



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií ■

NÁVRH KABELOVÉHO SVAZKU PRO STUDENTSKOU FORMULI

Diplomová práce

Studijní program: N2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 3906T001 – Mechatronika

Autor práce: **Bc. Michal Hudec**

Vedoucí práce: Ing. Jan Koprnický, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechatronics, Informatics
and Interdisciplinary Studies ■

DESIGN OF CABLE WIRING HARNESS FOR STUDENT FORMULA CAR

Master thesis

Study programme: N2612 – Electrical engineering and informatics

Study branch: 3906T001 – Mechatronics

Author: **Bc. Michal Hudec**

Supervisor: Ing. Jan Koprnický, Ph.D.





TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií ■

Zadání diplomové práce

Návrh kabelového svazku pro student- skou formuli

<i>Jméno a příjmení:</i>	Bc. Michal Hudec
<i>Osobní číslo:</i>	M16000146
<i>Studijní program:</i>	N2612 Elektrotechnika a informatika
<i>Studijní obor:</i>	Mechatronika
<i>Zadávací katedra:</i>	Ústav mechatroniky a technické informatiky
<i>Akademický rok:</i>	2019/2020

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši oblasti výroby a návrhu kabelových svazků v závodních automobilech.
2. Vytvořte podklady pro návrh svazku měřením na stávající studentské formuli FS TUL.
3. Specifikujte požadavky na výběr vhodných komponent (vodiče, konektory, ochrana).
4. Na základě těchto požadavků navrhnete a realizujete kabelový svazek.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle potřeby dokumentace
40–50 stran
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] KRÍŽ, Michal. Dimenzování a jištění elektrických zařízení – tabulky a příklady. Čtvrté – aktualizované vydání. Pardubice: IN-EL, 2015. Elektro (IN-EL). ISBN 978-80-87942-07-9. Fencel, F. Elektrický rozvod a rozvodná zařízení. ČVUT, Praha, 2003.
- [2] NASA. Crimping, Interconnecting Cables, Harnesses, and Wiring: NASA-STD 8739.4 with Change 6. 6. Washington: NASA, 2011. Dostupné z:
https://www.rbracing-rsr.com/downloads/wiring_pdfs/nasa_wiring_harness.pdf
- [3] MACDOUGALL, Kevin a George RANDEL. 2016 Formula SAE Vehicle Electrical Systems Design. Worcester, 2016. Student Project. Worcester Polytechnic Institute. Vedoucí práce David Planchard.

Vedoucí práce:


Ing. Jan Koprnický, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání práce:


10. října 2019

Předpokládaný termín odevzdání:

18. května 2020


prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.
děkan




doc. Ing. Milan Kolář, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 10. října 2019

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 6.1.2020

Podpis:

Handwritten signature in black ink, appearing to read 'Kulka'.

Abstrakt

Tato práce se zabývá problematikou kabelového svazku pro vůz studentské formule FS TUL konstruované studenty Technické univerzity v Liberci. Práce analyzuje postup návrhu kabelových svazků, komponenty svazků, a pracovní postupy a metody používané pro výrobu svazků závodních vozidel. Dle analýzy jsou v práci vybrány vhodné komponenty a materiály pro výrobu a z těchto komponent vyroben kabelový svazek. Práce obsahuje také zhodnocení využitých materiálů a metod.

Klíčová slova: studentská formule, kabelový svazek, elektronika, elektronická řídicí jednotka, návrh, výroba

Abstract

This thesis discusses a cable wiring harness of student formula car constructed by students of Technical University of Liberec. The work analyses cable wiring harness design practises, electronic components and work instructions for race car wiring harness manufacturing. Components and materials for manufacturing are selected according to provided analysis and based on them the wiring harness was build. Evaluation of all procedures is also included.

Keywords: student formula, cable wiring harness, electronics, electronic control unit, design, manufacturing

Poděkování

Rád bych poděkoval současným i bývalým členům a přátelům z týmu FS TUL Racing za spolupráci na projektu a Technické univerzitě v Liberci bez jejíž podpory by tento projekt nemohl existovat. Dále pak panu Karlovi Bourovi za konzultace a ladění vozu. V neposlední řadě děkuji svému vedoucímu práce Ing. Janu Koprnickému, Ph.D. za trpělivost a ochotu.

Obsah

Seznam zkratek	9
Úvod	11
1 Kabelový svazek	12
2 Princip návrhu kabelových svazků	13
2.1 Etapy návrhu	14
2.1.1 Zpracování vstupních požadavků a vývojového plánu	14
2.1.2 Návrh kabelového svazku	14
2.1.3 Změny návrhu	15
2.1.4 Revize a testování návrhu	16
2.1.5 Výroba a testování kabelového svazku	16
2.2 Optimalizace	16
3 Analýza technických řešení	17
3.1 Kabelové svazky velkosériových vozidel	17
3.2 Kabelové svazky speciálních vozidel	18
3.3 Materiály pro kabelové svazky závodních vozidel	19
3.3.1 Kabely	19
3.3.2 Ochrana kabelového svazku	20
3.3.3 Konektory	23
4 Výrobní postupy kabelových svazků závodních vozidel	24
4.1 Krimpování	24
4.2 Servisní smyčky	24
4.3 Concentric twisting	26
4.4 Splice	27
4.5 Lepení	28
4.6 Značení vodičů a vývodů	29
4.7 Nářadí	29
5 Postup při návrhu elektroinstalace závodního vozu	32
6 Návrh kabelového svazku	33
6.1 Zpracování vstupních požadavků	33
6.2 Plánování vývoje	36

6.3	Výběr komponent	36
6.3.1	Řídicí jednotka motoru	37
6.3.2	Display	38
6.4	Výběr materiálů	40
6.4.1	Výběr vodičů	40
6.4.2	Výběr ochrany svazku	40
6.4.3	Výběr konektorů	41
6.5	Zapojení kabelového svazku	42
6.5.1	Centrální panel	42
6.5.2	Motorový svazek	42
6.5.3	Přední svazek	44
6.6	Návrh tras kabelového svazku	45
7	Výroba	47
7.1	Přípravné práce	47
7.2	Výroba kabelového svazku	48
8	Shrnutí poznatků	51
	Závěr	52
	Literatura	52
A	Seznam volně vložených příloh	59

Seznam zkratek

TUL	Technická univerzita v Liberci
FS TUL	Formula Student TUL
HIL	Hardware In Loop
TPS	Throttle position sensor
MAF	Mass Airflow
MAP	Manifold Air Pressure
IAT	Intake Air Temperature
CLT	Coolant Temperature
CMP	Camshaft Position
CKP	Crankshaft Position
GPS	Gear Position Sensor
REG	Regulátor dobíjení
ECU	Electronic Control Unit
EMU	Engine Management Unit
IC	Ignition Coil
INJ	Injector
PUMP_W	Water Pump
PUMP_F	Fuel Pump
OIL_T	Oil Temperature
OIL_P	Oil Pressure
AFR	Air-Fuel Ratio
PVC	Polyvinylchlorid
ETFE	Ethylen-tetrafluorethylen
LVMS	Low Voltage Master Switch
ETFE	Ethylen-tetrafluorethylen
UV	Ultrafialové
ESD	Electrostatic discharge
BOTS	Brake Over-Travel Switch
BSPD	Brake System Plausibility Device
WBO	WideBand Oxygen sensor
CAN	Controller Area Network
SNS	Sensor
IGN	Ignition
GND	Ground
AUX	Auxiliary
FLRY	FL - automotive vodič pro nízké napětí, R - redukovaná tloušťka izolace, Y - PVC izolace

Úvod

Projekt studentské formule je celosvětová studentská soutěž, ve které se soutěží v nejrůznějších disciplínách v oblasti konstrukce závodního vozu. Jedná se o možnost, jak si sami studenti mohou rozšířit své obzory a znalosti napříč všemi obory. Celý tým pracuje v průběhu každého akademického roku na vývoji nového vozu, přípravě dokumentace a logistice závodů. Odměnou je pak účast na závodech, které se konají po celém světě. Mezi nejprestižnější závody patří *Formula Student Germany* [1], podle kterého se řídí i většina pravidel [2] na ostatních evropských závodech.

Tým studentské formule na Technické univerzitě v Liberci (FS TUL racing) se soutěži naplno věnuje od akademického roku 2016/17, kdy se podařilo postavit první vůz a zúčastnit se s ním třech závodů. Po inspiraci z první sezóny a po menší obměně členů týmu se podařilo postavit po všech stránkách lepší formuli a z určitého pohledu jsme začali být bráni jako konkurence členy ostatních týmů. V sezóně 2018/2019 bylo tedy v plánu soustředit se na odlehčení a zkvalitnění současného designu a hlavně na lepší časovou organizaci projektu tak, aby zbyl čas i na ladění opravdových detailů a ve výsledku vůz vypadal profesionálně.

Cílem projektu je analýza možných řešení konstrukce kabelového svazku a jeho realizace na již třetím vozu studentské formule, konstruované studenty na Technické univerzitě v Liberci. Z načerpaných zkušeností jak ze stavby, tak ze závodů za poslední dva roky, se celý tým snaží vůz stále zlepšovat. Zlepšení probíhá ve dvou důležitých oblastech. Jedna oblast, která je důležitá pro úspěšné dokončení dynamických disciplín, je samotná konstrukce komponent. Druhou oblastí je pak postup návrhu prezentovaný v rámci statických disciplín.

V konstrukci kabelového svazku prvního vozu se řešilo pouze zapojení, ale už vůbec ne samotná konstrukce a výběr vhodného materiálu. V případě druhého vozu byly už použity lepší materiály a postupy, ale stále zbylo mnoho oblastí, na které je potřeba se zaměřit. Cílem je tedy konstrukce, která bude dostatečně podložena naměřenými daty a úvahami nad konstrukcí svazku. V plánu je najít vhodný poměr mezi cenou a kvalitou (úrovň ochrany) svazku tak, aby celkové technické řešení zapadalo vhodně do koncepce soutěže a bylo možné získat maximální možný počet bodů ve statických disciplínách. Nejdražší a nejvíce technicky náročné řešení totiž často není nejlepší.

Tato práce by měla sloužit pro budoucí členy týmu zabývající se elektronikou jako návod, jak vhodně navrhnout a technologicky postupovat při výrobě kabelového svazku. V práci bylo čerpáno převážně z vlastních zkušeností autora z předchozích závodních sezón. Dále pak z návodů, fotografií a doporučené dokumentace, kterou používají profesionálové v oboru elektroniky závodních vozů.

Práce se bude zabývat analýzou procesu návrhu kabelových svazků, konstrukčními rozdíly mezi osobními vozy a závodními vozy a přehledem používaných materiálů pro závodní vozidla. Dále se práce bude věnovat zpracování návrhu kabelového svazku vhodným postupem zvoleným dle předchozí analýzy. Návrh bude obsahovat výběr komponent a materiálů vhodných pro výrobu. Na základě návrhu kabelového svazku bude vyroben kabelový svazek, který následně projde testováním před závodem. Na závěr bude zhodnocen celý postup a doporučeny jeho úpravy tak, aby bylo předejito případným omylům v budoucích letech.

1 Kabelový svazek

Kabelový svazek je sestava kabelů, která slouží ve vozidle k přenosu jak elektrické energie, tak k přenosu informací mezi všemi elektronickými součástmi vozu (řídící jednotky, senzory, akční členy) [3]. Kromě obyčejných kabelů může sestava kabelového svazku také obsahovat speciální kabely pro komunikační sběrnice nebo optické kabely.

Dále jsou součástí kabelového svazku kontakty a konektory pro připojení řídicích jednotek, senzorů a akčních členů. Kabely jsou ve svazku vedeny společně a zajištěny proti pohybu, to umožňuje snadnou instalaci kabelového svazku jako celku a jednodušší manipulaci [4]. Po vozidle tedy nejsou vedeny samostatné vodiče, ale pouze rozvětvené části kabelového svazku.

Součástí kabelového svazku nejsou pouze kabely a konektory, ale také materiál, který drží kabelový svazek pohromadě. Jedná se o nejrůznější samolepicí pásky, textilní oplety, teplem smrštitelné bužírky a svorky. Dále se v sestavě objevují také prvky, které chrání kabelový svazek před poškozením [5]. Jedná se například o ochranu proti teplu (plastové trubice, odstínění), ochranu proti prodření (průchodky, textilní pásky, oplety) a ochranu proti vlhkosti (teplem smrštitelné bužírky, těsnění kontaktů a konektorů).

2 Princip návrhu kabelových svazků

Během posledních desetiletí prošly automobily značným vývojem v oblasti elektroniky. Například řízení motoru, které je u dnešních vozů elektronické a využívá komplikovaný systém senzorů a akčních členů, bylo řešeno čistě mechanicky, za pomoci karburátoru a mechanického rozdělovače pro zapalování. Nejen v oblasti řízení motoru došlo k stále větší integraci elektronických komponent. Zejména v bezpečnostních systémech a komfortních systémech došlo v posledních letech k značnému pokroku a kabelový svazek nesloží pouze k přenosu energie, ale také k přenosu dat mezi jednotlivými řídicími jednotkami. Vzhledem k stále rostoucímu počtu funkcí vozu, a tím rostoucímu počtu elektronických komponent, se z kabelového svazku stala jedna z nejsložitějších komponent vozidla. Mnoho elektronických systémů osobních vozidel, které měly vozy vyšší třídy, je nyní dostupných ve většině modelů osobních vozů. Díky možnosti různé kombinace výbav a funkcí je komplexní návrh kabelového svazku velmi složitým úkolem. Mezi závodními vozidly došlo také k pokroku v elektronických systémech, ať už se jedná o systémy řízení motoru, napájení, nebo vyvinutím nových materiálů, díky kterým je možné dosáhnout lepších výsledků na trati.

Se stále zvyšujícími požadavky na snížení nákladů za vývoj a zkrácení celkové doby vývoje je nutností využívat pokročilé nástroje, které umožní přizpůsobit vývoj kabelových svazků pro snížení nákladů a udržení kvality pro provoz v definovaných podmínkách. Návrh kabelového svazku vozu hraje významnou roli v kvalitě výsledného vozu.

I přes pokročilé návrhové nástroje se však v oblasti návrhu a výroby kabelových svazků téměř nevyskytuje jakýkoliv obecný standard [6]. Je tedy na výrobcích jaké specifikace a metody návrhu si stanoví sám.

Proces návrhu kabelového svazku zahrnuje celý životní cyklus tohoto návrhu od specifikace dodané zákazníkem po konečnou výrobu. K návrhu je využíván specializovaný software, který vytvoří podporu celého procesu a zachová digitální kontinuitu návrhu [7]. Tento software pokryje všechny potřeby vývojového cyklu od počátečních požadavků jako jsou nároky na elektronickou funkčnost a fyzické vlastnosti kabelového svazku, až po implementaci s kompletní dokumentací. Data návrhu jsou tvořena v každé etapě procesu návrhu a každý krok obsahuje a slučuje data z předchozích kroků. Data jsou často uchovávána v jedné nebo více databázích. Vyprodukovaná data musí být na 100 % přesná pro všechny varianty kabelového svazku včetně kompletního kusovníku. Přesnost je klíčová z důvodu použití výsledného kabelového svazku pro velkovýrobu, kde je cena chyby násobena množstvím vyrobených kusů [8].

