

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní – Ústav mechaniky tekutin a termodynamiky



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Tréninkový stroj pro nastřelování badmintonových míčků

A Training Machine for Shooting of Badminton
Shuttlecocks

Vypracoval: Jan Vorlík

Vedoucí práce: Prof. Ing. Pavel Šafařík, Csc.

Rok: 2019

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s použitím literárních pramenů a informací, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.

Datum:

.....

Podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval panu profesorovi Ing. Pavlu Šafaříkovi, CSc. za připomínky, trpělivost, kontrolu, rady a ochotu, kterou mi v průběhu práce na bakalářské práci věnoval. Dále bych rád poděkoval celé mé rodině, která mě celou dobu bezmezně podporovala. Rovněž chci poděkovat firmě ABC3D a to především panu ředitelovi Janu Šmejckému, který mi umožnil využít firemních prostředků k vytvoření prototypu nastřelovacího stroje.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vorlík** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **459989**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav mechaniky tekutin a termodynamiky**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Tréninkový stroj pro nastřelování badmintonových míčků

Název bakalářské práce anglicky:

A Training Machine for Shooting of Badminton Shuttlecocks

Pokyny pro vypracování:

1. Popište principy strojů pro nastřelování badmintonových míčků a formulujte zadání pro návrh tréninkového stroje pro nastřelování badmintonových míčků.
 2. Navrhněte, zkonstruuje a ověřte funkci tréninkového stroje pro nastřelování badmintonových míčků.
 3. Odvoďte vybrané parametry letu badmintonového míčku a měřte je.
 4. Proveďte rozbor dosažených výsledků a výsledky diskutujte.
- Rozsah grafických prací: Obrázky a diagramy s výsledky řešení ve vhodné formě
Rozsah průvodní zprávy: cca 40 stran textu včetně obrázků

Seznam doporučené literatury:

1. J.Vorlík : Badmintonový nastřelovací stroj a vybrané parametry letu badmintonového míčku. In : Sborník konference STČ 2019, Praha, 2019 (<https://stc.fs.cvut.cz/pdf/19/9509.pdf>)
2. J.Vorlík : Nahrávací stroj s podávacím mechanismem badmintonových míčků. Patent Česká republika č. D18095605.
3. J.Le Personnic, F.Alam, L.Le Gendre, H.Chowdhury, A.Subic : Flight Trejectory Simulation of Badminton Shuttlecocks, Elsevier, Amsterdam, 2011
4. F.Alam, H. Chowdhury, Ch. Theppadunoporn, A. Subic : Measurements of Aerodynamic Properties of Badminton Shuttlecocks, RMIT University, Melbourne, 2010. RMIT

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

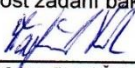
prof. Ing. Pavel Šafařík, CSc., 12112

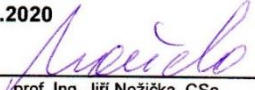
Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:


Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **01.08.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.04.2020**

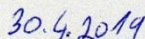

prof. Ing. Pavel Šafařík, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce


prof. Ing. Jiří Nožička, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

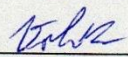

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.



Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Název práce:

Tréninkový stroj pro nastřelování badmintonových míčků

Autor: Jan Vorlík

Studijní program: Strojírenství

Druh práce: Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Pavel Šafařík, CSc.

Abstrakt:

Práce představuje základní popis badmintonového míčku, popis badmintonových nastřelovacích strojů, které jsou na trhu dostupné. Dále je v práci popsán návrh badmintonového nastřelovacího stroje od stanovení základních parametrů až po jeho zkonstruování. V práci jsou následně odvozeny rovnice pro výpočet vybraných parametrů letu badmintonového míčku a jejich výpočet. Pro tyto vybrané parametry je provedeno měření, které potvrzuje platnost odvozených rovnic a správnou konstrukci stroje.

Klíčová slova: badminton; badmintonový míček; rychlost badmintonového míčku; tréninkový stroj; sport; aerodynamika.

Title:

A Training Machine for Shooting of Badminton Shuttlecocks

Author: Jan Vorlík

Abstrakt:

This paper presents basic description of shuttlecock, description of badminton training machines, which are available on the market. Furthermore, the paper presents describes of the design badminton training machines from the determination of basic parameters to construction. Subsequently the equations are derived for the calculation of selected parameters of shuttlecock flight and their calculation. For these selected parameters experiment measurement are made, which confirm the validity of the derived equations and the correct construction of badminton training machine.

Key words: badminton; shuttlecock; speed of shuttlecock; badminton training machine; sport; aerodynamic.

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Údaje o parametrech badmintonového míčku	9
3	Studie možností konstrukce badmintonového nastřelovacího stroje.....	10
3.1	Rešerše možností konstrukce odpalovacího mechanismu	10
3.2	Konkurenční nastřelovacího stroje	12
3.2.1	Black knight – Knight trainer pro	12
3.2.2	Siboasi - S4025	13
3.3	Návrh parametrů a vlastností badmintonového nastřelovacího stroje.....	14
4	Konstrukce badmintonového nastřelovacího stroje	15
4.1	Odpalovací mechanismus	17
4.2	Podávací mechanismus	17
4.3	Vzájemné fungování mechanismů	19
5	Ověření funkce badmintonového nastřelovacího stroje	20
6	Formulace úlohy pro výpočet vybraných parametrů letu badmintonového míčku	21
6.1	Výpočet poločasu letu badmintonového míčku	21
6.2	Výpočet polodráhy letu badmintonového míčku	22
6.3	Výpočet asymptotické pádové rychlosti	24
6.4	Svislý vrh (výstřel) badmintonového míčku vzhůru	24
7	Návrh experimentu pro měření rychlostí badmintonového míčku.....	25
7.1	Měření rychlosti badmintonového míčku světelnou závorou	25
7.2	Měření rychlosti badmintonového míčku pomocí vysokorychlostní kamery..	26
8	Měření vybraných parametrů letu badmintonového míčku	28
8.1	Měření počáteční rychlosti badmintonového míčku	29
8.2	Měření poločasu letu badmintonového míčku	30
8.3	Měření polodráhy letu badmintonového míčku	32
9	Zhodnocení naměřených výsledků	36
9.1	Zhodnocení výsledků měření počáteční rychlosti.....	36
9.2	Zhodnocení výsledků měření poločasu letu míčku	36
9.3	Zhodnocení výsledků měření polodráhy letu míčku	36
10	Výroba badmintonového nastřelovacího stroje	37
10.1	3D tisk	37

10.2	Konvenční výroba	38
10.3	Řezání vodním paprskem	38
10.4	Řezání laserem.....	39
11	Závěr	41
12	Zdroje	42
13	Seznam použitých symbolů	43
14	Přílohy	44

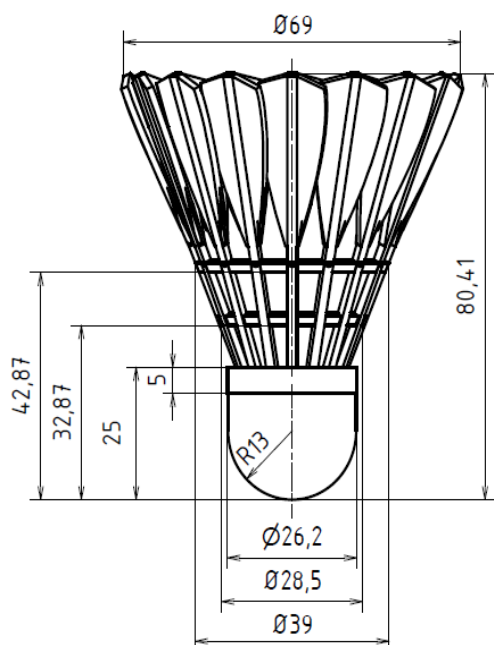
1 Úvod

Badmintonové nastřelovací stroje prožívají v dnešní době velký rozkvět. Je to z toho důvodu, že jsou na hráče vyvíjeny větší nároky na výkonnost, rychlost, přesnost a další aspekty. Většina trenérů v dnešní době není schopna nahrát tak rychle a přesně jako nastřelovací stroje. Na trhu se objevují badmintonové nastřelovací stroje, které jsou ve většině případů těžké, drahé, nedosahují potřebných parametrů nastřelení a další. Z tohoto důvodu byla snaha navrhnout takový badmintonový nastřelovací stroj, který bude lehký, mobilní, rychlejší a cenově dostupnější. Pro návrh badmintonového nastřelovacího stroje bylo zapotřebí zvolit si parametry, které má stroj splňovat, dále udělat 3D model, provést kontroly metodou konečných prvků a v poslední části stroj sestavit. Dále je zapotřebí určit, zda stroj splňuje navržené parametry. Jedná se o počáteční (vystřelenou) rychlost míčku.

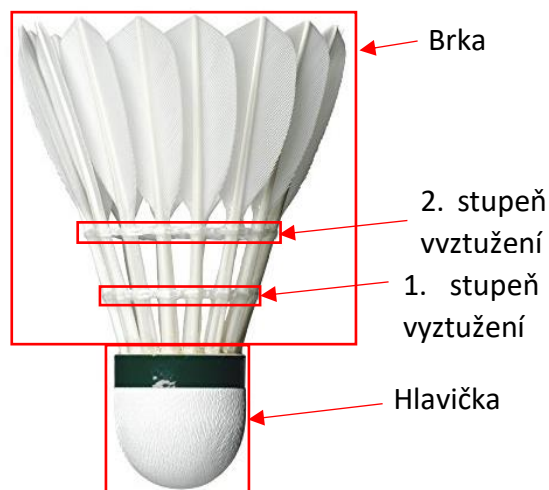
Profesionální badmintonový míček je specifický sportovní prvek, který se skládá z husích brk, korku a nití. Jeho letové parametry jsou ojedinělé. Je to z důvodu tvaru míčku, rotace za letu a polohy těžiště. Zajímavé parametry letu míčku jsou polodráha letu a poločas letu. Tyto parametry ještě u badmintonového míčku nebyly stanoveny. K těmto parametrům je zapotřebí odvodit potřebné rovnice, zvolit vhodné parametry, atd. Po spočtení těchto rovnic je potřeba ověřit, zda výpočty korespondují s reálným letem badmintonového míčku. Proto je zapotřebí navrhnout experiment, kde se tyto výpočty potvrdí či vyvrátí.

2 Údaje o parametrech badmintonového míčku

Péřový badmintonový míček se skládá z 16 husích nebo kachních stejně dlouhých brk. Brka jsou vůči sobě natočena. Díky tomu se míček během letu otáčí okolo své osy symetrie ve směru letu. Rozměry péřového badmintonového míčku jsou vidět na obrázku 1. Rozměry se u každého míčku mohou mírně lišit dle rozměrů uvedených v pravidlech. Popis jednotlivých částí badmintonového míčku je uveden na obrázku 2. Při výrobě míčku jsou stále nějaké úkony dělány ručně, a to do výroby vnáší určité nepřesnosti, z tohoto důvodu se míčky dělí na 5 rychlostních kategorií. Kategorie jsou značeny čísly 75-79. Rychlostní kategorie 75 je nejpomalejší a doporučuje se pro hraní v zemích, kde jsou vysoké teploty (33 °C a výše). Naproti tomu kategorie 79 je nejrychlejší a doporučuje se pro země, kde jsou nízké teploty (18 °C a níže). Všechna brka jsou pouze z levého křídla husy nebo kachny. Je to z důvodu, aby míček měl všechna brka stejně natočená a měly stejný tvar. Hmotnost péřového badmintonového míčku činí 4,75g až 5,5g. [1], [2]



Obrázek 1 Orientační rozměry badmintonového míčku [1]



Obrázek 2 Popis částí badmintonového míčku [1]

3 Studie možností konstrukce badmintonového nastřelovacího stroje

Konstrukce badmintonového nastřelovacího stroje může být různá. Stroje se liší podávacím mechanismem, odpalovacím mechanismem, designem a mnohým dalším. Na obrázku 3. můžeme vidět srovnání různých nastřelovacích strojů. V první řadě se při konstruování stroje hledí na odpalovací a podávací mechanismus. Tyto mechanismy jsou nejdůležitější na celém stroji, a proto je třeba konstruovat je jako první. V následující kapitole jsou popsány jednotlivé stroje i s jejich mechanismy. [1]



Obrázek 3 Ukázka badmintonových nastřelovacích strojů [1]

3.1 Rešerše možností konstrukce odpalovacího mechanismu

Na obrázku 4. jsou ukázána známá konstrukční řešení odpalovacích mechanismů. Některá z nich jsou použita u komerčních strojů jiné zase u zkušebních strojů. Každý mechanismus má své výhody i nevýhody. Některé konstrukční řešení dokáže vystřelit míček vysokou rychlostí, některé s větší přesností. [1]

Popis jednotlivých mechanismů:

