

GYMNÁZIUM CHEB

Maturitní práce z Fyziky

Zkoumání ztrát energie fotbalového míče v závislosti na jeho
parametrech

Vypracoval : Jaroslav Polovka

V Chebu dne 28.3.2015

Vedoucí maturitní práce : pan prof. Kubín

školní rok 2014/2015

Anotace

Hlavním tématem této maturitní práce z fyziky je měření výšky odrazu fotbalového míče. Měření výšky odrazu bylo provedeno u dvou fotbalových míčů ze tří výšek, s třemi velikostmi huštění a na dvou površích.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem maturitní práci na téma:

„Zkoumání ztrát energie fotbalového míče v závislosti na jeho parametrech“

vypracoval samostatně pod odborným dohledem vedoucího maturitní práce
za použití pramenů uvedených v kapitole zdroje.

V Chebu dne 28.3.2015

.....
Podpis řešitele

Obsah

Obsah

Úvod.....	5
Teorie.....	6
Newtonův gravitační zákon.....	7
Gravitační konstanta.....	7
Gravitační a tíhová síla.....	8
Volný pád.....	9
Odpor vzduchu.....	10
Velikost odporové síly.....	10
Potenciální energie tíhová	10
Metodika.....	11
Vybavení a doplňkové pomůcky.....	11
Olejový kompresor Xtline (XT 1002).....	11
Digitální fotoaparát Olympus VG-180.....	12
Kuchyňská váha ECG KV 117 Slim.....	12
Fotbalový míč Puma PowerCat 1.12 Statement velikost 5.....	12
Fotbalový míč Adidas EPP Glider velikosti 3.....	12
Postup měření.....	12
Výsledky měření.....	13
Měření odrazu fotbalového míče pomocí digitálního fotoaparátu.....	14
Závislost na velikosti huštění.....	14
Fotbalový míč velikosti 3 (Adidas EPP Glider).....	15
Grafické znázornění.....	16
Fotbalový míč velikosti 5 (Puma PowerCat 1.12 Statement).....	17
Grafické znázornění.....	18
Závislost na výšce odkud je míč pouštěn.....	19
Fotbalový míč velikosti 3 (Adidas EPP Glider).....	19
Grafické znázornění.....	20
Změna odrazu na jiném povrchu.....	21
Fotodokumentace.....	22
.....	23
Závěr.....	24
Zdroje.....	25

Úvod

Za téma mé maturitní práce jsem si vybral „Zkoumání ztrát energie fotbalového míče v závislosti na jeho parametrech“. Toto téma jsem si vybral, protože hraji kopanou a chtěl jsem propojit tento sport s fyzikou a s maturitní prací.

Hlavním bodem měření je zjistit rozdíl ztrát energie míče v závislosti na jeho parametrech (velikost míče a tlak uvnitř). Měření probýhalo v hale, aby zde nepůsobily vnější vlivy, jako je např. vítr. Míč byl pouštěn z určené výšky, která byla neměnná. Měřil jsem výšku odrazu a přes fyzikální vztahy jsem určil ztrátu energie.

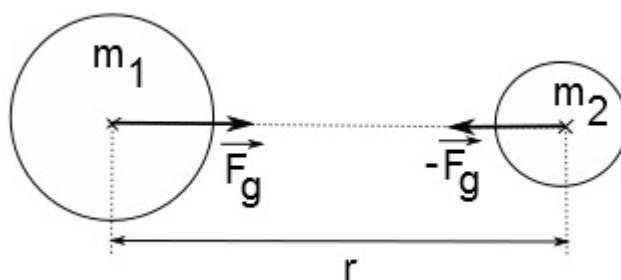
Provedené měření je statisticky zpracováno a graficky vyhodnoceno. Věřím, že tato práce je schopna přiblížit teorii fyziky, o které se učíme ve škole, s praktickým světem, a ukázat důležitost správných parametrů fotbalového míče.

Teorie

V této kapitole jsou uvedeny základní fyzikální principy, které zahrnují mé měření a následný výsledek. Snažil jsem se informace zapsat přehledně a srozumitelně.

Newtonův gravitační zákon

Každá dvě tělesa o hmotnosti m_1 a m_2 na sebe působí gravitační silou přímo úměrnou hmotnostem těles a nepřímo úměrnou čtverci jejich vzdálenosti.



$$F_g = -F_g = \frac{\kappa \cdot m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

κ - gravitační konstanta

m_1, m_2 - hmotnosti těles

r^2 - vzdálenost těles

Hmotné body se navzájem přitahují stejnou ale opačnou silou.

