

Stredná priemyselná škola techniky a dizajnu

Mnoheľova 828, 05846 Poprad

Strojár - Inovátor

Vzduch ako alternatívna náhrada paliva

Mesto: Poprad

Šk. Rok: 2025/2026

Riešitelia:

Matej Mikita

Peter Rigo

Ročník štúdia:

štvrtý

Konzultant:

Milan Hanzeli

Obsah

Úvod	4
1 Stručná charakteristika projektu	5
2 Konštrukcia modelu	6
3 Elektronika	8
4 Záver	10
5 Obrazová príloha	11
	18

Pod'akovanie

Týmto by sme chceli vyjadriť úprimné poďakovanie spoločnostiam EasyEDA a JLCPCB za poskytnutie finančných prostriedkov, ktoré nám umožnili samotnú výrobu dosky plošných spojov (DPS).

Naša vďaka patrí aj spoločnosti DATA SOFTWARE, s.r.o. za poskytnutú finančnú podporu pri nákupe niektorých elektronických komponentov potrebných na realizáciu tohto projektu.

Rovnako ďakujeme Ing. Marekovi Kurnotovi, CEO spoločnosti Techfun, za odbornú online konzultáciu k návrhu DPS. Jeho cenné rady pomohli posunúť projekt na profesionálnu úroveň s výhľadom na možnú sériovú výrobu a certifikáciu zariadenia značkou CE.

Osobitné poďakovanie patrí Tomášovi Frankovskému za cenné technické pripomienky, podiel na návrhu duralových hriadeľov a koncepcii prednej nápravy.

V neposlednom rade ďakujeme vedúcemu práce Ing. Milanovi Hanzelovi za odborné usmernenie, konzultácie a pomoc pri zabezpečovaní komponentov potrebných na realizáciu projektu.

Úvod

Priemyselná automatizácia a manipulácia materiálu dnes čelí rastúcim požiadavkám na energetickú efektívnosť, bezpečnosť a znižovanie environmentálnej záťaže. Autonómne mobilné vozíky (AGV), ktoré sa využívajú vo výrobných halách a logistických centrách, sú prevažne poháňané batériovými elektrickými systémami. Hoci tieto systémy takmer neprodukujú lokálne emisie, ich prevádzka je spojená s degradáciou akumulátorov, energetickými stratami pri nabíjaní a environmentálnou stopou pri výrobe a recyklácii batérií. V špecifických podmienkach, ako sú prašné, chemické alebo potenciálne výbušné prostredia, navyše vznikajú zvýšené nároky na ochranu elektrických komponentov proti iskreniu a vnikaniu nečistôt. Práve v takýchto prevádzkach je potrebné hľadať koncepcie odlišné a bezpečnejšie riešenia pohonu.

Navrhnutý projekt preto skúma využitie stlačeného vzduchu ako hlavného zdroja mechanickej energie pre autonómny vozík. Pneumatický motor zabezpečuje samotný pohyb, zatiaľ čo batéria slúži iba na napájanie riadiacej elektroniky s nízkym výkonom. Takáto koncepcia znižuje zaťaženie batériového systému a zároveň minimalizuje riziká spojené s výkonom prenášaným elektrickou cestou. Pneumatický pohon neprodukuje lokálne emisie, nevytvára iskrenie pri prenose mechanickej energie a je konštrukčne vhodný aj do prašných prevádzok, kde môže byť spoľahlivosť elektrických pohonov obmedzená. Projekt tak demonštruje potenciál ekologickejšieho a bezpečnejšieho riešenia pre špecifické priemyselné aplikácie.

1 Stručná charakteristika projektu

Projekt je zameraný na vývoj pneumatického pohonu využívajúceho stlačený vzduch ako alternatívny zdroj mechanickej energie s dôrazom na znížovanie lokálnych emisií a environmentálnej záťaže. Základom systému je dvojčinný piestový motor s priemerom 25 mm a zdvihom 100 mm, ktorý premieňa energiu stlačeného vzduchu na mechanickú prácu. Lineárny pohyb piestu je transformovaný na rotačný pomocou hrebeňového mechanizmu a systému jednosmerných ložísk, čím sa eliminuje potreba klasického kľukového mechanizmu a znižujú sa mechanické straty.

Pohon pracuje s regulovaným tlakom 3,5 bar, pričom energia je uložená v 1-litrovej tlakovej nádobe plnenej na 7 barov. Takýto systém umožňuje bezpečnú prevádzku bez spaľovania fosílnych palív a bez lokálnej produkcie emisií. Výkon modelu prirodzene klesá so znižujúcim sa tlakom, čo odzrkadľuje fyzikálne limity energetickej hustoty stlačeného vzduchu. Pri hmotnosti 3,5 kg a prevode 1:12 dosahuje model dojazd približne 350 metrov a slúži ako experimentálna platforma na skúmanie ekologickejších foriem pohonu v priemyselných aplikáciách.

Technológia patrí do oblasti alternatívnych pohonných systémov a mechatronických aplikácií. Riadenie zabezpečujú dve jednotky ESP32-S3 Mini, pričom komunikácia prebieha prostredníctvom protokolu ExpressLRS, ktorý sa vyznačuje veľmi nízkou latenciou, vysokou odolnosťou voči rušeniu a extrémnym dosahom. Elektronická riadiaca jednotka bola navrhnutá od základov vrátane vlastnej schémy zapojenia a návrhu PCB s dôrazom na elektromagnetickú kompatibilitu, oddelenie výkonovej a logickej časti a optimalizáciu prúdových trás. Spínanie zabezpečuje solenoidový ventil, pričom po vypnutí systému dochádza k automatickému odpojeniu riadenia.

2 Konštrukcia modelu

Konštrukcia modelu automobilu s pneumatickým pohonom je navrhnutá tak, aby spojila pevnosť, nízku hmotnosť a modulárnosť, čím umožňuje jednoduchú montáž, údržbu a prípadné úpravy jednotlivých komponentov. Základom nosnej štruktúry je klieťka okolo tlakovej fľaše, ktorá tvorí konštrukčné jadro vozidla a súčasne poskytuje ochranu pneumatického systému pred mechanickým poškodením. Klieťka je odľahčená pravidelnými otvormi, ktoré umožňujú integráciu závitových vložiek. Tieto vložky slúžia na pevné a opakovane použiteľné uchytenie ďalších mechanických prvkov, ako sú nápravy, prevodové mechanizmy, podvozok a karoséria, pričom zachovávajú vysokú mechanickú odolnosť spojov.

Pohon vozidla je založený na lineárnom pohybe piestu, ktorý je premenený na rotačný pohyb kolesa cez mechanizmus využívajúci hrebeňový prevod a jednosmerné ložiská. Takéto riešenie umožňuje efektívne využitie celého pracovného cyklu piestu, pretože rotácia sa prenáša počas výsuvu aj zásuvu bez zbytočných strát energie. Jednosmerné ložiská zabezpečujú, že moment sa prenáša len v požadovanom smere, čím sa zvyšuje plynulosť chodu pohonu a znižuje mechanické opotrebenie. Hrebeňový prevod je jednoduchý, spoľahlivý a umožňuje presnú kontrolu prenášaného krútiaceho momentu, čo je dôležité pre stabilný pohyb vozidla.