A. Odpalovací mechanismus pomocí dvou kotoučů a naváděcí sklužavky:

Míček je v tomto případě přiveden kolmo na odpalovací kotouče, což způsobí malé opotřebení. Nevýhodou tohoto systému je menší přesnost při odpalování. Mechanismus funguje tak, že míček je přiveden na naváděcí sklužavku, po sklužavce sjede mezi dva kotouče, kotouče míček uchopí a vystřelí. [1]

B. Odpalovací mechanismus pomocí stlačeného vzduchu:

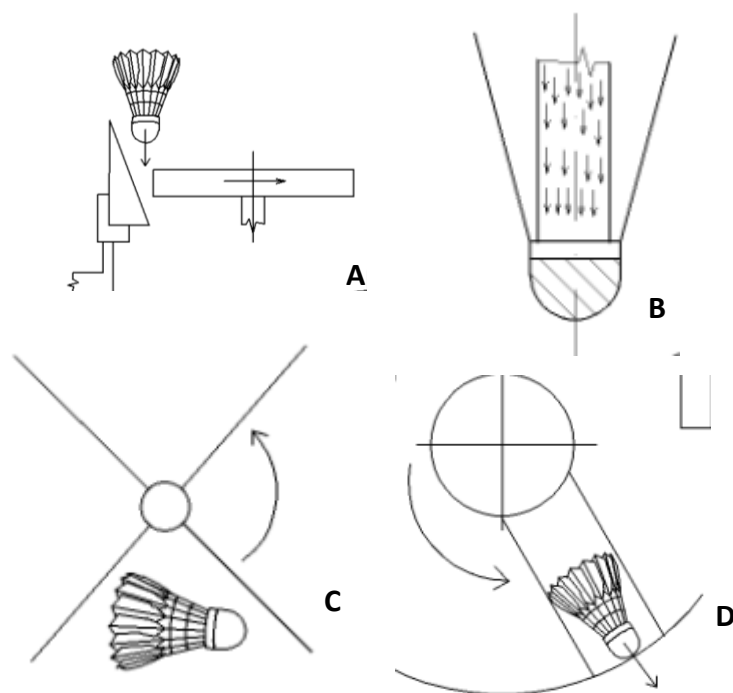
Stlačený vzduch pro odpalování míčků není ideální. Je zapotřebí mít na stroji kompresor nebo láhev se stlačeným vzduchem, což má za následek váhu navíc, nadměrný hluk a větší rozměry stroje. Jako další problém s tímto mechanismem je ten, že míček může být odpálen pouze tak, že míček vložíme na trubku. Což bude mít za následek nepřesnosti odpalu, menší těsnost při odpalování a vyšší opotřebení míčku. [1]

C. Odpalování pomocí rotujících raket:

Tento systém je využíván při testování nově vyrobených míčků. Na tento stroj nejsou kladeny vysoké požadavky. Jediné požadavky jsou takové, aby se rakety na stroji točily pořád stejně rychle. Je to z toho důvodu, aby se vyzkoušelo, které míčky jsou rychlejší, které pomalejší. Rozměry stroje s tímto systémem jsou velké. To ale ničemu nebrání použít ho v továrně. Opotřebí míčku je zde malé. [1]

D. Odpalovací mechanismus pomocí rotující trubky:

Tento mechanismus byl používán u starších strojů. Funguje podobně, jak stroje na kuličkování či válečkování, jen místo kuliček či válečků je do trubky přiveden badmintonový míček. U tohoto mechanismu nedochází k opotřebení míčku. Nevýhodou tohoto systému je jeho nepřesné odpalování a malá rychlost odpalu. [1]



Obrázek 4 A – Odpalování pomocí naváděcí skluzavky a kotoučů, B – Odpalování pomocí stlačeného vzduchu, C – Odpalování pomocí rotujících badmintonových raket, D – Odpalování pomocí rotující trubky [1]

3.2 Konkurenční nastřelovacího stroje

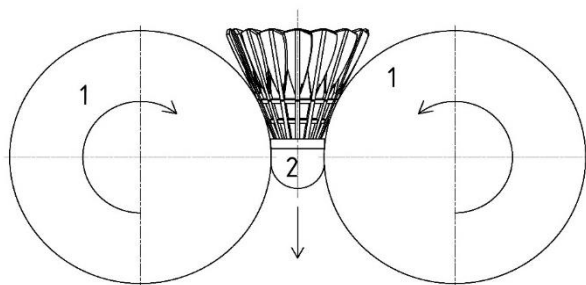
3.2.1 Black knight – Knight trainer pro

Firma Black Knight patří k nejlepším na trhu. Začala stroje vyvíjet jako první. Na jejich strojích je vidět, že jsou zaměřené spíše pro větší sportovní centra a badmintonové kluby. Jejich stroje jsou robustní konstrukce. Ta se podepisuje na vysoké hmotnosti stroje, vyšší energetické náročnosti a dalších parametrech. Nastřelovací stroj Knight trainer pro je oproti jeho předchozí verzi lehčí, má větší zásobník míčů, má intuitivní nahrávací funkce a je možné ho propojit stroje s tabletem (viz. obrázek 5.). [1]

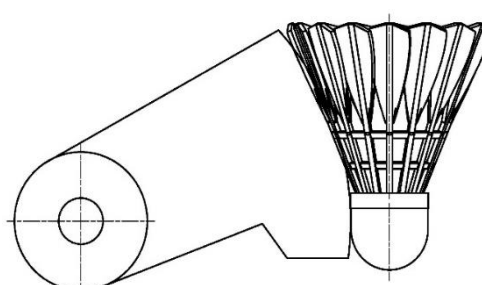


Obrázek 5 Knight trainer pro [1]

Odpalovací mechanismus je řešen pomocí dvou rotujících kotoučů (viz. obrázek 6.). Stejné řešení používá většina nastřelovacích strojů. Rozdíl je v podání míčku do odpalovacího systému. U stroje Knight trainer pro je míček do odpalovacího mechanismu přiveden celou délkou. Podávací mechanismus je řešen pomocí podávacího ramena. Přibližná podoba a funkce podávacího ramena je vidět na obrázku 7. Už na první pohled je vidět, že při odvalení míčku po rameni vznikne jeho deformace, což může způsobit vyšší opotřebení míčku nebo dokonce jeho zničení. Vyšší opotřebení vzniká i při odpalování míčku. Kotouče nejdříve odvalí hlavičku míčku a následně brka. Když se tyto dvě deformace sečtou vzniká velká pravděpodobnost na větší opotřebení míčku či jeho zničení. [1]



Obrázek 6 Ukázka odpalovacího mechanismu stroje Knight trainer pro [1]



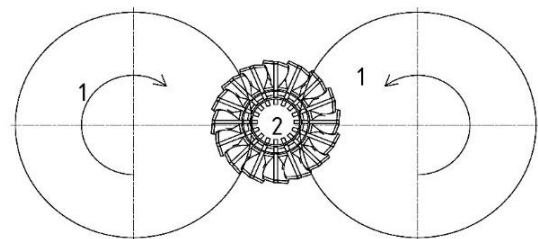
Obrázek 7 Ukázka podávacího ramena [1]

3.2.2 Siboasi - S4025

Firma Siboasi se zabývá nastřelovacími stroji na tenis, badminton, fotbal, ping-pong a basketbal. Firma má velké pole působnosti, co se týče sportů. Jejich badmintonové nastřelovací stroje jsou na vysoké úrovni. Mají využití jak ve sportovních centrech, tak i v klubech. Badmintonové nastřelovací stroje vyrábí ve variantách s 5 nastřelovacími hlavami, dvěma nastřelovacími hlavami a jednou nastřelovací hlavou. Stroje s jednou nastřelovací hlavou jsou konstruovány tak, aby mezi sebou komunikovaly. Další řádky se zabývají pouze jedním jejich nastřelovacím strojem, a to verzí S4025, který je vidět na obrázku 8. [1]

Badmintonový nahrávací stroj S4025 je největším konkurentem zkonstruovaného stroje. Stroj S4025 lze také spustit pouze na baterii a její výdrž je od 3 do 5 hodin. Už na první pohled je vidět, že stroj S4025 je menší než Knight trainer pro. I když je stroj menší, tak není automaticky lehčí. U tohoto stroje je velice těžký stojan, na kterém je zdroj, baterie a ovládání. Odpalovací mechanismus tohoto stroje je řešen shodně jako u stroje Knight trainer pro s rozdílem, že míček nejde celou délkou mezi kotouče, ale jde kolmo na kotouče (Obrázek 9.). Odpalovací mechanismus je zkonstruován pomocí dvou odpalovacích kotoučů. Rozdíl mezi těmito kotouči a kotouči stroje Knight trainer pro je v tom, že kotouče tohoto stroje jsou vyšší a nemají tak měkký povrch jako kotouče stroje Knight trainer pro. Podávací mechanismus je zkonstruován pomocí dvou čelistí, které uchopí míček za hlavičku, stáhnou ho ze zásobníku dolů, uvolní a míček je následně posunut pomocí malého dopravníku mezi odpalovací kotouče. [1]

Tento stroj má výhodu jak v chodu na baterii, tak v jeho rozměrech, a hlavně v nižším opotřebením míčků. Tím, že míček jde mezi kotouče kolmo, tak se brka při vystřelení neohýbají a tím pádem se neničí. U podávacího mechanismu také nedochází k opotřebením míčku, protože míček je uchopen pouze za hlavičku, a ne za brka. [1]



Obrázek 9 Odpalovací mechanismu stroje Siboasi S4025 [1]

Obrázek 8 Ukázka stroje Siboasi S4025 [1]

3.3 Návrh parametrů a vlastností badmintonového nastřelovacího stroje

Badmintonový nastřelovací stroj je navržen tak, aby ulehčil práci trenérům při nastřelovacích cvičeních v tréninku. Při cvičení, kde se nastřeluje je běžné, že trenér nastřelí 500-700 míčů. Nastřelovací cvičení mohou probíhat až 2 hodiny. Pro trenéra je to tedy velmi fyzicky náročné. Důležitou vlastností stroje je jeho mobilita. Běžně se stává, že trenér na jednotlivé tréninky jezdí z jedné haly do druhé, a tudíž potřebuje stroj, který mu nebude přejezd komplikovat. K tomu se pojí další vlastnost stroje, a to hmotnost. Dnešní nastřelovací stroje mají 20–60 kg, což není vhodné pro přenášení a převoz. Proto je maximální hmotnost stroje stanovena na 10 kg. Dalšími důležitými parametry stroje jsou jeho rozměry. Ty nejsou pevně stanoveny, protože vycházejí z konstrukce nastřelovacího mechanismu, podávacího mechanismu a dalších součástí. Jednou z nejdůležitějších vlastností stroje je možnost chodu na baterii. Tato vlastnost je velmi důležitá z důvodu absence nebo špatné dostupnosti elektrických zásuvek ve starších sportovních halách, kde často probíhají tréninky. Maximální doba chodu na baterii byla stanovena z nadstandardní délky tréninku, a to na 3 hodiny. Dále je při nastřelování zapotřebí měnit směr a trajektorii vystřeleného míčku, z toho plyne potřeba měnit natočení stroje za chodu. Na tento požadavek bylo zvoleno ruční ovládání stroje.

Parametry nastřelování jsou odvozeny z různých druhů tréninku. Například při tréninku zaměřeném na obranné údery je zapotřebí vyšší kadence nastřelování a vyšší rychlost vystřeleného míčku, při tréninku zaměřený na útočné údery je například zapotřebí vystřelit míček směrem vzhůru na zadní lajnu kurtu. Dle osobních zkušeností je maximální kadence stroje volena na 2 míčky za sekundu. Maximální rychlost vystřeleného míčku byla stanovena z výpočtu rychlosti smetče profesionálních hráčů a následné reakční doby hráče.

