

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ  
KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

Bakalářská práce

---

ELEKTRONICKÁ ČASOMÍRA PRO ZÁVODY V  
BĚŽECKÉM LYŽOVÁNÍ

---

Ondřej CARVAN

2019

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej CARVAN**

Osobní číslo: **E16B0103P**

Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**

Název tématu: **Elektronická časomíra pro závody v běžeckém lyžování**

Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište problematiku měření času při závodech v běžeckém lyžování. Zohledněte přitom pravidla lyžařských závodů Mezinárodní lyžařské federace a Svazu lyžařů České republiky.
2. Proveďte rešerši současných systémů elektronické časomíry.
3. Zpracujte návrh systému pro elektronickou časomíru a následného zpracování výsledků.
4. Vytvořte funkční prototyp navrženého systému.
5. Základní funkce vytvořeného prototypu otestujte v reálných podmínkách.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Pravidla lyžařských závodů. Svaz lyžařů České republiky
2. The international ski competition rules, Book II cross-country. International Ski Federation FIS
3. System and method of video verification of rfid tag reads within an event timing system. US20160035143A1
4. Correlating captured images and timed event data. US7158689B2

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Jiří Kuthan**

Katedra teoretické elektrotechniky

Konzultant bakalářské práce:

**Ing. Martin Juřík**

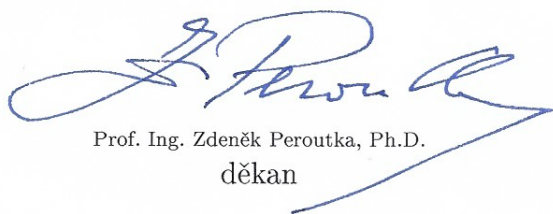
Katedra teoretické elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce:

**5. října 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**13. června 2019**



Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.  
děkan



Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 5. října 2018

---

## ANOTACE A KLÍČOVÁ SLOVA

---

Předkládaná bakalářská práce se zabývá elektronickou časomírou pro závody v běžec-kém lyžování. Cílem práce je představení současných systémů, které se využívají pro elek-tronické měření času závodů v běžec-kém lyžování. Hlavním cílem je pak na základě těchto znalostí návrh elektronické časomíry a praktická realizace jejího funkčního pro-totypu. Součástí této bakalářské práce je i otestování funkčnosti sestaveného prototypu v reálných podmínkách.

Práce je rozdělena do čtyř částí. První část je zaměřena na vymezení řešené oblasti, formulaci motivace práce a představení současného stavu dané oblasti. Druhá část je zaměřena na návrh samotné časomíry a její praktické sestavení. Třetí část je zaměřena na testování realizované časomíry. Poslední čtvrtá část je zaměřena na shrnutí dosaže-ných výsledků, zhodnocení celé práce a nastínění možností jejího komerčního využití.

### KLÍČOVÁ SLOVA

Elektronická časomíra, elektronické měření času, běžec-ké lyžování, Arduino, Raspberry Pi

---

## ANOTATION AND KEYWORDS

---

The submitted bachelor thesis deals with the electronic timer for races in cross-country skiing. The goal of the thesis is the introduction of the contemporary systems, which are being used for electronic timing of races in cross-country skiing. The main goal is to design the electronic timing device and to practically realize its functional prototype. Function testing of this prototype in real conditions is also a part of this thesis.

The thesis itself is divided into four parts. The first part of the thesis focuses on the definition of the examined area. The second part is focused on the design of the timer and its practical realization. The third part is focused on the testing of the assembled timer. The last fourth part is focused on the summary of achieved results and the evaluation of whole thesis and the outline of possibilities for commercial use.

### KEYWORDS

Electronic timer, electronic timing, cross-country skiing, Arduino, Raspberry Pi

---

## PODĚKOVÁNÍ

---

Tímto bych velmi rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Jiřímu Kuthanovi za skvělé vedení práce a pomoc při jejím vypracování. Dále bych rád poděkoval konzultantovi Ing. Martinovi Juříkovi za velmi přínosné a zajímavé konzultace při vytváření programové části bakalářské práce.

V neposlední řadě děkuji lyžařskému oddílu Sokol Stachy, který celý projekt financoval a pro nějž jsem časomíru vytvořil.

---

## PROHLÁŠENÍ

---

Předkládám tímto k posouzení bakalářskou práci, zpracovanou během mého studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně, s použitím uvedené odborné literatury, a pramenů a že veškerý software, použitý při jejím řešení a zpracování, byl využit s respektováním všech jeho licenčních podmínek.

V Plzni, dne 3. 6. 2019

Ondřej Carvan

---

## OBSAH

---

<b>i ÚVOD DO PROBLEMATIKY</b>	<b>2</b>
I.1 MOTIVACE PRÁCE	3
I.2 VYMEZENÍ ŘEŠENÉ OBLASTI	4
I.3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ OBLASTI	5
I.3.1 Aktuální stav trhu v České republice . . . . .	5
I.3.2 Používaný systém . . . . .	6
I.3.3 Pohled do minulosti . . . . .	9
I.3.4 Ukázka staršího systému . . . . .	11
<b>ii NÁVRH A REALIZACE ČASOMÍRY</b>	<b>12</b>
II.1 STARTOVNÍ MECHANISMUS	13
II.1.1 Požadavky na startovní mechanismus . . . . .	13
II.1.2 Použité komponenty . . . . .	14
II.1.3 Konstrukce startovního mechanismu . . . . .	15
II.2 CÍLOVÝ MECHANISMUS	18
II.2.1 Požadavky na cílový mechanismus . . . . .	18
II.2.2 Použité komponenty . . . . .	18
II.2.3 Testování laserové optické závory . . . . .	19
II.2.4 Konstrukce cílového mechanismu . . . . .	21
II.3 KUFR S ELEKTRONIKOU	23
II.3.1 Použité komponenty . . . . .	23
II.3.2 Schéma zapojení . . . . .	24
II.3.3 Výroba kufru s elektronikou . . . . .	25
II.4 PROGRAMOVÁ ČÁST	26
II.4.1 Program pro startovní Arduino . . . . .	26
II.4.2 Program pro cílové Arduino . . . . .	27
II.4.3 Program pro Raspberry Pi . . . . .	27
II.4.4 Uživatelské prostředí . . . . .	29
<b>iii TESTOVÁNÍ ČASOMÍRY</b>	<b>30</b>
III.1 PRŮBĚH TESTOVÁNÍ	31
III.2 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY	32
III.3 ZHODNOCENÍ FUNKČNOSTI ČASOMÍRY	37
<b>iv ZHODNOCENÍ A ZÁVĚR</b>	<b>38</b>



Část I

ÚVOD DO PROBLEMATIKY

# i.1

---

## MOTIVACE PRÁCE

---

V současné době je na území České republiky pořádáno velké množství závodů v běžeckém lyžování, a to jak na amatérské úrovni, tak na úrovni profesionální nebo polo-profesionální. Počet dostupných časoměřičských společností takovému množství závodů ovšem rozhodně neodpovídá. Stejně tak neúměrně malý je počet lyžařských oddílů disponujících vlastní časomírou. Z toho samozřejmě pramení problémy pro menší lyžařské oddíly, které si kvůli vysoké ceně kvalitní časomíru pro své závody nemohou dovolit ani vypůjčit. Tyto oddíly pak svou nelehkou situaci často řeší stopkami – cestou sice nejjednodušší, ale také poměrně zastaralou a značně nepřesnou. Taková situace určitě není ideální, jak pro lyžařské oddíly, tak pro samotné závodníky.

Hlavní motivací práce tedy je sestavit časomíru pro závody v běžeckém lyžování. Časomíru spolehlivou, přesnou a i pro menší lyžařské oddíly cenově dostupnou. Takovou, která by se dala využít nejen pro závody nejnižší úrovně, ale i pro závody úrovní vyšších, například pro jednotlivé podniky Českého poháru nebo republiková mistrovství. Časomíra bude navrhována a sestavována přímo pro potřeby konkrétního lyžařského oddílu, který pořádá několikrát do roka závody různých úrovní. Výsledná časomíra nicméně nemá za cíl být využitelná pouze v areálu tohoto oddílu, naopak by měla být využitelná téměř kdekoliv. V rámci spolupráce mezi jednotlivými lyžařskými oddíly totiž bude lyžařský oddíl vlastní časomíru poskytovat měření závodů v běžeckém lyžování v širokém okolí. Tento systém je výhodný pro oba oddíly. Oddíl, který časomíru vlastní, si kromě změření jím pořádaných závodů zajistí i příjmy za měření závodů cizích. Tím by se mu investice do celého projektu měla vrátit během poměrně krátké doby. Oddíl, který si časomíru vypůjčí, si zajistí kvalitní změření svého závodu. To nepochybně pozvedne úroveň daného závodu, zvýší zájem závodníků, ale především zajistí jeho regulérnost.

Osobně mne k vypracování této bakalářské práce motivuje představa, že výsledek mého snažení nebude pouze několikastránková práce, kterou si uložím hluboko do šuplíku, ale bude také prakticky využitelný. Tím lépe, pokud se jej povede využít ve sportu, který mám moc rád. Další motivací pro mě je získání znalostí a zkušeností z elektrotechnické praxe.

# i.2

---

## VYMEZENÍ ŘEŠENÉ OBLASTI

---

**T**ÉMATEM této práce je návrh a praktická realizace elektronické časomíry pro závody v běžeckém lyžování. Výsledná časomíra bude měřit dva formáty závodů, které se rozlišují způsobem startu závodníků – závody s hromadným startem a závody s intervalovým startem. Samotná časomíra je tvořena dvěma základními částmi. První je startovací mechanismus - u závodu s hromadným startem startuje závod rozhodčí výstřelem ze startovací pistole, u závodů s intervalovým startem závod zahajuje dle stanovených podmínek sám závodník průjezdem startovní brankou. Druhou částí je cílový mechanismus. U závodu s hromadným startem závodník, který první přejede cílovou čáru, vyhrává závod. U závodů s intervalovým startem musí ještě dojít po přejetí cílové čáry k výpočtu celkového času závodníka a jeho porovnání s časy ostatních závodníků. Výsledný čas je stanoven rozdílem mezi časem přejetí cílové čáry a časem startu.

Oficiální pravidla lyžařských závodů stanovuje Mezinárodní lyžařská federace (FIS) a Svaz lyžařů České republiky (SLČR). Pravidla předepisují používání elektronické časomíry pro všechny závody uvedené v kalendáři FIS a pro všechny závody kategorie A. Vždy však musí být použit záložní systém – ruční měření času. Tento záložní způsob bude využit v případě selhání elektronického měření času. Na konci závodu bude pro kontrolu funkčnosti provedena křížová kontrola výsledků obou systémů. Pro oficiální měření v běžeckém lyžování nesmí být využívány transpondéry<sup>1</sup>. Ty mohou být využity pouze jako podpůrný systém oficiálního měření času. V praxi se využívají zejména pro určení časů a pořadí závodníků při na mezičasech a při měření v cíli pro stanovení neoficiálních výsledků [2] [3].

---

<sup>1</sup> Transpondéry jsou bezdrátová komunikační zařízení. Automaticky reagují na příchozí signál odesláním jiného signálu. [1]

# i.3

---

## SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ OBLASTI

---

### I.3.1 AKTUÁLNÍ STAV TRHU V ČESKÉ REPUBLICE

V současné době není na trhu mnoho společností, které by nabízely lyžařským oddílům změření jejich závodu. Obvykle se jedná o profesionální časoměřičské společnosti, které sice disponují profesionální technikou, tu si ale také nechají adekvátně zaplatit. Tyto společnosti se obvykle neomezují pouze na měření závodů v běžeckém lyžování, ale dokáží měřit časy i v dalších sportech. Obvykle se jedná o běh, cyklistiku či třeba triatlon. Zpravidla je k měření používána čipová časomíra. Pro závody v běžeckém lyžování se však čipy mohou využívat pouze jako podpůrný systém pro oficiální měření času či pro určování průběžných časů a pořadí na mezicasech [2] [3]. Pro malý lyžařský oddíl, jehož závodů se zúčastní obvykle do 200 závodníků, se v případě použití čipů jedná o zbytečné výdaje a starosti navíc.

Oslovil jsem časoměřičské firmy, jejichž webové stránky jsem dohledal, s žádostí o sdělení cen za změření závodu v běžeckém lyžování. Konkrétně o víkendů organizovaného závodu s intervalovým startem s účastí 200 závodníků (v takové podobě se obvykle konají závody, které pořádají menší lyžařské oddíly). Zjistil jsem následující informace a ceny za časoměřičské služby.