2.1 Etapy návrhu

Jak již bylo zmíněno, proces návrhu kabelového svazku není definován žádnou obecnou normou nebo souborem doporučení pro automobilový průmysl. Je možné tedy přihlídnout k vyžadovaným postupům návrhu pro aerospace prostředí [9], které jasně definují postup pro dosažení kvality pro účely letecké dopravy a kosmonautiky. Tyto postupy je možné aplikovat i na automobilový průmysl, jehož kvalitativní požadavky jsou často stejně náročné. Každá automobilka volí vlastní přístup, prakticky se ale v mnohém nebudou lišit.

2.1.1 Zpracování vstupních požadavků a vývojového plánu

Prvotním úkolem návrhu je zpracování všech vstupních požadavků na kabelový svazek. Mezi tyto požadavky patří například blokové schéma všech elektronických systémů vozu, rozložení elektronických částí ve vozidle, veškeré technické výkresy a specifikace již známých a použitých komponent, a také požadavky na splnění nejruznějších norem a specifikací [6].

Na základě těchto požadavků je vytvořen plán návrhu, který definuje podmínky pro návrh a vývoj kabelového svazku vozidla. Plán také obsahuje organizační část, která se zaměřuje na termínový plán obsahující všechny milníky projektu, rozpočet projektu a potřebné lidské zdroje.

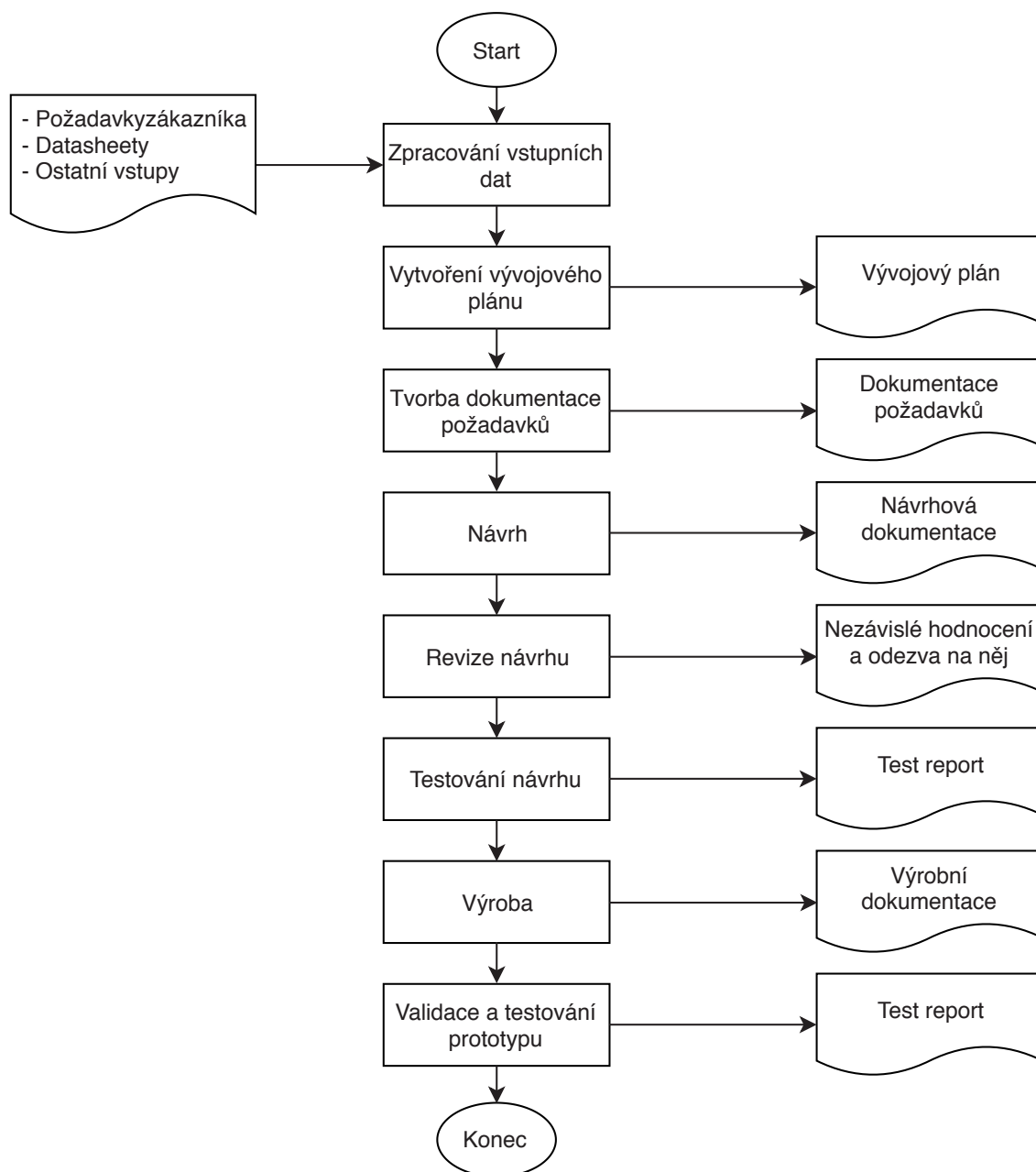
2.1.2 Návrh kabelového svazku

Na základě vstupních požadavků je proveden vhodný návrh jednotlivých subsystémů kabelového svazku obsahující [8]:

- Průřezy vodičů, jejich typy a označení.
- Ochranu svazku v nejruznějších problematických místech.
- Konektory, pojistky, relé.
- Průchodky a vodící svorky.
- Zemnicí body.

Výstupem návrhu by mělo být několik konceptů kabelového svazku. Zvolen by měl být takový koncept, který nejlépe odpovídá vstupním požadavkům a zároveň je ekonomicky výhodný a snadno vyrobitelný. V této fázi je možné navrhnout několik prototypů a podrobit je testování jak funkčnosti, tak ochrany proti vnějším vlivům.

Návrh by měl být co možná nejjednodušší, měl by obsahovat standardizované a dobře dostupné komponenty a měl by být snadno a rychle vyrobitelný. Součástí návrhu jsou běžně blokové diagramy, schémata a kusovníky. Výrobní dokumentace k návrhu by měla obsahovat všechny nezbytně nutné informace důležité pro výrobu kabelového svazku.



Obrázek 2.1: Vývojový diagram proces vývoje [9]

2.1.3 Změny návrhu

Vzhledem k tomu, že je kabelový svazek jednou z nejsložitějších komponent vozidla a je nutné ho přizpůsobovat ostatním komponentům vozidla ať už elektronicky, tak například volbou trasy svazku, jsou změny návrhu velmi časté a je nutné se jim neustále přizpůsobovat. Časté změny v požadavcích jsou zejména z počátku vývojového projektu a to především z důvodu ne zcela jasné specifikace, která se v průběhu formuje do finální podoby. Změny jsou ovlivňovány především zákazní-

kem a testování jednotlivých verzí návrhu. Jedná se například o změny kvůli použití nevhodných komponent, nebo komponent nesplňujících specifikaci, chybám v elektronických schématech, zlepšení procesů výroby atd. Všechny požadavky na změny a jejich řešení jsou dokumentovány pomocí softwaru pro správu projektu, je tedy možné dohledat důvody libovolné změny.

2.1.4 Revize a testování návrhu

Revize návrhu je proces, který průběžně ověřuje funkčnost aktuálně realizované verze návrhu. Fáze ověřování funkčnosti by měla být realizována pravidelně, vždy když je aktualizována libovolná z částí elektroinstalace vozu ať už se jedná o samotný kabelový svazek, nebo jednotky, které jsou jím propojeny. Revize návrhu nezajišťuje pouze ověření funkčnosti všech elektronických systémů. V rámci ověření funkčnosti by také měly být provedeny zkoušky funkčnosti i za výjimečných podmínek. Mělo by být ověřeno, že v případě poruchy dojde k co možná nejmenším ztrátám [8].

2.1.5 Výroba a testování kabelového svazku

Dle technické výrobní dokumentace je vyroben prototypový kabelový svazek. Během procesu výroby je vyzkoušen výrobní proces a zaznamenaná data jsou následně použita k optimalizaci výrobního procesu a změnám návrhu. Takto vyrobený kabelový svazek je testován ve voze a je podroben nejružnějším zkouškám jako je elektromagnetická kompatibilita a testování s celým vozem v extrémních teplotních podmínkách. Z pohledu montáže sériově vyráběného osobního vozidla, jsou části kabelového svazku testovány v rámci zástavby do vozidla.

2.2 Optimalizace

Vzhledem k tomu, že je kabelový svazek komponentou vozidla, která se většinou přizpůsobuje ostatním komponentám, můžou se během procesu návrhu kabelového svazku, který probíhá současně s vývojem celého vozidla, často měnit požadavky na jeho konstrukci. Během celého vývoje se návrh optimalizuje tak, aby všechny části kabelového svazku odpovídaly aplikaci. Zejména se jedná o optimalizace v těchto oblastech [8]:

- Optimalizace výrobních nákladů.
- Optimalizace délky a větvení svazku.
- Ochrana proti vysoké teplotě a mechanická ochrana.
- Ochrana proti vniknutí vody.
- Optimalizace zjednodušení výrobního postupu.
- Optimalizace jednoznačnosti montáže.

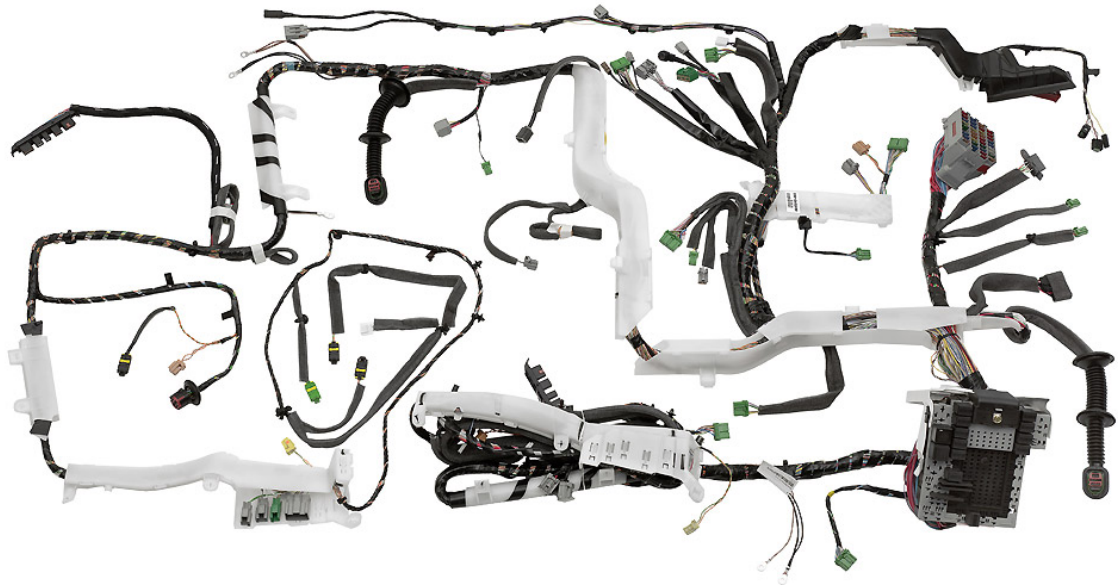
3 Analýza technických řešení

V analýze technického řešení je třeba se zaměřit na odlišný přístup ke konstrukci kabelového svazku pro sériovou výrobu vozidel užívaných k běžnému provozu a vozidel využívaných ve speciálních podmínkách. Pro sériová vozidla bude návrh soustředěný hlavně kolem snížení výrobních nákladů a celkově přizpůsobený použití v běžném provozu, kdežto na kabelový svazek například pro vojenská vozidla nebo požární techniku budou kladeny daleko přísnější kritéria, co se týče odolnosti, spolehlivosti a opravitelnosti.

3.1 Kabelové svazky velkosériových vozidel

V konstrukci běžných sériově vyráběných vozidel je hlavním parametrem cena. Proto se v současnosti u vyráběných vozidlech, která obsahují vysoké množství řídicích jednotek a periférií, často přemýšlí nad volbou alternativních materiálů místo mědi, případně o systému 24V nebo 48V, který umožní konstrukci lehčího kabelového svazku, zároveň umožní využití výkonnějších komponent [10].

Další charakteristikou je celková konstrukce svazku (obr. 3.1). Běžné vozidlo je konstruované na cca 300 tisíc km a během jeho provozu není počítáno s častou demontáží kabelového svazku. Je tedy konstruován tak, aby pasoval přesně na vyráběný model a jeho výbavu. Jeho enviromentální ochrana je soustředěna pouze na exponovaná místa (motorový prostor, vodiče tažené vně karoserie, místa kde dochází k pohybu nebo hrozí prodření izolace vodičů).



Obrázek 3.1: Příklad kabelového svazku sériově vyráběného vozidla [11]

Používají se převážně FLRY¹ vodiče, které mají výhodu menší tloušťky izolace tak, aby výsledná tloušťka svazku byla menší. Tyto vodiče mají běžnou tepelnou ochranu a na exponovaných místech jsou pouze opatřeny tepelnou izolací.

Co se týče výběru konektorů, zde jsou vybírány cenově dostupné konektory, které nevynikají ani v izolaci ani v počtu možných cyklů spojení a rozpojení.

Tyto kabelové svazky jsou dostatečně otestované z pohledu funkčnosti na tzv. HIL simulátorech, kde je převážná část elektroniky vozu zapojena na tzv. boardu. Board je přizpůsoben tak, aby se přes specializovaný software daly ovládat veškeré senzory/aktuátory (jak jejich vstupy/výstupy, tak i jejich disfunkce). Před uvolněním do produkce je tedy známa většina chyb a je čas se soustředit na jejich nápravu.

Z pohledu environmentálních vlivů jsou kabelové svazky testovány i s vozidlem v nejrůznějších prostředích. Zejména pak v nízkých a vysokých teplotách a různých stupních vlhkosti. Dále pak při vibracích [12].

3.2 Kabelové svazky speciálních vozidel

Na kabelové svazky pro speciální vozidla jsou vždy kladeny požadavky, které se mohou lišit podle použití daného vozidla. Většinou je to zvýšená odolnost proti vnějším vlivům, mezi které patří například odolnost proti vysokým teplotám, odolnost proti olejům a mazivům, odolnost proti rozpouštědlům a palivům (obr. 3.2). Například pro vojenská vozidla je vše konstruováno dle military specifikace [spec], která je pro konstruktéra jasným návodem, jak řešit celé provedení nejen kabelového svazku.