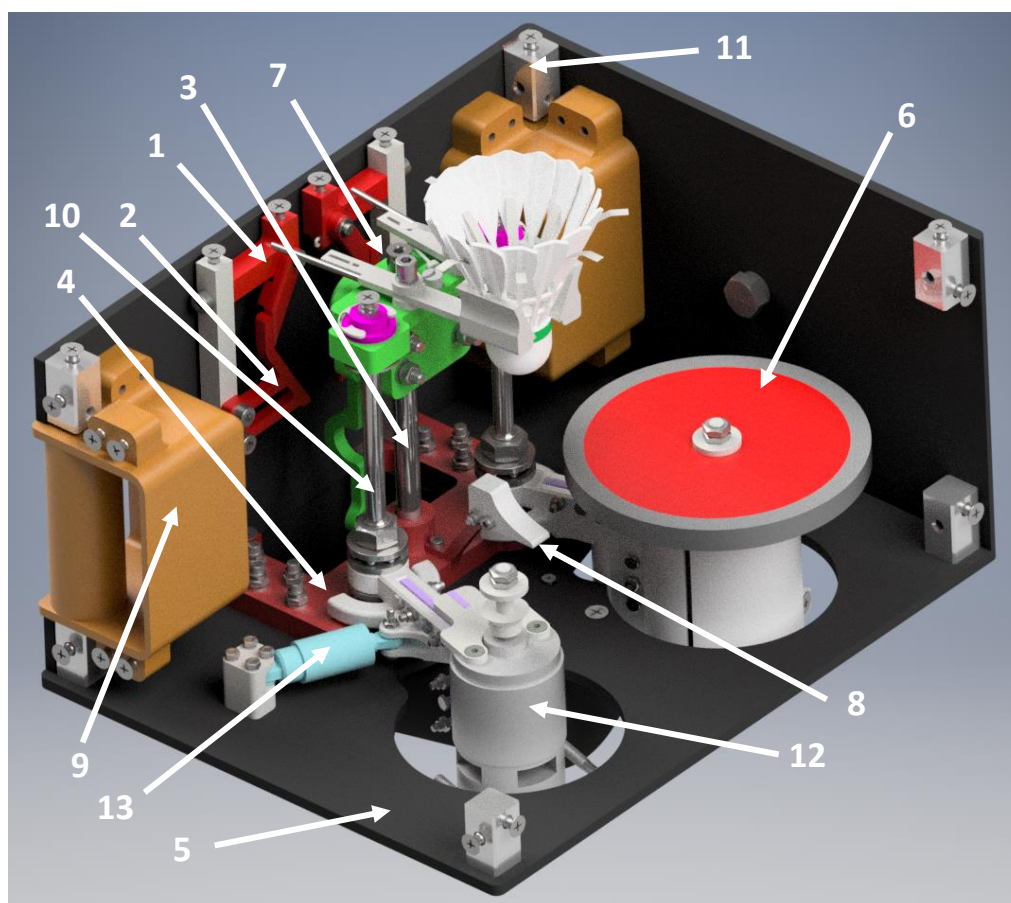
Souhrn navržených parametrů a vlastností stroje:

- Mobilita
- Hmotnost do 10 kg
- Malé rozměry
- Chod až 3 hodiny na baterii
- Ovládání směru nastřelování při chodu stroje
- Kadence 2 míčky za sekundu
- Vystřelená rychlost míčku 100 km/h

4 Konstrukce badmintonového nastřelovacího stroje

Badmintonový nastřelovací stroj se skládá z podávacího mechanismu, odpalovacího mechanismu, pomocných součástí, stojanu, zdroje, elektroniky a baterie. Podávací a odpalovací mechanismus musí být perfektně sladěn. Každý systém má své specifické součástky. Konstrukce nastřelovacího stroje je specifická v tom, že pracuje s míčkem, který má specifický tvar a je náchylný na poškození.

V následujícím obrázku jsou očíslovány jednotlivé díly, které jsou popsány pod obrázkem.



Obrázek 10 Popis součástí badmintonového nastřelovacího stroje

Součást číslo: 1 – Horní skluzavka – horní skluzavka se skládá ze 2 částí, a to držáku a otočného ramena. Funkce těchto dílů spočívá v otevírání a následného zavření kleští, které uchopí míček. Při pohybu kleští nahoru se rameno kleští opře o otočné rameno horní skluzavky a kleště se začnou otevírat. Když kleště dosáhnou horní úvratě přejedou přes horní okraj otočného ramena horní skluzavky a uzavřou se. [3]

2 – Spodní skluzavka – funkce spodní skluzavky spočívá v otevření kleští, které tímto vypustí míček mezi odpalovací kotouče. [3]

3 – Hlavní vodící tyč – tato součást slouží jako hlavní vedení pohybujících se kleští. Na této tyči slouží jako vedení lineární ložisko. [3]

4 – Hlavní deska – tato součást je nejdůležitější na celém stroji. Všechny součásti jsou připevněny právě na tuto desku. Je to nosná část celého stroje. Deska musí být mohutná a pevná, aby udržela všechny součásti + síly na ně působící. [3]

5 – Spodní díl krytu – tato součást je tu hlavně kvůli zakrytí stroje. Na tuto část krytu je i připevněn z části motor, který ovládá pohyb kleští. [3]

6 – Odpalovací kotouč – ve stroji jsou dva odpalovací kotouče. Jejich funkce je, jak už název napovídá, v odpalování míčku. Kotouče se točí v opačném smyslu. Kotouč se skládá ze dvou částí. První část je vnitřní kotouč, který je z pevného materiálu a druhá část je prstenec z gumy. Guma je zde proto, aby mezi kotoučem a míčkem vzniklo velké tření a míček při odpalu neproklouzl. Zároveň při průchodu míčku mezi kotouči se guma stlačí a vzniká vyšší přitlačná síla mezi kotouči a míčkem. [3]

7 – Kleště – Jejich úkolem je přenést míček ze zásobníku mezi kotouče. Kleště se skládají z mnoha komponent. Mezi hlavní komponenty kleští patří například lineární ložisko, dvě čelisti, pružina a pomocné úchyty míčku. Mezi čelistmi je umístěna pružina, která slouží k vyvolání dostatečné přitlačné síly mezi míčkem a čelistmi. [3]

8 – Podávací trojúhelník – funkce této malé součástky spočívá v navedení míčku mezi odpalovací kotouče. Bez této součástky by se míček mezi kotouče nedostal a nedošlo by k odpálení míčku. [3]

9 – Držadlo – na stroji jsou dvě držadla. Jejich funkcí je zjednodušení ovládání směru odpalování míčku. Držadla jsou ergonomická pro jejich příjemný úchop. [3]

10 – Pomocná vodící tyč – ve stroji se nachází dvě pomocné vodící tyče, které slouží k vyrovnání boční síly vyvolané od ojnice klikového mechanismu, který pohybuje s kleštěmi nahoru a dolů. Bez nich by se kleště nehýbaly přímočaře nahoru a dolů, ale vykonávaly by i otočný pohyb okolo hlavní vodící tyče. [3]

11 – Spojovací hranol – ve stroji se nachází 8 spojovacích hranolů. Slouží ke spojení částí krytu k sobě pomocí šroubů. [3]

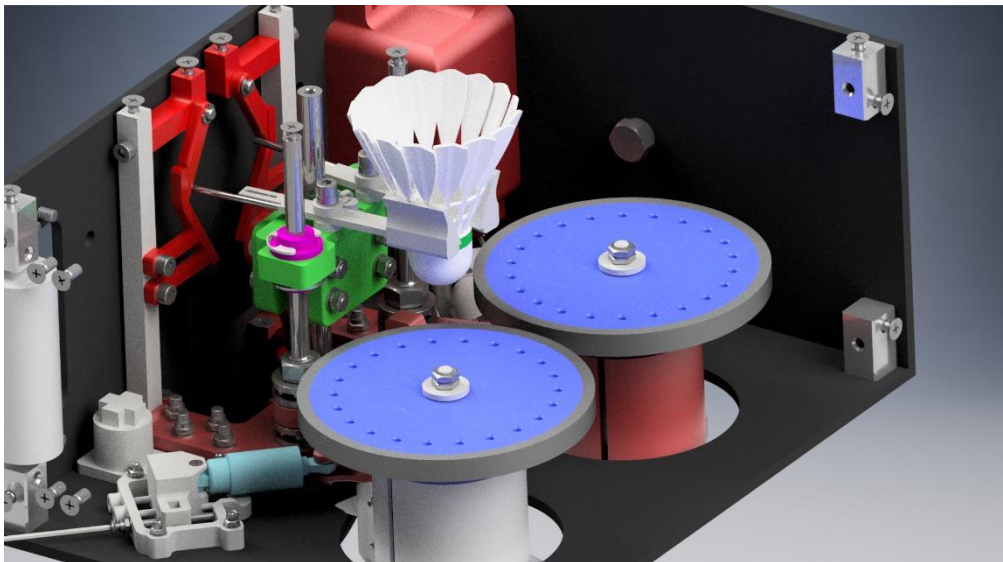
12 – Odpalovací motor – tento motor má za úkol roztočit odpalovací kotouče na požadované otáčky, aby mohlo dojít k vystřelení míčku. Tento motor ovlivňuje rychlost vystřeleného míčku. [3]

13 – Tlumič – tato součást je tu z důvodu tlumení vibrací a udržení odpalovacího motoru na svém místě. Při průchodu míčku odpalovacími kotouči se motor i s kotoučem otočí o určitý úhel okolo pomocné tyče. Toto natočení musí tlumič vrátit do původní polohy. [3]

4.1 Odpalovací mechanismus

Odpalovací mechanismus nastřelovacího stroje musí vyvinout na badmintonový míček dostatečně velkou sílu, aby badmintonový míček mohl vyletět z nastřelovacího stroje rychlostí 100 km/h. Nastřelovací stroje využívají různé odpalovací mechanismy. Nejpoužívanější mechanismus je tvořen dvěma kotouči, které se točí v opačném smyslu (viz. obrázek 6). [4]

Zkonstruovaný nastřelovací stroj využívá dvou odpalovacích kotoučů, které se točí v opačném smyslu. Míček mezi kotouče přijde kolmo, tzn. pouze hlavička míčku je mezi kotouči. To způsobí nejmenší opotřebení míčku. Odpalovací kotouče mají na obvodu přilepenou vrstvu gumy. Je to z důvodu menšího opotřebení míčku a hladší odpal. Pozici míčku a odpalovacích kotoučů je vidět na obrázku 11. [4]

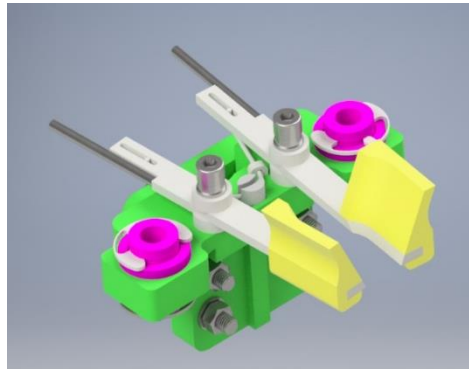


Obrázek 11 Ukázka odpalovacího mechanismu s míčkem

4.2 Podávací mechanismus

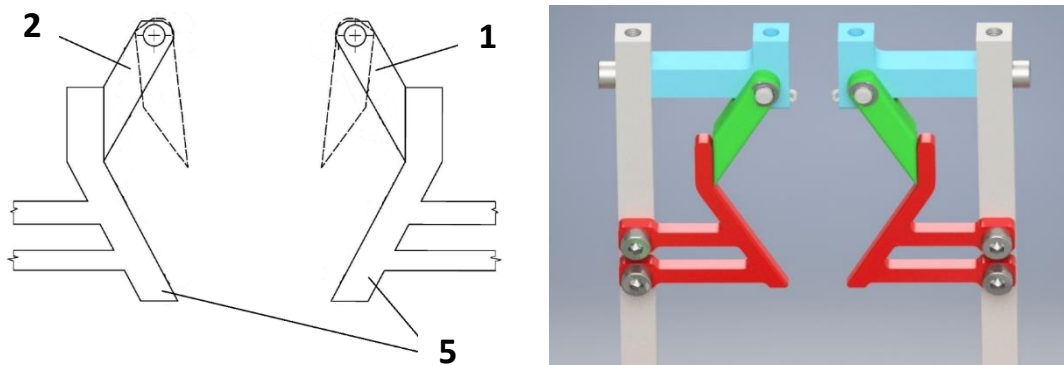
Podávací mechanismus je spolu s odpalovacím mechanismem nejdůležitější částí stroje. Funkce podávacího mechanismu spočívá v přenosu míčku ze zásobníku do odpalovacího mechanismu. Nynější konstrukce podávacích mechanismů v badmintonových nastřelovacích strojích využívají různé mechanismy. Některé stroje používají podávání míčků pomocí podávacího ramena, pomocí nějakého druhu dopravníku anebo pomocí podávacích kleští. Zkonstruovaný badmintonový nastřelovací stroj využívá k podání míčku do odpalovacího mechanismu tzv. kleště (obrázek 12). [4]

Podávací kleště se pohybují po vodících tyčích. Svislý pohyb kleští nahoru a dolů zajišťuje klikový mechanismus, který je poháněn elektromotorem s planetovou převodovkou.