Nosná štruktúra vozidla je navrhnutá z kombinácie pevného plastu odolného voči mechanickému namáhaniu pre hlavné nosné časti a recyklovateľného plastu pre menej zaťažené diely, čím sa dosahuje optimálna kombinácia pevnosti a nízkej hmotnosti. Pneumatická fľaša, ktorá tvorí jadro vozidla, je vyrobená z ocele, aby zvládla prevádzkový tlak a súčasne poskytovala stabilitu celej konštrukcii. Podvozok a podporné prvky sú optimalizované pre výrobu 3D tlačou, čo umožňuje presné rozmiestnenie jednotlivých častí a flexibilitu pri experimentoch s mechanickými konfiguráciami.

Klieťka je navrhnutá tak, aby umožňovala bezpečné uloženie všetkých mechanických prvkov a súčasne poskytovala dostatok priestoru pre pohyb piestu a prenos síl na kolesá. Priestorové usporiadanie jednotlivých častí je premyslené tak, aby sa minimalizovali kolízie medzi mechanickými prvkami a aby bol mechanizmus ľahko dostupný pri údržbe alebo výmene dielov. Hlavné nosné prvky sú navrhnuté tak, aby uniesli sily vznikajúce pri pohybe piestu, zatiaľ čo menej zaťažené časti môžu byť

vyrobené z ľahších materiálov, čo znižuje celkovú hmotnosť vozidla a zlepšuje jeho dynamické vlastnosti.

Rám vozidla je modulárny, čo umožňuje jednoduchú demontáž jednotlivých komponentov, testovanie rôznych mechanických konfigurácií a prípadné experimentovanie s inými typmi pohonných jednotiek alebo prevodov. Konštrukcia je navrhnutá tak, aby bolo možné meniť parametre prenášania sily, výšku a uloženie podvozku či polohu pneumatickej fľaše bez zásadnej prestavby celého modelu. Toto riešenie poskytuje vysokú mieru flexibility pri návrhu a testovaní vozidla a zároveň umožňuje jednoduchú výrobu a údržbu.

Polomer otáčania vozidla a geometria riadenia sú riešené mechanicky tak, aby bolo zabezpečené presné manévrovanie a minimalizované preklzávanie kolies. Konštrukcia umožňuje, aby sa všetky kolesá pohybovali koordinovane, čo zvyšuje stabilitu pri jazde a bezpečnosť modelu. Zvolená modulárna koncepcia umožňuje jednoduché experimentovanie s rôznymi variáciami riadiacej geometrie alebo rozložením hmotnosti, čím je možné optimalizovať manévrovacie vlastnosti vozidla podľa potreby.

Takto navrhnutá konštrukcia predstavuje kompaktný a efektívny mechanický systém, ktorý umožňuje bezpečné uloženie pneumatickej pohonnej jednotky, efektívny prenos síl a plynulý chod vozidla. Modulárnosť a kombinácia odolných a ľahkých materiálov zabezpečuje, že vozidlo je nielen funkčné, ale aj vhodné pre experimentálne a výukové účely, pričom poskytuje priestor pre ďalší vývoj a optimalizáciu mechanického systému.

3 Elektronika

Elektronická časť projektu predstavuje samostatne navrhnutý riadiaci systém určený na presné ovládanie pneumatického pohonu modelu automobilu. Koncepcia riešenia vychádza z požiadavky na vysokú spoľahlivosť, odolnosť voči rušeniu a časovo presné riadenie ventilov. Z uvedeného dôvodu bola zvolená distribuovaná architektúra využívajúca dva mikrokontroléry typu ESP32-S3-MINI-1U pracujúce v režime Master–Slave. Takéto rozdelenie umožňuje oddeliť komunikačné a diagnostické úlohy od časovo kritických operácií súvisiacich so spínaním výkonových prvkov.

Mikrokontrolér označený ako Master zabezpečuje bezdrôtovú komunikáciu prostredníctvom protokolu ExpressLRS, spracovanie riadiacich povelov, telemetriu a dohľad nad stavom systému. Druhý mikrokontrolér, Slave, realizuje samotné riadenie solenoidových ventilov na základe údajov z Hallových snímačov a magnetického snímača polohy. Vzájomná komunikácia medzi oboma jednotkami je realizovaná pomocou UART protokolu s kontrolným súčtom, čím sa minimalizuje pravdepodobnosť prenosových chýb. Distribuované riadenie zabezpečuje, že časovanie ventilov nie je ovplyvnené komunikačnou latenciou, ktorá sa pri použití protokole pohybuje približne v rozsahu 10 až 20 milisekúnd.

Napájanie systému je realizované z akumulátora typu LiPo 3S s vysokou prúdovou zaťažiteľnosťou (40C). Z napätia akumulátora sú generované tri samostatné napäťové vetvy: 6 V pre výkonové prvky a servo mechanizmy, 5 V pre periférie a vybrané senzory a 3,3 V pre logickú časť systému a mikrokontroléry. Spínané meniče pre vetvy 5 V a 6 V boli navrhnuté individuálne na báze integrovaného obvodu LM22679, ktorý umožňuje efektívnu konverziu napätia so zníženými stratami. Logická vetva 3,3 V je realizovaná lineárnym stabilizátorom LDL1117S50R. Vstup stabilizátora je riešený pomocou OR-ing diód, ktoré umožňujú napájanie buď z batérie alebo z USB portu bez rizika spätného toku prúdu medzi zdrojmi.

Z dôvodu výskytu indukčných záťaží pri spínaní solenoidových ventilov bolo potrebné implementovať viacúrovňovú ochranu systému. Vstup z batérie obsahuje ochranu proti podpäťmu a prepätiu (UV/OV), ochranu proti reverznej polarite, elektronickú poistku eFuse a prepäťovú ochranu realizovanú pomocou TVS diód. USB vstup je rovnako vybavený prepäťovou ochranou. Výkonové spínanie štyroch

solenoidových ventilov s prúdom približne 60 mA na ventil je realizované pomocou inteligentných high-side driverov BTS5030-2EKA, pričom jeden integrovaný obvod obsluhuje dvojicu ventilov. Integrované ochranné funkcie týchto driverov, vrátane tepelnej a nadprúdovej ochrany, výrazne prispeli k zvýšeniu stability systému a eliminácii nežiaducich reštartov riadiacej jednotky.

Riadiaca jednotka je realizovaná na štvorvrstvovej doske plošných spojov. Viacvrstvová konštrukcia umožnila oddelenie výkonovej a logickej časti, implementáciu súvislej zemnej roviny a optimalizáciu prúdových slučiek. Tento návrhový prístup znižuje elektromagnetické rušenie a zlepšuje stabilitu pri dynamickom spínaní ventilov. Rozmiestnenie komponentov bolo navrhnuté s dôrazom na minimalizáciu parazitných indukčností a kapacít, čo je dôležité najmä pri rýchlych prechodových dejoch.

Softvérová časť systému obsahuje viacero bezpečnostných a diagnostických mechanizmov. Implementovaná je kontrola kontrolného súčtu pri komunikácii medzi mikrokontrolérmi, monitorovanie napätia batérie, detekcia odpojených komponentov a sledovanie teplotného zaťaženia výkonových prvkov. V prípade zistenia poruchového stavu systém prechádza do bezpečného režimu, čím sa zabráňuje poškodeniu hardvéru. Navrhnutá elektronická platforma tak predstavuje komplexné riešenie spájajúce výkonovú elektroniku, riadiace systémy a ochranné mechanizmy do jedného integrovaného celku.

