

Protokol Inžinierskeho dizajnu



Projekt č. 3 - Vlastný projekt

Projekt zameraný na praktické oboznámenie sa a osvojenie si inovačného procesu

I. Prehľad projektu

<i>Názov projektu</i>	Telemetrická jednotka pre monopost tímu Tower Team
<i>Názov školy</i>	Stredná priemyselná škola strojnícka a elektrotechnická - Gépipari és Elektrotechnikai Szakközépiskola, Petőfiho 2, Komárno
<i>Názov tímu</i>	Tower Team
<i>Mená členov skupiny</i>	Mátyás Tallósi, Kálmán Tamás Szabó, Eunika Boglárka Sólymos, Oliver Horváth
<i>Stanovené termíny</i>	Začiatok projektu: dd:mm:rr Ukončenie projektu: 27.5.2026
<i>Vaša výzva</i>	Vytvoriť funkčnú telemetrickú jednotku pre tím Tower team
<i>Kritériá úspechu (hlavný cieľ projektu):</i>	Hlavným cieľom projektu takisto ako kritérium úspechu je aby sa jednotka bola schopná úspešne, rýchlo a efektívne zbierať, vyhodnocovať a následne posilať dáta.

II. Praktická časť



1. Ask (Pýtajte sa)

1. Nápady a prvé úvahy:

Tento projekt sme vybrali kvôli tomu, aby sme zlepšili systém telemetrie monopostu a posunuli jeho technickú úroveň bližšie k reálnym podmienkam motorsportu. Na začiatku sme uvažovali nad viacerými možnosťami, ako efektívne prenášať dáta z monopostu počas jazdy v reálnom čase. Zvažovali sme rôzne komunikačné technológie a riešenia, pričom sme porovnávali ich výhody a nevýhody z hľadiska dosahu, spoľahlivosti a jednoduchosti implementácie. Postupne sme dospeli k záveru, že pôvodné riešenie založené na technológii Bluetooth nie je pre naše účely dostatočné, a preto sme začali uvažovať nad jeho nahradením modernejšou a spoľahlivejšou alternatívou.

2. Definovanie problému:

Problémom, ktorý sme sa rozhodli riešiť, boli nedostatočné komunikačné schopnosti pôvodnej telemetrickej jednotky monopostu. Pôvodný systém využíval na prenos dát technológiu Bluetooth, ktorej dosah je výrazne obmedzený, čo v praxi znamenalo, že spoľahlivý príjem dát bol možný len na veľmi krátku vzdialenosť. Toto obmedzenie znemožňovalo efektívne monitorovanie monopostu počas jazdy na trati v reálnom čase. Rozhodli sme sa preto nahradiť Bluetooth komunikáciu bezdrôtovým modulom LoRa, ktorý je schopný prenášať dáta na oveľa väčšie vzdialenosti pri nízkej spotrebe energie. Celý systém sme navrhli tak, aby bol riadený pomocou mikrokontroléra Arduino Nano, ktorý zabezpečuje spracovanie a odosielanie telemetrických dát. Tento problém bol pre nás dôležitý, pretože spoľahlivá telemetria je kľúčovým nástrojom na sledovanie výkonu monopostu, odhaľovanie technických problémov počas jazdy a celkové zlepšovanie jeho výkonu na trati.

3. Ciele projektu:

Hlavným cieľom projektu bolo zlepšiť systém bezdrôtového prenosu dát telemetrickej jednotky monopostu nahradením pôvodnej technológie Bluetooth modernejším riešením založeným na LoRa module. Primárnym parametrom, ktorý sme chceli ovplyvniť, bol dosah bezdrôtového prenosu dát, keďže obmedzený dosah Bluetooth technológie predstavoval zásadnú prekážku pre efektívne monitorovanie monopostu počas jazdy na trati. Ďalším dôležitým cieľom bolo zvýšenie spoľahlivosti prenosu dát, teda zabezpečenie stabilného a neprerušovaného spojenia medzi monopostom a prijímacou stanicou aj pri väčších vzdialenostiach alebo v prostredí s vyšším elektromagnetickým rušením. Spoľahlivosť prenosu priamo ovplyvňuje kvalitu získaných telemetrických dát, a teda aj možnosť ich využitia pri analýze výkonu monopostu. Neoddeliteľnou súčasťou projektu bolo taktiež zachovanie nízkej spotreby energie celého systému, čo je pri batériovo napájaných zariadeniach, akým monopost je, veľmi dôležitý parameter. Technológia LoRa bola v tomto ohľade ideálnou voľbou, keďže je známa práve svojou nízkou energetickou náročnosťou pri zachovaní dlhého dosahu. Tieto ciele sme si vybrali predovšetkým preto, že ich splnenie by prinieslo výrazné praktické zlepšenie pri prevádzke monopostu. Kvalitná a spoľahlivá telemetria umožňuje tímu v reálnom čase sledovať dôležité prevádzkové parametre vozidla, rýchlo reagovať na prípadné technické problémy a na základe získaných dát optimalizovať výkon monopostu počas súťaže.

