

Badmintonový nastřelovací stroj a vybrané parametry letu badmintonového míčku

Jan Vorlík^{1,*}

Vedoucí práce: prof. Ing. Pavel Šafařík, CSc.

¹ ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav mechaniky tekutin a termodynamiky, Technická 4, 166 07 Praha 6, Česká republika

² ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav mechaniky tekutin a termodynamiky, Technická 4, 166 07 Praha 6, Česká republika

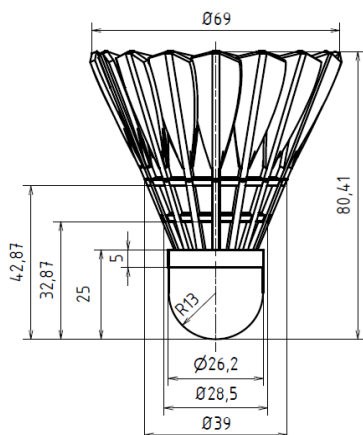
Abstrakt

Tato práce obsahuje výpočty vybraných parametrů letu badmintonového míčku, popis funkce a konstrukce badmintonového nastřelovacího stroje. Let badmintonového míčku je zajímavý už jen kvůli tvaru míčku a jeho složení (husí brka, korek...). V této práci jsou vypočítány tyto veličiny: polodráha letu, poločas letu, výška svislého výstřelu směrem vzhůru a asymptotická rychlost letu badmintonového míčku. U výpočtů jsou uvedeny všechny potřebné vzorce, jejich odvození i popsání. Kvůli tvaru badmintonového míčku je zvláštní i konstrukce badmintonového nastřelovacího stroje. V této práci jsou zde popsány oba hlavní mechanismy stroje, a to podávací a odpalovací. U podávacího mechanismu je zajímavé jeho provedení, které je i předmětem patentového řízení. Podávací mechanismus se skládá z podávacích kleští, vedení a klikového mechanismu. Kleště mají za funkci uchopení míčku ze zásobníku (tuby) a přenést míček do odpalovacího mechanismu. Odpalovací mechanismus je složen ze dvou odpalovacích kotoučů, které se točí v opačném smyslu o určitých otáčkách. Odpalovací kotouče mají být schopny vyvinout takovou sílu na míček, aby byl míček vystřelen rychlostí 100 km/h.

Klíčová slova: badmintonový míček, badminton, letové parametry, konstrukce, nastřelovací stroj, patent

1. Parametry badmintonového míčku

Pérový 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 pérového badmintonového míčku jsou vidět na obr. 1. Rozměry se u každého míčku mohou mírně lišit. 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



Obr. 1 - Orientační rozměry badmintonového míčku

stejně natočená a měly stejný tvar. Hmotnost pérového badmintonového míčku činí 4,75g až 5,5g. [1] [2]

2. Formulace úlohy pro výpočet parametrů badmintonového míčku (polodráha, poločas, asymptotická rychlost)

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 míček zpomalí na poloviční rychlost. Poločas letu vyjadřuje naopak dobu letu míčku, po kterém 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 spočítáme 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 pérového badmintonového míčku nabývá hodnot od 0,46 do 0,65. [1][3][4]

2.1. Zvolené parametry badmintonového míčku

Pro výpočty jsem zvolil tyto parametry:

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

$$C_d = 0,5$$

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

* Kontakt na autora: Jan.Vorlik@fs.cvut.cz

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

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

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

2.2. Výpočet poločasu letu badmintonového míčku

Výpočet poločasu letu vychází z rovnice odporové síly. Odvození výpočtu poločasu letu badmintonového míčku:

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

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

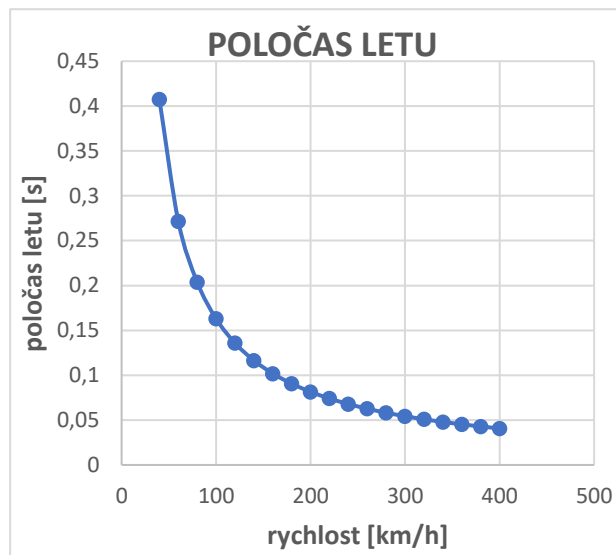
$$t_{1/2} = \frac{m}{C_d \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}} \cdot \left(\frac{1}{v}\right)_{v_1}^{v_1/2} \quad (4)$$

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

Vypočtený poločas pro různé rychlosti v_1 můžeme vidět v Tabulce 1. a na grafu v obr. 2.

