



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

DISPLAY PRO ZÁVODNÍ AUTOMOBIL

RACECAR DASH

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Listoň

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Janoušek, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Bc. Martin Listoň**
Studijní program: Automobilní a dopravní inženýrství
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **Ing. Michal Janoušek, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

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 diplomové práce:

Display pro závodní automobil

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Závodní automobil vyžaduje využití zobrazovací jednotky, která umožňuje jezdcovi být informován o stavu vozidla a vizualizaci jízdních dat.

Cíle diplomové práce:

Proveďte rešerši dostupných display panelů.
Proveďte konstrukční návrh přístrojového panelu.
Navrhněte DPS pro interface displaye ze sběrnice CAN-BUS vozidla.

Seznam doporučené literatury:

ZÁHLAVA, Vít. Návrh a konstrukce desek plošných spojů: principy a pravidla praktického návrhu. Praha: BEN - technická literatura, 2010. ISBN 978-80-7300-266-4.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tématem této práce jsou displeje pro závodní automobily. Součástí je shrnutí a stručné porovnání různých druhů displejů a také aktuální nabídky dostupných panelů komerčních značek. Následující část práce je věnována realizaci tvorby vlastního displej panelu, která je složena z primárního scanování, testování a následné laboratorní simulace, dále z tvorby návrhu DPS pro interface displeje ze sběrnice CAN bus vozidla, sestavení finálního kódu v prostředí software Arduino IDE, vytvoření GUI (grafické uživatelské prostředí) v programu Nextion Editor a také konstrukčního návrhu přístrojového panelu včetně tisku a montáže. Závěrem práce je ověření funkčnosti vytvořeného komplexního zařízení a zhodnocení výsledků.

Hlavní cílem diplomové práce je vytvoření funkčního komplexního zařízení, které je cenově dostupnější než momentálně nabízená zařízení na trhu.

KLÍČOVÁ SLOVA

displej, komunikace, OBD, CAN bus sběrnice, DPS, mikrokontrolér, LCD

ABSTRACT

The topic of this thesis is displays for racing cars. It includes a summary and brief comparison of the different types of displays as well as the current range of panels available from commercial brands. The following part of the thesis is devoted to the implementation of the creation of a custom display panel, which consists of primary scanning, testing and subsequent laboratory simulation, as well as the creation of the PCB design for the display interface from the vehicle's CAN bus, the compilation of the final code in the Arduino IDE software environment, the creation of the GUI (Graphical User Interface) in the Nextion Editor program, and also the structural design of the instrument panel including printing and assembly. The final part of the thesis is the verification of the functionality of the created complex device and the evaluation of the results.

The main goal of the thesis is to create a functional complex device that is more affordable than the currently offered devices on the market.

KEYWORDS

display, communication, OBD, controller area network (CAN bus), DPS, microcontroller, LCD

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LISTOŇ, Martin. *Display pro závodní automobil* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-24]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/154034>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Michal Janoušek.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Michal Janoušek, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 24. května 2024

.....

Martin Listoň

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Michalu Janouškovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při vedení mé diplomové práce. Taktéž bych chtěl poděkovat panu Mgr. Davidu Lichtenbergovi za zapůjčení vozidla z důvodu testování praktické části diplomového práce. V neposlední řadě patří poděkování mé rodině za podporu po celou dobu mého studia.

OBSAH

Úvod.....	11
1 Teoretická část.....	12
1.1 Historie v zobrazování jízdních dat.....	12
1.2 Sériová a paralelní komunikace.....	12
1.2.1 Asynchronní a synchronní komunikace.....	13
1.3 ECU a komunikace ve vozidle.....	14
1.3.1 LIN (Local Interconnect Network).....	15
1.3.2 CAN (Controller Area Network).....	15
1.3.3 OBD (On Board Diagnostic).....	18
1.4 Mikrokontroléry.....	20
1.4.1 Komunikační protokoly a rozhraní mikrokontrolérů.....	20
1.4.2 Komerčně používané vývojové desky.....	22
1.4.3 CAN převodníky.....	24
1.5 Tvorba DPS.....	25
1.6 Technologie displejových panelů.....	26
1.6.1 LCD (Liquid Crystal Display).....	27
1.6.2 LED (Light Emitting Diode).....	27
1.6.3 OLED (Organic Light Emitting Diodes).....	28
1.6.4 E-Ink (Elektronický papír).....	29
1.7 Zastoupení komerčních řešení závodních displejových panelů.....	29
1.7.1 Ecumaster.....	29
1.7.2 Bosch Motorsport.....	30
1.7.3 Alpha Racing Chrome.....	31
1.7.4 Sincotech.....	33
2 Praktická část.....	34
2.1 Výběr vhodného inteligentního displeje.....	34
2.1.1 4D Systems.....	34
2.1.2 Nextion.....	36
2.1.3 STONE Technology.....	38
2.1.4 Rozhodnutí o výběru displeje.....	40
2.2 Čtení dat z vozidlové sběrnice CAN bus.....	42
2.2.1 Pozorovaná vozidla.....	43
2.2.2 Výpočet jednotlivých veličin.....	46
2.2.3 Tvorba kódu a simulace vozidla.....	48
2.3 Tvorba desky plošných spojů.....	52
2.3.1 Použité součástky.....	52
2.3.2 Schematický návrh.....	54
2.3.3 Návrh DPS.....	57
2.3.4 Výroba DPS a Osazení.....	61
2.4 Tvorba GUI.....	63
2.4.1 Úvodní strana.....	64
2.4.2 Analogový režim.....	65
2.4.3 Digitální režim.....	66
2.4.4 Měření času zrychlení z 0–100 km/h.....	67
2.5 Tvorba konstrukčního řešení.....	69

2.6	Finální testování ve vozidle	72
Závěr		74
Použité informační zdroje		76
Seznam použitých zkratk a symbolů		82
Seznam příloh		87

ÚVOD

V dnešní době se technologický pokrok v oblasti automobilového průmyslu neustále zrychluje. Elektronické systémy jsou vozidlech velice důležité, zejména v oblasti diagnostiky, řízení a monitorování jednotlivých systémů. S rostoucí složitostí těchto systémů se zvyšuje i potřeba efektivních a spolehlivých zobrazovacích zařízení, která umožňují řidičům i technikům rychle a přesně získávat potřebné informace o stavu vozidla. Displeje ve vozidlech, obzvláště v závodních automobilech, musí splňovat vysoké nároky na přesnost, rychlost zobrazení a odolnost vůči náročným provozním podmínkám.

Tato diplomová práce je zaměřena na vývoj a výrobu displeje pro závodní automobil. Cílem práce je vytvořit funkční komplexní zařízení, které bude cenově dostupnější než současné komerční produkty. V teoretické části je představena základní komunikace používaná ve vozidlech, včetně základních komunikačních protokolů a palubní diagnostiky. Dále jsou popsány základní principy, které je nutné dodržet při výrobě DPS, a jednotlivé technologie displejů. Praktická část je zaměřena na návrh a výrobu desky plošných spojů, tvorbu grafického uživatelského prostředí displeje a konstrukční řešení přístrojového panelu. Celá funkčnost zařízení byla ověřena při závěrečném testování ve vozidle.

Vývoj cenově dostupného zařízení spojeného s výkonným hardwarem by mohl přinést úspory v oblasti motoristického sportu i pro běžný provoz. Práce přináší komplexní pohled na všechny fáze vývoje, od počátečního návrhu až po finální testování, což poskytuje cenné poznatky pro další výzkum a vývoj v této oblasti.

Pro vytvoření takovéto součástky je nutné porozumět základním znalostem z oblasti elektroniky, informatiky a automobilového inženýrství. K řešení práce byly využity moderní softwary a zařízení usnadňující vývoj, mezi které patří vývojové desky Arduino Uno, software Arduino IDE, KiCad pro návrh DPS, prostředí pro tvorbu GUI a Autodesk Inventor pro 3D vizualizaci. Výsledkem je nejen funkční zařízení, ale i podrobná dokumentace procesu vývoje, která může sloužit jako návod pro budoucí projekty v této oblasti.

1 TEORETICKÁ ČÁST

Teoretická část diplomové práce se zaměřuje na rozsáhlý proces návrhu a implementace displeje pro závodní vozidlo. Obsahuje popis a vysvětlení jednotlivých komponentů systému. První část se věnuje komunikačním principům mezi elektronickými zařízeními, zahrnující asynchronní, synchronní, paralelní a sériové typy. Další sekce detailně popisuje funkce mikrokontrolérů, jejich rozhraní a význam pro vzájemnou komunikaci vozidla a displeje, doplněné o soupis dostupných modelů. Vysvětlení se dále rozšiřuje na strukturu vozidlové komunikace, zahrnující protokoly a palubní diagnostiku OBD. Závěr teoretické části práce je věnován návrhu desek plošných spojů a představuje možnosti výběru grafických panelů s přehledem technologií a vybranými příklady od předních výrobců závodních displejových jednotek, což poskytuje ucelený základ pro vývoj funkčních a efektivních displejů pro závodní vozidla.

1.1 HISTORIE V ZOBRAZOVÁNÍ JÍZDNÍCH DAT

Zobrazování jízdních dat má své rané začátky již na počátku 20. století, kdy byla první vozidla vybavena velmi základními mechanickými přístroji. Tyto přístroje byly schopny zobrazovat základní údaje, jako je rychlost vozidla, otáčky motoru nebo napětí akumulátoru. S postupem let a s rozvojem elektrotechniky se začaly používat elektromechanické součástky, které nabídlí vyšší přesnost a spolehlivost. Na přelomu 21. století pak vozidla začala využívat moderní řídicí jednotky umožňující lepší komunikaci po sběrnících se zobrazovacím panelem jízdních dat. Data se začala zobrazovat na digitálních přístrojových LCD nebo LED panelech, což představovalo významný posun od analogových budíků. Tento trend dále pokračoval vývojem tzv. virtuálního kokpitu, který umožňuje zobrazit nejen údaje o vozidle, ale také informace o navigaci, funkci nočního vidění a další prvky infotainmentu. [1]

V oblasti závodních vozidel představuje zobrazování jízdních dat základní prvek pro dosahování maximálního výkonu a strategické výhody. Závodní vozy od počátku využívaly pokročilejší technologie pro monitorování a zobrazení dat, což jim umožňovalo neustálé sledování kritických informací. S nástupem digitální éry v 90. letech 20. století došlo k revoluci v této oblasti díky vývoji sofistikovaných dataloggerů a telemetrických systémů, které umožnily detailní analýzu výkonu vozidla v reálném čase. Moderní závodní vozy nyní využívají vysoce přizpůsobitelné digitální displeje, které mohou zobrazovat širokou škálu dat a vizualizací, včetně dynamických map okruhů a strategických informací. Tento pokrok nejen zlepšuje informovanost a rozhodování pilotů, ale také umožňuje inženýrským týmům optimalizovat nastavení a výkon vozidla v průběhu závodu. [2]

1.2 SÉRIOVÁ A PARALELNÍ KOMUNIKACE

Sériová komunikace, známá také jako sériový přenos, je v telekomunikacích a informatice definována jako postupný přenos dat po jednotlivých bitech skrze komunikační kanál nebo sběrnici. Tento sekvenční způsob přenosu umožňuje efektivně přenášet informace na delší vzdálenosti, a to s minimálním počtem vodičů, což představuje značnou výhodu oproti paralelní komunikaci, která přenáší data současně po několika kanálech. [3]

Sériová komunikace obvykle využívá dva vodiče – jeden pro příjem a druhý pro odesílání dat, čímž se stává ekonomickým a efektivním řešením pro řadu aplikací. Mezi širokou škálu protokolů, které umožňují různé formy sériové komunikace, patří RS232, UART, I2C, SPI a USB. Každý z těchto protokolů má typické vlastnosti a je vhodný pro různé typy aplikací, od jednoduché komunikace mezi mikrokontroléry a jejich periferiemi až po složité datové sítě a telekomunikační systémy. [3]

Naopak paralelní komunikace umožňuje teoreticky rychlejší přenos dat díky současnému použití několika vodičů, avšak celková rychlost přenosu je omezena nejpomalejším vodičem. Nutnost udržet vodiče relativně krátké pro zachování synchronizace a integrity signálů činí paralelní komunikaci méně vhodnou pro dlouhé vzdálenosti. Dále je při velmi vysokých přenosových rychlostech zapotřebí důkladného stínění kabeláže, což zvyšuje náklady a komunikaci dělá složitější. Historicky byla paralelní komunikace často využívána v technologiích jako jsou staré tiskárny, které pro propojení s počítači využívaly paralelní porty, a v počítačových rozhraních typu PCI (Peripheral Component Interconnect), které bylo založeno právě na paralelní komunikaci a běžně se používalo ve starších počítačích pro připojení různých periferních zařízení. Tyto starší technologie byly postupně nahrazovány novějšími standardy jako je PCI-Express, které vychází z principů sériové komunikace a nabízejí lepší výkon a škálovatelnost pro moderní výpočetní a telekomunikační aplikace. [4]

1.2.1 ASYNCHRONNÍ A SYNCHRONNÍ KOMUNIKACE

Aby bylo možné zajistit správnou funkci přenosu dat jak v paralelní, tak v sériové komunikaci, je nezbytné, aby přijímač a vysílač byly nějakým způsobem časově synchronizovány. To umožňuje přijímači správně interpretovat data generovaná vysílačem. Na základě způsobu synchronizace rozlišujeme přenos dat na synchronní a asynchronní. Každý z nich má své specifické vlastnosti a použití.

Synchronní přenos dat využívá izochronní signál mezi přijímači a vysílači. Jsou pro něj charakteristické momenty signálu, jako jsou začátky a konce značek v pravidelných a předem definovaných intervalech. Díky tomu je možné časování mezi odesílatelem a příjemcem přesně načasovat, což umožňuje efektivní a rychlý přenos dat. Synchronizace může být řízena buď pomocí externího časového signálu nebo může být odvozena přímo z komunikačního signálu. Díky tomu není mezi jednotlivými datovými balíčky potřeba využívat mezery nebo startovací a ukončovací bity. Synchronní komunikace je typická pro bitově orientované protokoly, kde se informace seskupuje do rámců, a je ideální pro přenos velkých množství dat. Může být však náročnější na implementaci. [5],[6]

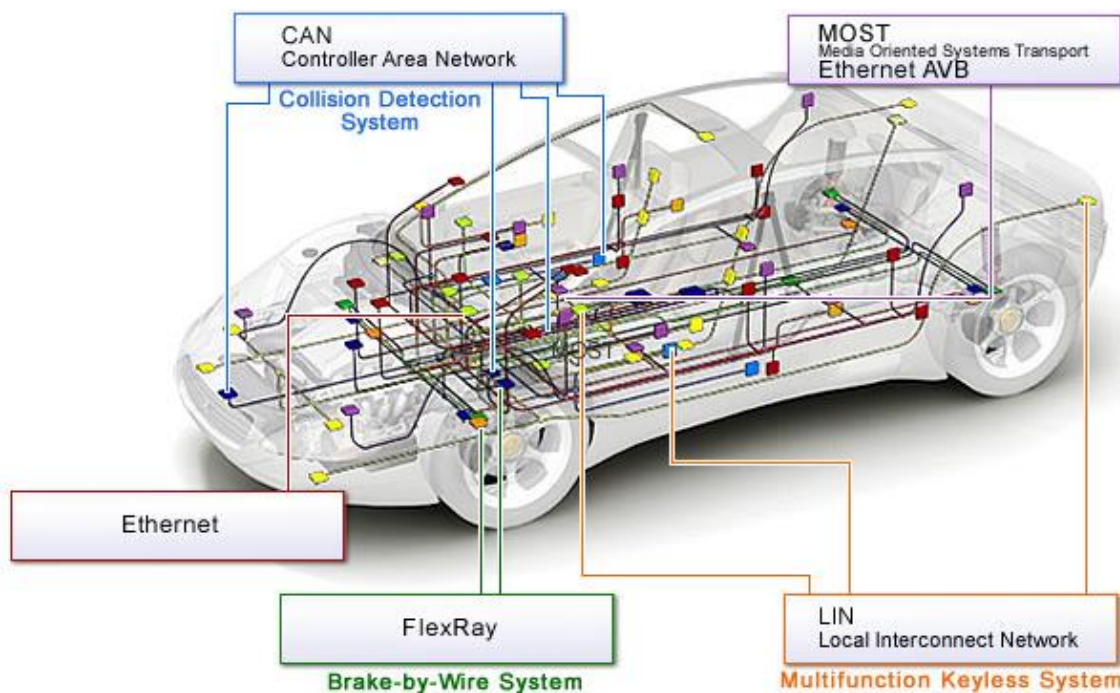
Asynchronní přenos dat je odlišný tím, že přijímač a vysílač nemají společný časový signál, ale každý z nich pracuje s vlastním časováním. Data mohou být odesílána v libovolných časových okamžicích a synchronizace je dosažena použitím startovacího a stopového bitu, které mají opačnou hodnotu, než je klidová hodnota signálu. Přenosová rychlost je předem určena a asynchronní komunikace se často používá pro sériovou komunikaci mezi počítači a periferními zařízeními, v počítačových sítích a pro přenos dat, kde není vyžadována přísná synchronizace. Ačkoliv je asynchronní přenos flexibilnější a jednodušší na implementaci, může být méně efektivní pro přenos velkých objemů dat. [5],[6]

1.3 ECU A KOMUNIKACE VE VOZIDLE

Elektronická řídicí jednotka (ECU) představuje základní stavební kámen moderních automobilových systémů, které umožňují sofistikovanou kontrolu a monitorování různých systémů vozidla, od motoru a převodovky až po brzdový systém a systémy pro zlepšení stability vozidla. Tato inteligentní zařízení jsou neustále v kontaktu s řadou senzorů rozmístěných po celém vozidle, shromažďují od nich data, zpracovávají je a na základě těchto informací přizpůsobují chování vozidla tak, aby byl zajištěn jeho optimální výkon, efektivita a bezpečnost. Například ECU motoru vyhodnocuje údaje o otáčkách motoru, teplotě a tlaku vzduchu, aby mohlo upravit vstřikování paliva a časování zapalování, zatímco systémy pro kontrolu stability používají informace o rychlosti vozidla a úhlu řízení k případnému automatickému upravení výkonu motoru nebo aktivnímu brzdění jednotlivých kol, což pomáhá řidiči udržet nad vozidlem kontrolu. [7]

Komunikace ve vozidle je rozhodujícím aspektem, který umožňuje tuto integraci a koordinaci mezi různými systémy a komponenty. Zajišťuje ji řada datových sběrnic, které umožňují efektivní výměnu informací mezi elektronickými řídicími jednotkami (ECU), senzory, čidly a dalšími dílčími systémy, včetně zobrazovacího displej panelu. Mezi nejrozšířenější sběrnice patří CAN (Controller Area Network), LIN (Local Interconnect Network), MOST (Media Oriented Systems Transport) a FlexRay. Každá z nich má své typické využití a umožňuje různý stupeň komplexity a rychlosti komunikace. [8]

Rozvoj telematických systémů představuje další významný krok v evoluci komunikace ve vozidlech, který rozšiřuje možnosti vozidla o připojení k vnějšímu světu prostřednictvím bezdrátové sítě (LTE, UMTS, EDGE, GPRS atd.) nebo Wi-Fi. Využití těchto systémů umožňuje vozidlům nabízet řadu pokročilých funkcí, příkladem může být zobrazování navigace, příjem informací o počasí, aktualizace softwaru či tísňové volání. Kromě toho telematika umožňuje vzdálené otevírání dveří pomocí chytrých telefonů a notebooků nebo dokonce přednastavení klimatizace před zahájením jízdy. [8]



Obr. 1: Komunikační sběrnice vozidla [9]

1.3.1 LIN (LOCAL INTERCONNECT NETWORK)

LIN (Local Interconnect Network) je jednoduchá jednovodičová sběrnice často využívaná v automobilech jako cenově efektivní alternativa nebo jako doplnění ke sběrnici CAN pro propojení a komunikaci smart senzorů a aktuátorů v embedded real-time systémech s rozdílnou aplikační doménou. Její hlavní výhodou jsou nízké náklady, které mohou být ve srovnání s CAN sběrnici i 2x až 3x nižší. Díky tomu LIN nachází uplatnění zejména v komunikaci s prvky komfortní jednotky, mezi které spadá ovládání oken, zrcátek, osvětlení nebo klimatizace. Mezi nevýhody LIN oproti CAN sběrnici patří nižší rychlost, univerzálnost a robustnost. Tyto nedostatky jsou však při použití ke komunikaci s komfortními prvky zanedbatelné. Omezení rychlosti přenosu dat je dáno jednovodičovým zapojením, což vede k vyšším elektromagnetickým emisím oproti kroucenému páru vodičů. Běžně se používají rychlosti 2400, 9600 a 19200 bit/s. [10],[11]

Tato sběrnice umožňuje jednoduchou implementaci do libovolného mikrokontroléru díky využití sériového přenosu dat UART nebo RS232, což podporuje komunikaci typu master-slave, umožňující připojení až 17 jednotek, kde jedna je master a 16 slave. Master jednotka koordinuje kompletní provoz na síti, čímž je eliminována potřeba řešení přístupu na síť. Pro integraci LIN komunikace do vozidel s primární CAN komunikací je nezbytné využití inteligentní rozvodné jednotky, která zajišťuje rozhraní mezi LIN a CAN sběrnici. Příkladem takové rozvodné jednotky může být Gateway, BSI nebo Body Computer. [10],[11]

LIN využívá palubního napětí 12 V a zapojení přes rezistor umožňuje vytváření dvou odlišných napěťových hodnot, z nichž jsou odvozeny logické hodnoty 0 a 1. Sběrnice je zakončena pull-up rezistorem 1 k Ω a kondenzátorem 220 pF v master uzlu a rezistorem 30 k Ω a kondenzátorem 2.2 nF ve slave uzlu, s použitím diody zapojené v sérii pro ochranu například před možným špatným připojením akumulátoru. [10],[11]

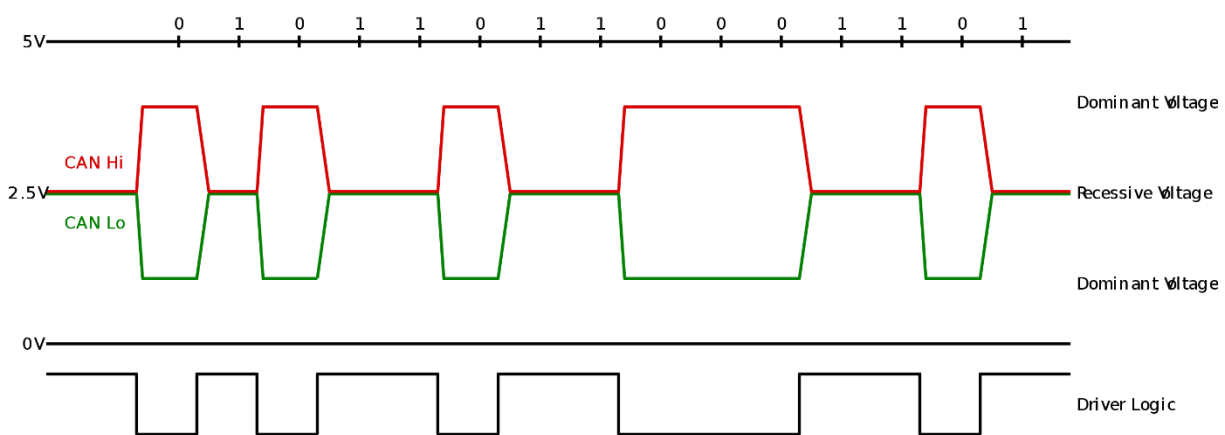
1.3.2 CAN (CONTROLLER AREA NETWORK)

CAN (Controller Area Network) je standardní sběrnice, která umožňuje vzájemnou komunikaci mezi mikrokontroléry, řídicími jednotkami a dalšími zařízeními. Tato sběrnice byla původně navržena pro multiplexní elektrické vedení v automobilech s cílem snížit provozní hmotnost vozidla a zároveň zajistit jednoduchost instalace. Od začátku 90. let tak bylo možné ušetřit až 50 kg díky zjednodušení elektroinstalace. Prvním pokusem o sériovou komunikaci ve vozidle bylo BMW řady E31. Následně se o vylepšení protokolu pokusila firma Bosch, které první čip pro sběrnici připravila společnost Intel. Prvním sériově vyráběným vozidlem vybaveným multiplexním elektroinstalačním systémem založeným na sběrnici CAN byl Mercedes-Benz W140, který začal být vyráběn v roce 1991. O dva roky později byla komunikace standardizována normou CAN ISO 11898. Sběrnice CAN nabízí široké spektrum využití od osobních a nákladních automobilů, přes autobusy, elektronická zařízení pro letectví a navigaci, až po průmyslovou automatizaci a mechanické řízení. [11],[13],[14]

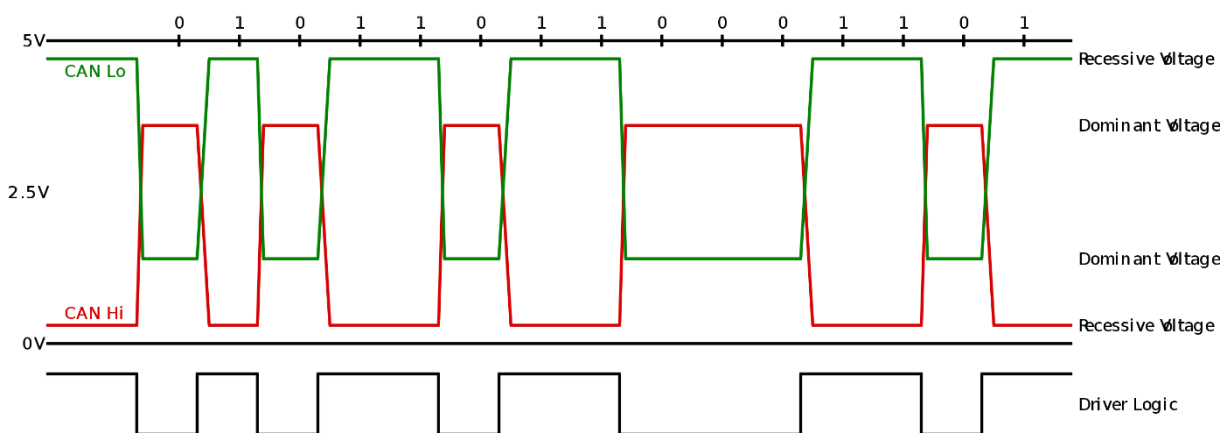
Přenosová rychlost pro standardní CAN se normálně pohybuje od 125 kb/s až do 1 Mb/s, v závislosti na délce vodiče a požadavcích na komunikaci. Pro delší vzdálenosti (až 6 km) je obvykle nutné snížit rychlost přenosu, aby se zachovala spolehlivost komunikace. Vylepšená varianta standardního CAN, známá jako CAN FD, byla uvedena v roce 2012. U ní může být rychlost zvýšena až na 5–8 Mb/s v závislosti na konfiguraci systému a kvalitě kabeláže.

Vysokorychlostní vrstva je popsána normou ISO 11898-2, zatímco nízkorychlostní vrstva je definována normou ISO 11898-3. [12],[14]

Sběrnice CAN používá pro komunikaci dvou vodičovou diferenciální signální linku, která se skládá z dvou hlavních vodičů: CAN High (CAN H) a CAN Low (CAN L). Tato konfigurace pomáhá zvýšit odolnost sběrnice vůči elektromagnetickému rušení. V případě vysokorychlostního přenosu je napětí na vodiči CAN H v době aktivní komunikace až 3,5 V, zatímco v klidovém stavu je přibližně 2,5 V. CAN L vodič přenáší zápornou část diferenciálního signálu a jeho napětí je v klidovém stavu přibližně 2,5 V, ale při aktivní komunikaci může klesnout až na 1,5 V. Pro nízkorychlostní komunikaci, u které je potřeba zvýšená odolnost signálu, jsou požadovány větší výkyvy napětí. V dominantním stavu, který signalizuje logickou "0", se napětí na CAN H zvyšuje, zatímco napětí na CAN L klesá. Napěťový rozdíl mezi CAN H a CAN L v dominantním stavu je typicky kolem 1 V nebo o trochu méně, což poskytuje dostatečný rozdíl pro detekci signálu. Druhý stav se nazývá recesivní a jedná se o moment, kdy dochází k největšímu rozdílu v napětí. V tomto stavu může být hodnota na CAN H u hodnoty 0 V a na CAN L u hodnoty 5 V, díky čemuž vzniká rozdíl téměř 5 V, což zajišťuje vyšší stabilitu signálu. Recesivní stav signalizuje logickou "1". [12],[13],[14]



Obr. 2: Vysokorychlostní CAN komunikace [12]



Obr. 3: Nízkorychlostní CAN komunikace [12]

Tab. 1: Vysvětlení datového rámce [12]

Název pole	Délka (bity)	Účel
Začátek rámce (SOF)	1	Musí být dominantní (0)
Identifikátor	11	Unikátní označení datové zprávy, která taktéž označuje prioritu odeslání
Žádost a vzdálený přenos (RTR)	1	V případě, když se jedná o datový rámec (hodnota je dominantní), v případě požadavku rámce (recesivní)
Prodloužené označení	1	Musí být dominantní (0)
Rezervovaný bit r0	1	Musí být dominantní (0)
Délka přenášených dat (DLC)	4	Označuje délku datového pole
Datové pole	0–8 bajtů	Délka závisí na DLC
Kontrola cyklické redukce (CRC)	15	Bezpečnostní kontrola rámce na detekci bitových chyb
Oddělovač CRC	1	Musí být recesivní (1)
Pole ACK	1	Když se jedná o odesílání zprávy (hodnota recesivní), při přijímání (hodnota dominantní)
Oddělovač ACK	1	Musí být recesivní (1)
Konec rámce (EOF)	7	Musí být recesivní (1)

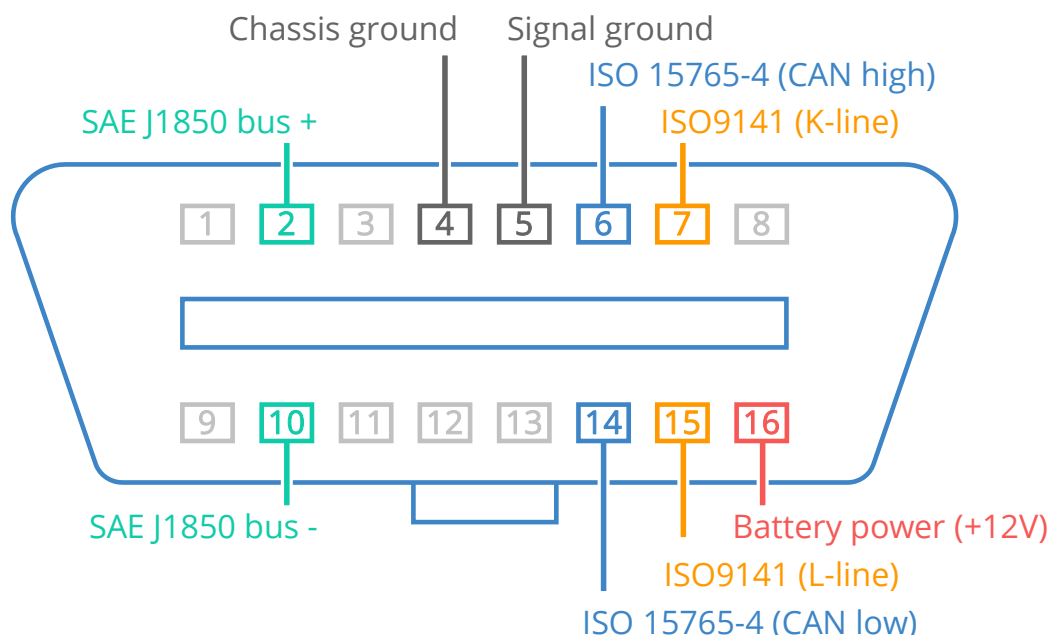
1.3.3 OBD (ON BOARD DIAGNOSTIC)

Systém palubní diagnostiky, známý pod zkratkou OBD (On-Board Diagnostics), představuje důležitou technologii v moderních vozidlech, která umožňuje autodiagnostiku a efektivní hlášení potenciálních závad. Tento systém standardizuje diagnostické údaje a rozšiřuje možnosti diagnostiky o statistickou kontrolu průběhu signálů ze snímačů. Jeho primárním účelem je identifikace závad, které by mohly negativně ovlivnit emise výfukových plynů. V případě odchylky od normálu OBD signalizuje závadu, což vede k aktivaci kontrolky (MIL – Malfunction Indicator Lamp) na palubní desce. V závislosti na povaze problému může dojít k omezení určitých funkcí vozidla, nebo dokonce k zamezení jeho startu. [16],[17]

OBD systém ukládá data o zjištěných závadách do paměti, což umožňuje jejich následné vyčtení. Kromě toho, v momentě detekce závady, jsou parametry motoru zaznamenány do tzv. Freeze Frames – snímků, které uchovávají informace o stavu vozidla v okamžiku vzniku závady. Tyto snímky jsou uchovány po celou dobu trvání problému. Pokud je závada odstraněna nebo byla pouze spontánního charakteru, záznamy jsou po několika provozních cyklech z paměti automaticky smazány. [16]

Pro usnadnění přístupu k diagnostickým datům a komunikaci s vozidlem byl standardizován diagnostický konektor dle normy SAE J1962. Umístění jednotlivých pin out viz Obr. 5.