4. Obmedzenia a limity:

Pri návrhu a realizácii telemetrickej jednotky sme museli zohľadniť niekoľko dôležitých obmedzení. Prvým a najvýznamnejším obmedzením bol rozpočet projektu, ktorý limitoval výber komponentov a technológií. Práve z tohto dôvodu sme zvolili cenovo dostupné riešenie v podobe mikrokontrollera Arduino Nano namiesto výkonnejšieho, avšak drahšieho Raspberry Pi. Ďalším dôležitým obmedzením boli priestorové požiadavky, keďže telemetrická jednotka musela byť dostatočne kompaktná, aby ju bolo možné zabudovať do obmedzeného priestoru monopostu. Toto obmedzenie priamo ovplyvnilo návrh dosky plošných spojov, kde sme sa snažili dosiahnuť čo najmenšie rozmery pri zachovaní plnej funkčnosti. Významným faktorom bola aj spotreba energie, keďže monopost je napájaný z batérie s obmedzenou kapacitou. Nízka energetická náročnosť Arduina Nano a LoRa modulu bola preto jedným z kľúčových kritérií pri výbere komponentov. Okrem toho sme museli zohľadniť aj odolnosť systému voči vibráciám a elektromagnetickému rušeniu



2. Research (Preskúmajte problém)

1. Existujúce riešenia a inšpirácie

Pri návrhu telemetrickej jednotky sme vychádzali najmä z vlastných skúseností členov tímu s bezdrôtovou RF komunikáciou, ktoré sme nadobudli pri predchádzajúcich projektoch. Ďalším dôležitým zdrojom boli vedomosti z programovania mikrokontrolérov získané počas výučby na škole, ktoré nám poskytli potrebný teoretický základ pre prácu s Arduino Nano a konfiguráciu komunikačných rozhraní. Neoddeliteľnou súčasťou boli aj konzultácie s učiteľmi, ktorí nás usmerňovali pri výbere komponentov a overovaní správnosti navrhnutých zapojení.



3. Imagine (Navrhňte)

Dizajn č. 1 – telemetrická jednotka vyhotovená pomocou raspberry pi

Stručný opis návrhu:

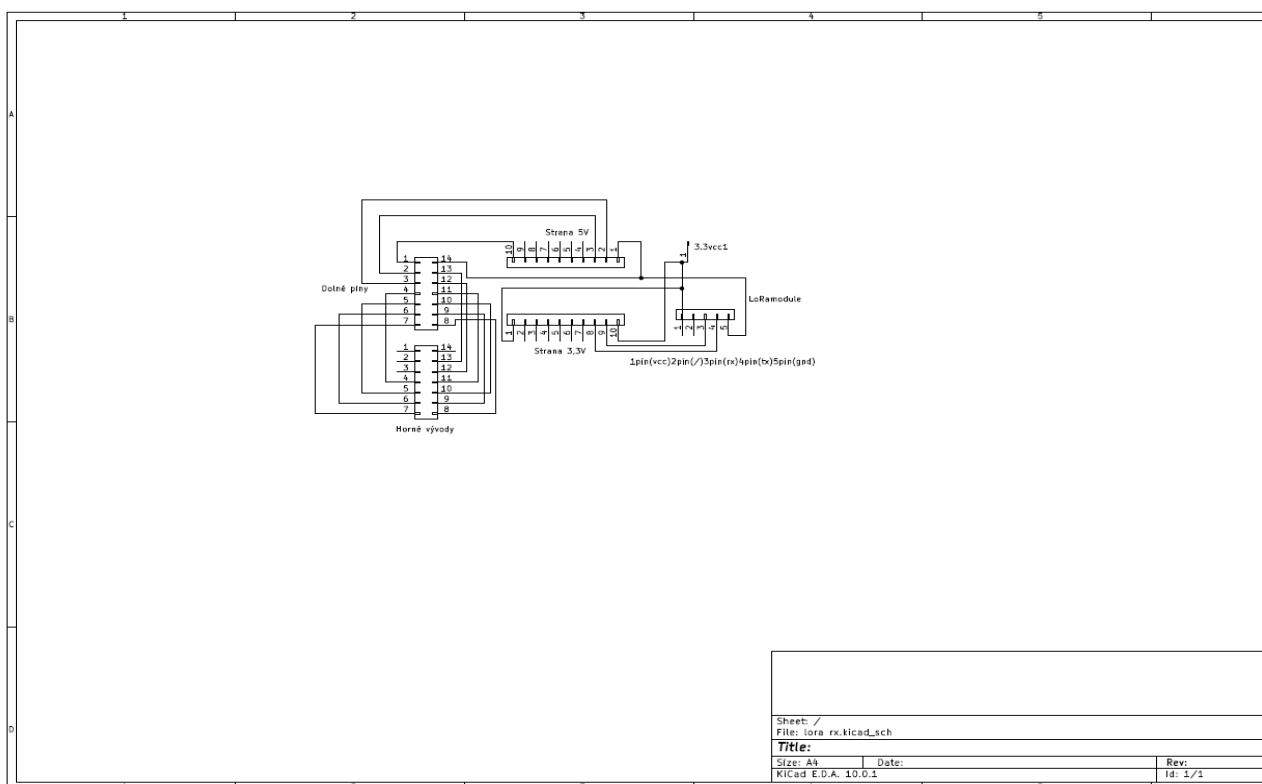
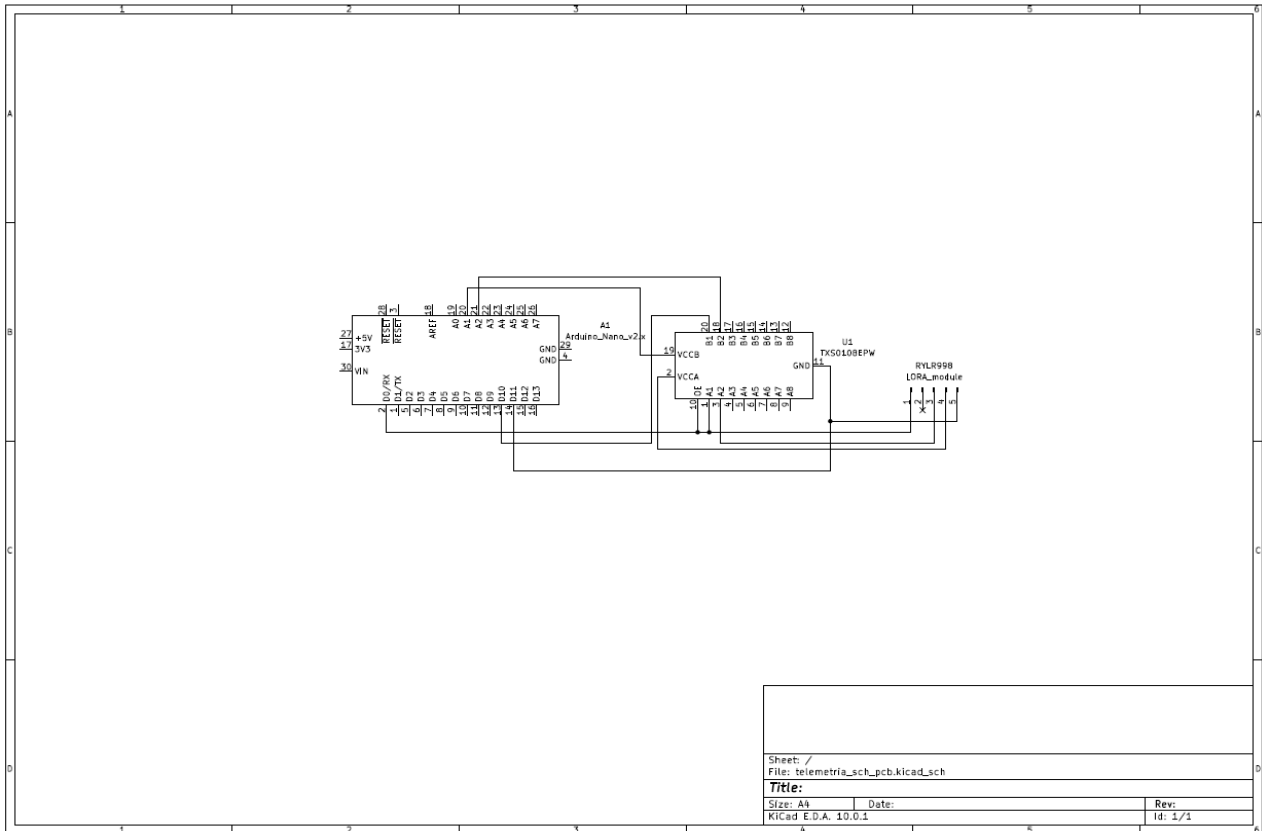
Oproti dizajnu č. 2 sme v dizajne č.1 navrhli verziu telemetrickej jednotky, kde hlavnou riadiacou jednotkou by bol namiesto Arduino Nano mikropočítač Raspberry Pi. Raspberry Pi by v tomto návrhu preberalo úlohu centrálného prvku systému, ktorý by spracovával, zaznamenával a odosielalo telemetrické dáta z monopostu v reálnom čase. Rovnako ako v dizajne č. 1 by bezdrôtový prenos dát zabezpečoval LoRa modul, ktorý by bol s Raspberry Pi prepojený prostredníctvom sériového rozhrania UART alebo SPI. Vďaka výrazne vyššiemu výpočtovému výkonu Raspberry Pi oproti Arduino Nano by bolo možné spracovávať väčšie množstvo dát súčasne a zobrazovať ich napríklad v prehľadnom grafickom rozhraní priamo na prijímacej stanici.