Obrázek 12 Podávací kleště

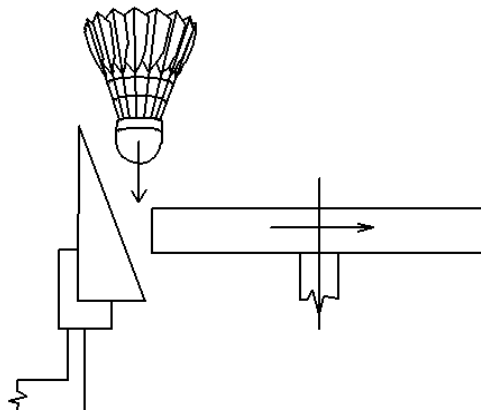
Pro správný chod kleští je použit mechanismus, který připomíná kosočtverec bez horního a spodního rohu (obrázek 13.). Mechanismus se skládá ze 4 hlavních součástí. V horní části mechanismu se nachází dvě horní skluzavky (pozice 1 a 2 na obrázku 13.), které jsou uloženy na čepu. To umožňuje natáčení horních skluzavek. Horní skluzavky rozevírají kleště při pohybu kleští nahoru a při pohybu kleští dolů se naklopí a umožní bezproblémové přejetí podávacích kleští. Horní skluzavky jsou vráceny do původní polohy pomocí pružin. Spodní důležité součásti jsou dvě spodní skluzavky (pozice 5 na obrázku 13.). Tyto skluzavky jsou statické. Jejich funkce je rozevření podávacích kleští, když konají posuvný pohyb směrem dolů. Rozevření podávacích kleští v dolní úvrati má za následek vypuštění míčku a jeho následného odpalu. [3] [4]



Obrázek 13 Rozevírací mechanismus podávacích kleští

4.3 Vzájemné fungování mechanismů

Jako první spuštěný mechanismus je odpalovací mechanismus. Je to z toho důvodu, aby se kotouče stihly roztočit na požadované otáčky, než se mezi ně dostane badmintonový míček. Až se kotouče roztočí na požadované otáčky (což je za cca 2 s) může se zapnout podávací mechanismus. Podávací mechanismus nejdříve zahájí pohyb nahoru do horní úvratě. V horní úvratě je uchopen míček do kleští. A zahajuje se pohyb dolů. Chvilí před dosáhnutím dolní úvratě se kleště začínají rozevírat a míček se začne sunout po podávacím tělese mezi kotouče. Při pokračujícím pohybu kleští směrem dolů je míček pomocí kleští sunut po podávacím tělese přímo mezi kotouče. Když kleště dosáhnou dolní úvratě, tak je míček mezi odpalovacími kotouči a dojde k odpalu. [4]

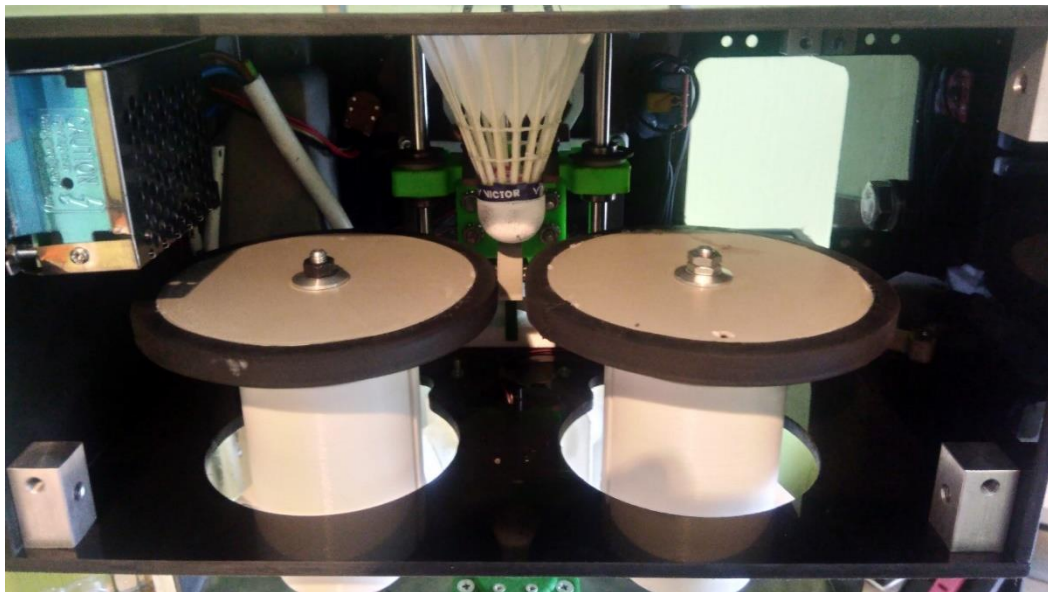


Obrázek 14 Ukázka podávacího tělesa s odpalovacím kotoučem

5 Ověření funkce badmintonového nastřelovacího stroje

Při prvním sestavení a spuštění stroje se objevilo hned několik komplikací. První komplikace byla s elektrickými kabely. Výrobce udával menší průměr hlavního elektrického kabelu, než ve skutečnosti byl. Může se to zdát jako maličkost, ale díly na stroj již byly vyrobeny či vytisknuty na daný průměr kabelu a kabel jimi nešel provléknout. Musely se hledat jiné cesty pro kabel a jejich uchycení. Dalším problémem bylo správné vycentrování odpalovacích kotoučů. Vycentrování odpalovacích kotoučů má vliv na správný odpal míčku, jeho směr, rychlost a opotřebení gumového obložení na kotoučích. Problém se vyřešil tím, že se přemodeloval a znovu vytiskl držák tlumiče, který nastavil držák motoru s kotoučem na správné místo. Kotouče se podařilo vycentrovat a odpal probíhal dle předpokladů.

Když se po odstranění největších problémů stroj spustil, jeho střelba byla přesná a rychlá. Dle předpokladů byl stroj lepší než jeho předchůdce. Na obrázku 15 je vidět konstrukce nynějšího stroje. Stroj má ještě menší nedokonalosti, ale na lehčí badmintonový trénink je 100% funkční.



Obrázek 15 Badmintonový nastřelovací stroj

6 Formulace úlohy pro výpočet vybraných parametrů letu badmintonového míčku

Při rychlosti míčku po vystřelení v_1 , je možné spočítat polodráhu letu ($s_{1/2}$) a poločas letu ($t_{1/2}$). Polodráha letu vyjadřuje takovou vzdálenost, po které se míček zpomalí na poloviční rychlost. Poločas letu vyjadřuje naopak dobu letu míčku, po kterém se míček zpomalí na poloviční rychlost. Pro výpočet uvedených veličin je zapotřebí určit koeficient odporu vzduchu, který je u badmintonového míčku složitě definovatelný. Je to z důvodu tvaru míčku, rotace okolo své osy při letu, atd. Koeficient odporu vzduchu lze spočítat ze vztahu:

$$C_D = \frac{F_D}{0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A} \quad (1)$$

Je zjevné, že výpočet závisí na hustotě vzduchu ρ , rychlosti míčku v , smluvní ploše míčku A a odporové síle F_D . Experimentálně bylo zjištěno, že koeficient odporu vzduchu péřového badmintonového míčku nabývá hodnot od 0,46 do 0,65. [1], [3], [5]

6.1 Výpočet poločasu letu badmintonového míčku

Výpočet poločasu letu vychází z rovnice odporové síly. Hodnoty parametrů míčku a vzduchu pro výpočet jsou tyto: $m = 0,005 \text{ kg}$

$$C_d = 0,5$$

$$D = 0,069 \text{ m}$$

$$\rho = 1,205 \text{ kg/m}^3$$

$$v_1 = 27,778 \text{ m/s}$$

Odvození výpočtu poločasu letu badmintonového míčku:

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = -C_d \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v^2 \quad (2)$$

$$dt = \frac{m}{-C_d \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}} \cdot \frac{dv}{v^2} \quad (3)$$

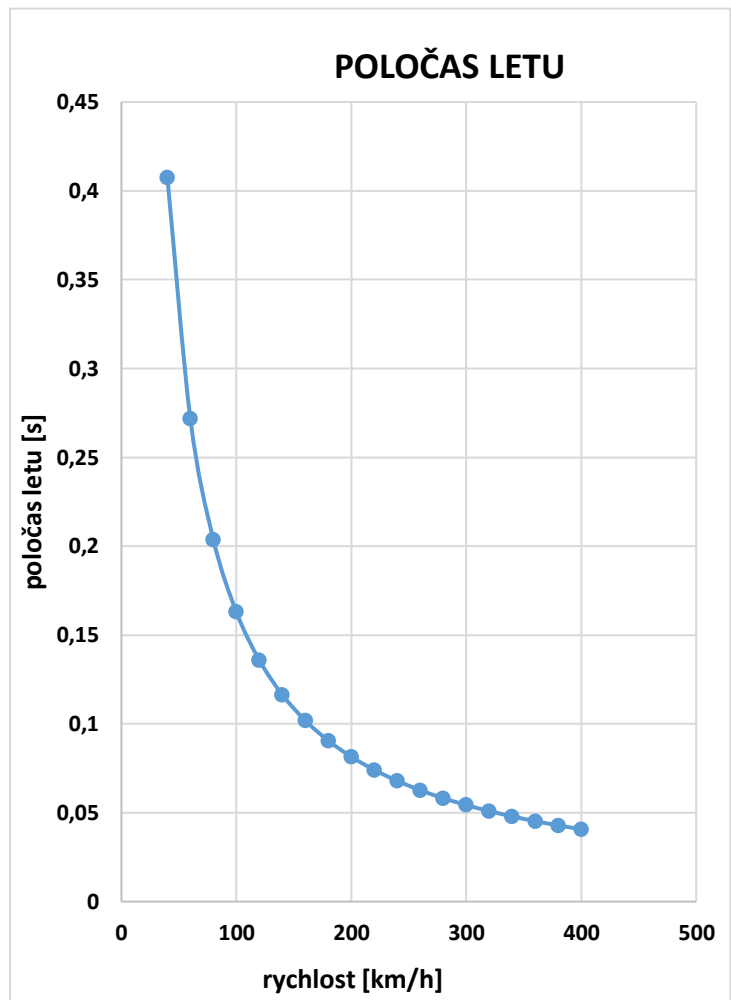
$$t_{1/2} = \frac{m}{C_d \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}} \cdot \left| \frac{1}{v} \right|_{v_1}^{v_1/2} \quad (4)$$

$$t_{1/2} = \frac{m}{C_d \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}} \cdot \frac{1}{v_1} \quad (5)$$

Vypočtený poločas pro různé rychlosti v_1 je vidět v Tabulce 1 a na grafu v obrázku 16.

Tabulka 1 Vypočtený poločas letu při určité rychlosti

Rychlost míčku [km/h]	Poločas letu [s]
40	0,407472
60	0,271648
80	0,203736
100	0,162989
120	0,135824
140	0,116421
160	0,101868
180	0,090549
200	0,081494
220	0,074086
240	0,067912
260	0,062688
280	0,05821
300	0,05433
320	0,050934
340	0,047938
360	0,045275
380	0,042892
400	0,040747



Obrázek 16 Graf závislosti poločasu letu na rychlosti

6.2 Výpočet polodráhy letu badmintonového míčku

Polodráha letu je téměř konstantní hodnota. Na grafu v obrázku 17, je vidět průběh polodráhy letu v závislosti na různých hodnotách součinitele odporu vzduchu. Výpočet polodráhy letu vychází z rovnice pro výpočet rychlosti. Hodnoty parametrů míčku a vzduchu pro výpočet jsou tyto:

$$m = 0,005 \text{ kg}$$

$$C_d = 0,5$$

$$D = 0,069 \text{ m}$$

$$v_1 = 27,778 \text{ m/s}$$

$$\rho = 1,205 \text{ kg/m}^3$$

$$v_2 = 13,889 \text{ m/s}$$

Odvození výpočtu polodráhy letu badmintonového míčku:

$$dt = \frac{ds}{v} \quad (6)$$

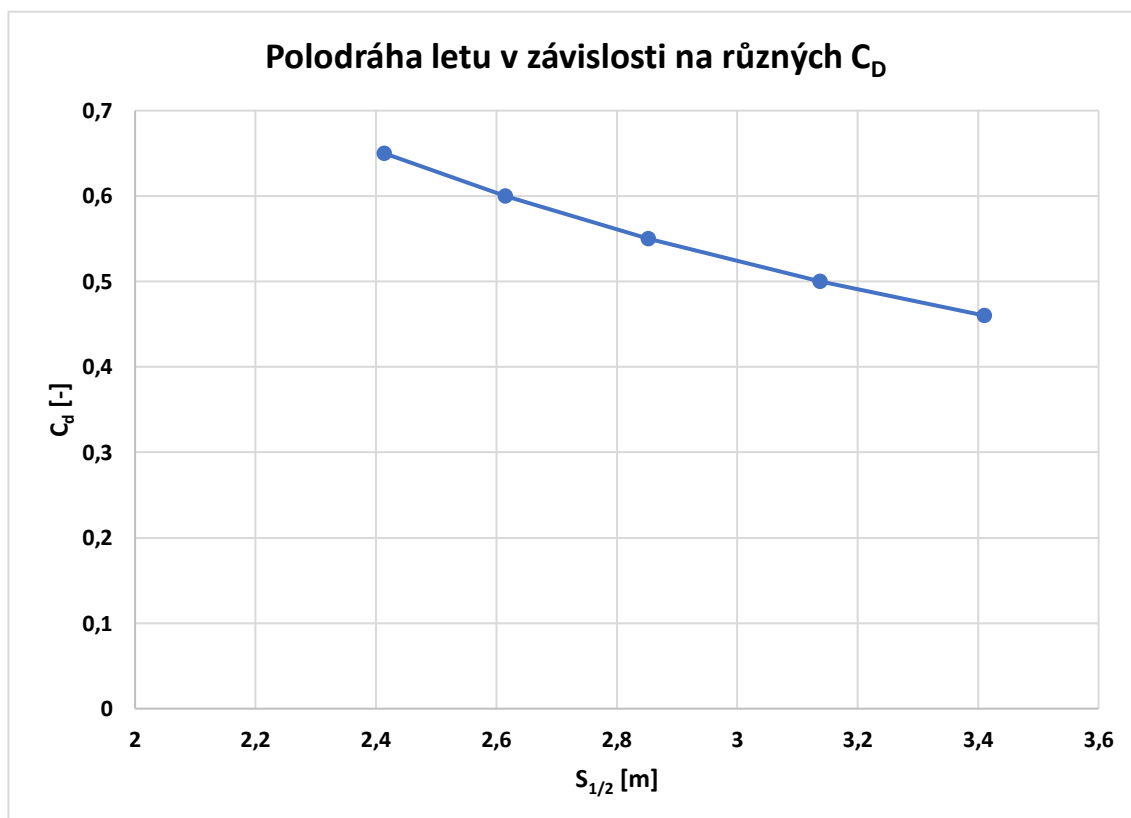
$$\frac{ds}{v} = \frac{m}{C_d \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}} \cdot \frac{dv}{v^2} \quad (7)$$

$$S_{1/2} = \frac{m}{C_d \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}} \cdot \ln(2) \quad (8)$$

V Tabulce 2. a na grafu v obrázku 17. je vidět průběh polodráhy letu v závislosti na různých hodnotách součinitele odporu vzduchu.