Tento konektor je obvykle umístěn v blízkosti řidiče pod palubní deskou. Umožňuje připojení diagnostických přístrojů a zjednodušuje tak proces identifikace a řešení problémů.



Obr. 5: OBD konektor [15]

Díky konektoru OBD lze navázat spojení s CAN, K-Line, SAE J1850 a dalšími periferiemi vozidla, což rozšiřuje možnosti diagnostiky a monitorování vozidla.

K-Line představuje starší komunikační protokol, který byl v průběhu času do značné míry nahrazen modernějšími protokoly, například CAN. K-Line využívá pro komunikaci typicky jeden vodič pro přenos dat, což sice snižuje náklady na implementaci, ale na druhou stranu omezuje přenosovou rychlost v porovnání s modernějšími systémy. [16]

SAE J1850 je další protokol používaný v automobilové diagnostice, který byl navržen pro vozidla prodávaná v Severní Americe. Tento protokol umožňuje komunikaci mezi různými systémy a moduly vozidla. Existuje ve dvou variantách, jimiž jsou VPW (Variable Pulse Width) a PWM (Pulse Width Modulation). VPW je primárně používán u vozidel General Motors, zatímco PWM najdeme u vozidel Ford. SAE J1850 je charakteristický nižší přenosovou rychlostí než CAN, což jej dělá vhodnějším pro méně náročné aplikace. [17]

CAN se stává standardem pro vozidlovou diagnostiku díky své vysoké přenosové rychlosti a spolehlivosti. Umístění CAN na OBD konektoru umožňuje snadné připojení diagnostických zařízení, která mohou komunikovat přes CAN sběrnici. To zahrnuje například zobrazovací panely a další diagnostické nástroje, které mohou získávat data v reálném čase pro různé účely (monitorování stavu vozidla, pokročilá diagnostika, telemetrie vozidla nebo odstraňování závad). [18]

1.4 MIKROKONTROLÉRY

Mikrokontroléry jsou kompaktní integrované obvody, často označované jako miniaturní počítače, které jsou speciálně navrženy pro řízení operací ve vestavěných systémech. Skládají se z procesoru, paměti a vstupně-výstupní periferie, což znamená, že mohou fungovat i jako samostatné řídicí jednotky pro širokou škálu využití.

Mikrokontroléry přijímají data z připojených periférií, dočasně je ukládají do paměti RAM a následně je zpracovávají procesorem. Procesor tvořící "mozek" zařízení provádí logické operace a rozhoduje o dalším postupu na základě programu uloženého v programové paměti. Tento program může například umožnit mikrokontroléru odeslat zpracovaná data zpět na periferie nebo vykonat určitou akci jako odpověď na obdržené informace. [19]

Paměť v mikrokontrolérech se dělí na programovou a datovou paměť. Programová paměť uchovává instrukce, které má procesor vykonávat a je energeticky nezávislá, takže data zůstávají zachována i bez napájení. Datová paměť je naopak nestálá a používá se ke krátkodobému uchování informací přijatých z periférií, dokud nedojde k jejich zpracování.

Periferie mikrokontrolérů umožňují komunikaci s vnějším světem a mohou zahrnovat různé senzory, aktuátory, displeje a další vstupní či výstupní zařízení. Díky těmto perifériím může mikrokontrolér sbírat data z okolního prostředí, reagovat na ně a ovládat další zařízení.

Mikrokontroléry se díky univerzálnosti a malé spotřebě energie vyskytují v mnoha oblastech, a to nejen v automobilech, ale i v lékařských zařízeních, domácí elektronice, průmyslových kontrolních systémech a dalších. Jejich aplikace se může lišit v závislosti na výkonu, který je definován šířkou datové sběrnice (4, 8, 16, 32, až 64 bitů) určující, jak náročné výpočetní úlohy mohou provádět. [19]

1.4.1 KOMUNIKAČNÍ PROTOKOLY A ROZHRANÍ MIKROKONTROLÉRŮ

Aby mohl mikrokontrolér komunikovat s externími (I/O) zařízeními, musí využívat komunikační protokoly a rozhraní. Mezi nejpoužívanější patří SPI, A/D převodníky a UART, které každé slouží specifickým účelům a mají své jedinečné charakteristiky.

SPI (SERIAL PERIPHERAL INTERFACE)

SPI (Serial Peripheral Interface) je výkonné rozhraní umožňující plně synchronní duplexní sériovou komunikaci. Je typické snadnou implementací jak na hardwarové, tak na programové úrovni. Toto rozhraní umožňuje současnou komunikaci s více externími zařízeními, což je zásadní rozdíl oproti RS232, který umožňuje komunikaci pouze mezi dvěma zařízeními.

SPI rozhraní využívá čtyři hlavní vodiče pro komunikaci: MOSI (Master Out Slave In) a MISO (Master In Slave Out) jsou využívány pro dvousměrný přenos dat, ve kterém MOSI přenáší data od mastera ke slave zařízením a MISO v opačném směru. SCK (Serial Clock) je hodinový signál generovaný masterem, který synchronizuje přenos dat. CS (Chip Select) slouží k výběru konkrétního slave zařízení pro komunikaci tím, že aktivuje jeho CS vstup na nízkou úroveň. Každý z těchto vodičů má svou úlohu v komunikačním procesu, což umožňuje efektivní a přesnou výměnu dat mezi zařízeními s rychlostí až 70 MHz. [20]

Rozhraní SPI může pracovat ve čtyřech různých módech, které určují časování datového signálu vzhledem k hodinovému signálu. Tyto módy se liší dle dvou hlavních parametrů – polarity hodinového signálu (CPOL) a fáze hodinového signálu (CPHA). Tyto parametry určují, kdy přesně je hodinový signál vysoký (1) nebo nízký (0) a kdy jsou data vzorkována nebo přenášena. Díky svým vlastnostem je SPI široce využíváno pro připojení různých typů periferních zařízení, mezi které se řadí paměti EEPROM, senzory a také displeje. [20]

UART

UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) je základní komunikační rozhraní v elektronice sloužící k asynchronní sériové komunikaci mezi zařízeními. UART nepotřebuje sdílený hodinový signál na rozdíl od SPI a I2C. Každé zařízení si generuje vlastní hodinový signál pro odesílání a přijímání dat, což umožňuje komunikaci přes dlouhé vzdálenosti. [20]

Komunikační rychlost je udávána v baudově rychlosti, která odkazuje na počet bitů přenesených za sekundu. Obvyklá baudová rychlost je 115 200 baudů, ale používají se i rychlosti dosahující 9 600 či 19 200 bd. Pro správné dekódování dat musí být přenosová rychlost na obou koncích nastavena stejně. [20]

Data se přenášejí pomocí dvou vodičů, RX a TX, kdy jeden slouží pro příjem a druhý pro odesílání dat. Pro správnou funkci komunikace je často přidáván i vodič GND jako společná zem. Aby byla zajištěna kompatibilita, dochází ke křížení vodičů, což znamená, že RX linka jednoho zařízení je připojena k TX lince druhého a naopak. [20]

Struktura datového rámce v UART komunikaci začíná start bitem s logickou hodnotou 0 (v klidovém stavu je linka nastavena na logickou 1), který je většinou následován 7–8 datovými bity. Po nich může následovat paritní bit, který slouží k detekci chyb při čtení dat. Rámec je zakončen stop bitem s logickou hodnotou 1, přičemž někdy může být použito i dvojice stop bitů v závislosti na nastavení vysílače. [20]

Díky své jednoduchosti, nízké ceně a spolehlivosti je UART široce využíván v mnoha aplikacích. Často slouží k sériové komunikaci mezi mikrokontroléry a různými perifériemi, jako jsou kupříkladu displeje, GPS moduly, RFID čtečky a další. Jeho schopnost fungovat při různých rychlostech a s minimální hardwarovou náročností činí z UART ideální volbu pro projekty, kde jsou důležité nízké náklady a jednoduchost implementace. [20]

A/D PŘEVODNÍK

A/D převodník, známý také jako analogově-digitální převodník, je důležitou součástí v mnoha elektronických systémech a aplikacích. Jeho základní funkcí je převést analogový signál, který může nabývat libovolné hodnoty v určitém rozsahu, na digitální signál, který je tvořen řadou číselných hodnot. Tento proces umožňuje mikrokontrolérům a dalším digitálním zařízením zpracovávat a analyzovat fyzikální veličiny, které jsou přirozeně analogové povahy. Řadí se mezi ně například teplota, tlak, světlo nebo zvuk.

A/D převodníky pracují na principu vzorkování analogového signálu v pravidelných intervalech a jeho převodu na řadu digitálních hodnot, které reprezentují původní analogový

signál v určitém časovém okamžiku. Tento proces zahrnuje několik zásadních kroků včetně vzorkování signálu a kvantování.

1.4.2 KOMERČNĚ POUŽÍVANÉ VÝVOJOVÉ DESKY

Vývojové desky nachází široké uplatnění v mnoha odvětvích od jednoduchých domácích projektů až po složité průmyslové systémy. Mezi nejpobulárnější vývojové desky využívané v komerčních i v amatérských projektech patří Arduino, ARM mikrokontroléry (například od firmy STMicroelectronics), ESP moduly a mini PC (kupříkladu Raspberry Pi). Každá z těchto platforem má své jedinečné vlastnosti a výkonové parametry, specifikace, programovací jazyky, v nichž se programují, a nabízí různé výhody a nevýhody v závislosti na konkrétním použití.

ARDUINO UNO

Arduino Uno je pobulární vývojová deska založená na mikrokontroléru ATmega328P. Tento čip je umístěn v patici, což umožňuje jeho snadnou výměnu v případě poškození. Díky kompaktním rozměrům a podpoře široké škály rozšiřujících modulů (tzv. shieldů) je Arduino Uno ideální volbou pro realizaci mnoha projektů s rozmanitými periferiemi.

Arduino Uno využívá pro komunikaci s počítačem a jinými zařízeními několik rozhraní, včetně USB, ICSP (In-Circuit Serial Programming), I2C (Inter-Integrated Circuit), SPI (Serial Peripheral Interface) a UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). Programování desky probíhá prostřednictvím softwaru Arduino IDE, který je založen na programovacím jazyku C++ a nabízí uživatelům přístup k bohaté knihovně vestavěných funkcí a knihoven usnadňujících vývoj aplikací. [21]

Specifikace Arduino Uno:

- Mikrokontrolér: ATmega328P
- Operační napětí: 5 V
- Vstupní napětí (doporučeno): 7–12 V
- Digitální I/O piny: 14 (z nichž 6 poskytuje PWM výstup)
- Analogové vstupy: 6
- Flash paměť: 32 kB (ATmega328P), s 0,5 kB vyhrazených pro bootloader
- SRAM: 2 kB (ATmega328P)
- EEPROM: 1 kB (ATmega328P)
- Kmitočet oscilátoru: 16 MHz keramický rezonátor

Arduino Uno je vzhledem ke svým vlastnostem vhodné pro realizaci méně náročných operací, přesto však nachází uplatnění v širokém spektru aplikací. Díky podpoře PWM (Pulzně Šírkové Modulation) na 6 pinech je možné například plynule řídit servomotory nebo měnit světelný jas LED diody. I přes menší výkon mikrokontroléru je Arduino Uno schopné sloužit k prototypování elektronických zařízení a realizaci komplexních projektů v oblastech jako automatizace, domácí automatizace a mnoho dalších. Platforma také těží z rozsáhlé podpory komunity, což ji činí ideální volbou pro začátečníky v oblasti elektroniky a programování. [21]

STM32

Mikrokontroléry STM32 od společnosti STMicroelectronics patří mezi oblíbené komponenty v mnoha technologických projektech díky jejich vysokému výkonu, efektivitě a široké nabídce modelů. Tyto mikrokontroléry využívají architekturu ARM Cortex-M, která nabízí různé varianty – od jednoduchých Cortex-M0 pro méně náročné aplikace až po výkonnější Cortex-M4 a Cortex-M7 pro náročnější výpočetní a grafické úkoly. Vývojové desky lze programovat v prostředí Mbed Studio, které kromě online platformy podporuje programovací jazyky C a C++. [22]

Specifikace STM32:

- Procesor: Závisí na modelu; rozpětí od ARM Cortex-M0 až po Cortex-M7
- Operační napětí: Od 1,8 V až po 5,0 V (dle modelu)
- Flash paměť: Od několika kB do 2 MB (dle modelu)
- SRAM: Různé velikosti, od několika kB do více než 640 kB
- Periferie: Rozhraní USB, CAN, I2C, SPI, ADC, DAC a mnoho dalších
- Frekvence procesoru: Od několika MHz pro jednoduché modely až po více než 400 MHz pro výkonnější modely

Oproti vývojové desce Arduino Uno je STM32 obvykle o něco dražší a jeho programování může být složitější, nabízí však lepší výkonové parametry a použitelnost. U některých modelů je standardně integrováno CAN rozhraní, čímž je eliminována potřeba dalších rozšiřujících modulů, což je výhodou například při vytváření hardware pro komunikaci vozidla s displejem. Vývojové desky STM32 mají uplatnění ve tvorbě průmyslového ovládání a automatizace, spotřební elektronice, zdravotnických zařízeních i v letectví. [22]

RASPBERRY PI

Raspberry Pi je největší, nejvýkonnější a nejsofistikovanější vývojová deska mezi výše uvedenými a řadí se do kategorie mini PC. Od ostatních se odlišuje převážně díky schopnosti implementovat a běžet na operačních systémech jako Windows nebo Linux. Nabízí rozsáhlou uživatelskou podporu a je vhodná pro jednoduché problémy, ale i pro velké komplexnější projekty.

Specifikace Raspberry Pi 3:

- Procesor: Quad-core ARM Cortex-A53 64-bit
- Taktovací frekvence: 1,4 GHz
- RAM: 1 GB LPDDR2 SDRAM
- Ethernet: Gigabit Ethernet přes USB 2.0 (maximální rychlost 300 Mb/s)
- Bluetooth: Bluetooth 4.2, Bluetooth Low Energy (BLE), WiFi: 802.11b/g/n/ac
- USB porty: 4x USB 2.0
- Video výstupy: HDMI, composite video (3.5 mm jack)
- Audio výstupy: 3.5 mm jack, HDMI
- Úložiště: microSD karta pro bootování a dlouhodobé úložiště
- Napájení: 5V/2.5A DC přes micro USB nebo GPIO pin

Ze zde zmíněných zařízení je Raspberry Pi nejdražší, ale jako jediné dokáže implementovat operační systém. Disponuje velkou operační pamětí, vysokou rychlostí procesoru a nabízí mnoho výstupů, včetně několika USB portů a grafického výstupu přes HDMI konektor. Na úkor většího výkonu má zařízení vyšší spotřebu elektrické energie, což může být považováno za nevýhodu oproti Arduino Uno, které je možné napájet z externího zdroje energie. Raspberry Pi nachází široké využití v domácích, průmyslových i vzdělávacích projektech. [23]

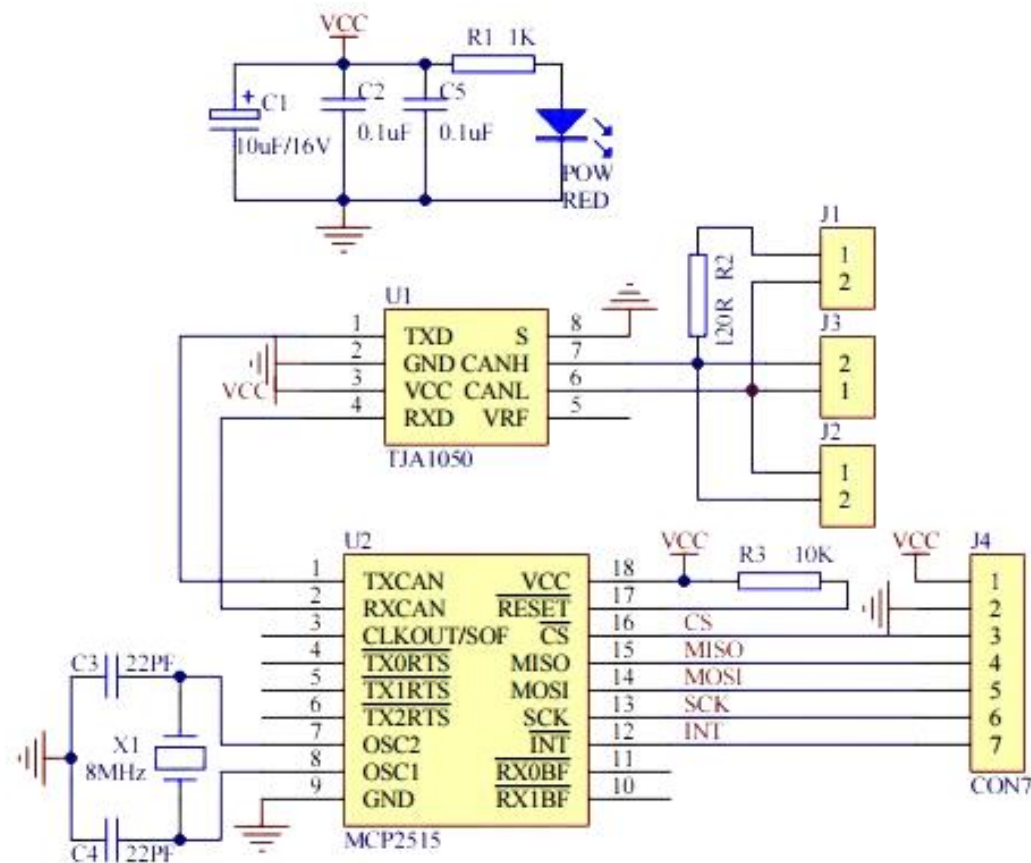
1.4.3 CAN PŘEVODNÍKY

CAN převodníky jsou hlavní komponenty v systémech, kde je potřeba převádět signály mezi různými komunikačními standardy. Zejména mezi CAN sběrnici a jinými formami digitální komunikace, například SPI (Serial Peripheral Interface). Tyto převodníky umožňují mikrokontrolérům komunikovat s CAN sběrnici, i když nemají integrovanou podporu. To je užitečné pro čtení dat z řídicích jednotek v automobilovém průmyslu, domácí automatizace, průmyslové řízení a mnoho dalších oblastí.

Příkladem těchto CAN převodníků může být modul s čipem MCP2515 od společnosti Microchip Technology, na kterém čip ve spolupráci s budičem TJA1050 zajišťuje komunikaci mezi CAN a SPI rozhraním. Modul je navržen pro jednoduchou integraci s mikrokontroléry, které nemají vlastní CAN rozhraní. Hlavní výhody modulu zahrnují především nízkou cenu, flexibilitu připojení a širokou dostupnost na trhu.

MCP2515 modul podporuje protokol CAN 2.0 B. Je schopen přijímat i odesílat standardní i rozšířené datové rámce. Připojení ke CAN sběrnici je realizováno pomocí dvojice vodičů CAN H a CAN L. Na druhé straně je SPI připojení zajištěné čtyřmi vodiči (MISO, MOSI, CS, SCLK). Krom nich jsou ještě potřebné vodiče pro 5 V (VCC) operační napětí a GND (zem). Modul umožňuje komunikaci na dlouhé vzdálenosti s rychlostí až 1 Mb/s. Součástí modulu je čip MCP2515, který je většinou vybaven šesti filtry pro odfiltrování nežádoucích zpráv. [24]

Modul lze snadno integrovat s řadou vývojových desek včetně Arduino, Raspberry Pi a platform založených na ARM, kupříkladu STM32. Pro Arduino existují specifické shieldy obsahující jak MCP2515, tak související CAN transceiver, což výrazně zjednodušuje zapojení a programování. Existují také knihovny usnadňující komunikaci s MCP2515 přes SPI, což umožňuje s minimálním programovacím úsilím posílat a přijímat CAN zprávy. Ačkoliv platforma STM obvykle obsahuje CAN rozhraní, může být díky tomuto řadiči rozšířena o další komunikační kanály. Pro Raspberry Pi lze MCP2515 použít prostřednictvím SPI rozhraní, což však vyžaduje více manuální konfigurace. [24]



Obr. 6: Schematický návrh převodníku MCP2515 [25]

1.5 TVORBA DPS

DPS, neboli deska plošných spojů, známá také jako tištěný obvod, je základní součást elektronických zařízení. Používá se k mechanickému upevnění a elektrickému propojení elektronických komponentů prostřednictvím vodivých drah. Deska má laminovanou sendvičovou strukturu složenou z vodivých a izolačních vrstev. Vodivé cesty jsou většinou měděné a jsou umístěny vždy mezi nebo na nevodivý substrát.

Návrh DPS lze tvořit v různých softwarových nástrojích, jako jsou Eagle nebo KiCad 7.0, které umožňují vytváření schematických návrhů a designů plošných spojů včetně rozmístění komponent a trasování vodivých cest. Schematický návrh reprezentuje elektrické spojení mezi komponenty. Hlavním výstupem procesu je tzv. Gerber soubor, což je standardizovaný formát sloužící k předání kompletního designu výrobcí pro další výrobu. Gerber soubory obsahují všechny potřebné informace pro vytvoření jednotlivých vrstev DPS.

Desky plošných spojů se vyrábějí třemi hlavními metodami – subtraktivní, aditivní a semiaditivní. Subtraktivní metoda začíná s celoplošně pokoveným substrátem ze kterého se odstraňuje nepotřebná měď a zanechávají se pouze vodivé cesty. Aditivní proces přidává vodivý materiál přímo na nevodivé oblasti substrátu, což umožňuje tvorbu velmi přesných vodivých cest s minimálním odpadem materiálu. Semiaditivní metoda kombinuje oba postupy pro vyšší flexibilitu a přesnost. To ji činí nejvíce využívanou, jelikož je ideální pro výrobu jednostranných i dvoustranných desek. Tato metoda je ideální pro prototypovou nebo

malosériovou výrobu, což odpovídá požadavkům této diplomové práce. V České republice existuje několik výrobců DPS. Jednou z nich je firma Gatema, která je schopna vyrobit až šestivrstvé desky, což představuje značnou flexibilitu v možnostech výroby. [26]

V rámci výroby DPS je důležité osazování a pájení komponentů. Existují dva hlavní přístupy – SMT (Surface Mount Technology) pro povrchovou montáž a THT (Through-Hole Technology) pro montáž s drátovými přívody. SMT umožňuje osazování SMD (Surface Mounted Device) komponentů přímo na povrch DPS, což přináší řadu výhod, mezi které patří například menší rozměry a hmotnost, nižší počet potřebných prokovených děr, vyšší pracovní frekvence, vyšší spolehlivost a možnost automatizovaného osazování. Oproti tomu THT komponenty jsou osazeny procházením přes desku a následně jsou pájeny. Pájení je možné provádět několika způsoby včetně vlnového pájení, pájení přetavením (reflow) nebo ručního pájení. Technologie vlnového pájení je vhodná pro hromadné pájení. Při montáži SMD součástek je nutné je předem přilepit na DPS. Metoda přetavení spočívá v prvotním nanesení pájky v podobě pasty na tištěný obvod. Do ní jsou poté vloženy součástky a následně je vše zahřáto na požadovanou teplotu, což vede k přetavení pájky. Ruční pájení je ideálním řešením v případě jednoduchých prototypových desek. Jedná se o levnou a jednoduchou metodu. Její nevýhodou ovšem může být rychlost pájení a minimální velikost pouzder součástek. [41]

Při návrhu DPS je zásadní dodržovat výrobní pravidla pro zajištění kvality a funkčnosti zahrnující správnou obvodovou funkci, výrobní efektivitu, jednoduchost osazování, spolehlivost, opravitelnost, estetický design, nákladovou efektivitu a legislativní shodu. Optimální rozmístění součástek je nezbytné pro dosažení správné funkčnosti a minimalizaci rušení signálu. Důležité je strategické rozložení komponent v souladu s jejich frekvenčními charakteristikami zajišťující efektivní komunikaci mezi různými částmi obvodu. Toto rozložení zahrnuje také oddělení analogových a digitálních sekcí pro lepší stabilitu signálu. Kromě toho, minimalizace délky vodivých cest přispívá k redukci proudových smyček a zvyšuje celkovou efektivitu a spolehlivost DPS. [41]

1.6 TECHNOLOGIE DISPLEJOVÝCH PANELŮ

Displeje, často označované také jako obrazovky, jsou hlavními komponenty elektronických zařízení a hrají zásadní roli v našem každodenním životě v podobě od chytrých telefonů a tabletů, přes televizory až po počítačové monitory. Digitální obrazovky nám umožňují přijímat informace, ať už ve formě textu, grafiky, fotografií nebo videa. Tato část diplomové práce je věnována přehledu základních typů zobrazovacích panelů jako jsou LCD (Liquid Crystal Display), LED (Light Emitting Diode), OLED (Organic Light Emitting Diode) a E-Ink. Dále jsou zde sepsány jejich nejdůležitější vlastnosti, přednosti a typické využití. [27]

Orientace v parametrech a výhodách jednotlivých typů displejů umožňuje lépe pochopit, proč je každý z nich vhodný pro jiné charakteristické použití. Tato znalost je nezbytná pro výběr správného typu obrazovky, která nejlépe vyhovuje potřebám pro displej pro závodní vozidlo.

Všechny technologie displejů pro běžné použití mají hodnotu svítivosti v rozmezí 200 až 600 cd/m². Každý typ může být specificky přizpůsoben pro použití v extrémních podmínkách, kdy hodnota svítivosti přesahuje 1000 cd/m².

1.6.1 LCD (LIQUID CRYSTAL DISPLAY)

LCD (Liquid Crystal Display), neboli displej s tekutými krystaly, je typ zobrazovací technologie, která využívá vlastnosti tekutých krystalů ve spojení s polarizátory. Tekuté krystaly samy o sobě nesvítí, ale pro vytváření barevných či monochromatických obrazů se používají společně s podsvícením nebo reflektory. Díky tomu je možné vyrábět tenké, energeticky účinné a cenově dostupné displeje, jež nacházejí uplatnění v široké škále elektronických zařízení – od hodinek a kalkulaček, přes mobilní telefony a monitory až po velké televizní obrazovky. [28]

PASIVNÍ LCD DISPLEJE

Pasivní LCD panely, označované také jako passive matrix LCD, používají mřížkové rozložení pixelů ovládané skrze sady vodičů umístěné ve vertikálním a horizontálním směru. Pro aktivaci konkrétního pixelu je nezbytné současně zapojit odpovídající sady těchto vodičů. Tento způsob řízení má za následek pomalejší reakci a nižší kontrast zobrazení, což omezuje použití pasivních panelů na aplikace s méně náročnými požadavky na kvalitu obrazu. Displeje mohou být transflektivní, což znamená, že pro svou čitelnost využívají pouze okolní světlo, a to je výhodné zejména pro bateriově napájená zařízení. Zařízení však mohou obsahovat i zdroj světla pod displejem pro lepší čitelnost ve špatných světelných podmínkách (obvykle LED podsvícení). Transmisivní displeje naopak vyžadují podsvícení pro čitelnost, což zvyšuje jejich energetickou náročnost. [28]

AKTIVNÍ LCD DISPLEJE

Aktivní LCD panely, často označované jako active matrix LCD, umožňují individuální ovládání každého pixelu pomocí tranzistoru, což zajišťuje plynulou regulaci jasu. Tyto panely jsou obvykle barevné, s každým pixelem tvořeným třemi subpixely pro červenou, zelenou a modrou barvu. To umožňuje dosáhnout široké palety barevných odstínů. Základním typem TFT technologie je Twisted Nematic (TN), která je rychlá a cenově dostupná, ale má omezené pozorovací úhly. IPS (In-Plane Switching) technologie nabízí lepší pozorovací úhly a přesnější barvy. VA (Vertical Alignment) technologie poskytuje široké pozorovací úhly a živější barvy, podobně jako IPS. Aktivní LCD panely jsou široce používány ve většině moderních elektronických zařízeních pro jejich vysokou kvalitu zobrazení. [28],[29]

1.6.2 LED (LIGHT EMITTING DIODE)

LED (Light Emitting Diode) displeje představují technologii založenou na poli polovodičových světelných diod, které vlastním světlem vytvářejí obraz a jsou schopné zobrazit celé barevné spektrum kombinací červené, modré a zelené barvy (RGB). Tato technologie se vyznačuje vysokým jasem, díky čemuž jsou LED displeje vhodné pro venkovní použití, kde jsou dobře viditelné i na přímém slunci a jsou odolné proti slunečnímu záření. LED displeje jsou hojně využívány v mnoha zařízeních od malých elektronických přístrojů, přes chytré hodinky, monitory a televize, až po velké reklamní panely nebo dopravní značení. Na základě konstrukce lze LED obrazovky rozdělit do několika typů, z nichž každý slouží k jinému účelu. Mezi běžné kategorie patří bodové maticové panely, segmentové panely a komplexní LED displeje. [28]

SEGMENTOVÉ DISPLEJE

Segmentové displeje jsou schopné zobrazit čísla 0–9 a některé textové znaky. Často se využívají v různých aplikacích. Rozdělují se na sedmi-, devíti-, čtrnácti- a šestnácti-segmentové typy, přičemž některé zahrnují další segmenty. Příkladem může být tečka umístěná před nebo za znakem. Díky své efektivitě v oblasti energetické náročnosti najdou uplatnění v digitálních hodinkách, teploměrech, kalkulačkách a dalších zařízeních. Nicméně s rozvojem technologií se jejich použití upozaďuje a jsou místo nich upřednostňovány modernější typy displejů. [28]

BODOVÉ MATICOVÉ DISPLEJE

Bodové maticové LED displeje dokáží zobrazovat čísla, písmena, znaky a jednoduchou grafiku. Jsou sestaveny z obdélníkových polí LED diod s mezerami mezi nimi. Tyto diody lze spojit do větších sestav, čímž vytvoří maticový displej. Tato technologie nabízí vysokou úroveň detailu a umožňuje složitější grafické zobrazení než segmentové displeje. To umožňuje jejich použití například v měřicích přístrojích, průmyslových ovládacích panelech, lékařských přístrojích, billboardech a reklamních tabulích. [28]

KOMPLEXNÍ LED DISPLEJE

Komplexní LED displeje jsou nezbytné pro aplikace vyžadující vytvoření úplného spektra barev a složité grafiky. Jsou typické pro televizory, počítačové monitory a jiné typy displejů. Tyto displeje se skládají z milionů LED diod a nabízí ve srovnání s LCD panely tenčí profil, lepší kvalitu obrazu, širší pozorovací úhly, delší životnost a lepší obnovovací frekvenci. Hlavní nevýhodou komplexních LED displejů jsou vyšší výrobní náklady, což se odráží v jejich vyšší prodejní ceně ve srovnání s konkurenčními LCD panely. [30],[31]

1.6.3 OLED (ORGANIC LIGHT EMITTING DIODES)

OLED, což je zkratka pro organické diody emitující světlo (Organic Light Emitting Diode), představuje typ světelné diody, kde je emisní elektroluminiscenční vrstva tvořena organickým filmem. Tento film vyzařuje světlo, když jím prochází elektrický proud. Organická vrstva se nachází mezi dvěma elektrodami, přičemž alespoň jedna z nich je průhledná. Díky schopnosti OLED displejů vyzařovat vlastní světlo nepotřebují podsvícení, což jim umožňuje zobrazovat hluboké černé tóny a být tenčí a lehčí než displeje na bázi tekutých krystalů (LCD). OLED technologie je na špičce moderních výzkumů a inovací a najdeme ji v širokém spektru zařízení, včetně televizních obrazovek, počítačových monitorů nebo chytrých telefonů.