JkTiming je společnost zabývající se měřením čistě amatérských závodů. Jak mi sdělil pan Jaromír Klouček, který s časomírou společnosti jkTiming pracuje, její cílová skupina je shodná s mou, tedy menší lyžařské oddíly pořádající své vlastní závody. Používaná časomíra není sice na profesionální úrovni, nicméně pro pořádání menších lyžařských závodů je více než dostačující. Za změření jednoho závodu s výše definovanými parametry si společnost jkTiming účtuje v průměru 4 000 Kč [4] [5].

Společnost SportChip využívá profesionální čipový časoměřičský systém a měří především cyklistické a běžecké závody. Měří ale i závody v běžeckém lyžování. Za změřený výše definovaný závod požaduje 8 000 Kč [6].

Časoměřičské služby společnosti Irontime jsou využívány především pro závody v běhu a triatlonu, ale využití najdou i v běžeckém lyžování. Použita je opět čipová časomíra. Změření jednoho poptávaného závodu vyjde na 14 000 Kč [7].

### 1.3.2 POUŽÍVANÝ SYSTÉM

Časomíra společnosti Sportovniservis.cz je rovněž čipová a doporučuje se pro měření závodů v běhu a cyklistice. Za změřený střední závod, jak společnost mnou definovaný závod označuje, požaduje po pořadateli částku 15 000 Kč [8].

Mnou poslední oslovenou společností je SportSoft sídlící ve Vimperku. Jedná se o profesionální časoměřičskou společnost, která vyvinula vlastní software, na kterém postavila své podnikání – časoměřičství především lyžařských a cyklistických závodů. SportSoft neměří pouze závody v České republice, ale i závody v zahraničí. Poskytuje časoměřičské služby i pro takové ikonické závody, jako je německý König Ludwig Lauf [9]. Jedná se o závod v dálkovém běhu na lyžích s již více než padesátiletou tradicí [10]. Díky své vlastní profesionální technologii a několikaletým zkušenostem v oboru si však společnost může dovolit nastavit také vyšší cenu. Dle slov Ing. Karla Hudečka ze společnosti SportSoft by změření definovaného závodu stálo pořadatele přibližně 18 000 Kč [11].

Ke všem těmto cenám je ještě nutné přičíst náklady za dopravu časomíry do místa konání závodu. Díky tomu, že společnosti většinou využívají čipovou časomíru, je zde samozřejmě také nemalý doplatek za případné ztracení či zničení čipu.

Je evidentní, že pokud bude chtít menší lyžařský oddíl pořádat závod, jeho změření jej bude stát nemalé peníze. Z mnou zjištěných dat průměrně 11 800 Kč + náklady na dopravu a případné ztracené čipy. To je však částka, kterou si většina z lyžařských oddílů nemůže dovolit vynaložit více než jednou ročně. Některé oddíly dokonce ani jednou ročně. Tyto oddíly by přitom chtěly pořádat ročně i několik závodů.

### 1.3.2 POUŽÍVANÝ SYSTÉM

Jak vyplývá z rešerše trhu, v současné době se pro měření závodů používá nejčastěji čipová časomíra. Jedná se o časoměřičský systém, který využívá čipy na nohách startujících závodníků. Každý závodník musí mít čip na obou nohách. Obvykle se připevňují na kotníky závodníků (černým páskem jsou čipy připevněny na kotnících závodníka na Obr. 1). Čipy se využívají k rozpoznávání závodníků v cíli a na případných měřených mezičasech. To umožňuje automatické přiřazení času danému závodníkovi. Použito může být více technologií, například GPS, QR, NFC nebo RFID (používaný RFID čip je zobrazen na Obr. 2).



Obr. 1: Čipy na kotnících závodníka [12].



Obr. 2: Používaný RFID čip.

Nejčastěji se ve sportu používá technologie UHF RFID (Ultra High Frequency Radio Frequency Identification) [13]. Ta dle standardů pracuje na frekvencích 850-950 MHz. Přidělování frekvencí je však řízeno a regulováno jednotlivými vládami. Proto v Evropě pracuje UHF RFID technologie na frekvenci 868 MHz, zatímco ve Spojených státech amerických na frekvenci 915 MHz. Za pomoci antény dokážeme s touto technologií detekovat RFID čipy na vzdálenost 3-5 metrů [14]. Protože šířka cílového koridoru musí být minimálně 6 metrů [2] [3], pro zajištění správného změření závodu budeme v cílovém prostoru potřebovat více antén snímajících čipy. Tyto antény jsou obvykle situovány přímo nad cílovou čarou (viz Obr. 3). Nespornou výhodou RFID čipů pro využití ve sportu je jejich voděodolnost [13]. Další výhodou RFID technologie je její antikolizní systém, který umožňuje snímat desítky čipů současně v reálném čase. V UHF pásmech je tato vlastnost zajištěna komunikačním protokolem. U čipů pracujících při nižších frekvencích (většina pracuje na frekvenci nižší než 135 kHz) lze tuto vlastnost zajistit úpravami softwaru. K tomu se využívá tzv. algoritmus vícenásobného čtení [15]. RFID je také vhodné pro snímání při vysoké rychlosti, které lyžaři při dokončování závodu dosahují. Nevýhodami této technologie pak jsou vysoká pořizovací cena a nutnost každou anténu napájet z externího zdroje napětí [13].



Obr. 3: RFID antény nad cílovou čarou [16].

V běžeckém lyžování rozlišujeme několik typů startu. Pro každý typ startu je předepsána jiná startovní procedura, při které se využívá jiný startovní mechanismus. Základní dva typy startů jsou intervalový a hromadný. Při intervalovém startu závodníci startují za sebou dle jejich startovních čísel. Vždy po uplynutí předem stanoveného časového úseku od startu předchozího závodníka může vystartovat závodník další. Start se provádí průjezdem startovní brankou [2] [3]. Startovní branka použitá na Českém poháru dorostu je zobrazena na Obr. 4. Před startovní brankou je často umístěn LED panel, který zobrazuje číslo aktuálně startujícího závodníka a zbývající čas do jeho startu.

V případě hromadného startu závodníci startují všichni v jeden okamžik. Na startu jsou rozhodčími dle startovních čísel rozmístěni na správná startovní místa. Závod zahajuje startér výstřelem ze startovací pistole (viz Obr. 5) [2] [3].

Dalším typem startu pak je handicapový start. Tomu se však v této práci věnovat nebudu. Startovní pořadí i intervaly mezi jednotlivými starty závodníků jsou dány vý-

### 1.3.2 POUŽÍVANÝ SYSTÉM

sledky předchozího závodu. Zde se nevyužívá ani startovní branka ani startovní pistole. Závodník startuje ze startovní čáry v čase, který mu byl přidělen. Pro případnou zpětnou kontrolu může být využit záznam z videokamery [2] [3].



Obr. 4: Startovní branka (Zadov, 2018). Obr. 5: Startovací pistole Omega [17].

Cílový mechanismus je na rozdíl od startovního pro všechny typy závodů stejný. Jedná se o měřicí systém na bázi fotobuněk. Závodník svým průjezdem přes cílovou čáru přeruší použitou světelnou či optickou závoru, čímž dokončí závod [2] [3]. Systém fotobuněk se nejčastěji využívá na principu vysílač-přijímač (viz Obr. 6).



Obr. 6: Bezdrátový systém fotobuněk Tag Heuer [18].

Součástí cílového mechanismu často bývají kamery. Kamery mohou mít dvě funkce. Mohou plnit funkci fotofiniše - kamera je umístěna na jedné straně cílové čáry a její záznam rozhoduje o pořadí závodníků při těsném dojezdu (měřicí bod je špička boty závodníka) [2] [3]. Dále mohou mít funkci tzv. cílové kamery - ta může být umístěna před cílovou čarou či v prostoru za ní, kde je její objektiv namířen kolmo na cílovou čáru. Tato ka-

mera může stoprocentně prokázat totožnost závodníka, který v daném momentě projíždí cílovým prostorem. Nemůže však rozhodnout o pořadí závodníků při těsném dojezdu.

Kamery mohou být využity i pro další účely. Patent US 2016/0035143 A1 představuje metodu určování času průjezdu závodníka přes tzv. detekční bod na trase závodu. V momentě, kdy je závodník v blízkosti snímacího zařízení, toto zařízení zachytí obraz daného závodníka právě v detekčním bodě. Systém identifikace závodníka přijímá tento obraz od snímacího zařízení a analyzuje jej. Po identifikaci závodníka obdrží časoměřičský systém zachycený obraz, identifikaci závodníka a čas průjezdu závodníka přes detekční bod na trase [19]. Tuto metodu je možné využívat také ve spojení s RFID technologií [20].

V souvislosti s kamerami je třeba uvažovat jejich časovou synchronizaci se zbytkem systému. Patent US 7,158,689 B2 se zabývá korelací asynchronně zachycených dat spojených s časovou aktivitou a obrazy spojenými s událostmi. Tento způsob vyžaduje tři kroky. Nejprve získání množiny obrazů včetně času zachycení každého obrazu. Dále získání dat z jedné či více událostí a uložení těchto dat včetně doby výskytu každé události. Nakonec již samotná korelace obrazů a dat v databázích generováním časově závislého okna. To propojuje data v databázi událostí s obrazy v obrazové databázi se stejným časem zachycení. Pro časoměřičský systém to v praxi přináší možnost jednoduchého dohledání fotografie s průjezdem závodníka a jednoduché identifikace závodníků při průjezdu přes cílovou čáru [21].

### 1.3.3 POHLED DO MINULOSTI

Nic z toho, co v dnešním světě funguje, by neexistovalo bez určitého historického vývoje. Samozřejmě to platí i pro měření času. Je tedy vhodné doplnit určitý historický kontext, díky němuž dnes dosahujeme tak přesného měření času závodů, a to nejen v běžeckém lyžování. Pro měření času v ostatních sportovních odvětvích a disciplínách platí obvykle to samé. Většina časoměřičských systémů se totiž vyvíjela pro všechny sporty současně. Jednotlivé specifčnosti se formovaly až poté, kdy již systém jako celek fungoval.

Protože v antických dobách býval sport brán především jako souboj, měření času sportovních klání se začalo využívat až v moderní éře sportu. Zpočátku se měřilo stopkami, což byl nepochybně zajímavý systém, který je využíván dodnes. Na velkých akcích typu olympijských her (OH) měřilo jednoho závodníka stopkami hned několik rozhodčích a jejich naměřené časy se po skončení závodu zprůměrovaly. I přes veškerou snahu však reakce rozhodčího se stopkami nemůže být přesnější než technika. Proto se na olympijských hrách roku 1912, které se konaly ve švédském Stockholmu, poprvé začalo využívat elektrické měření času. Bylo to ve spojení s pořizováním cílové fotografie. Jakkoliv měly tehdejší metody značné rezervy (u cílové fotografie se například muselo čekat na vyvolání kinofilmu), jednalo se o neuvěřitelný průlom. A na něj brzy navazovala další vylepšení. V roce 1916 si společnost Heuer nechala patentovat chronometr s přesností 1/50 sekundy. Na OH v roce 1932, konajících se v Los Angeles, byla společností Omega představena Kirbyho kamera. Ta snímala zároveň nejen pořadí běžců v cíli, ale i stopky



(viz Obr. 7). Díky tomu bylo možné přiřadit běžcům jejich přesný čas. Na přelomu 40. a 50. let vyvinula opět společnost Omega vysokorychlostní šterbinovou kameru. Ta byla propojena s digitálními stopkami, které uměly měřit s přesností na setiny sekundy. Tento systém také uměl zastavit stopky v momentě, kdy sportovec prořezal vysílaný paprsek světla na cílové čáře. Až v tento moment se tak mohla přestat využívat cílová páska. Nejen díky tomuto úspěchu se Omega stala jednou z nejvíce využívaných společností pro měření času sportovních klání, což platí dodnes [17] [22].



Obr. 7: Snímky z Kirbyho kamery [17].

Od té doby se neustále pracovalo na mnohých vylepšeních daného systému. Ten měl však stále jednu značnou vadu – čas změřil pouze prvnímu závodníkovi, který protnul cílovou čáru. V devadesátých letech se začalo v časoměřičských systémech využívat čtení čárových kódů. Každý závodník před závodem obdržel čárový kód. Rozhodčí byl v pozici přesně proti cílové čáře a stiskl tlačítko pokaždé, kdy některý ze závodníků prořezal cílovou čáru. Po dokončení závodu poskytl závodník přidělený čárový kód k načtení. Díky tomu se mu mohl přiřadit správný výsledný čas. Tato metoda však byla poměrně nepřesná, navíc nebylo vždy právě snadné čárové kódy závodníkům načíst v takovém pořadí, v jakém dokončovali závod. V Nizozemsku byl pak v roce 1993 skupinou studentů vytvořen systém, který jako první využíval ve sportu RFID technologii. V roce 1996 pak byly transpondéry poprvé použity na olympijských hrách, a sice v cyklistice a v maratonském běhu. V roce 2002 se začaly transpondéry využívat i v lyžování na tehdejších zimních olympijských hrách v Salt Lake City. Letní OH v Athénách (2004) poprvé přinesly využívání kamer pro fotofiniš se snímkovou frekvencí 1000 snímků za sekundu. Na ZOJ ve Vancouveru v roce 2010 pak byla poprvé využita elektronická startovní pistole [22] [23].