Materiály:

V tomto návrhu by boli použité nasledovné komponenty. Ako hlavná riadiaca jednotka by slúžil mikropočítač Raspberry Pi, ktorý by nahradil Arduino Nano z dizajnu č. 2. Na bezdrôtový prenos dát by bol opäť použitý LoRa modul RYLR998, ktorý osvedčil svoje vlastnosti už v predchádzajúcom dizajne. Keďže Raspberry Pi pracuje na napäťovej úrovni 3,3 V, odpadla by potreba napäťového prevodníka TXS0108EPW, ktorý bol nutný v dizajne č. 1 pre Arduino Nano pracujúce na 5 V. Napájanie celého systému by bolo riešené prostredníctvom štandardného napájacieho zdroja pre Raspberry Pi.

Dizajn č. 2

Nákres / fotografia návrhu



Dizajn č. 2

Stručný opis návrhu:

Prijímacia schéma zobrazuje zapojenie konektorového rozhrania pre LoRa modul, pričom prepojenie je realizované prostredníctvom dvoch skupín konektorov označených ako „Dolné piny“ a „Horné vývody“. LoRa modul je napájaný napätím 3,3 V, ktoré je privedené cez dedikovaný napájací konektor označený ako 3.3vcc1. Schéma ďalej obsahuje rozhranie pre komunikačné signály, konkrétne piny VCC, RX, TX a GND, ktoré zabezpečujú prepojenie LoRa modulu s riadiacou elektronikou. Napájacia časť obvodu je rozdelená na vetvu 5 V a vetvu 3,3 V podľa požiadaviek jednotlivých komponentov.

Vysielacia schéma zobrazuje kompletne zapojenie riadiacej jednotky, v ktorej centrálnym prvkom je mikrokontroller Arduino Nano v2 označený ako A1. Ten je prepojený s LoRa modulom RYLR998 označeným ako U1 s typovým označením TXS0108EPW, ktorý zabezpečuje samotný bezdrôtový prenos dát. Komunikácia medzi Arduinom a LoRa modulom prebieha prostredníctvom sériového rozhrania UART cez piny RX a TX. Napájanie obvodu je riešené cez pin VIN a interný regulátor Arduina, ktorý generuje napäťové úrovne 5 V a 3,3 V pre jednotlivé časti obvodu.

Materiály:

Pri návrhu telemetrickej prijímacej jednotky boli zvažované a použité nasledovné materiály a elektronické súčiastky. Ako riadiaca jednotka bol zvolený mikrokontroller Arduino Nano pre jeho kompaktné rozmery, dostupnosť a jednoduchú programovateľnosť. Na bezdrôtový prenos dát bol použitý LoRa modul, ktorý nahradil pôvodné Bluetooth riešenie a umožnil prenos dát na výrazne väčšie vzdialenosti. Prepojenie jednotlivých komponentov bolo realizované prostredníctvom konektorov rôznych typov, ktoré umožnili modulárne zostavenie celého systému. Návrh dosky plošných spojov bol vypracovaný v softvéri KiCad, ktorý je voľne dostupným nástrojom pre návrh elektronických schém a PCB.