PMOLED A AMOLED

Tyto panely se dělí do dvou hlavních kategorií podle způsobu řízení – na panely s pasivní maticí (PMOLED) a aktivní maticí (AMOLED). PMOLED displeje řídí jednotlivé řádky postupně, což je omezuje na zobrazování textu nebo jednoduchou grafiku. Obvykle jsou monochromatické nebo duochromatické. Naopak AMOLED displeje využívají tenkovrstvou tranzistorovou (TFT) základní desku pro přímé ovládání každého pixelu. Díky tomu mohou být

využívány pro videa a dynamickou grafiku vyžadující vysoké rozlišení a grafickou náročnost. Mezi hlavní výhody AMOLED patří vyšší zobrazovací frekvence, lepší barevný kontrast, široké pozorovací úhly, větší rozlišení a menší spotřeba energie. Na druhou stranu lze zároveň považovat za nevýhodu jeho složitější strukturu a vyšší cenu. Mezi inovace v oblasti AMOLED patří POLED (Plastic OLED), který využívá plastový základ pro lepší odolnost, WOLED (White OLED) s přidaným bílým subpixellem pro zvýšení jasů a snížení rizika vypálení obrazu a FOLED (Flexible OLED), který nabízí unikátní flexibilitu umožňující ohýbat nebo skládat displej, což je využíváno například u nových modelů mobilních telefonů. [32],[33]

1.6.4 E-INK (ELEKTRONICKÝ PAPIR)

E-ink, známý také jako elektronický papír nebo elektronický inkoust, je typ displejové technologie, která napodobuje vzhled obyčejného papíru. Tato technologie je založena na elektroforetickém jevu, kde displej obsahuje tenkou vrstvu tmavého viskózního roztoku s rozptýlenými mikrokapslemi, které uvnitř obsahují bílé částice. Přivedením krátkého elektrického impulsu se tyto částice pohybují nebo otáčejí směrem k přední části displeje, což způsobí, že se daný pixel jeví bíle. Změnou polaritě impulsu pak lze pixel opět zobrazit jako černý. Vysoká viskozita roztoku zajišťuje, že mikročástice udržují svou pozici i bez dalšího působení elektrického proudu. Na rozdíl od jiných typů displejů e-ink nevyzařuje vlastní světlo, ale odráží světlo z okolí, podobně jako běžný papír, což vede k velmi nízké spotřebě elektrické energie a činí tyto displeje ideální pro zařízení napájená z baterií. E-ink displeje jsou dostupné v různých barevných variantách, přičemž nejběžnější kombinací jsou bílý podklad a černé pixely. Tyto displeje jsou široce využívány v elektronických čtečkách knih a pro elektronické štítky nebo značení, jako jsou například cenovky v obchodech. [28],[34]

1.7 ZASTOUPENÍ KOMERČNÍCH ŘEŠENÍ ZÁVODNÍCH DISPLEJOVÝCH PANELŮ

Závodní displeje jsou speciálním typem elektronické jednotky, které jsou používány v automobilovém závodění, a to především ke zobrazení hlavních provozních informací o vozidle, mezi které patří otáčky motoru, rychlost, teplota chladicí kapaliny, teplota motorového oleje a další důležité informace. Přes tento panel je také možné komunikovat s řídicí jednotkou vozidla a řídit včetně motoru i prvky komfortní jednotky. Na trhu se závodními zobrazovacími panely je celá řada výrobků s různými vlastnostmi, parametry, kompatibilitou s různými typy vozidel, možnostmi přizpůsobení, cenou a podporou ze strany výrobce. Pro srovnání je v následujících odstavcích uvedeno několik výrobců.

1.7.1 ECUMASTER

Firma ECUMASTER nabízí své produkty ve dvou provedeních nesoucích obchodní názvy ADU 5 a ADU 7, které využívají LCD TFT panelů o velikostech 5" a 7". Jsou doplněny antireflexní vrstvou. Oba typy disponují vysokým rozlišením obrazovky 800 x 480 pixelů a vysokou viditelností (5" – 600 cd/m², 7" – 1000 cd/m²), což zaručuje vysokou viditelnost za jakýchkoliv světelných podmínek díky světelnému senzoru pro automatickou korekci jasů. Produkt je dodáván se softwarem vyvinutým firmou ECUMASTER pro operační systém Windows, který na displeji primárně zobrazuje předkonfigurované stránky. Ty si může koncový uživatel dále upravit, aby zobrazovaly data odpovídající jeho požadavkům. Jednotlivé stránky

Lze měnit automaticky podle předem nastavených podmínek nebo manuálně. Systém umožňuje vícestránkové zobrazení důležitých údajů nezávisle na aktuálně zobrazené stránce, zejména v případě poruchy nebo při extrémní situaci, kterou může být například vysoká teplota oleje. [35]

Hardwarová část displeje nového panelu je založena na 32bitovém kontroléru, který disponuje 8 analogovými vstupy, 8 digitálními vstupy, 2 nízkonapěťovými výstupy a 1 analogovým výstupem propojeným s grafickým procesorem. To zajišťuje hladký chod systému se snímkováním 50 snímků za sekundu. Displej je dále vybaven akcelerometrem, gyroskopem a GPS systémem. Díky GPS systému software umožňuje zobrazovat časy jednotlivých kol, pracovat s nimi a ukládat je pro další analýzu. Datové kanály lze zaznamenávat na USB flash disk se snímkovací frekvencí až 500 Hz. Pro komunikaci s vozidlem je využívána CAN bus sběrnice. Provozní napětí celé součásti je mezi 6 až 22 V. [35]

Konstrukční řešení celého displeje je uceleno v černém CNC obráběném eloxovaném boxu z hliníku doplněném 35pinovým konektorem a 15 RGB LED diodami, které slouží k indikaci přerážení, varovným signálům a k indikaci nízké hladiny paliva. Funkce LED diod je možné měnit. Celková hmotnost zařízení 5" varianty je 408 gramů a 7" varianty je 732 gramů. [35]



Obr. 7: Displej Ecumaster ADU 5 [35]

1.7.2 BOSCH MOTORSPORT

Firma Bosch Motorsport nabízí řadu profesionálních zobrazovacích jednotek určených jak pro zobrazení jízdních dat, tak pro jejich shromažďování a ukládání, což umožňuje tzv. datalogging. Mezi aktuálně dostupné modely patří DDU 10 a DDU 11, které se odlišují nejen konstrukčním provedením, ale i hardwarovou výbavou. Model DDU 10 je osazen 7" LCD TFT displejem s rozlišením 800 x 480 pixelů, doplněným o 20 volně konfigurovatelných vícebarevných RGB LED diod. Je navržen s krytím IP67 a hmotností 875 g. Oproti tomu DDU 11 využívá 6,5" LCD TFT displej s identickým rozlišením. Je doplněn o 18 programovatelných RGB LED diod a také splňuje normu IP67. Modely se však výrazně liší hmotností, protože váha DDU 11 je pouhých 649 g, což je téměř o 230 g méně v porovnání s DDU 10. [36],[37],[38]

Komunikace obou jednotek s vozidlem probíhá přes CAN bus sběrnici s možností využití Ethernetu nebo RS232 pro další konektivitu. Obě jednotky nabízejí funkce pro základní logování umožňující zaznamenávání dat až ze 100 kanálů s periodou opakování 50 ms do interního 4 GB úložiště, které lze rozšířit o další 4 GB. Lze také zvýšit opakování záznamu až na 1 ms. K analýze dat slouží bezplatně poskytovaný software WinDarab. Pro personalizaci zobrazení informací jsou jednotky vybaveny 12 uživatelsky konfigurovatelnými stránkami. Zobrazovaná jízdní data a real-time údaje o vozidle, včetně rychlosti, otáček motoru a provozních teplot, poskytují řidičům a týmům důležité informace pro optimalizaci výkonu a strategie během závodů. [36],[37],[38]

Výkon obou modelů je zajištěn dvoujádrovým procesorem s frekvencí 667 MHz a 12bitovými 4kanalovými A/D převodníky s low pass filtrem, což umožňuje efektivní převod analogových signálů od snímačů na digitální formát pro další zpracování. Významnou součástí systému je také GPS modul pro určení přesné polohy vozidla a měření časů. Rozdíl mezi modely DDU 10 a DDU 11 lze nalézt v typu konektorů, přičemž DDU 10 je osazen konektory s různými počty pinů (55 a 22 pinů), zatímco DDU 11 disponuje pouze konektorem s 26 piny. To u modelu DDU 10 umožňuje komplexnější komunikaci s periferními zařízeními. Tato vlastnost se promítá také do vyšší základní ceny modelu DDU 10, který je oproti DDU 11 dražší zhruba o dvojnásobek. [36],[37],[38]



Obr. 8: Displej Bosch Motorsport DDU 11 [36]

1.7.3 ALPHA RACING CHROME

Firma Alpha Racing Chrome nabízí závodní displeje určené primárně pro motocykly BMW, avšak díky využití CAN bus komunikace umožňují adaptaci i pro jiné značky. Displeje jsou navrženy tak, aby poskytovaly maximální flexibilitu a přizpůsobivost. Jsou dostupné ve verzích Lite, Plus a Pro. Displeje mají rozlišení 800 x 480 pixelů. V datovém listu výrobce není uvedena přesná velikost obrazovky ani technologie displeje. [39]

Zásadním aspektem těchto displejů je jejich plug-and-play kompatibilita s motocykly BMW, díky čemuž instalace udržuje všechny původní funkcionality motocyklu bez potřeby dalších úprav. Za plynulý běh systému odpovídá procesor s frekvencí 1 GHz, doplněný o 1 GB RAM a 16 GB interní paměti pro ukládání jízdních dat. Uživatelé mohou vybírat mezi dvěma přednastavenými režimy zobrazení – "Street" a "Race", které je možné dále individuálně upravovat. Displej díky 10 Hz GPS disponuje funkcí automatické detekce závodního okruhu, která umožňuje měření a ukládání času kola. Kromě toho je do displeje také přeinstalováno 20 závodních okruhů, což umožňuje vyhodnotit nejlepší a ideální kolo pro další analýzu. [39]

K výbavě displeje patří robustní hliníkový kryt (ve verzi Pro může být kryt z karbonu), 12 programovatelných RGB LED diod pro vizuální signalizaci a 10 analogových vstupů, které zobrazují hodnoty od lambda sondy, údaje o otáčkách motoru, rychlosti nebo provozních teplotách. Údaje jsou zpracovávány přes 10bitový A/D převodník. Výjimečnou funkcí je také indikátor zařazeného rychlostního stupně na převodovce. Tato funkce zvyšuje informovanost jezdce během jízdy. Pro snadné stahování dat je k dispozici WiFi připojení. Unikátní funkcí je možnost připojení video vstupu s následným ukládáním záznamů na interní paměť. Rozsah všech dostupných funkcí a vlastností se liší podle konkrétní verze zařízení (Lite, Plus nebo Pro). Uživatel má tedy možnost zvolit si z nabídky model, který nejlépe vyhovuje jeho potřebám a preferencím. [39]



Obr. 9: Displej Alpha Racing Chrome [39]

1.7.4 SINCOTECH

Firma Sincotech se primárně orientuje na amatérské závodníky a automobilové nadšence, kteří vyhledávají cenově dostupnější možnosti pro monitorování svých vozidel. Displeje, které nabízí, jsou určeny k zobrazování základních údajů o vozidle, což je ideální pro uživatele, kteří hledají jednoduché a efektivní řešení bez potřeby složitých instalací nebo vysokých investic. Přestože tyto displeje nabízejí široké spektrum funkcí, je důležité si uvědomit, že se zaměřují především na základní zobrazování dat bez možnosti komplexní analýzy nebo pokročilého dataloggingu.

Produktová řada je rozdělena do několika cenových kategorií. Levnější varianty využívají OBD protokol pro komunikaci s vozidlem. Jejich nevýhodou je absence seznamu kompatibilních vozidel od výrobce, což může zákazníka před nákupem znejistit. Dražší modely vyžadují namísto OBD přímé připojení k měřeným veličinám prostřednictvím kabelů. To umožňuje detailnější sledování a poskytování přesnějších údajů o stavu vozidla, zejména u starších vozidel, která nevyužívají moderních řídicích jednotek. Displeje mohou zobrazovat až 14 různých parametrů včetně otáček motoru, rychlosti, tlaku oleje, provozních teplot nebo absolutního tlaku v sání. Grafické rozhraní je pevně dané, avšak uživatel má možnost měnit barevné podsvícení mezi sedmi barvami pro lepší vizuální rozlišení informací. [40]

Displeje jsou napájeny z 12 V palubní zásuvky a obsahují 6,5" LCD displej s možností úpravy jasu, která zajišťuje dobrou čitelnost za různých světelných podmínek. Krabička displeje je vyrobena z plastu a je doplněna o 8 barevných LED diod (na každé straně 2 zelené, 1 žlutá a 1 červená). Na ně lze nastavit různé alarmy, jako je upozornění na dosažení kritických otáček nebo překročení limitní provozní teploty. [40]



Obr. 10: Displej Sincotech [40]

2 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část práce je soustředěna na realizaci tvorby vlastního displej panelu pro závodní automobily. Cílem je vytvoření komplexního funkčního zařízení, které bude dostatečně výkonné, snadné na ovládání a bude cenově dostupnější než komerční zařízení nabízená na trhu.

Prvním krokem byl výběr vhodného displeje, který by mohl dobře zobrazovat jízdní data vozidla a zároveň by v něm bylo možné vytvářet uživatelské prostředí. Poté bylo nezbytné zajistit čtení dat z vozidlové sběrnice CAN bus, což bylo provedeno pomocí vývojové desky Arduino Uno a CAN bus převodníku s čipem MCP2515. Vyčtený záznam z datového kódu následně sloužil jako databáze pro testování odesílání dat do displeje. Dále byla vytvořena deska plošných spojů v KiCad 7.0, byla osazena metodou ručního pájení a byly ověřeny její funkce. Následně bylo vytvořeno 5 grafických skriptů pro vizualizaci jízdních dat v uživatelském prostředí. Poslední část tvorby zahrnovala sestavení konstrukčního návrhu přístrojového panelu pro 3D tisk v AutoDesk Inventor, přičemž byla zohledněna kompaktnost a možnost minimálně 2 typů montáže. Závěrem praktické části je finální testování vlastního zařízení.

2.1 VÝBĚR VHDNÉHO INTELIGETNÍHO DISPLEJE

Při výběru správného předem sestaveného inteligentního displeje je zásadní rozumět jeho složení, které zahrnuje procesor pro zpracování dat, paměť pro ukládání uživatelských aplikací a grafiky a samotný displej. Oproti tradičním displejům poskytují inteligentní displeje rychlou a snadnou implementaci, podporu dotykového ovládání a často i přívětivé programové prostředí pro vývoj uživatelských rozhraní. Výběr byl zaměřen na LCD TFT technologii, která byla vybrána na základě důkladné rešerše, při které bylo zjištěno, že ji používají všichni renomovaní výrobci závodních displejů. Při výběru správného displeje byl kladen důraz na specifické parametry, mezi které patřila minimální velikost 7", dotyková obrazovka, svítivost alespoň 300 cd/m² a kvalitní uživatelská podpora s přehledným programovacím prostředím. Mezi porovnávané výrobce patří 4D Systems, Nextion a STONE Technology.

2.1.1 4D SYSTEMS

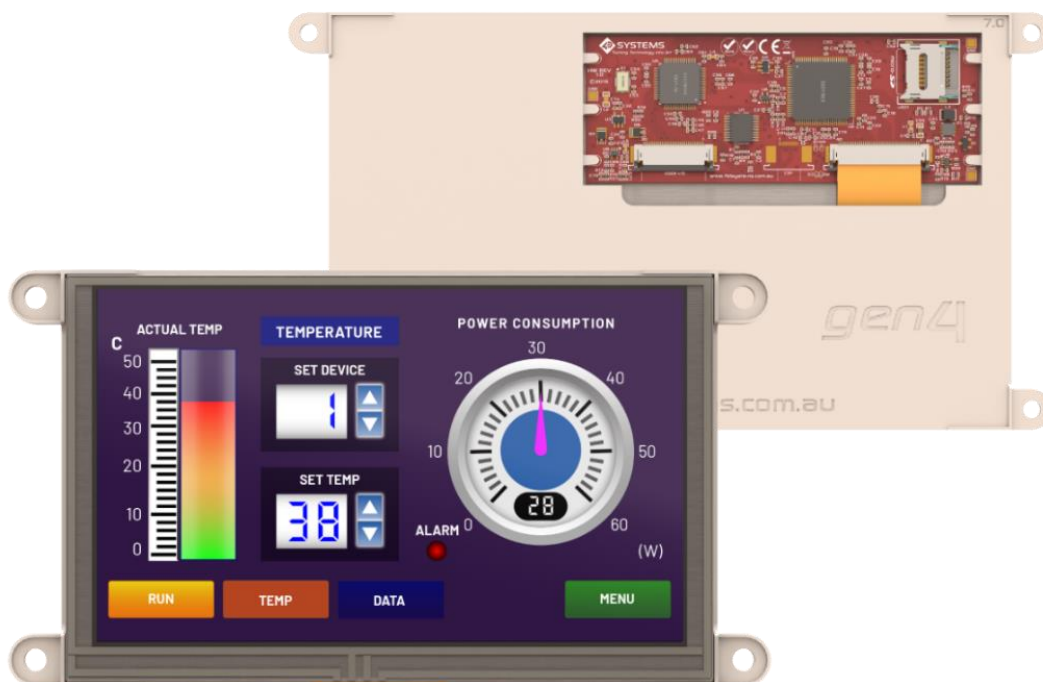
Společnost 4D Systems je jedním z předních světových výrobců v oblasti inteligentních displejů a grafických procesorů. Tato firma je specializována na vývoj a výrobu široké škály displejových modulů využívajících technologie LED, OLED a LCD. S téměř 300 produkty v nabídce pokrývá 4D Systems široké spektrum potřeb v oblasti vizualizace dat a uživatelských rozhraní. Produkty jsou dostupné v různých velikostech, přičemž největší nabízené displeje mají úhlopříčku až 9". Nejvíce zastoupené varianty jsou s úhlopříčkami 4,3" a 7", které jsou optimální pro většinu aplikací. Maximální rozlišení, které tyto displeje mohou nabídnout, je 800 x 480 pixelů. Jedna z možností konfigurace displeje je výběr mezi odporovým a kapacitním dotykovým ovládáním. Vedle standardních produktů nabízí 4D Systems i displeje s vysokou svítivostí, které dosahují hodnot až 844 cd/m², zatímco běžná hodnota svítivosti je okolo 300 cd/m². Tato vlastnost je potřebná pro aplikace vyžadující čitelnost displeje i za silného slunečního světla. [42],[43]

Výkonnější modely jsou vybaveny procesorem DIABLO16, který přichází na místo staršího PICASO. Tento procesor obsahuje vestavěný grafický řadič umožňující komunikaci s OLED a LCD panely. Nabízí paměť rozdělenou do 6 bank po 32 750 B a je vybaven 32 kB SRAM. Komunikace je zajištěna prostřednictvím SPI nebo I2C a podporuje využití paměťových karet. Procesor také disponuje 16bitovými časovači s rozlišením na 1 ms. [43]

4D Systems dále rozšiřuje možnosti použití svých produktů tím, že nabízí rozličné typy rozhraní pro snadnou integraci s populárními vývojovými platformami jako Arduino nebo Raspberry Pi. Pro každý displej je dostupný speciální shield, který zjednodušuje propojení a komunikaci s těmito platformami. Pokud jde o spotřebu energie, 7" varianty vyžadují od 500 mAh pro standardní verzi až po 950 mAh pro verze s vysokou svítivostí, přičemž pracovní napětí těchto displejů je 5 V. Hmotnost 7" variant je přibližně 200 g, což z nich dělá relativně lehké komponenty, které lze snadno integrovat do různých zařízení. [42]

Pro produkty od 4D Systems je k dispozici vývojové prostředí Workshop4, které běží na systému Microsoft Windows a umožňuje uživatelům vytvářet finální aplikace. Nabízí širokou paletu nástrojů – editor, kompilátor, linker a downloader – pro kompletní vývoj kódu aplikace 4DGL. V rámci IDE je integrován editor inteligentních widgetů umožňující uživatelům navrhovat a animovat vlastní widgety, jako jsou měřiče, posuvníky, otočné knoflíky a další. Tento nástroj umožňuje tvorbu komplexních designů s více vrstvami. Každá z vrstev může obsahovat obrázky nebo text s různými efekty pohybu a průhlednosti, což umožňuje vytvoření dynamických a vizuálně atraktivních prvků uživatelského rozhraní.

Workshop4 poskytuje čtyři různá prostředí pro vývoj mezi které patří Designer pro psaní čistého 4DGL kódu, ViSi pro vizuální tvorbu grafického rozhraní, ViSi-Genie pro rychlý vývoj GUI (grafické uživatelské rozhraní) bez nutnosti programování a Serial pro přenos finálního kódu do paměti displeje, který je kompatibilní se všemi sériovými protokoly a umožňuje ovládání přes libovolný mikrokontrolér se sériovým portem. K využívání pokročilých funkcí je potřeba zakoupit licenci Workshop4 PRO za 99,00 \$. Tato licence otevírá přístup k Genie Magic v prostředí ViSi-Genie a umožňuje tvorbu složitějších widgetů. Toto rozmanité prostředí nabízí flexibilní možnosti pro vývojáře na různých uživatelských úrovních od začátečníků až po pokročilé, a podporuje efektivní vytváření a integraci grafických uživatelských rozhraní do jejich projektů. [44]



Obr. 11: Displej 4D Systems [44]

2.1.2 NEXTION

Nextion je další významný výrobce inteligentních displejů a to díky nabídce rozmanitých LCD modulů s dotykovými obrazovkami. Tyto moduly usnadňují vývoj uživatelských rozhraní pro širokou škálu aplikací. Všechny displeje používají technologii LCD TFT a velikostně se pohybují od kompaktních 2,4" až po 10,1". Moduly přinášejí vysokou kvalitu obrazu s maximálním rozlišením až 1024 x 600 pixelů pro největší obrazovky. Běžnější menší modely nabízí rozlišení 800 x 480 pixelů. Displeje jsou nabízeny s odporovými a kapacitními dotykovými panely. Svítivost modulů se pohybuje v rozmezí od 230 cd/m² do 300 cd/m² a zajišťuje dobrou viditelnost i v horších světelných podmínkách. [45]

Produkty jsou klasifikovány do čtyř výkonových kategorií na Basic, Discovery, Enhanced a Intelligent. Každá kategorie přináší charakteristické technické vlastnosti a funkce vhodné pro různá použití. U všech zařízení probíhá komunikace s ostatními zařízeními pomocí sériového TTL rozhraní nebo pomocí slotu pro SD kartu.

Basic řada poskytuje základní výkon s procesory STM32, které mohou dosahovat frekvence až 48 MHz. Disponuje 16 MB pamětí pro ukládání kódu a 3584 B SRAM, což je vhodné pro jednoduché aplikace. [46]

Discovery překračuje základní specifikace tím, že nabízí výkonnější procesory s frekvencí až 64 MHz. Vyniká zejména velmi nízkou spotřebou elektrické energie v režimu spánku (pouhých 0,25 mA), proto je ideální pro využití do zařízení napájených z baterie. [47]

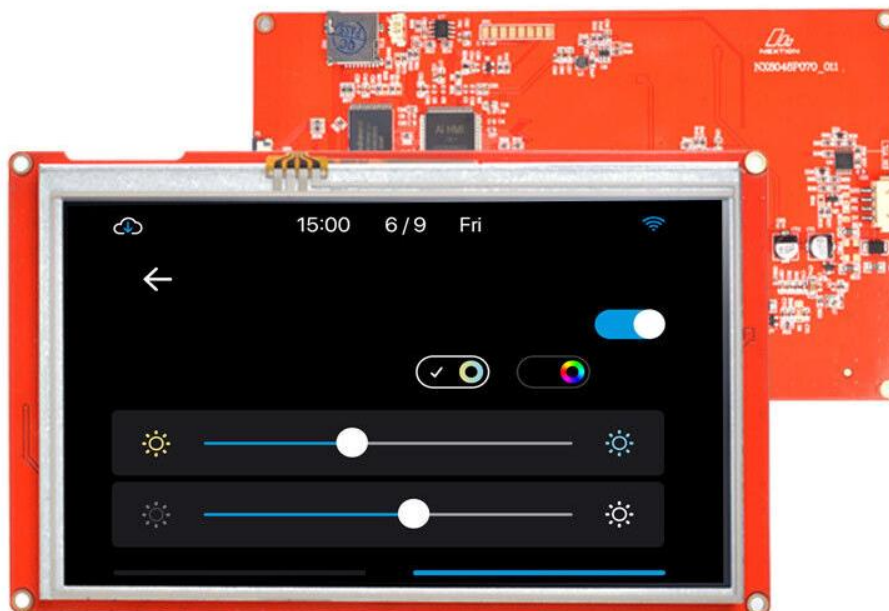
Enhanced verze obsahuje opět o něco výkonnější procesory, které dosahují frekvence až 108 MHz. Je vybavena 32 MB flash pamětí. Tato řada zahrnuje funkci RTC (Real-Time Clock) a rozšiřuje vstupně-výstupní možnosti o 8 GPIO pinů. [48]

Intelligent řada představuje vrchol nabídky. Používané procesory mohou dosahovat frekvence až 200 MHz, paměti až 128 MB a operační paměti 512 kB. Stejně jako Enhanced, i Intelligent řada nabízí 8 GPIO pinů a RTC, ale rozšiřuje funkčnost o přehrávání zvuku, videa a animace, čímž výrazně obohacuje uživatelskou interakci. Podporuje také pokročilé softwarové funkce jako průhledné komponenty, efekty načítání stránky a možnosti přesunu či přetažení komponent. To usnadňuje vytváření dynamických a vizuálně atraktivních projektů HMI (Human-Machine Interface). [49]

Značka Nextion poskytuje uživatelům rozsáhlou technickou podporu a různé zdroje informací pro usnadnění vývoje projektů s jejich displeji. Uživatelé mají k dispozici komunitní fórum, kde mohou vzájemně sdílet otázky, problémy a řešení týkající se jejich projektů. Fórum je bohatým zdrojem ukázek řešení a návodů, což novým i pokročilým uživatelům usnadňuje orientaci ve všech možnostech, které displeje Nextion nabízejí. Kromě podpory ze strany komunity nabízí Nextion také široký sortiment příslušenství k produktům, což umožňuje rozšíření funkcí a zjednodušení integrace displejů pro různá použití. Mezi toto příslušenství patří desky pro převod USB na TTL pro snadnější programování, reproduktory pro řady inteligentních displejů pro multimediální aplikace, prodlužovače SD karet pro případy, kdy je slot na SD kartu špatně dostupný, a mnoho dalšího.

