, do kterého je přiveden stlačený vzduch simuluje práci nohy při běžném řazení. Důležitý parametr je v tomto případě délka chodu válce, jak z důvodu zástavbového prostoru, tak z důvodu správného chodu radičky.

4.5 DRS valve

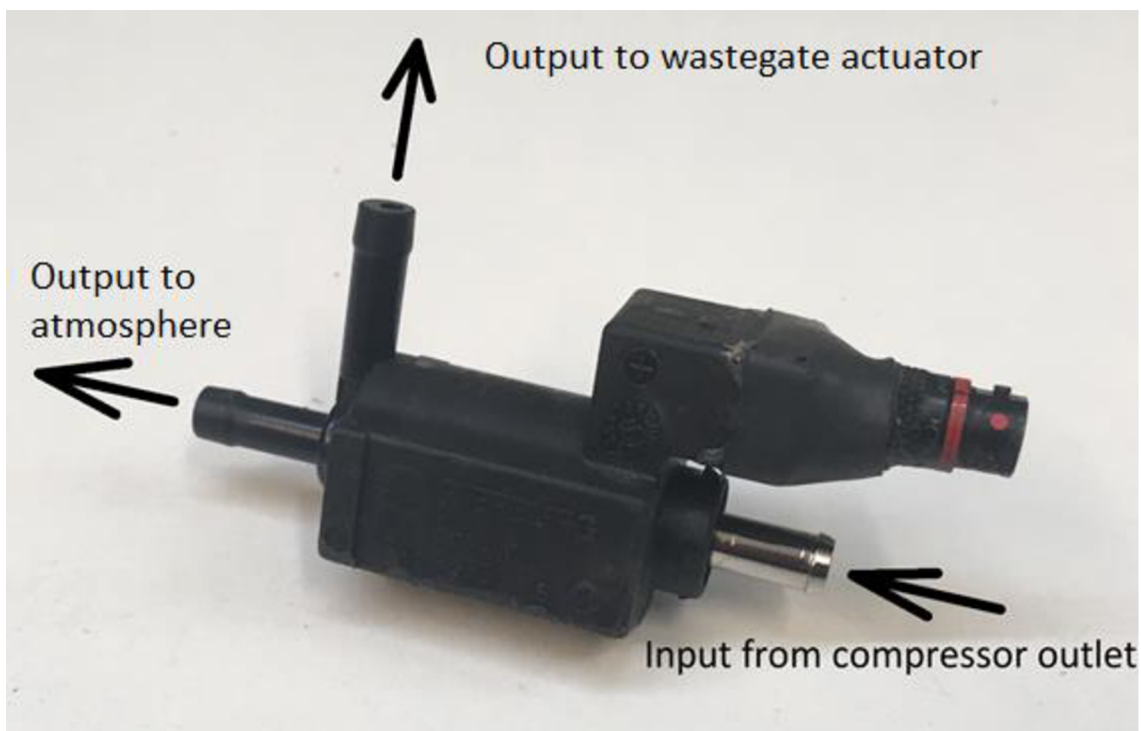
DRS ventil FESTO VUVG-L10-M52-MT-M7-5P3 je používán pro ovládání pneumatického válce v elementech křídel. Jde opět o 3 cestný ventil s 5 vstupy, ovládací tlak je rovněž 10bar, na rozdíl od ventilu na řazení je ventil monostabilní a vrací se tak do původní pozice pružinou. Také zde je zapotřebí většího průtoku vzduchu z důvodu větší ovládací síly válce. Pohyb válce umožní vhodné natočení a tím zmenšení aerodynamického odporu vozidla při požadovaných situacích.

4.6 Ventilátor

Axiální ventilátor sacího typu, konkrétně typ SPAL VA07-AP7/C-31A, má za úkol pomáhat vodnímu chladiči udržet teplotu chladicí kapaliny pod požadovanou úroveň.

4.7 Regulátor plnicího tlaku

Regulátor plnicího tlaku (PIERBURG 7.01024.02.2) má za úkol držet tlak v sání na hodnotách definovaných v ECU. Také hlídá, aby se turbodmychadlo takzvaně nepřetočilo, tedy nedosáhlo vyšších otáček, než na jaké je konstruované. Do regulátoru vstupuje plnicí tlak od turbodmychadla, pomocí PWM cyklu a definované strategie v ECU regulátor přepouští pomocí jehlového ventilu tlak do wastegate aktuátoru. Podle tlaku, který regulátor přepouští, se více či méně stlačuje pružina v aktuátoru, a ten tak otvírá obtokový ventil turbodmychadla. Přebytný tlak je přepouštěn do blow-off ventilu.