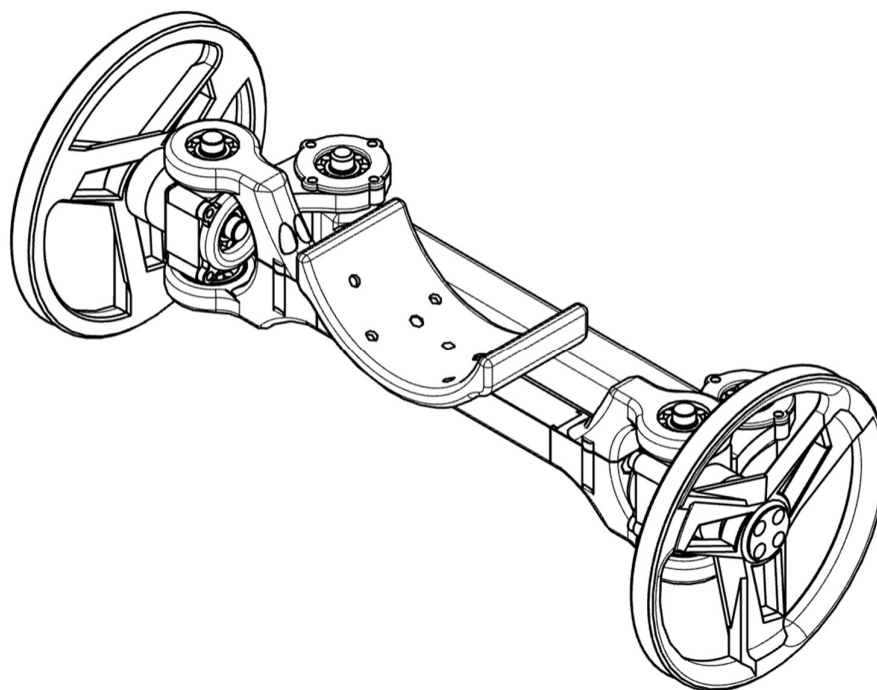
Významným prínosom pre realizáciu elektronickej časti projektu bola spolupráca so spoločnosťou JLCPCB, ktorá zabezpečila výrobu dosiek plošných spojov. Vďaka tejto podpore bolo možné navrhnuť a realizovať profesionálnu štvorvrstvovú PCB s dôrazom na správne vrstvenie signálových a výkonových trás, implementáciu súvislej zemnej roviny a minimalizáciu elektromagnetického rušenia. Konzultácie ohľadom návrhu, výrobných tolerancií a technologických možností prebehli aj s majiteľom spoločnosti TechFun, ktorý poskytol odborné odporúčania k optimalizácii návrhu z pohľadu praktickej realizácie a spoľahlivosti. Tieto odborné konzultácie prispeli k zvýšeniu kvality výslednej riadiacej jednotky a eliminácii potenciálnych výrobných alebo konštrukčných nedostatkov ešte pred samotnou výrobou.

4 Záver

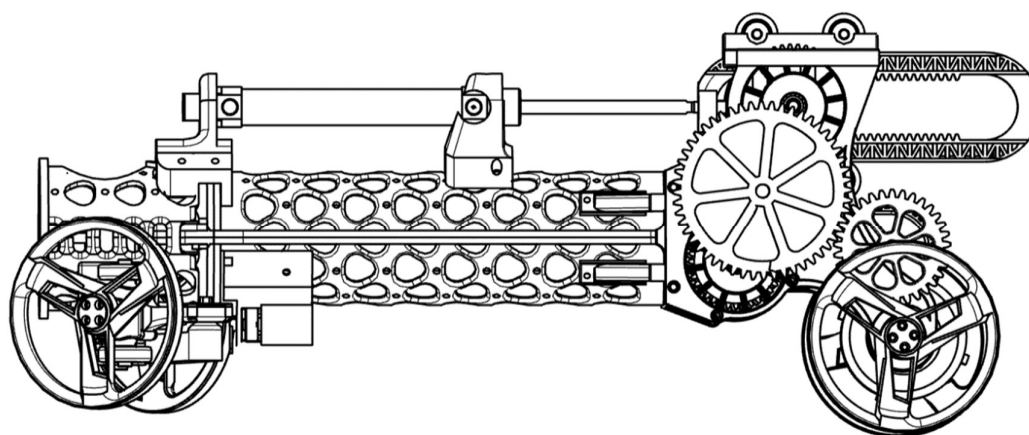
Hlavným cieľom projektu bolo navrhnúť a overiť funkčný model pneumatického pohonu ako potenciálneho riešenia pre autonómne mobilné vozíky v priemyselnom prostredí a zároveň posúdiť jeho technické a environmentálne vlastnosti. Tento cieľ bol splnený vypracovaním komplexného konštrukčného návrhu zahŕňajúceho mechanizmus premeny lineárneho pohybu na rotačný, prevodový systém, diferenciál, nosnú konštrukciu a vlastnú riadiacu elektroniku. Projekt preukázal, že pneumatický pohon je technicky realizovateľný a môže predstavovať vhodnú alternatívu pre špecifické aplikácie, najmä v prašných, chemických alebo potenciálne výbušných prevádzkach, kde je prioritou bezpečnosť, spoľahlivosť a nulová lokálna produkcia emisií.

Z environmentálneho hľadiska koncept demonštruje možnosť zníženia energetického zaťaženia batériových systémov, využitia existujúcich centrálnych pneumatických rozvodov a potenciálneho napojenia na obnoviteľné zdroje energie. Projekt zároveň identifikoval limity pneumatického pohonu, najmä nižšiu energetickú hustotu a účinnosť v porovnaní s modernými elektrickými systémami, čo potvrdzuje, že ide o riešenie vhodné predovšetkým pre špecifické podmienky, nie univerzálnu náhradu. Hlavný prínos práce spočíva v návrhu vlastného technického riešenia, integrácii mechanických a elektronických systémov a overení konceptu ekologickejšieho a bezpečnejšieho pohonu pre budúce priemyselné aplikácie.