Z hlediska technických specifikací, typické proudové údaje pro 7" variantu displeje Nextion zahrnují maximální spotřebu proudu 750 mA při 100 % jasu a průměrnou spotřebu okolo 430 mA. Provozní napětí těchto displejů by mělo být v rozmezí 4,75 až 6,5 V. Doporučuje se ale použití stejnosměrného zdroje o napětí 5 V a proudu minimálně 1 A. Hmotnost 7" displeje je přibližně 265 g, což je třeba brát v potaz při návrhu kompletního koncového produktu. [49]

Nextion Editor je integrované vývojové prostředí (IDE) navržené pro tvorbu a programování uživatelských rozhraní pro Nextion HMI (Human-Machine Interface) displeje běžící na operačním systému Windows. Poskytuje vizuální vývojové prostředí typu WYSIWYG (What You See Is What You Get), které umožňuje uživatelům intuitivně umísťovat a konfigurovat GUI komponenty jako jsou tlačítka, posuvníky a textová pole na pracovní ploše. Nextion Editor podporuje také pokročilé funkce, například simulaci GUI na PC. K dispozici je event-driven skriptovací jazyk pro definování uživatelských interakcí a dynamických efektů. Nextion Editor je kompatibilní s různými modely Nextion displejů a využívá sériovou komunikaci (UART) pro interakci s mikrokontrolérem. Dále Nextion Editor nabízí časovače s minimálním krokem 50 ms, ve kterých je možné vytvářet funkce a cykly pro pravidelné aktualizace a zobrazování dat na displeji. [45]



Obr. 12: Displej Nextion 7.0" [60]

2.1.3 STONE TECHNOLOGY

STONE Technology je čínský výrobce HMI displejů, jehož produkty se dostávají převážně na mezinárodní trhy. V České republice nemá oficiální zastoupení, ale je možné jeho displeje získat prostřednictvím čínských e-commerce platformů doručujících do ČR. Displeje značky STONE Technology se vyznačují rozsáhlým spektrem velikostí od 3,5" do 31,5" a rozlišení sahajících od 320 x 240 pixelů u menších modelů až po 1920 x 1080 pixelů u těch největších. Typickým rozlišením pro 7" varianty displejů je 800 x 480 pixelů. Použitá technologie TFT LCD zajišťuje vynikající kvalitu obrazu s vysokým kontrastem a širokými zornými úhly. Základní modely poskytují svítivost v rozmezí 300 až 400 cd/m². Některé modely ovšem dosahují maximální svítivosti až 1000 cd/m², což zajišťuje dobrou čitelnost i v prostředích s intenzivním osvětlením. Pro flexibilní ovládání jsou displeje vybaveny kapacitními nebo rezistivními dotykovými vrstvami. [50]

Společnost nabízí 4 varianty displejů, které nesou označení Civil, Advanced, Industrial a Android. Každá z nich má unikátní vlastnosti a zaměření, takže vyhovují různým potřebám uživatelů. [50]

Civil verze je základní a cenově nejdostupnější řada, která nabízí displeje ve čtyřech velikostech od 4,3" do 10,1". Pro komunikaci využívá rozhraní RS232, TTL a USB. Světelnost těchto

displejů se pohybuje mezi 300 a 400 cd/m². Jsou osazeny 32bitovým procesorem Cortex A8 s frekvencí 1 GHz a disponují vnitřní pamětí 128 MB. [50]

Industrial verze rozšiřuje nabídku o další velikosti displejů od 3,5" do 10,4" a přidává další komunikační rozhraní. Umožňuje využití rozhraní LAN, WIFI, RS422, RS485 a také funkci reálného času (RTC). Využívá stejný procesor jako Civil verze, ale s větší celkovou pamětí 256 MB, která může být rozšířena pomocí SD karty o další 2 GB. Světelnost displejů zůstává na hodnotě 300 cd/m². [50]

Advanced verze nabízí displeje od 4,3" do 15,1" a zachovává specifikace a možnosti rozhraní shodné jako v Industrial verzi. Odlišností a výhodou advanced verze je vyšší světelnost až 1000 cd/m², která umožňuje použití v prostředích s intenzivním osvětlením. [50]

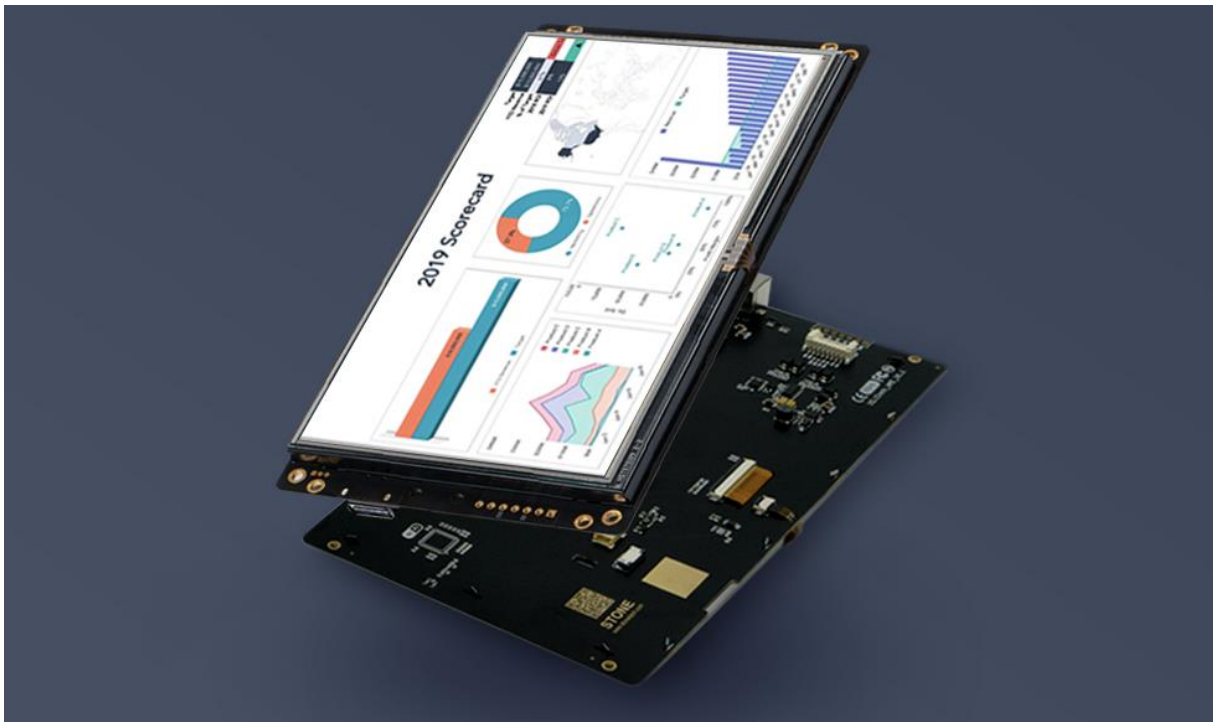
Android verze zahrnuje displeje od 7,0" do 31,5" s maximálním rozlišením 1920 x 1080 pixelů. Konkrétně 7" varianta disponuje rozlišením 1024 x 600 pixelů. Modely android jsou poháněny čtyřjádrovým procesorem ARM Cortex-A7 s taktováním 1,2 GHz, mají 8 GB interní paměti a 1 GB operační paměti. Jako operační systém využívají Android 4.4.2. Kromě standardních rozhraní nabízených předchozími verzemi, Android modely mohou být doplněny o GPS, Bluetooth nebo 4G připojení, až 5 USB výstupů a HDMI výstup. [51]

Díky podpoře rozmanitých komunikačních protokolů mohou tyto displeje efektivně komunikovat s různými mikrokontroléry. K tomuto účelu může být dodán displej s integrovaným čipem STM32, který umožňuje komunikaci přes CAN bus sběrnici. Tato funkce je zvláště užitečná pro aplikace v automobilovém průmyslu, kde je možné displej připojit přímo k řídicí jednotce vozidla a získávat nebo zasílat data v reálném čase. Co se týče napájecích požadavků, základní Civil verze displejů vyžaduje pracovní napětí od 4,5 do 6 V, zatímco ostatní řady jsou schopny fungovat v širším rozmezí napětí, konkrétně od 5 do 28 V. S rostoucím napětím se logicky zvyšuje i proudová zátěž. Charakteristický 7" displej při napětí 12 V a maximálním jasu má odběr přibližně 220 mA. Nejvýkonnější Android verze pod stejnými podmínkami vykazuje odběr 400 mA. V obou případech se doporučuje použití napájecího zdroje s parametry 12 V a 2 A pro optimální výkon a stabilitu systému. Hmotnost 7" zařízení se pohybuje kolem 325 g. To se mění v závislosti na požadované výkonnostní specifikaci a integrovaných komponentech. [52]

STONE Designer je pokročilé vývojové prostředí od společnosti STONE Technology. Bylo navrženo pro efektivní a intuitivní tvorbu grafických uživatelských rozhraní (GUI) pro aplikace využívající TFT LCD moduly STONE. Cílem tohoto softwaru je poskytnout vývojářům nástroje, které výrazně zjednodušují celý proces návrhu GUI od počátečního konceptu až po finální implementaci.

Jednou z důležitých vlastností STONE Designer je možnost "drag and drop" (táhni a pusť), která umožňuje uživatelům snadno umisťovat a přizpůsobovat prvky GUI, jako jsou tlačítka, posuvníky, textová pole a obrázky. Tato funkce eliminuje potřebu rozsáhlých programovacích znalostí, což umožňuje rychlejší vývoj a prototypování. Software dále nabízí pokročilé nástroje pro simulaci, které umožňují vývojářům testovat a upravovat jejich návrhy GUI přímo v rámci vývojového prostředí. STONE Designer podporuje vektorová písma a nabízí rozsáhlé možnosti pro úpravu stylu a fontu textu. Uživatelům poskytuje široké spektrum nastavení pro přizpůsobení widgetů, včetně možnosti zobrazení a vykreslování grafů pro dynamické aktualizace. Software pracuje s obrázkovými formáty JPG, BMP, PNG a umožňuje tvorbu GIF animací. Pro zvýšení interaktivity GUI nabízí STONE Designer možnost animace

přednastavených widgetů. Příkladem může být vizualizace indikátorů, které mohou začít blikat při dosažení určitých hodnot, například jmenovitých otáček motoru. Dále software nabízí podporu pro zvuk a video, včetně formátů MP3 a MP4. Veškerá řídicí logika je založena na ASCII, což usnadňuje integraci GUI s ostatními systémovými komponenty. [53]



Obr. 13: Displej Stone [52]

2.1.4 ROZHODNUTÍ O VÝBĚRU DISPLEJE

Při rozhodování o výběru ideálního displeje hrálo roli několik faktorů, mezi které byla zařazena cena, specifikace, dostupnost na českém trhu (zejména s ohledem na reklamace), možnosti softwaru pro tvorbu GUI a schopnost komunikace s dalšími vývojovými deskami pro následnou tvorbu celého přístrojového panelu.

Pro porovnání základních parametrů byla vytvořena Tab. 2, kde jsou porovnány displeje o velikosti 7,0" od jednotlivých výrobců.

Tab. 2: Specifikace jednotlivých displejů

	4D Systems	Nextion	STONE Technology
Velikost displeje	7,0"	7,0"	7,0"
Rozlišení displeje	800 x 480	800 x 480	800 x 480
Svítivost	844 cd/m ²	300 cd/m ²	300 cd/m ²
Frekvence CPU	16 MHz	200 MHz	1 GHz
Flash paměť	192 kB	128 MB	128 MB
Komunikační rozhraní	SPI, SD karta	TTL, SD karta	TTL, RS232, USB
CAN bus rozhraní	Ne	Ne	Ano (doplňkově)
Operační napětí	4,0–5,5 V	4,75–6,5 V	4,5–6 V
Proudová zátěž (100 % jas)	950 mA	750 mA	220 mA
Cena	4 090 Kč	2 630 Kč	2 570 Kč

Cenově nejdostupnější jsou displeje od firmy STONE Technology, které zároveň nabízejí nejlepší specifikace, širokou škálu velikostí obrazovek a největší možnost komunikačních rozhraní. Bohužel jsou tyto displeje těžko dostupné nebo mají dlouhou dodací lhůtu při zaslání do České republiky. U některých zařízení byly nalezeny nesrovnalosti mezi popisem displeje na webových stránkách a v datových listech výrobce. Tato fakta vedla k vyřazení výrobce STONE Technology jako jedné z možností.

Při rozhodování mezi firmami Nextion a 4D Systems hrála největší roli pořizovací cena zařízení a specifikace přístroje nabízeného v požadované kategorii. Displeje značky Nextion stojí přibližně o 40 % méně než zařízení od konkurenta. Současně v dané cenové kategorii nabízí Nextion mnohem lepší specifikace. Za výhodu firmy 4D Systems může být považována zvýšená svítivost. Pro tvorbu displeje dle požadavků a zadání diplomové práce je však dostačující hodnota 300 cd/m², kterou disponují cenově dostupnější zařízení od Nextion.

Rozdíly mezi nástroji pro tvorbu GUI od obou firem jsou minimální. Prostředí nabízené firmou Nextion umožňuje o něco jednodušší vytváření aplikací. Nextion dále nevyžaduje od zákazníků zakoupení dalších rozšíření pro rozšířené možnosti tvorby, což je další výhodou oproti konkurenci. Oba výrobci nabízejí displeje s proudovou zátěží do 1 A, takže je možné zařízení následně napájet z akumulátoru.

Pro tvorbu vlastního displej panelu byl po srovnání 3 uvedených výrobců zvolen inteligentní displej značky Nextion, konkrétně model NX8048T070_011R.

2.2 ČTENÍ DAT Z VOZIDLOVÉ SBĚRNICE CAN BUS

Navázání komunikace mezi řídicí jednotkou vozidla a počítačem bylo potřebné pro získání informací pro další postup při tvorbě vlastního displeje. Díky pozorovanému vozidlu mohla být následně vytvořena aplikace, pomocí které lze ověřovat měřené veličiny v reálných podmínkách a také může být vytvořen model pro laboratorní testování.

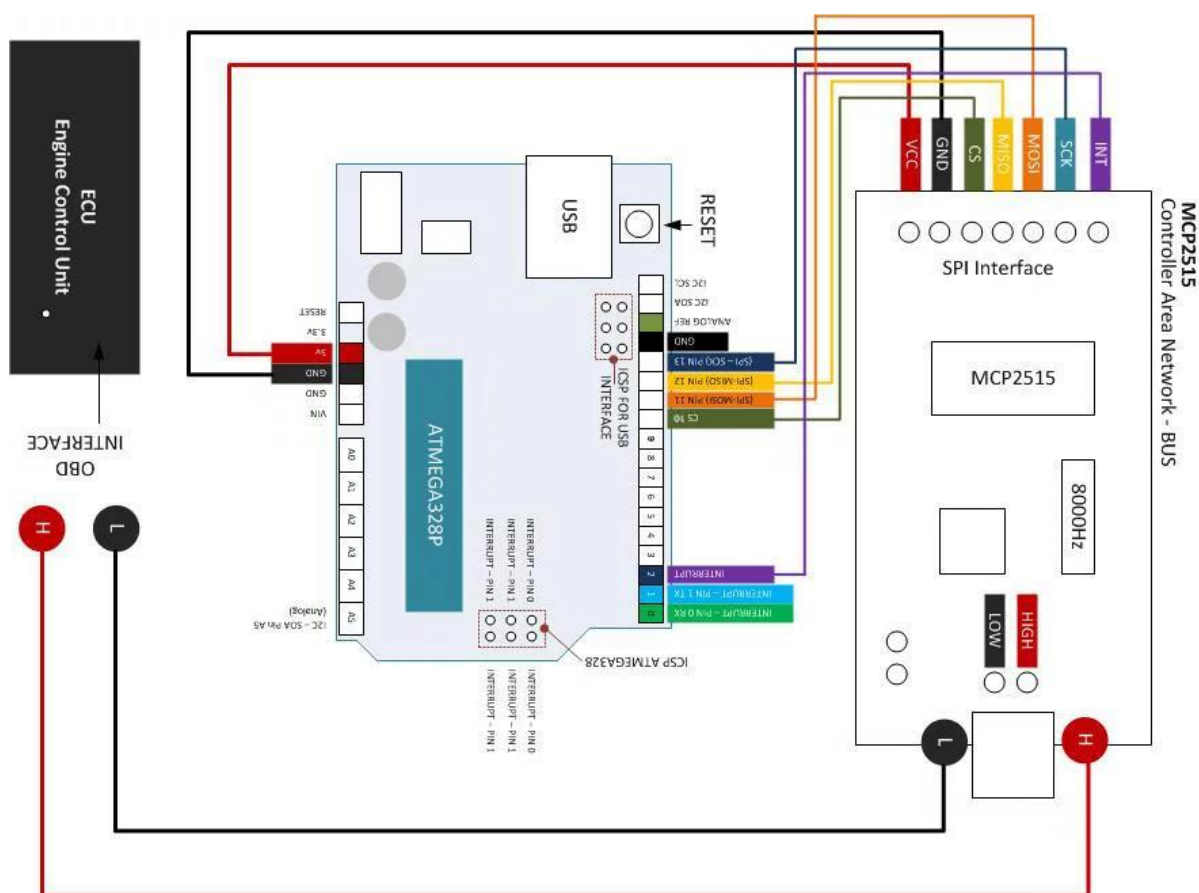
V zadání diplomové práce není zahrnuto konkrétní vozidlo ani řídicí jednotka motoru, pro kterou by měl být displej vytvořen. Z tohoto důvodu bylo vše při procesu tvorby zjišťováno a následně aplikováno na reálném vozidle, pomocí čehož se dále mohla snadno ověřit funkčnost zařízení usnadňující další proces tvorby.

Pro prvotní navázání komunikace mezi řídicí jednotkou vozidla a počítačem bylo využito převodníku MCP2515, vývojové desky Arduino Uno, dvojice vodičů pro CAN H a CAN L a konektoru pro lepší připojení k OBD zásuvce vozidla. Tento proces by měl teoreticky umožňovat kompletní výpis datových zpráv z vozidla.

Do paměti Arduino byl nahrán kód z knihovny vývojového prostředí Arduino IDE, který efektivně umožňuje komunikaci mezi převodníkem MCP2515, vývojovou deskou Arduino Uno a sběrnici CAN bus vozidla. Tento kód pro správnou funkci využívá hlavičkového souboru „mcp_can.h“, umožňující převod CAN bus komunikace, která je charakterizována jako sériová a asynchronní, na komunikaci sériovou a synchronní. Kromě toho je nezbytný hlavičkový soubor „SPI.h“, který zajišťuje komunikaci mezi převodníkem a vývojovou deskou. Aby kód fungoval správně, bylo potřeba provést několik základních úprav.

První úprava spočívala v nastavení správné hodnoty frekvence oscilátoru použitého na převodníku, jelikož převodníky bývají standardně dodávány s oscilátory o frekvencích 8, 12 a 16 MHz. Druhá úprava se týkala nastavení bitové rychlosti samotné komunikace ve vozidle, která se obvykle pohybuje v rozmezí 125 až 500 kb/s v závislosti na typu přenášených zpráv. Poslední potřebná úprava se týkala nastavení přenosové rychlosti „baud rate“, tedy mezi vývojovou deskou a konzolí počítače, kam jsou následně vypisovány hodnoty z CAN bus sběrnice.

Podle schéma zapojení byla vývojová deska propojena s převodníkem pomocí vodičů. Arduino Uno bylo následně připojeno k počítači přes USB kabel, aby bylo možné zajistit výpis hodnot do konzole vývojového prostředí Arduino IDE. Na druhé straně byl převodník MCP2515 připojen k OBD diagnostické zásuvce pomocí dvojice vodičů CAN H a CAN L, kde se běžně na pinu 6 nachází CAN H a na pinu 14 CAN L.



Obr. 14: Zapojení převodníku MCP2515 [24]

2.2.1 POZOROVANÁ VOZIDLA

Celkem byla pozorována 3 různá vozidla s rozdílnými roky výroby, protože u prvních dvou vozidel vznikaly problémy s výčtem dat. Vozidla BMW E46 a BMW E61 nebyla vhodná pro pozorování. Čtení dat z vozidlové sběrnice CAN bus bylo tedy úspěšné až u třetího vozu, kterým byla Mazda 6.

BMW E46 320i (R.V.1999)

Prvním pozorovaným vozidlem bylo BMW E46 320i vyrobené roku 1999, s motorem M52TUB20 a řídicí jednotkou motoru Siemens MS42. Při pokusech o čtení ze sběrnice tohoto vozidla došlo k výrazným komplikacím. Hlavním problémem bylo, že OBD zásuvka určená k vyčítání dat nebyla vybavena nezbytnými vodiči. Jak ilustruje Obr. 15, v OBD konektoru chybělo napojení pinů 6 a 14, což jsou standardní piny pro CAN bus komunikaci. Namísto toho byly aktivní piny 4 a 5, které starší modely BMW běžně využívaly pro komunikaci prostřednictvím protokolu K-Line sloužícího primárně pro diagnostické účely. Ačkoliv je elektronický systém tohoto vozidla založen na CAN bus komunikaci, pro přímé připojení by bylo nezbytné využití takzvaného parazitního připojení v určitém kabelovém svazku. Při tomto postupu připojení může dojít k narušení komunikace, což může potenciálně vést ke vzniku chyb v systému vozidla. Vzhledem k těmto rizikům bylo rozhodnuto o vyloučení vozidla BMW E46 z pozorování.



Obr. 15: OBD konektor vozidla BMW E46 320i

BWM E61 525D (R.V.2007)

Druhým testovaným vozidlem bylo BMW E61 525d vyrobené v roce 2007, s kódem motoru M57D30TU2 a řídicí jednotkou Bosch DDE 6.0. Při použití stejného zapojení jako u předchozího vozidla již bylo možné získat některé datové zprávy. Tyto zprávy se však týkaly pouze údajů o poloze spínací skřínky, kdy změna polohy zapalování vedla k odlišnosti v hodnotě prvního bajtu datové zprávy. Další pokusy o získání více dat byly neúspěšné. Vozidlo je pravděpodobně vybaveno specifickým zabezpečením v diagnostické zásuvce proti vnějším zásahům, které znemožňuje výčet širšího množství dat. Toto zabezpečení by mohlo vyžadovat odeslání určité datové zprávy do CAN bus sběrnice, která by umožnila spuštění kompletního výčtu dostupných dat. Vzhledem k absenci konkrétních informací od výrobce o potřebném postupu nebo údaji, který by bylo třeba odeslat do sběrnice, nebylo možné tento proces dále realizovat a vozidlo BMW E61 bylo taktéž vyřazeno z pozorování.

MAZDA 6 GY 2.0 MZR-CD (R.V.2006)

Posledním pozorovaným vozidlem byla Mazda 6 vyrobená v roce 2006, osazená motorem RF7J a řídicí jednotkou motoru od firmy Denso. Při použití stejného zapojení a zdrojového kódu na vývojové desce Arduino Uno se podařilo dosáhnout kompletního vyčtení dat. Vyčtená data byla ve formátu zobrazeném na *Obr. 17*.

Na začátku každé zprávy bylo identifikováno jednotlivé ID, které určovalo typ zprávy. Za ním následující datová část mohla obsahovat až 8 bajtů. Celkem bylo vyčteno přibližně 20 rozdílných zpráv. K vozidlu není volně dostupná databáze jednotlivých zpráv. Bylo tedy vyžadováno rozluštění každé zprávy a určení potřebného scale a offsetu pro daná data. Překlad těchto dat byl potřebný pro následné ověření funkčnosti celého přístrojového panelu.



Obr. 16: Pozorované vozidlo Mazda 6 GY

```
Output Serial Monitor X
Message (Enter to send message to 'Arduino Uno' on 'CC
ID: 202 Data: 00 20 00 1F 00 20 00
ID: 4B0 Data: 27 10 27 10 27 10 27 10
ID: 214 Data: FF FF FF FF 00 02 80 3C
ID: 4B1 Data: 00 00 00 00 00 00 00 00
ID: 4B0 Data: 27 10 27 10 27 10 27 10
ID: 4B1 Data: 00 00 00 00 00 00 00 00
ID: 202 Data: 00 1F 00 20 00 1F 00
ID: 4B1 Data: 00 00 00 00 00 00 00 00
ID: 4EC Data: 00 00 00 00 00 00 00 00
ID: 420 Data: 54 1F 00 0A 00 00 00 00
ID: 201 Data: 0C 23 FF FF 27 10 00 FF
ID: 4B0 Data: 27 10 27 10 27 10 27 10
ID: 202 Data: 00 1F 00 20 00 1F 00
ID: 201 Data: 0C 21 FF FF 27 10 00 FF
ID: 4B1 Data: 00 00 00 00 00 00 00 00
ID: 4EC Data: 00 00 00 00 00 00 00 00
ID: 80 Data: 27 97 75 30 01 53 AE
ID: 430 Data: 70 80 00 00 00 00 00 00
```

Obr. 17: Záznam výčtu dat z CAN sběrnice vozidla

2.2.2 VÝPOČET JEDNOTLIVÝCH VELIČIN

Pro zjištění významu jednotlivých dat bylo využíváno různých internetových fór, například Mazda6club, a také norem J1979 pro osobní vozidla a J1939-71 pro nákladní vozidla a těžkou techniku, které popisují výpočty jednotlivých funkcí.

V průběhu analýzy dat z vozidla Mazda 6 z roku 2006 bylo objeveno několik zajímavých vzorů v datových zprávách. Mezi zjištěními bylo mnoho zpráv s bajty, které obsahovaly hodnotu 00, což naznačuje, že tyto hodnoty čekaly na určitou akci, kterou může být například otevření dveří. Tyto informace nebyly při tvorbě závodního displeje považovány za důležité. Další častou hodnotou ve zprávách byly bajty s hodnotou FF, které označovaly neobsazené bajty. Po jejich odebrání se objem dat výrazně snížil.

Při interpretaci dat vznikaly rozdíly v závislosti na motorizaci, verzích vozidel nebo dokonce typu převodovky, což přidávalo na složitosti celé problematiky. Příkladem je zpráva s ID 231, která měla podle diskuse na internetu indikovat zařazenou rychlost. V našem případě ale obsahovala první bajt s hodnotou FF, což mohlo být způsobeno například rozdílným typem manuální převodovky, než jaký byl očekáván. Na jiném zdroji byla pro údaj o převodovém stupni určena zpráva s ID 228. V uvedeném případě se jednalo o vozidlo s automatickou převodovkou, avšak pozorovaná Mazda 6 má převodovku manuální, proto zpráva s ID 228 chyběla v celkovém získaném výčtu dat.

Jako užitečnou lze považovat zprávu s ID 4B0. Na Obr. 17 si lze u této zprávy všimnout série po sobě se opakujících bajtů 27 a 10. Je nutné konstatovat, že při testování bylo vozidlo ve statické poloze a bylo zabrzděné s nastartovaným motorem běžícím na volnoběh. Tato zpráva by mohla odpovídat údajům o rychlosti vozidla, respektive údajům o čidlech otáček jednotlivých kol. Údaj se shodoval také s jednotlivými internetovými fóry, která uváděla, že bajty 0–1 nesou údaje o levém předním kole, 2–3 o pravém předním kole, 4–5 o levém zadním kole a 6–7 o pravém zadním kole. Jako jedna z možných interpretací výpočtů by se mohl jevit výpočet dle vzorce číslo 46 a 46 (kde hodnota A představuje první bajt a hodnota B druhý bajt). Při dosazení vyhovujících hodnot 27 a 10, které musíme nejprve převést z hexadecimální hodnoty na decimální, dostaneme hodnotu 0, což odpovídalo realitě. Funkčnost tohoto výpočtu byla ověřena při následném testování. [59]

$$\text{Rychlost vozidla} = \frac{X - 10000}{100} \text{ [km/h]}, \quad (1)$$

$$X = 256 * A + B, \quad (2)$$

Po dosazení naměřených hodnot získáme:

$$X = 256 * 39 + 16 = 10000, \quad (3)$$

$$\text{Rychlost vozidla} = \frac{10000 - 10000}{100} = 0 \text{ km/h}, \quad (4)$$

Další vyčtenou zprávou byla zpráva s ID 201, u které se na prvních dvou bajtech nachází údaj o otáčkách motoru. Dále by se v této zprávě měl nacházet údaj o rychlosti vozidla, a to na bajtech 4 a 5, což v našem případě odpovídá stejným hodnotám, jako jsou v jednotlivých bajtech

u datové zprávy s ID 4B0. V poslední řadě je zde 6. bajt, který by měl změnit hodnotu v případě sešlápnutí plného plynu. Tato skutečnost nebyla ověřena.

Výpočet přesných hodnot otáček motoru vychází ze vzorce číslo 47. Po dosazení získaných hodnot 0C a 23, převedených do decimální soustavy na 12 a 35, získáme hodnotu otáček 776,75 ot/min, což odpovídá otáčkám motoru pozorovaného při volnoběhu. [59]

$$\text{Otáčky motoru} = \frac{256 * A + B}{4} \text{ [ot/min]}, \quad (5)$$

Po dosazení naměřených hodnot získáme:

$$\text{Otáčky motoru} = \frac{256 * 12 + 35}{4} = 776,75 \frac{\text{ot}}{\text{min}}, \quad (6)$$

Třetí vypočítanou veličinou byla teplota chladicí kapaliny, identifikovaná pod ID 420, ve které se hodnota teploty nacházela v prvním bajtu. Hodnoty teploty se obvykle počítají pouze z jednoho bajtu, což poskytuje dostatečnou přesnost pro zobrazení 256 různých hodnot. Aby bylo možné zaznamenat nebo vyčíst i záporné teplotní hodnoty, například během prudkých mrazů, je nutné do výpočtu zahrnout offset. V našem případě byl offset stanoven na 40, což umožňuje zobrazení teploty v rozmezí od -40 do 215 °C, viz vzorec číslo 47. Naměřená hodnota 54 byla převedena do decimální soustavy na 84 a poté byla vypočítána provozní teplota chladicí kapaliny ve výši 44 °C. [59]

$$\text{Teplota chladicí kapaliny} = A - 40 \text{ [}^\circ\text{C]}, \quad (7)$$

Po dosazení naměřených hodnot získáme:

$$\text{Teplota chladicí kapaliny} = 84 - 40 = 44 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (8)$$

Poslední zjištěnou veličinou byl údaj o množství paliva v nádrži, který byl zaznamenán na hodnotě prvního bajtu zprávy nacházející se pod ID 430. Jelikož zde nemusíme řešit žádné záporné hodnoty, hodnota offsetu je nulová. Aby bylo možné změřit množství paliva přesněji, využívá se zde scale, který hodnotu jednoho bajtu dělí čtyřmi. Když hodnotu počtu možných znaků jednoho bajtu (256) podělíme čtyřmi, získáme hodnotu 64, což je také udávaná maximální velikost nádrže pro sledované vozidlo Mazda 6 GY. Výpočet množství paliva odpovídá vzorci číslo 47, kde po dosazení hodnot a převedení do decimální soustavy získáváme údaj o množství paliva, které bylo při našem měření 28 litrů. [59]

$$\text{Množství paliva v nádrži} = \frac{A}{4} \text{ [litrů]}, \quad (9)$$

Po dosazení naměřených hodnot získáme:

$$\text{Množství paliva v nádrži} = \frac{112}{4} = 28 \text{ litrů}, \quad (10)$$

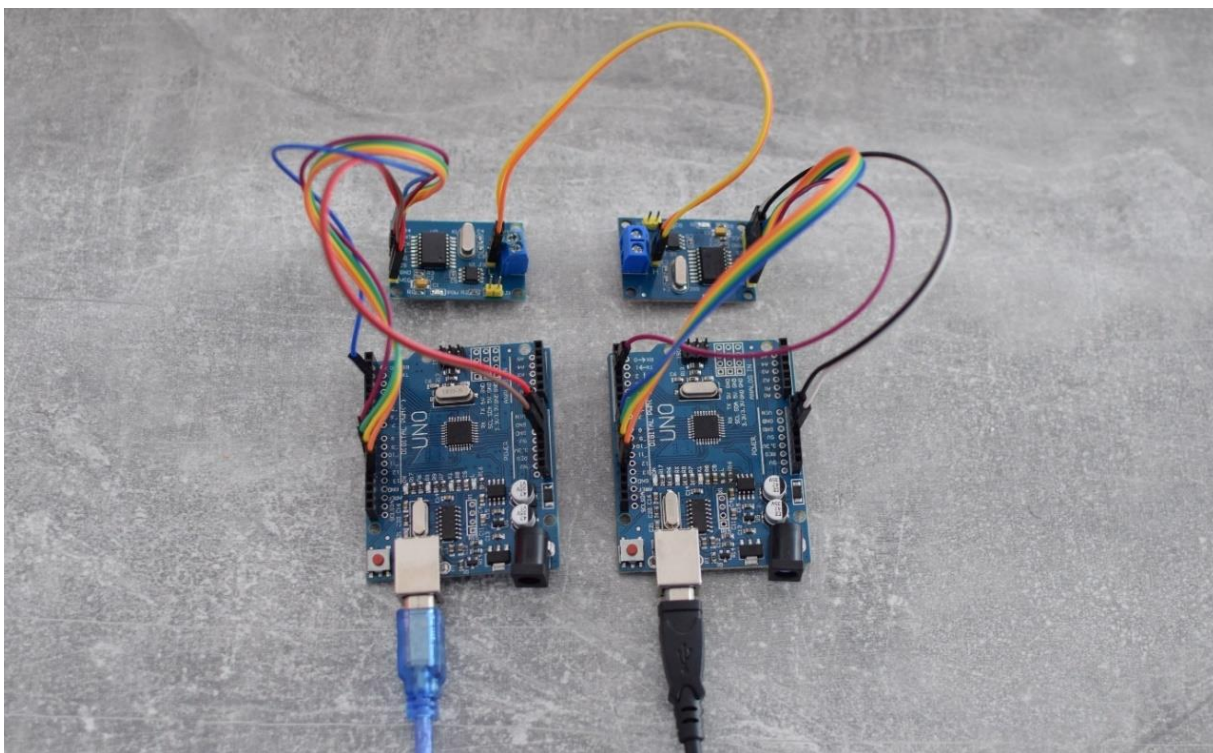
Veškeré pokusy o vyčtení většího množství dat byly neúspěšné, přesto se povedlo vyčíst alespoň základní parametry, které ověří funkčnost závodního displeje a případně ukážou

nedostatky celého vytvořeného systému. Pro získání rozsáhlejšího množství informací by bylo vhodné použít nějaký komerční produkt určený k podobné práci, například software PCAN-View společně se skenerem PCAN-USB. Toto řešení by ale zvýšilo náklady na vývoj navrhované součástky a celkovou cenu sestaveného displeje, což je nežádoucí, jelikož je cílem práce vytvořit zařízení s výrazně nižšími náklady, než je aktuálně nabízeno na trhu.

2.2.3 TVORBA KÓDU A SIMULACE VOZIDLA

Pro usnadnění dalšího pracovního postupu probíhalo testování v laboratorních podmínkách. To umožnilo provádět úpravy bez nutnosti manipulace s celým zařízením ve vozidle. Pro tento účel byla vytvořena testovací souprava skládající se ze dvou vývojových desek Arduino Uno a dvou CAN bus převodníků osazených čipem MCP2515. K soupravě byl také připojen inteligentní displej od firmy Nextion pro ověření komunikace přes UART.