Gravitační konstanta

Je to základní fyzikální konstanta úměrnosti, která se rovná velikosti gravitační síly působící mezi tělesy, které mají hmotnost 1 Kg, ve vzdálenosti 1 m.

$$\kappa = (6,67384 \pm 0,00080) \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2} = (6,67384 \pm 0,00080) \times 10^{-11} \cdot \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$$

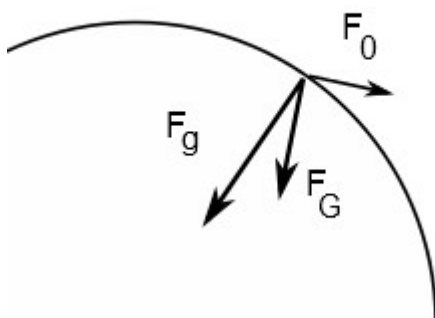
Gravitační a tíhová síla

Gravitační síla je síla, která působí mezi dvěma tělesy. Gravitační síly jsou vždy přitažlivé.

Tíhová síla je síla, která působí na tělesa ve vztažné soustavě s povrchem Země. Je výslednicí gravitační síly a odstředivé síly způsobené otáčením země kolem své osy. Je vždy menší než gravitační síla (neplatí na pólech) a mění se se zeměpisnou šířkou. A kromě rovníku a na pólech má vždy jiný směr než gravitační síla. Rozdíl mezi gravitační silou a tíhovou silou není zas tak velký a lze ho v některých případech zanedbat.

Místo kde působí tíhová síla se nazývá tíhové pole. Tíhová síla udává všem tělesům v soustavě spojené s povrchem země gravitační zrychlení g (zrychlení volného pádu). Vektorem je svislý směr.

$$F_g = m \cdot g$$



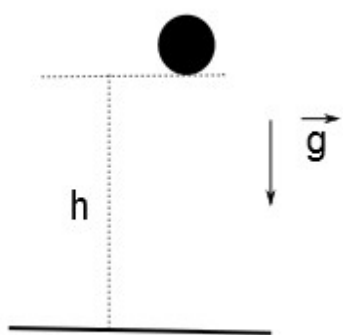
F_0 – odstředivá síla

F_g – gravitační síla

F_G – tíhová síla

Volný pád

Upustíme-li těleso, aniž mu udělíme počáteční rychlost, pohybuje se svislým směrem k Zemi. Zanedbáme-li přitom odpor vzduchu, tak se těleso pohybuje volným pádem. Volný pád je pohyb rovnoměrně zrychlený.



h - výška

g - tíhové zrychlení

Zrychlení volného pádu nazýváme tíhové zrychlení (značka g). Velikost tíhové zrychlení při povrchu země v naší zeměpisné šířce je $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

na rovníku je $g = 9,78 \text{ m/s}^2$

na zeměpisných pólech je $g = 9,83 \text{ m/s}^2$

Mezinárodní dohodou je stanoveno normálové tíhové zrychlení $g_n = 9,80665 \text{ m/s}^2$.

Pro okamžitou rychlost a dráhu platí vztahy velmi podobné jako pro rovnoměrně zrychlený pohyb hmotného bodu s nulovou počáteční rychlostí.

$$v = g \cdot t$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

Odpor vzduchu

Odpor vzduchu je síla, která působí proti pohybu tělesa. Odpor vzniká třením mezi tělesem a prostředím ve kterém se těleso pohybuje. Pohyb je relativní, proto nezáleží na tom jestli se pohybuje těleso nebo prostředí. Hlavním parametrem je výsledná rychlost mezi tělesem a prostředím.

Odpor vzduchu způsobuje na Zemi rychlejší pád těžších těles o stejném objemu. Například na Měsíci tělesa o jiné hmotnosti a stejného objemu padají stejně rychle, protože zde nepůsobí odpor prostředí.

Velikost odporové síly

Počítá se přes Newtonův zákon odporu. Který je zapsán vztahem $F = C_x \frac{1}{2} \rho v^2 S$.

- C_x – součinitel odporu zahrnující tvar tělesa
- ρ - hustota vzduchu
- v – rychlost tělesa (v mém případě maximální rychlost)
- S – obsah průřezu tělesa (fotbalového míče)

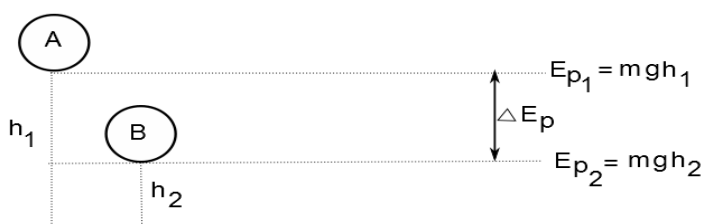
V mém případě je odpor vzduchu minimální, proto ho lze zanedbat.