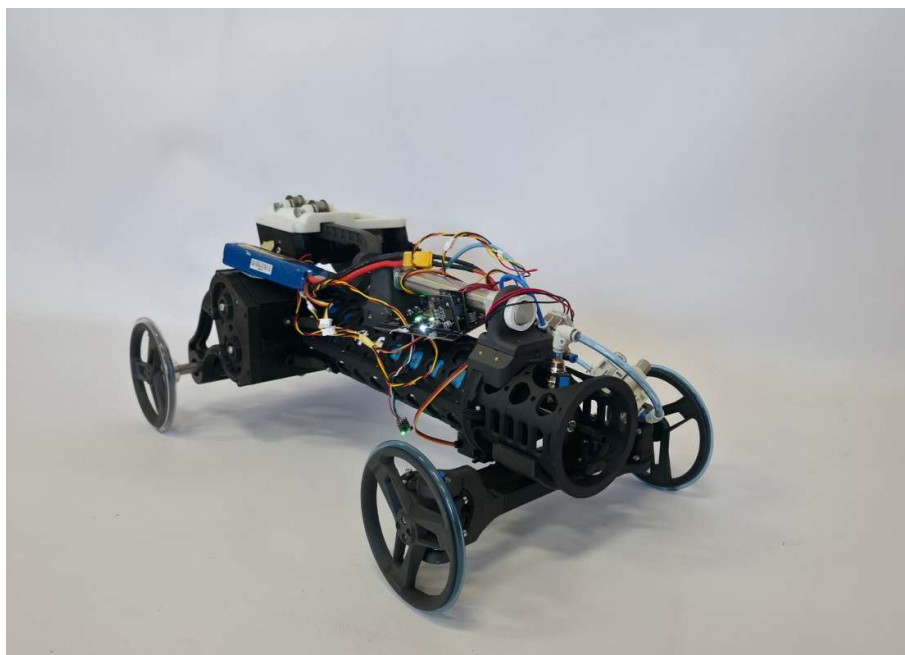
5 Obrazová príloha



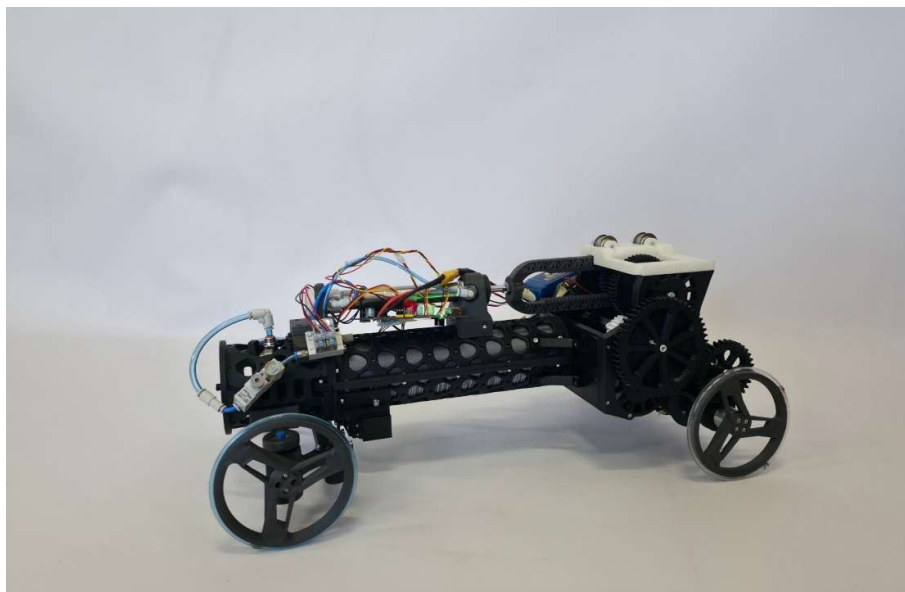
Obrázok 1 - Predná náprava



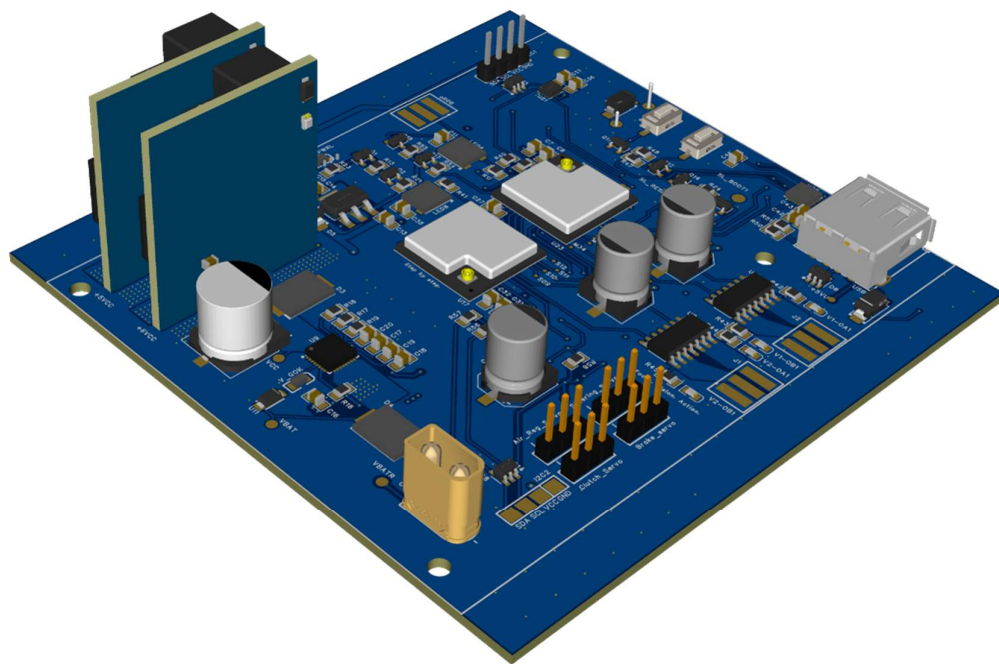
Obrázok 2 - model auta



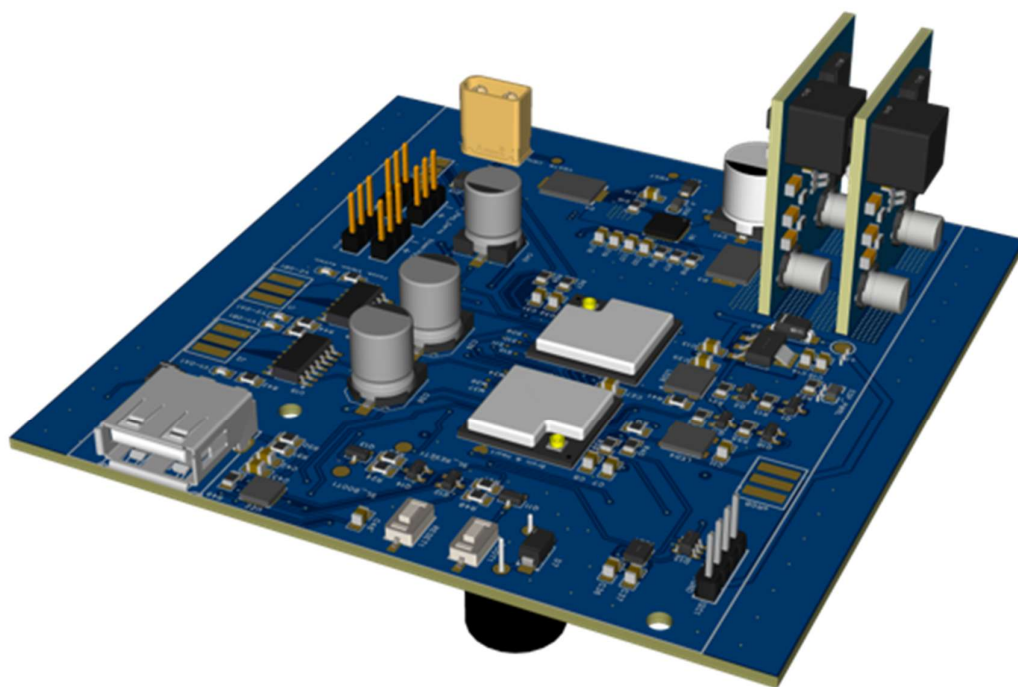
Obrázok 3 - Ukážka vozidla_1