2. Porovnanie návrhov

Návrh	Výhody	Nevýhody
Dizajn č 1	Hlavnou výhodou tohto návrhu by bol výrazne vyšší výpočtový výkon, ktorý by umožnil komplexnejšie spracovanie telemetrických dát, ich lokálne ukladanie na SD kartu a prípadné zobrazovanie v reálnom čase. Raspberry Pi taktiež disponuje operačným systémom Linux, čo otvára možnosti využitia pokročilých softvérových nástrojov na analýzu dát.	Nevýhodou tohto riešenia by bola vyššia spotreba energie, väčšie rozmery a vyššia cena oproti Arduino Nano, čo by mohlo predstavovať obmedzenie pri montáži do priestoru monopostu.
Dizajn č. 2	Arduino Nano je energeticky úsporné, kompaktné a cenovo dostupné riešenie s jednoduchou programovateľnosťou a rýchlou inicializáciou. Je taktiež odolné voči vibráciám a napäťovým výkyvom, čo je v prostredí monopostu dôležitý faktor.	Nevýhodou je obmedzený výpočtový výkon a malá operačná pamäť, ktoré limitujú spracovanie väčšieho množstva dát. Ďalším nedostatkom je potreba napäťového prevodníka pre komunikáciu s LoRa modulom a absencia možnosti lokálneho ukladania a vizualizácie dát.

3. Výber riešenia

Po porovnaní oboch návrhov sme sa rozhodli pre dizajn č. 2 s mikrokontrolérom Arduino Nano. Hlavným dôvodom výberu bola jeho nízka spotreba energie, kompaktné rozmery a dostatočný výpočtový výkon pre spracovanie telemetrických dát monopostu. Dôležitú úlohu zohrala aj cenová dostupnosť a jednoduchá programovateľnosť, ktorá nám umožnila rýchlejšiu realizáciu projektu. Napriek tomu, že Raspberry Pi ponúkalo vyšší výpočtový výkon a pokročilejšie možnosti spracovania dát, jeho vyššia spotreba energie, väčšie rozmery a náchylnosť na vibrácie ho robili menej vhodným pre podmienky prevádzky monopostu. Arduino Nano teda predstavovalo riešenie, ktoré najlepšie spĺňalo všetky požiadavky projektu.



4. Plán (Naplánujte)

1. Finálny návrh riešenia

Ktoré riešenie ste si vybrali a prečo?

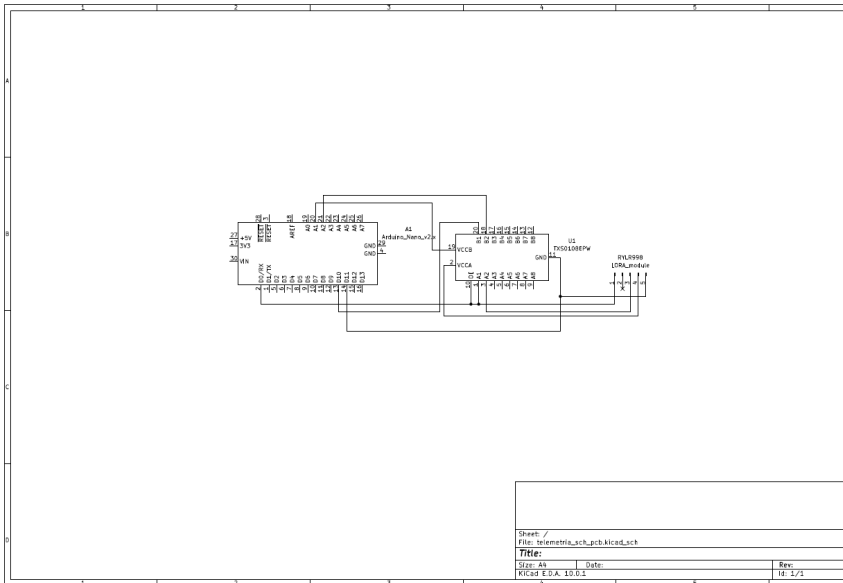
Pre finálnu realizáciu sme zvolili dizajn č. 2 s Arduino Nano, pretože najlepšie spĺňal požiadavky projektu z hľadiska spotreby energie, kompaktných rozmerov a cenovej dostupnosti. Rozhodujúcim faktorom bola aj jednoduchá programovateľnosť a skúsenosti členov tímu s platformou Arduino, čo výrazne uľahčilo a urýchlilo celý proces realizácie.

