

VYŠŠÍ ODBORNÁ ŠKOLA, STŘEDNÍ ŠKOLA,
CENTRUM ODBORNÉ PŘÍPRAVY



ABSOLVENTSKÁ PRÁCE

Návrh a výroba elektrické časomíry pro
kanoistiku na divoké vodě

Sezimovo Ústí, 2026

Autor: Matěj Vaněk



ZADÁNÍ ABSOLVENTSKÉ PRÁCE

Student: **Matěj Vaněk**
 Obor studia: 26-41-N/01 Elektrotechnika – mechatronické systémy
 Název práce: **Návrh a výroba elektrické časomíry pro kánoistiku na divoké vodě**
 Anglický název práce: **Desing and construction of an electronic timing system for wildwater canoeing**

Zásady pro vypracování:

1. Navrhněte a realizujte systém elektrické časomíry pro kánoistiku na divoké vodě, včetně detekce startu, cíle a případně průjezdů mezičasovými body. Proved'te teoretickou analýzu a ověřte funkčnost navrženého systému.
2. Navrhněte a popište hardware časomíry s využitím platformy Arduino, včetně připojených senzorů, zobrazovacích zařízení a komunikačních rozhraní.
3. Naprogramujte Arduino, které zajistí měření času, zpracování signálů ze senzorů a komunikaci s počítačem nebo jiným zobrazovacím zařízením.
4. Absolventskou práci vypracujte problémově ve struktuře odpovídající vědecké práci.

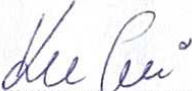
Doporučená literatura:

- [1] VODA, Z., TÝM HW KITCHEN. Průvodce světem Arduina (2. vydání). Bučovice: Nakladatelství Martin Stříž, 2017, ISBN 978-80-87106-93-8.
- [2] MARGOLIS, MICHAEL. *Arduino Cookbook*. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2011. ISBN 978-1-4493-1387-6.
- [3] SCHERZ, PAUL A MONK SIMON. *Practical Electronics for Inventors*. 4th ed. New York: McGraw- Hill Education, 2016, ISBN 978-1-259-58913-8.

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Kubů, VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí
 Odborný konzultant práce: Ing. Jiří Roubal, Ph.D., VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí
 Oponent práce: Ing. Luboš Řiřica, VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí

Datum zadání absolventské práce: **1. 9. 2025**

Datum odevzdání absolventské práce: **15. 5. 2026**


 Ing. Miroslav Kubů
 (vedoucí práce)




 doc. PhDr. Mgr. Lenka Hrušková, Ph.D.
 (ředitel školy)

V Sezimově Ústí dne 1. 9. 2025

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou absolventskou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem veškeré použité informační zdroje a veškerý použitý software a dodržel jsem Metodiku užití „umělé inteligence“, která je součástí metodiky tvorby absolventské práce.

Prohlašuji, že jsem v průběhu příprav a psaní této práce nepoužil nástroje „umělé inteligence“.

Stvrzuji, že jsem si vědom, že za obsah této práce plně zodpovídám.

V Sezimově Ústí dne

15.5.2026

Vaněk

podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád vyjádřil upřímné poděkování Ing. Miroslavu Kubů za odborné vedení mé absolventské práce, za jeho čas, cenné připomínky a metodické rady, které mi v průběhu zpracování poskytoval. Velký dík patří rovněž Ing. Antonínu Juránkovi za prvotní nápady a inspiraci, které stály u samotného zrodu tématu této práce. Mé poděkování směřuje také celé škole za poskytnuté odborné zázemí a teoretické znalosti, které mi bylo umožněno během studia získat a následně je v plném rozsahu uplatnit při realizaci tohoto projektu.

Rád bych také poděkoval svému otci, Martinu Vaňkovi, a to nejen za finanční podporu, bez které by realizace celého systému byla velmi obtížná, ale především za jeho neocenitelnou technickou pomoc, trpělivost a čas, který mi při vývoji a konstrukci zařízení věnoval. V neposlední řadě děkuji celé své rodině a blízkým za všestrannou morální podporu a neustálou trpělivost, kterou mi prokazovali nejen během náročného zpracování této absolventské práce, ale rovněž v průběhu celého mého studia.

Anotace

Tato absolventská práce je zaměřena na návrh a realizaci elektronické časomíry určené pro kanoistiku na divoké vodě. Pozornost je věnována možnostem měření času ve sportovních disciplínách s důrazem na přesnost, spolehlivost a odolnost systému v náročných podmínkách vodního prostředí. V práci jsou popsány základní principy detekce startu, cíle i mezičasových bodů a je předložen přehled dostupných technických řešení vhodných pro danou aplikaci. Hlavním cílem je návrh vlastního řešení a praktická realizace zařízení s využitím platformy Arduino. Součástí práce je návrh hardwarového zapojení, výběr vhodných senzorů a implementace řídicího programu, kterým je zajištěno měření času, zpracování signálů a komunikace s nadřazeným systémem. Funkčnost navrženého řešení je ověřena praktickým testováním v reálných podmínkách.

Klíčová slova: Elektronická časomíra; měření času; Arduino; kanoistika na divoké vodě; senzory; detekce startu a cíle; bezdrátová komunikace.

Annotation

This graduate thesis is focused on the design and implementation of an electronic timing system intended for wildwater canoeing. Attention is paid to the possibilities of time measurement in sports disciplines, with an emphasis on accuracy, reliability, and the durability of the system in the demanding conditions of the aquatic environment. The basic principles of start, finish, and split-time detection are described, and an overview of available technical solutions suitable for the given application is presented. The main objective is the design of a custom solution and the practical implementation of the device using the Arduino platform. The thesis includes the design of the hardware wiring, the selection of suitable sensors, and the implementation of a control program, which ensures time measurement, signal processing, and communication with a supervisory system. The functionality of the proposed solution is verified through practical testing in real-world conditions.

Keywords: Electronic timing system; time measurement; Arduino; wildwater canoeing; sensors; start and finish detection; wireless communication.

Obsah

Seznam použitých symbolů	xi
Seznam obrázků	xiii
1 Úvod	1
2 Měření času v kanoistice	3
2.1 Specifika závodů na divoké vodě	3
2.2 Požadavky časomíry	5
2.3 Způsoby detekce startu, cíle a mezičasových bodů	5
3 Návrh modulárního systému	7
3.1 Koncepce a architektura systému	8
3.2 Hardwarové moduly systému	9
3.2.1 Měřicí jednotka založená na platformě Arduino	10
3.2.2 Senzory pro detekci průjezdu	11
3.2.3 Měřicí moduly (start, cíl a mezičasové body)	13
3.2.4 Napájení a ochrana systému	16
3.3 Softwarová architektura systému	18
3.3.1 Programové prostředí a vývojové nástroje	18
3.3.2 Sériový monitor a vizualizace dat	19
3.3.3 Zpracování signálů a využití knihoven	20
3.3.4 Zpracování signálů ze senzorů	20
3.3.5 Měření a vyhodnocení času	22
3.3.6 Komunikační protokoly mezi moduly	23
3.4 Aplikační možnosti a konfigurace systému	24
3.4.1 Jednoduché měření času	24
3.4.2 Měření s centrální jednotkou	25

3.4.3	Distribuovaný systém s více měřicími jednotkami	26
3.5	Vyhodnocení naměřených časů a práce s tabulkami	26
3.5.1	Formát a záznam časů z měřicích jednotek	27
3.5.2	Převod časů na jednotnou časovou hodnotu	28
3.5.3	Zpracování dat v tabulkách a výpočty mezičasů	28
3.5.4	Archivace a vizualizace výsledků	30
4	Realizace a testování systému	31
4.1	Praktická realizace jednotlivých modulů	32
4.1.1	Konstrukce měřicí jednotky	32
4.1.2	Komunikační modul	34
4.1.3	Senzory a jejich zapojení	36
4.1.4	Mechanické provedení měřicích bodů	38
4.1.5	Napájení systému	39
4.1.6	Ochrana a odolnost systému	40
4.2	Testování funkčnosti systému	41
4.3	Ověření systému v reálných podmínkách	42
5	Závěr	45
	Literatura	48
A	Obsah přiloženého DVD	I
B	Použitý software	III
C	Časový plán absolventské práce	V
D	Schémata zapojení a zdrojové kódy	VII

Seznam použitých symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
t	čas	s
C	elektrická kapacita	F
U	elektrické napětí	V
R	elektrický odpor	Ω
I	elektrický proud	A
P	elektrický výkon	W
f	frekvence	Hz
λ	vlnová délka	m

Seznam obrázků

2.1	Ukázka závodní tratě na divoké vodě	4
2.2	Princip detekce průjezdu závodníka optickou fotobuňkou	6
3.1	Blokové schéma systému časomíry	8
3.2	Platforma Arduino UNO použitá jako základ měřicí jednotky	10
3.3	Použitý optický senzor – infračervená závora ABO-20	11
3.4	Princip modulace infračerveného signálu a jeho zpracování	12
3.5	Schéma zapojení odporového děliče	13
3.6	Ukázka prototypového provedení měřicího modulu na trati	15
3.7	Blokové schéma napájecí soustavy s rozdělením napěťových větví	16
3.8	DC-DC měnič (12 V)	17
3.9	DC-DC měnič (3,3 V)	17
3.10	Rozložení pinů mikrokontroléru pro připojení periférií	21
3.11	Schéma bezdrátové komunikace systému	24
3.12	Výpis časů v sériovém monitoru Arduino IDE	28
3.13	Zpracování a vyhodnocení dat v prostředí Google Sheets	29
4.1	Vnitřní uspořádání měřicí jednotky	33
4.2	Komunikační modul E01-2G4M27D s anténou	34
4.3	Rozložení vývodů komunikačního modulu	35
4.4	Zapojení fotobuňky pomocí svorkovnice	37
4.5	Mechanické provedení měřicí brány	38
4.6	Napájení systému	39
4.7	Testování systému v laboratorních podmínkách	42
4.8	Nasazení systému v reálných podmínkách	44
D.1	Celkové schéma zapojení měřicího systému	VIII

Kapitola 1

Úvod

V dnešní době je přesnému měření času velmi důležitá role v mnoha sportech. U vodních sportů, jako je kanoistika na divoké vodě, je potřeba měřit čas velmi přesně a spolehlivě. To je proto, že podmínky, ve kterých se tyto sporty provozují, jsou velmi náročné. Musíme měřit čas v terénu, kde je vlhkost, voda, mechanické namáhání a rušení okolních vlivů. To vše klade vysoké nároky na technické řešení, které používáme.

V praxi se pro měření času při sportovních závodech používají různé elektronické typy časoměrných systémů. Tyto systémy se liší svými konstrukcemi, přesností a cenou. Profesionální systémy jsou velmi přesné a spolehlivé, ale jsou také velmi drahé. To může být problém pro menší sportovní kluby, tréninkové účely nebo neoficiální závody. Proto je potřeba najít řešení, které je cenově dostupné, ale zároveň dostatečně přesné a flexibilní.

Jednou z možností, jak takový systém vytvořit, je použít otevřenou hardwarovou platformu, jako je Arduino. Tato platforma umožňuje rychlý vývoj prototypů, snadnou integraci různých typů senzorů a flexibilní úpravy softwaru podle potřeb konkrétní aplikace (VODA, Z. a TÝM HW KITCHEN, 2017), (MARGOLIS, M., 2011). Díky těmto vlastnostem je možné vytvořit modulární systém, který lze jednoduše rozšiřovat a přizpůsobovat závodním tratím.

Cílem této absolventské práce je návrh a realizace elektronické časomíry pro kanoistiku na divoké vodě s využitím platformy Arduino (DRÁTEK.CZ, 2024b). Navržený systém je koncipován jako modulární, což umožňuje jeho nasazení v různých konfiguracích – od základního měření startu a cíle až po složitější sestavy s více měřicími body rozmístěnými podél závodní tratě. Důraz je kladen především na dosažení optimálního poměru mezi pořizovacími náklady, přesností měření a celkovou flexibilitou. Tímto přístupem je docíleno vysoké využitelnosti i v podmínkách, kde nasazení profesionálních zařízení není z ekonomických či technických důvodů proveditelné.

V rámci práce je detailně navrženo hardwarové řešení, jsou zvoleny vhodné senzory pro spolehlivou detekci průjezdu závodníka a je implementován řídicí software. Ten zajišťuje nejen samotné precizní měření času, ale také následnou komunikaci s nadřazeným zobrazovacím nebo vyhodnocovacím zařízením.

Celková struktura práce je rozčleněna do několika logických celků. V kapitole 2 je proveden podrobný rozbor problematiky měření času v kanoistice a jsou zde definovány základní požadavky na systém. Kapitola 3 je pak zaměřena na technický návrh modulární architektury z pohledu hardwarového i softwarového vybavení. Kapitola 4 se věnuje praktické realizaci, oživení prototypu a jeho následnému testování v reálných podmínkách. Součástí práce jsou rovněž přílohy D, ve kterých lze nalézt detailní schémata zapojení a kompletní zdrojové kódy programu. V samotném závěru práce jsou pak shrnuty dosažené výsledky a naznačeny možnosti budoucího rozšíření navrženého řešení.

Kapitola 2

Analýza měření času v kanoistice na divoké vodě

Měření času v kanoistice na divoké vodě je považováno za specifickou technickou výzvu, která se od metod používaných v jiných sportech značně liší. Vzhledem k tomu, že závody probíhají v přírodním a často těžko přístupném terénu, je měřicí systém vystaven působení vody, vlhkosti, mechanického namáhání i proměnlivým světelným podmínkám. Kromě přesnosti samotného měření je proto kladen velký důraz také na celkovou odolnost a praktickou použitelnost systému v terénu. Na rozdíl od stabilních laboratorních podmínek je zde nutné počítat s řadou vnějších vlivů, které mohou způsobit chyby při detekci nebo zpoždění přenášeného signálu. Tato kapitola je proto zaměřena na analýzu podmínek měření, definici technických nároků a přehled metod využívaných pro detekci průjezdu závodníka.

2.1 Specifika závodů na divoké vodě

Závody jsou realizovány na přírodních úsecích řek nebo umělých slalomových drahách, které jsou charakteristické proměnlivým prouděním a členitým břehem (viz obr. 2.1). Trať je vedena v otevřeném prostředí, kde je měřicí technika vystavena přímému kontaktu s vodou, zvýšené vlhkosti a změnám počasí, jako je déšť, mlha nebo přímé sluneční záření. Právě tyto faktory jsou považovány za kritické pro správnou funkci optických senzorů, u kterých může dojít k ovlivnění citlivosti a stability signálu. Kromě vlhkosti musí být zařízení odolné také mechanickému namáhání způsobenému větrem, vibracemi nebo

nárazy vody. Velkou výzvou je rovněž proměnlivá intenzita osvětlení, která nesmí vést k falešné aktivaci systému. Všechny komponenty jsou proto navrženy s ohledem na práci v tomto nestabilním prostředí, přičemž je vyžadováno dosažení maximální spolehlivosti výsledků.



Obrázek 2.1: Ukázka závodní tratě na divoké vodě

Trat' je závodníky projížďena jednotlivě s pevně stanoveným časovým odstupem, přičemž jako hlavní hodnoticí kritérium je brán výsledný čas. Z tohoto postupu vyplývá požadavek na jednoznačnou a rychlou detekci průjezdu, bez falešných impulsů či zpoždění reakce systému. Vzhledem k vysoké rychlosti průjezdu je vyžadována odezva v řádu milisekund, čímž je eliminováno zpoždění způsobené zpracováním signálu nebo nevhodně nastavenou logikou detekce. Současně je nezbytné softwarově či hardwarově zamezit vícenásobné detekci jednoho průjezdu, ke které by mohlo dojít vlivem nestability signálu ze senzoru. Jelikož je rozmístění startu, cíle a mezičasů často limitováno členitostí terénu, jsou na měřicí systém kladeny vysoké nároky z hlediska flexibility a modularity. Jednotlivé stanice jsou proto koncipovány pro samostatný provoz, ale zároveň je umožněno jejich snadné propojení do celku bez nutnosti složité konfigurace. Kladen je rovněž důraz na jednoduchou instalaci a obsluhu, což umožňuje rychlé nasazení systému přímo v terénu.

2.2 Požadavky na přesnost, spolehlivost a odolnost časomíry

Jedním ze základních požadavků kladených na časoměrný systém v kanoistice na divoké vodě je dostatečná přesnost měření. V závodní praxi je standardně pracováno s přesností na setiny sekundy, neboť i minimální odchylky mohou zásadně ovlivnit konečné pořadí. Systémem musí být proto zajištěna jednoznačná a opakovatelná detekce časových událostí s minimálním zpožděním. Jako klíčový parametr je vnímána především reakční doba použitého senzoru a rychlost zpracování signálu v mikrokontroléru, což přímo definuje výslednou přesnost celého měření.

Podstatným požadavkem je také spolehlivost, tedy schopnost dlouhodobého a stabilního provozu bez výpadků či falešných detekcí způsobených vnějšími vlivy. I přes vysokou míru automatizace je v praxi často využíváno záložní měření pomocí ručních stoppek pro případ nepředvídaných událostí. Odolnost časomíry zahrnuje nejen ochranu proti vodě, vlhkosti a mechanickému poškození. Z praktického hlediska je sledována také energetická nenáročnost a celková mobilita, jelikož jsou jednotlivé moduly zpravidla napájeny z akumulátorů.

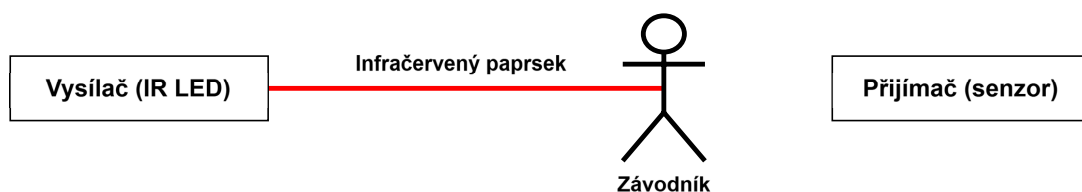
2.3 Způsoby detekce startu, cíle a mezičasových bodů

V rámci kanoistiky na divoké vodě je využíváno pouze několik ověřených metod detekce startu, cíle a mezičasů. Tento omezený výběr je dán především náročnými podmínkami závodního prostředí, kde je kladen důraz na maximální jednoduchost a provozní spolehlivost. Historicky nejstarším a technicky nejméně náročným způsobem je ruční měření pomocí stoppek. Průjezd startovní či cílovou linií je v tomto případě zaznamenáván obsluhou vizuálně. Ačkoliv tato metoda nevyžaduje speciální vybavení, její zásadní nevýhodou je nízká přesnost a špatná opakovatelnost, která je přímo ovlivněna reakční dobou měřící osoby.