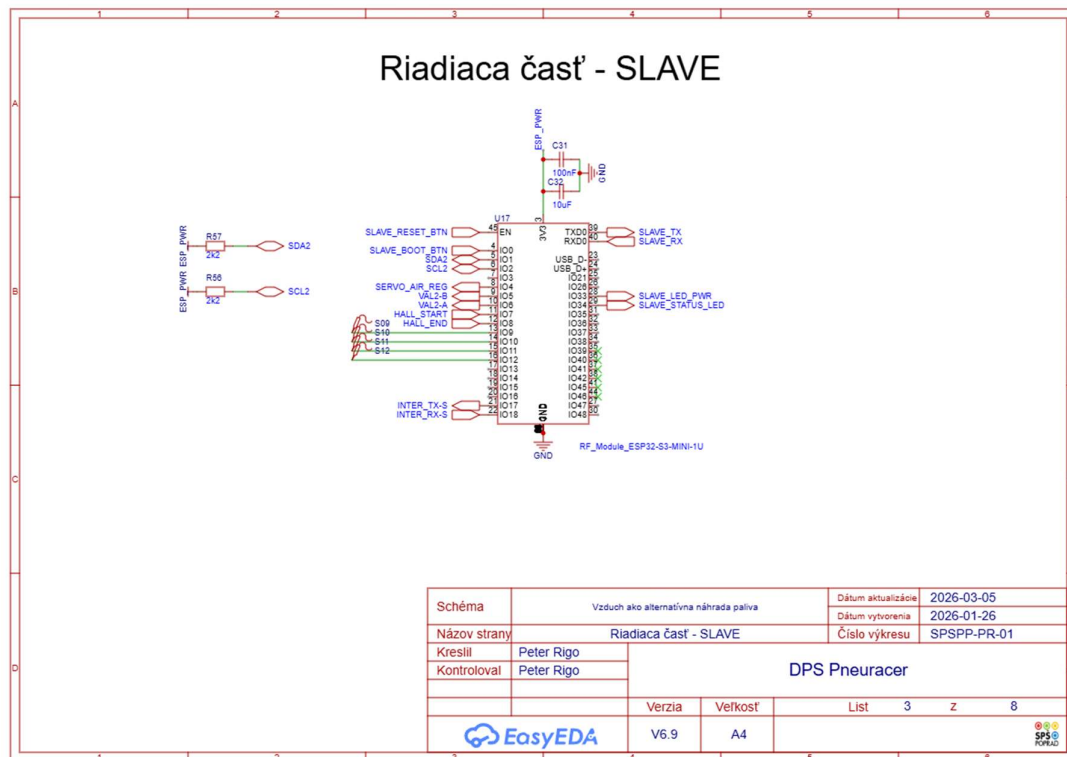
Obrázok 4 - Ukážka vozidla_2



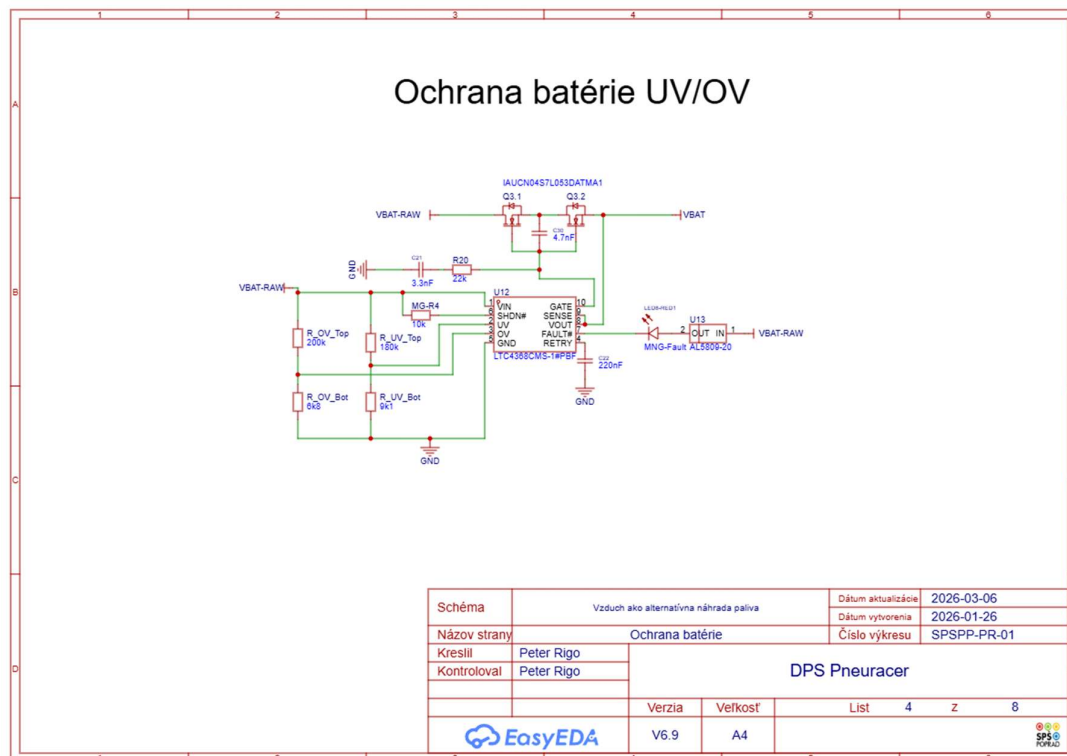
Obrázok 5 - Elektrické schémy hlavnej PCB



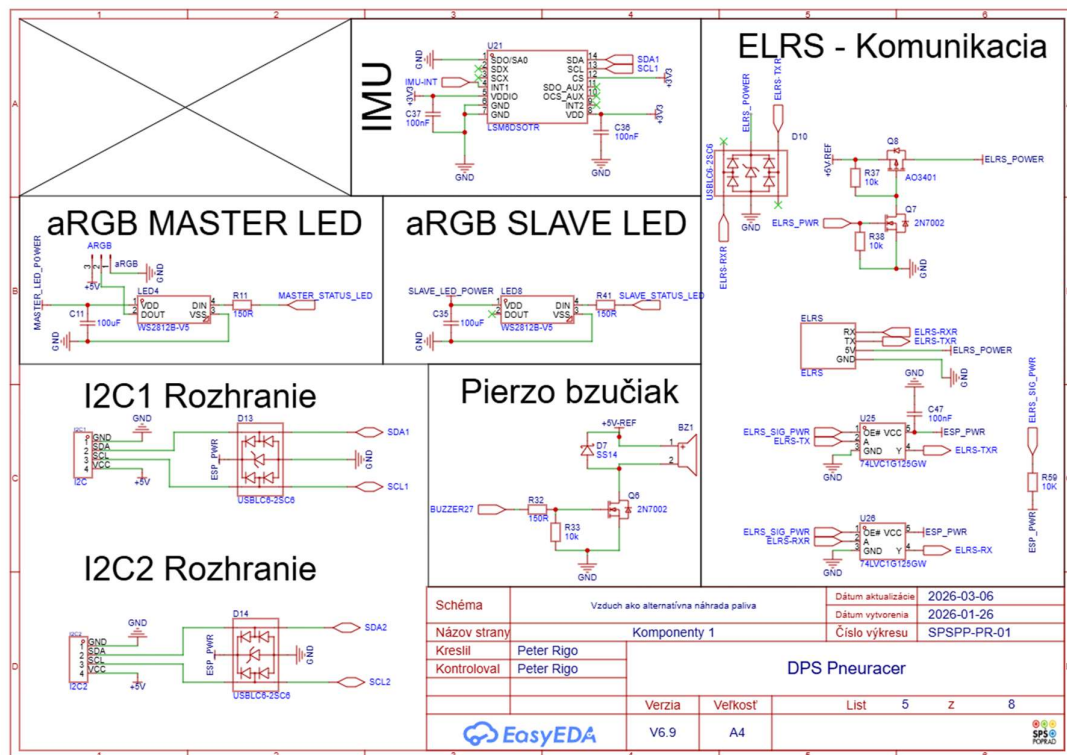
Obrázok 6 - 3D projekcia výsledného hardwaru