¹FL – automotive vodič pro nízké napětí, R – redukováná tloušťka izolace, Y – PVC izolace



Obrázek 3.2: Příklad kabelového svazku pro pozemní vojenská vozidla [13]

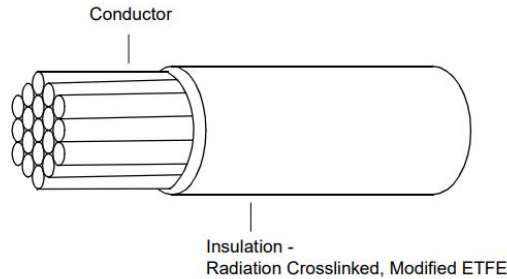
Zde je jistá podobnost s aerospace normami [9], ve kterých jde také o kvalitu a celkovou robustnost konstrukce. Především kvůli tomu, že selhání elektroniky v těchto aplikacích může mít fatální následky.

3.3 Materiály pro kabelové svazky závodních vozidel

Komponenty kabelových svazků pro závodní účely vychází z military komponent, ale vzhledem k tomu, že jde v závodění o sekundy, jsou tyto komponenty podstatně lehčí.

3.3.1 Kabely

Mezi nejpoužívanější kabely v profesionálním motorsportu patří měděné vodiče s izolací z ethylen-tetrafluorethylenu (dále ETFE), často označovaného také jako *Tefzel* (obchodní název společnosti *DuPont*). Jedná se o tavením zpracovatelný fluoropolymer, který v porovnání s jinými fluoropolymery vyniká velmi vysokou mechanickou odolností. Mezi další jeho vlastnosti patří vysoká tepelná odolnost, odolnost proti chemikáliím (palivům, olejům a jiným kapalinám) a také vysoká elektrická odolnost a odolnost proti radiaci [14].



Obrázek 3.3: Vodič Spec 55 [15]

Vodiče s izolací z materiálu ETFE nabízí více výrobců. Nejběžnějšími vodiči jsou vodiče Spec 55 od výrobce *TE Connectivity*. Tyto vodiče mají měděné, postříbřené jádro, a vyznačují se vysokou teplotní odolností ($-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $200\text{ }^{\circ}\text{C}$) a vysokou odolností proti oděru. Dále jsou odolné proti chemikáliím, palivům, olejům, nedegradují pod UV zářením a jsou vysoce flexibilní. Nabízí se s jednovláškovou (obr. 3.3) nebo dvouvláškovou izolací a také jako stíněné kroucené dvojlinky a třílinky [15].

3.3.2 Ochrana kabelového svazku

Standardem pro ochranu kabelového svazku v motorsportu se staly produkty firmy *Raychem* (vlastněné firmou *TE Connectivity*).

Raychem DR-25 je teplem smrštitelná bužírka, která vyniká ve flexibilitě, odolnosti proti oděru a schopnosti zpomalovat hoření. Je vyrobena ze zesíťovaného elastomeru a nabízí excelentní ochranu proti dlouhodobě působící vysoké teplotě (výrobce uvádí teplotní rozsah od $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $150\text{ }^{\circ}\text{C}$), odolností proti hydraulickým kapalinám, palivům, mazacím olejům a samozřejmě vodě [16]. Všechny tyto unikátní vlastnosti předurčují DR-25 k použití do extrémních podmínek jako je použití na vojenských pozemních vozidlech a samozřejmě je využívána v profesionálním motorsportu na většině závodních vozů.



Obrázek 3.4: Smršťovací bužírka Raychem DR-25 [17]

Pro dokonalé utěsnění kabelového svazku, zejména v místech, která nejsou opatřena krytím použitím smršťovací bužírky, jako jsou místa, kde se kabelový svazek rozvětjuje na více částí a přechody kabelového svazku na konektor, se využívají teplem smrštitelné přechodky. Standardem jsou opět produkty firmy Raychem a to konkrétně *System 25 heat shrinkable boots* [18]. Jedná se o semi-flexibilní materiál, odolný proti palivům, vysoké teplotě a oděru, navrhnutý pro použití v drsném prostředí. Tyto teplem smrštitelné přechodky jsou využívány především pro jejich mechanickou odolnost, které se využije při napojování kabeláže na konektor. V tomto místě umožní přechodka uvolnit mechanické napětí na vodičích vstupujících do konektoru. V případě, že přechodky nejsou opatřeny lepidlem aktivovaným při smršťování, je třeba použití speciálního dvousložkového lepidla pro spojení styčných ploch mezi přechodkou, ochranou kabelového svazku a konektoru.



Obrázek 3.5: Smršťovací přechodky Raychem [17]

Pro lepení teplem smrštitelných přechodek ke konektorům a ochranným bužírám je vhodné použít lepidlo, které odpovídá vlastnostmi vlastnostem přechodek a trubiček. Nejčastěji se k těmto účelům používají flexibilní epoxidová lepidla s vysokou teplotní odolností. Tyto charakteristiky splňuje výborně dvousložkové epoxidové lepidlo *Resintech RT125* [19]. To se vyznačuje použitím ve velkém teplotním rozsahu $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, odpovídá tedy maximální teplotě teplem smrštitelných trubiček a přechodek. Dále také nabízí vysokou odolnost proti palivům, hydraulickým kapalinám, olejům a chladicím kapalinám.



Obrázek 3.6: Dvousložkové lepidlo Resintech RT125 [17]

V místech, kde je využito samosmrštitelných přechodek dochází k velkému teplotnímu namáhání během výroby svazku. Materiál přechodek je silnější a je nutné ho delší dobu ohřívat. I v případě použití vodičů odolných vysokým teplotám, je třeba vodiče ochránit před teplem, a zároveň před pokrytím lepidlem, používaným pro izolaci.



Obrázek 3.7: Kaptonová samolepicí páska [17]

Pro tuto ochranu se používá kaptonová páska, která vytvoří ochrannou vrstvu kolem vodičů v části kabelového svazku a ochrání vodiče před teplem a proti vniknutí epoxidového lepidla mezi vodiče. Lepicí plocha pásky nezanechává žádné stopy, to

umožní bezproblémové opravy vodičů a konektorů. Tato páska je vyrobena z materiálu Kapton firmy *DuPont* a je opatřena silikonovou lepicí plochou s ESD příměsí pro snížení statického náboje. Kaptonová páska vydrží až 260 °C [20].

3.3.3 Konektory

Nedílnou součástí kabelového svazku jsou konektory umožňující spojení a rozpojení jak jednotlivých částí svazku, tak snímačů řídicích jednotek nebo akčních členů. Konektory pro profesionální motorsport se postupem času vyvinuly z konektorů pro vojenské účely. Obdoba konektorů pro závodní vozy vyniká především nízkou hmotností a menším provedením. Nejpoužívanějšími konektory jsou konektory značky *Deutsch Autosport* (také vlastněnou firmou *TE Connectivity*). Tento výrobce se specializuje na konektory pro nejrůznější drsná prostředí jako jsou prostředí s vysokou teplotou, vysokým tlakem, vibracemi, atd. Produkty tohoto výrobce používá například většina týmů Formule 1. Tyto konektory se vyznačují teplotní odolností od -55 °C do 125 °C při provozu s maximálním povoleným proudem kontaktů. Díky precizní a robustní konstrukci vydrží až 500 cyklů spojení a rozpojení a jsou schopny vydržet vibrace o síle až 20 g o frekvencích 10 Hz až 2000 Hz ve všech třech osách. Mají vysokou odolnost proti kapalinám a jejich vlastnosti se nemění ani po několika teplotních cyklech, ve kterých dosahují hraničních teplot [21].



Obrázek 3.8: Konektor Autosport výrobce Deutsch [17]

Kontakty (viz obr. 3.9) pro konektory tohoto výrobce jsou pro většinu jeho výrobních řad stejné, to minimalizuje riziko použití nevhodného kontaktu a tím potenciální dysfunkci kabelového svazku. Všechny kontakty jsou vyrobeny z mědi a poté pokoveny niklem, případně pozlaceny [21].



Obrázek 3.9: Kontakt Autosport konektoru [17]

4 Výrobní postupy kabelových svazků závodních vozidel

Volba výrobních postupů a metod záleží na požadavcích na výsledný kabelový svazek. Rozdílné výrobní požadavky budou kladeny na vůz Formule 1 a rozdílné na závodní vůz hobby závodů do vrchu. Vše je třeba přizpůsobit konkrétním požadavkům tak, aby byl dodržen optimální poměr ceny a spolehlivosti.

4.1 Krimpování

Při výrobě kabelového svazku, jak pro závodní vůz, tak pro jakýkoliv kabelový svazek, je základem správná technika krimpovaného spoje pro dosažení spolehlivého spojení vodiče a kontaktu konektoru. Krimpováním je označeno mechanické spojování vodiče a kontaktu, který svírá vodič v kleštině. Ta je slisována speciálními kleštěmi tak, aby vytvářela pevný spoj a zároveň minimální přechodový odpor. Z pohledu spolehlivosti je krimpovaný spoj nejlepší možnou volbou. Na rozdíl od pájeného spoje odolává vibracím a lépe odolává ohybu vodiče za kontaktem, kde u pájeného spoje dochází k nasátí pájky do vodiče a následnému zkřehnutí [22].

Správné krimpování závisí na volbě krimpovacího nástroje, průřezu vodiče, tloušťky jeho izolace a volbě správného kontaktu. Většina krimpovacích kontaktů je vyrobena tak, aby šlo pohledem zhodnotit kvalitu spoje. Například u kontaktu pro konektory *DTM* výrobce *Deutsch* je na konektoru umístěn inspekční otvor. Délka odizolovaného vodiče by měla být taková, aby bylo skrze otvor vidět vodič a zároveň aby malý kus vodiče za hranou konektoru byl také bez izolace. To zabezpečí dostatečný pohyb vodiče tak, aby nebylo žádné mechanické napětí mezi vodičem a kontaktem [23].

Krimpovaný kontakt má definovanou pevnost v tahu a je vhodné vytvořit si testovací spoj pro ověření správného lisování. Pevnost je definována v datasheetech kontaktů. Pro soustružené kontakty firmy *Deutsch*, nejen pro řadu *Autosport*, je definovaná optimální pevnost v tahu pro kontakt velikosti 20 (pro vodiče průřezu $0,75 - 1 \text{ mm}^2$) 89 N [24].

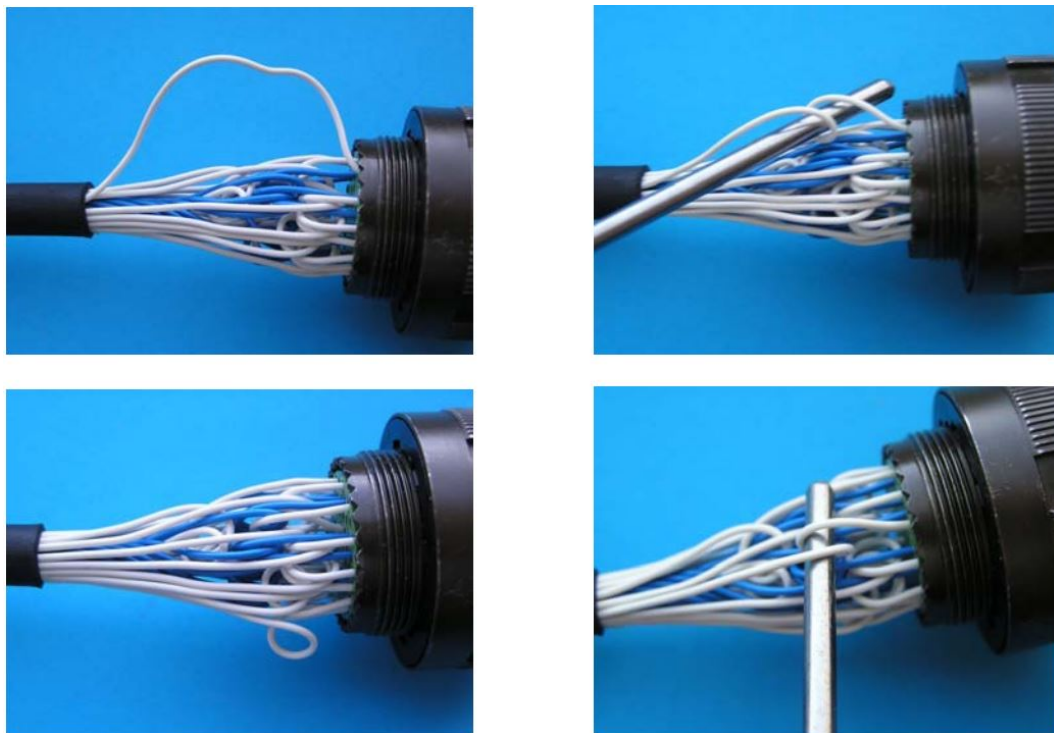
4.2 Servisní smyčky

Jedná se o postup, který slouží pro uvolnění mechanického napětí kabelu s nakrimpovanou koncovkou v konektoru. Zabezpečuje bezpečnou manipulaci s konektorem

aniž by některé z vodičů v konektoru trpěly zvýšeným namáháním. Dále také servisní smyčky prodlužují délku vodiče pro případné servisní účely. Tento postup se využívá převážně pro konektory s odnímatelnými kontakty. Jedná se o vytváření 360 °C servisních smyček na vodiči, který je ukončený nakrimpovaným kontaktem [25].

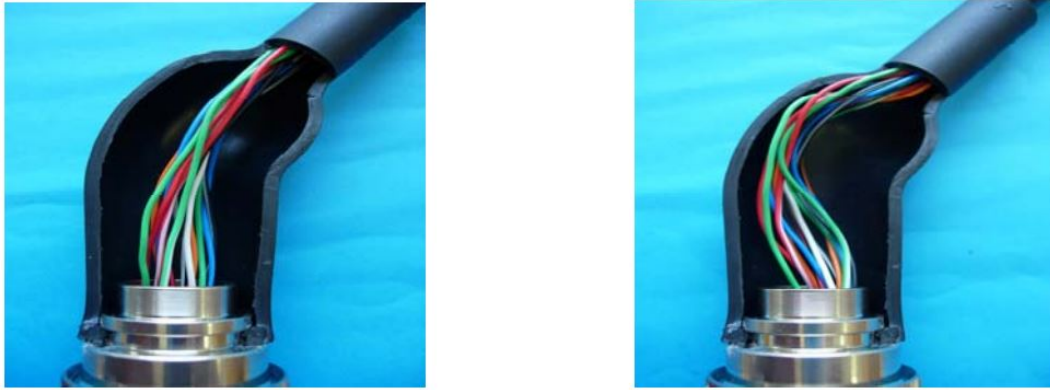
Před zahájením práce je třeba zvážit, zda je reálně možné provést servisní smyčky. Je třeba brát v úvahu typ konektoru a velikost jeho přechodky. Dále pak může provedení servisních smyček ovlivnit také průřez zvoleného vodiče. Pro vytvoření smyčky je dodavatelem *TE Connectivity* doporučován *Looping tool* průměru 3 mm, vystačit lze ovšem i s vhodným šroubovákem, případně s libovolným předmětem kruhového průřezu a dostatečného průměru.