Pro dosažení vyšší preciznosti jsou v současné době preferovány optické senzory, nejčastěji v podobě fotobuněk. Tímto řešením je zajištěna bezkontaktní detekce průjezdu s vysokou časovou rozlišitelností. Princip je založen na přerušení světelného paprsku

mezi vysílačem a přijímačem v momentě, kdy tělo závodníka nebo loď protne sledovanou linií, jak je znázorněno na obr. 2.2.

Fyzikální podstata této detekce spočívá v emisi infračerveného záření (zpravidla o vlnové délce 940 nm), které je generováno vysílací diodou a soustředěno optickou čočkou do úzkého svazku. Aby bylo zamezeno falešným detekcím způsobeným slunečním zářením nebo odlesky od vodní hladiny, je paprsek modulován na specifickou nosnou frekvenci, typicky 38 kHz (CIRCUIT BASICS, 2021). Přijímací modul je vybaven pásmovou propustí, která propouští pouze signál o této frekvenci, čímž je dosaženo vysoké odolnosti proti vnějšímu optickému šumu. Při přerušení paprsku neprůhledným objektem dojde k poklesu intenzity záření na fotodetektoru, což je elektronikou senzoru interpretováno jako detekční impuls. Tento okamžik je následně vyhodnocen jako časová událost sloužící k logickému zahájení nebo ukončení měření s minimální časovou prodlevou.



Obrázek 2.2: Princip detekce průjezdu závodníka optickou fotobuňkou

Ačkoliv není využívání mezičasových bodů v běžné závodní praxi kanoistiky na divoké vodě zcela standardní záležitostí, v mnoha specifických případech je jejich nasazení vyžadováno. Jedná se především o pokročilé tréninkové procesy nebo detailní analýzy průjezdu jednotlivými úseky tratě, kde je nutné sledovat efektivitu zvolené stopy závodníka. Technicky jsou tyto body realizovány identickým způsobem jako v případě cílové detekce, tedy s využitím optických fotobuněk umístěných v přesně definovaných bodech podél tratě.

Určitou nevýhodou této optické metody detekce zůstává zvýšená citlivost senzorů na vnější faktory, jako je nános nečistot na optiku, usazování vodních kapek při stříkající vodě nebo náhlé a výrazné změny okolních světelných podmínek. Tyto jevy mohou v konečném důsledku negativně ovlivnit stabilitu celého měřicího systému a vést k nepřesnostem. Z tohoto důvodu musí být zmíněné vlivy pečlivě zohledněny již ve fázi návrhu i samotné instalace časoměrného zařízení. V praxi je proto využívána doplňková mechanická ochrana senzorů ve formě stínítek či krytů, která je kombinována s vhodnou softwarovou úpravou vyhodnocovací logiky v řídicím systému. Tímto způsobem je zajištěno, že krátkodobé výpadky nebo odlesky nebudou brány jako falešné průjezdy.

Kapitola 3

Návrh modulárního systému elektronické časomíry

Tato kapitola je zaměřena na návrh modulárního systému elektronické časomíry, který je určen pro měření času v kanoistice na divoké vodě. Na základě požadavků popsaných v předchozí kapitole je zde představena celková koncepce systému, jeho architektura a logické rozdělení do funkčních celků.

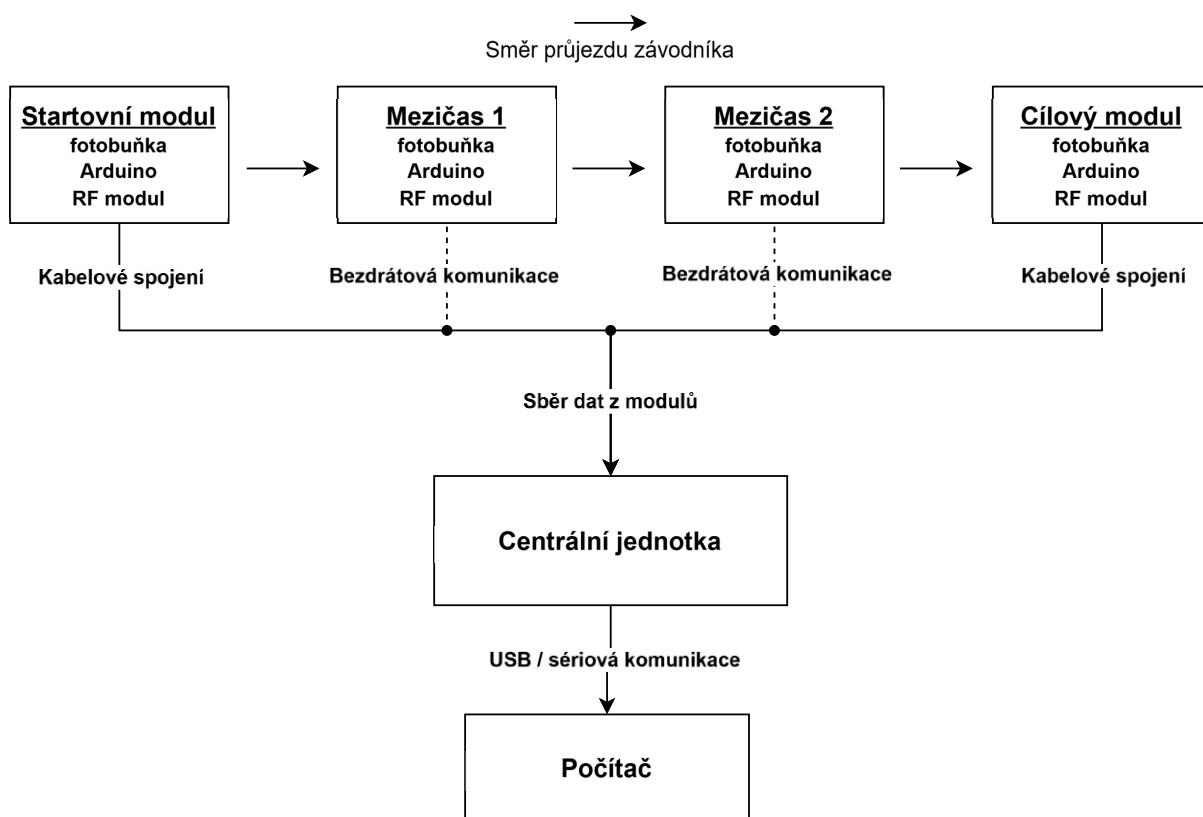
Navržený systém je koncipován jako modulární, což znamená, že je složen z několika samostatných, funkčně oddělených částí, které lze vzájemně kombinovat podle konkrétní potřeby. Každý modul představuje nezávislou jednotku schopnou samostatného provozu, přičemž vzájemná komunikace je zajištěna prostřednictvím bezdrátového přenosu dat. Tímto přístupem je umožněno snadné rozšíření systému o další měřicí body, například mezičasové úseky, bez nutnosti zásadních zásahů do stávajícího řešení. Modulární koncepce zároveň zjednodušuje instalaci, údržbu i případnou výměnu jednotlivých částí systému, což je klíčové zejména při použití v náročných terénních podmínkách.

Kapitola je strukturována tak, že je nejprve popsána celková koncepce a architektura systému, načež je pozornost věnována jednotlivým hardwarovým částem a jejich vzájemnému propojení. V další části je stručně naznačena softwarová architektura a principy zpracování dat. V závěru kapitoly jsou pak uvedeny možnosti konfigurace systému a způsoby, jakými jsou vyhodnocována naměřená data.

3.1 Koncepce a architektura systému

V této části kapitoly je popsána koncepce modulárního systému elektronické časomíry a jeho celková architektura. Systém je navržen s ohledem na vysokou flexibilitu a snadné přizpůsobení různým typům závodních tratí. Jednotlivé měřicí moduly jsou rozmístěny podél tratě, přičemž v rámci každého z nich je vykonávána definovaná funkce – detekce průjezdu závodníka pomocí optické fotobuňky. Při přerušení paprsku je vytvořena časová značka, která je zpracována platformou Arduino a připravena k následnému přenosu.

Architektura systému je koncipována jako distribuovaná, přičemž jednotlivé moduly pracují samostatně a komunikují prostřednictvím bezdrátových modulů E01-2G4M27D v pásmu 2,4 GHz (EBYTE, 2021). Blokové schéma architektury je znázorněno na obr. 3.1, kde jsou jednotlivé části (startovní modul, mezičasové moduly a cílový modul) uspořádány ve směru pohybu závodníka. Šipkami mezi moduly je znázorněno logické uspořádání měřicích bodů na trati, nikoliv jejich fyzické propojení. Přenos dat probíhá bezdrátově směrem k centrální jednotce, čímž je eliminována nutnost kabeláže a zjednodušena instalace celého systému v terénu.



Obrázek 3.1: Blokové schéma systému časomíry

Centrální jednotka představuje přijímací část systému, která slouží ke sběru dat z jednotlivých měřicích bodů. Tato jednotka je realizována pomocí platformy Arduino doplněné o bezdrátový modul E01-2G4M27D v režimu přijímače (EBYTE, 2021). Jejím hlavním úkolem je příjem časových údajů odesílaných z měřicích modulů a jejich následné předávání do připojeného počítače prostřednictvím sériového rozhraní (USB). Samotné zobrazení naměřených časů probíhá v počítači, konkrétně v sériovém monitoru prostředí Arduino IDE, kde jsou údaje vypisovány v reálném čase.

V rámci navrženého systému nemusí být využívána pouze jedna centrální jednotka. V praktickém zapojení mohou být nasazeny dvě přijímací jednotky, například jedna pro startovní modul s prvním mezičasem a druhá pro druhý mezičas a cílový modul. Tímto řešením je umožněno rozdělení systému na více částí, čímž lze zvýšit spolehlivost přenosu dat a zjednodušit komunikaci na větší vzdálenosti (HAGERSTEFAN.DE, 2022). Navržená architektura tak poskytuje dostatečnou flexibilitu nejen z hlediska počtu měřicích bodů, ale i způsobu organizace sběru dat.

3.2 Hardwarové moduly systému

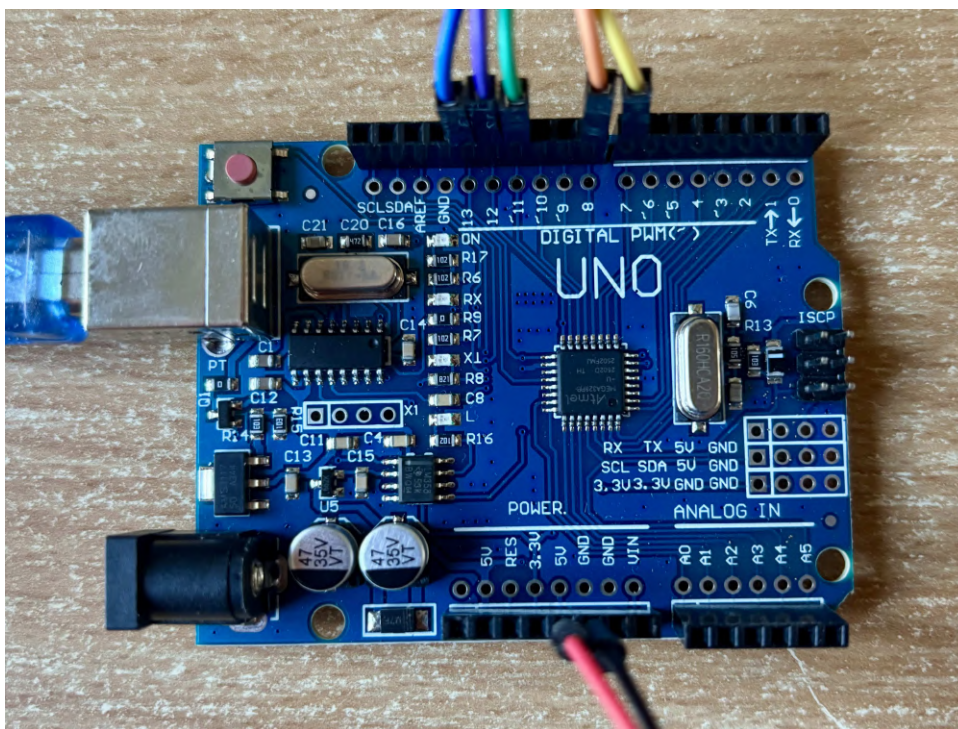
Tato část kapitoly je zaměřena na návrh a realizaci hardwarové části systému. Jsou zde popsány jednotlivé komponenty, jejich funkce, vzájemné propojení a způsob integrace do celku tak, aby byla zajištěna spolehlivá detekce průjezdu a přesné měření časových údajů. Důraz je kladen nejen na funkčnost prvků, ale také na jejich vzájemnou kompatibilitu a vhodnost pro použití v náročných venkovních podmínkách.

Základ systému tvoří měřicí jednotky založené na platformě Arduino, kterými je zajištěno zpracování signálů ze senzorů a komunikace s ostatními částmi systému. Pro detekci průjezdu jsou použity optické fotobuňky, jejichž signál je upraven tak, aby odpovídal vstupním úrovním Arduina. Jednotlivé měřicí moduly jsou konstrukčně navrženy shodně a liší se pouze svou funkcí (start, mezičas, cíl), což umožňuje jejich snadnou zaměnitelnost a zjednodušuje realizaci celého zařízení.

Následující část kapitoly popisuje bezdrátovou komunikaci, napájení a ochranu systému. Vzhledem k požadavkům na modularitu vycházejí všechny měřicí moduly (start, cíl i mezičas) ze shodného hardwarového základu. Touto koncepcí je umožněno snadné přizpůsobení počtu měřicích bodů bez nutnosti zásahů do hardwaru.

3.2.1 Měřicí jednotka založená na platformě Arduino

Základním stavebním prvkem navrženého systému je měřicí jednotka založená na platformě Arduino UNO (zobrazena na obr. 3.2). Tato jednotka slouží ke sběru signálů ze senzorů, jejich následnému zpracování a přenosu naměřených dat do centrální části systému. Arduino UNO představuje otevřenou hardwarovou platformu určenou pro vývoj vestavěných systémů, která v sobě kombinuje jednoduchost použití s dostatečným výkonem pro realizaci měřicích a řídicích úloh (DRÁTEK.CZ, 2024b). Díky široké dostupnosti a rozsáhlé dokumentaci je tato platforma vhodná zejména pro návrh a realizaci prototypových zařízení.



Obrázek 3.2: Platforma Arduino UNO použitá jako základ měřicí jednotky

Vývojová deska Arduino UNO je založena na 8bitovém mikrokontroléru ATmega328P a pracuje na taktovací frekvenci 16 MHz. Tato platforma disponuje 14 digitálními vstupně-výstupními piny, z nichž 6 podporuje šířkově impulsní modulaci (PWM), a dále 6 analogovými vstupy s 10bitovým rozlišením. Pro potřeby měřicího systému jsou klíčová integrovaná komunikační rozhraní UART, SPI a I2C, která umožňují snadné připojení periférií. Konkrétně rozhraní SPI je využito pro komunikaci s výkonným bezdrátovým modulem E01-2G4M27D, zatímco digitální piny slouží k obsluze optických senzorů a přenosu detekčních impulsů (DRÁTEK.CZ, 2024b), (VODA, Z. a TÝM HW KITCHEN, 2017).

Z hlediska napájení je nabízeno několik možností. Nejjednodušší způsob představuje napájení prostřednictvím rozhraní USB. Další variantou je využití externího zdroje připojeného přes napájecí konektor, přičemž doporučené vstupní napětí se pohybuje v rozmezí 7–12 V (MARGOLIS, M., 2011). Napětí lze přivést také přímo na pin VIN nebo na stabilizovaný 5V pin, přičemž v takovém případě musí být zajištěna odpovídající stabilita napájení (SCHERZ, P. a MONK, S., 2016).

V navrženém systému je Arduino využíváno jako řídicí jednotka měřicího modulu. Na jeho digitální vstupy jsou přivedeny signály z optických fotobuněk, kterými je detekován průjezd závodníka měřicími body. Při změně logické úrovně na vstupu je tato událost vyhodnocena programem a je zaznamenán čas průjezdu. Tento údaj je následně odeslán pomocí bezdrátového komunikačního modulu do centrální jednotky, kde dochází k jeho dalšímu zpracování.

3.2.2 Senzory pro detekci průjezdu

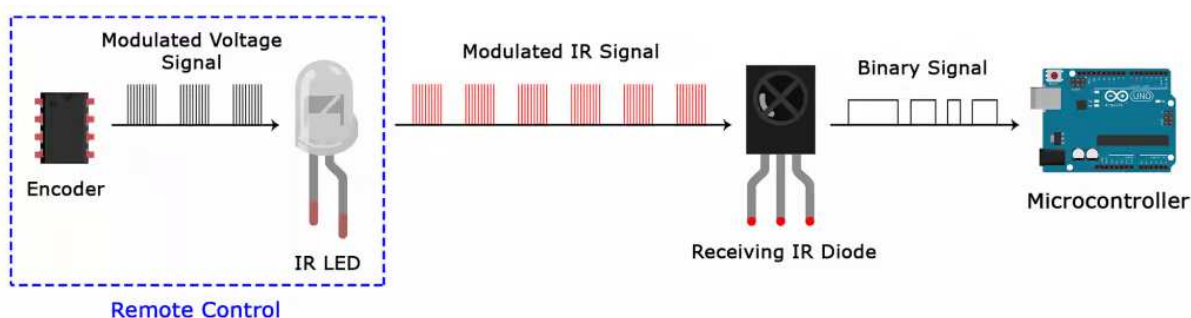
Pro detekci průjezdu závodníka měřicími body jsou využity optické fotobuňky ve formě infračervených optických závor typu ABO-20 s maximálním dosahem přibližně 20 m. Tyto senzory jsou použity pro měření startu, cíle a dvou mezeitřásů (celkem čtyři páry fotobuněk). Vzhled použitých senzorů je znázorněn na obr. 3.3.