Obrázek 18 – popis regulátoru plnicího tlaku

5 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce začíná popisem principů jednotlivých senzorů, které jsou použity na monopostu týmu TU Brno racing. Toto vozidlo se účastní celosvětové soutěže Formula student.

První kapitola obsahuje popis řídicí jednotky Liferacing F88 a Expansion box X10 od téže firmy. Je zde podrobně rozebraný pinout těchto zařízení. Dále je zde rozebrán podrobný popis návrhu a výroby kabeláže. Cílem bakalářské práce bylo navrhnout upgrade stávajícího systému. Ten spočíval ve vyřazení Expansion boxu X10 a nahrazení dataloggerem Cosworth Omega L2, jeho hardwarovou i softwarovou implementací do stávajícího systému. Tato výměna byla opodstatněna zvýšením počtu analogových vstupů, při současné úspoře hmotnosti. Panují také názory, že vyhodnocovací software má lepší uživatelské rozhraní, to však závisí zcela na individuálních preferencích. V průběhu návrhové části, se ale Expansion box ukázal být nepostradatelný, a tak je i v nové generaci vozu použit zároveň s dataloggerem. V bakalářské práci se nachází podrobný pinout ECU a Expansion boxu. K dataloggeru je vytvořena univerzální kabeláž, a tak není nutné rozebírat její pinout.

Další část bakalářské práce se zabývá popisem jednotlivých senzorů na monopostu a stručným objasněním jejich aplikace. U vybraných senzorů jsou zobrazeny data, která se naměřily. Kapitola končí datovým výstupem z nového dataloggeru, který tak demonstruje funkční propojení ECU, Expansion boxu a nového dataloggeru pomocí sběrnice CAN.

Závěrečná část se zabývá popisem aktuátorů na vozidle Dragon 8. Popisují zde o jaké typy aktuátorů se jedná a nastiňují jejich funkci.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MCBEATH, Simon. *Competition car data logging a practical handbook*. Somerset: HAYNES PUBLISHING GROUP, 2009. ISBN 9781844255654
- [2] Zdeněk JAN, Bronislav ŽDÁNSKÝ, Jindřich KUBÁT. *Automobily (5) Elektrotechnika motorových vozidel I*. Brno: AVID, 2009. ISBN 9788087143131
- [3] Zdeněk JAN, Bronislav ŽDÁNSKÝ, Jindřich KUBÁT. *Automobily (6) Elektrotechnika motorových vozidel II*. Brno: AVID, 2008. ISBN 8087143070
- [4] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. Praha: BEN – technická literatura, 2005. ISBN 8073001411.
- [5] SHOWA MEASURING INSTRUMENTS CO., LTD. Popis snímače tlaku. In: *SHOWA Strain Gages & Load Cells* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: http://www.showa-sokki.co.jp/english/products_e/Pressure_Tr_e.html
- [6] CONTELEC, AG. Rotační magnetický enkodér Contelec. In: *Contelec* [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: http://www.contelec.ch/fileadmin/user_upload/contelec/Downloads/Datenblaetter/Englisch/Vert-X_E/Vert-X%2013E/Vert-X_13E_5V_10...90_Ub_e.pdf
- [7] MAXIM INTEGRATED. Konstrukce MEMS akcelerometru. In: *Maxim Integrated* [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://www.maximintegrated.com/en/images/appnotes/5830/5830Fig06.png>
- [8] Formula Student Rules 2018 v1.1. In: *Formula Student Germany* [online]. 02. října 2017 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2018/rules/FS-Rules_2018_V1.1.pdf
- [9] LAJOS, Kutas. Monopost Dragon 7. In: *Flickr* [online]. 28. září 2017 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/142805473@N05/37369332331/in/album-72157686668303980/>
- [10] LIFE RACING, LTD. Parametry ECU. In: *Life Racing: F88* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.liferacing.com/uploads/files/F88%20ECU%20Datasheet.pdf>
- [11] RAYSERVICE, s.r.o. Vodiče a kabely Raychem: SPEC 44. In: *RayService* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.rayservice.cz/e-shop/vodice-a-kabely-1/vodice-a-kabely-raychem/spec-44/>
- [12] TYCO ELECTRONICS. Parametry DR-25. In: *Qscomp* [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.qscomp.cz/Pdf/Dr25.pdf>
- [13] COSWORTH ELECTRONICS, LTD. Porovnání parametrů Omega L2 a X10: Omega L2. In: *Cosworth* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.cosworth.com/wp-content/uploads/2017/11/29L-071648PS.pdf>
- [14] LIFE RACING, LTD. Porovnání parametrů Omega L2 a X10: X10. In: *Life racing* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.liferacing.com/uploads/files/Life%20Racing%20X10.pdf>
- [15] KA SENSORS, LTD. Parametry tlakového senzoru. In: *KA sensors: Standard Pressure Transducers* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.kasensors.com/sites/default/files/downloads/ASL.412aU.pdf>
- [16] VISHAY. Parametry teplotního senzoru. In: *Mouser Electronics* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://cz.mouser.com/datasheet/2/427/ntcle213e3-595788.pdf>