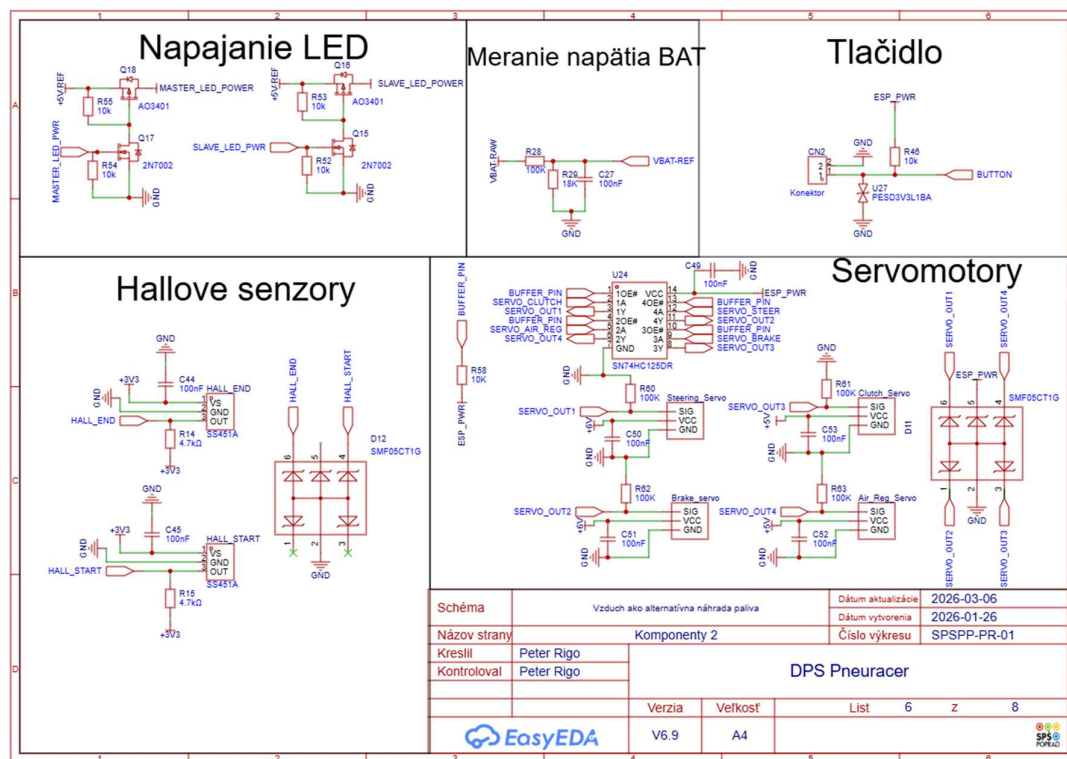
Obrázok 7 - Schéma riadiacej časti – SLAVE



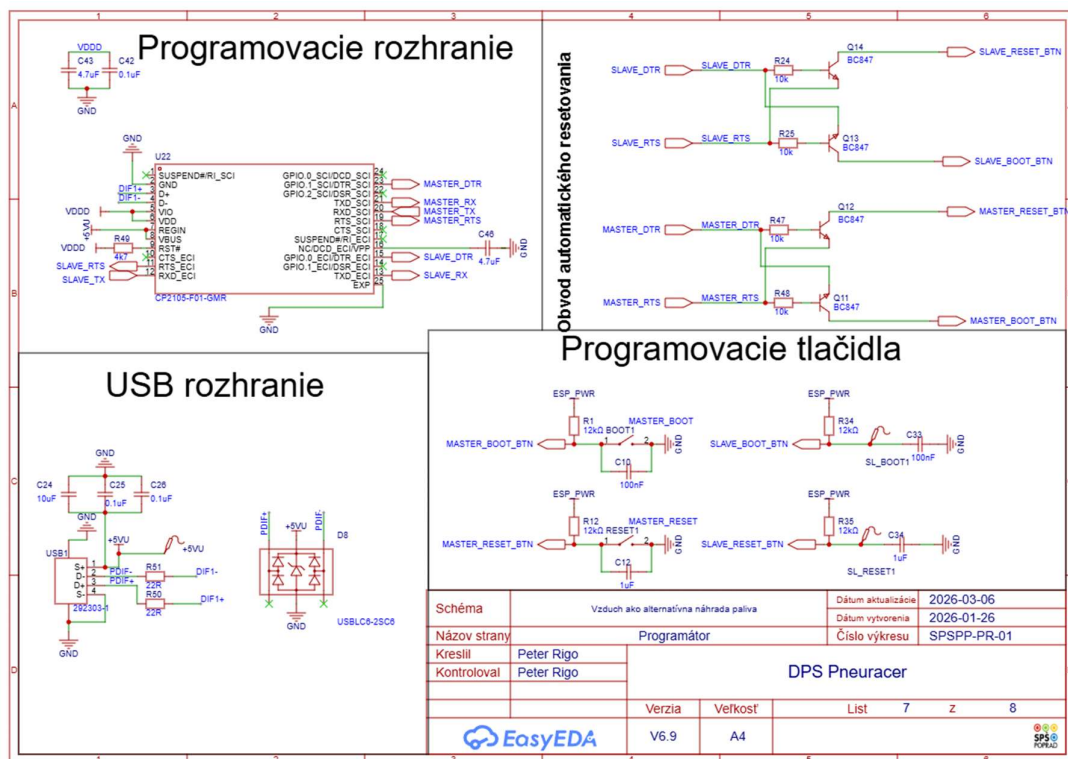
Obrázok 8 - Schéma ochrany batérie



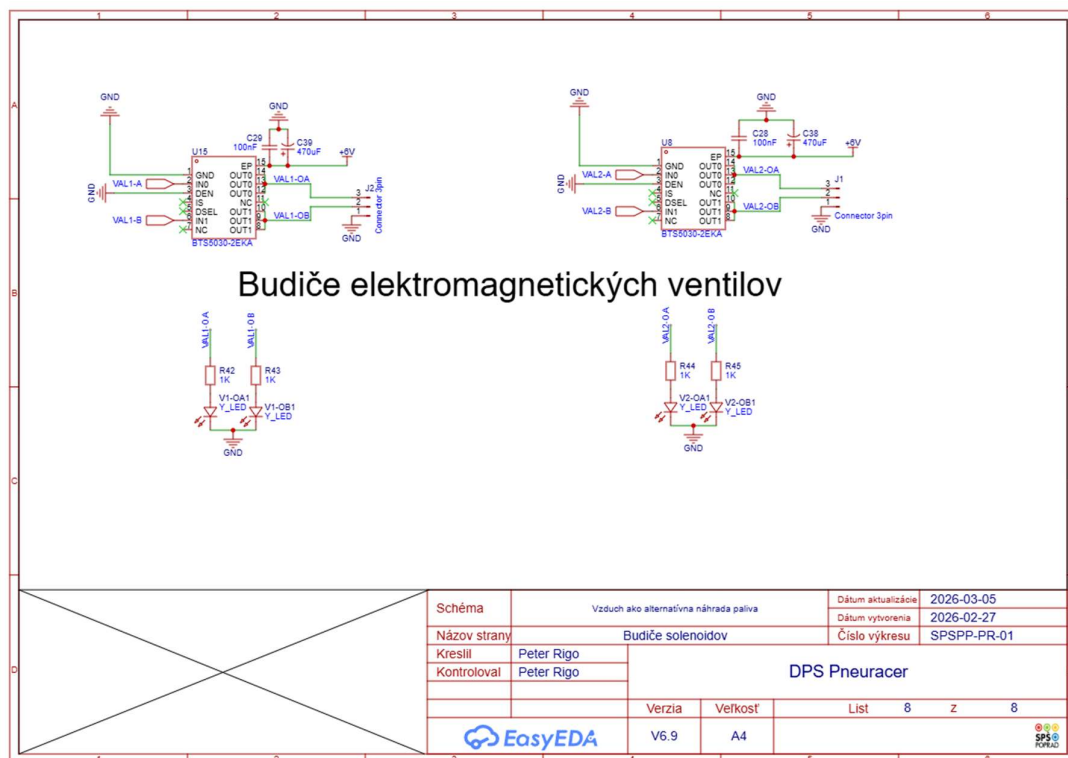
Obrázok 9 - Schéma komponentov I.