Obrázek 3.3: Použitý optický senzor – infračervená závora ABO-20

Optická závora se skládá ze dvou základních částí – vysílače a přijímače. Vysílačem je generován úzký paprsek infračerveného záření o vlnové délce přibližně 940 nm. Tato vlnová délka je zvolena záměrně, neboť je pro lidské oko neviditelná a zároveň lze pomocí optických filtrů na straně přijímače minimalizovat vliv viditelného denního světla. Pro zvýšení odolnosti proti rušení (např. odlesky od vodní hladiny nebo přímé sluneční

světlo) je paprsek vysílače modulován na frekvenci 38 kHz (HADEX.CZ, 2023). Přijímač je následně laděn výhradně na tuto frekvenci, čímž je zajištěno, že systém nereaguje na statické světelné zdroje, ale pouze na přerušení vysílaného paprsku (CIRCUIT BASICS, 2021). Proces této modulace a následného zpracování signálu je znázorněn na obr. 3.4.

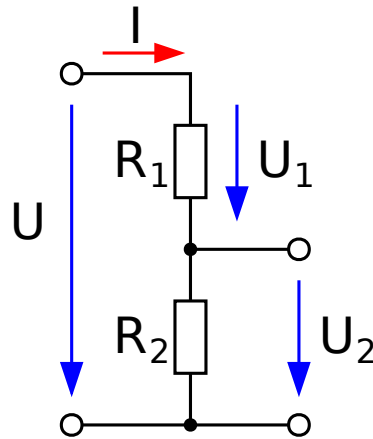


Obrázek 3.4: Princip modulace infračerveného signálu a jeho následné zpracování (převzato z (CIRCUIT BASICS, 2021))

Jak je patrné z obr. 3.4, proces začíná u vysílače (Encoder), který vytváří pulzy o vysoké frekvenci. Tyto pulzy jsou vysílány infračervenou diodou (IR LED) ve formě krátkých dávek (tzv. burstů). Na straně přijímače (Receiving IR Diode) je tento modulovaný signál zachycen. Výhodou tohoto uspořádání je, že přijímač dokáže spolehlivě odlišit užitečný signál od okolního infračerveného šumu, jako je sluneční světlo (CIRCUIT BASICS, 2021). Po zachycení je signál vnitřními obvody demodulován zpět na čistý binární signál (Binary Signal), který již přímo odpovídá stavu přerušení paprsku a je následně interpretován mikrokontrolérem Arduino.

Vnitřní zapojení přijímače obsahuje fotodetektor, nejčastěji v podobě fototranzistoru, který dopadající infračervené fotony převádí na elektrický proud. Tento slabý signál je následně zesílen a demodulován integrovaným obvodem v přijímači. Pokud je paprsek přerušen neprůhledným objektem (trupem lodi či tělem závodníka), dojde k okamžité změně stavu výstupního obvodu. Výhodou tohoto principu je bezkontaktní detekce, vysoká rychlost odezvy v řádu milisekund a velmi dobrá opakovatelnost měření (HADEX.CZ, 2023), (VOVCR.cz, 2022).

Použité fotobuňky vyžadují napájecí napětí v rozsahu 12–24 V, což umožňuje využití běžných bateriových zdrojů v terénu. Výstupní signál těchto senzorů je však obvykle realizován na vyšší napěťové úrovni (např. 12 V), která není přímo kompatibilní s digitálními vstupy Arduina (0–5 V). Z tohoto důvodu je prováděno přizpůsobení signálu pomocí pasivního odporového děliče napětí, jehož schéma je uvedeno na obr. 3.5.



Obrázek 3.5: Schéma zapojení odporového děliče pro úpravu signálu
(převzato z (MATWEB.CZ, 2020))

Tento obvod je tvořen dvojicí rezistorů R_1 a R_2 v sériovém zapojení. Výstupní napětí U_{out} , které je přivedeno na vstup mikrokontroléru, je určeno poměrem hodnot těchto odporů podle vztahu:

$$U_{out} = U_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.1)$$

Při použití hodnot $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ a $R_2 = 6,8 \text{ k}\Omega$ je vstupní napětí 12 V sníženo na bezpečnou úroveň přibližně 4,85 V. Volba těchto konkrétních hodnot rezistorů zaručuje dostatečnou proudovou stabilitu a zároveň chrání porty mikrokontroléru před přepětím (MATWEB.CZ, 2020). To chrání hardware před poškozením a zároveň zaručuje, že systém spolehlivě pozná přerušeni paprsku (VOVCR.CZ, 2022).

V rámci systému jsou fotobuňky využity jako hlavní detekční prvek všech měřicích stanic. Při průjezdu závodníka je přerušen paprsek, což je Arduinem vyhodnoceno jako změna logického stavu a je zaznamenána odpovídající časová značka. Tento princip umožňuje dosáhnout vysoké přesnosti měření bez nutnosti mechanického kontaktu. Nevýhodou může být citlivost na vnější vlivy (nečistoty, vodní kapky nebo nepřesné vyrovnaní), což musí být zohledněno při instalaci a ochraně senzorů v reálných podmínkách.

3.2.3 Měřicí moduly (start, cíl a mezičasové body)

Měřicí moduly jsou využívány k zaznamenání průjezdu závodníka jednotlivými body tratě a tvoří základní stavební prvky navrženého systému. V závislosti na umístění je plněna funkce startovního, cílového nebo mezičasového bodu, přičemž hardwarové provedení je ve všech případech shodné. Detailní schéma zapojení tohoto univerzálního hard-

warového řešení je uvedeno v příloze D na straně VIII. Rozdíl spočívá pouze ve způsobu využití zaznamenané časové informace v rámci systému, tedy v jejím následném zpracování a vyhodnocení. Díky tomu je umožněna snadná změna nastavení systému podle potřeby, aniž by bylo nutné jakkoliv zasahovat do konstrukce modulů (DRÁTEK.CZ, 2024b).

Z konstrukčního hlediska je modul navržen jako sestava jednotlivých komponent, které jsou upevněny přímo na nosné konstrukci. V praxi jsou využívány dvě varianty instalace v závislosti na podmínkách tratě. Pro užší úseky toku je aplikován systém dvou kúlů umístěných naproti sobě na březích, mezi kterými je vytvořena optická závora pomocí vysílače a přijímače fotobuňky. V případě širších úseků nebo v situacích, kdy nelze zajistit přesné umístění kúlů vlivem terénu, je využita konstrukce brány zavěšené nad vodní hladinou, která je uchycena pomocí lana nebo drátu. Tato varianta je volena zejména v případech, kdy by dosah fotobuňky nebyl dostatečný nebo by instalace samostatných stojanů nebyla z praktického hlediska realizovatelná.

Jednotlivé elektronické komponenty modulu, tedy platforma Arduino, napájecí měniče a bezdrátový komunikační modul E01-2G4M27D, jsou v rámci realizace umístěny přímo na nosné konstrukci bez použití jednotného ochranného krytu. Toto řešení bylo zvoleno především s ohledem na prototypový charakter zařízení a potřebu snadného přístupu k jednotlivým částem během testování a ladění systému. Komponenty jsou upevněny pomocí dostupných prostředků přímo na kůlu, což umožňuje rychlou instalaci i úpravy zapojení v terénních podmínkách.

Takto realizovaným uspořádáním sice není poskytována plnohodnotná ochrana proti vnějším vlivům, jako je vlhkost nebo mechanické poškození, na druhou stranu je však umožněna flexibilní práce se zapojením a ověřování funkčnosti jednotlivých částí systému v reálném prostředí. V budoucí verzi systému je uvažováno o umístění komponent do společného ochranného krytu, čímž by byla zajištěna vyšší odolnost a spolehlivost při dlouhodobém provozu. Ukázka reálného provedení měřicího modulu instalovaného na kůlu je znázorněna na obr. 3.6.



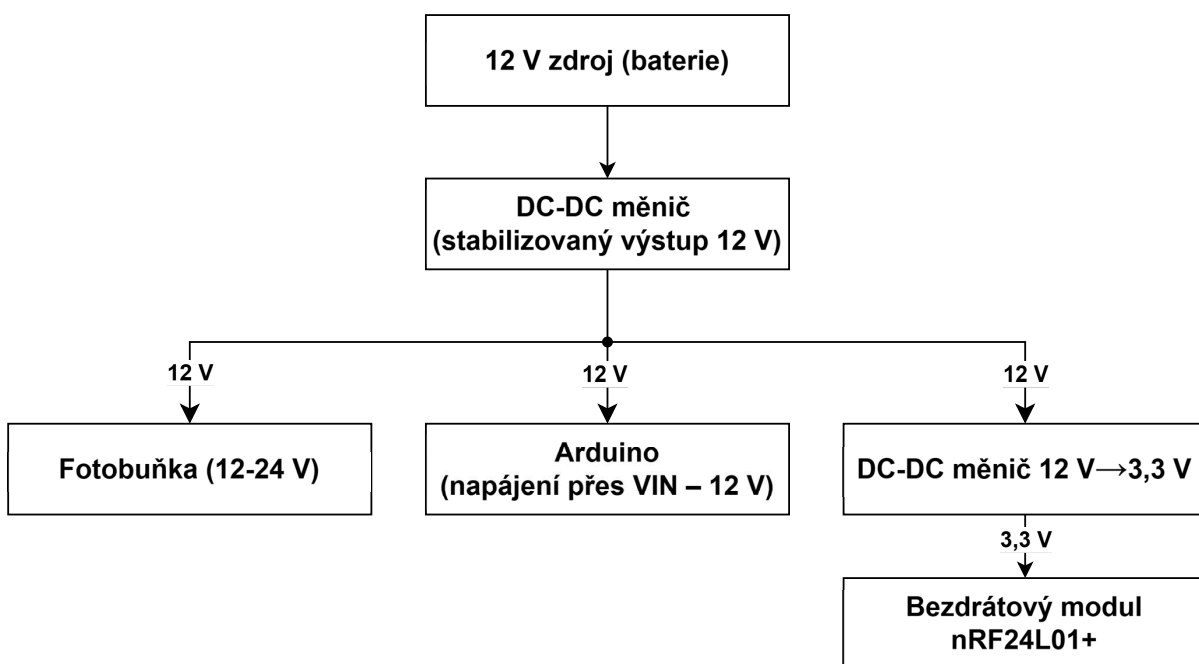
Obrázek 3.6: Ukázka prototypového provedení měřicího modulu na trati

Z hlediska funkce jednotlivých modulů je důležité především jejich začlenění do celého systému. Všechny moduly pracují na stejném principu a při detekci průjezdu závodníka generují časovou značku, která je následně odeslána do centrální jednotky k dalšímu zpracování. Rozdíl mezi startovním, cílovým a mezičasovým modulem spočívá pouze v jejich logické funkci, tedy ve způsobu, jakým je tato časová informace dále interpretována při vyhodnocení výsledků. Z hlediska hardwarového provedení jsou všechny moduly shodné a liší se pouze programovým vybavením nahreným v platformě Arduino, kterým je určena jejich konkrétní role v rámci měření (VODA, Z. a TÝM HW KITCHEN, 2017). Úplné výpisy zdrojových kódů pro všechny varianty modulů jsou k dispozici v příloze D a v kompletní podobě na přiloženém digitálním médiu.

3.2.4 Napájení a ochrana systému

Napájení jednotlivých segmentů navrženého systému představuje kritický aspekt celého technického řešení, zejména s ohledem na specifika provozu v terénních podmínkách. Na rozdíl od laboratorních instalací není v místě nasazení zpravidla k dispozici stabilní distribuční síť, což vyžaduje implementaci autonomních zdrojů energie. Při návrhu napájecí soustavy byla proto zohledněna variabilita napěťových hladin jednotlivých komponent, jejich proudová náročnost, účinnost energetické konverze a celková provozní autonomie. Stabilita napájecího napětí je přitom klíčová pro eliminaci chyb v digitální komunikaci a zajištění přesnosti vyhodnocovacích algoritmů.

Vzhledem k požadavku na více napěťových úrovní je systém koncipován jako víceúrovňový. Primární napětí z hlavního zdroje je nejprve stabilizováno DC-DC měničem na referenční hodnotu 12 V. Z této hlavní sběrnice jsou následně napájeny periferie a pomocí sekundárních měničů jsou vytvářeny nižší napěťové hladiny. Tato topologie umožňuje efektivně distribuovat energii a zároveň minimalizovat tepelné ztráty. Celkové uspořádání napájecích větví, jak jdou za sebou, je znázorněno v blokovém schématu na obr. 3.7.

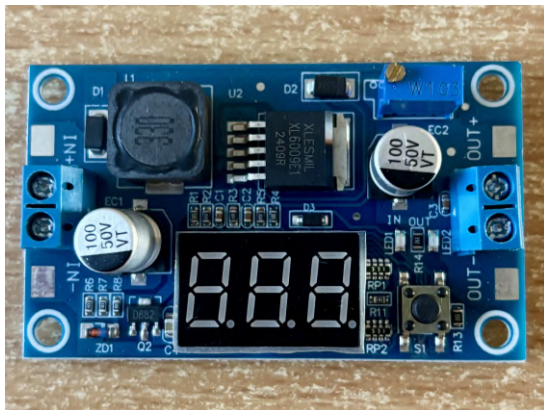


Obrázek 3.7: Blokové schéma napájecí soustavy s rozdělením napěťových větví

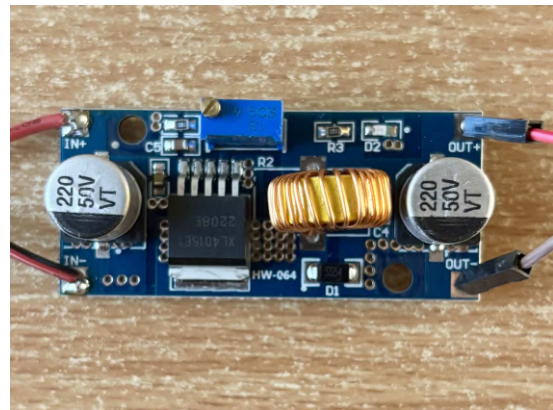
Při specifikaci napěťových nároků jednotlivých komponent bylo nutné vyhovět odlišným standardům. Optické fotobuňky vyžadují pro spolehlivou detekci napájení v rozsahu

12–24 V, přičemž fixací na spodní hranici 12 V je zajištěna imunita vůči rušení na delších trasách (HADEX.CZ, 2023). Mikrokontrolér Arduino je napájen přes standardní napájecí konektor typu Jack, odkud se napětí dále stabilizuje na logických 5 V. Pro bezdrátový modul E01-2G4M27D je pak vyhrazen samostatný měnič na 3,3 V. Právě tohle vlastní napájení pro bezdrátovou část je důležité kvůli potlačení šumu a aby se minimalizovaly chyby při přenosu dat.

Pro transformaci napětí jsou prioritně využívány spínané DC-DC měniče pracující na principu vysokofrekvenčního spínání. Oproti lineárním stabilizátorům dosahují účinnosti v rozmezí 80–90 %, což zásadně prodlužuje provozní dobu. V systému je nasazen měnič pro hlavní stabilizaci 12 V větve z akumulátoru (obr. 3.8) a sekundární step-down měnič pro hladinu 3,3 V (obr. 3.9).



Obrázek 3.8: DC-DC měnič (12 V)



Obrázek 3.9: DC-DC měnič (3,3 V)

Jako hlavní zdroj se používá 12 V akumulátor (olověný nebo LiFePO₄), který má dostatečnou kapacitu pro dlouhodobé měření na trati. Pro krátké testování logiky ale stačí i obyčejná powerbanka s výstupem 5 V. V takovém případě stačí první DC-DC měnič nastavit jako step-up, aby se napětí zvedlo na úroveň potřebnou pro senzory. Analýza spotřeby ukázala, že celkový odběr jednoho měřicího modulu se pohybuje v rozmezí 150–200 mA. Teoretická doba provozu t při využití akumulátoru o kapacitě C a proudovém odběru I je definována vztahem:

$$t = \frac{C}{I} \quad (3.2)$$

Při zohlednění reálné účinnosti spínaných měničů η lze přesnější dobu provozu stanovit jako:

$$t = \frac{C \cdot \eta}{I} \quad (3.3)$$

Při použití akumulátoru o kapacitě 7 Ah a uvažení průměrné účinnosti $\eta = 0,85$ dosahuje reálná provozní doba systému přibližně 30 hodin kontinuálního provozu, což plně pokrývá požadavky na vícedenní sportovní akce. Co se týče ochrany elektroniky, systém je zatím ve fázi prototypu a je uložen v obyčejných plastových krabičkách. Do budoucna, pro ostrý provoz u vody, počítám s použitím lépe těsněných krytů s vysokým stupněm krytí (např. IP65), aby do zařízení nenateklo nebo nepronikla vlhkost.

3.3 Softwarová architektura systému

Tato kapitola je věnována návrhu a realizaci softwarové části modulárního systému elektronické časomíry. Zatímco předchozí část práce byla zaměřena na hardwarové řešení jednotlivých modulů, v této sekci je pozornost věnována způsobu zpracování signálů, řízení měřicích jednotek a zajištění přenosu dat v rámci celého systému. Software představuje klíčovou komponentu, neboť zajišťuje nejen samotné měření času, ale také správnou interpretaci signálů ze senzorů a jejich převod na využitelná data.

Softwarová architektura je navržena s důrazem na jednoduchost, spolehlivost a možnost budoucího rozšíření. Jednotlivé měřicí moduly pracují autonomně a jsou řízeny programem nainstalovaným v platformě Arduino. Tímto programem je zajištěna detekce průjezdu závodníka, zaznamenání časové značky a následné odeslání informace do nadřazené části systému. Důležitým požadavkem návrhu je schopnost systému pracovat v reálném čase, čímž je minimalizováno zpoždění při zpracování signálů a zároveň je zamezeno ztrátě či chybnému vyhodnocení měřených událostí.

3.3.1 Programové prostředí a vývojové nástroje

Programové vybavení měřicích jednotek bylo vytvořeno v integrovaném vývojovém prostředí Arduino IDE (*Integrated Development Environment*). Jedná se o oficiální software určený pro tvorbu, kompilaci a nahrávání programů do vývojových desek Arduino prostřednictvím rozhraní USB (DRÁTEK.CZ, 2024b). V tomto prostředí je pro-

gram vyvíjen ve formě tzv. *sketchů*, které vycházejí z jazyka C/C++ (respektive z platformy Wiring). Základní struktura kódu je tvořena funkcemi `setup()` pro inicializaci systému a `loop()` pro cyklické vykonávání měřicích algoritmů (VODA, Z. a TÝM HW KITCHEN, 2017). Konkrétní implementace těchto funkcí pro jednotlivé typy modulů je detailně rozepsána v příloze D na straně VII.