Pro vytváření smyček u kruhových konektorů je doporučeno postupovat od středu postupně až k okraji konektoru, naopak u hranatých konektorů je doporučený postup postupně řada po řadě. Všechny smyčky by měly po dokončení směřovat dovnitř konektoru tak, aby zabíraly co nejméně místa v přechodce, jak je znázorněno na obr. 4.1.



Obrázek 4.1: Postup tvorby servisních smyček [25]

V případě, že není možné vytvoření servisních smyček, je třeba dbát na to, aby vodiče nebyly napnuté mezi konektorem a ukončením přechodky, jak ukazuje příklad na obr. 4.2.



Obrázek 4.2: Porovnání vhodného (vpravo) a nevhodného (vlevo) způsobu zakončení [25]

4.3 Concentric twisting

Concentric twisting je metoda doporučována firmou *TE Connectivity* [26] pro aplikace v motorsportu a to zejména z důvodu flexibility a spolehlivosti kabelového svazku. Není tedy odvozena z aplikací v leteckém a vojenském průmyslu. Jedná se o metodu, při které jsou vodiče použité v kabelovém svazku krouceny okolo jádra, které je tvořeno buďto jedním nebo více zakroucenými vodiči, případně předchozí vrstvou obtočených vodičů.

Tento způsob tvorby kabelového svazku má výhodu zejména v rovnoměrném rozložení napětí ve vodičích při ohýbání svazku a jeho lepší flexibilitě [27]. Oproti tomu volně položené vodiče jsou při ohýbání namáhány na vnější straně ohybu. Mezi další výhody patří minimální průřez takto vytvořeného kabelového svazku. Nevýhodou této metody je její vysoká časová náročnost. Při plánování vrstev je třeba zohlednit několik faktorů. Prvním faktorem je plánování vodičů do vrstev podle toho, jak je plánováno rozvětvení kabelového svazku. Dalším problémem mohou být různé tloušťky použitých vodičů v návrhu. V tomto případě je možné vyhnout se problému například tím, že bude využito více vodičů menšího průřezu místo jednoho silnějšího. Mimo časově náročného plánování je také delší proces výroby kabelového svazku. V porovnání s prostým uložením vodičů do ochranné bužírky, vyžaduje kroucení zvýšenou dávku trpělivosti a času.



Obrázek 4.3: Kabelový svazek vyrobený metodou concentric twisting [26]

Každá vrstva by měla mít svoje specifické stoupání jednotlivých vodičů, to by mělo být voleno mezi 8 až 16 násobkem průměru vrstvy [26]. Obecně lze vycházet z toho, že v každé vrstvě je vhodné použít o 6 vodičů více než v předchozí vrstvě a změnit směr stoupání vodičů. V praxi ovšem záleží na průměru použitých vodičů. V případě nedostatečného počtu vodičů ve vrstvě je vrstva doplněna o nezapojené vodiče, aby byl zachován kruhový průřez. Tyto vodiče lze ve svazku využít jako náhradní, případně pro budoucí použití. Pro fixaci vrstvy obtočených vodičů je vhodné použít plochou šňůru, pro kabelové svazky, jak ilustruje obr. 4.4 [11].



Obrázek 4.4: Zpevnění vrstvy vodičů omotáním šňůrou [26]

4.4 Splice

Je metoda, při které se spojují 2 a více vodičů dohromady. K tomu se využívá otevřených (obr. 4.5) nebo uzavřených (obr. 4.6) krimpovacích konektorů.



Obrázek 4.5: Open barrel splice [17]



Obrázek 4.6: Butt splice [17]

Využívá se především v případech, kdy je nutné rozdělit napájení z jednoho vodiče na všechny zařízení, nebo v případě uzemnění a napájení senzorů. Jedná se o krimpované spojení, postup je tedy stejný jako v případě krimpovaných kontaktů konektorů. Po nakrimpování je nutné izolovat vzniklý spoj smršťovací bužírkou.

4.5 Lepení

Pro zabezpečení dokonalé ochrany proti vlivům okolního prostředí je nutné zalepit teplem smrštitelné přechodky a bužírky v místech větvení kabelového svazku a v místech, kde je přechodka mezi konektorem a svazkem [11].

Dle doporučení výrobce [29] je třeba před zahájením lepení odmastit styčné plochy obou lepených částí. Dále pak smirkovým papírem dostatečné hrubosti zdrsnit povrch a následně nanést lepidlo a při smršťování přechodek postupovat pomalu a korigovat správnou polohu až do úplného smrštění. Na závěr je nutné otřít přebytečné lepidlo vytlačené z lepeného spoje. Takto zalepený spoj je maximálně spolehlivý a odolný vnějším vlivům.

4.6 Značení vodičů a vývodů

Pro značení vodičů lze volit konstrukci s použitím vodičů různých barev dodávaných výrobcem. Pokud se jedná o kusovou výrobu, tato varianta je nákladná z důvodu nákupu více barev vodiče stejného průřezu. Tyto vodiče je možné koupit v nejmenší možné délce 100 m. Alternativou je použít pouze vodiče jedné barvy (ideálně bílé) a každý vodič opatřit barevným kódem na jeho koncích. Tento způsob ušetří náklady na menší kabelové svazky, od každého průřezu je využívána pouze jedna cívka s vodičem.

Pro značení jednotlivých konektorů je vhodné použít tiskárnu na štítky, která umožňuje tisk na teplem smrštitelnou bužírku. takto připravený štítek je třeba na vývod kabelového svazku nasunout ještě před nakrimpováním kontaktů konektoru. Dále je vhodné přes smrštený popisek použít ještě čirou teplem smrštitelnou bužírku, která zabezpečí zvýšenou odolnost proti sedření popisku.

Na obrázku 4.7 je vidět označené vývody s použitím tiskárny na štítky.



Obrázek 4.7: Označené vývody lambda sond [11]

4.7 Nářadí

Při výrobě kabelového svazku je naprosto nezbytné používat správné pracovní postupy a zejména správné nářadí. Použití kvalitních materiálů je víceméně zbytečné, pokud se s nimi nepracuje správně. Mezi základní náčiní pro výrobu patří kleště na odizolování vodičů, správné krimpovací kleště na každý typ kontaktu, střižací kleště a horkovzdušná pistole. Dále pak běžný multimetr s dostatečně citlivou funkcí prozvánění vodiče, pro kontrolu zapojení a tiskárna štítků pro označování jednotlivých větví a vývodů kabelového svazku. Zmíněné nástroje se hodí pro běžnou výrobu dostatečně kvalitních kabelových svazků. Existují i preciznější nástroje, které využijí větší výrobci, případně dodavatelé pro automobilový, vojenský a letecký průmysl.

Využitím kleští pro odstranění izolace vodičů nedochází, při správném nastavení, k poškození vodiče pod izolací jako při neopatrném oříznutí zalamovacím nožem. Při odizolování stovek zakončení vodičů je navíc práce mnohem pohodlnější a bezpečnější. Na obrázku 4.8 jsou zobrazeny dostačující kleště pro práci na kabelovém svazku studentské formule.



Obrázek 4.8: Kleště pro odstraňování izolací z vodičů [17]

Pro správné krimpování je nezbytné disponovat krimpovacími kleštěmi na každý typ konektoru použitého na voze. Krimpovací kleště zajistí správné slisování kontaktu s vodičem tak, aby nedocházelo k jeho uvolnění a zároveň se udržel minimální přechodový odpor. Vhodné kleště jsou takové, které znemožní uvolnění kleští před dosažením bodu, kdy je kontakt slisován správnou silou. Pro krimpování kontaktů na voze studentské formule bylo využito univerzálních kleští na otevřené kontakty (obr. 4.10) a kleští na soustružené kontakty (obr. 4.9). Pro kabelová oka, splice, a vodiče se větším průřezem se využívá pákových kleští, které lisují kontakty do tvaru šestiúhelníku.



Obrázek 4.9: Krimpovací kleště na soustružené kontakty [17]



Obrázek 4.10: Krimpovací kleště na otevřené kontakty [17]

Nástřih délky kabelů je vhodné provést kleštěmi, které nedeformují konce vodičů a zajistí rovný střih.

Při využití teplem smrštitelných bužírek ať už pro izolaci vodičů, tak jako ochranu kabelového svazku, je nezbytné využít horkovzdušnou pistoli s regulací teploty (obr. 4.11). Regulace teploty je nezbytná z důvodu rozdílných teplot, při kterých se bužírky smršťují.



Obrázek 4.11: Horkovzdušná pistole [30]

5 Postup při návrhu elektroinstalace závodního vozu

Tento postup vychází ze sdílených zkušeností lidí zabývajících se závodními vozy, čerpaných z diskuzních fór. Dále pak z profilů společností v oboru (na sociálních sítích), kde často sdílí detailní foto v průběhu celé výroby a návrhu. Z největší části však ze zkušeností z realizace předchozích vozů studentské formule.

Pokud opomineme profesionální tovární motorsportové týmy, které mají k dispozici kompletní vývojová data sériového modelu, ze kterého vychází závodní speciál, je přístup při kusové stavbě, nebo přestavbě závodního vozu odlišný. Každý pilot očekává od svého vozu jiné vlastnosti a každý vůz je jiný i z pohledu typu motoru, rozměrů, použitých senzorů a akčních členů.

Prvním krokem při návrhu je vytvoření tabulky všech použitých komponent (řídících členů, akčních členů a senzorů). Je vhodné, aby tabulka obsahovala typ komponenty a její konektor, případně vhodné kontakty konektoru, pokud se počítá s využitím konektorů ze sériového vozu. Identifikace konektoru může být problematická a vyžaduje vyšší úsilí.

Tento krok je důležitý zejména z důvodu pozdějšího plánování, usnadní orientaci a nedojde k přehlédnutí špatně viditelného senzoru, například na motoru. Vhodné je také popsat přibližné umístění pro snadnější orientaci.

Dalším krokem v návrhu je rozmístění jednotlivých elektronických komponent, jejichž polohu neurčují pravidla soutěže (například bezpečnostní prvky) nebo použité sériové díly (například senzory na motoru). Rozmístění komponent je vhodné provést tak, aby byl kabelový svazek mezi nimi co možná nejkratší a zároveň se vhodně rozvětvoval. Vhodné je umístit například všechny prvky napájecích obvodů, jako jsou relé a pojistky, blízko sebe tak, aby se minimalizovala délka silových vodičů. Pokud je dostupný kompletní 3D model vozu a všech komponent, usnadní to pozdější plánování. Je možné si dopředu připravit uchycení pro každou komponentu a dopředu zjistit jestli se komponenta vejde na plánované místo.

Po rozmístění komponent je vhodné si navrhnout plán svazku, a to z pohledu jeho dělení a rozvětvení na jednotlivé části. Při návrhu je třeba zohlednit několik faktorů. Prvním z faktorů je snadná demontáž vozu při servisu. Díly, u kterých se počítá s častější demontáží je vhodné umístit na kabelovém svazku tak, aby se dala část svazku, na který jsou připojeny, odpojit co nejmenším počtem konektorů ideálně na jednom místě. Je tedy vhodné mít například motorový svazek odpojitelný přes jeden konektor umístěný většinou v motorové přepážce vozu.

6 Návrh kabelového svazku

Při návrhu kabelového svazku pro vůz studentské formule se vycházelo z postupu zmíněného v kapitole 2. V úvahu bylo potřeba brát personální kapacity týmu elektrikářů studentské formule a napjatý rozpočet projektu. Hlavním úkolem bylo tedy vytvořit dostatečně spolehlivý kabelový svazek a vybrat komponenty a materiály pro jeho realizaci tak, aby nezatěžoval rozpočet a byl rychle vyrobiteľný. Jelikož je cílem postavit celý funkční vůz studentské formule od návrhu, až po vůz připravený na závody, za méně než 10 měsíců, bylo třeba některé kroky návrhu přizpůsobit tomuto tempu.

6.1 Zpracování vstupních požadavků

Nejdůležitějšími vstupními požadavky jsou ty, které jsou určeny pravidly soutěže. Byla proto nastudována pravidla, podle kterých se konstruuje celý vůz studentské formule. Pravidla definují několik požadavků na elektronický systém, kterými je třeba se řídit.

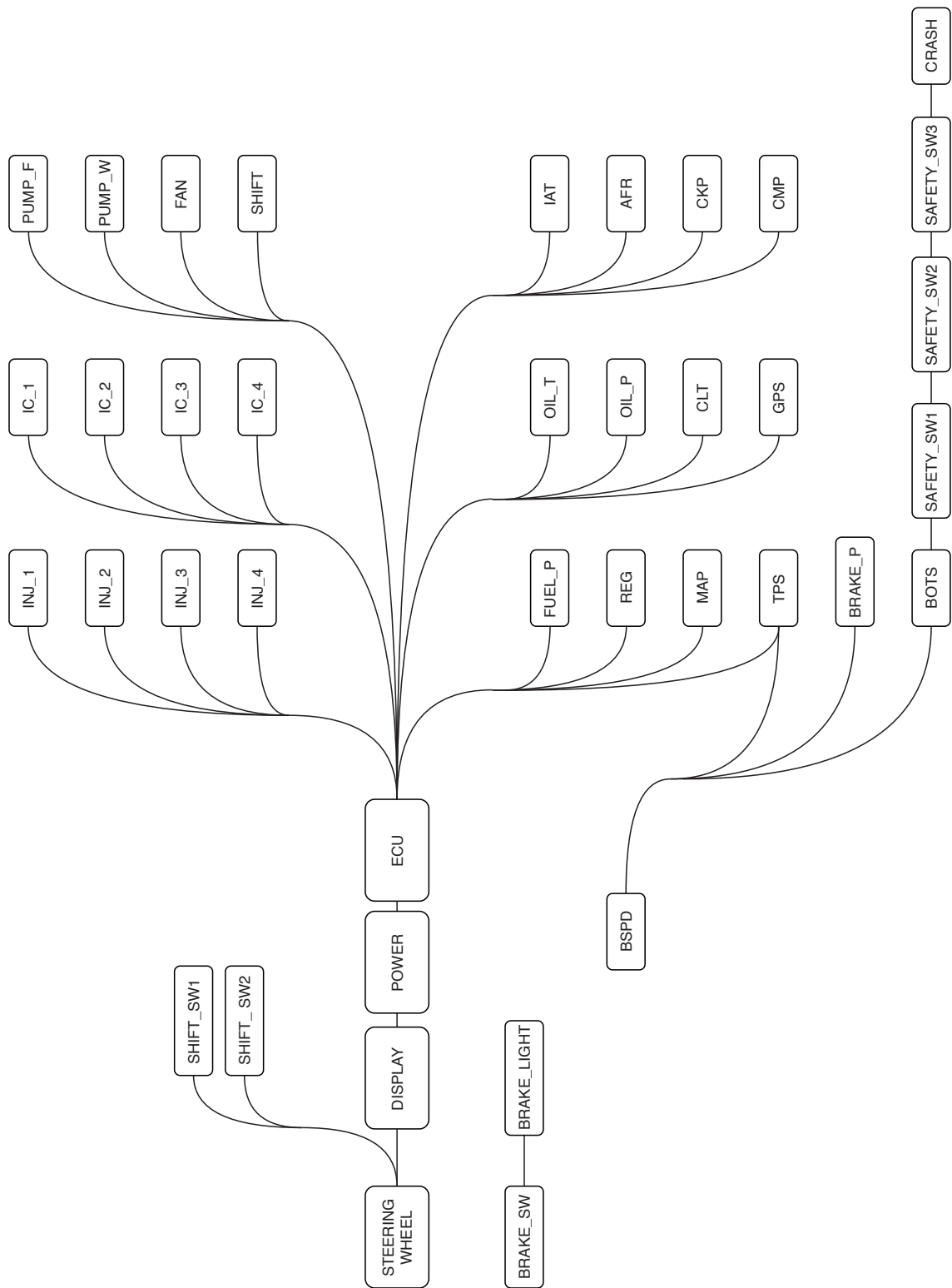
Elektronický systém musí být nízkonapěťový (do 60 VDC). Výjimku tvoří pouze systém vysokonapěťového zapalování, vstřikování a dobíjení. Vozidlo musí být vybaveno hlavním vypínačem (LVMS), umístěným na pravé straně vozidla, ve výšce ramene pilota. Hlavní vypínač musí být otočný, s minimální délkou kličky 50 mm a zároveň musí sloužit k odpojení celého napájení (baterie a alternátoru). Dále musí být vůz formule vybaven elektronickým bezpečnostním okruhem. Pro vypnutí motoru musí být ve voze použita dvě relé. Jedno z relé slouží pro spínání napájecího napětí pro palivové čerpadlo, druhé pro zapalovací cívky a vstřikovače. Cívky těchto relé jsou ovládány sériovým zapojením několika bezpečnostních komponent:

- 3 bezpečnostní otočné vypínače, 2 z nich jsou umístěny na hlavním oblouku za hlavou řidiče a jeden vypínač v kokpitu.
- *Brake over travel switch* (BOTS), který sepne v případě ztráty tlaku v brzdovém systému a prošlápnutí pedálu.
- Senzor přetížení, který sepne v případě nárazu.
- *Brake system plausibility device* (BSPD), který sepne v případě, že po dobu 500 ms nastane otevření škrticí klapky na více jak 25 % od volnoběžné polohy a silnému brždění s tlakem v brzděním okruhu nepřesahujícím 30 bar.

V případě sepnutí se tento stav může resetovat vypnutím a zapnutím hlavního napájecího přepínače nebo sám po 10 s. Zařízení pro tento účel nesmí obsahovat programovatelnou elektroniku.

Požadavky členů týmu byly zpracovány z pravidelných schůzí. Mezi ně patří například plně programovatelná řídicí jednotka, z důvodu úprav motoru. Je tedy nutné použít jednotku, která umožní přesné nastavení dávky paliva a úhel předstihu pro bezproblémový chod motoru. Dále je také nutné elektronicky řídit systém pneumatického řazení, který je ovládán pneumatickým rozvaděčem ovládaným 2 elektromagnetickými ventily. Cílem celého týmu byla také snadná demontáž celého vozu v případě oprav. Z důvodu zaručení jednoduché údržby by měl být kabelový svazek snadno demontovatelný.

Na základě vstupních požadavků bylo vytvořeno obecné blokové schéma zapojení elektroniky (obr. 6.1).



Obrázek 6.1: Obecné blokové schéma zapojení

6.2 Plánování vývoje

Vzhledem k tomu, že na konstrukci, stavbu a testování studentské formule je akademický rok včetně dvou zkuškových období, bylo nutné kompletní proces, od zpracování vstupních požadavků, po finální montáž do vozu, stihnout za 7 měsíců.

V podzimních měsících byla naplánována analýza požadavků a možná řešení. Analýza byla následována počátečním návrhem přizpůsobeným vývoji dalších částí vozu, při které byly již vybrány některé komponenty, které bylo nutné znát pro vývoj jiných částí formule. Jednalo se například o spínač brzdového světla, tlakový senzor v brzdovém okruhu, senzor tlaku oleje a další. Plánované dokončení elektroinstalace mohlo být dokončeno až po finální verzi sestavy. Etapa nákupu všech komponent byla naplánována na jaro, s dostatečnou rezervou pro dodání materiálu s delší dobou dodání.

Dostatečný čas byl naplánován pro přípravu výroby. Jedná se o čas, který bylo plánováno využít na výrobu částí, jako je například držák displaye, panel pro připevnění elektromagnetických relé nebo řídicí jednotky.

Na závěr byla naplánována výroba samotného kabelového svazku s dostatečnou časovou rezervou, z důvodu zvýšené přítomnosti členů týmu v dílně v tomto období. Pro nastavování a ladění elektroniky bylo plánováno období těsně před testováním. Časový harmonogram vývoje je znázorněn na obr. 6.2.

ÚKOLY	ŘÍJEN	LISTOPAD	PROSINEC	LEDEN	ÚNOR	BŘEZEN	DUBEN	KVĚTEN	ČERVEN
Zpracování vstupních požadavků	■								
Vývojový plán a plán prací	■								
Návrh možného řešení		■	■						
Revize a úpravy návrhu			■	■					
Finální verze návrhu					■				
Nákup komponent a materiálu						■			
Příprava výroby							■		
Výroba kabelového svazku								■	
Nastavování a ladění elektroniky									■
Testování									■

Obrázek 6.2: Časový harmonogram

6.3 Výběr komponent

Pro počáteční fázi návrhu je třeba si stanovit cíle, kterých by mělo být dosaženo a to především ve volbě komponent. Všechny komponenty jsou voleny s nejlepším poměrem cena/výkon, případně na kritických místech bylo použito kvalitních materiálů a elektroniky tak, aby elektroinstalace odpovídala požadavkům na spolehlivost. Elektroinstalace se skládá z několika hlavních částí, mezi které patří řízení motoru a jeho součástí, vizualizací dat pro řidiče, případně mechaniky, loggování jízdních dat a bezpečnostní obvod, který je vyžadován pravidly soutěže.

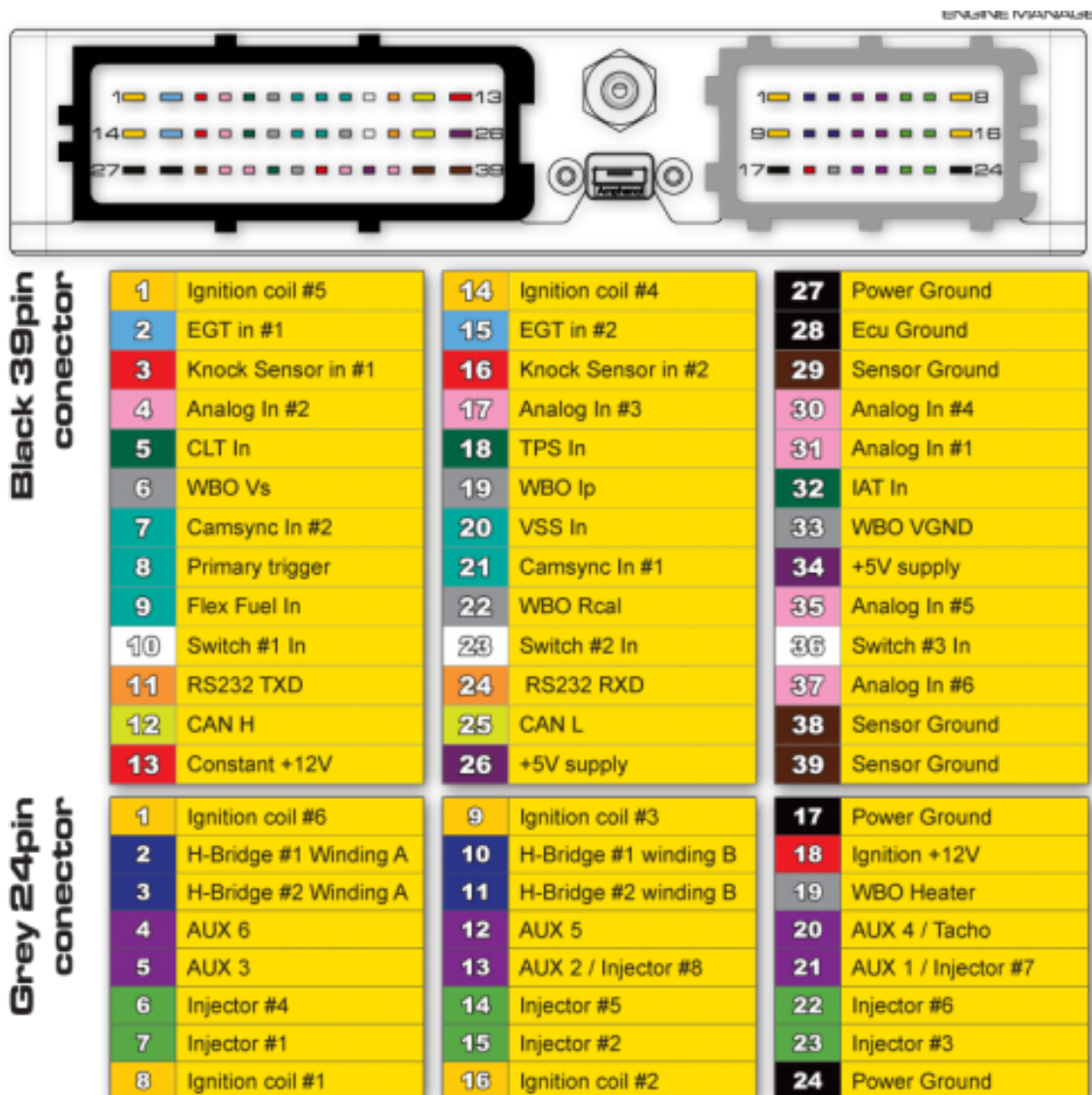
6.3.1 Řídicí jednotka motoru

Jednoznačně nejdůležitější komponentou závodního vozu je bezesporu řídicí jednotka motoru. Ta se dá použít sériová nebo speciální závodní, plně programovatelná s množstvím funkcí navíc oproti sériové řídicí jednotce. Volba záleží na množství úprav motoru a okolních periferií motoru. Vzhledem k mnohým úpravám motoru, které jsou nutné pro maximální výkon zohledňující pravidla soutěže, a také pro řízení ostatních elektronických částí vozu, byla zvolena možnost použít plně programovatelnou závodní jednotku. Její hlavní úlohou je řízení dávky paliva a řízení zapalování tak, aby bylo docíleno efektivního chodu motoru. Mezi další funkce patří monitorování chodu motoru, ať už nezbytné pro chod motoru, tak pro jeho bezpečný provoz. Proto jsou do jednotky zapojeny senzory pro měření teploty, tlaku, polohy a dalších veličin. Další důležitou funkcí řídicí jednotky jsou digitální vstupy a výstupy. Vstupy umožňují připojit například tlačítka. Digitální výstupy umožňují spínat aktivní prvky, jako jsou cívky solenoidů nebo relé. Pro komunikaci s okolím jsou řídicí jednotky vybaveny komunikačními sběrnici. Nejčastěji se jedná o sběrnice CAN a RS232.



Obrázek 6.3: Řídicí jednotka motoru Ecumaster EMUBlack [31]

Pro řízení motoru byla zvolena řídicí jednotka ECUMASTER EMU BLACK [31] (na obr. 6.3). Její funkce byly ověřeny v minulé závodní sezóně a vyhovuje také z pohledu dostupnosti a podpory českého zastoupení. Tato řídicí jednotka disponuje všemi nezbytnými funkcemi pro provoz motoru a dalších elektrických systémů. Kromě řízení motoru je využita například pro řízení pneumatického systému řazení, elektrického vodního čerpadla a ventilátoru chlazení. V tabulce jsou popsány všechny vstupy a výstupy použité řídicí jednotky. Jednotka také disponuje integrovaným senzorem tlaku v sání, není tedy nutné používat speciální senzor.



Obrázek 6.4: Vstupy a výstupy řídicí jednotky [31]

Na obr. 6.4 je možné vidět, že jednotka disponuje několika skupinami vstupů a výstupů. Sensorické vstupy řídicí jednotky mají oddělenou sensorickou zem, všechny zemnicí kontakty sensorů je tedy nutné připojit přímo do řídicí jednotky, která disponuje několika piny pro tento účel. V případě použití aktivních sensorů vyžadujících napájení je jednotka vybavena napájecími výstupy 5 V. Základní nutné senzory pro provoz motoru a některé speciální senzory mají definované vstupy již z výroby, zbytek sensorů je možné libovolně připojit na analogové vstupy.

6.3.2 Display

Pro účely zobrazování provozních informací je třeba vybavit vozidlo zařízením, které je možné snadno integrovat do elektrického systému. Pro účely závodního režimu je

třeba zobrazovat pouze nezbytné informace pro řidiče. Nejdůležitější informací pro řidiče je aktuální zařazený stupeň převodovky a shift-light, který upozorňuje na nejvhodnější okamžik pro zařazení vyššího rychlostního stupně. Další nezbytnou součástí je informace o poruše vozu a hrozícím poškození motoru. Pro testování vozidla a pro režimy mimo závodění je naopak vhodné zobrazovat více informací o aktuálním stavu vozidla. Výhodou je možnost okamžitého odečtení hodnoty a není nutné připojovat notebook s programem pro programování řídicí jednotky. Převážně se jedná o hodnoty teplot různých částí motoru, poloha natočení klapky a další.



Obrázek 6.5: Display Ecumaster ADU5 [32]

Byla zvolena zobrazovací jednotka ECUMASTER ADU5 [32]. Tato jednotka má několik výhod oproti předešlému displeji Aim MXS [33]. Hlavní výhodou je jeho cena, která je přibližně poloviční. Další podstatnou výhodou je editace grafické displeje v reálném čase. Technik tedy nemusí po každé úpravě nahrávat do displeje novou konfiguraci. Display je také jeden z nejrychlejších co se týče doby jeho startu, ta se pochybuje okolo jedné sekundy. ADU5 umožňuje kromě zobrazení informací také datalogging jak ze sběrnice CANbus [34], tak ze svých vstupů. Je tedy možné využít ho jako logovací zařízení. Výstupní data jsou ukládána na USB flash disk a je možné je vyhodnotit v softwaru dodávaného s displejem zdarma.

Displej je vybaven pro komunikaci dvěma nezávislými sběrnici CAN2.0B a sériovou linkou. Dále je vybaven několika analogovými vstupy 0–5 V a několika digitálními vstupy, které je možné využít také jako frekvenční vstupy. Maximální vzrokovací frekvence všech vstupů je 500 Hz. Displej také disponuje dvěma výstupy typu *open collector*. Je tedy možné spínat pomocí těchto výstupů relé, případně je použít pro externí LED indikaci například poruchového stavu.