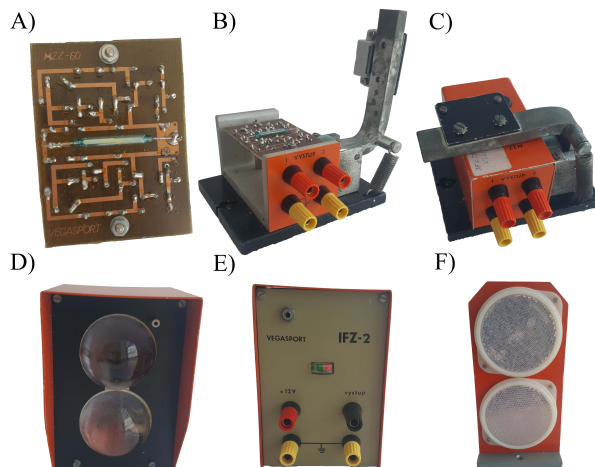
Cesta k vytvoření časoměřičského systému, jaký je dnes využíván, nebyla očividně krátká ani snadná. I na této oblasti je skvěle vidět, jak se vývoj nových technologií postupně aplikuje do všedního života běžných lidí, v tomto případě sportovců.

I.3.4 UKÁZKA STARŠÍHO SYSTÉMU

Při hledání inspirace pro návrh vlastní časomíry jsem získal časomíru značky Vegasport, kterou se ještě před několika lety měřily závody v alpském lyžování. Ta sestává ze startovní branky a cílového systému.

Branka je tvořena kovovou konstrukcí sloužící k připevnění desky plošných spojů s jazýčkovým kontaktem (viz Obr. 8A). Na horní straně branky se nacházejí čtyři vývody pro dva výstupy ze startovní branky a uzemnění (viz Obr. 8B). Výstup 2 byl využíván jako kontrolní pro výstup 1. Během závodu byla kovová konstrukce zakryta hliníkovým krytem, který zajišťoval ochranu proti vniknutí vody k obvodu s jazýčkovým kontaktem (viz Obr. 8C). Dále na startovní brance najdeme hliníkový mechanismus zajišťující otevření nebo uzavření branky. Na tento mechanismus je připevněn obyčejný kuchyňský magnet, jehož oddálením docházelo k sepnutí jazýčkového kontaktu. Toto sepnutí signalizovalo průjezd závodníka startovní brankou, a tedy i čas jeho startu. Z tohoto mechanismu pak vycházela dřevěná startovací tyč. Otočením této tyče závodník zahájil svůj závod.

Cílový systém byl tvořen fotobuňkou (viz Obr. 8D), která musí být napájena napětím +12 V. Na zadní části konstrukce s fotobuňkou najdeme proto opět čtyři vývody, dva zemnicí, jeden pro napájení 12 V a jeden pro výstup z fotobuňky (viz Obr. 8E). Naproti fotobuňce musí být umístěna odrazka (viz Obr. 8F). Při průjezdu závodníka přes cílovou čáru se přeruší paprsek vysílaný z fotobuňky k odrazce. Toto přerušení signalizuje projetí závodníka přes cílovou čáru, a tedy jeho dokončení závodu.



Obr. 8: Časomíra Vegasport.

Tento systém by mohl být efektivně využíván i v současných závodech v alpském lyžování. Tato práce se nicméně zabývá časomírou pro závody v běžeckém lyžování. Proto v ní mohou být aplikovány pouze některé poznatky, které jsem získal při analýze tohoto časoměřičského systému.

Část II

NÁVRH A REALIZACE ČASOMÍRY

# ii.1

---

## STARTOVNÍ MECHANISMUS

---

**P**RVNÍ ze základních částí časomíry je startovní mechanismus. Ten zajišťuje proces startu závodníků. V závislosti na typu startu závodu může mít více podob. Pro oba uvažované typy je ale využívána stejná konstrukce. V závodě s intervalovým startem plní funkci startovní branky. Závodník průjezdem startovní brankou zahajuje závod. V závodě s hromadným startem je využita startovací pistole. Ta je kabelem propojena s konstrukcí startovního mechanismu. Výstřelem ze startovací pistole je zahájen závod pro všechny závodníky na startu.

### II.1.1 POŽADAVKY NA STARTOVNÍ MECHANISMUS

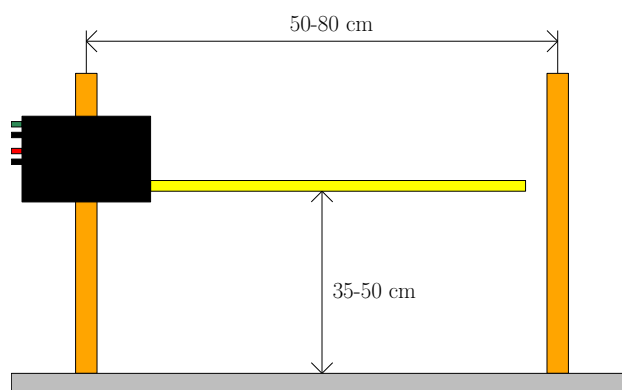
Startovní mechanismus musí být schopný měřit čas pro více typů startu. Konkrétně pro závody s intervalovým a hromadným startem. Intervalový start vkládá předem stanovený časový interval mezi starty jednotlivých závodníků. Běžně se využívá třicetisekundový interval [2] [3]. Startovní povel by měl být signalizován pomocí pípání akustického měniče. Měnič upozorní závodníka 10 sekund před oficiálním časem jeho startu. Dále mu odpočítává posledních 5 sekund do oficiálního času startu. Poslední delší zvukový signál zazní v momentě, kdy měl závodník oficiálně odstartovat.

Závodník může vystartovat téměř kdykoliv. Vystartuje-li však dříve než 3 vteřiny před oficiálním časem startu, jedná se o chybný start. V tomto případě musí štáb rozhodčích závodu (JURY) učinit rozhodnutí. Závodníkovi je obvykle udělena penalizace, případně může být i diskvalifikován. Start v intervalu  $\pm 3$  sekundy od oficiálního času startu se považuje za správný. V tomto případě je závodníkovi přiřazen skutečný čas startu. Pokud pak závodník vystartuje déle než 3 vteřiny po oficiálním času startu, jeho start je označen jako pozdní. V takovém případě odpovídá přiřazený startovní čas oficiálnímu času startu. Závodník nicméně nesmí svým pozdním startem omezit proces startu dalších závodníků [2] [3]. V praxi se však někdy musejí startovní časy zpětně upravovat. Na pozdním startu závodníka může totiž nést vinu pořadatel. V takovém případě se závodníkovi musí přiřadit reálný startovní čas. Pro takové případy musí být zaznamenán skutečný čas startu každého závodníka.

V závodě s intervalovým startem závodník startuje průjezdem startovní brankou. Sloupek, na němž je startovní branka připevněna, by měl být zapuštěn do země či sněhu.

## ii.1.2 POUŽITÉ KOMPONENTY

To zaručuje, že průjezd závodníka se sloupkem nepohne. Zároveň by měla být startovní branka ke sloupku pevně připevněna. Díky tomu by měla být vyloučena možnost jakéhokoliv pootočení konstrukce startovní branky kolem sloupku. Výška tyče startovní branky nad úrovní sněhu by se měla pohybovat mezi 35-50 cm. Délka startovací tyče by měla být 50-80 cm (znázorněno na Obr. 9) [24].



Obr. 9: Parametry startovní branky [24].

Druhým uvažovaným typem startu je hromadný start. Zde startují všichni závodníci najednou. Startovní povely jsou zde ústně udělovány dvě minuty, jednu minutu a 30 sekund před startem. Samotný start závodu je proveden výstřelem ze startovací pistole. Všem závodníkům je následně přiřazen stejný čas startu. Ten je shodný se skutečným časem výstřelu ze startovací pistole.

Všechny startovní časy musí být změřeny s přesností nejméně na setiny sekundy [2] [3].

## II.1.2 POUŽITÉ KOMPONENTY

Nejdůležitější částí startovního mechanismu je vývojová deska Arduino UNO. Ta je využívána ve spojení s Ethernet Shieldem. Shield v tomto případě také umožňuje napájení přes datový kabel (PoE)<sup>2</sup>. Není tedy potřeba využívat napájecí zdroj. Tato sestava je zobrazena na Obr. 10A.

Pro závody s intervalovým startem je nutné využít startovní branku. Tato branka může pracovat ve dvou stavech. Ve stavu otevřeno již závodník projel startovní brankou a zahájil tak svůj závod. Ve stavu zavřeno závodník brankou dosud neprojel a na start závodu tak stále čeká. Změna stavu startovní branky je snímána pomocí magnetického senzoru přiblížení (zobrazen na Obr. 10B). Tento senzor je umístěn ve statické části startovní branky. Magnet se nachází v otočné části startovní branky. Oddálení tohoto magnetu z dosahu senzoru signalizuje otevření startovní branky. Naopak přiblížení mag-

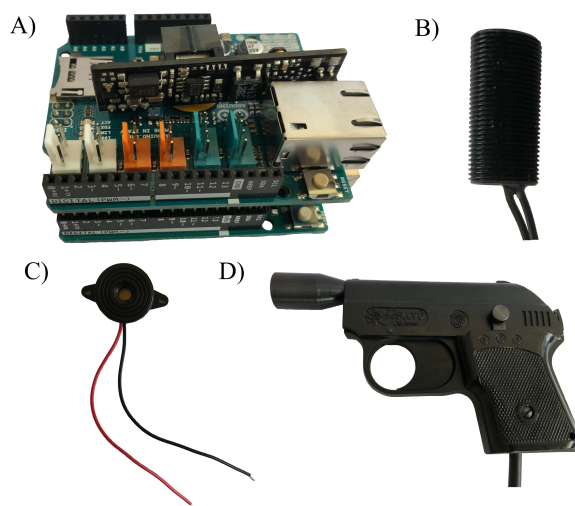
<sup>2</sup> Power over Ethernet (PoE) je síťová funkce, která při využití jediného kabelu umožňuje přenos dat i napájení zařízení [25].

### ii.1.3 KONSTRUKCE STARTOVNÍHO MECHANISMU

netu k senzoru signalizuje uzavření branky. Magnetický senzor byl zvolen z důvodu častého otevírání a zavírání startovní branky. Časté změny stavu by totiž neměly mít vliv na funkčnost magnetického senzoru. Spínací kontakt uvnitř senzoru je hermeticky uzavřen. To zajišťuje zvýšenou odolnost i v nepříznivých podmínkách. Ke startovní brance je dále připevněn akustický měnič (zobrazen na Obr. 10C). Tento měnič v pravidelně definovaných momentech signalizuje pokyny pro start závodníka. Měnič je připojen k Arduino, které signalizaci v daných momentech zajišťuje.

V součinnosti se startovní brankou se u závodů s intervalovým startem využívá LED panel. Použit je jednořádkový osmimístný panel formátu 888 88:88. Na prvních třech místech je zobrazeno číslo aktuálně startujícího závodníka. Další místa jsou využita pro zobrazení zbývajících dob do oficiálního času startu daného závodníka. Použitý LED panel musí být externě napájen ze sítě 230V.

V závodech s hromadným startem se využívá funkce startovací pistole. Použitá startovací pistole byla původně určena pro start časomíry v požárním sportu. To nicméně nebrání jejímu nasazení v závodech v běžeckém lyžování. Startovací pistole je při tomto typu závodu připojena na odpovídající konektor ve startovní brance. Výstřelem z této startovací pistole začíná závod. Použitá startovní pistole je vyobrazena na Obr. 10D.



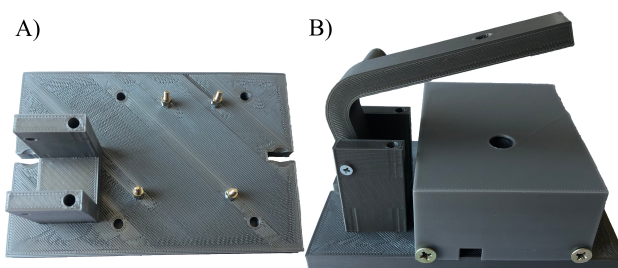
Obr. 10: Komponenty startovního mechanismu.