Nezbytnou podmínkou pro komunikaci mezi počítačem a mikrokontrolérem je přítomnost odpovídajících ovladačů (driverů) v operačním systému. Těmito ovladači je zajištěno, že je připojená deska Arduino rozpoznána jako virtuální sériový port (COM). Zatímco u originálních desek jsou ovladače obvykle součástí instalace Arduino IDE, u levnějších variant (tzv. klonů) využívajících komunikační čip CH340 nebo FTDI je často nutné stažení a manuální instalace ovladačů přímo ze stránek výrobců těchto čipů. Bez jejich korektní instalace není možné do Arduina nahrát kód ani využívat sériovou komunikaci pro sběr dat.

3.3.2 Sériový monitor a vizualizace dat

Základním nástrojem pro diagnostiku a prvotní sběr dat z měřicích jednotek je Sériový monitor (*Serial Monitor*), který je součástí prostředí Arduino IDE. Tímto nástrojem je v reálném čase umožněna textová komunikace mezi počítačem a deskou Arduino skrze virtuální sériový port. V rámci vývoje systému slouží k zobrazení naměřených časových značek, identifikaci jednotlivých modulů a monitorování stability bezdrátové sítě. Pro zajištění správné komunikace je nezbytné, aby byla v programu i v monitoru nastavena shodná přenosová rychlost (zpravidla 9600 nebo 115,200,Bd). Pro běžné nasazení slouží prostředí Arduino IDE jako primární brána k datům přenášeným z mikrokontroléru. Vystane-li však požadavek na pokročilejší zpracování, jako je automatizovaný zápis do externí databáze nebo vytvoření uživatelského grafického rozhraní, lze využít následující alternativní metody:

- **Vlastní aplikace (Python, C#, Java):** Pro automatizované zpracování může být vytvořen skript (např. v jazyce Python s využitím knihovny `pyserial`), který běží na pozadí operačního systému, čte data ze sériového portu a ukládá je přímo do textového souboru nebo SQL databáze.
- **Terminálové programy:** Data mohou být přijímána i pomocí univerzálních terminálů (např. PuTTY nebo Tera Term), které umožňují logování veškeré komunikace do souboru bez nutnosti spuštění prostředí Arduino IDE.

- **Specializované knihovny pro Excel:** Existují doplňky (např. PLX-DAQ), kterými je umožněn přímý import dat ze sériové linky Arduina do sešitu Microsoft Excel v reálném čase, což je vhodné pro okamžitou analýzu výsledků závodu.

3.3.3 Zpracování signálů a využití knihoven

Důležitou součástí vývoje v prostředí Arduino IDE je možnost využití externích knihoven, které rozšiřují základní funkce mikrokontroléru. V navrženém systému je tato možnost využita hlavně pro obsluhu bezdrátového modulu E01-2G4M27D. Pro tyto účely byla zvolena knihovna RF24, která je v podstatě standardem pro efektivní řízení těchto radiových modulů (TMRH20, 2023). Bez těchto knihoven by bylo nastavování registrů modulu a celá SPI komunikace neúměrně složitá. Knihovna se sama stará o spolehlivé adresování jednotlivých stanic v síti a také o automatické potvrzování přijatých dat (*Auto-ACK*) (TMRH20, 2023), (MARGOLIS, M., 2011).

V navrženém systému je program pro jednotlivé měřicí jednotky vytvořen tak, aby odpovídal jejich specifické funkci. Základ programu je pro všechny moduly unifikovaný, čímž je usnadněna údržba kódu. Rozdíl mezi startovním, cílovým a mezičasovým modulem je definován identifikátorem stanice (ID) nastaveným v úvodu programu. Na základě tohoto identifikátoru je centrální jednotkou rozpoznáno, ze kterého bodu tratě data přišla, a je jim přiřazen odpovídající význam v rámci celkového času závodníka.

Samotné zdrojové kódy nejsou z důvodu přehlednosti uvedeny přímo v hlavním textu práce, ale jsou v úplném znění zařazeny do přílohy D na straně VII. V textu se zaměřuji hlavně na to, jak tyto senzory fungují v praxi. Jde především o nastavení hardwarových přerušení pro okamžitou reakci na průjezd, ošetření zákmitů (*debouncing*) a spolehlivé předání dat dál do bezdrátového modulu. Díky tomuto rozdělení zůstává popis systému přehledný, zatímco konkrétní technické detaily jsou v práci k dispozici pro případ, že by chtěl někdo měření zopakovat nebo systém znovu postavit.

3.3.4 Zpracování signálů ze senzorů

Zpracování signálů ze senzorů je realizováno na úrovni jednotlivých měřicích jednotek. Základním prvkem detekce průjezdu závodníka jsou optické fotobuňky pracující na principu přerušení infračerveného paprsku. V okamžiku, kdy je závodníkem přerušen paprsek mezi vysílačem a přijímačem, dojde ke změně výstupního signálu senzoru. Tento signál

je následně přiveden na digitální vstup měřicí jednotky, kde je dále zpracováván. Vzhledem k digitální povaze signálu je jeho stav interpretován jako logická úroveň, což výrazně zjednodušuje vyhodnocení v programu.

Ačkoliv lze vyhodnocení signálu provádět kontinuální kontrolou pinu v hlavní smyčce programu, pro dosažení maximální časové přesnosti a eliminaci vlivu délky trvání smyčky je v systému využíváno externí přerušení (interrupt). Tímto mechanismem je mikrokontrolér umožněno okamžitě reagovat na změnu logické úrovně na pinu bez ohledu na aktuálně vykonávanou část kódu.

Při zapojování je vyžadováno správné propojení sběrnice SPI, neboť její piny jsou na straně procesoru ATmega328P pevně definovány. Schéma rozložení pinů je znázorněno na obr. 4.3. I přes mírné odlišnosti ve vzhledu použitého modulu zůstává rozmístění pinů (tzv. *pinout*) identické (HAGERSTEFAN.DE, 2022). Grafické znázornění pinů bylo převzato a adaptováno z dokumentace (HAGERSTEFAN.DE, 2022).



Obrázek 3.10: Rozložení pinů mikrokontroléru pro připojení periférií

Při zpracování signálu je potřeba si dát pozor na rušení, jako je šum na kabelech nebo mechanické zakmitání senzoru. To by totiž mohlo vést k tomu, že systém jeden průjezd započítá vícekrát. Pro tento účel je implementováno softwarové ošetření zákmitů, tzv. debouncing. Princip spočívá v tom, že po první detekci změny signálu je na definovaný časový interval (tzv. *lock-out time*) deaktivováno další čtení senzoru. Toto blokování je realizováno porovnáním aktuálního času s časem poslední zaznamenané události, čímž je garantováno, že jeden průjezd závodníka vygeneruje právě jednu časovou značku.

Naměřené údaje jsou po validaci odeslány prostřednictvím bezdrátové komunikační vrstvy do centrální jednotky. Tou je zajištěn sběr dat ze všech distribuovaných bodů a jejich předání do počítače k finálnímu vyhodnocení. Navržená softwarová architektura tak umožňuje flexibilní konfiguraci systému a zajišťuje spolehlivý přenos informací i v náročných terénních podmínkách.

3.3.5 Měření a vyhodnocení času

Měření času v navrženém systému je realizováno na úrovni jednotlivých měřicích modulů, které pracují autonomně a zaznamenávají časové okamžiky průjezdu závodníka jednotlivými body tratě. Každým modulem je na základě změny signálu ze senzoru generována časová značka, která reprezentuje přesný okamžik detekce průjezdu.

Základním principem měření času je využití interní časové funkce `millis()`, kterou je poskytována informace o počtu milisekund od spuštění programu. V okamžiku detekce průjezdu závodníka, například při přerušení paprsku fotobuňky, je aktuální hodnota této funkce uložena jako časová značka události. Tento způsob měření byl zvolen především pro svou jednoduchost a dostatečné časové rozlišení v řádu milisekund. Pro potřeby měření času ve sportovní disciplíně, jako je kanoistika na divoké vodě, je tato přesnost plně vyhovující, neboť rozdíly mezi jednotlivými závodníky se typicky pohybují v řádu desetin sekund. Zároveň je podstatné, že funkcí `millis()` je umožněn kontinuální běh programu bez nutnosti blokujících operací, což je výhodné z hlediska zpracování signálů v reálném čase (VODA, Z. a TÝM HW KITCHEN, 2017).

Samotné vyhodnocení času je založeno na práci s časovými značkami jednotlivých událostí. V nejjednodušší konfiguraci systému je zaznamenána pouze jedna časová značka (např. při průjezdu cílem), což odpovídá základnímu měření času. V rozšířených konfiguracích jsou zaznamenávány časové značky pro více měřicích bodů, typicky pro start, mezičasové body a cíl. Výsledný čas jízdy T_{celk} je následně určen jako rozdíl mezi časovou značkou cíle t_{cil} a startu t_{start} :

$$T_{celk} = t_{cil} - t_{start} \quad (3.4)$$

Mezičasy jsou analogicky vypočítány jako rozdíly mezi jednotlivými navazujícími událostmi. Tímto principem je umožněno nejen stanovení výsledného času, ale také detailní analýza průběhu jízdy v jednotlivých úsecích tratě.

Z hlediska architektury systému je důležité rozlišovat mezi lokálním a centrálním vyhodnocením dat. Jednotlivé měřicí moduly mohou pracovat samostatně, avšak v případě distribuovaného systému jsou tyto údaje odesílány prostřednictvím bezdrátové komunikace do centrální jednotky. Centrální jednotkou je zajištěn sběr dat z jednotlivých modulů a jejich předání do počítače, kde dochází k finálnímu vyhodnocení (DRÁTEK.CZ, 2024b). V počítači jsou následně vypočteny časové rozdíly, je zajištěno správné přiřazení jednotlivých událostí a výsledky jsou zobrazeny v sériovém monitoru.

Součástí návrhu softwaru je také ošetření správné posloupnosti událostí a eliminace chybných měření. Programem musí být zajištěno, že jednotlivé časové značky od-

povídají reálnému průběhu závodu a nedochází k jejich nesprávnému přiřazení. To zahrnuje například kontrolu, zda nedojde k zaznamenání cíle bez předchozího startu, nebo zda není generován vícenásobný záznam jedné události.

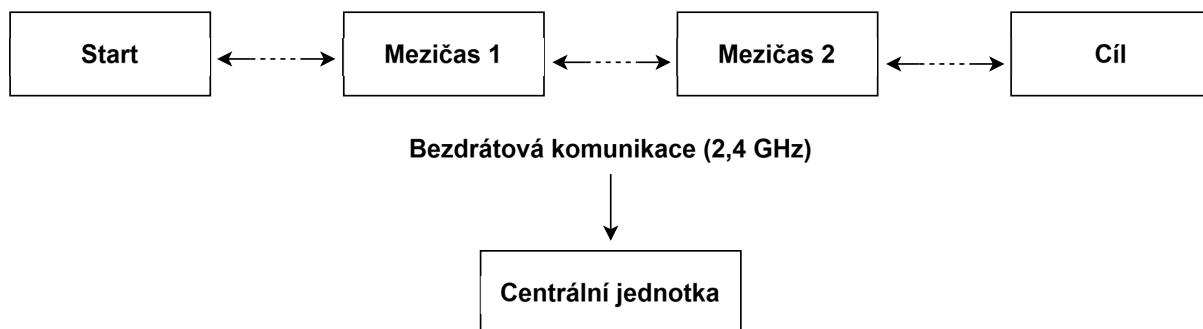
3.3.6 Komunikační protokoly mezi moduly

Komunikace mezi jednotlivými moduly navrženého systému představuje klíčový prvek zajišťující integritu přenášených dat a jejich následnou synchronizaci pro účely vyhodnocení. Vzhledem k nárokům na nasazení v terénních podmínkách podél závodní tratě je přenos realizován primárně bezdrátově. Tímto přístupem je umožněna vysoká flexibilita při rozmisťování měřicích stanic bez nutnosti instalace rozsáhlé kabeláže, která by byla v členitém prostředí náchylná k poškození. Pro specifické účely, jako je laboratorní testování nebo konfigurace na minimální vzdálenosti, zůstává zachována možnost metalického propojení skrze sériové rozhraní (DRÁTEK.CZ, 2024b).

Každý měřicí modul je naprogramován tak, aby hned po detekci impulsu ze senzoru sestavil a poslal datovou zprávu. Tento paket obsahuje unikátní ID modulu, podle kterého centrála pozná, o jaké stanoviště jde (start, mezičas nebo cíl), a přesnou časovou značku průjezdu. Snažil jsem se, aby zpráva byla co nejkratší, což zajišťuje minimální zpoždění (latenci) při přenosu. To, jak jsou datové struktury definovány a jak se odesílají pomocí knihovny RF24, je vidět ve zdrojových kódech v příloze D. Centrální jednotka pak tyto pakety přijme, zkontroluje a pošle dál k zobrazení v počítači. Celkové schéma toho, jak spolu jednotky komunikují, je na obr. 3.11.

Pro bezdrátové spojení byly vybrány moduly E01-2G4M27D, které jsou založeny na čipu nRF24L01+ v kombinaci s externím výkonovým zesilovačem (PA) a nízkošumovým předzesilovačem (LNA). Tyto moduly pracují v pásmu 2,4 GHz a využívají integrovanou funkci *Enhanced ShockBurst™*, která zajišťuje automatickou správu kontrolních součtů (CRC) a potvrzování přijatých dat (ACK). Díky tomuto řešení je přenos spolehlivý i v náročnějším terénu, kde by mohlo docházet k rušení (HAGERSTEFAN.DE, 2022).

Komunikační protokol je navržen v topologii „hvězda“ (Star Topology), kde jednotlivé měřicí stanice vysílají data směrem k centrálnímu přijímači (VODA, Z. a TÝM HW KITCHEN, 2017). V případě potřeby pokrytí extrémně dlouhých tratí umožňuje softwarová architektura implementaci retranslace (Relay), kdy jsou data mezi moduly předávána kaskádovitě. Centrální jednotka v tomto řetězci plní funkci brány (Gateway), která shromažďuje data z jednotlivých adres a skrze rozhraní USB je předává do nadřazeného softwaru pro finální výpočet výsledkové listiny.



Obrázek 3.11: Schéma komunikace mezi jednotlivými moduly systému elektronické časomíry

3.4 Aplikační možnosti a konfigurace systému

Tato kapitola je věnována praktickým možnostem využití navrženého systému a jeho konfiguraci pro různé scénáře měření. Systém je koncipován jako modulární, čímž je umožněno jeho přizpůsobení konkrétním podmínkám závodní tratě, požadované přesnosti měření i dostupnému technickému vybavení. Díky této vlastnosti lze systém provozovat v několika konfiguracích, které se liší počtem měřicích bodů, způsobem jejich propojení a mírou automatizace celého procesu (VODA, Z. a TÝM HW KITCHEN, 2017).

Z hlediska aplikace jsou rozlišeny tři základní varianty použití. První představuje jednoduché měření času s využitím jedné měřicí jednotky, které je vhodné především pro tréninkové účely. Druhá varianta využívá centrální jednotku pro sběr dat z více měřicích bodů, čímž je umožněno automatizované měření startu a cíle. Nejkomplexnější variantou je distribuovaný systém s více měřicími jednotkami rozmístěnými podél tratě, který dovoluje zaznamenávání mezičasů a detailní analýzu průběhu jízdy. Jednotlivé konfigurace se liší nejen technickou náročností, ale také dosažitelnou přesností a rozsahem poskytovaných informací.

3.4.1 Jednoduché měření času

Jednoduché měření času představuje základní konfiguraci systému, ve které je využita pouze jedna měřicí jednotka, umístěná typicky v cílovém bodě. Tato varianta je určena především pro tréninkové využití, kde není kladen důraz na plně automatizované měření startu, ale je postačující orientační vyhodnocení výsledného času jízdy. Celý systém

je v tomto případě velmi snadno instalovatelný a nevyžaduje složitou koordinaci více zařízení.

Start závodníka je realizován ručně, obvykle podle předem stanoveného času, například na základě synchronizace s hodinkami nebo jiným časovým zdrojem. Měřicí jednotka v cíli je vybavena fotobuňkou, kterou je detekován průjezd závodníka a zaznamenáván čas této události pomocí interního časovače. Naměřená hodnota je následně zobrazena v sériovém monitoru, kde je umožněno sledování jednotlivých průjezdů v reálném čase (DRÁTEK.CZ, 2024b). Zdrojový kód pro tuto konfiguraci je uveden v příloze (viz ukázka D.1).

Výsledný čas jízdy je v této konfiguraci určen jako rozdíl mezi známým časem startu a časovou značkou zaznamenanou v cíli. Výhodou tohoto řešení je minimální technická náročnost, nízké pořizovací náklady a rychlá instalace v terénu. Nevýhodou je naopak nižší přesnost způsobená ručním startem a absence automatického měření mezičasů, což omezuje možnosti detailnější analýzy výkonu závodníka.

3.4.2 Měření s centrální jednotkou

Měření s centrální jednotkou představuje pokročilejší konfiguraci systému, ve které jsou využity minimálně dvě měřicí jednotky, typicky pro start a cíl. Tyto jednotky jsou vybaveny vlastními senzory i měřicí elektronikou a průjezd závodníka je jimi zaznamenáván nezávisle na sobě. Naměřená data jsou následně přenášena do centrální jednotky, která slouží jako sběrný bod informací (VODA, Z. a TÝM HW KITCHEN, 2017). Zdrojové kódy pro tuto konfiguraci (pro modul startu, cíle i přijímací stanice) jsou uvedeny v příloze (viz sekce D).

Centrální jednotka je propojena s počítačem, kde je zajištěno zobrazení a další zpracování dat, například prostřednictvím sériového monitoru. V této konfiguraci je start detekován automaticky pomocí fotobuňky, čímž je výrazně zvýšena přesnost měření oproti ručnímu spuštění. Cílovým modulem je zaznamenáván čas průjezdu a tento údaj je následně použit pro výpočet výsledného času jízdy (DRÁTEK.CZ, 2024b).