- [17] Bod varu ethanolu. *Wikipedia* [online]. 11. 4. 2018 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ethanol>
- [18] TE CONNECTIVITY. Parametry senzoru teploty v sání. In: *TE Connectivity* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: http://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=DaDa+Sheet%7FGA100K6MCD1%7FA%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_DS_GA100K6MCD1_A.ppd%7FGA100K6MCD1
- [19] LIFE RACING, LTD. Parametry GPS-A50. In: *Life Racing: GPS-A50* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.liferacing.com/uploads/files/Life%20Racing%20GPS-AG50.pdf>
- [20] BOSCH ENGINEERING, GmbH. Porovnání vstřikovačů: EV 12. In: *Bosch Motorsport: Catalog Edition 2018* [online]. 2018 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: http://webshop.swindonpowertrain.com/image/catalog/datasheets/Injection_Valve_EV_12_Datasheet_51_en_2775957003.pdf
- [21] BOSCH ENGINEERING, GmbH. Porovnání vstřikovačů: EV 14. In: *Bosch Motorsport: Catalog Edition 2018* [online]. 2018 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: http://www.bosch-motorsport.de/content/downloads/Products/resources/2776025867/en/pdf/Injection_Valve_EV_14_Datasheet_51_en_2775993867.pdf

7 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

ECU – Electronic Control Unit
NTC – Negative temperature coefficient
PTC – Positive temperature coefficient
MEMS – MicroElectroMechanical System
PVC – Polyvinylchlorid
PVDF – Polyvinylidenfluorid
PTFE – Polytetrafluorethylen
OEM – Original Equipment Manufacturer
DC – Direct Current
PWM – Pulse Width Modulation

Obrázek 1 – popis snímače tlaku [5]	17
Obrázek 2 – rotační magnetický enkodér Contelec [6]	19
Obrázek 3 – konstrukce MEMS akcelerometru [7]	20
Obrázek 4 – monopost Dragon 7 [9]	22
Obrázek 5 – detail kabeláže	23
Obrázek 6 – návrh kabeláže v MS Visio	24
Obrázek 7 – zleva ECU Liferacing F88, datalogger Coswort Omega L2, Expansion box Liferacing X10, v popředí chassis modul Liferacing GPS-AG50	25
Obrázek 8 – pinout ECU	26
Obrázek 9 – pinout Expansion boxu X10	27
Obrázek 10 – kalibrační list tlakového senzoru	28
Obrázek 11 – linearizace senzoru teploty v sání	31
Obrázek 12 – výstup senzoru – Actual Gear Position	32
Obrázek 13 – výstup senzoru – Steering wheel angle	34
Obrázek 14 – výstup z akcelerometrů	35
Obrázek 15 – výstup GPS snímače, zde konkrétně trať z FSG	35
Obrázek 16 – ukázka dat naměřených dataloggerem Omega L2	36
Obrázek 17 – aktuátory	37
Obrázek 18 – popis regulátoru plnicího tlaku	39
Tabulka 1 – parametry ECU [10]	23
Tabulka 2 – porovnání parametrů Omega L2 a X10 [13][14]	25
Tabulka 3 – parametry termistoru [16]	30
Tabulka 4 – parametry senzoru teploty v sání [18]	31
Tabulka 5 – porovnání vstřikovačů [20] [21]	38