### II.1.3 KONSTRUKCE STARTOVNÍHO MECHANISMU

Pro komponenty bylo potřeba vytvořit kompaktní konstrukci. Tato konstrukce by měla být využitelná při obou uvažovaných typech startu. Při intervalovém startu má plnit funkci startovní branky. Při hromadném startu poskytuje možnost připojení startovací pistole. Pro návrh této konstrukce jsem zvolil program SolidWorks. Jedná se o hojně

využívaný 3D konstrukční software s nejrůznějšími funkcemi. V tomto CAD programu jsem navrhl základní konstrukci pro startovní mechanismus.

Pro zjištění případných nedostatků návrhu a primární otestování funkčnosti byla konstrukce vytištěna 3D tiskárnou plastů. Kromě nedostatků způsobených nepřesností 3D tisku jsem odhalil i některé chyby v návrhu. Původní návrh sestával z monolitické základny (zobrazeno na Obr. 11A), pohyblivého ramena a krytu pro magnetický senzor. Sestavená konstrukce vyrobená 3D tiskem je zobrazena na Obr. 11B.



Obr. 11: Konstrukce startovního mechanismu vyrobená 3D tiskem.

Po nápravě zjištěných chyb a nepřesností jsem zakoupil hliníkové ploché tyče a zadal výrobu konstrukce. Výroba však nebyla realizovatelná díky monolitčnosti základny. Bylo proto třeba návrh rozdělit na několik menších částí. Ty se vyrobí samostatně a poté se sestaví. Návrh jsem proto zjednodušil a rozdělit na několik samostatných částí sestavitelných do původního tvaru. Vytvořil jsem také v programu SolidWorks výkresy dle požadavků výroby. Poté byla znovu zadána výroba.

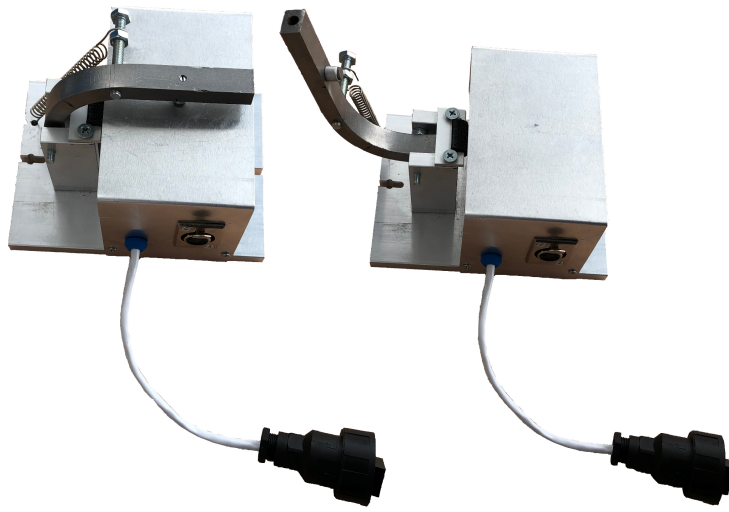
Výroba otočného kloubu byla realizována v dílně KTE ZČU v Plzni. Začala vyvrtáním potřebných otvorů a vyřezáním závitů. Následně byl ohnutím železné tyče pomocí hydraulického ohýbače trubek vytvořen zahnutý profil. Ten mohl být poté využit právě jako otočná část startovní branky. Na povrchu tohoto profilu se nachází část pro uchycení pružiny, která zajišťuje stabilitu otočné části startovní branky v klidu i v pohybu. Poloha úchyty pružiny na otočné části branky musela být mírně pozměněna z důvodu jeho velkého namáhání. Dále se na povrchu ohnutého profilu nachází otvory pro připevnění magnetu a startovací tyče.

Rovněž výroba hliníkového krytu startovní branky proběhla na KTE ZČU v Plzni. To umožnila zejména jednoduchost vrtaných otvorů. Do prvního otvoru byl zapuštěn konektor pro připojení startovací pistole. Druhý pro připojení datového kabelu. Pro tento účel je využíváno izolovaných kabelových spojek, které zabrání kontaktu konektoru datových kabelů se sněhem. Na vnitřní stranu krytu byl poté přilepen akustický měnič.

Ze staršího systému popisovaného v části i.3.4 jsem pro sestavované zařízení využil startovací tyč a mechaniku sloužící k uchycení vyrobené konstrukce startovního mechanismu. Díky dané mechanice může být konstrukce připevněna na různé trubky, tyče nebo stojany.

### ii.1.3 KONSTRUKCE STARTOVNÍHO MECHANISMU

Výsledná konstrukce startovního mechanismu je zobrazena na Obr. 12.



Obr. 12: Vyrobený startovní mechanismus.



# ii.2

---

## CÍLOVÝ MECHANISMUS

---

DALŠÍ ze základních částí časoměřičského systému je cílový mechanismus. Ten zajišťuje proces dokončení závodu. Konstrukce cílového mechanismu je umístěna v úrovni cílové čáry. Na druhé straně cílové čáry se nachází odrazka. Ta vrací vysílaný laserový paprsek do přijímače umístěného v konstrukci cílového mechanismu. Přerušeni laserového paprsku průjezdem závodníka signalizuje jeho dokončení závodu.

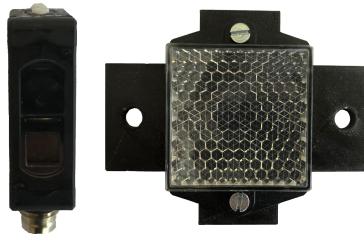
### II.2.1 POŽADAVKY NA CÍLOVÝ MECHANISMUS

Cílové časy (tzn. časy průjezdu závodníků přes cílovou čáru) je možno měřit dvěma způsoby. První možností je systém pro fotofiniš. Druhou pak systém na bázi fotobuněk, které jsou umístěny ve výšce 25 cm nad úrovní sněhu [24]. Systém fotobuněk může mít dvě podoby. Jednou je systém vysílač-přijímač s odrazkou, druhou jednocestný systém vysílač-přijímač. V okolí cílové čáry je po celou dobu závodu přítomen cílový rozhodčí. Ten zaznamenává pořadí, ve kterém závodníci přejeli cílovou čáru. Všechny cílové časy musí být změřeny s přesností nejméně na setiny sekundy. Šířka cílového koridoru pak musí být nejméně 6 metrů [2] [3].

### II.2.2 POUŽITÉ KOMPONENTY

Stejně jako u startovního mechanismu je i u cílového mechanismu nejdůležitějším prvkem celého systému Arduino UNO. To pracuje opět ve spolupráci s Ethernet Shieldem s PoE. Dále je v cílovém mechanismu využita reflexní laserová optická závora. Klíčovým parametrem pro její výběr byl dosah, který je u této závory 10 metrů. Její reakční doba je 250  $\mu$ s. Dokáže tak detekovat i ty nejrychlejší průjezdy závodníků přes cílovou čáru. V běžné praxi se používá v průmyslové výrobě například desek plošných spojů. Potenciometrem umístěným na jejím povrchu je pak možné nastavit citlivost. Systém vysílač-přijímač je zde umístěn v jediné konstrukci. Musí být proto využita odrazka, která paprsek přenášený z vysílače odrazí zpět do přijímače. Používaná optická závora je připojena kabelem na cílové Arduino. Reflexní laserová optická závora s odrazkou je zobrazena na Obr. 13.

### ii.2.3 TESTOVÁNÍ LASEROVÉ OPTICKÉ ZÁVORY

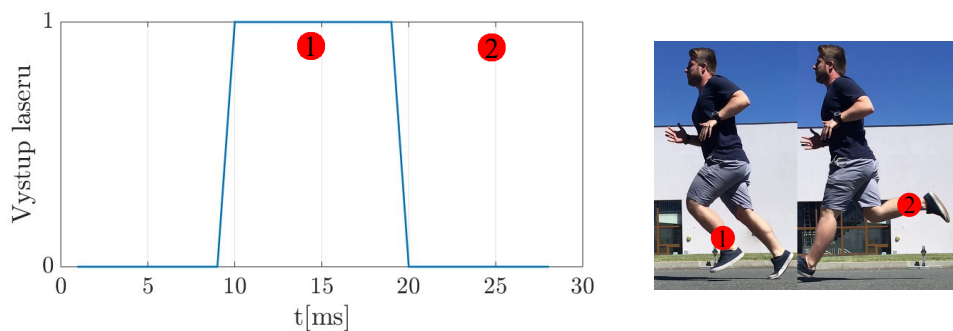


Obr. 13: Reflexní laserová optická závora s odrazkou.

### II.2.3 TESTOVÁNÍ LASEROVÉ OPTICKÉ ZÁVORY

Před dalším postupem ve výrobě cílového mechanismu proběhla zkouška funkčnosti optické závory. Testováno bylo umístění laserové závory proti slunci i po slunci. Testovány byly průběhy běžců v závislosti na rychlosti i jejich počtu. Během zkoušky se v úrovni cílové čáry pořizoval videozáznam v HD rozlišení se snímkovou frekvencí 240 fps. Videozáznam tak mohl následně být detailně zanalyzován. Laserová závora pracovala s přesností 1/1000 sekundy.

Některé problémové situace, které při testování nastaly, lze zanedbat. V průběhu závodu v běžeckém lyžování totiž například nemůže dojít k vykopnutí nohy závodníka nad úroveň laserového paprsku. U běžce zde to mělo za následek nezaznamenání protnutí druhé nohy (2 na Obr. 14). Ta totiž cílovou čáru protнула nad úroveň laserové závory. Tato skutečnost byla měřena při průběhu jednoho běžce při umístění po slunci. Proti slunci byla tedy orientována odrazka. Průběh je znázorněn na Obr. 14.

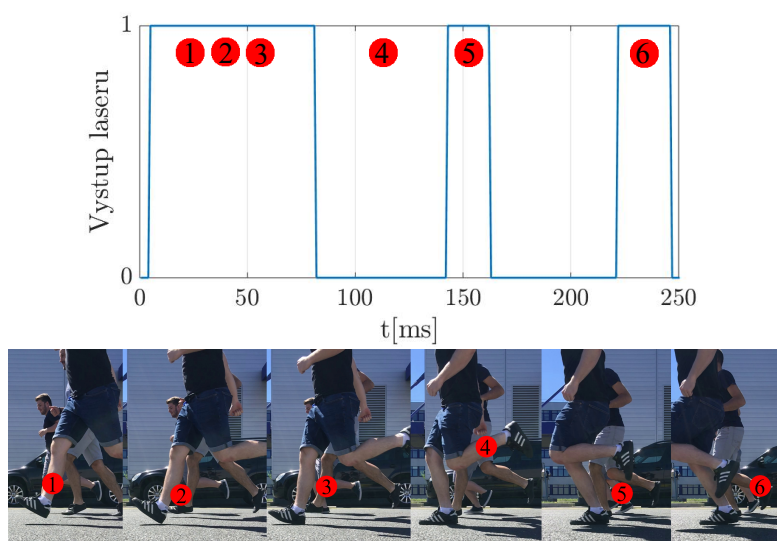


Obr. 14: Průběh jednoho závodníka. Protnutí nohy 1 je zaznamenáno v pořádku. Noha 2 je vykopnuta nad úroveň laseru, není proto zaznamenáno její protnutí.

Dalším problémem, který v závodech v běžeckém lyžování nemůže nastat, je došlápnutí přesně do místa průchodu laseru. Tato skutečnost dle měření zamezí průchodu laserového paprsku průměrně na následujících 60 ms. Tím zabrání optické závoře snímat průběhy dalších závodníků během tohoto časového intervalu.

## ii.2.3 TESTOVÁNÍ LASEROVÉ OPTICKÉ ZÁVORY

Dalším možným problémem je průběh více závodníků současně. Není vyloučeno, že obdobná situace nastane v závodě v běžeckém lyžování. Pro tento případ je počítáno s budoucím rozšířením systému o fotofiniš kameru. Ta rozhodne o pořadí závodníků při vyrovnaném dojezdu. Tato situace byla měřena při průběhu tří běžců s umístěním závory proti slunci. Proti slunci byla tedy v tomto případě orientována optická závora. Tento průběh je znázorněn na Obr. 15. První nohy všech tří běžců (1, 2, 3) protínají laser rychle za sebou. Dokonce tak, že než první noha z úrovně laseru zmizí, dostane se na tuto úroveň noha dalšího závodníka. Druhá noha závodníka nejbližše kameře (4) je pak při protnutí cílové čáry nad úrovní laserové závory. Protnutí proto není zaznamenáno. Zbylé dvě nohy (5, 6) byly snímány správně.