Výhodou tohoto řešení je vyšší přesnost měření, automatizace celého procesu a možnost centralizovaného zobrazení výsledků. Nevýhodou je vyšší technická náročnost, zejména z hlediska zajištění spolehlivé komunikace mezi moduly. Přesnost měření je v tomto případě ovlivněna především kvalitou detekce a správným přenosem dat mezi jednotlivými částmi systému.

3.4.3 Distribuovaný systém s více měřicími jednotkami

Distribuovaný systém představuje nejpokročilejší variantu využití navrženého řešení, kterou je umožněno měření času na více bodech závodní tratě. Kromě startu a cíle mohou být do systému zahrnuty také mezičasové body, které poskytují detailní informace o průběhu jízdy závodníka. Tento přístup je vhodný nejen pro závodní použití, ale i pro trénink a analýzu výkonu. Zdrojové kódy pro tuto komplexní konfiguraci jsou detailně uvedeny v příloze (viz sekce D).

Každá měřicí jednotka v tomto systému pracuje samostatně a čas průjezdu závodníka je zaznamenáván na základě lokální časové základny. Vzhledem k tomu, že jednotlivé moduly nejsou synchronizovány na společný čas, musí být při vyhodnocení dat provedeno jejich sjednocení. To je realizováno až na úrovni nadřazeného systému, například v počítači nebo tabulkovém procesoru, kde jsou jednotlivé časové značky zpracovány a převedeny na jednotnou časovou osu (VOVCR.CZ, 2022).

Data z jednotlivých modulů jsou přenášena pomocí bezdrátové komunikace do centrální jednotky, odkud jsou dále předávána do počítače. Zde je zajištěno jejich ukládání, zobrazení a případný export do tabulek pro další analýzu. Tímto způsobem je umožněno okamžité sledování průjezdů závodníků i následné detailní vyhodnocení jednotlivých úseků tratě.

Výhodou distribuovaného systému je vysoká flexibilita, možnost snadného rozšíření o další měřicí body a schopnost poskytovat komplexní informace o průběhu závodu. Nevýhodou je vyšší složitost systému a nutnost řešení synchronizace dat. Navrženou koncepcí je však umožněno tyto nevýhody eliminovat vhodným zpracováním dat v nadřazené vrstvě systému.

3.5 Vyhodnocení naměřených časů a práce s tabulkami

Tato kapitola je zaměřena na zpracování, vyhodnocení a interpretaci časových údajů získaných z navrženého systému elektronické časomíry. Samotné měření představuje pouze první krok celého procesu, zatímco skutečný přínos systému spočívá v následné organizaci dat a jejich analýze. Vzhledem k tomu, že jednotlivé měřicí jednotky pracují distribuovaně a údaje jsou zaznamenávány nezávisle, musí být zajištěna jejich korelace na jednotnou

časovou základnu a převod do formátu vhodného pro matematické operace.

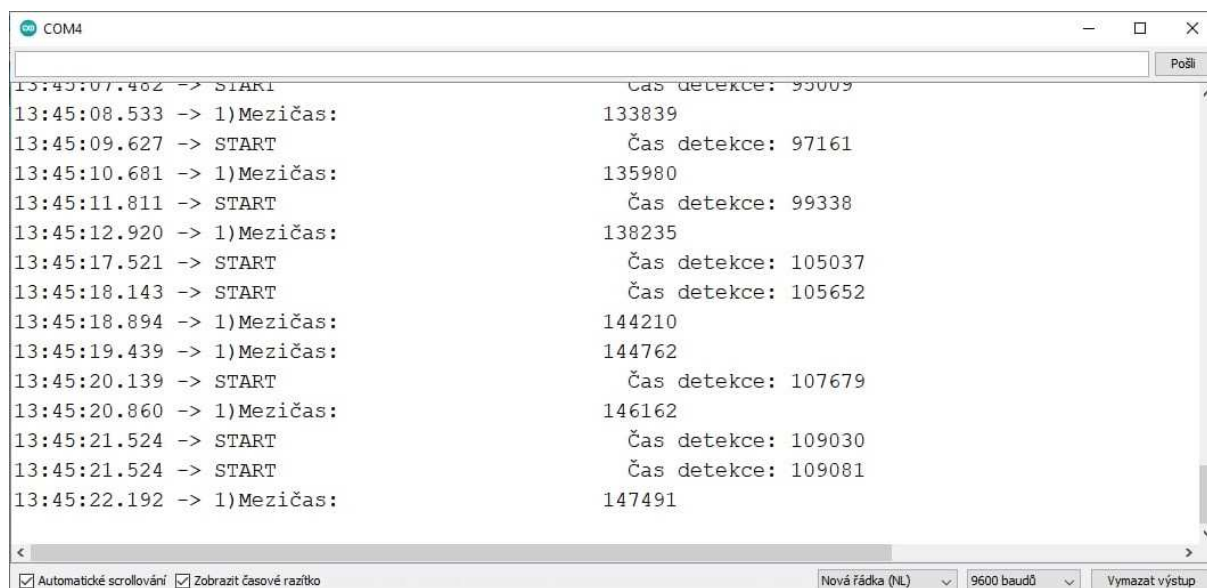
Získaná data jsou primárně monitorována v reálném čase a následně exportována do tabulkového procesoru. V rámci této kapitoly je popsán formát zaznamenaných časů, metodika jejich normalizace na jednotnou číselnou hodnotu, způsob organizace v datových strukturách a algoritmus výpočtu mezičasů. Závěrečná část je věnována archivaci a vizualizaci výsledků, čímž je umožněno efektivní vyhodnocení tréninkového procesu či závodního výkonu (VOVCR.cz, 2022).

3.5.1 Formát a záznam časů z měřicích jednotek

Záznam časových údajů je realizován na úrovni jednotlivých měřicích modulů, kterými je při detekci průjezdu generována časová značka pomocí interní funkce `millis()`. Touto funkcí je poskytována hodnota v milisekundách uplynulých od inicializace procesoru, což představuje základní referenci pro veškeré zaznamenané události. Jelikož moduly pracují autonomně, je každý časový údaj vztažen k lokálnímu spuštění dané jednotky.

Každá zpráva obsahuje označení měřicího bodu (např. **START**, **MEZICAS**, **CIL**), což je zásadní pro správné rozdělení jízdy. Pokud jede na trati jen jeden závodník, funguje to bez problémů, protože se časy dají seřadit jednoduše podle toho, jak šly za sebou. Problém by nastal při měření více lidí najednou, kdyby se na trati předjížděli – systém by pak mohl časy přiřadit špatně. Je to dané tím, že systém zatím neumí poznat, kdo konkrétně fotobuňkou projel. Do budoucna by se to dalo vyřešit třeba přidáním RFID čteček nebo jinou identifikací závodníků.

V rámci první fáze zpracování jsou časy pro lepší přehlednost převedeny na formát **HH:MM:SS:MS**. Tímto krokem je zajištěna snadná vizuální kontrola, zda naměřená data nevykazují chyby. Tímto zápisem je sice usnadněna lidská čitelnost, avšak pro přímé matematické operace je nevhodný, a slouží proto pouze jako vizuální mezikrok. Ukázka výstupu dat v sériovém monitoru je dokumentována na obr. 3.12.



Obrázek 3.12: Výpis časů v sériovém monitoru Arduino IDE

3.5.2 Převod časů na jednotnou časovou hodnotu

Pro potřeby aritmetického zpracování je nezbytné převést časové údaje na skalární číselnou veličinu. Převod probíhá v prostředí tabulkového procesoru (např. Google Sheets), kde je časový řetězec separován na složku standardního času a milisekundovou část. První složka je transformována funkcí ČASHODN, zatímco milisekundy jsou normalizovány jako zlomek dne.

Matematicky lze tento převod vyjádřit vztahem:

$$t = \text{ČASHODN}(\text{HH:MM:SS}) + \frac{\text{MS}}{86\,400\,000} \quad (3.5)$$

kde t představuje čas v interním formátu procesoru (zlomek dne), který lze následně převést na sekundy. Tímto postupem je zaručeno zachování milisekundové přesnosti při využití standardních analytických nástrojů bez nutnosti vývoje externího výpočetního softwaru (DRÁTEK.CZ, 2024b).

3.5.3 Zpracování dat v tabulkách a výpočty mezičasů

Naměřená data se ze systému získávají přes sériový monitor, kde se postupně zobrazují časová razítka tak, jak závodníci projíždějí měřicími body. Tato data pak stačí jednoduše zkopírovat (pomocí klávesových zkratk Ctrl+C a Ctrl+V) a vložit do tabulkového procesoru, například do Google Tabulek. Tento způsob přenosu je sice manuální,

ale je velmi rychlý a nevyžaduje žádný další software nebo složité propojování měřicího systému s počítačem.

Nevýhodou je samozřejmě nutnost ručního kopírování, což může být při velkém množství závodníků trochu zdoluhavé. V tabulkách jsou pak data srovnána do sloupců podle typu měřicího bodu (start, mezičasy a cíl) a každý řádek patří jednomu závodníkovi. Díky tomu je snadné časy k sobě přiřadit a mít ucelený přehled o každé jízdě (VOVCR.cz, 2022).

Jakmile mám časy v sekundách, můžu začít počítat mezičasy. Ty se počítají jednoduše jako rozdíl mezi dvěma body – například odečtu čas startu od času prvního mezičasu. Tím získám časy jednotlivých úseků, takže je hned vidět, jak rychle závodník projel konkrétní část trati. Celkový čas jízdy pak dostanu tak, že všechny tyto úsekové časy sečtu dohromady.

V Google Tabulkách mám na tyto výpočty nastavené vzorce. Jakmile tam tedy data ze sériového monitoru vložím, mezičasy i celkový čas se dopočítají samy. Díky tomu nemusím nic počítat na kalkulačce, což mi šetří čas a hlavně se tím vyhnou chybám, které by se při ručním počítání snadno staly. Výsledky tak můžu mít hotové v podstatě hned po dojezdu závodníka do cíle.

Výsledná tabulka tak obsahuje nejen základní časová razítka, ale i vypočítané mezičasy a celkový čas závodníka. Díky tomu mohou být data snadno analyzována, jednotlivé výkony porovnávány a využity pro další zpracování nebo prezentaci výsledků. Ukázka zpracování dat v tabulkovém procesoru je uvedena na obr. 3.13.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Příjmení	Jméno	Jízda	Startovní čas	Čas 1. m.č.	1.Mezi čas	Čas 2. m.č.	2.Mezi čas	Cílový čas	Výsledný Čas
2	Vaněk	Matěj	1.	16:00:11.284	16:00:26.573	00:00:15.289	16:00:41.235	00:00:29.951	16:00:52.923	00:00:41.639
3	Vaněk	Matěj	2.	16:05:07.913	16:05:22.850	00:00:14.937	16:05:37.115	00:00:29.202	16:05:48.474	00:00:40.561
4	Vaněk	Matěj	3.	16:10:19.602	16:10:34.435	00:00:14.833	16:10:48.635	00:00:29.033	16:10:59.831	00:00:40.229
5	Vaněk	Matěj	4.	16:15:04.338	16:15:19.137	00:00:14.799	16:15:33.278	00:00:28.940	16:15:44.316	00:00:39.978
6	Vaněk	Matěj	5.	16:20:16.750	16:20:31.734	00:00:14.984	16:20:46.145	00:00:29.395	16:20:57.384	00:00:40.634
7	Vaněk	Matěj	6.	16:25:10.421	16:25:25.651	00:00:15.230	16:25:40.258	00:00:29.837	16:25:51.642	00:00:41.221
8	Vaněk	Matěj	7.	16:30:24.893	16:30:40.274	00:00:15.381	16:30:55.013	00:00:30.120	16:31:06.619	00:00:41.726
9	Vaněk	Matěj	8.	16:35:08.112	16:35:23.832	00:00:15.720	16:35:38.978	00:00:30.866	16:35:50.723	00:00:42.611
10	Vaněk	Matěj	9.	16:40:17.564	16:40:33.459	00:00:15.895	16:40:48.715	00:00:31.151	16:41:00.824	00:00:43.260
11	Vaněk	Matěj	10.	16:45:03.847	16:45:19.982	00:00:16.135	16:45:35.423	00:00:31.576	16:45:47.891	00:00:44.044
12						#VALUE!		#VALUE!		#VALUE!
13						#VALUE!		#VALUE!		#VALUE!
14						#VALUE!		#VALUE!		#VALUE!
15						#VALUE!		#VALUE!		#VALUE!
16						#VALUE!		#VALUE!		#VALUE!
17						#VALUE!		#VALUE!		#VALUE!
18						#VALUE!		#VALUE!		#VALUE!

Obrázek 3.13: Zpracování a vyhodnocení dat v prostředí Google Sheets

3.5.4 Archivace a vizualizace výsledků

Po zpracování dat v tabulkách následuje jejich uložení a vizualizace. Všechny naměřené i vypočítané časy zůstávají v Google Tabulkách, takže se k nim můžu kdykoliv vrátit, zpětně je dohledat nebo dál upravovat. Vzniká tak přehledný archiv všech jízd, který se dá snadno rozšiřovat o další údaje.

Archivace je důležitá hlavně proto, abych mohl porovnávat výkony v delším časovém období. Data nepoužívám jen pro zápis výsledků závodu, ale i pro analýzu. Sleduji, jak se závodníci zlepšují, porovnávám jejich mezičasy mezi jednotlivými jízdami a vyhodnocuji konkrétní úseky tratě. To dává cennou zpětnou vazbu pro trénink nebo pro hledání ideální stopy na trati.

Součástí celého procesu je i grafické znázornění. V tabulkovém procesoru si vytvářím grafy, které ukazují časy v mnohem přehlednější formě než jen v tabulce čísel. Můžu tak snadno porovnat celkové časy závodníků nebo zobrazit, jak se komu dařilo na jednotlivých úsecích. Díky těmto grafům se výsledky mnohem lépe interpretují a prezentují.

Grafy umožňují rychle vyhodnotit výsledky, aniž by člověk musel studovat každou hodnotu zvlášť. Z těchto dat pak připravuji výsledkové listiny, které sdílím s ostatními nebo zveřejňuji. Celý proces – od samotného měření na trati až po finální grafy – tvoří jeden celek, který zajišťuje nejen přesné měření, ale i jasné a srozumitelné výsledky.

Kapitola 4

Realizace a testování systému

Tato kapitola je věnována praktické realizaci navrženého systému elektronické časomíry a následnému vyhodnocení jeho vlastností v provozu. Na základě teoretického návrhu, který byl popsán v předchozí části práce, je zde prezentováno konkrétní sestavení měřicích modulů, jejich zapojení a mechanické provedení. Dále je popsáno ověření funkčnosti celého systému v reálných podmínkách. Hlavním cílem kapitoly je ukázat postup od teoretického návrhu až po hotový funkční prototyp a vysvětlit metodiku, kterou byla potvrzena použitelnost zařízení pro přesné měření času při kanoistice na divoké vodě.

Úvodní část kapitoly je zaměřena na technickou realizaci měřicích stanic, přičemž je kladen důraz na fyzické uspořádání jednotek a osazení optických senzorů. Podrobně je popsáno využití bezdrátových modulů, způsob napájení a specifické možnosti upevnění měřicích bodů v členitém terénu u vody. Pozornost je věnována především praktické stránce konstrukce, tedy reálnému schématu zapojení komponent a jejich přípravě pro nasazení při závodu nebo tréninku.

Následná část se zaměřuje na testování, které bylo rozděleno od zkoušek jednotlivých součástí až po kontrolu funkčnosti celého systému. V rámci testů byla prověřována spolehlivost infračervených závor, čistota signálů a také dosah bezdrátového přenosu dat na různé vzdálenosti. Pozornost byla věnována i šíření signálu v členitém prostředí, které je pro kanoistiku na divoké vodě typické.

Závěr kapitoly tvoří zhodnocení systému přímo v podmínkách na divoké vodě. Zde byla sledována odolnost prototypu vůči vnějším vlivům a posouzeny technické limity vyplývající z provozu v terénu. Výsledky měření pak slouží jako podklad pro návrh možných vylepšení v budoucnu.

4.1 Praktická realizace jednotlivých modulů

Praktická stavba systému vychází z návrhu modulární elektronické časomíry, který byl popsán v předchozí části práce. Každý měřicí bod je postaven jako samostatná stanice, u které lze měnit její funkci na start, cíl nebo mezičas. Tímto přístupem je zajištěna vysoká flexibilita při nastavování systému podle konkrétní tratě, protože hardware všech jednotek je stejný a rozdíly v jejich chování jsou dány pouze softwarem v řídicím algoritmu.

Při realizaci byl brán zřetel hlavně na jednoduchost zapojení, dostupnost součástek a možnost rychlé kontroly přímo v terénu. Vzhledem k tomu, že je systém vyvíjen jako prototyp, nebyla u všech částí řešena finální ochrana konstrukce, která je běžná u komerčních produktů. Některé prvky jsou proto uvnitř krabiček umístěny tak, aby k nim byl dobrý přístup pro případné úpravy nebo ladění během testů. Tímto postupem bylo umožněno rychlé odstranění chyb v zapojení a postupná optimalizace celého systému.