Tabulka 2 Vypočtená polodráha letu pro různá C_d

C_D [-]	Polodráha letu míčku [m]
0,46	3,411
0,5	3,138
0,55	2,852
0,6	2,615
0,65	2,414



Obrázek 17 Graf závislosti polodráhy letu na různém C_D

6.3 Výpočet asymptotické pádové rychlosti

Asymptotická pádová rychlost znázorňuje rychlost, kterou míček dosáhne v nekonečnu při svislém pádu. Asymptotická pádová rychlost může u badmintonového míčku nabývat různých hodnot. Je to z toho důvodu, že každý míček je trochu jiný (viz. kapitola 1.). Asymptotickou pádovou rychlost badmintonového míčku lze vyjádřit vztahem:

$$v_a = \sqrt{\frac{8 \cdot m \cdot g}{C_d \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \rho}} . \quad (9)$$

Pro náš konkrétní příklad vychází asymptotická pádová rychlost na 6,66 m/s. [3]

6.4 Svislý vrh (výstřel) badmintonového míčku vzhůru

Vypočtená hodnota udává, kolik metrů nad nastřelovací stroj míček vyletí. Svislý vrh ve vakuu můžeme spočítat podle tohoto vzorce:

$$h_v = \frac{v_1^2}{2 \cdot g} . \quad (10)$$

Výška výstupu míčku při svislém vystřelení směrem vzhůru ve vakuu vychází na 39,33 m.

Při započtení odporu vzduchu a všech vlastnostech vzduchu, jsme u diferenciální rovnice pro čas letu:

$$dt = \frac{dv}{g + \frac{c_d \cdot \rho \cdot A \cdot v^2}{m}} \quad (11)$$

$$t_{max} = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{g \cdot c_d \cdot \rho \cdot A}} \left[\operatorname{acrtg} \left(\frac{\sqrt{c_d \cdot \rho \cdot A} \cdot v_1}{\sqrt{m \cdot g}} \right) \right] . \quad (12)$$

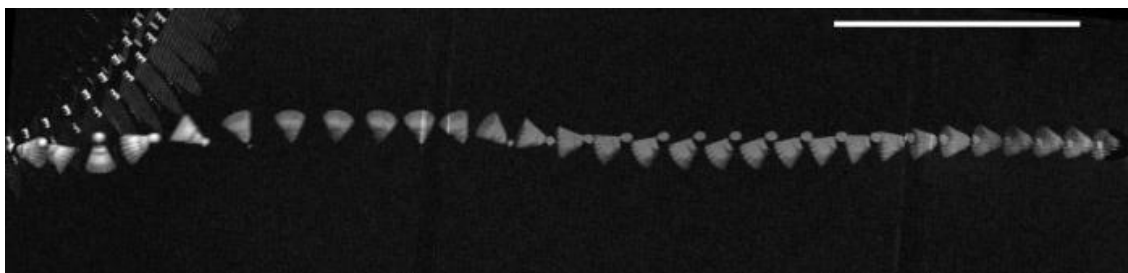
Po integraci s počáteční rychlostí v_1 při svislém vrhu vzhůru do konečné rychlosti $v_2 = 0$ m/s je řešena maximální doba letu vzhůru, která se stává horní mezí v integrálu

$$\int_0^h ds = \int_0^{t_{max}} v dt, \quad (13)$$

jehož numerická aproximace udává pro uvedený případ, že výsledná výška vystřelení badmintonového míčku v atmosféře vzhůru je 6,87 m.

7 Návrh experimentu pro měření rychlostí badmintonového míčku

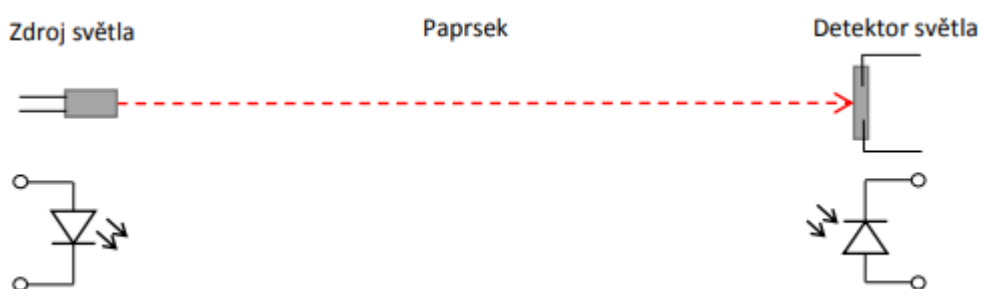
Rychlost badmintonového míčku se v praxi měří pomocí několika vysokorychlostních kamer, které snímají pohyb míčku a počítač následně jeho rychlost dopočítává. Rychlost míčku se v praxi měří cca 1 m od místa úderu míčku. Je to z toho důvodu, že 1 m od rakety má míček stabilní polohu při letu (nekolíbá se, nekmitá okolo své osy). V praxi se rychlost badmintonového míčku měří z důvodů zjištění rychlosti smeče nebo při testování nových raket či výpletů. [6]



Obrázek 18 Ukázka ustálení letu badmintonového míčku [6]

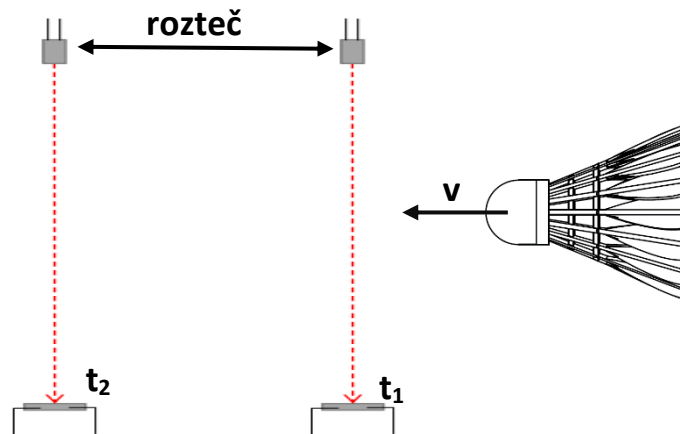
7.1 Měření rychlosti badmintonového míčku světelnou závorou

Světelná závora je optoelektrický prvek, který reaguje na přerušení paprsku světelného zdroje. Světelná závora se skládá ze zdroje světla (nejčastěji LED dioda nebo laserový paprsek), detektoru světla (fotodiody nebo fototranzistory). Světelná závora může pracovat při viditelném světelném spektru či neviditelném spektru. Je ale velmi důležité, aby zdroj světla a detektor světla byl nastaven na stejnou vlnovou délku použitého světla, jinak závora nebude fungovat správně. Dále se musí pohlídat, aby detektor světla byl dostatečně citlivý na vlnovou délku světla zdroje. Když dopadá světlo na detektor světla, prochází jím proud. V případě, že světlo detektorem neprochází, proud nevede. [6]



Obrázek 19 Ukázka jednoduché světelné závory s příslušnými schematickými značkami [6]

K měření rychlosti badmintonového míčku by bylo dobré použít 2 světelné závory, s roztečí cca 10 cm. Je to z toho důvodu, že míček má mezi brky mezery a nemohl bych měřit dobu, kdy na detektor světla neprochází proud, protože jednou bych mohl měřit dobu průchodu celého míčku, podruhé bych mohl změřit jen průchod hlavičky badmintonového míčku. Při použití dvou světelných závor tento problém odpadá. Měřila by se doba mezi počátky zakrytí světelného paprsku u obou závor. Z času, kdy došlo nejdříve k překrytí prvního paprsku světla a pak druhého paprsku světla a známé vzdálenosti mezi paprsky by se dopočítala výsledná rychlost míčku. [6]

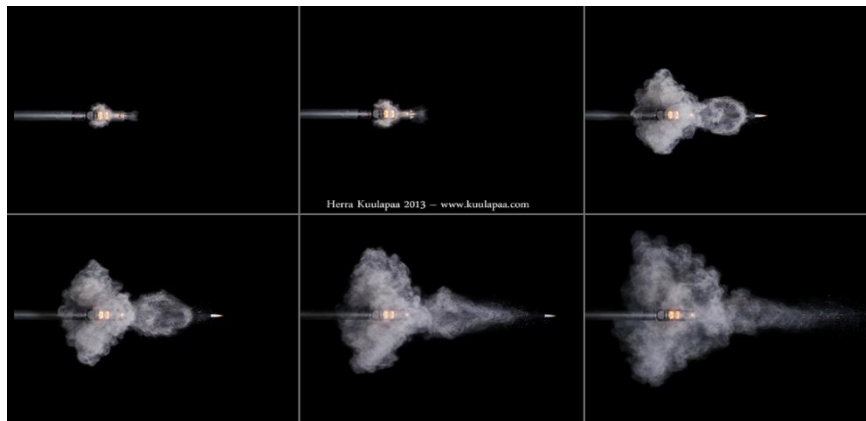


Obrázek 20 Schéma měření rychlosti míčku pomocí 2 světelných závor [6]

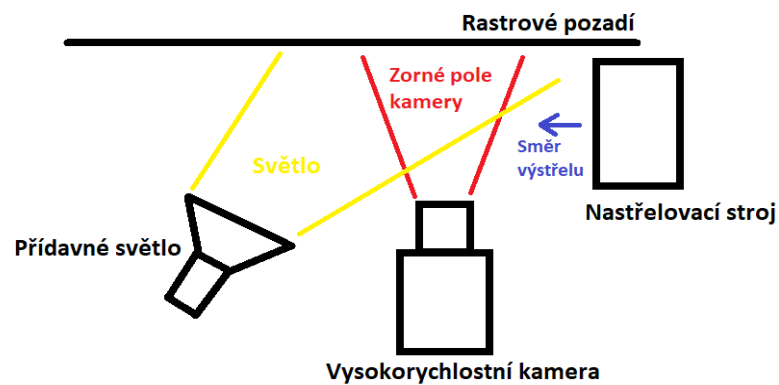
7.2 Měření rychlosti badmintonového míčku pomocí vysokorychlostní kamery

Vysokorychlostní kamera je přenosné optoelektrické zařízení, které dokáže pořizovat video záznam o velmi vysoké frekvenci (200-1 000 000 snímků za vteřinu). Vysokorychlostní kamera dokáže pořizovat snímky jak barevné, tak černobílé. Díky tomuto záznamu je možné identifikovat jevy, které nejsou běžným okem postřehnutelné. Běžná kamera pořizuje okolo 25 snímků za vteřinu. Vysoký počet snímků za vteřinu má ale i nevýhody. Jedna z nich je taková, že při snímkovací frekvenci 20 000 snímků za vteřinu a rozlišení záznamu 250x250 pixelů je třeba uložit za 1 vteřinu okolo 1 GB dat. Z toho vyplývá, že záběry vysokorychlostní kamerou jsou velice náročné na velikost úložiště i na potřebné vybavení, které zvládne požadovaný objem dat rychle přenést. [6]

Na měření výstřelu badmintonového míčku by se použila jedna vysokorychlostní kamera, rastrové pole, které by bylo umístěno za nastřelovacím strojem a doplňující světla. Rastrové pole by se použilo z důvodu lepšího odečítání ulétlé vzdálenosti míčku. Na počítači bych si záznam spustil a odečetl čas letu od jednoho měřícího bodu k druhému. Díky tomu, že by byla známa vzdálenost mezi měřícími body, tak by se mohla dopočítat potřebná rychlost letu. [6]



Obrázek 21 Ukázka výstřelu ze zbraně, který je zachycen vysokorychlostní kamerou [6]



Obrázek 22 Schéma měření rychlosti vysokorychlostní kamerou [6]

8 Měření vybraných parametrů letu badmintonového míčku

Pro měření letových parametrů badmintonového míčku je zvolena upravená forma měření pomocí vysokorychlostní kamery. Měřené péřové míčky jsou od firmy RSL, konkrétně model No.3. Měření spočívá v tom, že se vytvoří videozáznam o známé snímkovací frekvenci s daným dějem. Pro měření je zvoleno pozadí ve formě dlouhého papíru s narýsovanými rovnoběžkami (dále jen rastrový papír) o rozteči 10 cm. Ukázka tohoto papíru je vidět na obrázku 23. Na videozáznamu poté pomocí softwaru na úpravu videí se zjistí, na jakém snímku videozáznamu děj začal, a na jakém snímku skončil. Jestliže je znám přesný počet snímku za vteřinu, tak lze dopočítat pomocí rovnice 14 čas, který jeden snímek představuje.

$$t_{sn} = \frac{1}{szs} \quad (14)$$

Pokud je znám čas jednoho snímku a počet snímků, za které děj proběhl, je možné dle rovnice 15 spočítat čas průběhu děje s přesností cca ± 1 snímky (záleží na správném odečtení z videa).

$$t_d = t_{sn} \cdot n_{sn} \quad (15)$$

Jakmile jsou spočteny tyto rovnice, je znám čas děje, ze kterého je možno spočítat rychlost. Při všech měření je využita kamera se snímkovací frekvencí 120 fps. Z toho vyplývá, že $t_{sn} = 0,008333$ s.