Jedna z vývojových desek sloužila k simulaci řídicí jednotky vozidla. Vytvářela CAN bus zprávy se stejnými ID, jaká byla vyčtena z vozidla Mazda 6. Tímto způsobem bylo možné otestovat funkčnost kódu i při finálním zapojení ve vozidle. Data byla posílána do CAN bus převodníku, kde byla převedena na CAN bus komunikaci a odeslána pomocí dvojice vodičů CAN H a CAN L do druhého převodníku. Druhý převodník společně s druhou vývojovou deskou tvořil přijímací stanici. V této přijímací stanici byla data vyhodnocena a byly vypočteny příslušné hodnoty, mezi které patřily otáčky motoru, rychlost vozidla, teplota chladicí kapaliny a množství paliva. Tyto hodnoty byly následně odeslány do displeje, kde mohly být vizuálně zobrazeny a porovnány s vypočtenými hodnotami. Celou funkční sestavu lze vidět na *Obr. 18*.



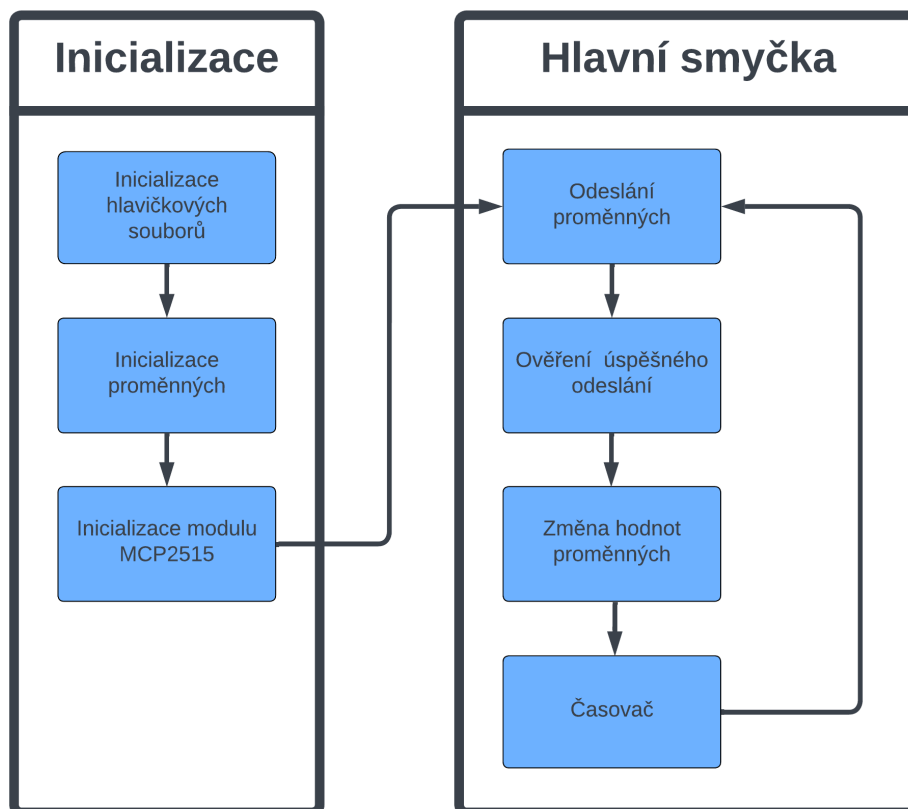
Obr. 18: Testovací zapojení vývojových desek

ODESÍLÁNÍ DAT

Tvorba kódu probíhala v softwaru Arduino IDE, který je standardně dodáván k vývojovým deskám Arduino Uno. Pro odesílání dat byly využity hlavičkové soubory „*mcp_can.h*“ a „*SPI.h*“ z knihovny tohoto programu. Na začátku je definován objekt CAN0 s pinem CS nastaveným na 10, což umožňuje komunikaci s CAN sběrnici. V sekci setup je inicializována komunikace přes CAN sběrnici s rychlostí 500 kb/s. Pokud je inicializace úspěšná, do sériového monitoru se vypíše zpráva "Can init ok!!", v opačném případě při neúspěšném pokusu se objeví hlášení "Can init fail!!".

Dále je v kódu definován datový typ struktury s názvem „*measurement*“, který slouží pro uchování informací o jednotlivých zprávách. Tento datový typ obsahuje identifikátor zprávy a pole dat o velikosti 8 bajtů. Ve funkci „*loop*“ se pak iteruje přes pole „*measurements*“, které obsahuje předdefinované zprávy, jako jsou otáčky motoru, množství paliva, rychlost a teplota chladicí kapaliny. Každá zpráva je postupně odesílána na CAN sběrnici. Odeslání každé zprávy je doprovázeno kontrolou stavu, přičemž úspěšné odeslání je potvrzeno zprávou "Message Sent Successfully!" na sériovém monitoru. V případě neúspěchu se vypíše "Error Sending Message...".

Kód také obsahuje prvek simulace změn dat, kdy se po každém odeslání zprávy první dva bajty každé zprávy zvýší o jedničku. Toto může simulovat reálné změny v hodnotách, které mohou nastat v provozním prostředí vozidla. Odesílání zpráv probíhá s periodou 100 ms, aby byla jednoduše vidět změna hodnot na displeji. Celý skript je přiložen v příloze P1. Zjednodušený blokový diagram je znázorněn na Obr. 19.



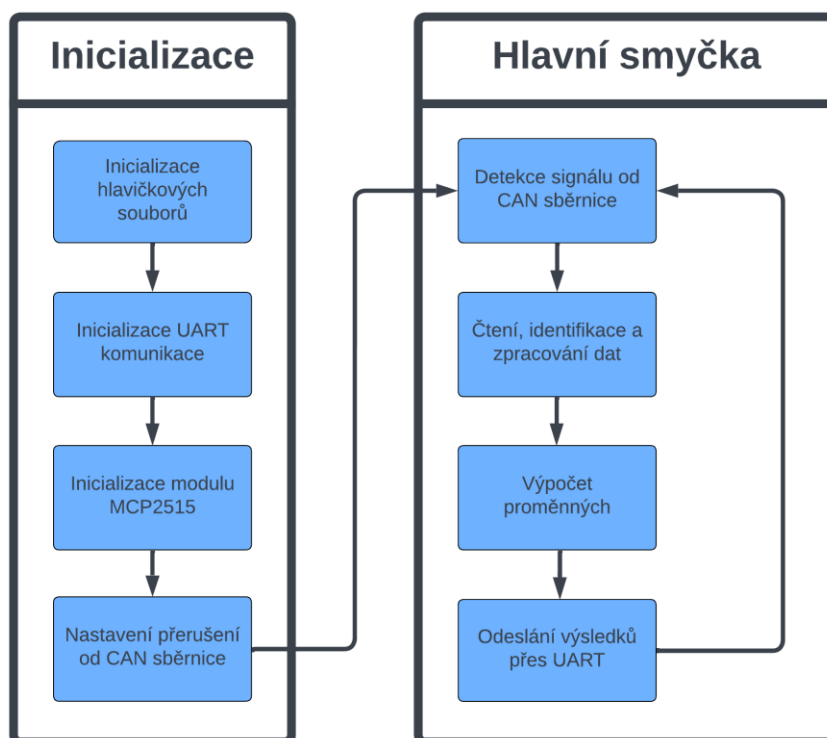
Obr. 19: Blokový diagram odesílání dat

PŘÍJEM DAT

Kód pro čtení dat z CAN sběrnice začíná importem potřebných hlavičkových souborů, které jsou shodné jako při odesílání dat, ale rozšířené o hlavičkový soubor „*vypocty.h*“ pro samotné výpočty jednotlivých veličin a „*SoftwareSerial.h*“, který umožňuje komunikaci UART. Další deklarace zahrnuje piny 6 a 7 pro UART komunikaci, označené jako „*rxPin*“ a „*txPin*“. Tyto piny umožňují vývojové desce Arduino komunikovat s dalším zařízením, kterým může být například inteligentní displej. Následující inicializace modulu MCP2515 přes SPI sběrnici s využitím pinu 10 jako Chip Select (CS) zahrnovala nastavení rychlosti CAN sběrnice na 500 kb/s. Úspěšnost této inicializace je signalizována zprávami v sériovém monitoru. Navíc je nastaven vstupní pin číslo 2 pro přerušení od CAN sběrnice, což umožňuje detekovat příjem dat.

V hlavní smyčce „*loop*“ systém reaguje na aktivaci přerušení od CAN přijímače. Při detekci signálu jsou data čtena a zpracována. Pro identifikaci a správné zpracování přijatých dat se vytvářejí instance tříd definovaných v hlavičkovém souboru „*vypocty.h*“. Tyto třídy jsou specializované pro různé typy dat, jako jsou otáčky motoru, množství paliva, rychlost vozidla a teplota vody. Každá třída dědí od základní třídy „*Velicina*“, která obsahuje společné atributy a konstruktor. Konkrétní výpočty jsou implementovány v jednotlivých potomcích této třídy.

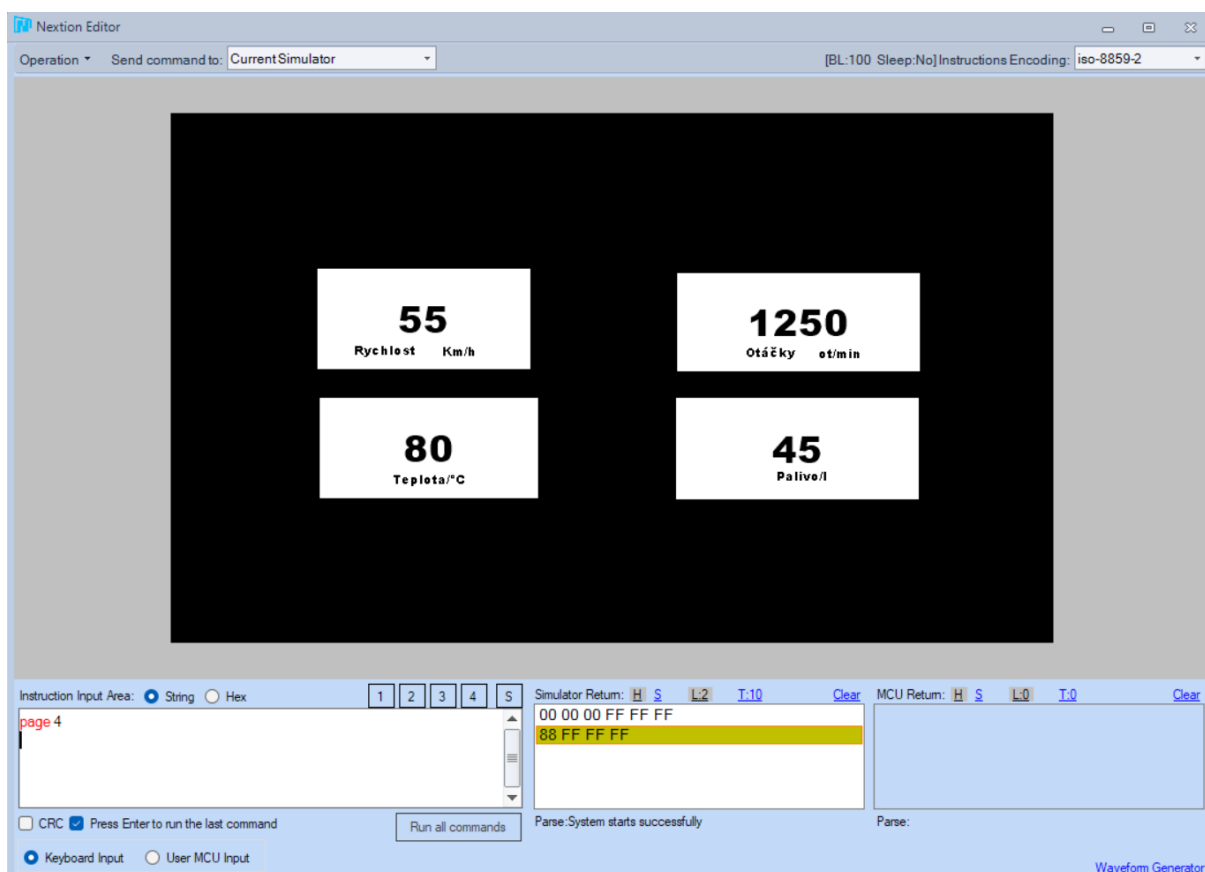
V hlavičkovém souboru „*vypocty.h*“ je definována abstraktní třída „*Velicina*“, která tvoří základ pro odvozené třídy jako „*Otacky*“, „*Mnozstvupaliva*“, „*Rychlostvozidla*“ a „*Teplotavody*“. Každá z těchto tříd implementuje virtuální metodu „*compute()*“, která vypočítává specifické hodnoty na základě vzorců a dat obsažených v poli „*data*“, jak je popsáno v kapitole 2.2.2. Výpočet jednotlivých veličin. Výsledky výpočtů jsou poté odesílány přes UART k zobrazení na inteligentním displeji.



Obr. 20: Blokový diagram příjmu dat

Pro lepší pochopení byl vytvořen blokový diagram viz *Obr. 20*. Kompletní kód s vytvořeným hlavičkovým souborem je přiložen v příloze *P1*.

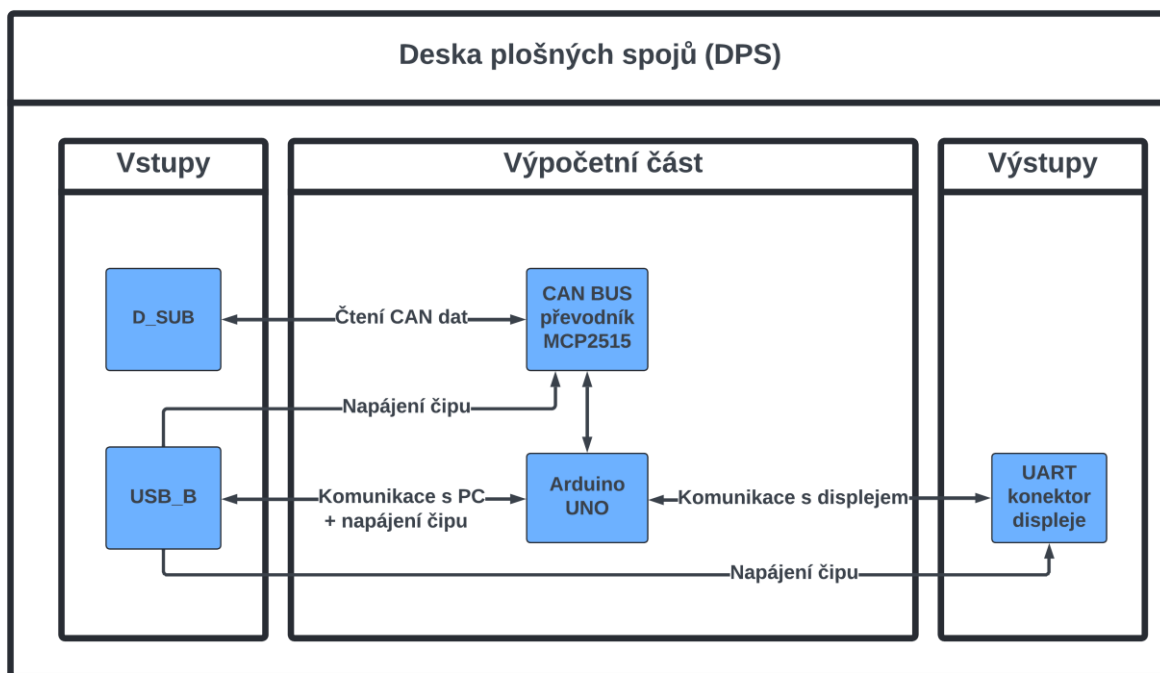
Pro testovací účely bylo na displeji vytvořeno jednoduché testovací grafické uživatelské rozhraní (GUI), které obsahovalo čtyři číselná okna pro zobrazení odesílaných dat. Každé z oken bylo pojmenováno podle měřených veličin. Pro interakci s těmito daty byl v každém okně nastaven parametr hodnoty označený jako „*val*“. Tento parametr se dynamicky měnil v závislosti na přijatých datech z CAN sběrnice. Během prvních testů bylo zjištěno, že původní datové typy nebyly vhodné, například kvůli přetečení dat do záporných hodnot. Proto byl u všech veličin použit datový typ `uint16_t` pro zajištění správného rozsahu hodnot. Celkově byl kladen důraz na vytvoření modulárního a snadno rozšiřitelného kódu pro další měřené veličiny nebo potřebné výpočty.



Obr. 21: Testovací GUI

2.3 TVORBA DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ

Deska plošných spojů (dále jen deska nebo DPS) byla navržena na základě již existující funkční sestavy, která využívá vývojovou desku Arduino Uno a CAN bus převodník osazený čipem MCP2515. Tato konfigurace byla zvolena kvůli předchozím zkušenostem a dostatečnému výkonu komponentů, které byly ověřeny během prvotních testů na skutečném vozidle. Výsledná deska má za úkol spojit hlavní části, kterými jsou Arduino Uno a CAN bus převodník, a rozšířit je o vhodné vstupy a výstupy. Ty zahrnují D-sub konektor pro připojení vodičů CAN H a CAN L z OBD zásuvky vozidla, USB konektor pro programování mikrokontroléru a napájení, a UART konektor pro komunikaci s inteligentním displejem. Architektura DPS je schematicky znázorněna na Obr. 22.



Obr. 22: Schéma architektury DPS

Bylo důležité, aby maximální rozměry desky nepřesahovaly velikost předem sestaveného inteligentního displeje, aby byla umožněna následná výroba kompaktní krabičky. Rovněž bylo zásadní, aby deska nepřekročila rozměr 100 x 100 mm, který představuje limit pro standardní výrobu u výrobce JLCPCB bez příplatku, aby byly minimalizovány výrobní náklady. Deska byla navržena jako dvouvrstvá bez vnitřních vrstev, čímž byly vyloučeny vyšší náklady spojené se čtyřvrstvou variantou, která by znamenala příplatek přesahující 60 USD. Montáž desky byla zajištěna pomocí čtyř montážních děr umístěných na jejich okrajích.

2.3.1 POUŽITÉ SOUČÁSTKY

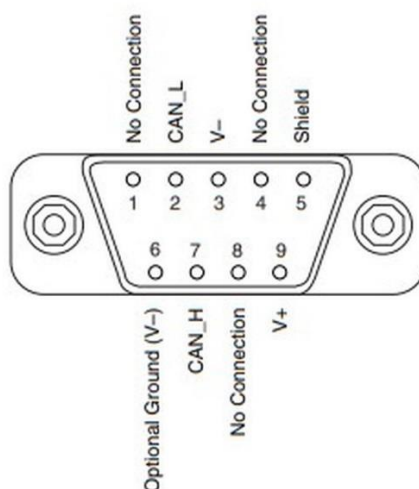
V rámci návrhu DPS byly potřeba dva mikrokontroléry Atmega328P-PU a MCP2515-I/P. Atmega328P, který se prodává v různých velikostech a variantách osazení, byl pro tento projekt zvolen v největší dostupné variantě s označením PU, což znamená 28 pinů a technologii osazování THT. Stejná technologie osazování byla použita i pro MCP2515-I/P, který má 18 pinů. Pro oba čipy bylo vytvořeno uložení do patič s odpovídajícím počtem pinů, které je

vhodné pro komponenty THT, což je výhodné v případě poruchy, protože je umožněna snadná výměna komponentů.

Čip Atmega 328P – PU patří do 8bitové rodiny AVR mikrokontrolérů a dokáže dosáhnout maximální frekvence 20 MHz. Jeho celková programová paměť činí 32 kB a disponuje 23 vstupně-výstupními piny. Pro potřeby projektu je tato kapacita více než dostatečná, neboť celková komunikace mezi zařízeními vyžaduje pouze 10 pinů. Mikrokontrolér podporuje různé komunikační protokoly, včetně UART, SPI a I2C. Provozní napětí mikrokontroléru se pohybuje v rozmezí 1,8 až 5,5 V, přičemž nejvyšší frekvence je dosažitelná v rozsahu 4,5 až 5,5 V. Mikrokontrolér je také známý svou nízkou spotřebou elektrické energie. Při frekvenci 1 MHz a napětí 1,8 V je spotřeba pouze 0,2 mA. [54]

MCP2515 I/P je samostatný CAN řadič určený pro implementaci CAN komunikace v aplikacích, kde není CAN řadič integrován přímo do mikrokontroléru. Pro komunikaci s mikrokontrolérem využívá protokol SPI. Tento čip umožňuje dosáhnout maximální přenosové rychlosti CAN až 1 Mb/s a pro zajištění přesného časování používá externí krystal. Jeho pracovní napětí se pohybuje v rozmezí 2,7 až 5,5 V. Při aktivním stavu má odběr proudu 5 mA. MCP2515 I/P obsahuje integrovanou paměť pro přijímání a odesílání zpráv a disponuje systémem masek a filtrů, které jsou zásadní pro efektivní zpracování CAN zpráv. [55]

Mezi další komponenty patří 9pinový D-sub konektor s montáží THT, který slouží k příjmu signálu CAN bus pomocí dvojice vodičů, přičemž CAN H je připojen na pin 7 a CAN L na pin 2. Přesné zapojení je znázorněno na *Obr. 23*. Dále je zde USB konektor typu B, taktéž s montáží THT, který umožňuje komunikaci s počítačem. Mimo to slouží také jako zdroj napájení pro desku. Vysokorychlostní CAN přijímač TJA 1050 převádí digitální signály z CAN řadiče na diferenciální signály a zároveň chrání systém před krátkodobými zkraty. Další důležitou součástí je CH340G, který umožňuje mikrokontroléru komunikovat s počítačem. Na desce se dále nachází 4pinový konektor pro UART komunikaci s inteligentním displejem, 6pinový konektor ICSP pro prvotní zavedení bootladeru do mikrokontroléru Atmega 328P, tlačítko pro restart, indikační LED dioda, oscilátory, rezistory a filtrační kondenzátory. Pro SMD součástky byla preferována velikost pouzdra 0805 (0,08" x 0,05"), která umožňuje zachování kompaktních rozměrů a poměrně snadné ruční pájení. Kompletní seznam komponentů s přesným počtem kusů je k dispozici v příložené příloze P2.

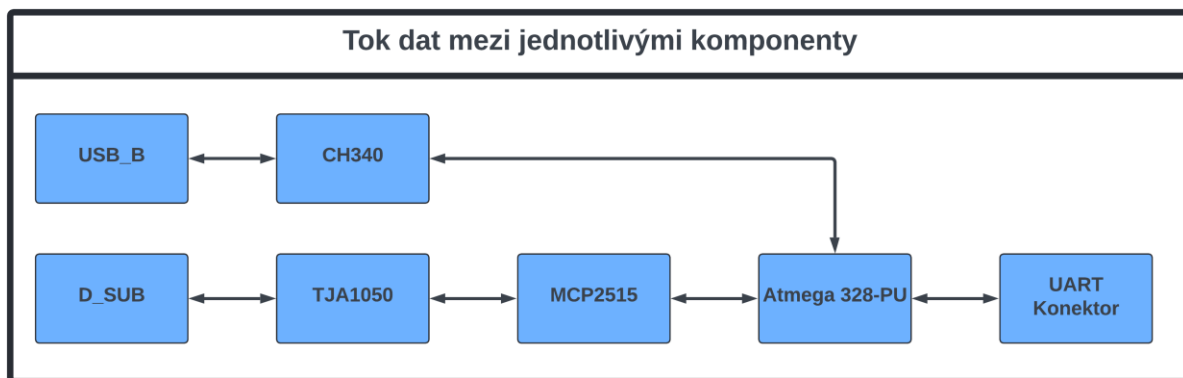


Obr. 23: D-sub konektoru [56]

2.3.2 SCHEMATICKÝ NÁVRH

Schematický návrh desky plošných spojů byl realizován v softwaru KiCad 7.0. Návrh byl sestavován se zaměřením na maximální přehlednost a čitelnost schématu. Během procesu navrhování byla kladena zvláštní pozornost na výběr a začlenění pouzder komponentů, které jsou dostupné u dodavatelů, kterými jsou TME a Mouser Electronics. Do návrhového softwaru byla nahrána co nejširší škála pouzder jednotlivých komponentů, což umožnilo zvolit ty, které jsou skutečně nejvhodnější. Tento postup měl za cíl předejít chybám při osazování. Příkladem chyby může být nesprávná rozteč děr pro montáž komponentů.

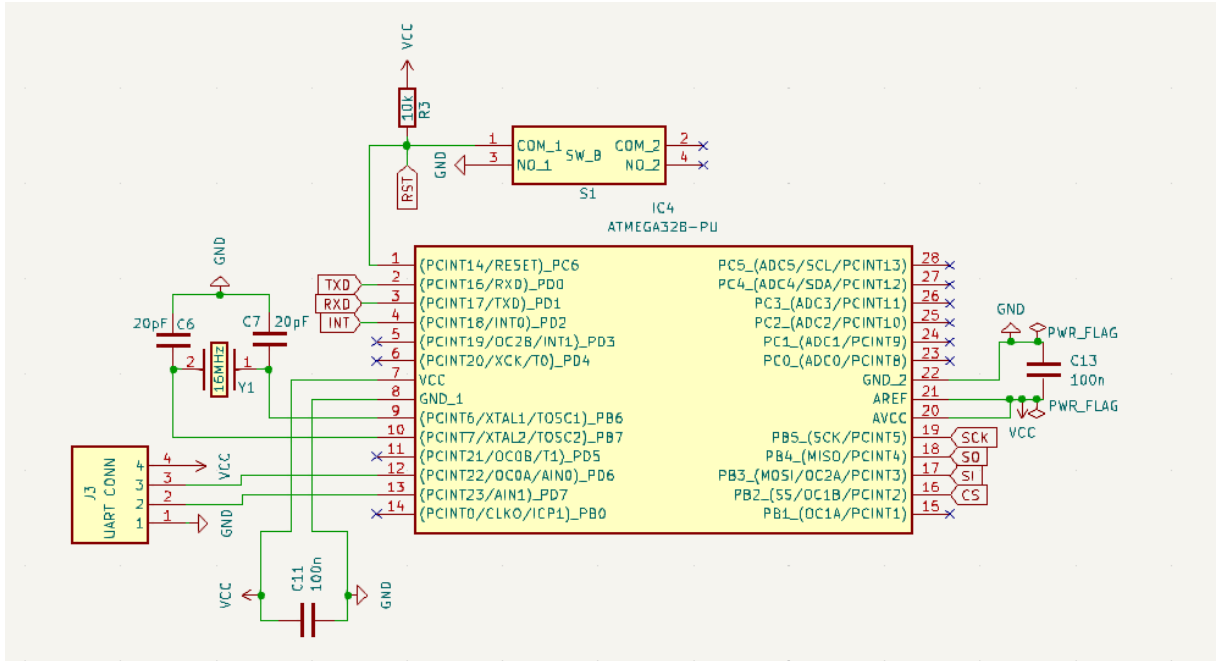
Blokové propojení jednotlivých použitých komponentů je znázorněno na *Obr. 24*. Napájení všech komponentů zajišťuje USB konektor. Kompletní schéma je přiloženo v příloze P3. Součástí schéma je také zapojení všech drobných součástek, jako jsou například kondenzátory a rezistor.



Obr. 24: Blokové schéma zapojení hlavních komponentů

ATMEGA 328P

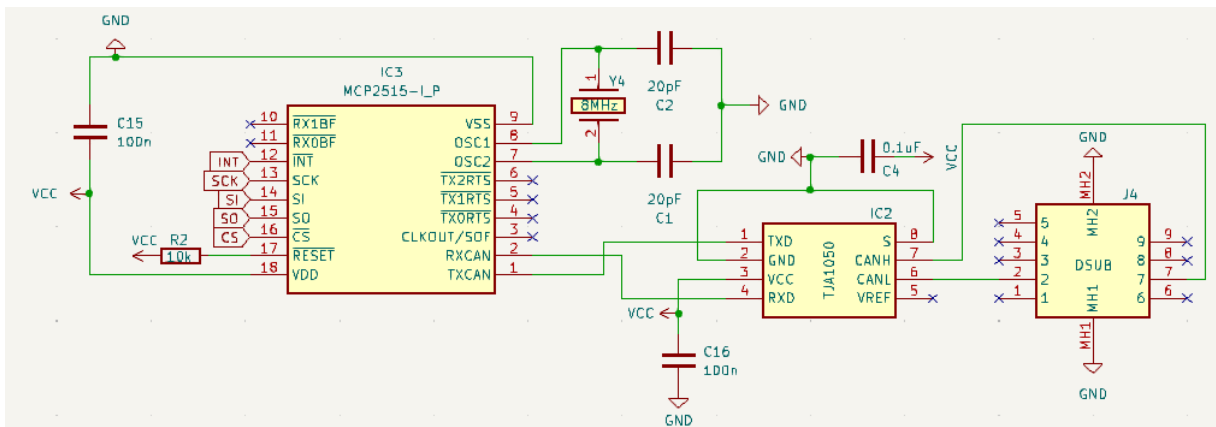
Centrálním prvkem schéma je mikrokontrolér Atmega 328P. Kolem tohoto mikrokontroléru byly rozmístěny další komponenty, aby bylo dosaženo optimální konfigurace obvodu. Mikrokontrolér Atmega 328P je připojen pomocí vodičů SCK, SO, SI, CS a INT k mikrokontroléru MCP2515. Pro USB komunikaci jsou použity vodiče RXD a TXD. Piny 6 a 7 jsou osazeny pro UART konektor, který slouží ke komunikaci s inteligentním displejem. Z dalších důležitých komponentů na schématu najdeme zapojení napájení a uzemnění, které jsou doplněny o filtrační kondenzátory 100 nF. Dále byl použit externí oscilátor s frekvencí 16 MHz společně s dvojicí kondenzátorů 20 pF, které jsou doporučeny dle datového listu výrobcem pro stabilizaci oscilací. Resetovací tlačítko je zapojeno s rezistorem o odporu 10 kΩ v pull-up konfiguraci, což umožňuje resetování systému.