6.4 Výběr materiálů

Výběr materiálu se týká především výběru vhodných produktů pro výrobu a kompletaci samotného kabelového svazku. Jedná se o výběr tří nejdůležitějších komponent – vodičů, konektorů a ochrany proti vnějším vlivům. Při výběru byly zohledněny, jak technické parametry materiálů, tak cena. Vhodnou kombinací je možné dosáhnout dostatečně spolehlivého kabelového svazku za dobrou cenu.

6.4.1 Výběr vodičů

Vodiče v kabelovém svazku budou použity pouze v jedné barvě, tímto způsobem je možné ušetřit finanční prostředky nezbytné pro nákup několika barev vodiče stejného průřezu. Každý vodič bude označen barevným kódem z předpřipravených barevných, teplem smrštitelných bužírek. Pro porovnání byly zvoleny běžně dostupné vodiče a porovnána byla jejich cena pro nejpoužívanější průřez vodiče 0,75 mm², kterého bylo v předchozích letech spotřebováno největší množství.

Tabulka 6.1: Porovnání několika druhů kabelů

Produkt	FLRY	ÖLFLEX	Spec 44	Spec 55
Materiál izolace	PVC	Silikon	PVDF	ETFE
Maximální teplota	105 °C	180 °C	150 °C	200 °C
Samozhášecí	ANO	ANO	ANO	ANO
Odolnost palivu	ANO	ANO	ANO	ANO
Odolnost oleji	ANO	ANO	ANO	ANO
Oděruvzdornost	Nižší	Nižší	Vysoká	Vysoká
Pocínovaný vodič	NE	ANO	ANO	ANO
Průměr kabelu	1,9 mm	2,4 mm	1,65 mm	1,52 mm
Cena	4,18 Kč/m	11,26 Kč/m	30,64 Kč/m	16,02 Kč/m

V tabulce 6.1 je porovnání vodičů několika výrobců s izolací z různých materiálů. Z vybraných vodičů pro porovnání byl vyhodnocen vodič z řady Spec 55 výrobce *TE Connectivity* jednoplášťovou izolací. I přes vyšší cenu za metr, se vyplatí především kvůli vysoké mechanické odolnosti a malému průměru. Vzhledem k očekávané velikosti kabelového svazku nebude v ceně závratný rozdíl. Při porovnání ceny menších průřezů jsou rozdíly v ceně ještě menší.

6.4.2 Výběr ochrany svazku

Nejdůležitější částí ochrany kabelového svazku byla volba teplem smrštitelných bužírek. Výrobci nabízí poměrně široký výběr produktů s různými úrovněmi ochrany. Standardem je bužírka DR-25 výrobce *Raychem*. Nevýhodou tohoto produktu je vyšší cena. V porovnání jsou zahrnuty ceny za průměr bužírky bez lepidla, před smrštním ¼ palce (zhruba 6,4 mm). Z tabulky 6.2 je patrné, že jsou materiály vyráběné především ze dvou materiálů. Polyolefin je levnější variantou. Mezi jeho

nevýhody patří nižší mechanická odolnost a odolnost nižší teplotě. I přes tyto nevýhody je ovšem vhodný pro výrobu kabelového svazku. *Elastomer* vyniká svojí teplotní odolností a mechanickou odolností. Další výhodou je jeho pružnost i po smrštění. I přes vyšší cenu byla zvolena smršťovací bužírka *Raychem DR-25*, především kvůli očekávané délce svazku. V případě, že by kabelový svazek obsahoval více delších větví například pro senzory, bylo by vhodné volit levnější bužírku, například *CB-HFT* od výrobce *Cyg*. Mechanickou odolnost lze zvýšit použitím bužírky, která má průměr po smrštění jen o něco menší než je průměr kabelového svazku. Porovnání vybraných produktů je v tab. 6.2

Tabulka 6.2: Porovnání smršťovacích bužírek

Produkt	CB-HFT	TF31	FIT600	DR-25	SE28
Materiál	Polyolefin	Polyolefin	Elastomer	Elastomer	Elastomer
Max. teplota	125 °C	135 °C	121 °C	150 °C	150 °C
Poměr smrštění	2:1	3:1	1,75:1	2:1	2:1
Samozhášecí	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Odolnost palivu	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Odolnost oleji	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Oděruvzdornost	Nízká	Nízká	Vysoká	Vysoká	Vysoká
Cena	8,10 Kč/m	65 Kč/m	303 Kč/m	153 Kč/m	223 Kč/m

6.4.3 Výběr konektorů

V kapitole 3.3.3 byly zmíněny konektory *Autosport*. Tyto konektory jsou nejlepší možnou volbou, co se týče kvality. Bohužel tomu odpovídá jejich cena. V porovnání v tab. 6.3 je přehled konektorů, u kterých byl známý počet cyklů spojení a rozpojení. Na předešlých vozech studentské formule byly použity konektory *Superseal* výrobce *TE Connectivity*, které jsou poměrně levnou variantou utěsněného spojování svazku. Problémem však byla jejich velikost a maximální počet kontaktů. Střední cestou ve volbě konektorů jsou konektory z řady *DT* výrobce *Deutsch*. Tato řada nabízí několik velikostí konektorů s maximálním počtem 12 kontaktů. Vynikají také v počtu cyklů spojení a rozpojení. Tento údaj je důležitý, protože je očekávána častá demontáž formule.

Tabulka 6.3: Porovnání konektorů

Produkt	Ampseal	Superseal	DT	Autosport
Počet kontaktů	8–35	1–6	2–12	1–61
Max. proud	17 A	14 A	25 A	20 A
Max. teplota	125 °C	125 °C	125 °C	170 °C
Počet cyklů spojení	10	10	100	100

6.5 Zapojení kabelového svazku

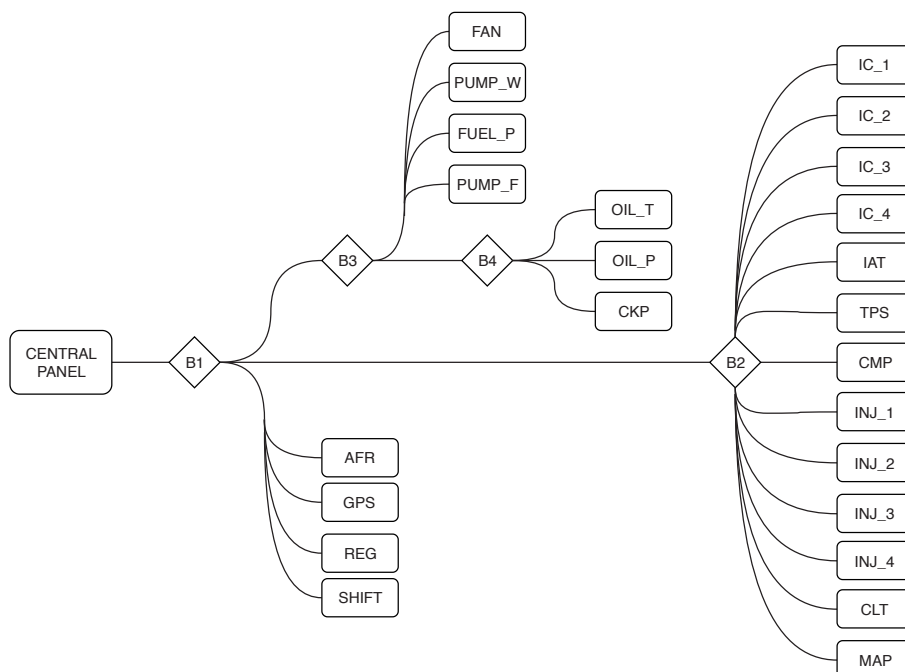
Po diskuzích s členy týmu bylo rozhodnuto rozdělit kabelový svazek na 3 části z důvodu snadné demontáže. Centrální panel s řídicí jednotkou a rozvodem napájení, svazek pro přední část vozu a motorový svazek.

6.5.1 Centrální panel

První částí kabelového svazku je napájecí část s řídicí jednotkou motoru. Ta se skládá z pojistkové skříňky, řídicí jednotky a elektromagnetických relé pro ovládání vodního čerpadla, ventilátoru chladiče, palivové pumpy, ovládacích napětí pro řídicí jednotku a display a 2 relé bezpečnostního okruhu. Vzhledem k tomu, že je potřeba v různých částech kabelového svazku vést napájení akčních členů a zároveň jejich ovládání, které zajišťuje řídicí jednotka motoru, je vhodné celou tuto část umístit pohromadě na jedno místo tak, aby sloužila jako propojovací uzel mezi přední a zadní částí svazku.

6.5.2 Motorový svazek

Zapojení motorového svazku bylo voleno dle zkušeností z předchozích let. Jednalo se především o připojení senzorů a akčních členů tak, aby bylo možné řídit vybranou řídicí jednotkou. Napájení aktivních senzorů je řešeno přímo z řídicí jednotky, která disponuje také senzorickou zemí. Zapojení konektorů řídicí jednotky motoru je v tab. 6.4. Obecné schéma motorového svazku s body rozvětvení (Bx) je na obr. 6.6.



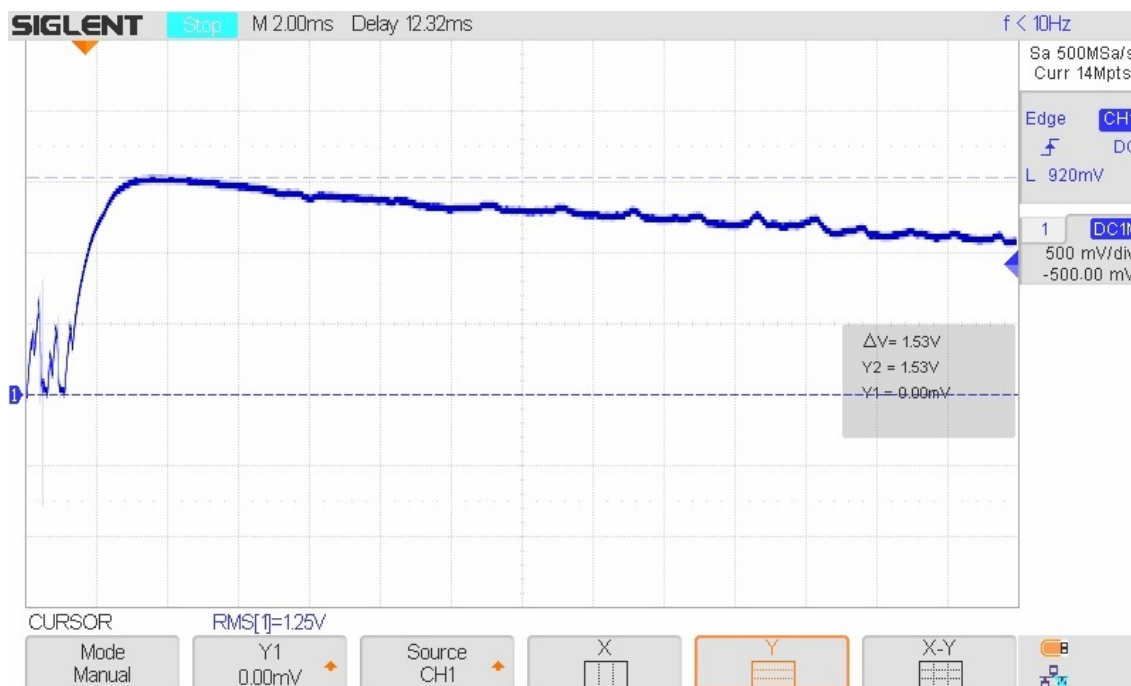
Obrázek 6.6: Návrh rozvětvení motorového svazku

Tabulka 6.4: Zapojení konektorů řídicí jednotky EMU BLACK

Black 39 pin connector			Grey 24 pin connector		
Pin #	Name	Function	Pin #	Name	Function
4	Analog in #2	shift buttons	1	IC_6	
5	CLT In	CLT	2	H-Bridge #1 A	
6	WBO Vs	WBO Vs	3	H-Bridge #2 A	
8	Primary trigger	CKP	4	AUX 6	ShiftDOWN
12	CAN_H	CAN_H	5	AUX 3	Fuel Pump
13	12V	12V	6	INJ_4	INJ_4
14	IC_4	IC_4	7	INJ_1	INJ_1
17	Analog in #3	Oil pressure	8	IC_1	IC_1
18	TPS in	TPS	9	IC_3	IC_3
19	WBO lp	WBO Ip	12	AUX_5	Shift UP
21	Camsync #1	CMP	15	INJ_2	INJ_2
22	WBO Rcal	WBO Rcal	16	IC_2	IC_2
25	CAN_L	CAN_L	17	Power GND	GND
26	5V Supply	SNS supply	18	IGN_12V	IGN Switch
27	Power GND	GND	19	WBO Heater	WBO Heater
28	Ecu GND	GND	20	AUX_4	Coolant FAN
29	SNS GND	SNS GND	21	AUX_1	Coolant pump
30	Analog in #4	Oil temp	23	INJ_3	INJ_3
32	IAT in	IAT	24	Power GND	GND
33	WBO VGND	WBO VGND			
34	5V Supply	Sns supply			
35	Analog in #5	Gear position sensor			
38	SNS GND	Sns GND			
39	SNS GND	Sns GND			
39	SNS GND	Sns GND			

Kabel pro napájení startéru motoru byl veden samostatně a vzhledem k neznámému startovacímu proudu bylo nutné naměřit startovací proud. Jelikož se jedná o špičkový proud a záleží na jeho průběhu, bylo nutné použít osciloskop s proudovou sondou. Na obr. 6.7 je vidět průběh proudu při použití proudové sondy 10 mV/A.

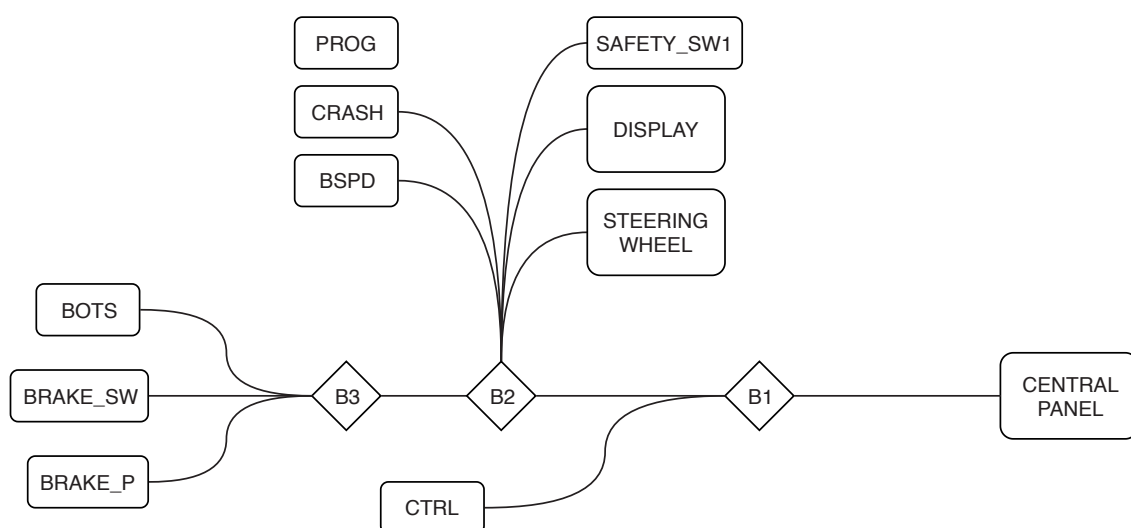
Z měření bylo vidět, že startovací proud dosahuje ve špičce hodnoty okolo 150 A. Při uvažovaném maximálním poklesu napájecího napětí o 2 %, byl zvolen kabel průřezu 16 mm² [35], který disponuje dostatečnou proudovou rezervou.