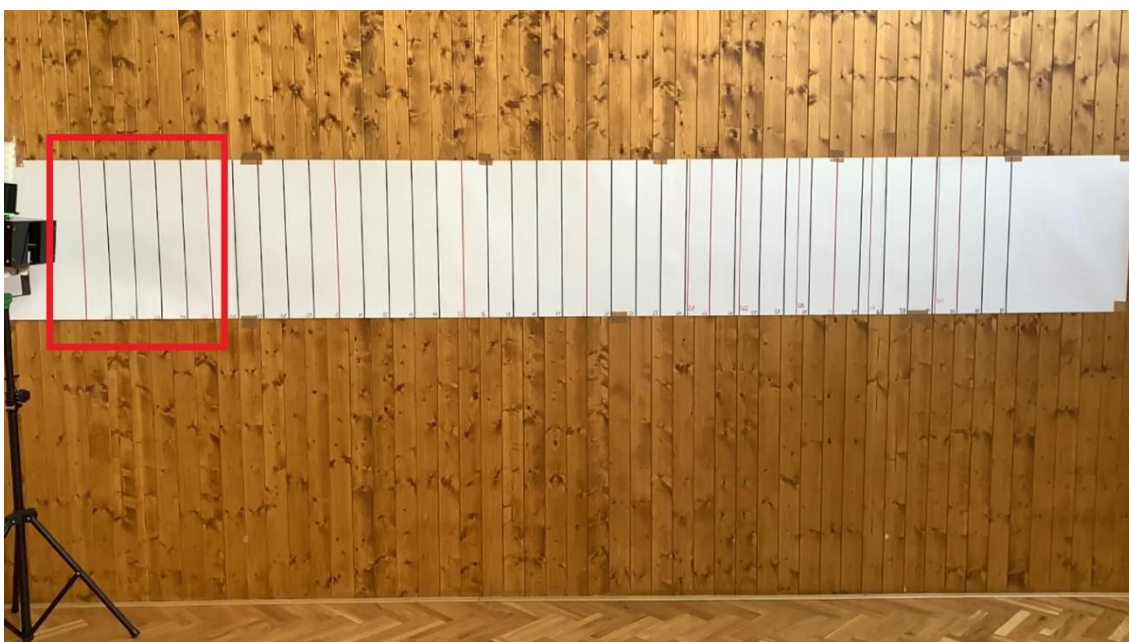
Obrázek 23 Ukázka rastrového papíru [7]

8.1 Měření počáteční rychlosti badmintonového míčku

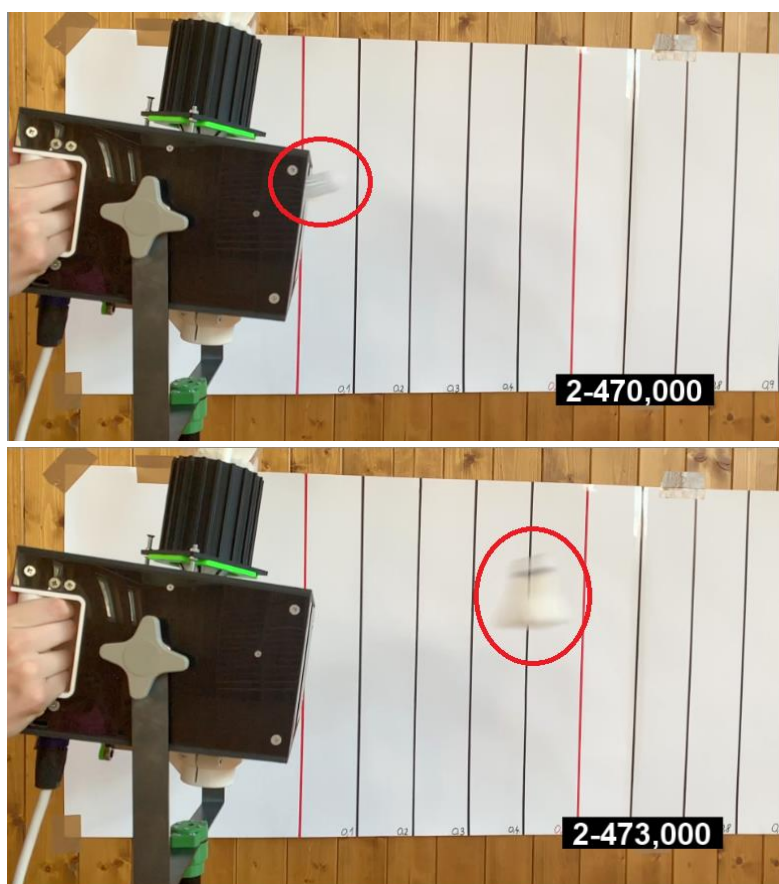
Při měření počáteční rychlosti badmintonového míčku je měřena rychlost míčku bezprostředně po opuštění nastřelovacího stroje (viz. Obrázek 24.). Maximální teoretická počáteční rychlost je 27,778 m/s. Naměřeno je 10 počátečních rychlostí a z nich je spočten průměr.

Tabulka 3 Naměřené hodnoty počáteční rychlosti

Měření č.	Naměřená rychlost [m/s]
1.	30
2.	20
3.	20
4.	30
5.	30
6.	30
7.	30
8.	30
9.	30
10.	30
Průměrná počáteční rychlost [m/s]	28



Obrázek 24 Oblast měření počáteční rychlosti míčku



Obrázek 25 Ukázka průběhu měření počáteční rychlosti s čísly snímků (nahore začátek, dole konec)

8.2 Měření poločasu letu badmintonového míčku

Při měření poločasu letu je vyhodnocován čas letu badmintonového míčku, za který dosáhne poloviční rychlosti (měřená oblast na obrázku 26.). V kapitole 5.1 jsou vypočteny poločasy letu pro různé počáteční rychlosti v_1 . Měření poločasu letu je naměřeno pro 5 míčků z důvodu zprůměrování výsledku. Pro každý míček je naměřena počáteční rychlost z důvodu přesnějšího a kvalitnějšího měření.

Měření je vyhodnoceno pomocí počtu snímků ve videozáznamu. Teoretická hodnota poločasu letu při počáteční rychlosti $v_1 = 27,778$ m/s je $t_{1/2} = 0,163$ s. Při známé hodnotě času jednoho snímku t_{sn} je možno určit počet snímků n_{sn} (dle rovnice 16), za které se míček dostane na jeho poločas letu. Na daném snímku je pak možno určit rychlost míčku a vyhodnotit z toho, zda se míček za daný čas dostal na poloviční rychlost či ne.

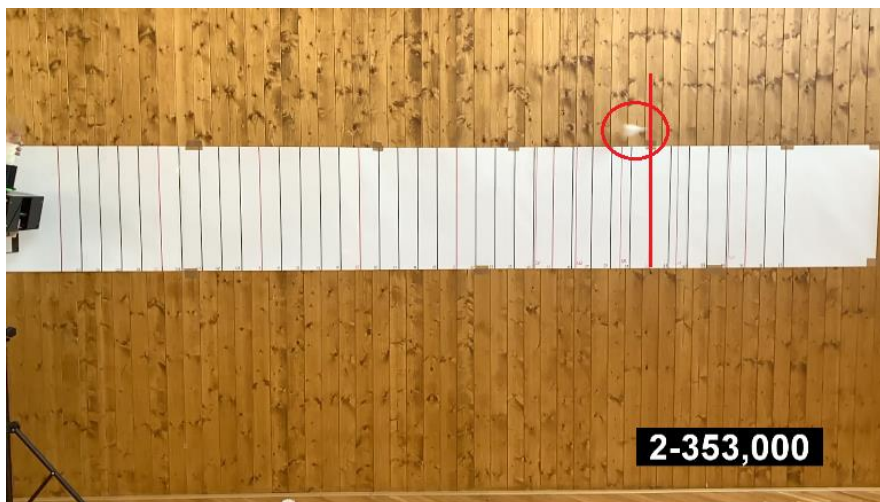
$$n_{sn} = \frac{t_{1/2}}{t_{sn}} \quad (16)$$

Tabulka 4 Výsledky naměřených hodnot poločasu letu

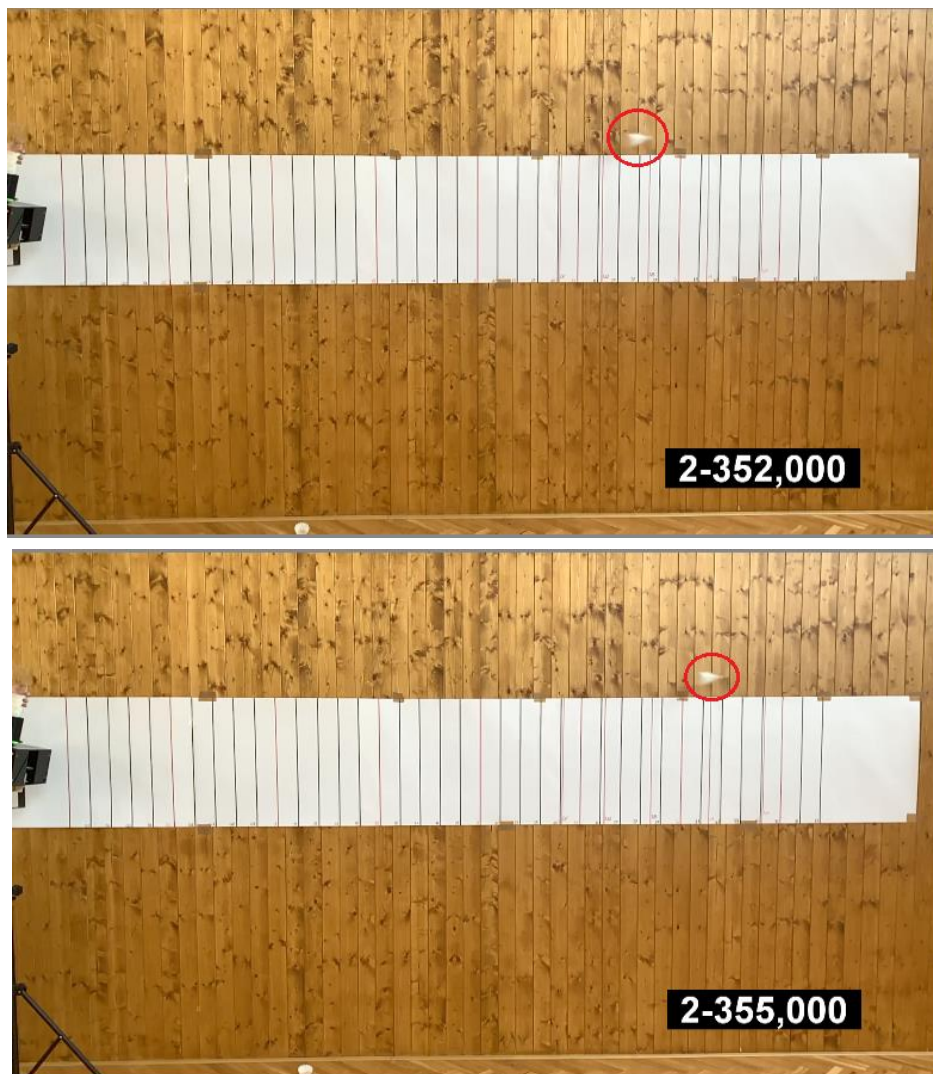
Míček č.	Skutečná počáteční rychlost [m/s]	Vypočtený poločas [s]	Poloviční rychlost [m/s]	Naměřená rychlost v daném poločase [m/s]	Rozdíl rychlostí v abs. hodnotě [m/s]
1.	30	0,148	15	12	3
2.	20	0,222	10	9,6	0,4
3.	15	0,296	7,5	10	2,5
4.	21	0,211	10,5	12	1,5
5.	30	0,148	15	21	6