2. Materiály a nástroje, zariadenia

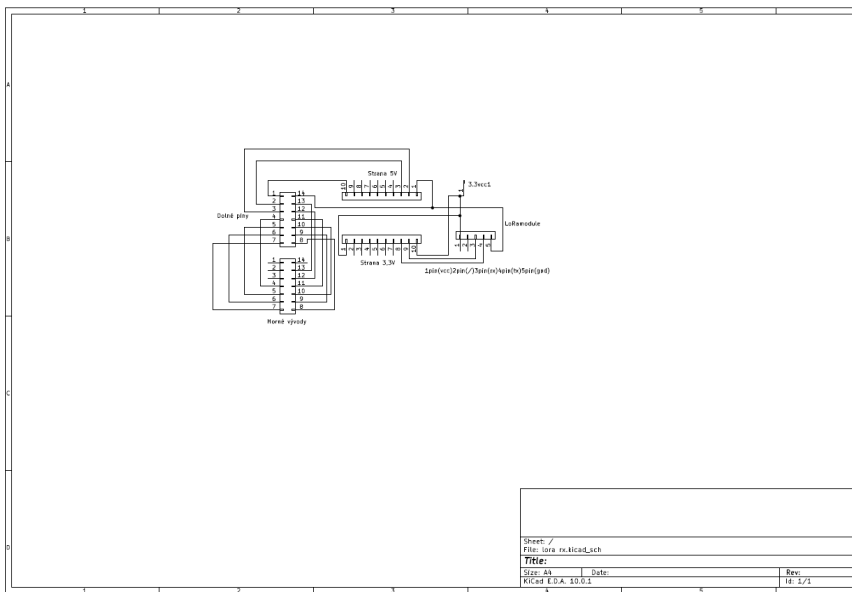
Na realizáciu projektu bol použitý mikrokontroller Arduino Nano ako hlavná riadiaca jednotka a LoRa modul RYLR998 na bezdrôtový prenos dát. Pre správnu komunikáciu medzi komponentmi bol použitý napäťový prevodník TXS0108EPW. Návrh schémy a dosky plošných spojov bol realizovaný v softvéri KiCad. Na programovanie mikrokontrollera bolo použité vývojové prostredie Arduino IDE.

3. Plán realizácie

krok	popis
1. Návrh schémy a PCB v KiCad	Vytvorenie schémy zapojenia a dosky plošných spojov
2. Výroba PCB a osadenie komponentov	Vyvolávanie DPS a naspájkovanie komponentov
3. Programovanie	Nahratie firmvéru v Arduino IDE zabezpečujúceho zber a odosielanie dát
4. Testovanie prenosu	Overenie dosahu a spoľahlivosti prenosu dát cez LoRa modul
5. Montáž do monopostu	Zabudovanie hotovej telemetrickej jednotky do monopostu
6. Finálne testovanie	Overenie funkčnosti celého systému v reálnych podmienkach jazdy



Prvý obrázok zachytáva schému zapojenia prijímacej telemetrickej jednotky, ktorej centrálnym prvkom je mikrokontroller Arduino Nano v2 (A1) prepojený s LoRa modulom RYLR998 (U1) cez napäťový prevodník TXS0108EPW. Schéma zobrazuje všetky elektrické prepojenia medzi komponentmi vrátane napájacích vetiev 5 V a 3,3 V.



Druhý obrázok zachytáva schému zapojenia konektorového rozhrania pre LoRa modul, kde sú viditeľné dve skupiny konektorov označené ako „Dolné piny“ a „Horné vývody“. Schéma zobrazuje rozvedenie signálov VCC, RX, TX a GND pre komunikáciu s LoRa modulom, pričom napájanie je rozdelené na vetvu 5 V a vetvu 3,3 V. Obe schémy boli navrhnuté v softvéri KiCad a spoločne tvoria kompletnú dokumentáciu telemetrickej jednotky monopostu.



5. Create (Vytvorte)

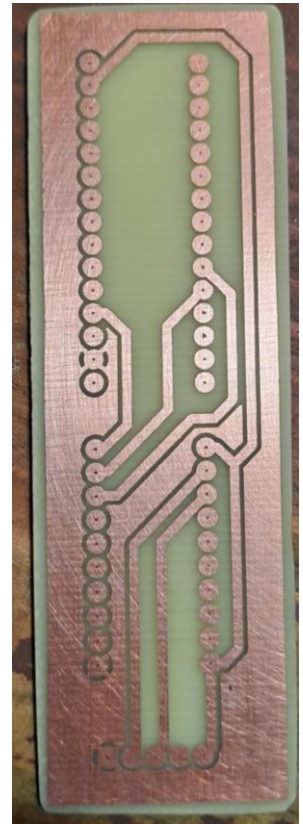
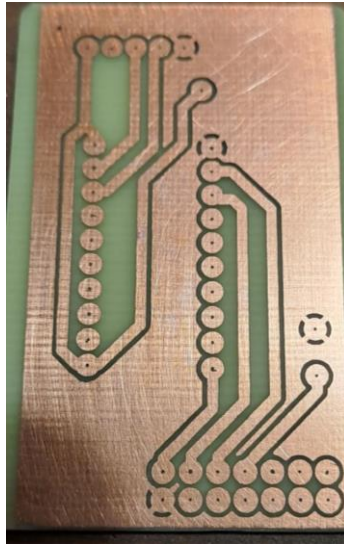
1. Realizácia návrhu