Tabulka 1. Vypočtený poločas letu s danou rychlostí

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



Obr. 2 - Graf závislosti poločasu letu na rychlosti

2.3. Výpočet polodráhy letu badmintonového míčku

Výpočet polodráhy letu vychází z rovnice pro výpočet rychlosti. Odvození výpočtu polodráhy letu badmintonového míčku:

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

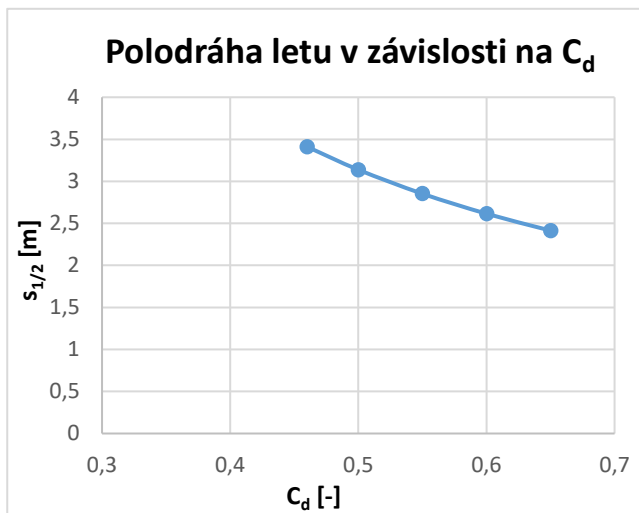
$$\frac{ds}{v} = \frac{m}{-C_d \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}} \cdot \frac{dv}{v^2} \quad (7)$$

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

V Tabulce 2. a na grafu v obr. 3. je vidět průběh polodráhy letu v závislosti na různých hodnotách součinitele odporu vzduchu.

Tabulka 2. Polodráha letu v závislosti na C_d

Polodráha letu míčku [m]	C_d [-]
3,41	0,46
3,14	0,50
2,85	0,55
2,62	0,60
2,41	0,65


 Obr. 3 – Graf závislosti polodráhy letu na různých C_d

2.4. Asymptotická pádová rychlost badmintonového míčku

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.). Asymptotická pádová 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]

2.5. Svislý vrh (výstřel) badmintonového míčku vzhůru

Vypočtená hodnota udává, kolik metrů nad nástřelovací 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:

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

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

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.

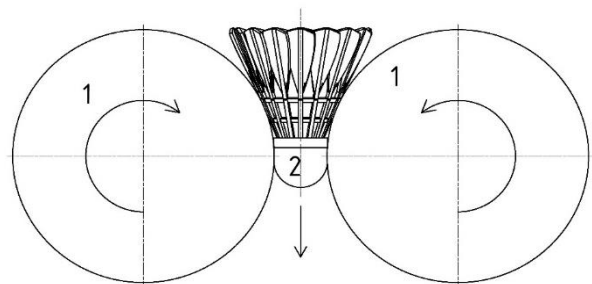
Na vypočtených hodnotách je vidět, že míček má velký koeficient odporu vzduchu. Jelikož výška vystřelení ve vakuu je rovna 39,33 m a výška vystřelení v atmosféře je rovna 6,87 m. Hodnoty jsou pro výstřel rychlostí 100 km/h.

3. Konstrukce badmintonového nástřelovacího stroje

Badmintonový nástřelovací stroj se skládá z podávacího mechanismu, odpalovacího mechanismu, pomocných součástek, stojanu, zdroje, elektroniky a baterie. Podávací a odpalovací mechanismus musí být perfektně sladěni. Každý systém má své specifické součástky. Konstrukce nástřelovacího stroje je specifická v tom, že pracuje s míčkem, který má specifický tvar a je náchylný na poškození. [3]