Obrázek 26 Oblast měření poločasu letu



Obrázek 27 Dolet míčku za daný poločas letu



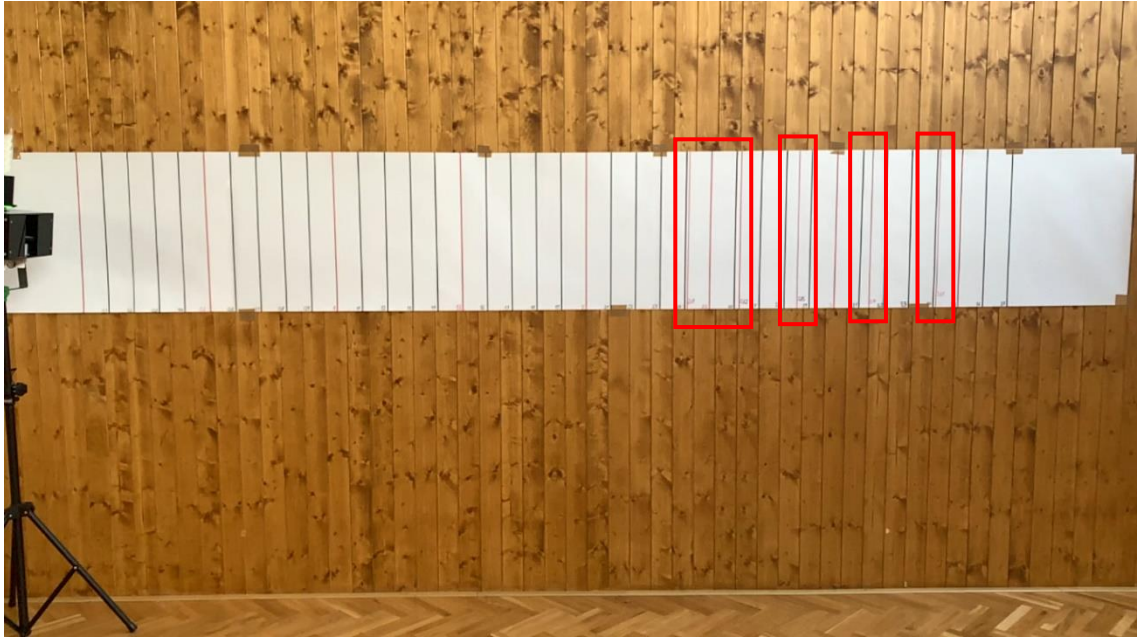
Obrázek 28 Ukázka oblasti měření rychlosti ve vzdálenosti na poločasu letu

8.3 Měření polodráhy letu badmintonového míčku

Při měření polodráhy letu badmintonového míčku je vyhodnocována rychlost, na dané vzdálenosti. Z naměřené rychlosti je možnost určit, k jakému součiniteli odporu vzduchu je míček nejbližší (z toho vyplývá daná polodráha letu) a zda se vypočtené hodnoty blíží skutečnosti. V kapitole 5.2 jsou vypočtené hodnoty vzdálenosti polodráhy letu pro různé součinitele odporu vzduchu C_d . Na těchto vypočtených vzdálenostech je provedeno měření. Z výsledků je možno určit jakou hodnotu součinitele odporu vzduchu C_d míček má. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5 Naměřené hodnoty polodráhy letu

Cd [-]	Teoretická $s_{1/2}$ [m]	Počáteční rychlost naměřená [m/s]	Naměřená rychlost [m/s]	Odchylka od poloviční rychlosti [m/s]
Míček 1				
0,46	3,411	30	12	3
0,5	3,138		12	3
0,55	2,852		12	3
0,6	2,615		14	1
0,65	2,414		16	1
Míček 2				
0,46	3,411	20	7	3
0,5	3,138		7,2	2,8
0,55	2,852		9	1
0,6	2,615		9	1
0,65	2,414		9,6	0,4
Míček 3				
0,46	3,411	15	2,4	5,1
0,5	3,138		2,8	4,7
0,55	2,852		3,27	4,22
0,6	2,615		3,6	3,9
0,65	2,414		4	3,5
Míček 4				
0,46	3,411	21	6,86	3,64
0,5	3,138		8,4	2,1
0,55	2,852		10	0,5
0,6	2,615		10,5	0
0,65	2,414		12	1,5
Míček 5				
0,46	3,411	30	9	6
0,5	3,138		10,8	4,2
0,55	2,852		12	3
0,6	2,615		14	1
0,65	2,414		16	1



Obrázek 29 Oblasti měření polodráhy letu



Obrázek 30 Míček na dané polodráze letu



Obrázek 31 Ukázka měření rychlosti míčku na dané hodnotě polodráhy letu

9 Zhodnocení naměřených výsledků

9.1 Zhodnocení výsledků měření počáteční rychlosti

Měření počáteční rychlosti probíhalo na prvním půl metru měřené dráhy. Při měření byla dosažena maximální počáteční rychlost 30 m/s a nejnižší rychlost 20 m/s. Průměrná počáteční rychlost dosahuje hodnoty 28 m/s. Tato hodnota je ve srovnání s navrženou rychlostí 27,778 m/s o trochu vyšší, což dokazuje splnění cíle při návrhu badmintonového nastřelovacího stroje. Tím, že snímkovací frekvence kamery byla pouze 120 fps, docházelo k tomu, že na daných snímcích nedosáhl míček vzdálenosti 0,5m, anebo ji naopak překonal. Tyto odchylky způsobují chybu v měření. Dále se hodnoty počátečních rychlostí mohly měnit z různých důvodů, jako je třeba špatné uchopení míčku kotouči, prokluz kotouče na hřídeli motoru, chybné odečtení z videa a další.

9.2 Zhodnocení výsledků měření poločasu letu míčku

Měření rychlosti na daném poločasu letu probíhalo na celé délce měřené dráhy. Největší chybou měření bylo odečítání velikosti ulétlé dráhy míčku z videa. Z této chyby vyplývá i rozmezí, ve kterém se pohybuje odchylka naměřené rychlosti na daném poločase oproti poloviční rychlosti (odchylka se pohybuje od 0,4 m/s do 6 m/s). Další parametr, který způsobuje odchylku rychlosti na daném poločase oproti poloviční rychlosti je součinitel odporu vzduchu. Ve výpočtech je volen jako konstanta 0,5, ale každý míček může mít hodnotu jinou, a to ovlivní vypočtené výsledky. I tak je možné říct, že naměřené výsledky a rovnice, ze kterých je poločas spočítán jsou pro orientační výsledky správné a použitelné. Lepší výsledky by byly dosaženy v případě kvalitnější měřicí techniky a zjištění správného koeficientu odporu vzduchu pro každý měřený míček.

9.3 Zhodnocení výsledků měření polodráhy letu míčku

Měření rychlosti na dané polodráze letu probíhalo na vytyčených částech, které jsou uvedeny na obrázku 29. Tím, že je polodráha téměř konstantní vzdálenost, tak byla spočtena pro různé součinitele odporu vzduchu a na těchto hodnotách byla měřena rychlost. Díky tomu bylo možné porovnat, ke které hodnotě součiniteli odporu vzduchu jsou míčky nejbližší. Nejmenší odchylky rychlosti na daných polodráhách letu jsou pro hodnoty součinitele vzduchu 0,65 a 0,6 (odchylky se zde pohybují 0 m/s do 3,9 m/s). Díky těmto výsledkům je možno říct, že výpočty polodráhy letu jsou správné.

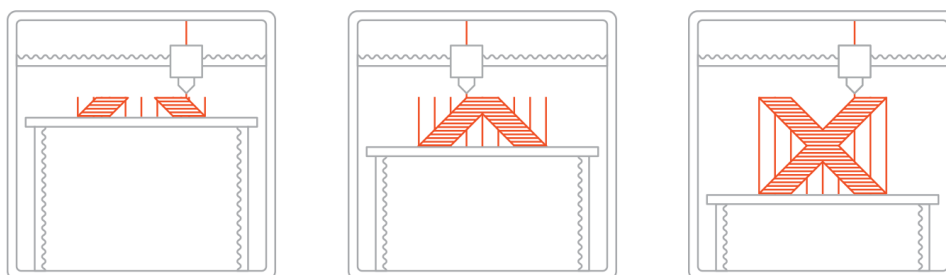
10 Výroba badmintonového nastřelovacího stroje

Výroba nastřelovacího stroje byla různorodá. Na výrobu dílů se použily různé technologie. Uplatnily se technologie jako je 3D tisk, konvenční výroba, řezání vodním a laserovým paprskem a CNC obrábění.

10.1 3D tisk

3D tisk se dělí na několik technologií. Liší se dle principu tisku, používaných materiálů a dalšího. V praxi se 3D tiskárny nejčastěji rozlišují dle technologie. Při výrobě nastřelovacího stroje je použita technologie FDM. Jedná se o tisk pomocí roztaveného plastového vlákna. Tiskové vlákno je ve formě drátu navinuté na cívce. Vlákno je vedeno do extruderu, který má za úkol sunout materiál do trysky. Většinou se extruder skládá z krokového motoru a dvou speciálních ozubených kol, malého průměru, mezi kterými prochází dané tiskové vlákno. Přes extruder pokračuje tiskové vlákno do trysky, která je zahřátá na teplotu vhodnou pro tisk daného materiálu (většinou 230-270 °C). [8]

Touto technologií se na nastřelovacím stroji vyráběly tvarově složité díly, anebo díly, u kterých by výroba na CNC strojích nebo konvenčních strojích vycházela draze. Těmito díly jsou například držáky odpalovacích motorů, základní deska a další.



Obrázek 32 Průběh tisku FDM technologií [8]

10.2 Konvenční výroba

Konvenční výroba probíhá na klasických strojích, kde je ubírán materiál a veškeré pohyby a nastavení jsou prováděny ručně nebo pomocí strojních posuvů jako jsou například soustruhy, frézky, vrtačky a další. Na výrobu dílu pro nastřelovací stroj byly použity konvenční soustruhy, na kterých se obráběly vodící tyče, čepy, futra, a další.



Obrázek 33 Konvenční soustruh [9]

10.3 Řezání vodním paprskem

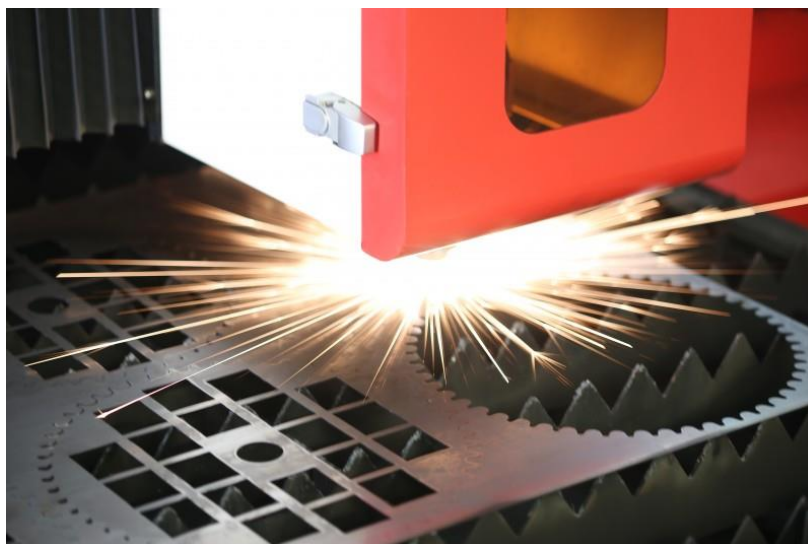
Tento způsob výroby je moderní, ekologický a zároveň rychlý s možností řezání širokého spektra materiálů (kov, plast, pěny a další). Řezání vodním paprskem probíhá tak, že vysokotlaké zařízení natlakuje vodu na zhruba 4150 barů, ve směšovací komoře pak zařízení do vody přidá abrazivní materiál. Natlakovaná směs dále prostupuje tryskou o světlosti 1 milimetr. Výhodou této metody je to, že se tryska nedotýká obráběného materiálu, a tudíž vzniká menší pravděpodobnost porušení obráběného materiálu nástroje. Paprsek takto natlakované vody má dostatečnou energii na to, aby řezal materiály s vysokou pevností, křehké i houževnaté materiály, a dokonce i měkké materiály. Pohyb trysky je řízen počítačem, takže konečný řez je velmi přesný. U tohoto typu řezání nedochází k tepelnému zatížení obrobku, a tím pádem nedochází k vytváření vnitřního pnutí. Na nastřelovacím stroji byly takto vyrobeny díly „deskovitého“ charakteru, jako jsou části krytu stroje. [10], [11]



Obrázek 34 Ukázka řezání vodním paprskem [10]

10.4 Řezání laserem

Řezání laserem se používá převážně pro řezání kovů. Je možné řezat laserem i některé druhy plastů. Každý systém pro řezání laserem má základní zdroj laseru je vlákno nebo CO₂. Paprsek laseru je veden buď optickým kabelem nebo systémem zrcadel. Těmito systémy je paprsek doveden od zdroje do řezací hlavy až k portálu řezacího stolu. V řezné hlavě je paprsek zaostřen do přesně definovaného ohniska, které se nastavuje dle typu a tloušťky řezaného materiálu. Laserové řezání se rozděluje do několika způsobů dle působení soustředěné energie laserového paprsku. Prvním typem je tavné řezání, kde je řezaný materiál taven a vzniklá spára je profukována inertním plynem, nejčastěji dusíkem. Díky tomu vznikají čisté a neoxidované lesklé řezy. Druhým typem je oxidační řezání, kde je řezaný materiál taven ale zároveň i spalován pomocí plynu, nejčastěji kyslíku. U tohoto řezu vzniká řez s mírnou stopou oxidace. A dalším posledním typem je sublimační řezání, kde je řezný materiál taven a odpařován. U tohoto typu řezání je velkou výhodou minimální tloušťka řezné spáry (0,1-0,5mm), možnost řezání neželezných materiálů, atd. [12]



Obrázek 35 Ukázka řezání laserem [12]

11 Závěr

Badmintonový stroj se povedlo sestrojít, použít pro měření vybraných parametrů letu badmintonového míčku a v rámci konkurenceschopnosti obstál. Tímto byl jeden cíl splněn.