Obr. 25: Schéma zapojení Atmega 328-PU

CAN ROZHŘANÍ

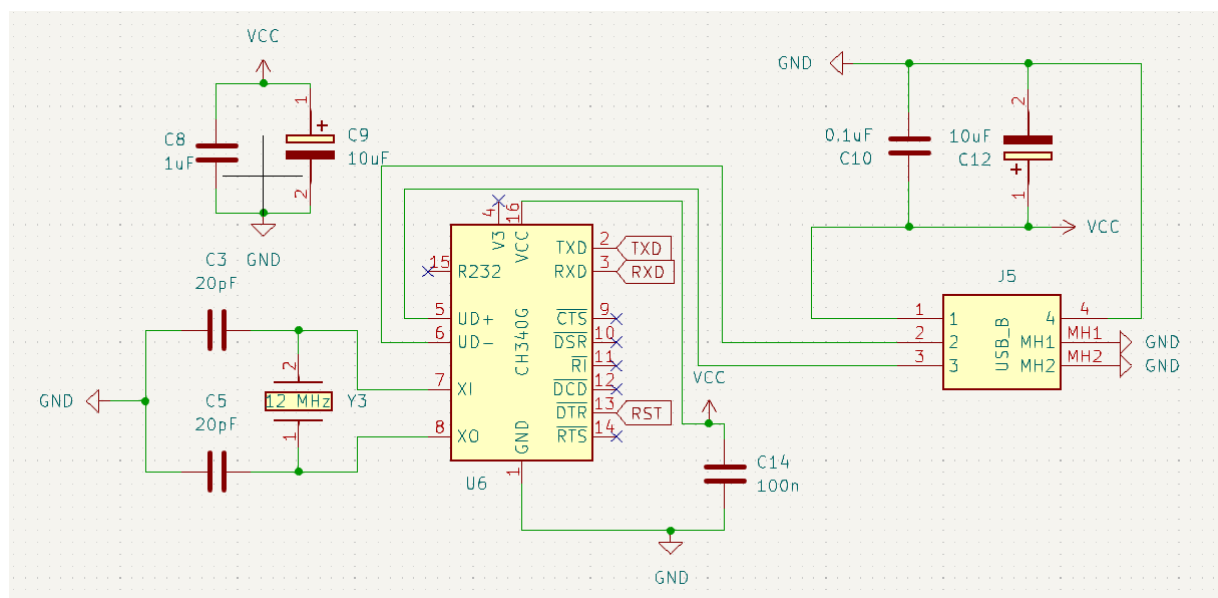
Další část schéma je zaměřena na CAN bus komunikaci. Signály CAN H a CAN L jsou z D-sub konektoru přivedeny do transceiveru TJA1050, který tyto fyzické signály překládá na RX a TX linky. Tyto linky následně komunikují s mikrokontrolérem MCP2515. TJA1050 je vybaven filtračním a bypass kondenzátorem na straně napájení, které slouží k eliminaci napěťových špiček a krátkodobých poklesů napětí, což zlepšuje spolehlivost a výkon transceiveru. MCP2515 je dále spojen s mikrokontrolérem prostřednictvím SPI rozhraní a je vybaven externím krystalem o frekvenci 8 MHz, který je stabilizován dvojicí kondenzátorů C1 a C2, aby byla zajištěna stálá oscilace. K zajištění správné logické úrovně na pinu CS, když není aktivní SPI signál, je použit rezistor R2 v zapojení pull-up. Navíc, kondenzátory C15 a C16 slouží k dodatečné filtraci a stabilizaci napájení komponentů.



Obr. 26: Schéma zapojení CAN rozhraní

USB KOMUNIKACE

Následující část schéma DPS je věnována napájení a komunikaci přes USB. Důležitým prvkem této sekce je USB převodník CH340G, který pro stabilní funkci využívá externí oscilátor s frekvencí 12 MHz. Oscilace jsou stabilizovány pomocí kondenzátorů C3 a C5. Výstupní signály z převodníku CH340G, konkrétně piny TXD a RXD, jsou propojeny s USB konektorem, který slouží nejen pro přenos dat, ale také pro externí napájení desky. Pro filtraci nižších frekvencí a stabilizaci napětí v systému jsou použity elektrolytické kondenzátory C9 a C12 o hodnotě 10uF, které také fungují jako energetické zásobníky při poklesech dodávek energie. Další keramické kondenzátory C8, C10 a C14 jsou určeny pro filtraci vyšších frekvencí a ochranu před napěťovými špičkami. V tomto návrhu nebyla použita usměrňovací dioda, protože se předpokládá, že zařízení bude zapojovat prověřená osoba a pravděpodobnost přepólování zdroje napájení je minimální. Odpadá tak potenciální úbytek napětí na diodě. Z podobného důvodu nebyl použit ani regulátor napětí, aby se předešlo dalšímu možnému úbytku napětí, který by mohl ovlivnit výkon systému.



Obr. 27: Schéma zapojení USB komunikace

LED DIODA

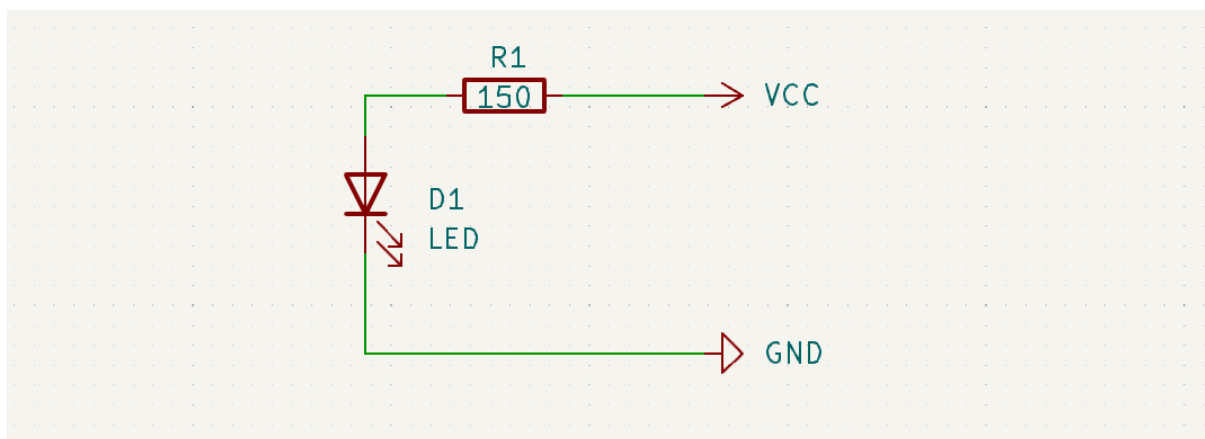
Indikační LED dioda je integrována do schématu jako zobrazovač stavu napájení zařízení. Tato LED dioda pracuje v napěťovém spektru 1,7 až 2,3 V s proudovým odběrem 20 mA. Vzhledem k tomu, že napájení desky plošných spojů je z USB konektoru a poskytuje 5 V, bylo nezbytné snížit napětí pro LED diodu, aby nedošlo k jejímu poškození. Pro výpočet velikosti odporu, který je nutný pro snížení napětí na diodě, byl použit Ohmův zákon ve tvaru, kde V_S je napětí přiváděné z USB konektoru (5 V), V_L je úbytek napětí na LED (přibližně 2 V), a I_L je proud diody (20 mA). Výpočet odporu podle Ohmova zákona lze vyjádřit jako: [57]

$$R_1 = \frac{V_S - V_L}{I_L}, \quad (11)$$

Po dosazení získáme:

$$R_1 = \frac{5 - 2}{20 * 10^{-3}} = 150 \Omega, \quad (12)$$

Na základě těchto výpočtů byl pro zapojení vybrán rezistor s hodnotou 150 Ω , což zajistí, že LED dioda bude fungovat v bezpečném pracovním režimu. Detailní zapojení LED diody spolu s rezistorem je zobrazeno na *Obr. 28*.



Obr. 28: Schéma zapojení LED diody

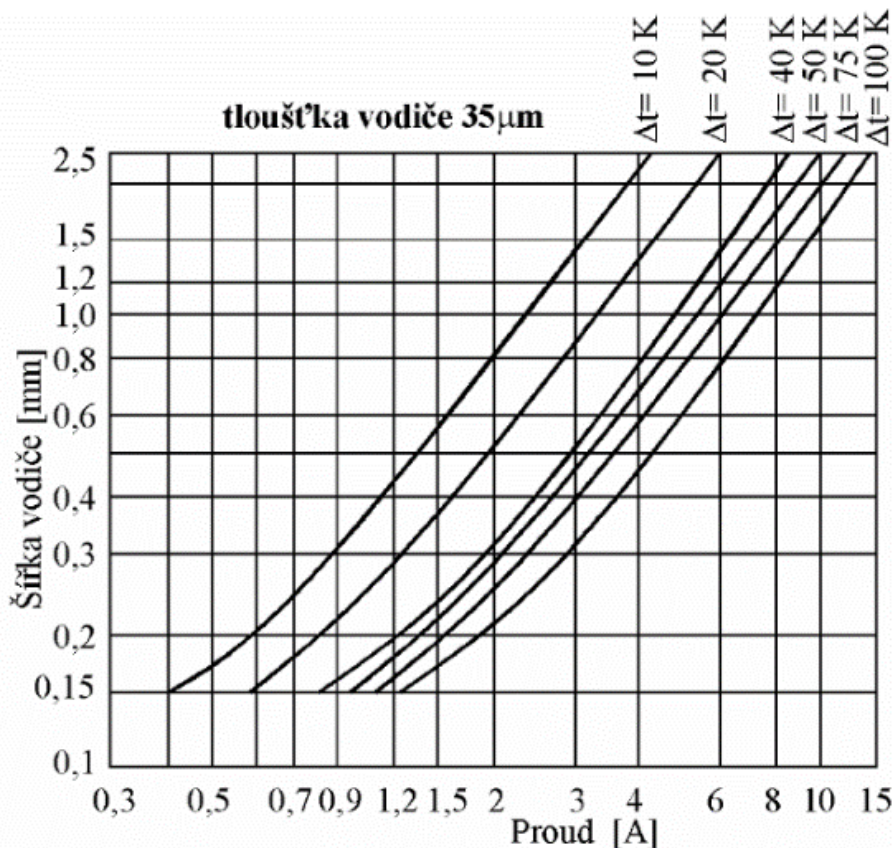
2.3.3 NÁVRH DPS

Návrh DPS pokračoval v softwaru KiCad 7.0. Prvním krokem bylo vytvoření obrysu desky s rozměry 80 x 100 mm. Tyto rozměry byly zvoleny tak, aby nepřesahovaly rozměry připojeného inteligentního displeje v konstrukčním řešení, zároveň se vešly do standardních limitů pro výrobu bez příplatků a umožňovaly efektivní rozmístění komponentů s dodržáním všech pravidel návrhu. Následně byla realizována implementace pouzder komponentů do navrženého prostoru. Tento krok zjednodušil předchozí proces návrhu, jelikož všechna pouzdra byla přenesena rovnou ze schematického návrhu, ve kterém byla postupně aktualizována a doplňována informacemi od dodavatelů komponentů, kterými jsou TME a Mouser Electronics.

Před nastavením šířky vodičů a průměrů proků bylo nezbytné vybrat výrobce desky, aby bylo možné přizpůsobit parametry podle jeho technologických možností. Zvolen byl zahraniční výrobce JLCPCB, který nabízí výhodné ceny v případě delší doby doručení, přibližně jeden měsíc. Toto zpoždění může být vnímáno jako nevýhoda, ale je přijatelné pro prototypovou desku. Výrobní náklady jedné desky, včetně poštovního, jsou přibližně 60 Kč, což je výrazně méně než u českého pool servisu od společnosti Gatema. Další potencionální nevýhodou výrobce JLCPCB je limit minimálního počtu objednávaných desek ve výši 5 kusů, což zvyšuje náklady při pořízení desky, ale zároveň je tak zajištěna rezerva pro případné chyby při osazování a je možné desky použít ke kompletaci více kusů kompletních zařízení.

Výrobce bez příplatku nabízí dvouvrstvé desky z nosného materiálu FR4 s maximálními rozměry 100 x 100 mm a tloušťkou 1,6 mm, přičemž toleranci výroby udává na 0,2 mm. Standardně je tloušťka měděné vrstvy na vnějších vrstvách 1 OZ, což odpovídá přibližně

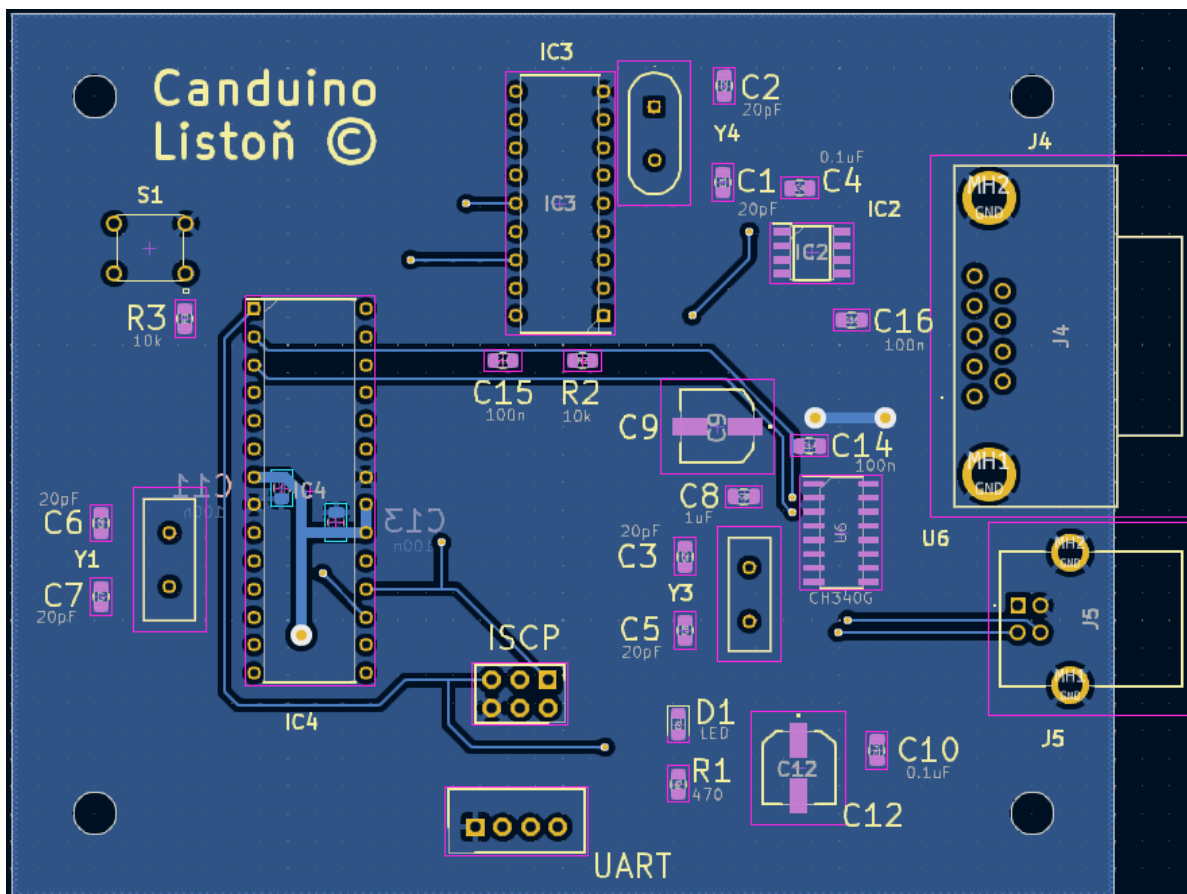
35 μm . Za příplatek 16.90 USD je možné zvolit tloušťku 2 OZ. Pro náš projekt byla zvolena standardní levnější varianta s tloušťkou měděné vrstvy 35 μm . Tento parametr umožnil definovat šířku vodičů v závislosti na proudové zátěži, jak je znázorněno na *Graf 1*. Nejvyšší proudovou zátěž na desce tvoří samotný displej, který má maximální odběr 750 mA, jak je uvedeno v datovém listu výrobce. Tato hodnota byla brána v potaz při návrhu konektoru pro zapojení displeje. Zbývající mikrokontroléry a součástky by v aktivním režimu neměly mít velký odběr, proto byla pro bezpečnost předpokládána maximální celková proudová zátěž 1 A. Byly zvoleny 2 typy šířky vodičů. Prvním je vodič se šířkou 0,3 mm pro datové trasy s nižší proudovou zátěží a druhým je vodič o šířce 1 mm pro přívodní napájecí cesty s vyšší očekávanou zátěží. Podle *Graf 1* je volba vodičů velmi bezpečná, protože při maximální zátěži nedojde k ohřátí vodiče ani o 10 °C. Průměr prokovení byl nastaven na 0,4 mm pro cesty s menší proudovou zátěží a 1 mm pro cesty s vyšší zátěží nebo pro GND.



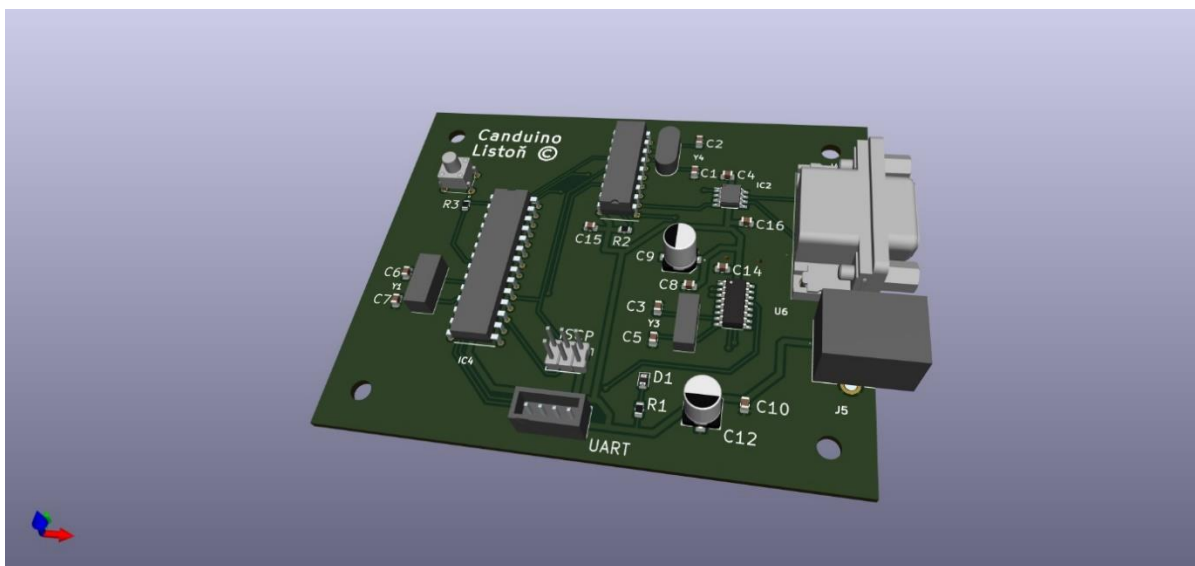
Graf 1: Graf proudové zátěže [41]

Rozmístění součástek na DPS bylo provedeno s důrazem na optimalizaci vodivých cest a minimalizaci parazitních efektů. Součástky byly distribuovány na obou stranách desky. Na zadní straně desky byly umístěny pouze dva filtrační kondenzátory, a to co nejbližší k vstupnímu zapojení. To zkracuje vodivé cesty a minimalizuje proudové smyčky. Tato strana také sloužila k rozvedení některých vodivých cest.

Veškeré zbývající komponenty byly umístěny na přední stranu desky. Externí oscilátory byly umístěny co nejbližší mikrokontroléru s přilehlými filtračními kondenzátory pro omezení nežádoucích oscilací. Při návrhu byl také kladen důraz na minimalizaci parazitních kapacit, indukčností a na umístění vysokorychlostních signálů v okolí oscilátorů tak, aby nedocházelo



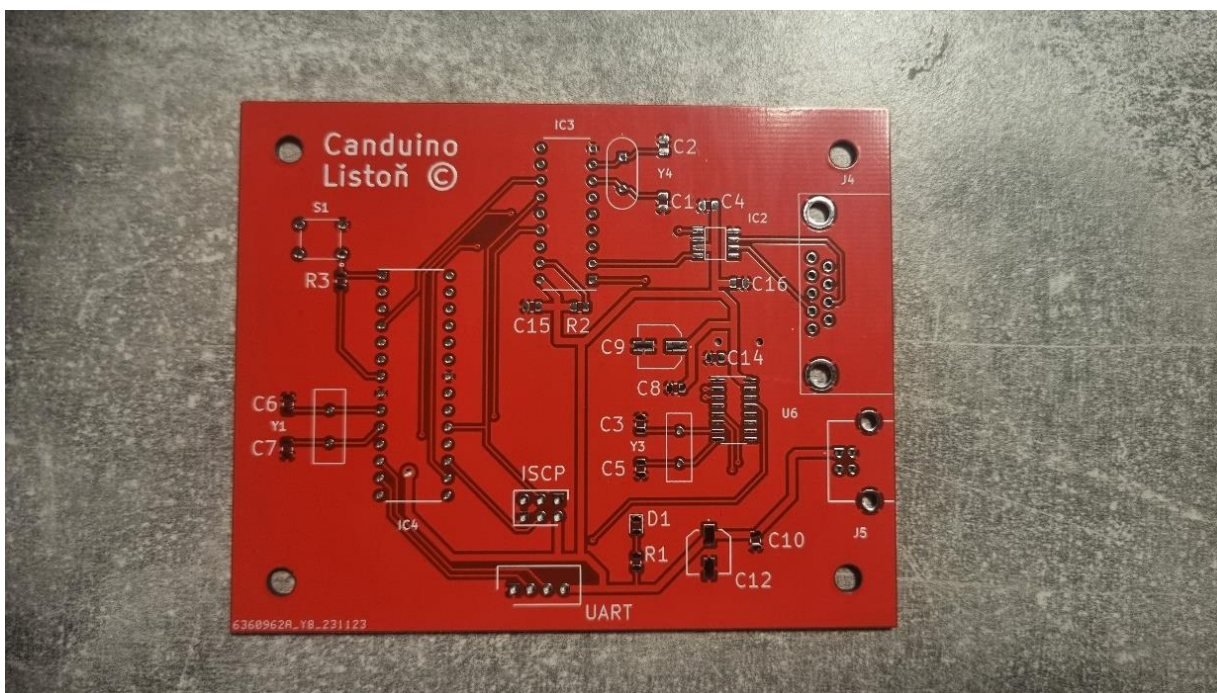
Obr. 30: Návrh DPS zadní strana



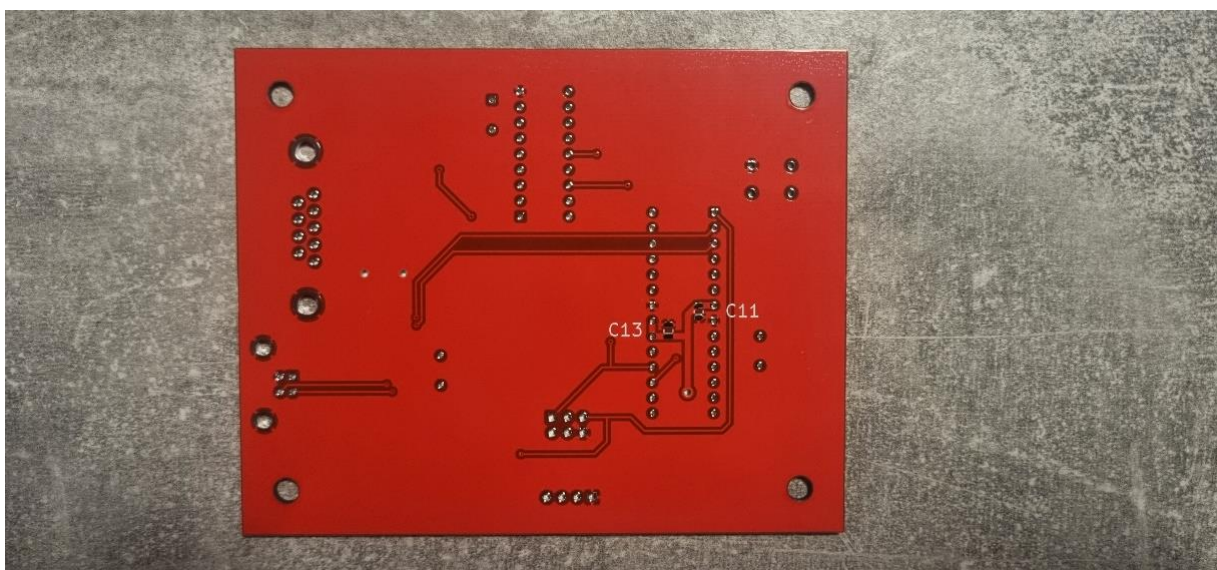
Obr. 31: 3D zobrazení DPS

2.3.4 VÝROBA DPS A OSAZENÍ

Výrobu DPS zajišťovala firma JLCPCB, která klade specifické požadavky na přípravu výrobních gerber dat. Tato data musí být zkomprimována do ZIP formátu a musí obsahovat všechny nezbytné soubory pro výrobu. Na webových stránkách výrobce jsou k dispozici podrobné instrukce pro různé softwary, včetně KiCadu, který byl použit pro tento projekt. Dle těchto návodů byla data správně vygenerována, včetně „Gerber“ a „Drill“ souborů, a nahrána do online konfiguratoru JLCPCB. Nakonec byla celá sada dat úspěšně odeslána do výroby. [58]



Obr. 32: Přední strana vyrobené DPS

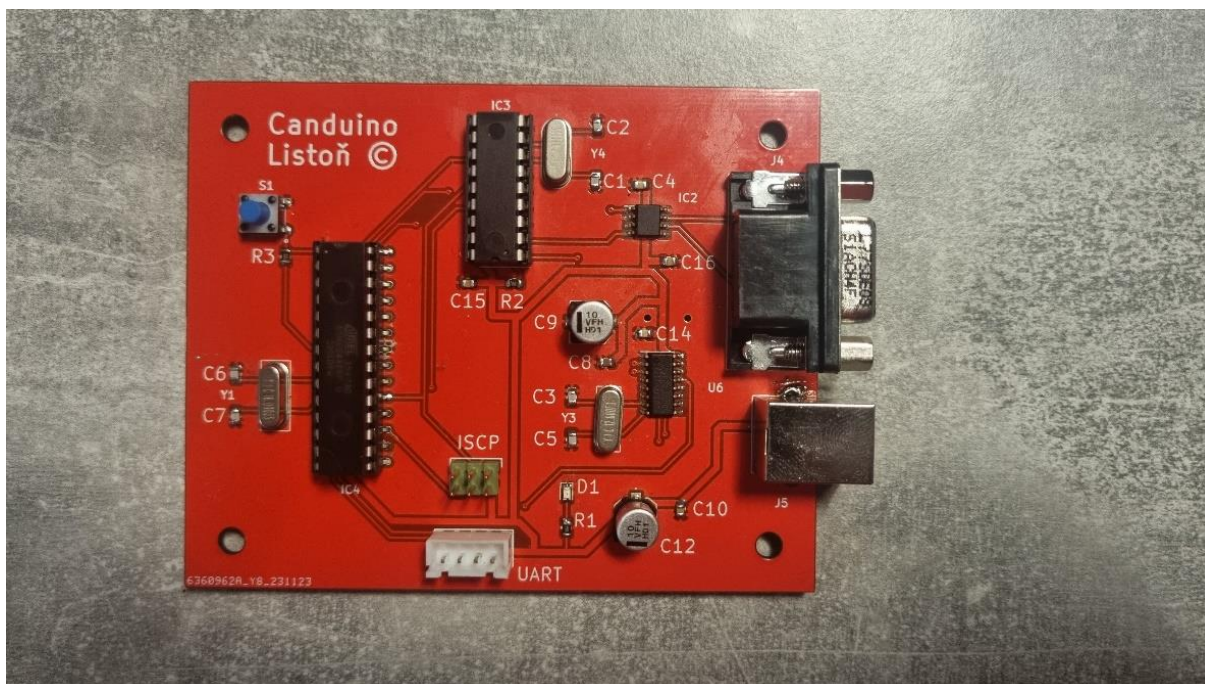


Obr. 33: Zadní strana vyrobené DPS

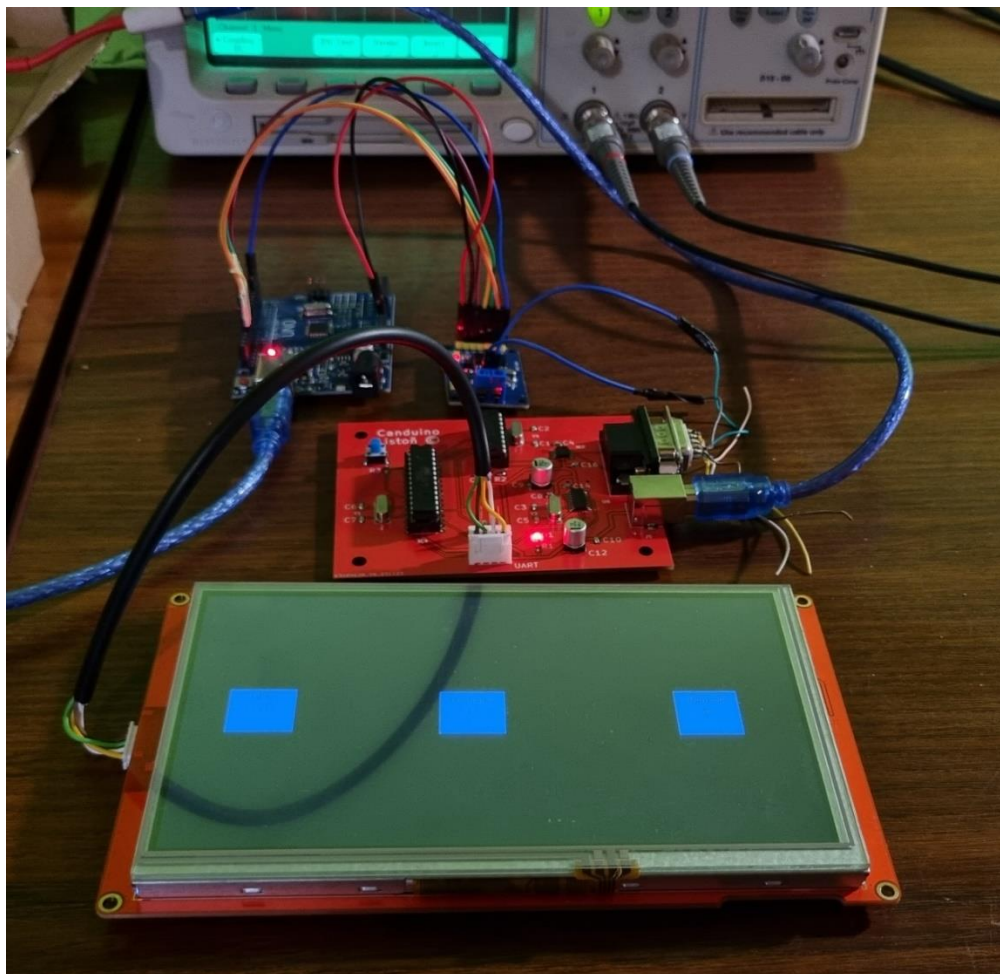
Všechny potřebné komponenty pro osazení desky byly objednány přes online distribuční platformu TME.eu, která nabízí široké spektrum elektronických dílů. Jedinou výjimkou byl

komponent USB převodníku CH340G, který zde nebyl dostupný a musel být objednan od místního dodavatele Laskakit. Komponenty byly následně osazeny metodou ručního pájení, které proběhlo bez významnějších komplikací.

Po osazení všech komponentů byl do mikrokontroleru Atmega 328P nahrán bootloader. Tento proces byl realizován za použití vývojového prostředí Arduino IDE a vývojové desky Arduino Uno, která byla připojena k desce přes šestici vodičů a konektor ICSP na desce. Následně bylo možné s navrženou deskou komunikovat prostřednictvím USB konektoru a softwaru Arduino IDE, kde byl do paměti mikrokontroléru nahrán testovací skript. Tento skript byl již využíván při předchozím testování a pomohl ověřit funkčnost navržené desky v simulovaném prostředí, které zahrnovalo vývojovou desku Arduino Uno a inteligentní zobrazovací panel. Osazená deska a testování hardwaru je zobrazeno na *Obr. 34* a *Obr. 35*.