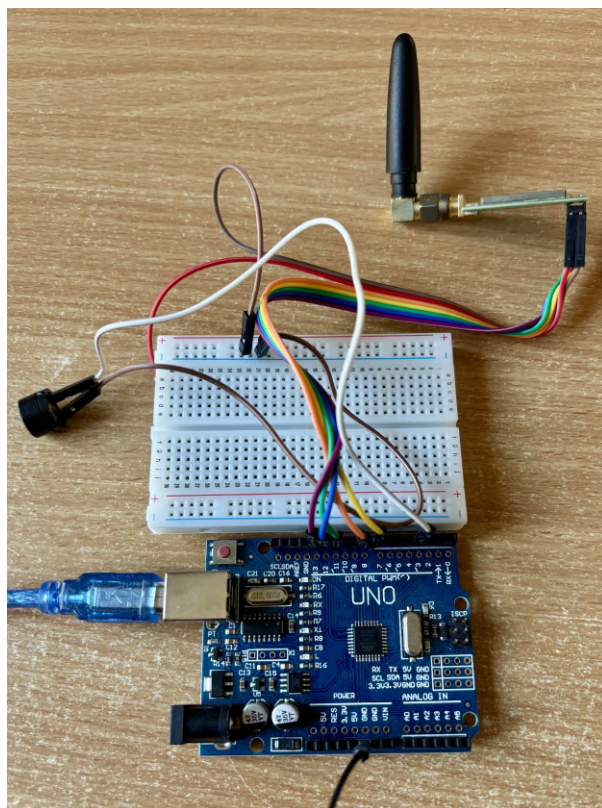
4.1.1 Konstrukce měřicí jednotky

Praktická realizace měřicí jednotky je založena na mikrokontrolérové platformě Arduino Uno, pomocí které je zajišťováno zpracování signálů ze senzorů a následná komunikace s ostatními segmenty celého systému (DRÁTEK.CZ, 2024a), (DRÁTEK.CZ, 2024b). Celkem byly v rámci projektu zkonstruovány a otestovány čtyři tyto jednotky, které jsou určeny pro monitorování startu, cíle a dvou mezičasů na měřené trati. Z konstrukčního hlediska jsou veškeré jednotky navrženy a realizovány jednotně, čímž je docíleno výrazného zjednodušení výrobního procesu, zapojení i případné operativní výměny komponent v terénu. Specifické rozdíly mezi jednotlivými kusy jsou dány výhradně jejich konkrétním umístěním na sportovní trati a upraveným programovým kódem nahraným v paměti procesoru.

Základní deska Arduino Uno je v rámci vnitřního uspořádání doplněna o nepájivé pole, propojovací vodiče a nezbytné napájecí prvky, které slouží k připojení optické fotobuňky. Využití nepájivého pole bylo zvoleno především z důvodu vysoké flexibility při úpravách zapojení během intenzivní fáze vývoje a finálního testování prototypu. Tímto řešením je umožněna rychlá změna topologie obvodu, přidávání nových senzorických prvků nebo okamžitá modifikace signálového propojení bez nutnosti trvalých zásahů. Z hlediska dlouhodobého provozu v náročných podmínkách je však toto uspořádání považováno za slabé místo, protože mechanická odolnost nepájivých spojů je ve srovnání s pájenými spoji nebo plošnými spoji výrazně nižší (TKOTZ, K., 2006).

Důležitým doplňkem měřicí jednotky je piezoelektrický bzučák, který slouží k okamžité akustické signalizaci zachycených událostí. Bzučák je v zapojení připojen přímo na jeden z digitálních výstupních pinů desky Arduino. V řídicím algoritmu je definována instrukce, která při každém protnutí paprsku fotobuňky generuje krátký tón. Touto zvukovou odezvou je v terénu plněna zásadní diagnostická funkce, neboť obsluze i závodníkovi je potvrzováno, že průjezd byl systémem korektně detekován a časová značka byla vytvořena, aniž by bylo nutné vizuálně kontrolovat výstup na připojeném počítači.

Vodiče vedoucí od fotobuněk a napájecích zdrojů jsou k hlavní jednotce připojeny pomocí šroubových svorkovnic a rychlosvorek typu WAGO. Tímto způsobem je zajištěno pevné a přehledné propojení všech částí, které zároveň umožňuje rychlou manipulaci s kabeláží. Samotné vnitřní uspořádání měřicí jednotky a rozmístění prvků v rámci šasi jsou dokumentovány na obr. 4.1. Celá elektronika je chráněna plastovým krytem, nebo je u některých variant instalována přímo na nosnou konstrukci podle potřeby daného stanoviště. Zvolené provedení odpovídá prototypu, přičemž je kladen důraz na snadný přístup ke všem součástkám během testování a ladění systému.



Obrázek 4.1: Vnitřní uspořádání měřicí jednotky

4.1.2 Komunikační modul

Pro bezdrátový přenos dat mezi jednotlivými měřicími stanicemi je využit modul nRF24L01+. Byla zvolena varianta s integrovaným výkonovým zesilovačem (PA) a nízkosumovým předzesilovačem (LNA) (DRÁTEK.CZ, 2024a), (EBYTE, 2021). Konkrétně se jedná o typ E01-2G4M27D, který je zobrazen na obr. 4.2 a pracuje v pásmu 2,4 GHz. Tento komponent je k Arduinu připojen přes sériové rozhraní SPI (*Serial Peripheral Interface*). Použití rádiového přenosu je pro prostředí vodních sportů zásadní, neboť odpadá nutnost instalace kabeláže, která by byla v terénu náchylná k poškození.



Obrázek 4.2: Komunikační modul E01-2G4M27D s anténou

Při procesu zapojování je vyžadováno naprosto přesné dodržení konfigurace sběrnice SPI, neboť jednotlivé komunikační piny jsou na mikrokontroléru ATmega328P hardwarově pevně definovány a jejich funkci nelze softwarově měnit (YOUTUBE, 2023). Toto pevné přiřazení je klíčové pro zajištění maximální přenosové rychlosti a stability datového toku mezi procesorem a vysílačem. Schéma celkového rozložení pinů modulu je podrobně znázorněno na obr. 4.3. I přes mírné odlišnosti ve vzhledu konkrétního použitého typu modulu zůstává standardizované rozmístění pinů (tzv. *pinout*) identické,

což usnadňuje zaměnitelnost součástek. Grafické znázornění bylo pro účely této práce převzato a následně adaptováno z dostupné technické dokumentace tak, aby odpovídalo reálnému zapojení v systému (HAGERSTEFAN.DE, 2022). Pro vlastní komunikaci a řízení bezdrátového modulu jsou pak využívány následující signály:

- **MOSI (*Master Out Slave In*)**: Pin pro přenos dat z Arduina do modulu; u Arduina Uno se jedná o pin D11.
- **MISO (*Master In Slave Out*)**: Pin pro příjem dat z modulu do Arduina; odpovídá pinu D12.
- **SCK (*Serial Clock*)**: Hodinový signál pro synchronizaci přenosu; je umístěn na pinu D13.
- **CSN (*Chip Select Not*)**: Signál pro výběr zařízení na sběrnici SPI. Pin je aktivní v logické nule a umožňuje Arduinu komunikovat přímo s tímto modulem.
- **CE (*Chip Enable*)**: Pin, kterým je přepínán režim vysílání nebo příjmu u čipu nRF24L01.

Zatímco piny MOSI, MISO a SCK musí být v rámci hardwarového zapojení situovány striktně na tyto pozice, neboť jsou přímo navázány na vnitřní sběrnici mikrokontroléru, u zbývajících řídicích pinů existuje větší míra volnosti. Konkrétně piny CSN (Chip Select Not) a CE (Chip Enable) lze v programovém kódu nakonfigurovat na libovolné volné digitální porty podle aktuální potřeby a uspořádání ostatních komponent (EBYTE, 2021). Tato variabilita umožňuje optimalizovat rozvržení vodičů v šasi modulu, avšak pro zachování přehlednosti a snazší diagnostiku je i u těchto signálů doporučeno dodržovat standardizované zapojení definované v použitých softwarových knihovnách.



Obrázek 4.3: Rozložení vývodů komunikačního modulu (převzato z (HAGERSTEFAN.DE, 2022))

Důležitou součástí je také externí anténa, kterou je zajišťován lepší dosah a stabilita signálu. Anténa je k modulu připojena přes SMA konektor, což představuje mechanicky odolné řešení. Stabilní poloha antény je klíčová zejména při měření na větší vzdálenost, kde by nevhodné natočení mohlo zvyšovat chybovost přenosu. Během testování bylo potvrzeno, že pro stabilní provoz je nutné moduly napájet z externího zdroje o napětí 3,3 V. Pro tyto účely byl využit DC-DC měnič, který poskytuje dostatečný proudový výkon, jež standardní výstupní piny Arduina nejsou schopny zajistit (DRÁTEK.CZ, 2024c).

4.1.3 Senzory a jejich zapojení

Pro detekci průjezdu závodníka jsou využívány optické infračervené závory typu ABO-20 (T530C), které jsou koncipovány jako systém sestávající z nezávislého vysílače a přijímače (HADEX.CZ, 2023). Tyto fotobuňky jsou napájeny napětím v rozsahu 12–24 V, přičemž je dosahováno operační vzdálenosti přibližně 20 m, což plně postačuje pro potřeby měření v terénu. Díky těmto parametrům je umožněno vytvoření stabilního měřicího profilu i přes širší části toku nebo v rámci instalace do pevných startovních bran. V celém měřicím systému jsou tyto prvky aplikovány pro přesnou detekci okamžiku průjezdu v bodech startu, cíle a na definovaných mezičasových úsecích.

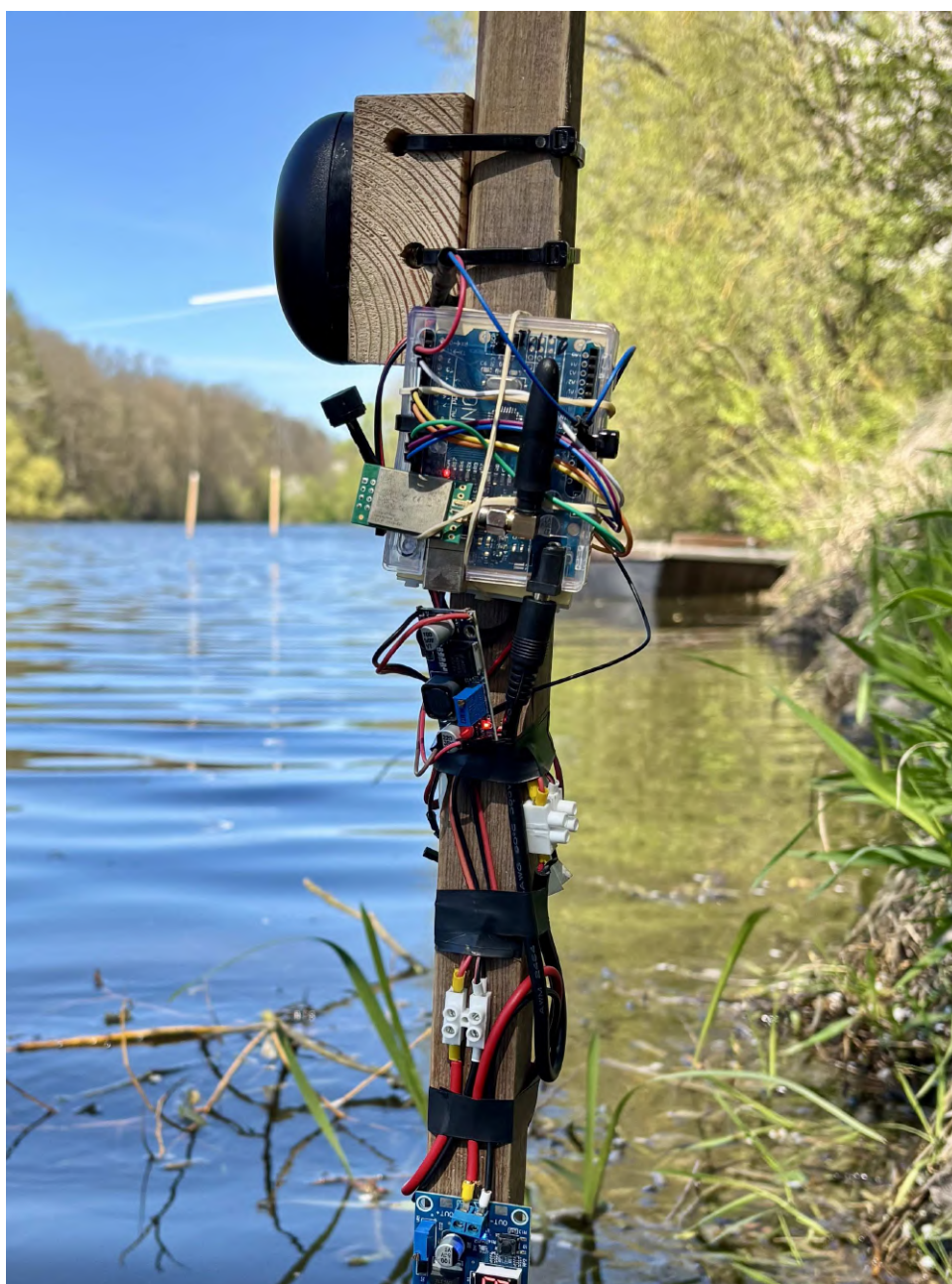
Výstupní signál fotobuňky vykazuje napěťovou úroveň přibližně 12 V, což je hodnota, která není přímo kompatibilní s digitálními vstupy platformy Arduino pracujícími s logikou 5 V (DRÁTEK.CZ, 2024b). Z tohoto důvodu bylo mezi výstupní svorku senzoru a vstupní pin mikrokontroléru zařazeno zapojení s odporovým děličem napětí, kterým je úroveň signálu redukována na bezpečnou mez. Výstupní napětí děliče U_{out} je definováno vztahem:

$$U_{out} = U_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (4.1)$$

kde U_{in} představuje vstupní napětí ze senzoru, R_1 a R_2 jsou odpory rezistorů tvořících dělič. Tímto opatřením je zajištěna ochrana digitálního portu před poškozením vysokým napětím a současně je garantována spolehlivá detekce logické změny stavu při přerušení paprsku. Použití pasivního odporového děliče je v tomto kontextu považováno za optimální řešení, neboť je zpracováván pouze informační signál s minimálním proudovým zatížením (TKOTZ, K., 2006), (MATWEB.CZ, 2020), (VOVCR.CZ, 2022).

Zapojení senzorů bylo navrženo s důrazem na modularitu, aby bylo umožněno operativní připojení, odpojení či kompletní výměna jednotlivých fotobuněk během testovacího provozu. Propojení vodičů v rámci jednotky je realizováno prostřednictvím šroubových

svorkových spojů (obr. 4.4), čímž je dosaženo vysoké mechanické odolnosti a přehlednosti celé instalace. Tímto způsobem je eliminováno riziko uvolnění kontaktů, které by u volných vodičů mohlo vést k nespolehlivému přenosu dat. Při praktické instalaci v terénu je kladen zvýšený nárok na precizní směřování optické osy vysílače vůči přijímači, neboť vlivem nepřesného seřízení může docházet k nestabilitě detekčního algoritmu či k nežádoucím výpadkům signálu.



Obrázek 4.4: Zapojení fotobuňky pomocí svorkovnice

4.1.4 Mechanické provedení měřicích bodů

Mechanické řešení měřicích bodů je dáno konkrétními podmínkami v místě měření, hlavně šířkou koryta a možnostmi upevnění zařízení na břehu. V rámci realizace jsou uvažovány a využívány dvě základní varianty instalace. První způsob spočívá v použití párových kúlů, které jsou umístěny proti sobě na obou březích. Na tyto kúly jsou nezávisle uchyceny vysílací a přijímací části fotobuněk, které musí být velmi přesně nasměrovány přímo na sebe, aby byla zajištěna stabilní optická trasa.

Alternativním způsobem je montáž senzorů přímo do konstrukce měřicí brány, která je zavěšena nad vodní hladinou pomocí nosného ocelového lanka. Tato varianta je upřednostňována v místech s nepřístupnými břehy nebo u velmi širokých koryt, kde by byla instalace na břeh technicky neproveditelná. Brána neslouží k přehrazení toku, ale k vymezení průjezdového okna, čímž je zaručeno, že závodník vždy protne detekční paprsek. Ukázka řešení této brány je znázorněna na obr. 4.5, kde je patrná snaha o nízkou hmotnost při zachování dostatečné tuhosti pro venkovní podmínky.

Z konstrukčního hlediska je kladen důraz na stabilitu všech prvků, zejména antén modulů E01-2G4M27D a napájecích bloků. Vlivem větru či proudění vody může docházet k vibracím, které by mohly narušit kontakt fotobuněk nebo vyzařování antén. Veškeré komponenty jsou proto pevně zafixovány, aby odolaly namáhání po celou dobu závodu bez nutnosti dalšího seřizování.



Obrázek 4.5: Mechanické provedení měřicí brány

4.1.5 Napájení systému

Napájení měřicích modulů je navrženo tak, aby byl celý systém plně mobilní i v terénu, kde není přístup k elektrické síti. Jako hlavní zdroj energie je využíván 12V akumulátor, jehož napětí je dále upravováno pomocí DC-DC měničů pro potřeby jednotlivých částí (THE ENGINEERING PROJECTS, 2020). Celkové schéma zapojení napájecích větví a distribuce energie je znázorněno na obr. 4.6, kde je vidět rozdělení na vysokonapěťovou a nízkonapěťovou část. Z této hlavní větve jsou napájeny fotobuňky a současně je přes vstup VIN zajištěna dodávka energie pro mikrokontrolér Arduino.



Obrázek 4.6: Napájení systému

Zvolené zapojení odpovídá napěťovým požadavkům všech komponent, čímž je dosaženo stability celého měření. Zatímco u fotobuněk je vyžadováno napětí v širokém rozsahu 12–24 V, bezdrátový modul E01-2G4M27D je velmi citlivý na kvalitu napájení a vyžaduje přesně stabilizovaných 3,3 V. Právě oddělení napájecí větve pro rádiový modul pomocí samostatného DC-DC měniče se při testování ukázalo jako klíčové.

Propojení napájecích a signálových tras je provedeno pomocí izolovaných vodičů, které vedou k senzorům a řídicím jednotkám. Vzhledem k prototypovému stádiu není napájecí sekce uzavřena v kompaktním šasi, ale je ponechána jako otevřené zapojení, což umožňuje snadnou diagnostiku a změny parametrů během zkoušek. V rámci dalšího vývoje je uvažováno o instalaci do odolného krytu s vysokým stupněm krytí IP a o doplnění pojistek, ochranných diod proti přepólování a konektorů pro rychlé zapojení v nepříznivých podmínkách.

4.1.6 Ochrana a odolnost systému

Z hlediska odolnosti vůči vnějším vlivům je systém v aktuální fázi považován za laboratorní prototyp, u něhož je ochrana elektroniky řešena pouze základním způsobem. Hlavní obvody jsou uloženy v plastových krabičkách, ale během testování zůstávají některé části přístupné pro potřeby měření a rychlých úprav v zapojení. Tento přístup je sice výhodný pro vývoj a ladění, ale neposkytuje dostatečnou ochranu proti vlhkosti, prachu nebo přímému kontaktu s vodou.