Potenciální energie tíhová

V případě, že lze silové působení popsat v homogenním tíhovém poli. Nazýváme potenciální energii tíhovou. Tíhové zrychlení je g (zanedbáváme pokles tíhového zrychlení s výškou), potom lze potenciální energii tělesa o hmotnosti m vyjádřit jednoduchým vztahem.

$$E_p = mgh$$

- m – je hmotnost tělesa
- h – je výška nad úrovní, kde je E_p nulová (zpravidla zemský povrch)
- g – tíhové zrychlení (v našem pásmu $9,81 \text{ m/s}^2$)



Metodika

V této kapitole jsou popsány postupy měření, aparatura a pomůcky, které jsem použil. K dosažení co nejpřesnějších výsledků, jsem každé měření jednoho fotbalového míče opakoval desetkrát, abych eliminoval možné nepřesnosti. Vybavení jsem využil vlastní, které bylo dostačující na měření mého experimentu. Měření probíhalo v uzavřené místnosti za stále teploty a tlaku vzduchu

Vybavení a doplňkové pomůcky

Nejprve jsem vytvořil z čtverečkového papíru linky, kde každá měla 1 cm na výšku a 31,5 cm na délku. Potom pomocí hliníkových štaflí, dvou trámčků a laminové desky jsem vytvořil místo odkud byli balóny pouštěny. Měření probíhalo na dřevotříse a na betonovém povrchu.

Abych zjistil výšku odrazu využil jsem digitální fotoaparát Olympus VG-180 s možností natačení videí. Dále jsem využil kompresor, na kterém byla namontována hadice s barometrem a jehlou, pomocí které jsem nafukoval míče na potřebné tlaky. Zkoumal jsem míče velikosti 3 a 5. Oba míče jsou první jakosti a velmi dobré kvality. K zjištění hmotnosti míče jsem využil kuchyňské váhy ECG KV 117 Slim.

Olejevý kompresor Xtline (XT 1002)

Olejevý kompresor Xtline má motor o příkonu 1 500 W, může pracovat s tlakem až 8 barů což je dostačující protože mé měření bude probíhat maximálně do jednoho baru. Objem vzdušníku je 24 litrů, sací výkon 204 l / min a hmotnost kompresoru je 25 kg. Kompresor disponuje hadičkou s barometrem a jehlou potřebnou k nahustění míče.

Digitální fotoaparát Olympus VG-180

Digitální fotoaparát Olympus VG-180 disponuje 5x širokoúhlým optickým zoomem. Objektiv má vlastnost roztažení z 26 mm na 130 mm. Vysoké rozlišení 16 Megapixelů umožňuje velkoformátovou reprodukci snímků ve vysoké kvalitě. Dale obsahuje 9 různých filtrů a efektů jako např. rybí oko, Camera obscura, malta, atd... . Fotoaparát je schopen nahrávat videa ve formátu AVI Motion JPEG v rozlišení VGA.

Kuchyňská váha ECG KV 117 Slim

Kuchyňská váha ECG KV 117 Slim je vyrobena z bezpečnostního tvrzeného skla s LCD displejem a dotykovými tlačítky. Maximální nosnost váhy je 5 kg s měřicím rozlišením 1 g / 1 ml. Váha umožňuje volbu jednotek vážení tekutin. Váha je vybavena funkcí Tare, která vždy vynuluje dosavadní hmotnost.

Fotbalový míč Puma PowerCat 1.12 Statement velikost 5

Fotbalový míč Puma PowerCat 1.12 Statement je vysoce kvalitní míč určený především na zápasy. Je odolný vůči oděru. Povrch je měkčen polyuretanovou pěnou Twin-Taylor. Velikost míče je 5. Hmotnost míče je 426 gramů.

Fotbalový míč Adidas EPP Glider velikosti 3

Fotbalový míč Adidas EPP Glider velikosti 3 je kvalitní míč vhodný pro mladší kategorie. Hmotnost míče je 273 gramů.