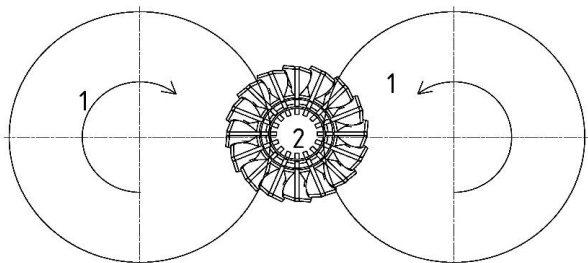
3.1. Odpalovací mechanismus

Odpalovací mechanismus nástřelovacího stroje musí vyvinout na badmintonový míček dostatečně velkou sílu, aby badmintonový míček mohl vyletět z nástřelovacího stroje rychlostí 100 km/h. Nástřelovací stroje využívají různé odpalovací mechanismy. Nejpoužívanější mechanismus je tvořen dvěma kotouči, které se točí v opačném smyslu (viz. obr. 4). [1]



Obr. 4 - Ukázka odpalovacího mechanismu (1 – kotouč, 2 – míček) [1]

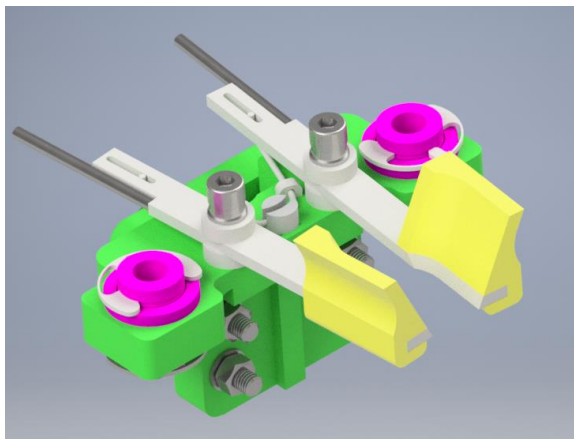
Zkonstruovaný nastřelovací stroj využívá stejného mechanismu s rozdílem, že míček nejde mezi kotouče po celé délce, ale pouze hlavičkou míčku. Odpalovací kotouče mají na obvodu přilepenou vrstvu gumy. Je to z důvodu menšího opotřebení míčku a hladšího odpalu. Pozici míčku a odpalovacích kotoučů je vidět na obr. 5. [1]



Obr. 5 – Pozice odpalovacích kotoučů [1]

3.2. 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 (obr. 6). [1] [5]

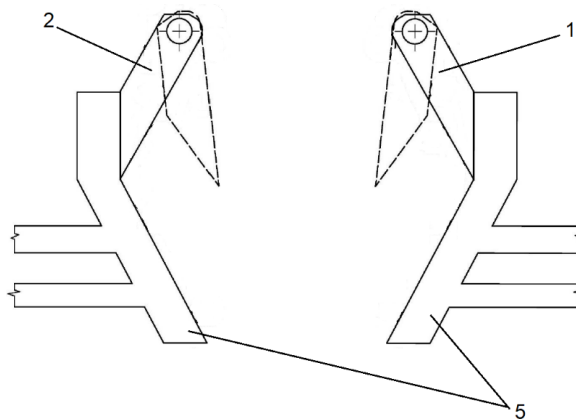


Obr. 6 – Podávací kleště [1]

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

Pro správný chod kleští je použit mechanismus, který připomíná kosočtverec bez horního a spodního rohu (obr. 7.). Mechanismus se skládá ze 4 hlavních součástí. V horní části mechanismu se nachází dvě horní skluzavky (pozice 1 a 2 na obrázku 7.), které jsou uloženy na čepu.

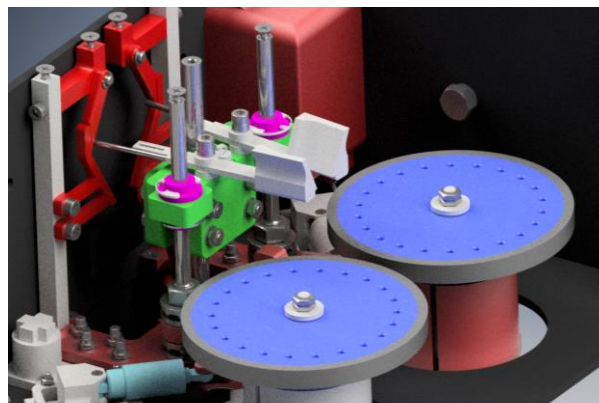
To umožňuje natáčení horních. Horní skluzavky rozevírají kleště při pohybu kleští nahoru a při pohybu kleští dolů se naklopí a umožní bezproblémové přejetí podávacích kleští. Horní skluzavky jsou vráceny do původní polohy pomocí pružin. Spodní důležité součásti jsou dvě spodní skluzavky (pozice 5 na obrázku 7.). Tyto skluzavky jsou statické. Jejich funkce je rozevírání podávacích kleští, když konají posuvný pohyb směrem dolů. Rozevření podávacích kleští v dolní úvratě má za následek vypuštění míčku a jeho následného odpalu. [5]