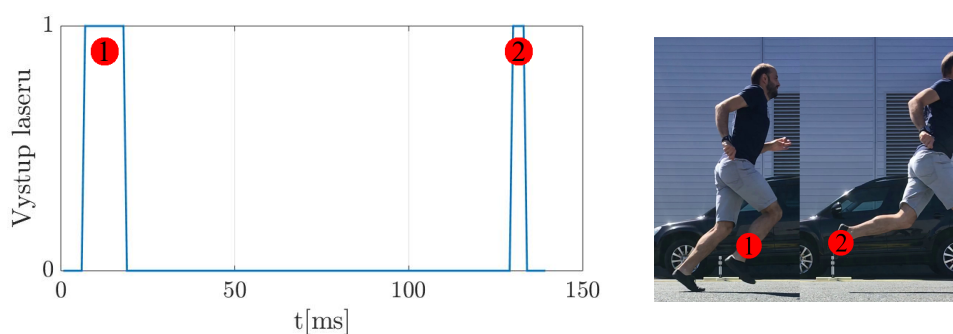


Obr. 15: Průběh několika závodníků současně. Protnutí nohou 1, 2 a 3 je zaznamenáno jako jediné. Noha 4 je vykopnuta nad úroveň laseru, není proto zaznamenáno její protnutí. Protnutí nohou 5 a 6 jsou zaznamenána v pořádku.

Následně provedená měření neukázala jiné problematické situace, které by v závodě mohly nastat. Snímané průběhy odpovídaly videozáznamu. Ukázkovým průběhem pak je průběh jednoho běžce při střední rychlosti (zobrazeno na Obr. 16). Toto měření probíhalo při umístění optické závory proti slunci.

Z tohoto testování vyplývá, že je možné tento laser využít pro závody v běžeckém lyžování. Většina nedokonalostí měření byla způsobena tím, že se při tomto testování pouze běhalo. Dále z měření vyplývá, že nezáleží na orientaci optické závory ani odrazky vůči slunci. Při obou těchto situacích odpovídaly výsledky testu videozáznamu. Rovněž bylo zjištěno, že laserová závora snímá dle videozáznamu správně pomalejší i rychlejší průběhy. Rychlost finišujícího závodníka tak nebude mít vliv na přesnost snímání jeho průběhu.

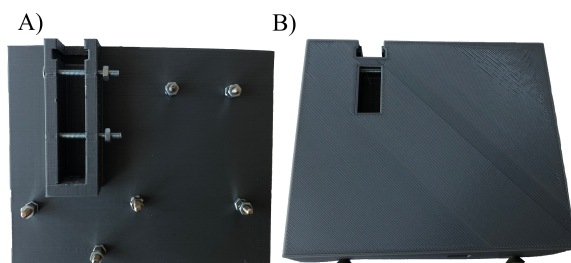
#### ii.2.4 KONSTRUKCE CÍLOVÉHO MECHANISMU



Obr. 16: Ukázkový průběh jednoho závodníka. Protnutí nohou 1 i 2 jsou zaznamenána v pořádku.

#### II.2.4 KONSTRUKCE CÍLOVÉHO MECHANISMU

Výroba konstrukce cílového mechanismu probíhala stejně jako v případě startovního mechanismu. Po původním návrhu v konstrukčním CAD softwaru SolidWorks jsem vytiskl konstrukci na 3D tiskárně plastů. I zde se vyskytovala monolitická základna (zobrazena na Obr. 17A). Kromě základny konstrukci tvořil ještě kryt. Po sestavení vytištěných částí (zobrazeno na Obr. 17B) jsem objevil několik nesrovnalostí, které jsem v další verzi návrhu odstranil. Dále jsem musel upravit návrh stejným způsobem jako v případě startovního mechanismu – zjednodušit jej a rozdělit do více částí.



Obr. 17: Konstrukce cílového mechanismu vytištěná na 3D tiskárně.

Po úpravě návrhu v programu SolidWorks následovala výroba. Na rozdíl od výroby konstrukce startovního mechanismu byl kryt v tomto případě vyroben externě. Hliníkový plech byl pomocí laseru vyřezán a následně ohnut do požadovaného tvaru. V dílně KTE ZČU v Plzni byla vyrobena pouze část sloužící k upevnění konstrukce cílového mechanismu na stativ.

#### ii.2.4 KONSTRUKCE CÍLOVÉHO MECHANISMU

Výsledná konstrukce cílového mechanismu je zobrazena na Obr. 18.



Obr. 18: Vyrobený cílový mechanismus.

# ii.3

---

## KUFR S ELEKTRONIKOU

---

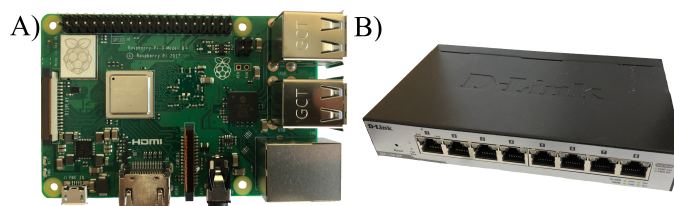
**D**ALŠÍ ze základních částí tohoto časoměřičského systému je kufr s elektronikou. Jedná se o srdce celého časoměřičského systému. Prostřednictvím Ethernet switche umístěného v kufru totiž lze komunikovat s jednotlivými částmi systému. Ještě více funkcí má rovněž v kufru umístěné Raspberry Pi. To řídí celý proces závodu, od příprav až po jeho ukončení. Dále jsou zde shromažďována veškerá data o závodě a závodnících. V neposlední řadě zde probíhá výpočet celkových výsledků, stanovení pořadí a následně i tvorba výsledkové listiny.

### II.3.1 POUŽITÉ KOMPONENTY

Samotný kufr je odolný a je určen pro extrémní venkovní použití. Běžně se využívá při práci záchranných sborů, armády či letectva. Další oblastí využití pak jsou extrémní sporty. Kufr je vodotěsný, tlakuvzdorný a teplotně odolný. Je tedy využitelný i při závodech v běžeckém lyžování. Dále je zde využit napájecí konektor. Ten může být po sepnutí spínače připojen na jmenovité střídavé napětí 250V. Šest zásuvek RJ-45 pak slouží pro připojení datových kabelů. Dvě z těchto zásuvek jsou použity pro účely budoucího rozšíření časoměřičského systému o kamery.

Uvnitř kufru se nachází jednodeskový mikropočítač Raspberry Pi 3 Model B (zobrazeno na Obr. 19). Tato deska zastřešuje celý časoměřičský systém. Zasilá informace o startu či konci závodu, zpracovává veškerá získaná data a plní mnohé další funkce. Raspberry Pi je nutné napájet 5V ze speciálního adaptéru. S tím bylo třeba počítat při výběru a návrhu samotného kufru. V kufru je dále umístěn Ethernet switch s osmi porty, které umožňují napájení přes datový kabel (PoE). Z 8 dostupných portů je možné aktivně využívat jen 7 z nich. Připevnění tohoto zařízení ke konstrukci v kufru totiž znemožňuje využití jednoho z krajních portů. Rovněž Ethernet switch je nutné napájet speciálním adaptérem, a to násobně větším, než je napájeno Raspberry Pi. I tuto skutečnost bylo tedy nutno brát v potaz při výběru použitého kufru.

### ii.3.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ



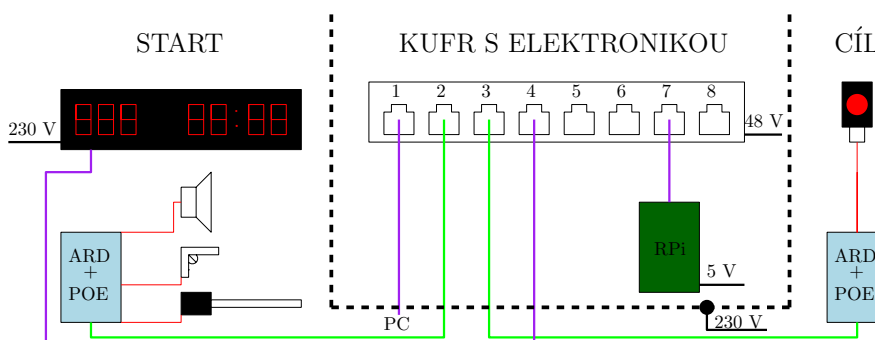
Obr. 19: Komponenty kufru s elektronikou.

### II.3.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ

Schéma zapojení časoměřičského systému je znázorněno na Obr. 20. Je patrné, že i u propojování systému je na místě rozdělení na startovní a cílový mechanismus a kufr s elektronikou. Základem startovního i cílového mechanismu je vývojová deska Arduino UNO (v Obr. 20 označena ARD) s Ethernet shieldem se schopností PoE (označen POE). Ke startovnímu Arduino je pomocí propojovacích vodičů připojena startovací pistole, startovní branka a akustický měnič. K cílovému Arduino je stejným způsobem připojena reflexní laserová optická závora. Tato propojení jsou ve schématu znázorněna červeně.

LED panel u startovního mechanismu je napájen z externího zdroje napětí 230V. Připojen je pomocí datového kabelu UDP k Ethernet switchi. Stejným způsobem je k Ethernet switchi připojen uživatelský počítač a Raspberry Pi (na Obr. 20 zobrazeno jako RPi), které se nachází rovněž v kufru s elektronikou. Toto propojení je ve schématu znázorněno fialově. Použitý Ethernet switch je schopen napájení přes datový kabel. Tato technologie je využívána pro napájení cílového a startovního Arduina. Propojení kabelem UDP s využitím napájení přes PoE je ve schématu znázorněno zelenou barvou.

Raspberry Pi a Ethernet switch je nutno napájet speciálními adaptéry. Raspberry Pi musí být napájeno 5V, Ethernet switch 48V. Tyto adaptéry jsou situovány přímo do kufru s elektronikou. Na konektor zapuštěný do kufru se přivádí napětí 230V, což je rovněž ve schématu znázorněno. Uvnitř kufru je pak realizováno připojení daných napájecích adaptérů na tento konektor.



Obr. 20: Schéma zapojení časoměřičského systému.

## II.3.3 VÝROBA KUFRU S ELEKTRONIKOU

V první fázi výroby se řešily úpravy povrchu samotného kufru. Pro připojení potřebného napájení bylo potřeba na kufr umístit napájecí konektor. Díky tomuto konektoru je uvnitř kufru rozvedeno napětí. To bude využito pro napájení Raspberry Pi a Ethernet switche. Další úpravou povrchu kufru bylo vyvrtání šesti otvorů. Do těchto otvorů byly následně umístěny zásuvky RJ-45. Na jejich vývody na druhé straně (uvnitř kufru) byl napájen datový kabel s konektorem RJ-45. U napájecího konektoru a zásuvek je klíčové jejich umístění. I přes přítomnost izolace je totiž žádoucí co nejvíce zabránit jejich kontaktu se sněhem.

Před výrobou vnitřního prostoru kufru s elektronikou bylo nutné promyslet rozmístění jednotlivých komponentů. Nejdůležitějším kritériem bylo efektivní využití prostoru. Do kufru se totiž musí vejít Ethernet switch, Raspberry Pi a jejich adaptéry. Bylo rozhodnuto vytvořit kufr se dvěma patry. Tato patra budou oddělena konstrukcí z měkčeného PVC, ke které budou použité komponenty připevněny. Ve spodním patře se nachází adaptéry. Ty jsou připevněny ke konstrukci pomocí plastových úchytů zhotovených na 3D tiskárně. Otvorem v měkčeném PVC jsou vedeny z adaptéru kabely pro napájení zařízení v horním patře a datové kabely ze zásuvek RJ-45.

V horním patře je umístěno Raspberry Pi. Deska je vložena do krabičky, která je připevněna ke konstrukci. Toto zamezí jejímu pohybu uvnitř kufru. Vedle desky Raspberry Pi je situován Ethernet switch. Ten je připevněn opět úchyty vyrobenými na 3D tiskárně plastů. Do zbývajících portů jsou připojeny datové kabely vedené ze zásuvek RJ-45 a Raspberry Pi. Výsledný kufr s elektronikou je zobrazen na Obr. 21.



Obr. 21: Vyrobený kufr s elektronikou.



# ii.4

---

## PROGRAMOVÁ ČÁST

---

**V**ELMI důležitou částí časoměřičského systému je program, na jehož základě celý systém pracuje. V tomto systému bylo programováno startovní Arduino, cílové Arduino a Raspberry Pi v kufříku s elektronikou. Arduina se starají vždy o jednu konkrétní část systému - start nebo cíl. Naopak Raspberry Pi celý systém spojuje a zpracovává veškerá získaná data.

### II.4.1 PROGRAM PRO STARTOVNÍ ARDUINO

Kód pro Arduino lze vytvářet ve speciálním vývojovém prostředí Arduino IDE. Programuje se zde v jazyce Wiring. Jedná se ale pouze o soubor funkcí z jazyka C/C++, které lze z daného kódu volat. Kód vytvořený v tomto prostředí prochází menšími změnami a následně je předán do kompilátoru C/C++. Další možností, jak Arduino programovat, je vytváření kódu v jiném vývojovém prostředí přímo v jazyce C/C++ [26]. V této práci jsem kód vytvářel ve vývojovém prostředí Arduino IDE.