Stručne opíšte, ako prebiehala realizácia vášho riešenia

Realizácia projektu začala návrhom elektrickej schémy v softvéri KiCad, kde boli definované všetky prepojenia medzi mikrokontrolérom Arduino Nano, LoRa modulom RYLR998 a napäťovým prevodníkom TXS0108EPW. Schéma bola rozdelená na prijímaciu a vysielaciu časť, pričom každá bola navrhnutá ako samostatná schéma. Po overení správnosti zapojenia nasledoval návrh dosky plošných spojov, pri ktorom boli komponenty rozmiestnené tak, aby bola doska čo najkompaktnejšia, s ohľadom na správne vedenie signálových a napájacích spojnic. Po výrobe PCB dosky nasledovalo osadenie všetkých komponentov, teda spájkovanie Arduina Nano, LoRa modulu RYLR998, napäťového prevodníka TXS0108EPW a všetkých potrebných konektorov. Následne bola doska funkčne otestovaná z hľadiska správnosti napájacích napätí a funkčnosti jednotlivých komponentov, aby sa predišlo prípadným škodám na elektronike. Po úspešnom otestovaní obvodu bol mikrokontroller Arduino Nano naprogramovaný v prostredí Arduino IDE, kde bol vytvorený firmvér zabezpečujúci zber telemetrických dát a ich odosielanie prostredníctvom LoRa modulu. Následne bolo vykonané testovanie bezdrôtového prenosu, pri ktorom bol overený dosah a spoľahlivosť komunikácie medzi vysielacou a prijímacou jednotkou. Po úspešnom otestovaní prenosu bola hotová telemetrická jednotka zabudovaná do monopostu, pričom bol kladený dôraz na pevné uchytenie a ochranu elektroniky pred vibráciami. Na záver prebehlo finálne testovanie celého systému v reálnych podmienkach jazdy, pri ktorom bola overená správnosť a spoľahlivosť prenosu telemetrických dát počas prevádzky monopostu.

3. Dokumentácia realizácie

Na pravých 2 obrázkoch môžeme vidieť už vyzvolané ale ešte neosadené DPS pre telemetrický systém nášho monopostu



Na obrázku vľavo môžeme vidieť už zrealizovaný telemetrický systém, ktorý je umiestnený v kryte s krytím IP66. Toto riešenie zabezpečuje ochranu elektroniky pred prachom, vlhkosťou a nepriaznivými poveternostnými podmienkami. Po dokončení montáže bol celý telemetrický systém nainštalovaný do monopostu, kde slúži na zber a prenos prevádzkových údajov počas jazdy a testovania vozidla.



6. Test (Testujte)

Stručne opíšte, čo ste testovali a prečo.

V rámci projektu sme vykonali niekoľko úrovní testovania. V prvom rade sme testovali správnosť napájacích napätí na doske plošných spojov, teda overenie či sú na jednotlivých komponentoch prítomné správne napäťové úrovne 3,3 V a 5 V. Toto testovanie bolo nevyhnutné preto, aby sme predišli prípadnému poškodeniu citlivých elektronických komponentov, najmä LoRa modulu RYLR998, ktorý pracuje výhradne na napäťovej úrovni 3,3 V. Následne sme testovali funkčnosť samotného bezdrôtového prenosu dát medzi vysielacou a prijímacou jednotkou prostredníctvom LoRa modulu. Overovali sme predovšetkým dosah prenosu, teda maximálnu vzdialenosť, na ktorú je systém schopný spoľahlivo prenášať dáta, a taktiež spoľahlivosť a stabilitu spojenia. Toto testovanie bolo kľúčové preto, lebo hlavným cieľom celého projektu bolo nahradiť pôvodné Bluetooth riešenie s obmedzeným dosahom práve technológiou LoRa, a preto bolo potrebné overiť, či nové riešenie skutočne spĺňa požadované parametre. Na záver sme vykonali finálne testovanie celého systému priamo v podmienkach prevádzky monopostu na trati. Cieľom bolo overiť, či telemetrická jednotka funguje správne aj v reálnych podmienkach, teda pri vibráciách, elektromagnetickom rušení a pohybe monopostu po trati. Toto testovanie bolo dôležité preto, lebo laboratórne podmienky nedokážu plne simulovať reálne prostredie, v ktorom bude systém používaný počas súťaže.