Obr. 34: Osazená DPS



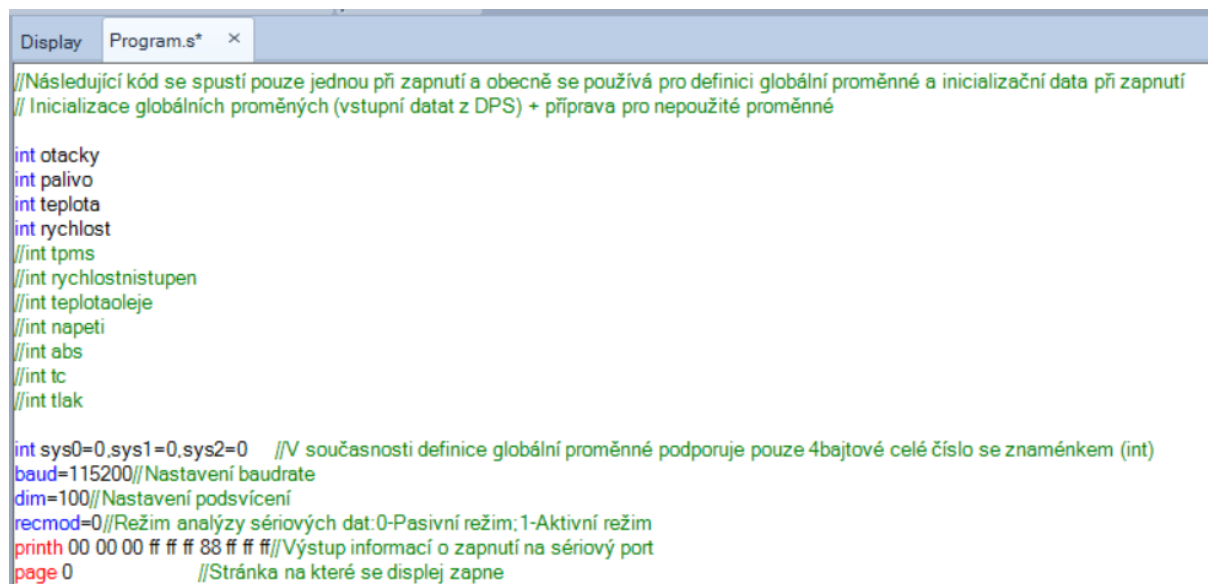
Obr. 35: Testování osazené DPS

2.4 TVORBA GUI

Po úspěšné výrobě DPS následovala tvorba grafického uživatelského prostředí (dále jen GUI nebo prostředí). Toto prostředí bylo navrženo v grafickém designeru Nextion Editor, který je volně dostupný na webových stránkách výrobce displejů Nextion. Při tvorbě jednotlivých designů se prostředí nahrává do displeje pomocí SD karty. Jelikož se jedná o inteligentní zobrazovací panel, vstupní data jsou přenášena po sériové lince z mikrokontroléru pomocí UART připojení ve formátu číslic s datovým typem int, což je jediný datový typ, který displej podporuje. Designer umožňuje vytvářet projekty s více stránkami, díky čemuž bylo možné vytvořit pět různých stran, mezi kterými lze snadno přecházet. Každá strana umožňuje programování individuálních podprogramů. Konkrétně v našem projektu byly vytvořeny strany s analogovým režimem, digitálním režimem, měřením času zrychlení z 0 na 100 km/h, datalogger a úvodní stránka. Celý projekt je přiložen v příloze P4.

Při vytváření GUI byla snaha o co největší přehlednost a čitelnost, a zároveň o modularitu, která umožňuje snadné rozšíření o další funkce a proměnné v budoucnu. Tento přístup byl zvolen z důvodu omezeného počtu proměnných, které mohly být z testovaného vozidla získány. Konkrétně se jednalo pouze o údaje o otáčkách motoru, rychlosti vozidla, teplotě chladicí kapaliny a množství paliva v nádrži.

Prvním krokem procesu nastavení displeje byla inicializace globálních proměnných a základní konfigurace, což zahrnovalo například nastavení hodnoty jasu displeje nebo výběr startovací stránky, na které se má displej po zapnutí otevřít. Tato konfigurace je umístěna v sekci „*Program.s**“ a spouští se automaticky při každém zapnutí zařízení.



```

//Následující kód se spustí pouze jednou při zapnutí a obecně se používá pro definici globální proměnné a inicializační data při zapnutí
// Inicializace globálních proměnných (vstupní datat z DPS) + příprava pro nepoužité proměnné

int otacky
int palivo
int teplota
int rychlost
//int tpms
//int rychlostnistupen
//int teplotaoleje
//int napeti
//int abs
//int tc
//int tlak

int sys0=0.sys1=0.sys2=0 //V současnosti definice globální proměnné podporuje pouze 4bajtové celé číslo se znaménkem (int)
baud=115200//Nastavení baudrate
dim=100//Nastavení podsvícení
recmod=0//Režim analýzy sériových dat:0-Pasivní režim;1-Aktivní režim
printh 00 00 00 ff ff ff 88 ff ff//Výstup informací o zapnutí na sériový port
page 0 //Stránka na které se displej zapne

```

Obr. 36: Inicializace globálních proměnných

Následovalo generování fontů písmen pro všechny texty používané v aplikaci. Sekce „*Tools*“ programu umožňuje generování fontů a výběr typu a velikosti písma. Pro potřeby našeho projektu bylo vytvořeno několik velikostí fontu Arial. Po výběru a generování byly fonty uloženy a následně importovány do sekce „*Fonts*“. Dále bylo třeba vložit do sekce „*Pictures*“ všechny obrázky, ať už jde o pozadí nebo o grafické prvky jako ikony či ukazatele. Je důležité, aby vytvářené pozadí respektovalo maximální rozlišení displeje, které je 800 x 480 pixelů, protože obrázky s větším rozlišením nelze do programu nahrát.

2.4.1 ÚVODNÍ STRANA

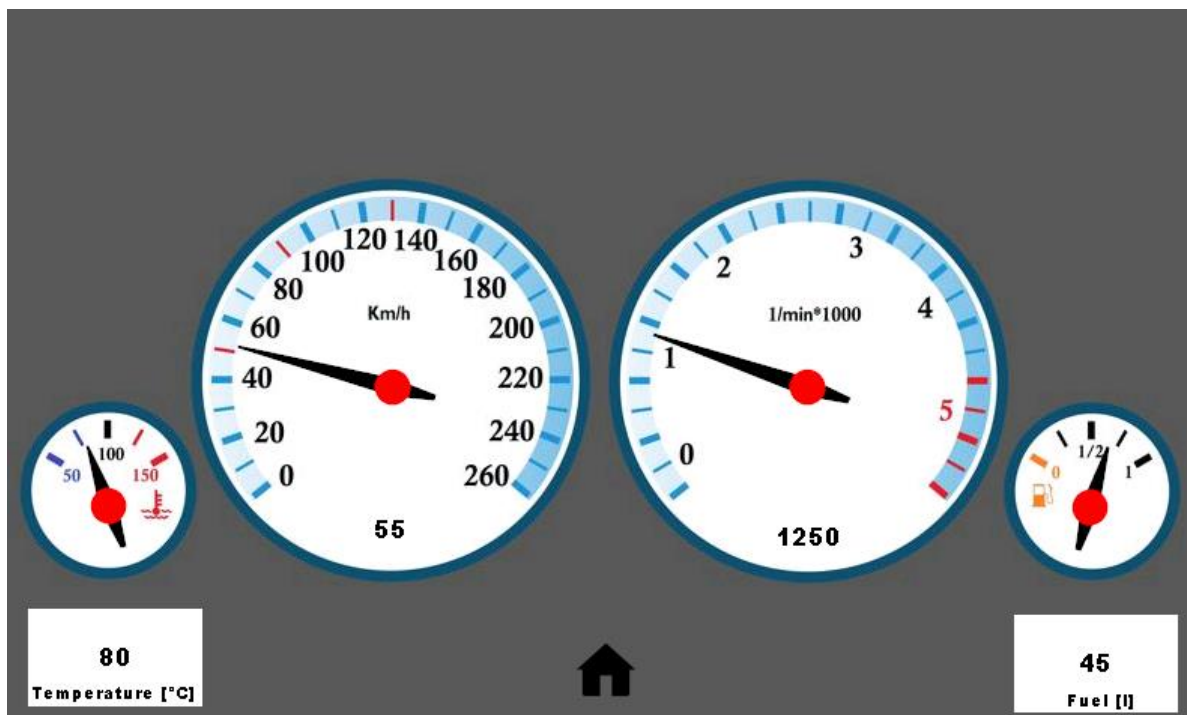
Úvodní strana, označená jako strana 0, byla navržena jako centrální rozcestí pro různé části aplikace. Obsahuje čtyři tlačítka, která umožňují uživateli přechod na specifické strany aplikace v závislosti na tom, které tlačítko je aktivováno. Konkrétně při stisku tlačítka „*Analog*“ dojde k přechodu na stranu 1, „*Digital*“ vede na stranu 2, „*0–100*“ otevře stranu 3 a tlačítko „*Logger*“ přenesení uživatele na stranu 4. Programování přechodu mezi stránkami probíhá v sekci „*Event*“ následně „*Touch Press Event*“ pro každé tlačítko. Zde je třeba zadat příkaz, který určí na jakou stránku má tlačítko uživatele přepnout. Vzor takového příkazu může být *page 1*, což znamená přechod na stranu číslo 1.



Obr. 37: Úvodní strana návrhu GUI

2.4.2 ANALOGOVÝ REŽIM

Na první straně aplikace je umístěn „analogový režim“, který byl používán převážně pro počáteční testování funkčnosti ve vozidle. Je zde umístěna sada 4 budíků, které jsou vytvořeny pomocí komponentu „Gauge“ z toolboxu. Vzhledem k tomu, že každý budík je standardně definován s krokem 1° a schopností zobrazovat rozsah až 360° , bylo nutné nastavit limity pro maximální a minimální hodnoty a poté přepočítat vstupní hodnoty tak, aby odpovídaly stupňům na budíku. Protože tato funkce nemůže být integrována přímo do komponentů budíků, musí být začleněna do cyklu časovače, který byl nastaven tak, aby se opakoval s minimálním možným krokem 50 ms. Pro jemné nastavení hodnot a zamezení zobrazení záporných hodnot bylo efektivně využito logických podmínek „if“ a „else“. S ohledem na možné nepřesnosti analogových ukazatelů jsou pro upřesnění měření přidány také digitální ukazatele, které vypisují data přijímaná přes sériovou linku. Celý skript byl doplněn tlačítkem „domů“, které uživatele vrací na úvodní stránku, odkud je možné se přesouvat do dalších částí aplikace.



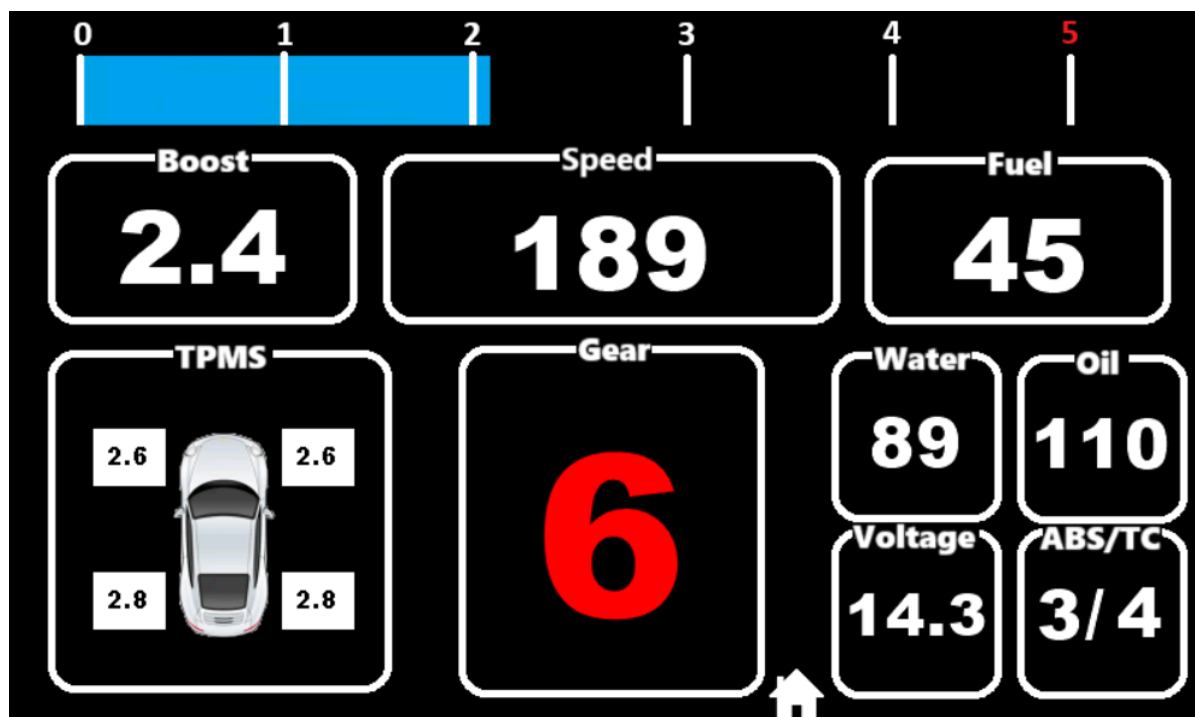
Obr. 38: Analogový režim displeje

2.4.3 DIGITÁLNÍ REŽIM

Druhá strana uživatelského rozhraní je zaměřena na digitální ukazatele, které se podobají závodním displejům zmiňovaným v teoretické části práce. Kontrast mezi černým pozadím a bílým textem zajišťuje vynikající čitelnost, která je potřebná především v případě přímého slunečního svitu. Tato stránka byla navržena jako modulární, aby umožňovala snadné rozšíření v budoucnosti. Vzhledem k omezenému množství dat, které lze z našeho vozidla získat, byla stránka nastavena s možností zobrazení dalších funkcí, které by mohly být využity nebo jednoduše nahrazeny jinými daty. Pro změnu proměnné stačí změnit název okna.

Hodnoty zobrazené na této stránce by měly být co nejpřesnější, protože přepočítání není prováděno přes časovače, cykly ani podmínky. Jediný ukazatel „otáčkoměr“ je vytvořen z posuvníku, který zobrazuje hodnoty rozdělené do 100 stupňů (0–100 % po jednom procentu). Pro naše vozidlo je tento rozsah ekvivalentní s krokem 50 otáček, což odpovídá posunu o jeden díl na posuvníku. Vzhledem k tomu, že hlavním úkolem posuvníku je poskytnout vizuální signalizaci pro řidiče o vhodném okamžiku pro přeřazení při vysokých otáčkách, je tento způsob reprezentace dat považován za dostatečný.

Další funkcí, kterou lze snadno přidat na stránku, může být změna barvy číslic k existujícím digitálním ukazatelům. Funkce by sloužila k vizuální indikaci, například když teplota provozních kapalin překročí předem nastavené limity. Vzhledem k tomu, že stránka aktuálně neobsahuje žádné varovné kontrolky, přidání této funkce vizuálního upozornění by poskytovalo užitečné informace pro řidiče.



Obr. 39: Digitální režim displeje

2.4.4 MĚŘENÍ ČASU ZRYCHLENÍ Z 0–100 KM/H

Poslední dvě stránky aplikace byly vytvořeny jako doplňkové funkce, které zahrnují měření zrychlení z 0 na 100 km/h a jednoduchý datalogger. Funkce měření zrychlení je automatizovaná. Čas je měřen pomocí vestavěného toolboxu časovače, který postupně přičítá milisekundy. Součástí časovače je podmínka ověřující, zda byla překročena nastavená rychlost, díky čemuž je časovač zastaven. Výsledný čas je porovnán s dosud nejlepším zaznamenaným časem a v případě lepšího výkonu je předešlý čas přepsán na nový. Pro možnost spuštění dalšího měření musí mít vozidlo nižší rychlost než 4 km/h, což umožní stisknout tlačítko „New run“, čímž se stopky vynulují a systém je připraven znovu spustit měření. Pro spuštění měření musí být splněna podmínka vyšší rychlosti než 4 km/h. Tato rychlost byla zvolena na základě faktů, že systémy ABS, ESP a další začínají být aktivní až od určité rychlosti, protože na snímačích kol může při nižších rychlostech docházet k odchýlkám v měření. Hodnota pro zastavení stopky byla stanovena na 101 km/h, aby byly zohledněny ztráty ze zapnutí časovače až na rychlosti 4 km/h.

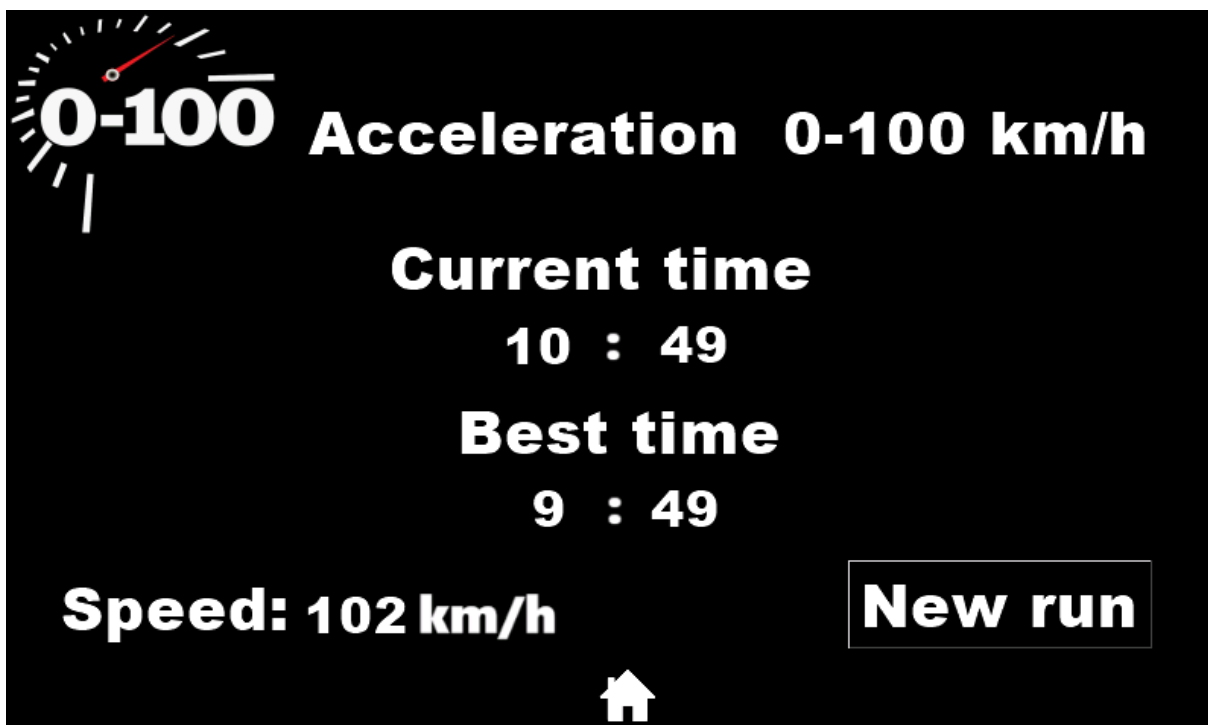
Pro zajištění přesnějšího měření by bylo vhodné zvážit použití doplňkových měřících zařízení nejlépe založených na GPS signálu.

Datalogger je specializován na záznam jízdních dat z vozidla. Všechny monitorované veličiny jsou přijímány ve formě číslic s datovým typem *int*. Pro účely záznamu jsou však tato data převedena do textového formátu *string* pomocí konverzní funkce *cov*. K sestavování jednotlivých textových polí do jednoho dlouhého textového řetězce byl použit toolbox s názvem „*Variable*“. Tato metoda je vhodná pro ukládání dat v nástroji „*DataRecord*“. Další využitou funkcí inteligentního displeje je „*RTC – real time clock*“, která slouží k zaznamenání

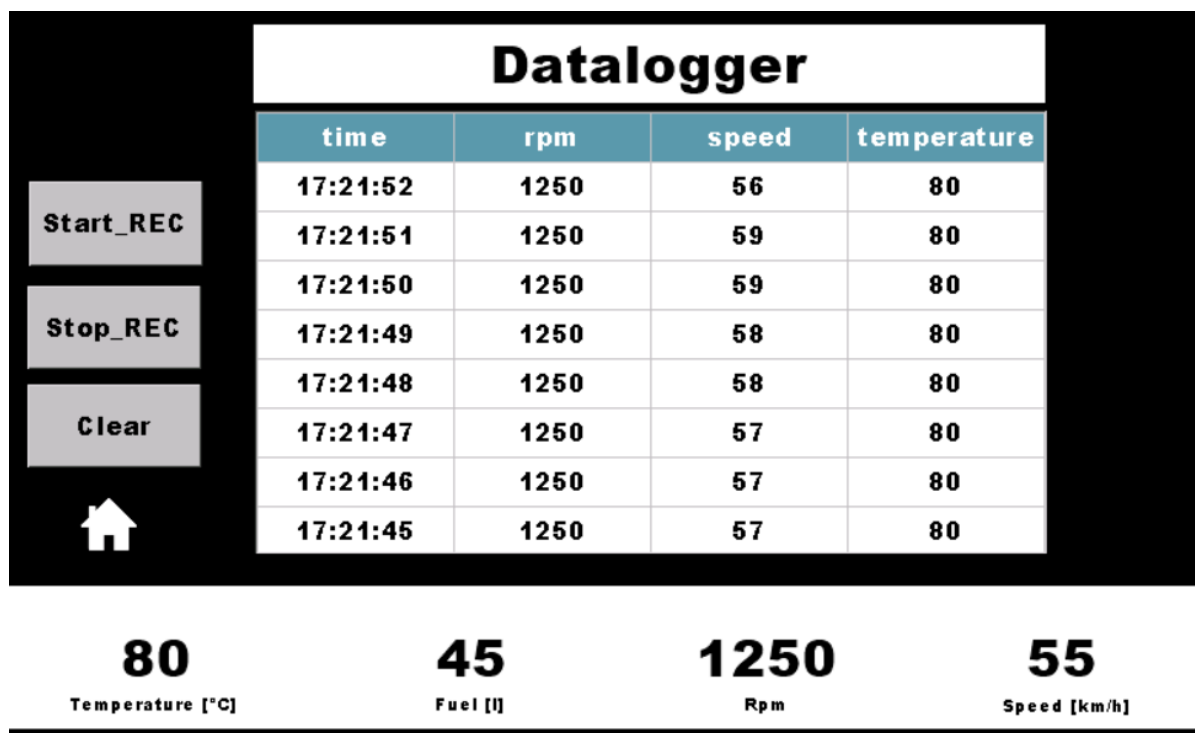
časového údaje, kdy byla data naměřena. Tato funkce pomáhá zlepšit přehlednost a usnadňuje následné vyhodnocení dat.

Všechny uvedené funkce byly integrovány do časovače „timer“, který spouští záznamovou smyčku každých 100 ms. Tato frekvence může být upravena dle potřeb přesnosti zaznamenávaných dat. Data jsou průběžně ukládána na SD kartu, pomocí které je rozšířena paměť inteligentního displeje.

Uložená data jsou zapisována do formátu *data*, který není přímo čitelný běžnými komerčními softwary, jako je Microsoft Excel. Z tohoto důvodu byl využit program Nextion Data Record File Converter od společnosti Cheap Controls, který je přiložen v příloze P5. Program umožňuje konverzi dat z formátu *data* do formátu *csv*, který je snadno čitelný i v Microsoft Excel. V softwaru Microsoft Excel pak mohou být data dále analyzována a vyhodnocována.



Obr. 40: Skript zrychlení z 0–100 km/h

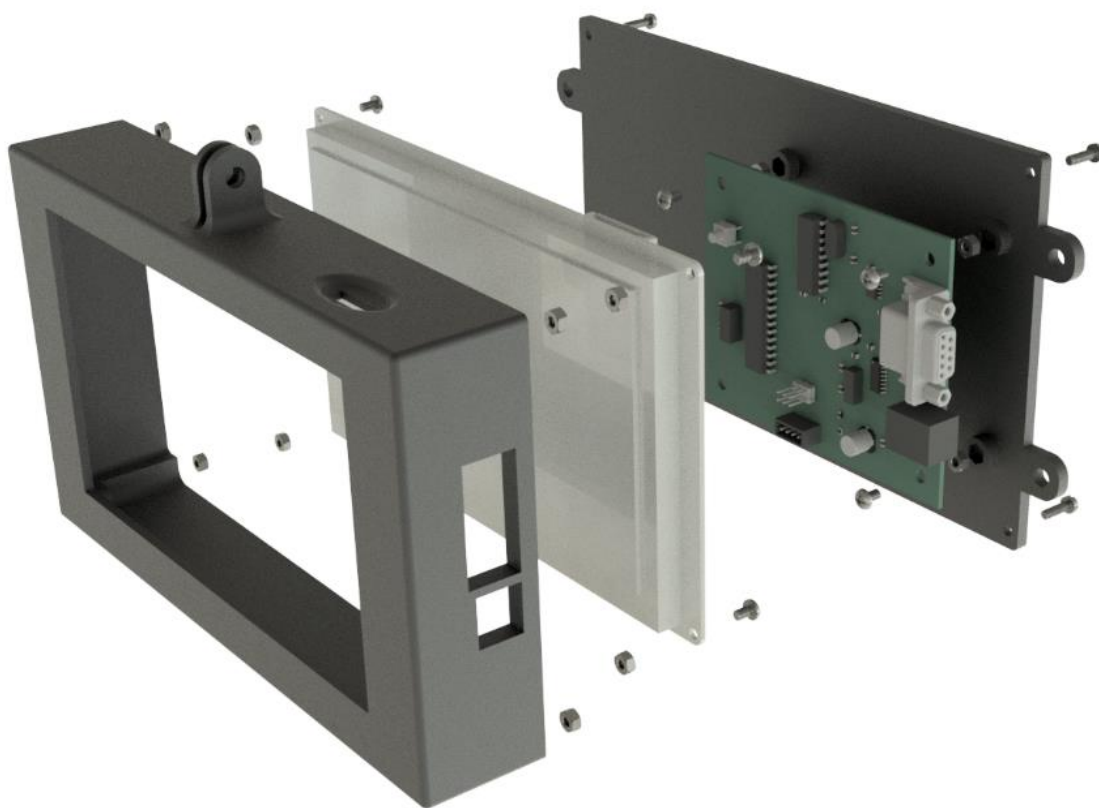


Obr. 41: Skript Dataloggeru

2.5 TVORBA KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

Tvorba konstrukčního řešení sloužila k vytvoření 3D modelu, na základě kterého by mohl být vyroben odpovídající rámeček, do kterého by byly uloženy všechny komponenty a obsahoval by montážní prvky pro uchycení ve vozidle.

Návrh byl realizován v prostředí softwaru Autodesk Inventor. Pro větší přesnost, například při definování rozteče montážních děr, a pro možnost zachování co nejmenších rozměrů, bylo využito co nejvíce již existujících komponentů od různých výrobců a také softwarových nástrojů vyžitých při tvorbě v předcházejících částech diplomové práce. Mezi hlavní přenesené komponenty patřily inteligentní displej s dostupnými STEP daty a DPS, která mohla být vyexportována jako kompletní sestava z programu KiCad 7.0, rovněž ve formátu STEP. Další vkládané prvky zahrnovaly šrouby a matice pro samotné sestavení. Ze všech komponentů byla vytvořena 3D sestava, která umožnila vytváření animací a poskytla přehled o jednotlivých funkčních celcích.



Obr. 42: 3D návrh závodního displeje

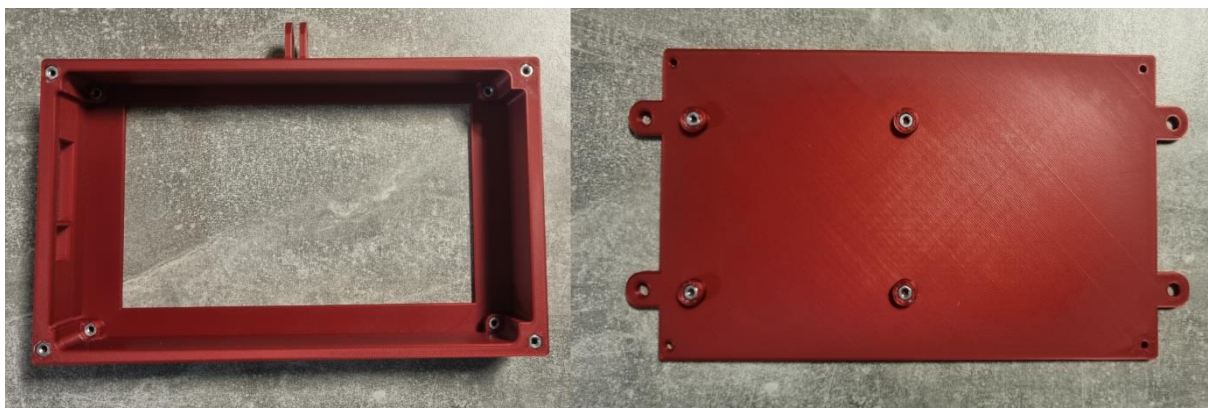
Na Obr. 42 je znázorněno, že je skříň zobrazovacího panelu složena z přední a zadní části. K zadní části je připevněna DPS na čtveřici podpěr, které obsahují zapuštěné matice pro montáž. Dále jsou zde čtyři průchozí otvory pro spojení s přední stranou a jedna ze dvou možností konstrukčního uchycení. Uchycení je umožněno díky postranním průchozím otvorům, kterými lze zařízení přimontovat například k palubní desce.

Druhá možnost uchycení se nachází na vrchní straně přední části rámečku. Zde bylo převzato řešení z akčních kamer GoPro, ke kterým se vyrábí celá řada příslušenství. Rozteč děr je pro všechny druhy příslušenství k uchycení stejná, což umožňuje variabilní spojení, vhodné může být kupříkladu upevnění k čelnímu sklu pomocí přísavek. Dále je na vrchní straně výřez pro snadnou výměnu SD karty displeje a výřez pro D-sub a USB konektor. Montáž byla zajištěna pomocí matic s metrickým závitem M3, které byly přilepeny do krytu a doplněny odpovídajícími šrouby. Celkový rozměr zařízení činí $203 \times 119 \times 40$ mm. Hmotnost celé sestavy bez příslušenství je 490 g.

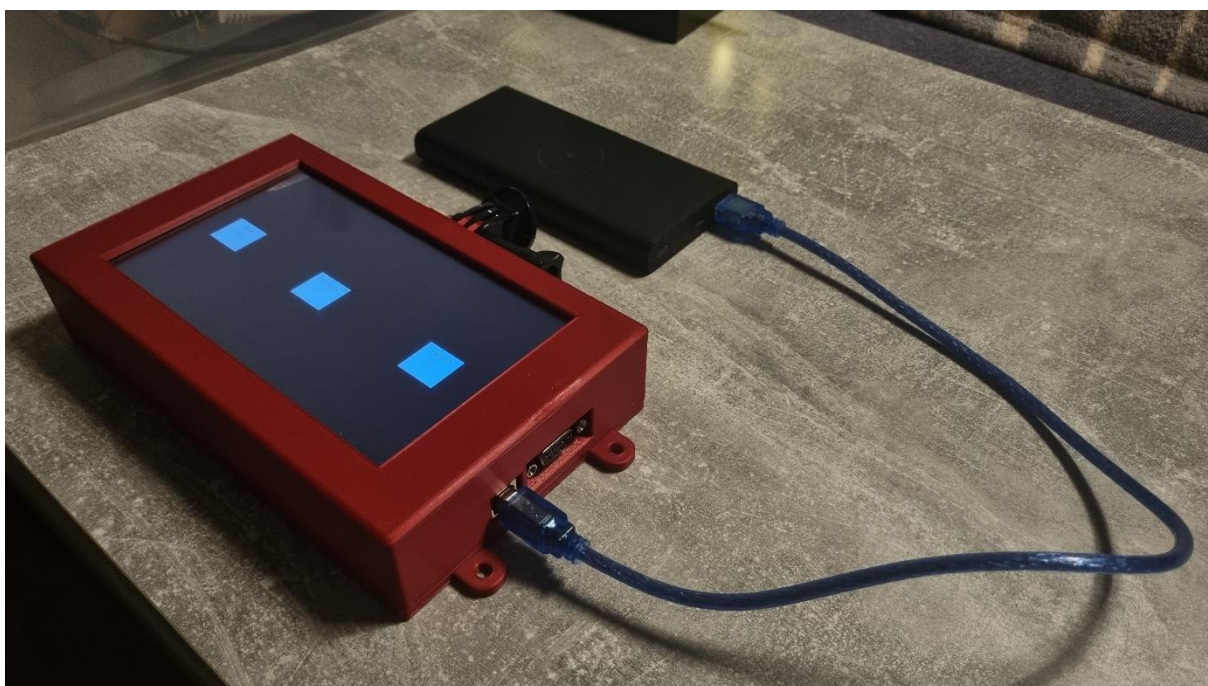
Výroba byla realizována pomocí 3D tisku. Pro samotný tisk bylo nutné přidat podpory do otvorů, které umožnily bezproblémovou výrobu. Tisk probíhal na tiskárně Prusa MK3S vybavenou tryskou o průměru 0,2 mm. Použitým materiálem bylo PLA. Celková doba tisku činila 11 hodin.