V úvodu kódu jsou definovány piny startovního Arduina. Na ty jsou připojeny akustický měnič, magnetický senzor a konektor pro startovací pistoli. Také jsou zde nastaveny IP a MAC adresy Arduina. Dále je nutné definovat IP adresy a porty zařízení, na která chceme technologií Ethernet zasílat data, případně od kterých data přijímáme. Komunikaci mezi těmito zařízeními umožňuje Ethernet shield, který je zapojený do Arduina. Pro tuto komunikaci je potřeba v kódu využít knihovnu *Ethernet.h*.

Následně dojde ke zvolení typu závodu a přijetí požadovaných informací o závodě. Jedná se o čísla prvního a posledního startujícího závodníka a případně časový rozdíl mezi starty závodníků. Tyto informace jsou přijímány od mikropočítače Raspberry Pi. Je-li zvolen hromadný start, Arduino přijme informaci o číslech prvního a posledního závodníka. Tento moment je označen jako čas startu programu. Poté Arduino čeká na výstřel ze startovací pistole. Kontrola, zda již pistole vystřelila, probíhá každých 10 milisekund. Stejný čas je po každé takové kontrole připočítán do proměnné času od startu programu. Po výstřelu ze startovací pistole jsou do Raspberry Pi odeslána čísla startujících závodníků a aktuální čas od startu programu.

## ii.4.2 PROGRAM PRO CÍLOVÉ ARDUINO

Komplikovanější je struktura kódu při zvolení intervalového startu. Zde kromě čísel prvního a posledního startujícího přijímá Arduino i časový rozdíl mezi starty závodníků. Také zde je tento moment označen jako čas startu programu. V tento moment pak začíná odpočítávání času do startu prvního závodníka. V definovaných časových intervalech je na LED panel Ethernet technologií odesíláno startovní číslo závodníka a zbývající čas do jeho startu. Dále je v zadaných okamžicích měněn stav pro pin Arduina, na který je připojen akustický měnič. To zajišťuje odpovídající zvukovou signalizaci. Stejně jako u hromadného startu, i zde je každých 10 milisekund detekováno možné otevření startovní branky. Po ukončení startovního procesu daného závodníka je do Raspberry Pi odesláno několik informací. Číslo závodníka, aktuální čas od startu programu a zpráva o průběhu startu daného závodníka. Vystartuje-li závodník dříve než 3 sekundy před oficiálním časem startu, jedná se o předčasný start. Start by měl být správně proveden v intervalu  $\pm 3$  sekund od oficiálního času startu. Pokud závodník vystartuje až po tomto časovém intervalu, jeho start je označen jako pozdní. Závodník však nesmí svým pozdním startem narušit startovní proces následujících závodníků [2] [3]. Má proto možnost odstartovat se zpožděním maximálně poloviny rozdílu mezi starty závodníků. Po takovém časovém intervalu je jeho startovní proces ukončen. Raspberry Pi je vždy odeslána informace o průběhu startu daného závodníka. Po ukončení startovního procesu závodníka se opakuje stejný proces pro start následujícího závodníka.

Před odesláním dat je nutná jejich konverze na pole bajtů. V tomto datovém typu budou v přijímacích zařízeních bez problémů rozpoznána. V těchto zařízeních pak mohou být konvertována zpět do původních datových typů a může se s nimi dále pracovat.

## II.4.2 PROGRAM PRO CÍLOVÉ ARDUINO

Kód je ve svém úvodu téměř totožný s kódem startovního Arduina. Rozdílné jsou pouze IP a MAC adresy tohoto zařízení a definice pinů. Zde je využíván pouze jeden pin pro připojení reflexní laserové optické závory.

Moment obdržení informace o zahájení závodu je v kódu označen jako čas startu programu. Následně je každých 10 milisekund detekována změna stavu pinu, na který je připojena laserová závora. Změna signalizuje průjezd některého ze závodníků přes cílovou čáru. Následně se do Raspberry Pi odešle aktuální čas od startu programu k dalšímu zpracování.

## II.4.3 PROGRAM PRO RASPBERRY PI

Na rozdíl od Arduina je Raspberry Pi mikropočítač. V tomto mikropočítači běží standardní operační systém Linux. Stejně jako u Arduina je možné využít programovacího jazyka C/C++. Je však i několik dalších možností. Mezi nejčastěji používané programovací jazyky dále patří Java či Python [27]. Pro účely této práce jsem využil programovací jazyk Java ve vývojovém prostředí NetBeans IDE.

Nejprve jsem využil Linuxovou distribuci pro Raspberry Pi Raspbian. Při práci s Raspberry Pi jsem dále často využíval program PuTTY. Jedná se o terminál pro připojení přes SSH. Zde byly mimo jiné nastaveny statické IP adresy samotného Raspberry Pi a veškerých klientů (startovního Arduina, cílového Arduina, LED panelu).

V kódu pro Raspberry Pi je využito objektově orientovaného programování. Základem je třída *Race*. V této třídě se mimo jiné nachází metoda, která uživatelem nahraná data o závodě importuje do Javy. S těmito informacemi pak lze celý závod pracovat. Dále třída *Race* obsahuje metody, které zahajují nový závod či ten stávající ukončují. V neposlední řadě se zde vytváří výsledné pořadí závodníků.

Další využitou třídou je *Athlete*. Objektem této třídy je jeden konkrétní závodník. Tato třída obsahuje veškeré informace o tomto závodníkovi. Například startovní číslo, rok narození či oddíl, který závodník reprezentuje. Dále jsou zde obsaženy veškeré časy daného závodníka, údaje o korekcích, penalizacích či o stavech DNS (neodstartoval), DNF (nedokončil) a DSQ (diskvalifikován).

Důležitá třída *UDP* řídí komunikaci časoměřičského systému. Obsluhuje příjem informací z různých částí systému i odesílání dat z Raspberry Pi. Při přijímání je v první řadě detekována IP adresa zařízení, ze kterého informace přichází. Jedná-li se o IP adresu cílového Arduina, přijatá data obsahují změřený čas. Data jsou následně z pole bytů převedena na formát long a lze je dále zpracovávat. V případě, že se jedná o IP adresu startovního Arduina, postup je velice podobný. Jediným rozdílem je, že startovní Arduino odesílá kromě času i číslo závodníka a jeho podezření ze špatného startu. Tyto zpracované informace jsou následně přiřazeny závodníkovi s daným startovním číslem. Jedná-li se však o IP adresu uživatelského zařízení, postup je zcela odlišný. První prvek každé přijímané informace představuje příkaz pro akci, která se má vykonat. Možností je více než 30. Naprostá většina těchto možností je však využívána pro zobrazování dat v uživatelském prostředí, případně jejich zadávání. Jedná se například o příkaz *setPenalization()*, která nastaví určitému závodníkovi zadanou penalizaci. Naopak příkaz *getPenalizations()* odešle informace o penalizacích jednotlivých závodníků do uživatelského zařízení. Zde budou následně tyto informace zobrazeny obsluze časoměry.

Třída *Arduino* obsahuje tři metody, které odesílají pokyny do Arduina. Základními dvěma pokyny jsou start či ukončení závodu. Startovnímu Arduinu se rovněž zasílá informace o typu startu, číslech závodníků a časovému rozestupu mezi jednotlivými starty.

*Display* je třída obsluhující LED panel v čas, kdy neprobíhá intervalový start. Metoda *setClock()* na LED panelu zobrazuje aktuální čas. V případě probíhajícího intervalového startu je panel řízen startovním Arduinem. Na panelu je zobrazeno startovní číslo a zbývající čas do startu závodníka.

Další třídou je *Report*. Zde se generují startovní a výsledkové listiny. Startovní listina obsahuje základní informace o závodě a údaje o startujících závodnících. Výsledková listina je doplněna o teplotu, za které závod proběhl, a o konečné výsledky závodu. Závodníci jsou ve výsledkové listině seřazeni dle konečného pořadí. Kromě jejich celkového

#### ii.4.4 UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ

času je uvedena i jejich ztráta na vítěze. Obě listiny se generují ve formátu tex, pdf a csv. Příklad startovní a výsledkové listiny je zobrazen na Obr. 25.

Třída *Log* zaznamenává provedené procesy a případné chyby, ke kterým v jejich průběhu dochází. Využívána bude především při různých budoucích úpravách a vylepšeníh kódu. Z důvodu financování prototypové výroby lyžařským oddílem nemohou být k práci přiloženy konkrétní ukázky kódu.

#### II.4.4 UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ

Uživatelské prostředí je koncipováno jako webová stránka, která je umístěna na serveru Apache přímo v Raspberry. V něm může obsluha časomíry řídit celý závod. Web byl vytvořen ve skriptovacím programovacím jazyce PHP. Prvním krokem je nahrání startovní listiny a údajů o závodě ve formátu csv. Pro jednoduchost je dostupná možnost stažení šablony těchto souborů. Po kontrole nahraných údajů lze přejít k zahájení samotného závodu.

V průběhu závodu a po jeho skončení lze závodníkům přiřazovat cílové časy, penalizace či stavy DNS, DNF a DSQ. Dále je možné korigovat startovní a cílové časy závodníků. Rovněž je zde možnost zadání teploty, která byla v průběhu závodu změřena. Po zadání všech potřebných hodnot lze ukončit závod a vygenerovat výsledkovou listinu. Samozřejmostí je možnost stažení této výsledkové listiny přímo do zařízení, z něhož je časoměřičský systém obsluhován.

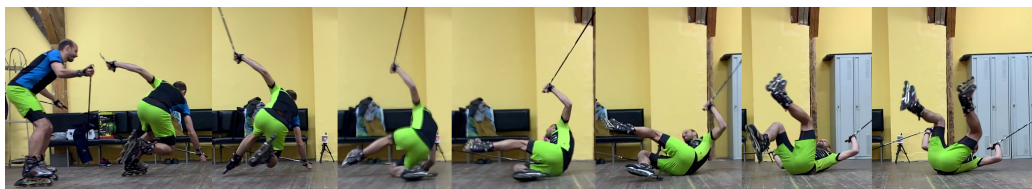
Část III

TESTOVÁNÍ ČASOMÍRY

# iii.1

## PRŮBĚH TESTOVÁNÍ

TESTOVÁNÍ proběhlo ve dvou fázích. První fáze testování se uskutečnila v hale Sokol Plzeň III. V této fázi byla testována mechanická část spolu se základním softwarem. Především schopnost laseru zaznamenání rychlých průjezdů závodníků na kolečkových bruslích a netradiční protnutí laserového paprsku v cíli. Příkladem testu netradičního protnutí je simulace pádu v rovině cílového laseru, která je zachycena na Obr. 22. Dále bylo testováno protnutí paprsku holemi či přeskočení laserového paprsku.



Obr. 22: Simulace pádu při protnutí laserového paprsku.

Tímto měřením byla ověřena schopnost laserové optické závory snímat i rychlá a komplikovaná protnutí. Rovněž byla ověřena celková funkčnost startovního i cílového mechanismu. Tento test nicméně poukázal na značné nedostatky v softwarové části práce.

Po nutných úpravách v kódu Arduina, Raspberry Pi i uživatelského prostředí byla provedena druhá fáze testování. Pro jeho realizaci bylo dostačující prostředí laboratoří KTE ZČU v Plzni. Ověřována byla funkčnost kompletního časoměřičského systému. Testován byl nejprve závod s hromadným startem a poté závod s intervalovým startem. Jako poslední proběhlo měření závodu s hromadným startem trvajícím 3 minuty. Jednotlivé části časoměřičského systému využívané při testování jsou zobrazeny na Obr. 23.



Obr. 23: Části časoměřičského systému použité pro testování, zleva: zobrazovací LED panel, startovní mechanismus, cílový mechanismus, kufr s elektronikou.

# iii.2

---

## DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

---

**P**rvním měřením byl závod s hromadným startem, kterého se účastnili 3 závodníci. Před závodem byla vygenerována startovní listina (zobrazena na Obr. 25A). Po výstřelu ze startovací pistole byl v klikacím webu správně zobrazen čas startu. V průběhu měření byly provedeny tři průběhy přes cílovou čáru. Optickou závorou bylo zaznamenáno celkem 6 protnutí laserového paprsku. Změřené časy těchto protnutí bylo možné přiřazovat závodníkům jakožto cílové časy v uživatelském prostředí. Závodníkům byly přiřazovány také korekce a penalizace. Dále byla zadána teplota, při které závod proběhl. Zadané hodnoty jsou zobrazeny na snímku uživatelského prostředí (Obr. 25B). Ve spodní části tohoto snímku je zároveň znázorněno přiřazování cílových časů závodníkům. Již na tomto snímku je evidentní, že korekce startovního a cílového času jsou připočítány k času startu. Oficiální časy jsou totiž oproti změřeným zvětšeny právě o hodnotu dané korekce. Po této vizuální kontrole následovalo ukončení závodu a vygenerování výsledkové listiny (Obr. 25C). To mělo za cíl ověření spolupráce mezi uživatelským prostředím a časoměřičským systémem.