Protože je systém určen k provozu u divoké vody, je budoucí vylepšení ochrany elektroniky jednou z hlavních priorit. Při praktickém nasazení je nutné zabránit vniku vody do zařízení, což je v současnosti řešeno pouze provizorním zakrytím a umístěním jednotek tak, aby na ně voda přímo nestříkala. Tato opatření jsou však uvažována jako dočasná a slouží jen pro ověření funkčnosti systému v omezeném čase.

Pro dosažení plné spolehlivosti je v budoucnu plánováno využití utěsněných krabic s minimálním krytím IP65, které budou doplněny o kabelové průchodky. Dále je uvažována náhrada nepájivých polí za vlastní plošné spoje, čímž bude dosaženo mnohem vyšší odolnosti proti vibracím a změnám teplot. Těmito úpravami by byla umožněna přeměna prototypu v odolný přístroj vhodný pro dlouhodobé nasazení v terénu bez nutnosti neustálého dohledu.

4.2 Testování funkčnosti systému

Funkčnost celého systému byla testována s cílem ověřit správný chod jednotlivých součástí i jejich vzájemnou spolupráci v rámci kompletního měřicího řetězce. Testování bylo rozděleno do několika logických fází, což umožnilo samostatné prověření každého prvku a následnou analýzu bezdrátové komunikace. Proces zkoušek v laboratorních podmínkách, kdy byla sledována reakce systému na simulované průjezdy, je dokumentován na obr. 4.7. Tímto postupem byly včas odhaleny a postupně opraveny drobné chyby v zapojení, programovém kódu i v distribuci napájení.

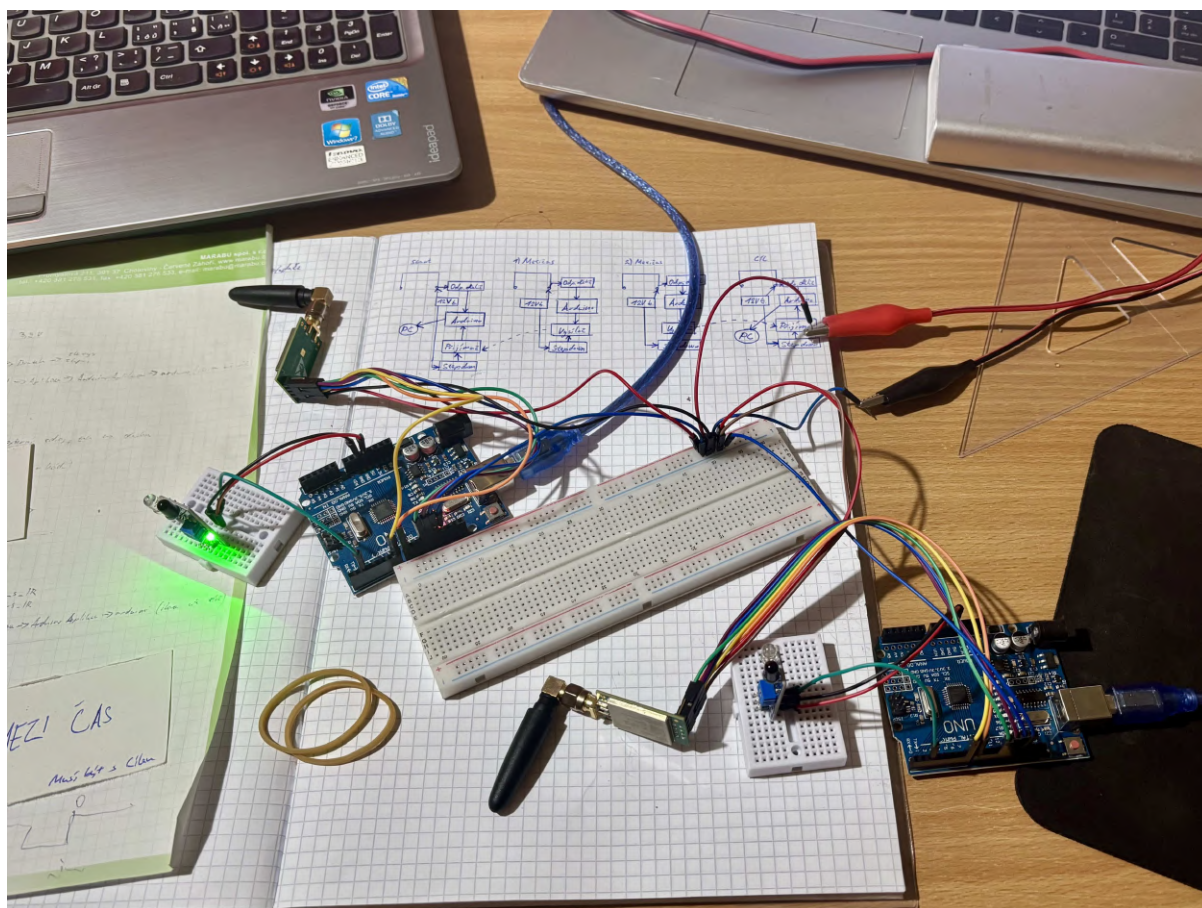
V první fázi byla prověřena funkce infračervených fotobuněk v různých světelných podmínkách. Při fyzickém přerušení paprsku byla sledována změna stavu signálu a jeho následné zpracování mikrokontrolérem. Testy potvrdily, že fotobuňky jsou velmi spolehlivé a že napěťová úroveň signálu je po úpravě odporovým děličem plně slučitelná s digitálními vstupy Arduina. Současně byl odladěn program pro ošetření zákmitů (*debounce*), čímž bylo zajištěno, že každý průjezd je zaznamenán právě jednou a nedochází k chybným duplicitním zápisům stejné události.

Další část testů byla zaměřena na přesnost měření času, kdy byly naměřené hodnoty porovnávány s údaji z externích kalibrovaných stopek. V rámci těchto orientačních zkoušek nebyly zjištěny žádné výrazné odchylky, které by omezovaly využití systému pro tréninkové účely nebo amatérské závody. Pro dosažení ještě vyšší přesnosti by bylo v budoucnu vhodné využít speciální přípravek, který by umožnil simulovat průjezdy fotobuňkou při přesně definované a konstantní rychlosti.

Bezdrátový přenos byl testován se zaměřením na stabilitu spojení mezi moduly E01-2G4M27D a centrální přijímací jednotkou. Během terénních zkoušek byl prověřován reálný dosah signálu v závislosti na vzdálenosti a přítomnosti terénních překážek. Bylo zjištěno, že při přímé viditelnosti je dosahováno spolehlivé komunikace na vzdálenost, která s rezervou postačuje pro většinu tréninkových tratí. V hustě zalesněném terénu však byl zaznamenán nárůst ztracených paketů. Ukázalo se, že kvalita přenosu kriticky závisí na stabilitě napájení modulů, což bylo vyřešeno přidáním samostatných stabilizátorů.

Kromě komunikace byla testována také celková energetická náročnost a výdrž baterií při dlouhodobém zatížení v reálném provozu. Měření odběru proudu v různých režimech, jako je klidový stav, aktivní vysílání dat nebo spuštění zvukové signalizace, byla ověřena teoretická výdrž použitých akumulátorů. Bylo potvrzeno, že navržená napájecí soustava zajistí stabilní provoz po dobu delší než 24 hodin. Tato hodnota je pro běžné sportovní využití plně dostačující a poskytuje dostatečnou rezervu pro celodenní měření.

Při závěrečném komplexním testování celého řetězce byla prověřena synchronní spolupráce startovní, cílové i mezičasové stanice. Bylo kontrolováno, zda jsou data odesílána v požadovaném formátu a zda jsou správně seřazena a zpracována v obslužném softwaru. Součástí tohoto procesu bylo také jemné doladění citlivosti detekce a odstranění falešných signálů, čímž byla potvrzena základní funkčnost celého prototypu.



Obrázek 4.7: Testování systému v laboratorních podmínkách

4.3 Ověření systému v reálných podmínkách

Po úspěšném vyzkoušení jednotlivých subsystémů v kontrolovaném prostředí se přistoupilo k testování celého komplexu v reálných podmínkách, které odpovídaly prostředí vodní slalomové tratě. Hlavním cílem této fáze bylo ověřit instalaci, aktivaci a následný provoz časomíry v místech s vysokou relativní vlhkostí, členitým terénem a proměnlivými klimatickými vlivy. Tato etapa byla považována za zcela klíčovou, neboť laboratorní

zkoušky nemohou v plném rozsahu nasimulovat veškeré rušivé vlivy, které se projevují ve venkovním prostředí a při přenosu dat na větší vzdálenosti mezi měřicími stanicemi.

Jednotlivé měřicí body byly na trati rozmístěny tak, aby jejich poloha věrně reflektovala nastavení používané při skutečných závodech. Fotobuňky byly instalovány buď na lehké hliníkové konstrukce branek zavěšených nad vodní hladinou, nebo byly upevněny k pevným břehovým objektům a dřevěným kůlům v těsné blízkosti toku. Během instalačního procesu byl kladen mimořádný důraz na precizní směřování optických os senzorů, stabilitu nosných prvků a bezpečné vedení kabelových tras mimo zónu pohybu závodníků, což je detailně dokumentováno na obr. 4.8. Terénní testy prokázaly, že se systém dokáže efektivně přizpůsobit různým podmínkám na břehu, ale zároveň se potvrdilo, že mechanická tuhost uchycení má přímý vliv na stabilitu měření a eliminaci falešných signálů, které mohou být způsobeny vibracemi konstrukce od větru nebo proudící vody.

Při terénních zkouškách byla sledována především spolehlivost detekce průjezdu závodníka za různých světelných podmínek, včetně přímého slunečního svitu a stínů vrhaných okolní vegetací. Fotobuňky na přerušení paprsku reagovaly korektně a naměřené časové značky byly bezchybně odesílány k centrálnímu zpracování. Během celého testování byl k hlavní přijímací jednotce připojen notebook, na jehož obrazovce byla v reálném čase sledována příchozí data skrze sériový monitor. Tímto způsobem bylo možné ihned po osazení každého měřicího bodu ověřit jeho správnou funkci a případně upravit citlivost detekce. V ostrém provozu se však potvrdilo, že je nezbytné senzory seřizovat s vysokou přesností a že pro dlouhodobé nasazení bude nutné výrazně zvýšit ochranu citlivé elektroniky před stříkající vodou a kondenzující vlhkostí.

Důležitou součástí analýzy bylo prověření bezdrátové komunikace v členitém a vlhkém prostředí. Při zajištění stabilního napájení pro rádiové moduly E01-2G4M27D byl potvrzen spolehlivý přenos datových paketů, ačkoliv se ukázalo, že kvalita spojení je silně ovlivněna vzdáleností mezi jednotkami, terénními vlnami a natočením antén. Bylo pozorováno, že vodní hladina může způsobovat odrazy signálu, které v určitých konfiguracích ovlivňují stabilitu přenosu. Z tohoto důvodu je pro praxi doporučeno umísťovat přijímací stanice na vyvýšená místa a před zahájením ostrého měření vždy provést kontrolu kvality signálu v daném místě. Do budoucna se uvažuje o testování maximálních dosahů v extrémním terénu a o implementaci softwarových metod pro opravu chyb, které by zvýšily spolehlivost přenosu na velmi dlouhé vzdálenosti.

Ověřením v reálných podmínkách bylo finálně potvrzeno, že navržený systém plně zvládá svou hlavní funkci – tedy přesně zachytit okamžik průjezdu a odeslat tato data

k zobrazení a vyhodnocení. Zároveň byly jasně identifikovány technologické oblasti, které jsou vhodné pro další technický rozvoj. Jde především o otázku dokonalého hermetického uzavření elektroniky do odolných pouzder, zvýšení robustnosti bezdrátové sítě proti rušení a plnou automatizaci zpracování získaných časů. Na základě všech zjištěných poznatků lze tento systém považovat za plně funkční technologický prototyp, který představuje solidní základ pro stavbu profesionální elektronické časomíry optimalizované pro specifické potřeby vodních sportů.



Obrázek 4.8: Nasazení systému v reálných podmínkách

Kapitola 5

Závěr

Cílem této absolventské práce byl návrh a realizace modulárního systému elektronické časomíry určeného pro měření času v kanoistice na divoké vodě. Návrh vycházel z požadavků na přenosné a rozšiřitelné řešení, které by bylo využitelné nejen při závodech, ale také v rámci běžného tréninku. Klíčovým faktorem byla především cenová dostupnost, neboť náklady na pořízení profesionálních komerčních systémů jsou pro mnoho sportovních oddílů neúnosné. Na základě analýzy specifík tohoto sportu byl vytvořen systém umožňující přesné měření startu, cíle a mezičasových bodů.

V teoretické a návrhové části byly popsány požadavky na časoměrný systém, možnosti detekce průjezdu a princip modulárního uspořádání. Navržené řešení je založeno na platformě Arduino, optických fotobuňkách a bezdrátové komunikaci pomocí modulů E01-2G4M27D. Důraz byl kladen na to, aby bylo možné systém snadno přizpůsobit různým tratím bez nutnosti složité konfigurace.

V praktické části byly realizovány čtyři měřicí jednotky určené pro start, cíl a dva mezičasové body. Ověřeno bylo jejich zapojení, napájení i zpracování signálů. Testováním bylo potvrzeno, že systémem je korektně zaznamenán průjezd, vytvořena časová značka a zajištěn přenos dat k vyhodnocení. Součástí práce bylo také zpracování naměřených dat v tabulkovém procesoru, kde byly časové údaje převáděny do jednotné podoby a následně využity pro výpočet mezičasů a celkových výsledků.

Na základě provedeného testování lze konstatovat, že navržený systém je funkční a splňuje základní požadavky na měření času. Významnou výhodou je kromě jeho modularity především velmi nízká nákladovost. Celkové výdaje na pořízení komponent dosahují pouze zlomku ceny, za kterou jsou nabízena profesionální řešení, přičemž dosažená přesnost je pro dané účely plně vyhovující. Zároveň se však ukázalo, že některé části mají zatím prototypový charakter a vyžadují další vývoj.

V rámci budoucího vylepšení je navrženo zaměřit se na mechanické provedení jednotek. Elektronické části by měly být umístěny do odolných ochranných šasi s vyšším stupněm krytí. Dalším krokem je automatizace přenosu dat ze sériového monitoru přímo do tabulkového procesoru, čímž by se odstranila nutnost manuálního kopírování. Pro ostré nasazení je doporučeno také podrobnější otestování bezdrátové komunikace na velké vzdálenosti.

Stanovený cíl práce byl splněn a vytvořený systém představuje funkční a ekonomicky velmi efektivní základ pro rozvoj elektronické časomíry v oblasti vodních sportů.

Literatura

- CIRCUIT BASICS (2021), *Arduino IR Remote Receiver Tutorial* [online]. [cit. 2026-05-10], [⟨https://www.circuitbasics.com/arduino-ir-remote-receiver-tutorial/⟩](https://www.circuitbasics.com/arduino-ir-remote-receiver-tutorial/).
- DRÁTEK.CZ (2024a), *Arduino a bezdrátový modul nRF24L01* [online]. [cit. 2026-05-08], [⟨https://navody.dratek.cz/nrf24l01⟩](https://navody.dratek.cz/nrf24l01).
- DRÁTEK.CZ (2024b), *Arduino UNO R3 – Popis pinů a napájení* [online]. [cit. 2026-05-08], [⟨https://dratek.cz/arduino-uno-r3⟩](https://dratek.cz/arduino-uno-r3).
- DRÁTEK.CZ (2024c), *Step-down měnič napájecí modul s LM2596S* [online]. [cit. 2026-05-08], [⟨https://dratek.cz/lm2596s⟩](https://dratek.cz/lm2596s).
- EBYTE (2021), *E01-2G4M27D User Manual* [online]. [cit. 2026-05-08], [⟨https://www.laskakit.cz/laskakit-rf-modul-500mw⟩](https://www.laskakit.cz/laskakit-rf-modul-500mw).
- HADEX.CZ (2023), *Infračervená závora (fotobuňka) – Technický list* [online]. [cit. 2026-05-08], [⟨https://www.hadex.cz/t530c⟩](https://www.hadex.cz/t530c).
- HAGERSTEFAN.DE (2022), *Arduino WiFi nRF24L01 Tutorial* [online]. [cit. 2026-05-08], [⟨https://hagerstefan.de/arduino/nrf24l01⟩](https://hagerstefan.de/arduino/nrf24l01).
- MARGOLIS, M. (2011), *Arduino Cookbook*, 2nd ed. edn, Sebastopol: O'Reilly Media. In English. ISBN 978-1-4493-1387-6.
- MATWEB.CZ (2020), *Zapojení odporového děliče pro Arduino* [online]. [cit. 2026-05-10], [⟨https://forum.matweb.cz/viewtopic.php?pid=378600⟩](https://forum.matweb.cz/viewtopic.php?pid=378600).
- SCHERZ, P. A MONK, S. (2016), *Practical Electronics for Inventors*, 4th ed. edn, New York: McGraw-Hill Education. In English. ISBN 978-1-259-58913-8.
- THE ENGINEERING PROJECTS (2020), *LM2596 Buck Converter Datasheet and Pinout* [online]. [cit. 2026-05-08], [⟨https://www.theengineeringprojects.com⟩](https://www.theengineeringprojects.com).

- TKOTZ, K. (2006), *Příručka pro elektrotechnika*, 2. dopl. vyd. edn, Praha: Europa-Sobotáles. ISBN 80-86706-13-3.
- TMRH20 (2023), *Optimized high speed driver for nRF24L01 modules on Arduino* [online]. GitHub repository, [cit. 2026-05-10], [⟨https://github.com/nRF24/RF24⟩](https://github.com/nRF24/RF24).
- VODA, Z. A TÝM HW KITCHEN (2017), *Průvodce světem Arduina (2. vydání)*, Bučovice: Nakladatelství Martin Stříž. Základy programování a zapojování Arduina. ISBN 978-80-87106-93-8.
- VOVCR.CZ (2022), *Odporový dělič napětí* [online]. [cit. 2026-05-08], [⟨https://www.vovcr.cz/vovcr-delic⟩](https://www.vovcr.cz/vovcr-delic).
- YOUTUBE (2023), *Jak propojit Arduino s bezdrátovým modulem nRF24L01*. YouTube video, [cit. 2026-05-08], [⟨https://www.youtube.com/watch?v=4aM-JfloZKQ⟩](https://www.youtube.com/watch?v=4aM-JfloZKQ).