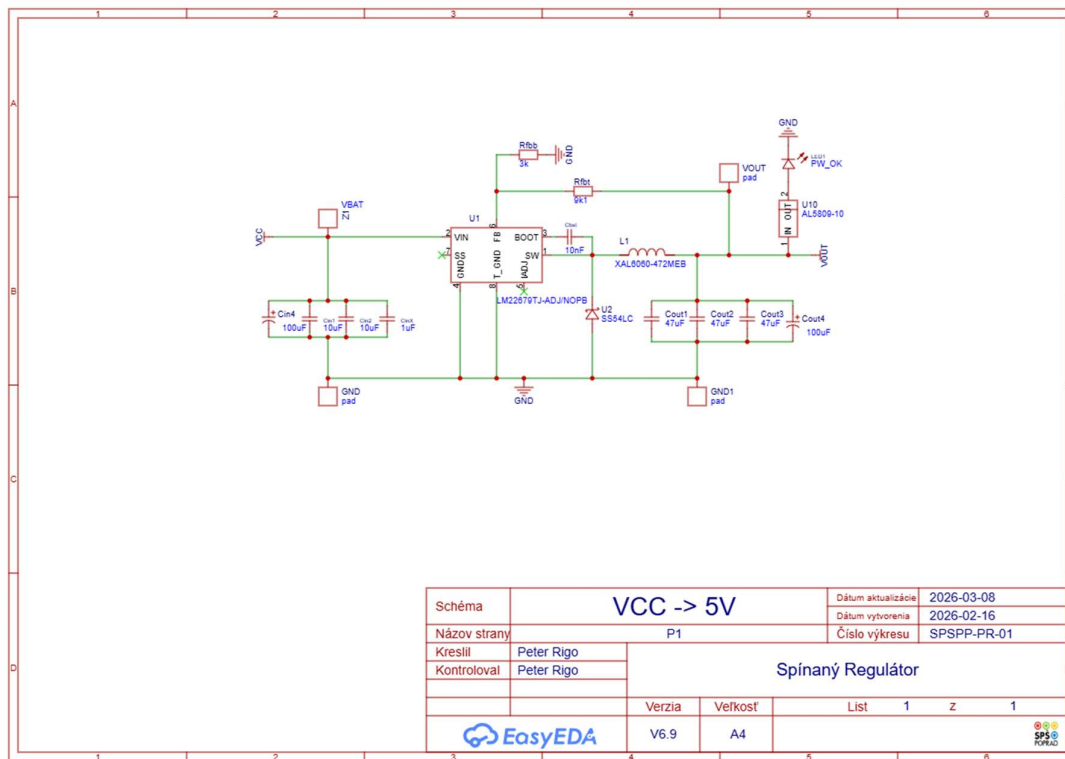
Obrázok 10 - Schéma komponentov II.



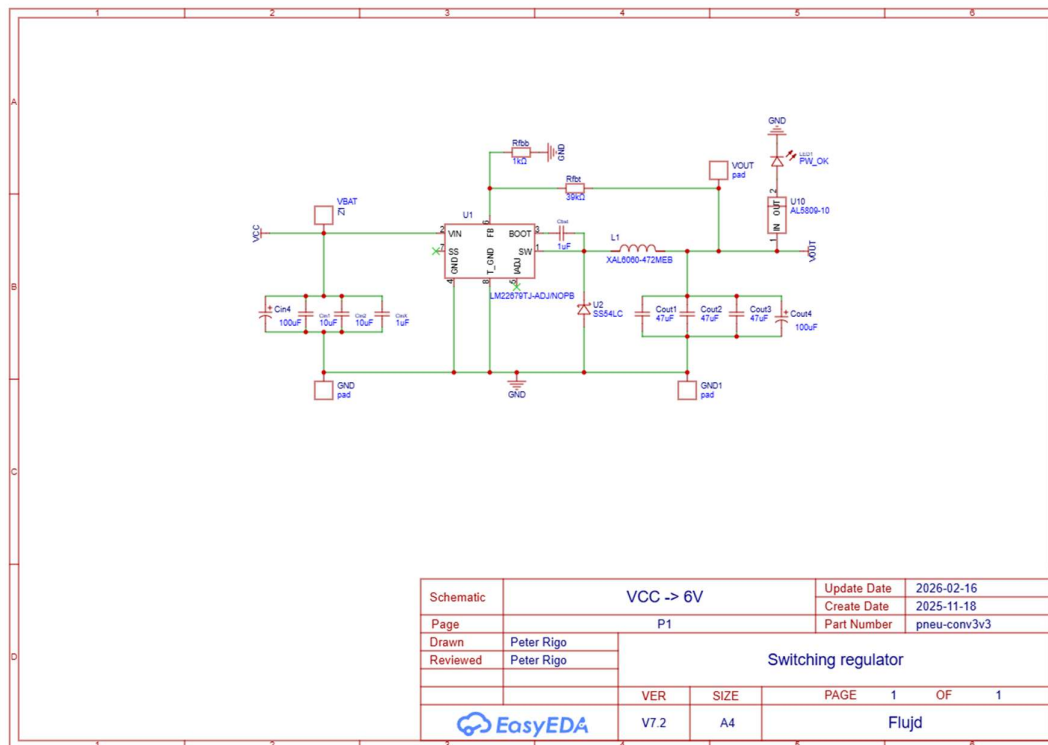
Obrázok 11 - Schéma zapojenia programátora