Pro propojení DPS s displejem byl vyroben propojovací kabel s konektorem JST-XH-4 2.5 mm o délce vodiče 40 cm. Aby byly sníženy náklady, byl k přenosu CAN bus signálu použit obyčejný D-sub propojovací kabel o délce 2 metry. Z tohoto kabelu bylo odstraněno přebytečné zakončení a místo něho byl připájen konektor pro OBD zásuvku. Pro napájení zařízení je

využívána powerbanka s USB výstupem, která je schopná dodávat proud až do 2 A. Celé konstrukční řešení je přiloženo v příloze P6.



Obr. 43: Přední a zadní díl krytu displeje



Obr. 44: Zkompletované zařízení

2.6 FINÁLNÍ TESTOVÁNÍ VE VOZIDLE

Poslední část práce je věnována finálnímu testování ve vozidle, které mělo za cíl ověřit funkčnost displeje, montážního uchycení a všech prvků příslušenství. Testování také vytváří prostor pro případné doladění drobných detailů.

Z předchozích měření byly zjištěny nedostatky týkající se údaje o množství paliva v nádrži, který chaoticky měnil svou hodnotu podle toho, jak se přelilo palivo v nádrži. Pro úpravu a stálost hodnot bylo využito průměrování přímo ve skriptu programu Arduino IDE, kde se u této funkce neodesílala každá sekvence, ale bylo nasbíráno 50 hodnot, které byly následně zprůměrovány. Výstupem byla jedna hodnota odeslána pro zobrazení na displeji. Počet iterací lze jednoduše navýšit na větší hodnotu, čímž bychom dostali přesnější hodnotu, ale bylo by to celkově náročnější pro výpočetní zařízení. Při testování bylo pozorováno zlepšení, které pomohlo k lepšímu čtení hodnoty o stavu paliva.

```
class Mnozstvivaliva : public Velicina {
private:
    static uint8_t pocitadlo;
    static uint16_t suma;
    static unsigned char vychozi;
public:
    // Mnozstvivaliva() {}
    Mnozstvivaliva(unsigned char *data, int length) : Velicina(data,length) {
        this->elem = "mnozstvivaliva.val=";
        if (this->pocitadlo == 0) {
            this->vychozi = this->suma = this->data[0]/4;
            this->pocitadlo++;
        } else if (this->pocitadlo == 50) {
            this->vychozi = this->suma/50;
            this->pocitadlo = 1;
            this->suma = this->data[0]/4;
        } else {
            this->suma += this->data[0]/4;
            this->pocitadlo++;
        }
    }
    uint16_t compute (){
        return this->vychozi;
    }
};
```

Obr. 45: Upravený algoritmus pro hodnotu množství paliva

Následně byla zkontrolována funkčnost jednotlivých skriptů a například čitelnost displeje za přímého slunce. Dále byla provedena celkem 3 měření zrychlení z 0–100 km/h, která byla porovnána se hodnotou stopovanou mobilním telefonem a odečítanou rychlostí z tachometru vozidla na přístrojovém panelu. Hodnoty se ve všech třech případech shodovaly a displej uměl data inteligentně přepisovat v případě lepšího času. Startovací hodnota 4 km/h, kdy se stopky spustily, se zdála být ideální, protože během měření nedošlo k samovolnému spuštění.

Měření bylo průběžně nahráváno na datalogger se sekvencí snímání jednou za sekundu. I zde bylo možné ověřit zrychlení z 0–100 km/h. Díky pomocnému programu lze získaná data z dataloggeru převést do formátu, který je dobře čitelný například softwarem Microsoft Excel. Na základě těchto naměřených dat je možné vytvořit kupříkladu jednoduchou závislost ohřátí motoru na provozní teplotu porovnávanou vůči času nebo sekvenci jiných měřených veličin.



Obr. 46: Finální testování displeje

ZÁVĚR

Pro vytvoření závodního displejového panelu bylo nejprve nutné za pomoci předchozího průzkumu trhu vybrat ideální displejový panel, který odpovídá technickým parametrům blízkým komerčně vyráběným displejům pro závodní vozidla. Byl zvolen displej od firmy Nextion, která disponuje nejlepšími zařízeními v poměru cena/výkon a v oblasti technické podpory. Pro komunikaci s tímto displejem byla vytvořena deska plošných spojů, která technicky vycházela z vývojové desky Arduino Uno a CAN bus převodníku s čipem MCP2515. Tyto dva komponenty byly spojeny v jeden funkční celek a byly doplněny o vhodné konektory umožňující snadné připojení. Pro napájení zařízení byl použit USB konektor typu B. Jako zdroj napětí bylo využito powerbanky s 5 V výstupem. Pro komunikaci se sběrnici CAN bus vozidla bylo využito D-sub konektoru na straně DPS. U vozidla bylo využito diagnostického OBD konektoru, pro jehož spojení byl vytvořen odpovídající spojovací kabel. Kryt celého zařízení byl vyroben pomocí 3D tisku a umožňuje dva způsoby montáže ve vozidle. Prvním způsobem je upevnění pomocí univerzální patice, ke které je dostupná celá řada příslušenství. Druhý způsob je pevné uchycení pomocí čtveřice předvrtaných děr.

Zdrojový kód pro funkci celého zařízení vychází z několika iterací a testování. Jelikož nebylo v zadání specifikováno přesné využití displeje, bylo rozhodnuto o vyzkoušení funkcí na reálném automobilu. Až u třetího pozorovaného vozidla (Mazda 6) se povedlo úspěšně vyčíst CAN bus data. Následně byl zdrojový kód k tomuto vozidlu vylepšován. Dále probíhaly úpravy kódu pomocí dvou vývojových desek, kterými bylo možné simulovat řídicí jednotku vozidla v podobě výčtu dat. Finální úpravy kódu se konaly po reálném testování ve vozidle za provozu, kdy se projevilo několik drobných chyb, které musely být opraveny. Celý kód byl tvořen modulárně, aby se s drobnými úpravami dokázal přizpůsobit jinému vozidlu, respektive řídicí jednotce.

GUI bylo vytvořeno v grafickém softwaru dodávaným výrobcem displejů. Byla vytvořena celkem 4 prostředí, která disponovala různými funkcemi. Prvním byl „analogový režim“, který byl užíván především k testování dat. Dále „digitální režim“, který se nejvíce podobá komerčně dostupným závodním displejům a obsahuje všechny podstatné informace, které jsou důležité pro závodní vozidlo. Následně byla vytvořena stránka s měřením zrychlení z 0–100 km/h. Poslední stránka prostředí byla věnována jednoduchému dataloggeru, který zajišťuje ukládání dat na SD kartu.

Nejdražší položkou celého zařízení je samotný předem sestavený inteligentní displej. Byla vybrána nejvýkonnější varianta s uhlopříčkou displeje 7". Pořizovací cena činila 2 600 Kč. Výroba neosazené DPS stála 80 Kč. Cena součástek pro osazení DPS činila 650 Kč. Je nutné konstatovat, že se jednalo o kusové objednávání součástek, které je vždy dražší. Cena 3D tisku byla 200 Kč. Spojovací materiál a další prvky příslušenství činili 400 Kč. Celková cena kompletního zařízení včetně příslušenství činí 3 930 Kč, což znamená, že je vytvořené zařízení několikanásobně levnější oproti jiným komerčně dostupným závodním displejům, jejichž nejnižší pořizovací cena začíná na 20 000 Kč.

Aby se sestavený displej více přiblížil komerčním zařízením, bylo by vhodné provést několik úprav a vylepšení. Hardwarovou část by bylo možné vylepšit o výkonnější procesor, například z řad STM nebo ARM Cortex, který by zařízení dodával vyšší výpočetní rychlost. Bylo by vhodné vyměnit čip CH340, což je převodník pro USB komunikaci, protože špatně spolupracuje s operačním systémem Windows 11. Samotný přenos dat mezi vozidlem a displejem by bylo vhodné koncipovat pomocí přímého připojení na CAN bus sběrnici vozidla,

protože připojení přes OBD zásuvku je efektivní při statické poloze vozidla, avšak při jízdě dochází vlivem vibrací k přerušení kontaktu, což způsobuje horší odezvu při zobrazování dat.

Byly úspěšně naplněny všechny cíle diplomové práce. Bylo úspěšně vytvořeno funkční komplexní zařízení, které je cenově výrazně dostupnější než produkty uváděné na trhu. Práce obsahuje kompletní návod pro tvorbu vlastního displeje, včetně příložených příloh potřebných pro případné vylepšení.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] GIBBS, Samuel. Audi builds hi-tech 'virtual cockpit' into the new TT. Online. *The Guardian*. 2014, s. 2. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/technology/2014/mar/29/audi-builds-hi-tech-virtual-cockpit-into-the-new-tt>. [cit. 2024-03-14].
- [2] REESE, Lynnette. *Telemetry in Auto Racing*. Online. Mouser Electronics. ©2024. Dostupné z: <https://cz.mouser.com/applications/automotive-racing-telemetry/>. [cit. 2024-03-14].
- [3] PETERKA, Jiří. Komunikace na všechny způsoby. Online. *Computerworld*. 1994, roč. 1994, č. 8/94, s. 1. Dostupné z: <https://www.earchiv.cz/a94/a408c501.php3>. [cit. 2024-03-14].
- [4] MALÝ, Martin. Paralelní a sériová rozhraní. In: MALÝ, Martin. *HRADLA, VOLTY, JEDNOČIPY*. Milešovská 5, 130 00 Praha 3: CZ.NIC, z. s. p. o., ©2017, s. 22. ISBN 978-80-88168-24-9.
- [5] JAVATPOINT. *Serial Communication in Computer organization*. Online. Javatpoint. 2021. Dostupné z: <https://www.javatpoint.com/serial-communication-in-computer-organization>. [cit. 2024-03-14].
- [6] GRYGAREK, Petr. *Sériový přenos dat*. Online, výukový materiál. Ostrava: Technická univerzita Ostrava, 2009. Dostupné z: <https://www.cs.vsb.cz/grygarek/POS/sem/sercomm.html>. [cit. 2024-03-14].
- [7] ALLEN, James. *WHAT IS AN ECU (ELECTRONIC CONTROL UNIT) IN A CAR?* Online. Carwow. 2012. Dostupné z: <https://www.carwow.co.uk/guides/glossary/what-is-an-ecu-in-a-car#gref>. [cit. 2024-03-14].
- [8] ALAM, Md Swawibe Ul; IQBAL, Shahrear; ZULKERNINE, Mohammad a LIEM, Clifford. Securing Vehicle ECU Communications and Stored Data. Online. In: *ICC 2019 - 2019 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. IEEE, 2019, s. 1-6. ISBN 978-1-5386-8088-9. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/ICC.2019.8762043>. [cit. 2024-03-14].
- [9] NISTOR, Flaviu a COLCERIU, Dan. *Automotive ENET Interface Broadcast*. Online. In: *Today software magazine*. ©2022. Dostupné z: <https://www.todaysoftmag.com/article/2427/automotive-enet-interface-broadcast>. [cit. 2024-03-14].
- [10] VOJÁČEK, Antonín. *LIN - Local Interconnect Network*. Online. Automatizace.hw. 2004. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2005101501>. [cit. 2024-03-14].

- [11] DUSIL, Tomáš. *Technika: Elektronika v autech postupuje a nečeká*. Online. AUTO.CZ. 2015. Dostupné z: <https://www.auto.cz/technika-elektronika-v-autech-postupuje-a-neceka-88380>. [cit. 2024-03-14].
- [12] *CAN bus*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 24.2.2024. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus. [cit. 2024-03-14].
- [13] ST. MICHAEL, Stephen. *Introduction to CAN (Controller Area Network)*. Online. All about circuits. 2019. Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/introduction-to-can-controller-area-network/>. [cit. 2024-03-14].
- [14] COOK, J. A. a FREUDENBERG, J. S. *Controller Area Network (CAN)*. Online, výukový materiál. Michigan: University of Michigan, 2008. Dostupné z: https://www.eecs.umich.edu/courses/eecs461/doc/CAN_notes.pdf. [cit. 2024-03-14].
- [15] FALCH, Martin. *OBD2 Explained - A Simple Intro*. Online. CSS Electronics. 2022. Dostupné z: <https://www.csselectronics.com/pages/obd2-explained-simple-intro>. [cit. 2024-03-14].
- [16] PIEMBSYSTECH. *K-Line Protocol*. Online. PiEmbSysTech. ©2017-2024. Dostupné z: <https://piembsystech.com/k-line-protocol/>. [cit. 2024-03-14].
- [17] *Protokol decoder SAE J1850*. Online. Sigrok. 2020, 30.7.2023. Dostupné z: https://sigrok.org/wiki/Protocol_decoder:Sae_j1850_vpw. [cit. 2024-03-14].
- [18] KUČERA, Pavel. *Diagnostika vozidel*. Online, výukový materiál. Brno: VUT Brno, 2022. Dostupné z: https://moodle.vut.cz/pluginfile.php/678139/mod_folder/content/0/Prednaska_11.pdf?forcedownload=1. [cit. 2024-03-14].
- [19] LUTKEVICH, Ben. *Microcontroller (MCU)*. Online. TechTarget. 2019. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/microcontroller>. [cit. 2024-03-14].
- [20] *An Introduction to the UART, SPI, and I2C Communications Protocols*. Online. Element 14. 2020, 11. 10. 2021. Dostupné z: <https://community.element14.com/learn/learning-center/the-tech-connection/w/documents/4664/an-introduction-to-the-uart-spi-and-i2c-communications-protocols>. [cit. 2024-03-14].
- [21] ARDUINO S.R.L. *Arduino Uno Rev3*. Online. Arduino. © 2021. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>. [cit. 2024-03-14].
- [22] STMICROELECTRONICS. *STM32F205xx STM32F207xx Datasheet*. Online. STMicroelectronics. ©2020. Dostupné

- z: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f205rb.pdf>. [cit. 2024-03-14].
- [23] RASPBERRY PI. *Raspberry Pi 3 Model B*. Online. Raspberry Pi. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/>. [cit. 2024-03-14].
- [24] LASKA, Konstantin. *CAN převodník MCP2515 (čtení informací) – část I*. Online. Laskakit.cz. 2016. Dostupné z: <https://blog.laskakit.cz/can-prevodnik-mcp2515-cteni-informaci-cast-1/>. [cit. 2024-03-14].
- [25] HOW TO ELECTRONICS. *Arduino CAN Bus Tutorial: Interfacing MCP2515 CAN Module with Arduino*. Online. How To Electronics. 2023. Dostupné z: <https://how2electronics.com/interfacing-mcp2515-can-bus-module-with-arduino/>. [cit. 2024-03-14].
- [26] GATEMA PCB. *Kritéria dat pro POOL servis*. Online. Gatema PCB a.s. 2020. Dostupné z: <https://www.gatemapcb.cz/wp-content/uploads/2023/09/kriteria-dat-pro-pool-servis.pdf>. [cit. 2024-03-14]
- [27] RIVERDI SP. Z O.O. *Digital Screen Types: A Comprehensive Guide*. Online. Riverdi. 2023. Dostupné z: <https://riverdi.com/blog/digital-screen-types-a-comprehensive-guide>. [cit. 2024-03-14].
- [28] FRAJDL, Martin. *Displeje – využití, funkce, typy*. Online. Laskakit.cz. 2021. Dostupné z: <https://blog.laskakit.cz/displeje-vyuziti-funkce-typy/>. [cit. 2024-03-14].
- [29] BLANKENBACH, Karlheinz; YAN, Qun a O'BRIEN, Robert J. (ed.). *Handbook of Visual Display Technology*. Online. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2020. ISBN 978-3-642-35947-7. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-35947-7>. [cit. 2024-03-14].
- [30] DYNAMO LED DISPLAYS. *Led Displays Guide*. Online. Dynamo LED Displays. 2021. Dostupné z: <https://dynamo-led-displays.co.uk/led-displays-guide/>. [cit. 2024-03-14].
- [31] *LED display*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 28. 2. 2024. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/LED_display. [cit. 2024-03-14].
- [32] ŠIMEČÍK, Jan. *Displej: Jak vlastně funguje a jaké jsou jeho typy a parametry?* Online. Topley. 2023, 28.12.2023. Dostupné z: <https://toply.cz/pojmy/displej/>. [cit. 2024-03-14].
- [33] *OLED*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 8. 3. 2024. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/OLED>. [cit. 2024-03-14].

- [34] *Electronic paper*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 11. 3. 2024. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_paper. [cit. 2024-03-14].
- [35] ECUMASTER. *Ecumaster ADU*. Online. Ecumaster. ©2024. Dostupné z: <https://www.ecumaster.com/products/adu/>. [cit. 2024-03-14].
- [36] BOSCH ENGINEERING. *Display DDU 11*. Bosch Motorsport. Online. ©2024. Dostupné z: <https://www.bosch-motorsport.com/content/downloads/Raceparts/en-GB/262135691370528651.html#/Tabs=9007199517030283/>. [cit. 2024-03-14].
- [37] BOSCH ENGINEERING. *Display DDU 10*. Online. Bosch Motorsport. ©2024. Dostupné z: <https://www.bosch-motorsport.com/content/downloads/Raceparts/en-GB/54977931309430283.html>. [cit. 2024-03-14].
- [38] CREATIVE MOTORSPORT SOLUTIONS. *DDU 11 DISPLAY*. Online. Go Much Faster. ©2024. Dostupné z: <https://www.gomuchfaster.com/products/ddu-11-display>. [cit. 2024-03-14].
- [39] ALPHA RACING GMBH & CO. KG. *LED Plus dashboard*. Online. Alpha Racing. ©2024. Dostupné z: <https://www.alpharacing.com/en/led-plus-dashboard/6211a216a00>. [cit. 2024-03-14].
- [40] SINCOTECH. *SincoTech Multifunctional Racing Dashboard DO922*. Online. SincoTech. ©2024. Dostupné z: <https://sincotech.store/products/do922-sinco-tech-dashboard-sensor-kit-race-display-bluetooth-lcd-screen-gauge>. [cit. 2024-03-14].
- [41] ZÁHLAVA, Vít. *Návrh a konstrukce desek plošných spojů: principy a pravidla praktického návrhu*. Praha: BEN - technická literatura, 2010. ISBN 9788073002664.
- [42] 4D SYSTEMS. *Software – Overview*. Online. 4D Systems. ©2024. Dostupné z: <https://4dsystems.com.au/software/#overview>. [cit. 2024-04-29].
- [43] 4D SYSTEMS. *DIABLO16*. Online. 4D Systems. ©2024. Dostupné z: <https://4dsystems.com.au/products/diablo16/>. [cit. 2024-04-29].
- [44] 4D SYSTEMS. *GEN4-ULCD-70D-SB-PI*. Online. 4D Systems. ©2024. Dostupné z: <https://4dsystems.com.au/products/gen4-ulcd-70d-sb-pi/#Description>. [cit. 2024-04-29].
- [45] NEXTION. *NEXTION EDITOR LTS*. Online. Nextion. ©2024. Dostupné z: https://nextion.tech/nextion-editor/#_section2. [cit. 2024-04-29].
- [46] NEXTION. *BASIC SERIES INTRODUCTION*. Online. Nextion. ©2024. Dostupné z: <https://nextion.tech/basic-series-introduction/>. [cit. 2024-04-29].

- [47] NEXTION. *DISCOVERY SERIES INTRODUCTION*. Online. Nextion. ©2024. Dostupné z: <https://nextion.tech/discovery-series-introduction/>. [cit. 2024-04-29].
- [48] NEXTION. *ENHANCED SERIES INTRODUCTION*. Online. Nextion. ©2024. Dostupné z: <https://nextion.tech/enhanced-series-introduction/>. [cit. 2024-04-29].
- [49] NEXTION. *INTELLIGENT SERIES INTRODUCTION*. Online. Nextion. ©2024. Dostupné z: <https://nextion.tech/intelligent-series-introduction/>. [cit. 2024-04-29].
- [50] STONE. *Advanced Series*. Online. STONE. ©2022. Dostupné z: <https://www.stoneitech.com/advanced-type/>. [cit. 2024-04-29].
- [51] STONE. *Android Display*. Online. STONE. ©2022. Dostupné z: <https://www.stoneitech.com/android-hmi-display/>. [cit. 2024-04-29].
- [52] STONE. *STWI070WT-01*. Online. STONE. ©2022. Dostupné z: <https://www.stoneitech.com/product/stwi070wt-01/>. [cit. 2024-04-29].
- [53] STONE. *STWC070LT-01*. Online. STONE. ©2022. Dostupné z: <https://www.stoneitech.com/product/stwc070lt-01/>. [cit. 2024-04-29].
- [54] ATMEL CORPORATION. *Microchip ATMEGA328P-PU Datasheet*. Online. Octopart. ©2016. Dostupné z: <https://octopart.com/datasheet/atmega328p-pu-microchip-77760224>. [cit. 2024-04-29].
- [55] MICROCHIP TECHNOLOGY INC. *Microchip MCP2515-I/PRB4 Datasheet*. Online. Octopart. ©2003-2019. Dostupné z: <https://octopart.com/datasheet/mcp2515-i%2Fprb4-microchip-22677761>. [cit. 2024-04-29].
- [56] NATIONAL INSTRUMENTS CORP. *High-Speed CAN Pinout*. Online. Ni. 2023. Dostupné z: <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z0000019YIGSA2&l=en-US>. [cit. 2024-04-29].
- [57] ASTRA, SPOL. S.R.O. *Výpočet předřadného rezistoru k LED diodě*. Online. Astra Model. 2022. Dostupné z: <https://www.astramodel.cz/cz/blog/vypocet-predradneho-rezistoru-k-led-diode.html>. [cit. 2024-04-29].
- [58] JLCPCB. *How to generate Gerber and Drill files in KiCad 4*. Online. JLCPCB. 2023. Dostupné z: <https://jlcpcb.com/help/article/42-How-to-generate-Gerber-and-Drill-files-in-KiCad-4>. [cit. 2024-04-29].
- [59] SAE INTERNATIONAL. *Vehicle Application Layer — J1939-71*. Online. SAE International. 2003. Dostupné z: <https://www.autonerdz.com/yabbfiles/Attachments/j1939-71.pdf>. [cit. 2024-04-29]

- [60] NEXTION. *Nextion orig. Intelligent NX8048P070-011R 7.0" 800×480 TFT displej rezistivní*. Online. Laskakit.cz. © 2024. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/nextion-orig--intelligent-nx8048p070-011r-7-0--800--480-tft-displej-rezistivni-2/> [cit. 2024-04-29]

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

3D		Třírozměrný (Three-Dimensional)
4DGL		Programovací jazyk pro displeje od 4D Systems (4D Graphics Language)
4G		Čtvrtá generace u mobilních sítí (Fourth Generation)
A/D		Analogový/Digitální (Analog/Digital)
ABS		Antiblokovací brzdový systém (Anti-lock Braking System)
ACK		Potvrzení přijetí (Acknowledgment)
ADC		Analogově-digitální převodník (Analog-to-Digital Converter)
ADU		Analogově-digitální jednotka (Analog Digital Unit)
AMOLED		Aktivní maticové organické diody emitující světlo (Active Matrix Organic Light Emitting Diode)
ARM		Typ procesorů
ASCII		Americký standardní kód pro výměnu informací (American Standard Code for Information Interchange)
AVR		Typ procesorů
bd	[baund·s ⁻¹]	Přenosová rychlost v baudech
BLE		Bluetooth s nízkou spotřebou (Bluetooth Low Energy)
BMP		Bitmapový obrazový soubor (Bitmap Image File)
BSI		Řídicí jednotka komfortu
C	[F]	Kapacita
CAN		Sběrnice pro komunikaci řídicích jednotek (Controller Area Network)
CAN H		Vysoká hodnota signálu CAN (CAN High)
CAN L		Nízká hodnota signálu CAN (CAN Low)
CNC		Číselné řízení počítačem (Computer Numerical Control)
CPHA		Fázový hodinový signál (Clock Phase)
CPOL		Polarita hodinového signálu (Clock Polarity)
CPU		Centrální procesorová jednotka (Central Processing Unit)
CRC		Cyklická redundantní kontrola (Cyclic Redundancy Check)
CS		Čipový výběr (Chip Select)
DAC		Digitálně-analogový převodník (Digital-to-Analog Converter)
DC		Stejnsměrný proud (Direct Current)
DDU		Zobrazovací jednotka řídicího panelu (Dashboard Display Unit)
DLC		Kód délky dat (Data Length Code)

DPS		Deska plošných spojů
D-sub		Typ konektoru (D-subminiatur)
ECU		Elektronická řídicí jednotka (Electronic Control Unit)
EDGE		Rozšířené datové rychlosti pro GSM evoluce (Enhanced Data rates for GSM Evolution)
EEPROM		Elektrická mazatelná programovatelná paměť pouze pro čtení (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)
E-ink		Elektronický inkoust (Electronic Ink)
EOF		Konec rámce (End of Frame)
ESP		Elektronický stabilizační program (Electronic Stability Program)
f	[Hz]	Frekvence
FLEXRAY		Typ síťového protokolu používaný v automobilovém průmyslu
FOLED		Flexibilní OLED (Flexible Organic Light Emitting Diode)
FR4		Materiál desky plošných spojů
GIF		Formát výměny grafiky (Graphics Interchange Format)
GND		Zem (Ground)
GPIO		Obecný vstup/výstup pinů (General Purpose Input/Output)
GPRS		Obecná rádiová služba pro paketové přepojení (General Packet Radio Service)
GPS		Globální polohový systém (Global Positioning System)
GUI		Gradické uživatelské rozhraní (Graphical User Interface)
HDMI		Rozhraní multimediálního vysokého rozlišení (High-Definition Multimedia Interface)
HMI		Rozhraní člověk-stroj (Human Machine Interface)
I	[A]	Proud
I/O		Vstup/Výstup (Input/Output)
I2C		Seriová sběrnice pro komunikaci mezi integrovanými obvody (Inter-Integral Circuit)
ICSP		Obvodové sériové programování (In-Circuit Serial Programming)
ID		Identifikace
IDE		Integrované vývojové prostředí (Integrated Development Environment)
I _i	[A]	Proud diody
INT		Přerušování (Interrupt)
IP67		Mezinárodní standard pro ochranu proti prachu a vodě
IPS		Typ LCD panelu (In-Plane Switching)

J1850		Protokol používaný v automobilových sběrnících
J1939-71		Protokol pro těžká vozidla
J1962		Standard pro diagnostické konektory
J1979		Protokol pro diagnostiku vozidel
JPG		Formát souboru JPEG (Joint Photographic Experts Group)
kapacita	[Ah]	Kapacita baterie
K-Line		Komunikační protokol používaný v automobilovém průmyslu
LCD		Displej s tekutými krystaly (Liquid Crystal Display)
LED		Světelná dioda (Light Emitting Diode)
LIN		Lokální propojovací síť (Local Interconnect Network)
LPDDR2		Typ paměti s nízkou spotřebou (Low Power Double Data Rate 2)
LTE		Standard pro mobilní telekomunikace (Long Term Evolution)
m	[g]	Hmotnost
MIL		Indikátor poruchy (Malfunction Indicator Lamp)
MISO		Vstup z master do slave (Master In Slave Out)
MOST		Výstup z master a vstup do slave (Master Out Slave In)
MP3		Audio formát (MPEG-1 Audio Layer III)
MP4		Multimediální kontejnerový formát (MPEG-4 Part 14)
OBD		Palubní diagnostika (On-Board Diagnostics)
OLED		Organická LED (Organic Light Emitting Diode)
PC		Osobní počítač (Personal Computer)
PCAN		Peak CAN
PCI		Periferní komponenty interconnect (Peripheral Component Interconnect)
PLA		Kyselina polymléčná (Polylactic Acid), typ biologicky rozložitelného plastu
PMOLED		Pasivní maticový OLED (Passive Matrix OLED)
PNG		Formát souboru (Portable Network Graphics)
PWM		Pulzně široká modulace (Pulse Width Modulation)
R	[Ω]	Odpor
RAM		Paměť s náhodným přístupem (Random Access Memory)
RFID		Identifikace pomocí radiofrekvence (Radio Frequency Identification)
RGB		Model barevného prostoru (Red, Green, Blue)
rpm	[ot·min ⁻¹]	Otáčky za minutu

RS232		Standard pro sériovou komunikaci
RS422		Standard pro sériovou komunikaci
RS485		Standard pro sériovou komunikaci
RTC		Přesný hodinový čas (Real Time Clock)
RTR		Žádost o dálkový přenos (Remote Transmission Request)
RX		Příjem (Receive)
rychlost	[b·s ⁻¹]	Přenosová rychlost v bitech
rychlost	[B·s ⁻¹]	Přenosová rychlost v bajtech
s	[m]	Dráha
SAE		Společnost automobilových inženýrů (Society of Automotive Engineers)
SCK		Hodinový signál (Serial Clock)
SD		Typ paměťových karet (Secure Digital)
SMD		Technologie montáže na povrch (Surface-Mount Device)
SOF		Začátek rámce (Start of Frame)
SPI		Sériové periferní rozhraní (Serial Peripheral Interface)
SRAM		Statická paměť s náhodným přístupem (Static Random Access Memory)
STEP		Standard pro výměnu produktových modelových dat
svítivost	[cd·m ⁻²]	svítivost
teplota	[C]	Teplota
THT		Průchozí otvorová technologie (Through-Hole Technology)
TN		Typ LCD panelu (Twisted Nematic)
TTL		Tranzistor-tranzistorová logika (Transistor-Transistor Logic)
TX		Vysílání (Transmit)
U	[V]	Napětí
U	[oz]	Unce
UART		Universální asynchronní přijímač/vysílač (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)
UMTS		Univerzální mobilní telekomunikační systém (Universal Mobile Telecommunications System)
USB		Universální sériová sběrnice (Universal Serial Bus)
USD		Americký dolar
v	[km·h ⁻¹]	Rychlost
VA		Voltamper
VCC		Napájecí napětí

velikost	[°]	Stupně
V_L	[V]	Úbytek napětí
VPW		Variabilní šířka pulzu (Variable Pulse Width)
V_s	[V]	Priváděné napětí
vzdálenost	["]	Palce
Wi-Fi		Bezdrátový internet
WOLED		Bílá OLED (White OLED)
WYSIWYG		Co vidíš, to dostaneš (What You See Is What You Get)
ZIP		Komprimovaný formát souboru

SEZNAM PŘÍLOH

- P1 – Skripty pro příjem a odesílání dat z prostředí Arduino IDE
- P2 – Seznam použitých součástek pro DPS
- P3 – Schéma a návrh DPS ze softwaru KiCad 7.0
- P4 – Návrh GUI ze softwaru Nextion Editor
- P5 – Program pro změnu formátu dat z dataloggeru
- P6 – 3D návrh ze softwaru Autodesk Inventor