Příloha A

Obsah přiloženého DVD

K této práci je přiloženo DVD obsahující zdrojové soubory, dokumentaci a další podklady použité při realizaci systému elektronické časomíry. Struktura přiloženého média je následující:

- **Absolventska_prace_LaTeX**: Zdrojové soubory práce ve formátu $\text{\LaTeX}$ 2e jsou uloženy včetně všech použitých obrázků a příloh.
- **Fotodokumentace**: Fotografie z realizace systému, zapojení jednotlivých komponent a testování v laboratorních i reálných podmínkách jsou obsaženy v této složce.
- **Manualy**: Datasheety a technická dokumentace použitých komponent (Arduino, fotobuňky, komunikační moduly, DC-DC měniče) jsou zde přiloženy pro referenci.
- **Programovy_kody**: Zdrojové kódy pro mikrokontrolér Arduino použité v jednotlivých měřicích modulech jsou k dispozici v této části média.
- **Schema_zapojeni**: Elektrická schémata zapojení jednotlivých částí systému jsou uložena v grafických formátech.
- **Vysledky_a_tabulky**: Ukázky naměřených dat a tabulek použitých pro vyhodnocení časů jsou součástí této složky.
- **Vanek_AP_2026.pdf**: Absolventská práce ve formátu PDF je uložena v kořenovém adresáři.

Příloha B

Použitý software

Arduino IDE 1.8.19 [〈https://www.arduino.cc/〉](https://www.arduino.cc/)

Draw.io [〈https://app.diagrams.net/〉](https://app.diagrams.net/)

LaTeX [〈https://miktex.org/〉](https://miktex.org/)

TeXstudio [〈https://www.texstudio.org/〉](https://www.texstudio.org/)

Software z výše uvedeného seznamu je buď volně dostupný (Open Source / Freeware), nebo jeho licenci toho času vlastní Vyšší odborná škola, Střední škola, Centrum odborné přípravy, Sezimovo Ústí, Budějovická 421, kde autor toho času studoval a vytvořil tuto práci.

Příloha C

Časový plán absolventské práce

Činnost	Časová náročnost	Termín ukončení	Splněno
návrh tématu absolventské práce	3 týdny	20.12.2023	18.12.2023
studium problematiky elektronické časomíry	2 měsíce	28.02.2024	17.02.2024
výběr a objednání elektronických komponent	1 měsíc	31.03.2024	10.04.2024
návrh zapojení a tvorba schémat	3 měsíce	30.06.2024	05.07.2024
realizace měřicích modulů (pájení, oživení)	6 měsíců	15.01.2025	20.01.2025
programování mikrokontrolérů Arduino	4 měsíce	15.05.2025	20.05.2025
návrh a ladění napájecí soustavy	1 měsíc	15.06.2025	20.06.2025
poslední ladění a testování komunikace	1 měsíc	31.07.2025	05.08.2025
ověření systému v reálných podmínkách	2 měsíce	30.09.2025	10.10.2025
zpracování naměřených dat a tabulek	1 měsíc	15.11.2025	20.11.2025
zpracování textové části práce (psaní)	5 měsíců	30.04.2026	05.05.2026
finální úpravy, tisk a vazba práce	2 týdny	15.05.2026	15.05.2026

Příloha D

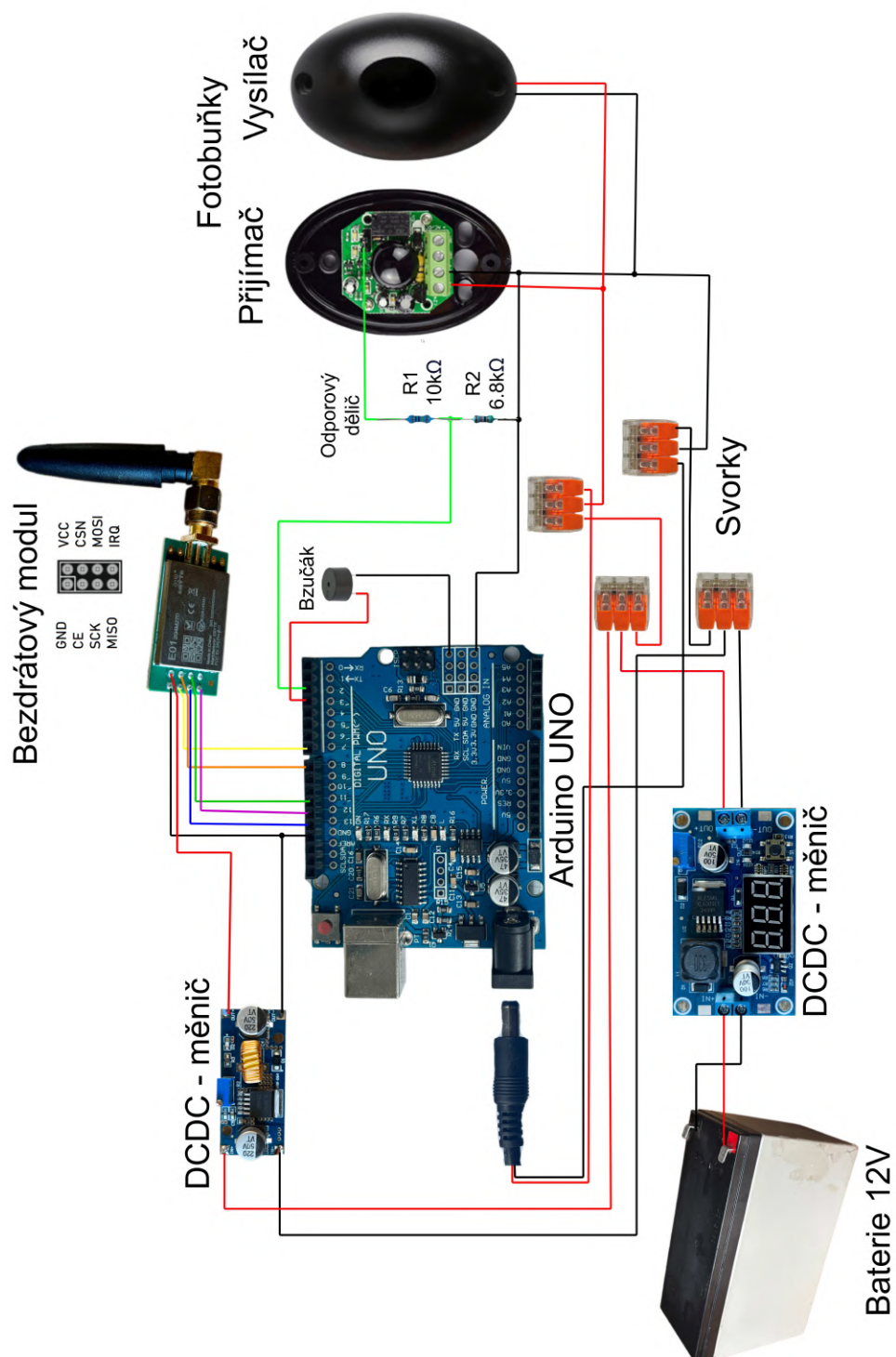
Schémata zapojení a zdrojové kódy

Tato příloha obsahuje technickou dokumentaci k elektronické části systému a ukázky zdrojových kódů. Navržený měřicí systém využívá modulární koncepci postavenou na univerzální hardwarové jednotce, která byla vyrobena ve čtyřech kusech.

Příloha záměrně neobsahuje vnitřní schémata komerčně zakoupených modulů (mikrokontroléry Arduino UNO, infračervené fotobuňky, bezdrátové moduly E01-2G4M27D a DC-DC měniče), neboť se jedná o uzavřené celky. Kompletní technické listy (datasheety) k těmto komponentám jsou součástí digitální přílohy na přiloženém médiu.

Schéma zapojení modulu

Vzhledem k unifikaci hardwaru je na obrázku D.1 znázorněno schéma zapojení jedné univerzální jednotky. Toto zapojení je identické pro všechny čtyři moduly v terénu (Start, Mezičasy, Cíl).



Obrázek D.1: Celkové schéma zapojení měřicího systému (otočeno o 90°)

Zdrojové kódy pro Arduino

Všechny zdrojové kódy byly vytvořeny v programovacím jazyce **C/C++** v prostředí Arduino IDE. Kompletní zdrojové texty jsou k dispozici v digitální příloze. Níže jsou uvedeny výpisy kódů pro tři základní typy uspořádání systému.

Jednoduché měření času

Tento kód slouží k demonstraci základního principu detekce průjezdu a zápisu časové značky pomocí funkce `millis()` bez využití bezdrátového přenosu.

Listing D.1: Zdrojový kód pro základní konfiguraci jedné měřicí stanice

```
const int IR_PIN = 2; // Pin pro připojení IR senzoru

void setup() {
    pinMode(IR_PIN, INPUT);
    Serial.begin(9600);
}

void loop() {
    if (digitalRead(IR_PIN) == LOW) {
        unsigned long currentTime = millis();
        Serial.print("DETEKCE PRUJEZDU: ");
        Serial.println(currentTime);
        while (digitalRead(IR_PIN) == LOW);
        delay(50);
    }
}
```

Měření s centrální jednotkou

Tato konfigurace představuje pokročilejší úroveň systému, kdy jsou jednotlivé měřicí stanice (Start a Cíl) propojeny s centrální jednotkou u počítače pomocí bezdrátových modulů E01-2G4M27D. Výhodou tohoto uspořádání je plná automatizace procesu měření a okamžitý přenos výsledného času do nadřazeného systému k vyhodnocení.

Modul START (Vysílač)

Modul na startu monitoruje stav fotobuňky. Při jejím přerušení je aktivována akustická signalizace a skrze radiový modul je odeslán logický signál „true“ do centrální jednotky.

Listing D.2: Zdrojový kód modulu START

```
#include <SPI.h>
#include "RF24.h"

#define CE 7
#define CS 8
const int IR_PIN = 2;
const int buzzer = 3;
RF24 nRF(CE, CS);
byte adresaStart[] = "start00";

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    nRF.begin();
    nRF.setPALevel(RF24_PA_MAX); // Nastavení maximalního výkonu E01-2G4M27D
    nRF.openWritingPipe(adresaStart);
    nRF.stopListening();
    pinMode(IR_PIN, INPUT);
    pinMode(buzzer, OUTPUT);
}

void loop() {
    if (digitalRead(IR_PIN) == LOW) {
        Serial.println("SIGNAL ODESLAN - START");
        tone(buzzer, 2000, 250);
        bool signal = true;
        nRF.write(&signal, sizeof(signal)); // Odeslání startovního impulsu
        while (digitalRead(IR_PIN) == LOW); // Blokování duplicity
        delay(50);
    }
}
```


Modul CÍL (Vysílač)

Cílový modul pracuje na obdobném principu jako startovní jednotka. Rozdílem je odesílání logické hodnoty „false“, která v přijímací jednotce slouží jako instrukce pro zastavení odpočtu času.

Listing D.3: Zdrojový kód modulu CÍL (STOP)

```
#include <SPI.h>
#include "RF24.h"

#define CE 7
#define CS 8
const int IR_STOP_PIN = 4;
RF24 nRF(CE, CS);
byte adresaStop[] = "stop00";

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    nRF.begin();
    nRF.setPALevel(RF24_PA_MAX);
    nRF.openWritingPipe(adresaStop);
    nRF.stopListening();
    pinMode(IR_STOP_PIN, INPUT);
}

void loop() {
    if (digitalRead(IR_STOP_PIN) == LOW) {
        Serial.println("SIGNAL ODESLAN - STOP");
        bool signal = false;
        nRF.write(&signal, sizeof(signal)); // Odeslání stop impulsu
        while (digitalRead(IR_STOP_PIN) == LOW);
        delay(50);
    }
}
```

Centrální jednotka (Přijímač u PC)

Tento modul je připojen k počítači a slouží jako sběrný bod pro signály z terénu. Po přijetí startovního signálu je zahájeno měření času pomocí funkce `millis()` a po přijetí signálu z cíle je vypočten a vypsán výsledný čas jízdy.

Listing D.4: Zdrojový kód centrální přijímací jednotky

```
#include <SPI.h>
#include "RF24.h"

#define CE 7
#define CS 8
RF24 nRF(CE, CS);
byte adresaStart[] = "start00";
byte adresaStop[] = "stop00";

unsigned long startTime = 0;
bool timing = false;

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    nRF.begin();
    nRF.setPALevel(RF24_PA_MAX);
    nRF.openReadingPipe(1, adresaStart);
    nRF.openReadingPipe(2, adresaStop);
    nRF.startListening(); // Rezim prijmu dat
}

void loop() {
    if (nRF.available()) {
        bool signal;
        nRF.read(&signal, sizeof(signal));

        if (signal) { // Prijat START signal
            Serial.println("SIGNAL PRIJAT! START CASOMIRY.");
            startTime = millis();
            timing = true;
        } else { // Prijat STOP signal
            if (timing) {
                unsigned long elapsedTime = millis() - startTime;
                Serial.print("SIGNAL PRIJAT! STOP CASOMIRY. Cas: ");
                Serial.print(elapsedTime);
                Serial.println(" ms");
            } else {
                Serial.println("STOP prijat, ale cas uz nebezel.");
            }
            timing = false;
        }
    }
}
```

Distribučovaný systém s více měřicími jednotkami

Tato modulární varianta zajišťuje detekci i bezdrátový přenos dat (E01-2G4M27D) v každém bodě tratě. Naměřené hodnoty jsou řetězeny do cílové jednotky k souhrnnému výpisu.

Modul START

Modul detekuje start a vypisuje čas na sériovou linku. Zároveň přijímá a zobrazuje data z ostatních uzlů, což umožňuje centrální dohled nad systémem.

Listing D.5: Zdrojový kód modulu START pro distribuovaný systém

```
#include <SPI.h>
#include "RF24.h"
#define CE 7
#define CS 8

RF24 nRF(CE, CS);
byte adresaPrijimac[] = "prijimac00";
byte adresaVysilac[] = "vysilac00";
const int IR_PIN = 2;
const int BUZZER_PIN = 3;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  nRF.begin();
  nRF.setPALevel(RF24_PA_MAX);
  nRF.openReadingPipe(1, adresaPrijimac);
  nRF.startListening();
  pinMode(IR_PIN, INPUT);
  pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
}

void loop() {
  if (nRF.available()) {
    unsigned long receivedTime = 0;
    nRF.read(&receivedTime, sizeof(receivedTime));
    if (receivedTime > 0) {
      Serial.print("1) Mezicas: ");
      Serial.println(receivedTime);
    }
  }

  if (digitalRead(IR_PIN) == LOW) {
    unsigned long currentTime = millis();
    Serial.print("START ");
    Serial.print("Cas detekce: ");
    Serial.println(currentTime);
    tone(BUZZER_PIN, 2000, 200);
    while (digitalRead(IR_PIN) == LOW);
    delay(50);
  }
}
```

Modul 1. Mezičas

Tímto modulem je zajišťována detekce na prvním mezičase a následné odeslání naměřené časové značky do navazující části systému.

Listing D.6: Zdrojový kód modulu 1. Mezičas

```
#include <SPI.h>
#include "RF24.h"

#define CE 7
#define CS 8
const int IR_PIN = 2;
const int BUZZER_PIN = 3;

RF24 nRF(CE, CS);
byte adresaPrijimac[] = "prijimac00";

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    nRF.begin();
    nRF.setPALevel(RF24_PA_MAX);
    nRF.openWritingPipe(adresaPrijimac);
    nRF.stopListening();
    pinMode(IR_PIN, INPUT);
    pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
}

void loop() {
    if (digitalRead(IR_PIN) == LOW) {
        unsigned long currentTime = millis();
        bool success = nRF.write(&currentTime, sizeof(currentTime));

        if (success) Serial.println("Data odeslana!");

        tone(BUZZER_PIN, 2000, 200);
        while (digitalRead(IR_PIN) == LOW);
        delay(50);
    }
}
```

Modul 2. Mezičas

Modul pro druhý mezičas využívá odlišné komunikační adresy pro identifikaci v rámci přenosové trasy. Z důvodu testování v blízkém okolí je zde výkon modulu softwarově snížen.

Listing D.7: Zdrojový kód modulu 2. Mezičas

```
#include <SPI.h>
#include "RF24.h"

#define CE 7
#define CS 8
const int IR_PIN = 2;
const int BUZZER_PIN = 3;

RF24 nRF(CE, CS);
byte adresaPrijimac[] = "abcde";

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    nRF.begin();
    nRF.setPALevel(RF24_PA_LOW); // Snížený výkon pro testování
    nRF.openWritingPipe(adresaPrijimac);
    nRF.stopListening();
    pinMode(IR_PIN, INPUT);
    pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
}

void loop() {
    if (digitalRead(IR_PIN) == LOW) {
        unsigned long currentTime = millis();
        nRF.write(&currentTime, sizeof(currentTime));

        tone(BUZZER_PIN, 2000, 200);
        while (digitalRead(IR_PIN) == LOW);
        delay(50);
    }
}
```

Modul CÍL

Cílová stanice v tomto uspořádání přijímá data z předchozích bezdrátových modulů a zároveň monitoruje vlastní IR senzor umístěný v cílové linii. Veškeré informace jsou následně vypisovány na sériový monitor počítače.

Listing D.8: Zdrojový kód modulu CÍL

```
#include <SPI.h>
#include "RF24.h"

#define CE 7
#define CS 8

RF24 nRF(CE, CS);
byte adresaPrijimac[] = "abcde";
const int IR_PIN = 2;
const int BUZZER_PIN = 3;

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    nRF.begin();
    nRF.setPALevel(RF24_PA_LOW);
    nRF.openReadingPipe(1, adresaPrijimac);
    nRF.startListening();
    pinMode(IR_PIN, INPUT);
    pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
}

void loop() {
    if (nRF.available()) {
        unsigned long receivedTime = 0;
        nRF.read(&receivedTime, sizeof(receivedTime));
        if (receivedTime > 0) {
            Serial.print("2) Mezicas: ");
            Serial.println(receivedTime);
        }
    }

    if (digitalRead(IR_PIN) == LOW) {
        unsigned long currentTime = millis();
        Serial.print("CÍL ");
        Serial.print("Cas detekce: ");
        Serial.println(currentTime);

        tone(BUZZER_PIN, 2000, 200);
        while (digitalRead(IR_PIN) == LOW);
        delay(50);
    }
}
```