Obrázek 6.7: Startovací proud (sonda 10 mV/A)

6.5.3 Přední svazek

Přední kabelový svazek primárně slouží k připojení senzorů z přední části vozu, propojení bezpečnostního okruhu a připojení displaye. Display zobrazuje data ze sběrnice CAN bus. Data posílá řídicí jednotka motoru. Na obr. 6.8 je obecné blokové schéma s body rozvětvení (Bx).



Obrázek 6.8: Návrh rozvětvení předního svazku

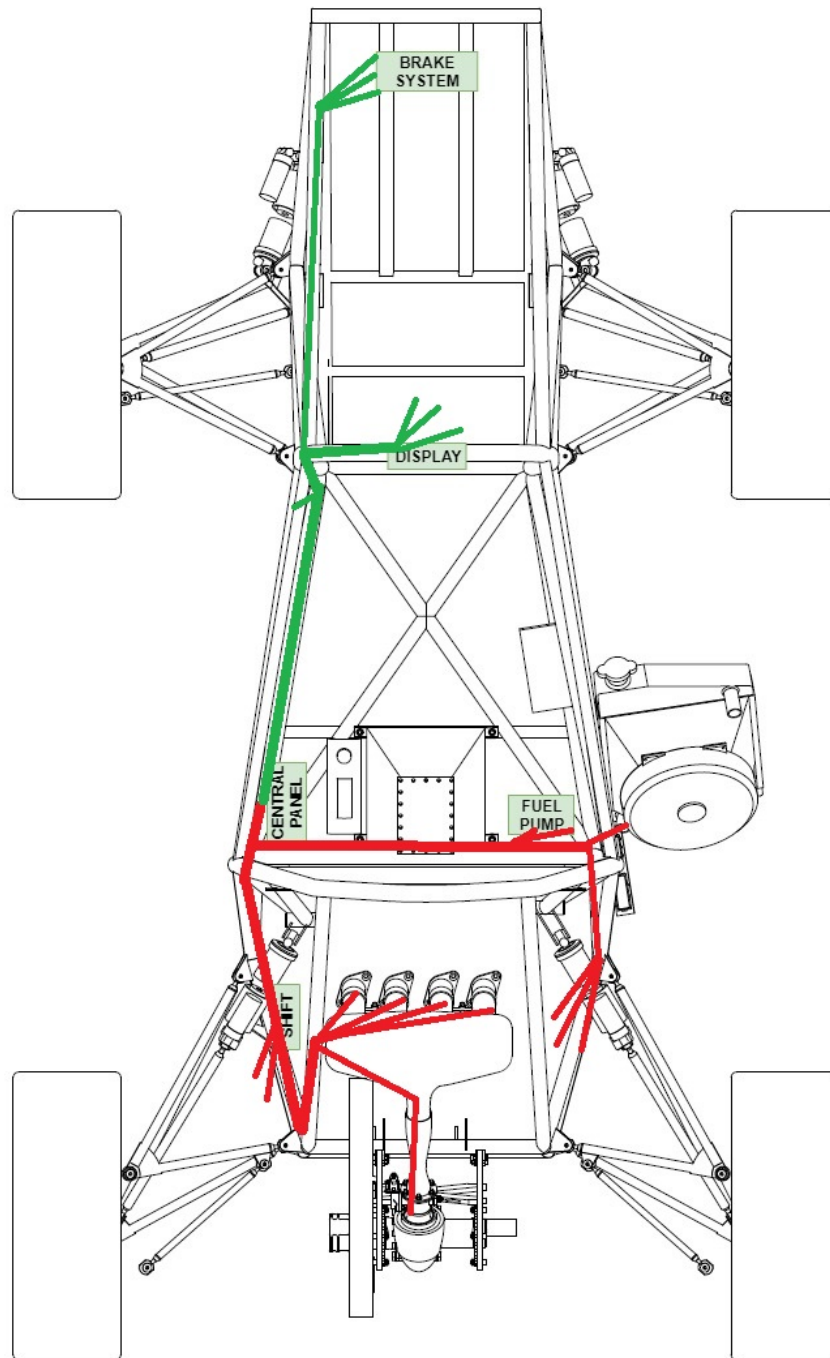
6.6 Návrh tras kabelového svazku

Rozmístění většiny komponent bylo známo již od začátku. Jednalo se například o senzory a akční členy motoru, senzory náležící k brzdovému systému, elektronika volantů a display. Zbylé komponenty bylo třeba umístit na vhodné místo tak, aby se vešly bez problému a byl k nim dobrý přístup.

Centrální napájecí panel s řídicí jednotkou motoru byl tedy umístěn pod sedačku řidiče, nalevo od palivové nádrže. V tomto místě bude sloužit jako propojovací uzel motorového kabelového svazku a předního svazku.

Pro návrh rozvětvení kabelového svazku byl použit online software pro tvorbu blokových diagramů *draw.io*. V prvním kroku bylo promyšleno větvení motorového kabelového svazku tak, aby se jeho části zbytečně moc neohýbaly a nebyly vedeny zbytečně dlouhou trasou. Motorový svazek (obr. 6.6) se tedy dělí na dvě základní větve. Jedna větev byla vedena za nádrží podél motorové přepážky, kde se na ní napojují čerpadla (vodní, palivové), ventilátor chladiče a senzory (tlak oleje, teplota oleje, poloha klikové hřídele). Všechny tyto komponenty jsou na pravé straně formule, bylo by tedy zbytečné zvolit trasu levou stranou s druhou větví svazku. Druhá větev svazku byla vedena za levým ramenem řidiče, podél rámu dozadu, kde byla rozdělena na dva podsvazky. Jeden pro připojení pneumatického rozvaděče řazení a regulátoru dobíjení. Druhý podsvazek byl dále rozdělen na zbytek sensorů a akčních členů motoru z jednoho bodu tak, aby byla ušetřena práce při výrobě. Součástí této větve byla také část bezpečnostního okruhu, konkrétně dvě stop tlačítka umístěná na hlavním oblouku.

Pro přední část kabelového svazku (obr. 6.8) byla zvolena trasa podél boční trubky a rozvětvení u předního oblouku, kde byla část kabelů rozdělena směrem k nohám řidiče, kde slouží pro připojení BOTS a sensorů (tlak v brzdovém okruhu, brzdového pedálu). Druhá větev předního kabelového svazku slouží pro připojení komponent kolem displaye (tlačítka kokpitu a stop tlačítka, volant s pádly, senzor nárazu a programovací konektor). Na obr. 6.9 jsou naznačeny trasy předního kabelového svazku (zeleně), a motorového svazku (červeně).



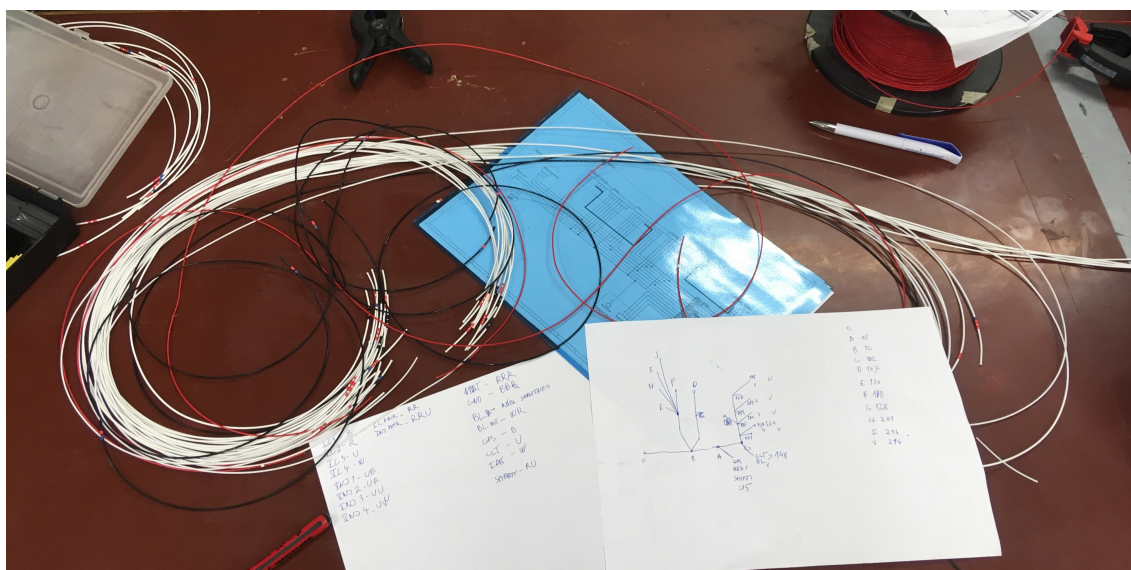
Obrázek 6.9: Trasy kabelového svazku

7 Výroba

Výroba kabelového svazku byla provedena v dílně týmu studentské formule za pomoci celého týmu elektroniků. Při výrobě bylo dbáno na správné výrobní postupy. Celý svazek byl tedy vyroben metodou concentric twisting a omotán kevlarovou plochou šňůrou. Části rozvětvení byly izolovány pomocí kaptonové pásky.

7.1 Přípravné práce

Nejprve bylo provedeno měření potřebných délek vodičů a částí svazku. Následně příprava a roztřídění všech potřebných komponent pro kompletaci (obr. 7.1).



Obrázek 7.1: Přípravné práce

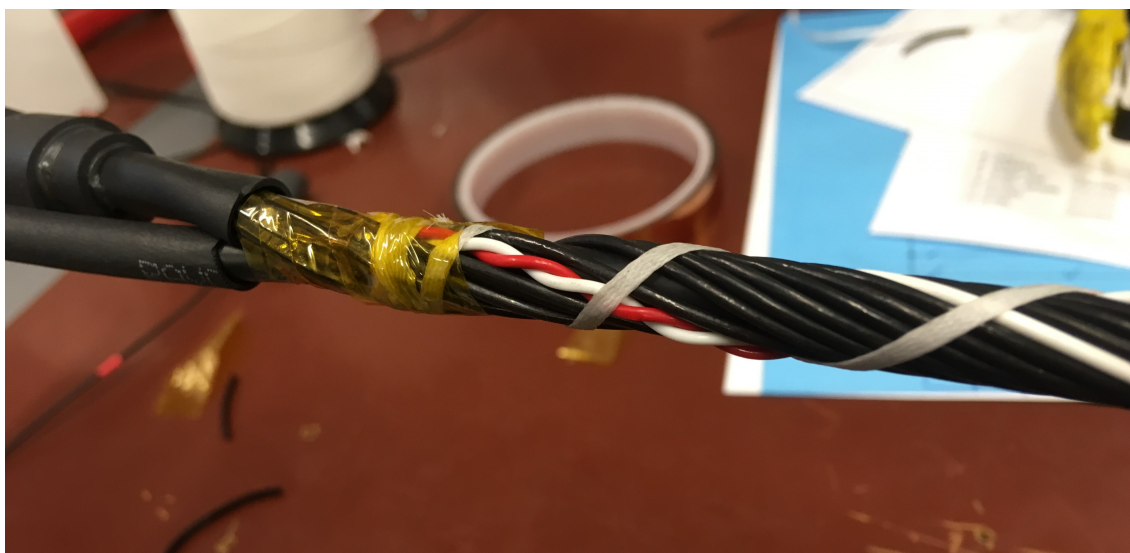
V rámci přípravných prací byl vyroben centrální panel pro řídicí jednotku, pojistkovou skříňku a elektromagnetická relé. Tento panel byl osazen všemi komponenty, zapojen dle schématu a namontován na svoje místo vlevo, pod sedačkou řidiče (obr. 7.2). Pro značení vodičů bylo připraveno několik barevných smršťovacích bužírek, nastříhaných na přibližně 2 mm kroužky. Dále byly nastříhány vodiče na požadované vzdálenosti s přídavkem přibližně 20 % délky vodiče z důvodu použité metody concentric twisting. Následně byly vodiče označeny.



Obrázek 7.2: Připevněný centrální panel

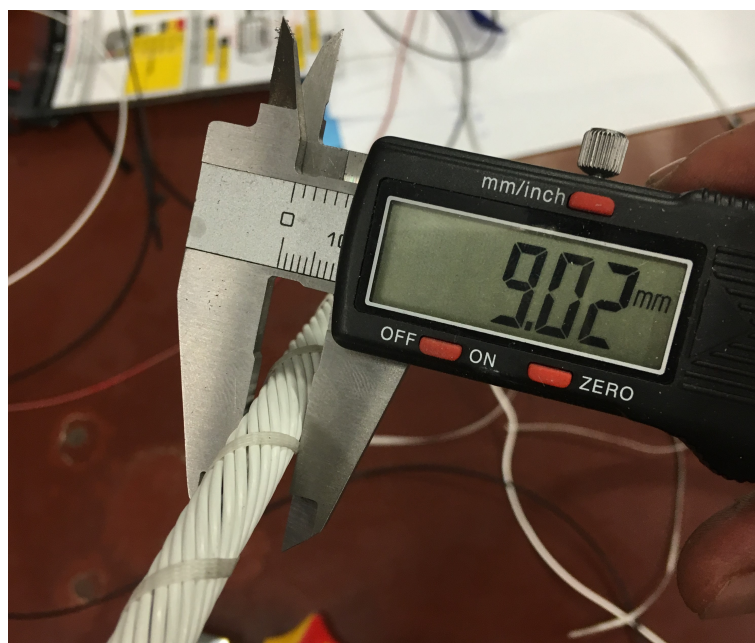
7.2 Výroba kabelového svazku

Proces výroby byl zahájen výrobou předního svazku, který se zdál být jednodušší. Vzhledem k malému počtu vodičů, pouze v jedné vrstvě (obr. 7.3), nebylo třeba složitějšího plánování. Jako centrální kabel, který se omotává první vrstvou, byl zvolen USB prodlužovací kabel od řídicí jednotky, kvůli svojí největší tloušťce. Vzhledem k jednoduchosti svazku, byl nejprve osazen největší konektor, který slouží k připojení k centrálnímu panelu. od tohoto konektoru bylo pokračováno až po jednotlivá rozvětvení.