Při pohledu na výsledkovou listinu lze potvrdit funkčnost zadávání penalizace a jejího započítávání do výsledného času. Výsledné časy jsou určeny rozdílem mezi oficiálními cílovými a startovními časy včetně jejich korekcí. Výsledný čas je určen s přesností na jednu desetinu sekundy při zaokrouhlení dolů [2] [3]. Ztráta je následně vypočítána jako rozdíl výsledného času vítěze závodu a výsledného času daného závodníka. Po kontrolním výpočtu časů lze potvrdit, že výsledné časy a pořadí závodníků ve výsledkové listině rovněž odpovídají hodnotám z klikacího webu.

V dalším měření byl hromadný start nahrazen startem intervalovým. Využívána byla tedy startovní branka. Po vygenerování startovní listiny (Obr. 26A) proběhly pro účely testování 3 možné typy startů - správný start, předčasný start a neprojetí startovní branou. Závodník 2 nedojel do cíle, byl mu tedy přidělen stav DNF (nedokončil). Závodník 3 nevystartoval do závodu, jemu byl přiřazen stav DNS (neodstartoval). Tyto údaje jsou zobrazeny ve webové stránce, jejíž snímek je zachycen na Obr. 26B. Ve výsledkové listině (Obr. 26C) jsou kromě správného výpočtu času pro Závodníka 1 odpovídajícím způsobem zobrazeny přidělené stavy Závodníků 2 a 3.

Poslední měření se zaměřilo na test přesnosti měření času. Start závodu byl hromadný. Souběžně s měřením časoměřičského systému probíhalo ruční měření na stopkách mo-

## DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

bilního telefonu. Závodníci (v pořadí Závodník 1, Závodník 2, Závodník 3) protuli laserový paprsek v cíli postupně 1 minutu, 2 minuty a 3 minuty po startu závodu dle ručního měření.

Výsledné časy zobrazené ve výsledkové listině (Obr. 27A) odpovídají po výpočtu časům na snímku uživatelského prostředí (Obr. 27B). Při porovnání s ručním měřením je však patrné, že za jednu minutu dojde ke zpoždění časoměřičského systému přibližně o jednu sekundu.

Během provedených měření nebyla otestována pouze funkčnost časoměřičského systému, ale i mnohem obecnější činnosti. Kupříkladu náročnost jeho ovládání či jeho přeprava. Pro přípravu systému na závod je dostačující účast jediného člověka, jelikož je poměrně jednoduchá. Obsluha časomíry nicméně musí být v práci se systémem dostatečně proškolená. Transport systému je značně zjednodušen pořízením kufru, do kterého je možné umístit velkou část systému. Přeprava systému v kufru zakoupeném pro tento účel je znázorněna na Obr. 24. Zbytek systému pak tvoří již pouze kabeláž, stativy a kufr s elektronikou.



Obr. 24: Přeprava časoměřičského systému v kufru.



A) Test časoměřického systému

### Startovní listina

Datum	Místo	Délka závodu	Styl	Typ startu
22.05.2019	Plzeň	10 m	V	Hromadný start

Testovací jízda

Startovní číslo	Jméno	Rok narození	Oddíl
131	Závodník 1	1990	FEL ZCU
132	Závodník 2	1995	FEL ZCU
133	Závodník 3	2000	FEL ZCU

C) Test časoměřického systému

### Výsledková listina

Datum	Místo	Teplota vzduchu	Délka závodu	Styl	Typ startu
22.05.2019	Plzeň	15 °C	10 m	V	Hromadný start

Kategorie

Pořadí	Startovní číslo	Jméno	Rok narození	Oddíl	Penalizace	Výsledný čas	Ztráta
1.	132	Závodník 2	1995	FEL ZCU	00:00	00:08.1	00.0
2.	133	Závodník 3	2000	FEL ZCU	00:00	00:32.5	24.4
3.	131	Závodník 1	1990	FEL ZCU	00:30	00:37.0	28.9

B) Informace o závodě:

Název závodu	Datum	Místo	Délka závodu	Styl	Typ závodu	Kategorie	Ředitel závodu	Sekretář závodu	Teplota
Test časoměřického systému	22.05.2019	Plzeň	10 m	V	Hromadný start	Testovací jízda	Ondřej Carvan	Ondřej Carvan	15

Prohibující závod:

Startovní číslo	Změřený startovní čas	Korekce startovního času v milisekundách	Oficiální startovní čas	Výběr cílového času	Změřený cílový čas	Korekce cílového času v milisekundách	Oficiální cílový čas	Penalizace v milisekundách	DNS DNF DSQ
131	14:37:01.22 Start OK	0	14:37:01.22	14:37:08.28	14:37:08.28	0	14:37:08.28	30000	
132	14:37:01.22 Start OK	10000	14:37:11.22	14:37:19.32	14:37:19.32	0	14:37:19.32	0	
133	14:37:01.22 Start OK	0	14:37:01.22	14:37:28.74	14:37:28.74	5000	14:37:33.74	0	
Odeslat data									
Ukončit závod									

Startovní listina ve formátu PDF  
 Výsledková listina ve formátu PDF  
[Výsledková listina ve formátu CSV](#)

Obr. 25: 1. testovací závod: A) vygenerovaná startovní listina, B) snímek uživatelského prostředí zachycující zadané hodnoty, C) vygenerovaná výsledková listina.

A) Test časoměřického systému

### Startovní listina

Datum	Místo	Délka závodu	Styl	Typ startu
22.05.2019	Plzeň	10 m	V	Intervalový start

Testovací jízda

Startovní číslo	Jméno	Rok narození	Oddíl
131	Závodník 1	1990	FEL ZČU
132	Závodník 2	1995	FEL ZČU
133	Závodník 3	2000	FEL ZČU

C) Test časoměřického systému

### Výsledková listina

Datum	Místo	Teplota vzduchu	Délka závodu	Styl	Typ startu
22.05.2019	Plzeň	16 °C	10 m	V	Intervalový start

Kategorie

Pořadí	Startovní číslo	Jméno	Rok narození	Oddíl	Výsledný čas	Ztráta
1.	131	Závodník 1	1990	FEL ZČU	00:49.4	00.0
2.	132	Závodník 2	1995	FEL ZČU	DNF	-
3.	133	Závodník 3	2000	FEL ZČU	DNS	-

Ředitel závodu | Sekretář závodu  
Ondřej Carvan | Ondřej Carvan

B) Informace o závodě:

Název závodu	Datum	Místo	Délka závodu	Styl	Typ závodu	Kategorie	Ředitel závodu	Sekretář závodu	Teplota
Test časoměřického systému	22.05.2019	Plzeň	10 m	V	Intervalový start	Testovací jízda	Ondřej Carvan	Ondřej Carvan	16

Probíhající závod:

Startovní číslo	Změřený startovní čas	Korekce startovního času v milisekundách	Výběr cílového času	Změřený cílový čas	Korekce cílového času v milisekundách	Oficiální cílový čas	Penalizace v milisekundách	DNS, DNF, DSQ
131	14:45:33.58 Start OK	0	14:46:23.01	14:46:23.01	0	14:46:23.01	0	
132	14:45:39.96 Předčasný start	0	Cílový čas nevybrán	-	0	-	0	
133	14:46:00.60 Neprojel brankou	0	Cílový čas nevybrán	-	0	-	0	

Ukončit závod

Startovní listina ve formátu PDF  
Výsledková listina ve formátu PDF  
[Výsledková listina ve formátu CSV](#)

Obr. 26: 2. testovací závod: A) vygenerovaná startovní listina, B) snímek uživatelského prostředí zachycující zadané hodnoty, C) vygenerovaná výsledková listina.

DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

A) Test časoměříčského systému

Výsledková listina

Datum	Místo	Teplota vzduchu	Délka závodu	Styl	Typ startu
22.05.2019	Plzeň	17 °C	10 m	V	Hromadný start

Kategorie

Pořadí	Startovní číslo	Jméno	Rok narození	Oddíl	Výsledný čas	Ztráta
1.	131	Závodník 1	1990	FEL ŽČU	00:59.2	00.0
2.	132	Závodník 2	1995	FEL ŽČU	01:58.3	59.1
3.	133	Závodník 3	2000	FEL ŽČU	02:57.6	58.4

Ředitel závodu | Sekretář závodu  
 Ondřej Carvan | Ondřej Carvan

B) Informace o závodě:

Název závodu	Datum	Místo	Délka závodu	Styl	Typ závodu	Kategorie	Ředitel závodu	Sekretář závodu	Teplota
Test časoměříčského systému	22.05.2019	Plzeň	10 m	V	Hromadný start	Testovací jízda	Ondřej Carvan	Ondřej Carvan	17

Probíhající závod:

Startovní číslo	Změřený startovní čas	Korekce startovního času v milisekundách	Oficiální startovní čas	Výběr cílového času	Změřený cílový čas	Korekce cílového času v milisekundách	Oficiální cílový čas	Penalizace v milisekundách	DNS DNF DSQ
131	14:58:00.77 Start OK	0	14:58:00.77	14:58:59.97	14:58:59.97	0	14:58:59.97	0	
132	14:58:00.77 Start OK	0	14:58:00.77	14:59:59.10	14:59:59.10	0	14:59:59.10	0	
133	14:58:00.77 Start OK	0	14:58:00.77	15:00:58.37	15:00:58.37	0	15:00:58.37	0	

Odeslat dále

Ukončit závod

Startovní listina ve formátu PDF  
 Výsledková listina ve formátu PDF  
[Výsledková listina ve formátu CSV](#)

Obr. 27: 3. testovací závod: A) vygenerovaná výsledková listina, B) snímek uživatelského prostředí zachycující zadané hodnoty.

# iii.3

---

## ZHODNOCENÍ FUNKČNOSTI ČASOMÍRY

---

PRVNÍ testování časoměřičského systému potvrdilo funkčnost mechanické části systému, ale poukázalo na problémy v části programové. Po mechanické stránce se tak vyrobený časoměřičský systém i přes menší nedokonalosti jeví jako využitelný v praxi.

Druhé testování systému se věnovalo především ověření funkčnosti jeho softwarové části. Byla nalezena kritická chyba systému při určování času. Chyba je do systému vnášena použitím funkce *delay()* ve startovním i cílovém Arduinu. Po vykonání každého opakování je v kódu použito *delay(10)*, což na následujících 10 milisekund zablokuje průběh dalších iterací. Časoměřičský systém následně považuje za dobu vykonání jedné iterace právě 10 ms. V této hodnotě ovšem není uvažován čas vykonání zbylých příkazů v kódu. V každém opakování se tak systém opozdí právě o dobu vykonání těchto příkazů.

Tento problém má několik dostupných řešení. Prvním je využití funkce *millis()*. Ta vrací čas od startu programu. Řešením by tedy bylo vždy po vykonání daného opakování zavolat funkci *millis()*. Od vrácené hodnoty je dále nutné odečíst hodnotu vrácenou při předchozí iteraci. Následně by bylo možné využít funkci *delay()*, jejímž parametrem by byl čas 10 milisekund zkrácený o rozdíl vrácených hodnot funkce *millis()*.

Druhá možnost nápravy problému není naprosto přesná. Pro jednoduchý kód, který je v Arduinech využít, by ale byla rovněž použitelná. Stačilo by pouze změřit dobu provádění dané iterace a následně po každém opakování využít funkci *delay()*. V tomto případě by byl jejím parametrem rozdíl 10 ms a změřené doby jedné iterace. Vzhledem k vyšší přesnosti je nicméně žádoucí využít první řešení zjištěného problému.

Po aplikaci řešení s funkcí *millis()* bylo dosaženo opravy této chyby. V měření se však vyskytuje zanedbatelná konstantní chyba (řádově 1 sekunda). Velikost této chyby bude nutné upřesnit, aby s ní v algoritmu šlo dále pracovat.

Část IV

ZHODNOCENÍ A ZÁVĚR

**H**lavním cílem této bakalářské práce byl návrh a praktická realizace elektronické časomíry pro závody v běžeckém lyžování. Využití by měl vyrobený systém najít především v menších lyžařských oddílech. Jedná se o zajímavou oblast, která kombinuje několik zajímavých odvětví elektrotechniky a informatiky, a neustále se vyvíjí.

#### ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

V první části této práce byla vymezena řešená oblast a představena motivace práce. Dále jsem se v úvodu práce soustředil na historický vývoj časoměřičských systémů a jejich současný stav na trhu.