3. Vyhodnotenie a závery

Projekt návrhu a realizácie telemetrickej jednotky monopostu predstavoval komplexnú technickú výzvu, ktorá si vyžadovala prepojenie znalostí z oblasti elektroniky, návrhu dosiek plošných spojov, bezdrôtovej komunikácie a programovania mikrokontrollerov. Hlavným cieľom projektu bolo nahradiť pôvodné Bluetooth riešenie modernejšou technológiou LoRa, ktorá by umožnila spoľahlivý prenos telemetrických dát na výrazne väčšie vzdialenosti počas prevádzky monopostu na trati. Z hľadiska návrhu hardvéru sa ukázalo, že kombinácia mikrokontrollera Arduino Nano a LoRa modulu RYLR998 predstavuje vhodné a efektívne riešenie pre potreby telemetrie monopostu. Návrh dosky plošných spojov v softvéri KiCad umožnil vytvorenie kompaktnej a funkčnej PCB, ktorá integruje všetky potrebné komponenty vrátane napäťového prevodníka TXS0108EPW zabezpečujúceho správnu komunikáciu medzi Arduino pracujúcim na 5 V a LoRa modulom vyžadujúcim napäťovú úroveň 3,3 V. Výsledná doska plošných spojov bola po osadení a otestovaní plne funkčná a spĺňala všetky požiadavky kladené na telemetrickú jednotku. Testovanie systému prebehlo v niekoľkých fázach, pričom každá z nich priniesla dôležité poznatky. Testovanie napájacích napätí potvrdilo správnosť návrhu napájacej časti obvodu a ochranu citlivých komponentov. Testovanie bezdrôtového prenosu dát preukázalo výrazné zlepšenie dosahu oproti pôvodnému Bluetooth riešeniu, čím bol splnený hlavný cieľ projektu. Finálne testovanie v reálnych podmienkach jazdy na trati potvrdilo, že systém funguje spoľahlivo aj v náročnom prostredí charakterizovanom vibráciami a elektromagnetickým rušením.

Celkovo možno konštatovať, že projekt bol úspešne realizovaný a všetky stanovené ciele boli splnené. Nová telemetrická jednotka založená na technológii LoRa a riadená mikrokontrolérom Arduino Nano predstavuje výrazné zlepšenie oproti pôvodnému riešeniu, a to najmä z hľadiska dosahu bezdrôtového prenosu, spoľahlivosti a energetickej efektívnosti. Získané skúsenosti z oblasti návrhu elektronických schém, výroby PCB, programovania mikrokontrollerov a testovania bezdrôtových systémov predstavujú cennú základňu pre prípadné ďalšie vylepšenia telemetrickej jednotky v budúcnosti. Do budúcnosti by bolo vhodné zvážiť napríklad rozšírenie množstva sledovaných parametrov monopostu, implementáciu grafického rozhrania pre zobrazovanie dát v reálnom čase alebo optimalizáciu firmvéru pre ešte spoľahlivejší a rýchlejší prenos telemetrických dát počas súťaže.



7. Improve (Zlepšujte)

1. Navrhované zlepšenia

Ak ste ďalšie úpravy nestihli realizovať, opíšte, čo by ste zlepšili alebo upravili a prečo.

Napriek úspešnej realizácii telemetrickej jednotky sme počas projektu identifikovali niekoľko oblastí, ktoré by bolo vhodné v budúcnosti zlepšiť. Jednou z nich je zvýšenie celkovej spoľahlivosti telemetrického systému, aby bola zabezpečená stabilná prevádzka aj v náročných podmienkach počas pretekov a testovania. Ďalšou možnosťou zlepšenia je optimalizácia firmvéru mikrokontrollera Arduino Nano s cieľom zvýšiť rýchlosť spracovania a prenosu dát. Zároveň by bolo vhodné implementovať mechanizmy na detekciu a opravu chýb pri prenose údajov, čo by prispelo k vyššej presnosti a spoľahlivosti získavaných dát.

V budúcnosti by bolo možné zvážiť aj nahradenie mikrokontrollera Arduino Nano výkonnejším riešením, ktoré by umožňovalo spracovanie väčšieho množstva údajov v reálnom čase. Takáto modernizácia by vytvorila priestor na rozšírenie funkcií telemetrického systému, pridanie ďalších senzorov a implementáciu pokročilejších analytických nástrojov pre monitorovanie prevádzky monopostu.