Obrázek 7.3: Detail výroby předního kabelového svazku

Postup při výrobě motorového svazku byl stejný s tím rozdílem, že byl zvolen opačný postup a bylo postupováno směrem od konektorů pro senzory k hlavním konektorům. Jako centrální kabel/y byly zvoleny stíněné dvojlinky pro magnetické senzory. Výsledná tloušťka motorového svazku, v místě s největším průměrem, byla přibližně 9 mm (obr. 7.4). V této části obsahuje svazek 24 kabelů ve dvou vrstvách a jádro ze dvou kroucených stíněných dvojlinek.



Obrázek 7.4: Průměr části kabelového svazku

Během práce bylo nutné před každým rozvětvením svazku nasadit na svazek smršťovací bužírku, neboť po rozvětvení už to nebylo možné. Nakonec byly jednotlivé vývody označeny smršťovací bužírkou s potiskem (obr. 7.5), osazeny konektory a přes všechna rozvětvení a konektory zatáhnuty smršťovací bužírky. Kompletní svazek je na obr. 7.6.



Obrázek 7.5: Část motorového svazku s označenými vývody (žlutě)



Obrázek 7.6: Kompletní kabelový svazek (přední i motorová část)

8 Shrnutí poznatků

Při návrhu kabelového svazku byly využity poznatky z analýzy oblasti návrhu kabelových svazků. Postup zmíněný v kapitole 2 byl jasným návodem pro návrh.

Zvolené materiály pro stavbu se osvědčily. Vzhledem k malé velikosti svazku by v případě použití levnějších materiálů byla pouze malá úspora.

Při výrobě bylo využito informací nabytých z průzkumu pracovních postupů zmíněných v kapitole 4. Některé pracovní postupy byly dodrženy, některé nahrazeny, případně upraveny pro vybrané komponenty.

Z důvodu finanční náročnosti byly smrštitelné přechodky nahrazeny prostými smršťovacími bužírkami s lepidlem, které se jevily jako dostatečné řešení. Nakonec se ale ukázalo, že použité lepidlo přímo v bužírkách nebylo dostatečně silné na to, aby udrželo bužírku na konektoru a zároveň není dostatečně teplotně odolné. V místech styku s motorovým blokem vytékalo ze smršťené bužírky. Nápravou by mohlo být zvolení dostatečně pevné smršťovací bužírky bez lepidla a použití pružného dvousložkového lepidla.

Kabelový svazek byl vyroben metodou concentric twisting. Byly ověřeny vlastnosti takto vyrobeného kabelového svazku, především jeho flexibilita. Nevýhodou tohoto způsobu výroby je velmi vysoká časová náročnost. Řešením je kroutit pouze koncové vývody kabelového svazku tak, aby byla zachována flexibilita. Pro ostatní části kabelového svazku s vyšším počtem kabelů je prosté uložení do smršťovací bužírky dostatečné.

Vzhledem k otázkám v disciplíně *Engineering Design Report*, kde v podstatě kabelový svazek, jako takový, není nijak speciálně hodnocen, je lepší obětovat některé z metod výroby a čas investovat do vývoje elektronických jednotek, akčních členů nebo integraci dalších senzorů a zpracování dat z nich. Kvalitní kabelový svazek však vždy bude nezbytnou podmínkou pro správnou funkčnost celého vozidla.

Závěr

Cílem práce bylo navrhnout a vyrobit kabelový svazek pro vůz studentské formule dle analýzy procesu návrhu, pracovních postupů a elektronických komponent. Cíle práce byly splněny. Na základě vstupních požadavků byl vyroben kabelový svazek, který byl instalován v monopostu Formule Student pro sezónu 2019 [36]. Během testování formule se vyskytlo několik problémů s elektroinstalací.

Prvním problémem byl stále zapnutý, blikající display. Po revizi zapojení se ukázalo, že tento stav způsobuje nevhodně zvolené napájení řadicího mechanismu. Programovatelné výstupy řídicí jednotky totiž byly schopné v nesepnutém stavu (12 V na ovládacím pinu) napájet display. Tento problém byl vyřešen oddělením napájení řazení od spínání napájení pro řídicí jednotky.

Dalším problémem bylo nenadálé vypnutí veškeré elektroniky a nemožnost jí zapnout během testování. Po několikahodinovém měření na místě se ukázalo že problémem bylo špatné ukostření rámu. Na testovacím polygonu byl problém vyřešen přidáním zemnicího vodiče tak, aby bylo možné dokončit testování. Až v dílně se při rozebrání ukázalo, že obroušený zemnicí bod pro očko byl opět nalakován, tím pádem zde nebylo dokonalé spojení oka s rámem.

I přes tyto počáteční problémy byl nakonec vůz provozuschopný a zúčastnil se dvou závodů v Itálii [37] a České Republice [38].

Literatura

- [1] *Formula Student Germany: International Design Competition* [online]. SRN: Formula Student Germany, 2019 [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: <https://www.formulastudent.de/fsg/>
- [2] Formula Student Rules 2020. In: *Formula Student Germany: International Student Competition* [online]. SRN: Formula Student Germany, 2020 [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2020/rules/FS-Rules_2020_V1.0.pdf
- [3] Benefits And Applications Of Automotive Wire Harnesses. *MIRACLE* [online]. India, c2020 [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: <https://www.miracle.net.in/blog/benefits-applications-automotive-wire-harnesses/>
- [4] DEFINING WIRE HARNESS. *Wunsch Technologies* [online]. USA, c2020 [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: <http://wunschtech.com/wire-harness/>
- [5] LEGERE, Bob. *CABLE ASSEMBLY AND A WIRING HARNESS: WHAT'S THE DIFFERENCE?* [online]. USA, c2020, 19.3.2018 [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: <https://www.iconnsystems.com/blog/cable-assembly-vs.-wire-harness>
- [6] PRADHAN, Ajay. Current Trends in Automotive Wire Harness Design. In: *International Conference on Mechanical, Production and Automobile Engineering (ICMPAE'2011)*. Pattaya, 2011.
- [7] POUYANNE, Elisa. Driving wiring harness design data toward manufacturing. *Connector Specifier: Wiring Harness Innovations* [online]. [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: <https://cfibermfg.com/WiringHarnessGuide.pdf>
- [8] PRADHAN, Ajay. *Optimising the Design of Wiring Harness*. Pune, 2016. D Y Patil College Of Engineering.
- [9] NASA. *Design and Development Guidelines For Spaceflight Electrical Harnesses: 565-PG-8700.2.1B*. 2005. Dostupné také z: <https://snebulos.mit.edu/projects/reference/NASA-Generic/565-PG-8700-2-1B.pdf>

- [10] KUMAWAT, Aditya Kumar a Amrit Kumar THAKUR. A Comprehensive Study of Automotive 48-Volt Technology. In: *International Journal of Mechanical Engineering*. 2017, 4(5), s. 13-20. DOI: 10.14445/23488360/IJME-V4I5P103. ISSN 23488360. Dostupné také z: <http://www.internationaljournalsrsg.org/IJME/paper-details?Id=73>
- [11] Professional Mil-Spec Motorsport ECU Wiring Harness Construction. *RB Racing* [online]. USA [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: https://www.rbracing-rsr.com/wiring_ecu.html
- [12] DUTSON, Joseph. ATK. *Vibration Testing of Electrical Cables To Quantify Loads at Tie-Down Locations* [online]. USA, 2013 [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20140000633.pdf>
- [13] *Ray Service: Capabilities for Land Systems* [online]. In: RAY SERVICE. CZ [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: <http://www.rayservice.com/land-systems/>
- [14] ETFE. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2019, 19.10.2019 [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/ETFE>
- [15] TE CONNECTIVITY. *Spec 55: High Performance Wire and Cable* [online]. [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: <https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchtrv&DocNm=>
- [16] RAYCHEM. *DR-25: Heat-shrinkable, flexible, chemical and abrasion resistant tubing* [online]. Swindon [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: <http://www.qscomp.cz/Pdf/Dr25.pdf>
- [17] *PROWIREUSA: Motorsport Wiring Supply* [online]. USA, 2019 [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: <https://prowireusa.com/>
- [18] RAYCHEM. *Molded Parts* [online]. [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: https://www.rbracing-rsr.com/downloads/wiring_pdfs/Raychem-heatshrink-products.pdf
- [19] RESINTECH. *RT125: Flexible High Performance Epoxy Adhesive* [online]. UK [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: <http://www.resintech.co.uk/downloads/tds/RT125.pdf>
- [20] DUPONT. *Kapton: Polyimide film* [online]. 2018. [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: <https://www.dupont.com/content/dam/dupont/products-and-services/membranes-and-films/polyimide-films/documents/DEC-Kapton-general-specs.pdf>
- [21] DEUTSCH. *Autosport: Interconnection Solutions* [online]. UK, 2002 [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: https://motorsportelectronic.com/Software/Deutsch_AS_Series.pdf

- [22] MOLEX. *Quality Crimping Handbook* [online]. USA, 1996 [cit. 2020-01-06].
Dostupné z:
https://www.shearwater.com/wp-content/uploads/2012/08/qual_crimp.pdf
- [23] ANDRE, Simon. Tackling Your Wiring Nightmare — Part 1. *High Performance Academy* [online]. [cit. 2020-01-06]. Dostupné z:
<https://www.hpacademy.com/technical-articles/explained-tackling-your-wiring-nightmare-part-1/>
- [24] IS MOTORSPORT. *Deutsch Autosport Technical Manual* [online]. USA [cit. 2020-01-06]. Dostupné z:
http://www.is-motorsport.com/pdfs/deutsch_manuals/technical_manual.pdf
- [25] TE CONNECTIVITY. *Service Looping Requirements: ELE-3COP-301* [online]. 2011 [cit. 2020-01-06]. 8. Dostupné z:
https://www.rbracing-rsr.com/downloads/wiring_pdfs/service_loops.pdf
- [26] TE CONNECTIVITY. *Hand Cable Laying: ELE-3COP-256* [online]. 2011 [cit. 2020-01-06]. 6. Dostupné z:
https://www.rbracing-rsr.com/downloads/wiring_pdfs/twisted_harness.pdf
- [27] BARRY, Brandon. The Truth About Concentric Twisting. *High Performance Academy* [online]. c2020 [cit. 2020-01-06]. Dostupné z:
<https://www.hpacademy.com/technical-articles/the-truth-about-concentric-twisting/>
- [28] PITTMAN, Richard, Musab HMEIDAN, Sean FESCHAK a Kevin CASTILLO. *Formula SAE Paddle Shift System*. USA, 2015. Senior Design II Report. University of Central Florida.
- [29] RAYCHEM. *S1125: High performance, chemical and heat resistant adhesive* [online]. [cit. 2020-01-06]. Dostupné z:
http://www.davumtmc.com/index.php?controller=attachment&id_attachment=1025
- [30] Private Anwender. *STEINEL* [online]. SRN, c2020 [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: <https://www.steinell.de/de/private-anwender/>
- [31] EMU BLACK. *Ecumaster* [online]. PL, c2020 [cit. 2020-01-06]. Dostupné z:
<https://www.ecumaster.com/products/emu-black/>
- [32] ADU. *Ecumaster* [online]. PL, c2020 [cit. 2020-01-06]. Dostupné z:
<https://www.ecumaster.com/products/adu/>
- [33] MXS 1.2. *AIM* [online]. IT, c2019 [cit. 2020-01-06]. Dostupné z:
<https://www.aim-sportline.com/en/products/mxs-1.2/index.htm>
- [34] CAN bus. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020, 5.1.2020 [cit. 2020-01-06]. Dostupné z:
https://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus

- [35] WIRE CALCULATOR. *WireBarn* [online]. USA, c2020 [cit. 2020-01-06].
Dostupné z: https://www.wirebarn.com/Wire-Calculator-_ep_41.html
- [36] PIRKL, Radek. Studentská formule 0.3. *T-UNI: Online zpravodaj Technické Univerzity v Liberci* [online]. Liberec, 2019, 1.7.2019 [cit. 2020-01-06].
Dostupné z:
<https://tuni.tul.cz/rubriky/sport/id:104353/studentska-formule-0-3>
- [37] Formula SAE Italy, Formula Electric Italy & Formula Driverless 2019.
Formula ATA [online]. Torino [cit. 2020-01-06]. Dostupné z:
<https://www.formula-ata.it/photogallery-2019/>
- [38] *Formula Student Czech Republic* [online]. CZ, c2017 [cit. 2020-01-06].
Dostupné z: <https://www.fsczech.cz/>

Seznam obrázků

2.1	Vývojový diagram proces vývoje [9]	15
3.1	Příklad kabelového svazku sériově vyráběného vozidla [11]	18
3.2	Příklad kabelového svazku pro pozemní vojenská vozidla [13]	19
3.3	Vodič Spec 55 [15]	20
3.4	Smršťovací bužírka Raychem DR-25 [17]	21
3.5	Smršťovací přechodky Raychem [17]	21
3.6	Dvousložkové lepidlo Resintech RT125 [17]	22
3.7	Kaptonová samolepicí páska [17]	22
3.8	Konektor Autosport výrobce Deutsch [17]	23
3.9	Kontakt Autosport konektoru [17]	23
4.1	Postup tvorby servisních smyček [25]	25
4.2	Porovnání vhodného (vpravo) a nevhodného (vlevo) způsobu zakončení [25]	26
4.3	Kabelový svazek vyrobený metodou concentric twisting [26]	27
4.4	Zpevnění vrstvy vodičů omotáním šňůrou [26]	27
4.5	Open barrel splice [17]	28
4.6	Butt splice [17]	28
4.7	Označené vývody lambda sond [11]	29
4.8	Kleště pro odstraňování izolací z vodičů [17]	30
4.9	Krimpovací kleště na soustružené kontakty [17]	30
4.10	Krimpovací kleště na otevřené kontakty [17]	31
4.11	Horkovzdušná pistole [30]	31
6.1	Obecné blokové schéma zapojení	35
6.2	Časový harmonogram	36
6.3	Řídicí jednotka motoru Ecumaster EMUBlack [31]	37
6.4	Vstupy a výstupy řídicí jednotky [31]	38
6.5	Display Ecumaster ADU5 [32]	39
6.6	Návrh rozvětvení motorového svazku	42
6.7	Startovací proud (sonda 10 mV/A)	44
6.8	Návrh rozvětvení předního svazku	44
6.9	Trasy kabelového svazku	46
7.1	Přípravné práce	47

7.2	Připevněný centrální panel	48
7.3	Detail výroby předního kabelového svazku	49
7.4	Průměr části kabelového svazku	49
7.5	Část motorového svazku s označenými vývody (žlutě)	50
7.6	Kompletní kabelový svazek (přední i motorová část)	50

A Seznam volně vložených příloh

- Schéma centrálního panelu (CENTRAL_PANEL_ASSEMBLYY)
- Schéma motorového svazku (ENGINE_HARNESS_ASSEMBLYY)
- Schéma přední části svazku (FRONT_HARNESS_ASSEMBLYY)