Praktická druhá část práce se věnovala návrhu a výrobě vlastního časoměřičského systému. Stavěla na získaných znalostech z úvodní části práce. Na praktickou druhou část navazovala třetí část práce, která se zabývala testováním výsledného časoměřičského systému. Testování ověřilo základní funkčnost časoměřičského systému v různých fázích. Ve venkovním prostředí byla nejprve testována spolehlivost optické laserové závořky v závislosti na rychlosti projetí, či směru slunečního svitu. Kompletní mechanická část systému byla pak testována ve špatných světelných podmínkách v hale. Zde byly testovány průjezdy závodníků na kolečkových bruslích. Poslední testování softwaru probíhalo na KTE ZČU v Plzni. Ostré nasazení časoměřičského systému v lyžařském závodě je plánováno na konec roku 2019.

Největším úspěchem předkládané bakalářské práce je možnost jejího komerčního využití. Výroba popsaného prototypového zařízení vyšla přibližně na 60 000 Kč. Do této sumy jsou nicméně započítány i náklady, které byly z důvodu prototypové výroby zbytečně vynaloženy. Jak je zmíněno v úvodní rešerši trhu, cena zapůjčení profesionálních systémů činí v průměru 11 800 Kč bez započítání dopravy. Vyrobený časoměřičský systém by tam mohl být uveden na trh, na němž takováto alternativa chybí. Investice do tohoto časoměřičského zařízení by se pak lyžařským oddílům vrátila již za šest uskutečněných závodů.

Motivací této bakalářské práce bylo především vytvoření kvalitního časoměřičského systému. Takového, který budou moci využívat menší lyžařské oddíly s omezenými finančními možnostmi. Vzhledem k výše uvedenému porovnání ceny zapůjčení časoměřičských systémů s výrobní cenou vyrobeného zařízení považuji tento cíl za splněný.

#### SMĚRY POKRAČOVÁNÍ PRÁCE

Další možnosti pokračování práce vycházejí z rešerše systémů, které se v současné době využívají. Nicméně mým osobním cílem pro pokračování v práci by bylo vytvoření kompletně bezobslužné časomíry. Díky tomu by funkčnost výsledného systému nemohla být narušena lidským faktorem. Největší rozdíl by byl v určování startovního čísla závodníka, jenž právě projel cílovou čarou, a přiřazení cílového času odpovídajícímu závodníkovi. Možností, jak tohoto dosáhnout, je několik. Od použití čipů na nohách závodníků po vy-

tištění RFID tagů na startovní čísla závodníků. Ty by byly pak v cílovém prostoru pomocí velké RFID čtečky snímány a závodníci tak byli rozpoznáváni.

Mně se však nejvíce líbí metoda automatického snímání startovního čísla závodníka ze záběrů cílové kamery. Spočívá v neustálém snímání cílového prostoru kamerou stojící naproti cílové čáře. Ta pořizuje záznam, z něž je následně možné pomocí rozpoznávacího algoritmu získat číslo závodníka, který právě projel přes cílovou čáru. Tomuto závodníkovi by pak byl přiřazen změřený čas. Samozřejmě má i tato metoda svá proti. Například při dětských závodech jsou startovní čísla na dětech často různě zamotána, aby jim nepadla. Z toho důvodu je možné, že startovní číslo nebude rozpoznatelné. Podobný problém může nastat v případě, kdy závodník na trati upadne a své startovní číslo si roztrhne nebo ušpiní. Také výpočetní výkon Raspberry Pi pro toto řešení nemusí být dostatečný. Všechny takové faktory by se musely při implementaci této metody zvážit a samozřejmě i otestovat. Tato metoda mi nicméně připadá nejelegantnější, a přitom je pravděpodobně ekonomicky nejméně náročná. Pro tuto funkcionalitu je však nutné časoměřičský systém rozšířit o kamery. Při návrhu a výrobě časoměřičského systému byla tato možnost budoucího rozšíření uvažována. Systém je tak na toto vylepšení po mechanické stránce kompletně připraven.

Většina profesionálních časoměřičských společností poskytuje pořadateli kromě změření závodu i další služby. Obvykle se jedná o poskytnutí webových stránek pro správu celého závodu. Před závodem si zde startující mohou podat on-line přihlášku či zaplatit startovné. Po závodě jsou zde zveřejněny výsledky. I s tímto rozšířením je pro další fázi vývoje časoměřičského systému počítáno. Profesionální společnosti rovněž neměří závody pouze v běžeckém lyžování, ale dokáží se přizpůsobit i dalším sportům. Proto je plánováno rozšíření časoměřičského systému minimálně pro účely biatlonu.

Jeden z dalších směrů pokračování práce bude také testování chybových stavů. Příkladem je odpojení některého z kabelů v průběhu závodu či výpadek napájení.

---

## LITERATURA

---

- [1] Margaret Rouse. What is transponder? - definition from whatis.com [online]. <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/transponder>, January 2005. cit. 31.5.2019.
- [2] Svaz lyžařů České republiky. Pravidla lyžařských závodů (plz) [online]. <https://www.czech-ski.com/userfiles/dokumenty/184/plz-ubd-2018-300-ceska.pdf>. cit. 4. 4. 2019.
- [3] International Ski Federation FIS. *The international ski competition rules (ICR), Book II, Cross-country*. FIS, Oberhofen, Switzerland, 2018.
- [4] jktiming [online]. <https://casomira.ifire.cz/>. cit. 5.4.2019.
- [5] Rozhovor s Jaromírem Kloučkem dne 4.4.2019.
- [6] Ceník pronájmu časomíry [online]. <http://sportchip.cz/cenik.asp>. cit. 5.4.2019.
- [7] Irontime | ceník [online]. <https://irontime.cz/cenik/>. cit. 5.4.2019.
- [8] Čipová časomíra a zpracování výsledků [online]. <https://www.sportovniservis.cz/nabidka-sluzeb/cipova-casomira-a-zpracovani-vysledku/>. cit. 5.4.2019.
- [9] Sportsoft - představení společnosti [online]. <https://sportsoft.cz/cs/onas>. cit. 5.4.2019.
- [10] König ludwig lauf [online]. <https://www.koenig-ludwig-lauf.com/Start.html>. cit. 5.4.2019.
- [11] Rozhovor s Ing. Karlem Hudečkem dne 4.4.2019.
- [12] Osobní archiv Miroslava Rypla.
- [13] Wojciech Grynczel Guillaume Deconinck. *Open Source RFID Race Timing System*. PhD thesis, Université catholique de Louvain, 2017.
- [14] Chris M Roberts. Radio frequency identification (rfid). *Computers & security*, 25(1):18–26, 2006.
- [15] Min-Ho Paek, Choon-Seong Leem, and Dae-Jung Bae. Multiple reader algorithm for sports timing systems and its application at low frequency bandwidth. *China Communications*, 10(12):16–24, 2013.



## Literatura

- [16] SportSoft. Sportsoft – fotky [online]. [https://scontent-prg1-1.xx.fbcdn.net/v/t1.0-9/51946523\\_3125692320789649\\_3033602106301874176\\_o.jpg?\\_nc\\_cat=102&\\_nc\\_ht=scontent-prg1-1.xx&oh=6813af423f1216befoodc17ee66e5d23&oe=5D3A3CEA](https://scontent-prg1-1.xx.fbcdn.net/v/t1.0-9/51946523_3125692320789649_3033602106301874176_o.jpg?_nc_cat=102&_nc_ht=scontent-prg1-1.xx&oh=6813af423f1216befoodc17ee66e5d23&oe=5D3A3CEA). cit. 6.4.2019.
- [17] Ondřej Vrba. Měření času ve sportu: od stopek po hi-tech časomíry [online]. <http://vtm.e15.cz/mereni-casu-ve-sportu-od-stopek-po-hi-tech-casomiry>. cit. 5.4.2019.
- [18] Photocell solutions - hl3-1x wireless photocell [online]. <http://www.tagheuer-timing.com/en/100mW%20Wireless%20photocell-hl3-1x>. cit. 6.4.2019.
- [19] Kurt S Hansen. System and method of video verification of rfid tag reads within an event timing system, February 4 2016. US Patent App. 14/776,584.
- [20] Kurt S Hansen. Rfid tag read triggered image and video capture event timing method, March 7 2017. US Patent 9,586,124.
- [21] Michael A Valleriano, Christopher I Marshall, and Mark A Bobb. Correlating captured images and timed event data, January 2 2007. US Patent 7,158,689.
- [22] Kate Kershner Lacy Perry. How olympic timing works [online]. <https://entertainment.howstuffworks.com/olympic-timing5.htm>, August 2004. cit. 5.4.2019.
- [23] Abraham Serra. History of race timing [online]. [http://timingsense.com/en/blog/history-of-race-timing/?fbclid=IwARotWope8UTD-LrxphyUHpUrrJKzo5f-2oh\\_pSymloHxzJD1SmKsn5\\_cZlo](http://timingsense.com/en/blog/history-of-race-timing/?fbclid=IwARotWope8UTD-LrxphyUHpUrrJKzo5f-2oh_pSymloHxzJD1SmKsn5_cZlo), November 2015. cit. 5.4.2019.
- [24] International Ski Federation FIS. *Timing Booklet, Cross-country, Nordic Combined (Cross-country)*. FIS, 2018.
- [25] NETGEAR Support. Co je to poe? (power over ethernet) [online]. <https://kb.netgear.com/cs/209/Co-je-to-PoE-Power-over-Ethernet>, March 21 2019. cit. 31.5.2019.
- [26] Arduino. Arduino - faq [online]. <https://www.arduino.cc/en/main/FAQ#toc11>. cit. 26.4.2019.
- [27] Arduino návody. Raspberry pi: Úvod a výběr desky [online]. <https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/raspberry-pi-uvod-a-vyber-desky.html>. cit. 26.4.2019.

---

## SEZNAM OBRÁZKŮ

---

Obrázek 1	Čipy na kotnicích závodníka [12]. . . . .	6
Obrázek 2	Používaný RFID čip. . . . .	6
Obrázek 3	RFID antény nad cílovou čarou [16]. . . . .	7
Obrázek 4	Startovní branka (Zadov, 2018). . . . .	8
Obrázek 5	Startovací pistole Omega [17]. . . . .	8
Obrázek 6	Bezdrátový systém fotobuněk Tag Heuer [18]. . . . .	8
Obrázek 7	Snímky z Kirbyho kamery [17]. . . . .	10
Obrázek 8	Časomíra Vegasport. . . . .	11
Obrázek 9	Parametry startovní branky [24]. . . . .	14
Obrázek 10	Komponenty startovního mechanismu. . . . .	15
Obrázek 11	Konstrukce startovního mechanismu vyrobena 3D tiskem. . . . .	16
Obrázek 12	Vyrobený startovní mechanismus. . . . .	17
Obrázek 13	Reflexní laserová optická závora s odrazkou. . . . .	19
Obrázek 14	Průběh jednoho závodníka. Protnutí nohy 1 je zaznamenáno v pořádku. Noha 2 je vykopnuta nad úroveň laseru, není proto zaznamenáno její protnutí. . . . .	19
Obrázek 15	Průběh několika závodníků současně. Protnutí nohou 1, 2 a 3 je zaznamenáno jako jediné. Noha 4 je vykopnuta nad úroveň laseru, není proto zaznamenáno její protnutí. Protnutí nohou 5 a 6 jsou zaznamenána v pořádku. . . . .	20
Obrázek 16	Ukázkový průběh jednoho závodníka. Protnutí nohou 1 i 2 jsou zaznamenána v pořádku. . . . .	21
Obrázek 17	Konstrukce cílového mechanismu vytištěná na 3D tiskárně. . . . .	21
Obrázek 18	Vyrobený cílový mechanismus. . . . .	22
Obrázek 19	Komponenty kufru s elektronikou. . . . .	24
Obrázek 20	Schéma zapojení časoměřičského systému. . . . .	24
Obrázek 21	Vyrobený kufr s elektronikou. . . . .	25
Obrázek 22	Simulace pádu při protnutí laserového paprsku. . . . .	31
Obrázek 23	Části časoměřičského systému použité pro testování, zleva: zobrazovací LED panel, startovní mechanismus, cílový mechanismus, kufr s elektronikou. . . . .	31
Obrázek 24	Přeprava časoměřičského systému v kufru. . . . .	33
Obrázek 25	1. testovací závod: A) vygenerovaná startovní listina, B) snímek uživatelského prostředí zachycující zadané hodnoty, C) vygenerovaná výsledková listina. . . . .	34

## Seznam obrázků

Obrázek 26	2. testovací závod: A) vygenerovaná startovní listina, B) snímek uživatelského prostředí zachycující zadané hodnoty, C) vygenerovaná výsledková listina. . . . .	35
Obrázek 27	3. testovací závod: A) vygenerovaná výsledková listina, B) snímek uživatelského prostředí zachycující zadané hodnoty. . . . .	36