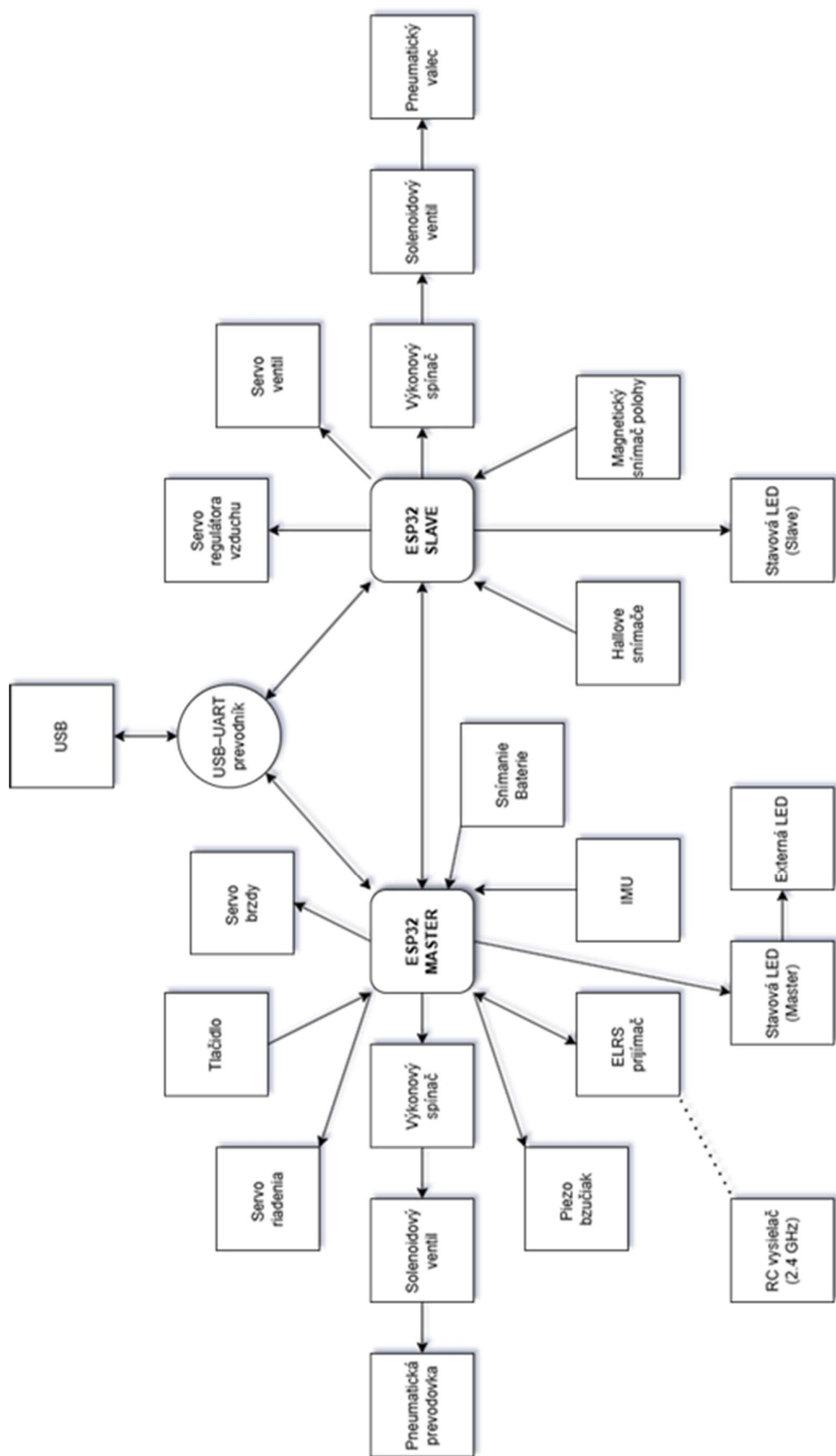
Obrázok 12 - Schéma budičov solenoidov



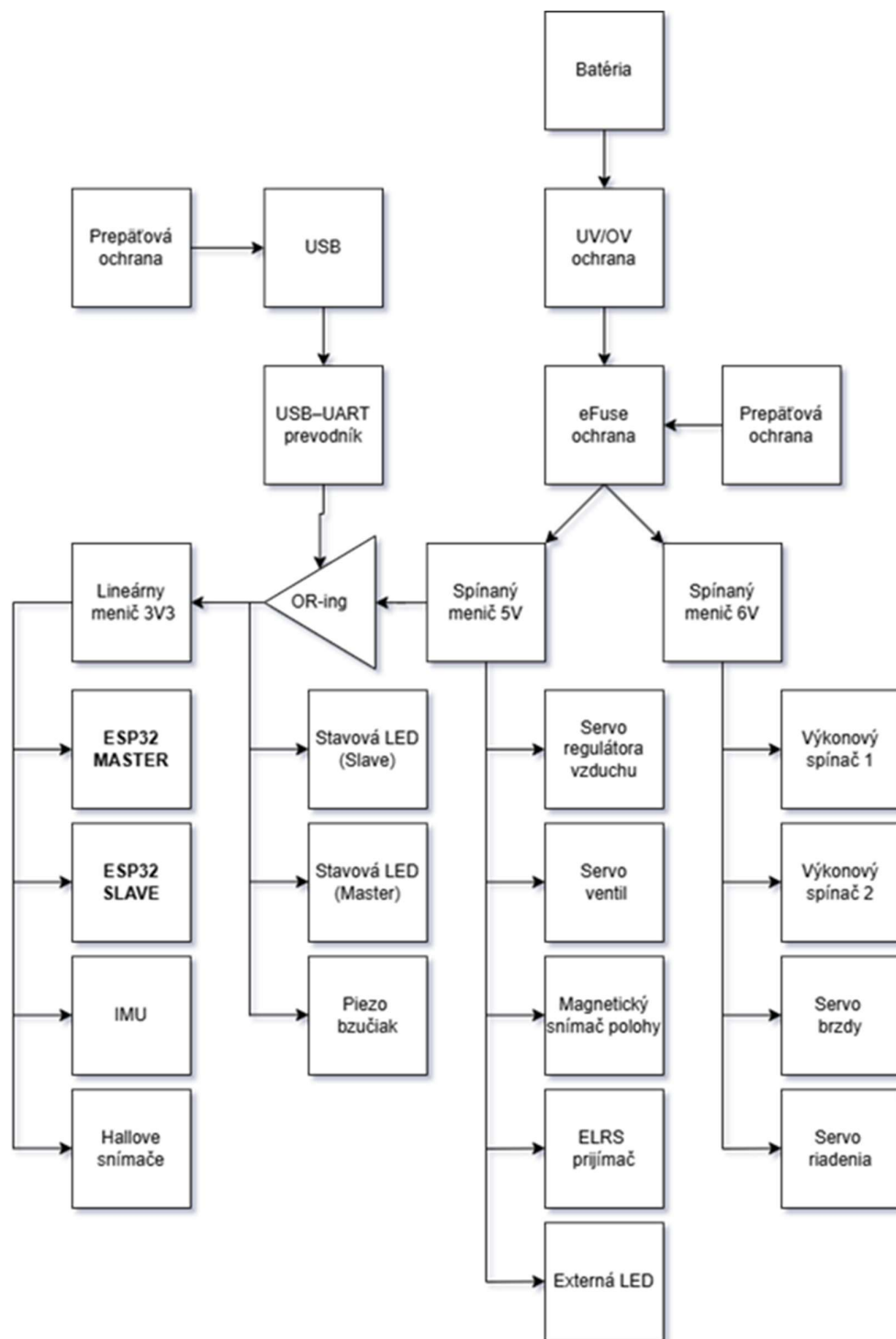
Obrázok 13 - Elektrická schéma spínaného meniča na 5v



Obrázok 14 - Elektrická schéma spínaného meniča na 6v



Obrázok 15 - Bloková schéma riadiaceho systému vozidla



Obrázok 16 - Blokova schéma napájacieho systému a distribúcie napätí