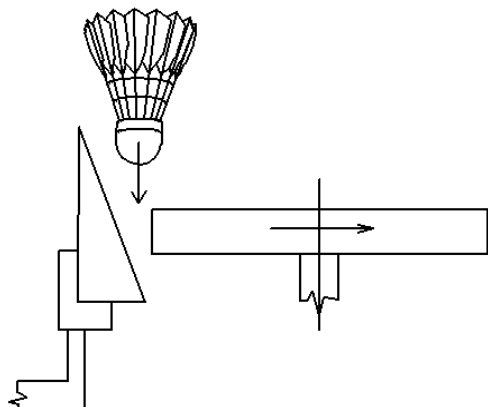
Obr. 7 - Rozevřací mechanismus podávacích kleští [5]

3.3 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.



Obr. 8 - Ukázka spojení odpalovacího a podávacího mechanismu



Obr. 9 – Podávací těleso s kotoučem [1]

4. Závěrečné informace

Provedli jsme teoretické výpočty vybraných letových parametrů, u kterých jsme určili určité teoretické hodnoty. Hodnoty se budou dále experimentálně ověřovat. Za předpokladu, že míček vystřelíme rychlostí 100 km/h, tak polodráha letu vyjde 3,14 m, poločas vyjde 0,16 s. Dále byla určena hodnota svislého vrhu vzhůru. Při vakuu by výška vystřelení byla 39,33 m a v atmosféře 6,87 m. Dalším vypočteným parametrem byla asymptotická pádová rychlost. Pro náš konkrétní příklad vyšla asymptotická pádová rychlost 6,66 m/s. Co se týče konstrukčního řešení badmintonového nastřelovacího stroje, tak byl proveden popis odpalovacího a podávacího mechanismu, jejich součástí a princip funkce. Odpalovací mechanismus funguje na principu rotujících kotoučů v opačném smyslu. Při průchodu míčku kotouči dojde k vystřelení. U podávacího mechanismu byl proveden popis jednotlivých součástí a popis principu fungování. U podávacího mechanismu byly popsány podávací kleště, klikový mechanismus i vedení.

Poděkování

Rád bych poděkoval všem rodinným příbuzným za usilovnou pomoc, výrobu, spolufinancování a dalších činnostech v tomto projektu. Dále bych rád poděkoval Ústavu mechaniky tekutin a termodynamiky za příležitost a pomoc při řešení dané problematiky.

Seznam symbolů

m – hmotnost badmintonového míčku (kg)

t – čas letu míčku (s)

C_d – koeficient odporu vzduchu (-)

ρ – hustota vzduchu (kg/m^3)

D – největší průměr míčku (m)

v – rychlost badmintonového míčku (m/s)

v_1 – počáteční rychlost badmintonového míčku (m/s)

v_2 – polovina rychlosti v_1 (m/s)

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

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

v_a – asymptotická rychlost míčku (m/s)

F_D – odporová síla (N)

A – smluvní plocha míčku (m^2)

s – dráha letu (m)

$t_{1/2}$ – poločas letu (s)

$s_{1/2}$ – polodráha letu (m)

t_{\max} – maximální čas stoupání míčku při svislém vrhu vzhůru do rychlosti 0 km/s

Literatura

- [1] VORLÍK, Jan: Badmintonový nastřelovací stroj a popis trajektorie letu badmintonového míčku, Interní zpráva, ČVUT v Praze, 2018
- [2] Badmintonbay [online]. 2008 [cit. 2019-1-25]. Dostupné z: <https://www.badmintonbay.com/Feather-Shuttlecock-Speed-Chart.html>
- [3] VORLÍK, Jan. Aerodynamické údaje o letu badmintonového míčku. ČVUT v Praze, 2018. Oborový projekt. FS ČVUT. Vedoucí práce Prof. Ing. Pavel Šafařík, CSc.
- [4] ALAM, Firoz, Harun CHOWDHURY, Chavaporn THEPPADUNGORN a Aleksandar SUBIC. Measurements of Aerodynamic Properties of Badminton Shuttlecocks. Melbourne, 2010. RMIT University.
- [5] VORLÍK, Jan. Nahrávací stroj s podávacím mechanismem badmintonových míčků. Česká Republika. Č. patentové přihlášky D18095605. Přihlášeno 9.10.2018.