Dalším cílem bylo odvodit vybrané parametry letu badmintonového míčku a následně je měřit. Při odvozování výpočtu polodráhy letu se dospělo k výsledku, že je polodráha letu zcela nezávislá na počáteční rychlosti a tím pádem je to téměř konstantní hodnota pro jeden určitý koeficient odporu vzduchu. Následujícím parametrem pro odvození byl poločas letu badmintonového míčku. Poločasu letu badmintonového míčku vyšel stejně jako prvotní úvahy. A to tak, že se zvyšující se rychlostí poločas letu hyperbolicky klesá. Dalším odvozeným parametrem byl čas letu, za který se badmintonový míček dostane na nulovou rychlost při svislém výstřelu vzhůru. Zde se ukázalo, jak je velký rozdíl ve vystoupané výšce míčku v atmosféře oproti vakuu. Těmito odvozeními byl cíl odvození vybraných parametrů letu badmintonového míčku splněn.

Posledním cílem bylo měření odvozených parametrů letu badmintonového míčku. Měřena byla počáteční (odpalovací) rychlost míčku, poločas letu a polodráha letu badmintonového míčku. Měření vybraných parametrů bylo v rámci možností úspěšné. Hodnoty počáteční rychlosti míčku vyšly dle předpokládané konstrukce. Potvrdily správné zkonstruování stroje, který byl navržen na odpalovací rychlost 100 km/h. Následujícím měřeným parametrem byl poločas letu badmintonového míčku. Zde bylo měření složitější, jelikož bylo zapotřebí zachytit let míčku po celé délce měřené dráhy. Měření se nakonec vydařilo a potvrdilo platnost vzorců, které byly odvozeny. Posledním měřeným parametrem byla polodráha letu badmintonového míčku. Tento parametr se měřil na předem vytyčených místech dle vypočtených hodnot pro každý součinitel odporu vzduchu. Měření potvrdilo platnost vypočtených hodnot z odvozených rovnic.

Při každém měření byly nepřesnosti, které se projevíly ve výsledcích. Největší nepřesností měření bylo nesnadné odečtení správné uražené vzdálenosti míčku a následné zjištění na jakém snímku videa se míček nachází. Další chybou, která hrála vliv byla malá vzorkovací frekvence kamery. V případě vyšší vzorkovací frekvence by bylo dosaženo přesnějších výsledků. I přes všechny chyby bylo měření vyhodnoceno a potvrdilo platnost odvozených rovnic. Měření vybraných parametrů letu je tedy splněno.

12 Zdroje

- [1] VORLÍK, Jan: Badmintonový nastřelovací stroj a popis trajektorie letu badmintonového míčku, Interní zpráva, ČVUT v Praze, 2018
- [2] Badmintonbay [online]. 2008 [cit. 2018-10-13]. Dostupné z: <https://www.badmintonbay.com/Feather-Shuttlecock-Speed-Chart.html>
- [3] VORLÍK, Jan. Nahrávací stroj s podávacím mechanismem badmintonových míčků. Česká Republika. Č. patentové přihlášky D18095605. Přihlášeno 9.10.2018
- [4] VORLÍK, Jan. Badmintonový nastřelovací stroj a vybrané parametry letu badmintonového míčku. Praha, 2019. Příspěvek na STČ. ČVUT.
- [5] LE PERSONNIC Julien, Firoz Alam, Laurent Le Gendre, Harun Chowdhury a Aleksandar Subic. Flight trajectory simulation of badminton shuttlecocks. Elsevier Ltd, 2011.
- [6] VORLÍK, Jan. Aerodynamické údaje o letu badmintonového míčku. ČVUT v Praze, 2018. Oborový projekt. FS ČVUT.
- [7] The new age parents [online]. Singapore, 2008 [cit. 2019-05-30]. Dostupné z: <https://thenewageparents.com/home-science-experiments-for-kids/>
- [8] VAROTSIS, Alkaios Bournias. Introduction to FDM 3D printing [online]. [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing>
- [9] In: Style made in Holland [online]. Dvůr Králové nad Labem [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.stylecncmachines.cz/machines/zmm-cu325/>
- [10] Co je řezání vodním paprskem?. Řežeme vodou [online]. TALPA-RPF, 2011 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.rezeme-vodou.cz/rezani-vodnim-paprskem.php>
- [11] Řezání vodním paprskem HyPrecision Waterjet s technologií Advanced Intensifier Technology. In: MMspektrum [online]. FIREMNIWEB.CZ, 2019 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/novinka/rezani-vodnim-paprskem-hyprecision-waterjet-s-technologiei-advanced-intensifier-technology.html>
- [12] Princip fungování laserového řezání. MEPAC CZ [online]. Třinec: MEPAC [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.mepac.cz/cz/lasery---sluzby/laserove-rezani-planzet/2/princip-fungovani-laseroveho-rezani>

13 Seznam použitých symbolů

A – smluvní plocha míčku (m^2)

C_D – koeficient odporu vzduchu (-)

D – největší průměr míčku (m)

F_D – Odporová síla (N)

h – výška stoupání ve vzduchu při svislém vrhu vzhůru (m)

h_v – výška stupání ve vakuu při svislém vrhu vzhůru (m)

m – hmotnost badmintonového míčku (kg)

n_{sn} – počet snímků, za které se děj udál (snímek)

szs – snímkovací frekvence videozáznamu (fps)

$s_{1/2}$ – polodráha letu (s)

t – čas letu míčku (s)

t_{sn} – čas, který představuje jeden snímek videozáznamu (s)

t_d – čas měřeného děje (s)

$t_{1/2}$ – poločas letu (s)

v – okamžitá rychlost badmintonového míčku (m/s)

v_a – asymptotická rychlost míčku (m/s)

v_1 – počáteční rychlost badmintonového míčku (m/s)

v_2 – polovina rychlosti v_1 (m/s)

ρ – hustota vzduchu (kg/m^3)

14 Přílohy

Seznam příloh: Příloha A – Tabulka s výpočty počáteční rychlosti

Příloha B – Tabulka s výpočty rychlosti poločasu a polodráhy letu

Příloha A – Tabulka s výpočty počáteční rychlosti

Měření č.	Děj [n_{sn}]		počet snímků	čas letu [s]	dráha letu [m]	rychlost míčku [m/s]
	začátek	konec				
1.	2193	2195	2	0,016667	0,5	30
2.	2329	2332	3	0,025	0,5	20
3.	2470	2473	3	0,025	0,5	20
4.	2608	2610	2	0,016667	0,5	30
5.	3027	3029	2	0,016667	0,5	30
6.	548	550	2	0,016667	0,5	30
7.	808	810	2	0,016667	0,5	30
8.	1588	1590	2	0,016667	0,5	30
9.	2459	2461	2	0,016667	0,5	30
10.	3004	3006	2	0,016667	0,5	30
Průměr	-	-	2,2	0,018333	0,5	28

Příloha B – Tabulka s výpočty rychlosti poločasu a polodráhy letu

Počáteční rychlost

Měření č.	Děj [n_{sn}]		Počet snímku	Čas letu [s]	Dráha letu [m]	Počáteční rychlost míčku [m/s]
	Začátek	Konec				
1.	2335	2337	2	0,016667	0,5	30
2.	2469	2472	3	0,025	0,5	20
3.	3018	3022	4	0,033333	0,5	15
4.	3578	3582	4	0,033333	0,7	21
5.	1223	1225	2	0,016667	0,5	30

Poločas letu

Měření č.	Počáteční rychlost [m/s]	Poloviční rychlost [m/s]	Poločas letu [s]	Rychlost v poločase [m/s]	Rozdíl rychlostí v abs. hodnotě [m/s]
1.	30	15	0,147956	12	3
2.	20	10	0,221935	9,6	0,4
3.	15	7,5	0,295913	10	2,5
4.	21	10,5	0,211366	12	1,5
5.	30	15	0,147956	21	6

Pomocné výpočty poločasu letu

Měření č.	poločas letu [fps]	Děj [n_{sn}]		Počet snímku	Čas letu [s]	Dráha letu [m]	Rychlost míčku v poločase [m/s]
		Začátek	Konec				
1.	17,754763	2352	2355	3	0,025	0,3	12
2.	26,632144	2492	2497	5	0,041667	0,4	9,6
3.	35,509526	3049	3055	6	0,05	0,5	10
4.	25,363947	3600	3605	5	0,041667	0,5	12
5.	17,754763	1238	1242	4	0,033333	0,7	21

Měření č.	Začátek děje [fps]	Poločas letu [fps]	Snímek s rychlostí v daném poločase
1.	2335	17,75476	2352,754763
2.	2469	26,63214	2495,632144
3.	3018	35,50953	3053,509526
4.	3578	25,36395	3603,363947
5.	1223	17,75476	1240,754763

Polodráha letu

Měření č.	Počáteční rychlost [m/s]	Polodráha letu badmintonového míčku 2,414 m				
		začátek	konec	rychlost [m/s]	poloviční rychlost [m/s]	rozdíl [m/s]
1.	30	2347	2350	16	15	1
2.	20	2445	2450	9,6	10	0,4
3.	15	3054	3063	4	7,5	3,5
4.	21	1253	1257	12	10,5	1,5
5.	30	1951	1954	16	15	1

Měření č.	Počáteční rychlost [m/s]	Polodráha letu badmintonového míčku 2,615 m				
		začátek	konec	rychlost [m/s]	poloviční rychlost [m/s]	rozdíl [m/s]
1.	30	2349	2352	14	15	1
2.	20	2447	2451	9	10	1
3.	15	3063	3073	3,6	7,5	3,9
4.	21	1256	1260	10,5	10,5	0
5.	30	1953	1956	14	15	1

Měření č.	Počáteční rychlost [m/s]	Polodráha letu badmintonového míčku 2,852 m				
		začátek	konec	rychlost [m/s]	poloviční rychlost [m/s]	rozdíl [m/s]
1.	30	2350	2354	12	15	3
2.	20	2450	2454	9	10	1
3.	15	3070	3081	3,272727273	7,5	4,227273
4.	21	1258	1264	10	10,5	0,5
5.	30	1955	1959	12	15	3

Měření č.	Počáteční rychlost [m/s]	Polodráha letu badmintonového míčku 3,138 m				
		začátek	konec	rychlost [m/s]	poloviční rychlost [m/s]	rozdíl [m/s]
1.	30	2352	2356	12	15	3
2.	20	2452	2457	7,2	10	2,8
3.	15	3080	3092	2,8	7,5	4,7
4.	21	1262	1267	8,4	10,5	2,1
5.	30	1957	1962	10,8	15	4,2

Měření č.	Počáteční rychlost [m/s]	Polodráha letu badmintonového míčku 3,411 m				
		začátek	konec	rychlost [m/s]	poloviční rychlost [m/s]	rozdíl [m/s]
1.	30	2356	2360	12	15	3
2.	20	2455	2461	7	10	3
3.	15	3095	3115	2,4	7,5	5,1
4.	21	1263	1270	6,857142857	10,5	3,642857
5.	30	1961	1967	9	15	6