Postup měření

Při měření ztrát energie v závislosti na velikosti huštění míče, jsem vypouštěl míče velikosti 3 a 5 z neměnné výšky 1,25m. Měření probíhalo na betonu. Při prvním měření byli oba míče nahuštěny na hodnotu 0,4 baru. Pomocí digitálního fotoaparátu, který vše nahrával, jsem zkoumal výšku odrazu. Digitální fotoaparát jsem vypodložil do výšky přibližného odrazu míče, abyh minimalizoval možné zkreslení výsledků. Při druhém měření jsem míče nahustil na hodnotu 0,6 a také zkoumal výšku odrazu. Při třetím měření jsem míče nahustil na hodnotu 0,8 baru a opět zkoumal výšku odrazu pomocí digitálního fotoaparátu.

Při měření ztrát energie v závislosti na výšce jsem vypouštěl míč velikosti 3 ze tří výšek (125 cm, 150 cm a 175 cm) Měření probíhalo na betonu. Míč byl hustěn na hodnotu 0,8 baru. Opět pomocí digitálního fotoaparátu jsem zkoumal výšku odrazu.

Při měření ztrát energie v závislosti na povrchu jsem zkoumal míče velikosti 3 a 5. Oba byli hustěny na hodnotu 0,8 baru. Míče jsem vypouštěl z výšky 125 cm. Fotbalové míče dopadaly na desku dřevotřísky o tloušťce 18 mm, tudíž jsem celou aparaturu o tu samou desku přizvedl, aby nedošlo ke zkreslení výsledků. Pomocí digitální kamery jsem zkoumal výšku odrazu.

Každé měření probíhalo desetkrát, aby výsledek byl co nejobektivnější. Míč jsem hustil kompresorem, na kterém byla hadička s barometrem a jehlou, pomocí níh jsem mohl hustit na správnou hodnotu.

Výsledky měření

V této kapitole jsem zpracoval výsledky měření do tabulek. Spočítal chyby měření. A graficky vyhodnotil pro lepší představu.

Měření odrazu fotbalového míče pomocí digitálního fotoaparátu

Výšku odrazu jsem měřil pomocí digitálního fotoaparátu (specifikace přístroje v oddílu metodika). Výsledný záznam jsem zpracoval v programu VirtualDub 1.10.4 . Vybral jsem pouze snímky, kde bylo zřetelné, že míč už nestoupá, ale na chvíli se ve vzduchu zastavil. Díky zastavení v nejvyšší výšce nedošlo ke zkreslení výsledků a výsledné obrázky jsou dobře čitelné.



Závislost na velikosti huštění

Jako první jsem zkoumal, jaký vliv má na míč velikost huštění. Použil jsem dvě velikosti míčů 5 a 3 (více v oddíle metodika). Míče jsem hustil na tri hodnoty 0,4 , 0,6 a 0,8 baru. Míče byli pouštěni z jedné neměnné výšky (125 cm). Kamera byla vždy vypodložena do přibližné výšky odrazu aby nedošlo ke zkreslení výsledků.

Fotbalový míč velikosti 3 (Adidas EPP Glider)

Míč velikost 3 na betonu			
p (bar)	0,4		
h_1 (cm)	125		
m (kg)	0,273		
Č.m.	h_2	E	
	cm	J	%
1	59		
2	60		
3	61		
4	59		
5	58		
6	58		
7	60		
8	59		
9	61		
10	59		
\bar{X}	59,40	1,76	52,48
s_r	1,0749677		
e_s	0,5		
e	1,5749677	0,0931646	
e_r	2,65%	5,30%	

Míč velikost 3 na betonu			
p (bar)	0,6		
h_1 (cm)	125		
m (kg)	0,273		
Č.m.	h_2	E	
	cm	J	%
1	63		
2	64		
3	66		
4	63		
5	64		
6	65		
7	64		
8	64		
9	66		
10	64		
\bar{X}	64,30	1,63	48,56
s_r	1,0593499		
e_s	0,5		
e	1,5593499	0,0788466	
e_r	2,43%	4,85%	

Míč velikost 3 na betonu			
p (bar)	0,8		
h_1 (cm)	125		
m (kg)	0,273		
Č.m.	h_2	E	
	cm	J	%
1	87		
2	86		
3	86		
4	86		
5	87		
6	87		
7	86		
8	85		
9	87		
10	87		
\bar{X}	86,40	1,03	30,88
s_r	0,6992059		
e_s	0,5		
e	1,1992059	0,0286965	
e_r	1,39%	2,78%	

h_1 – výška odkud byl míč pouštěn, h_2 – výška odrazu, m – hmotnost míče,

p – velikost huštění míče, E – ztráta v Joulech (J), % - ztráta v procentech

Z výsledků je zřejmé, že míč velikosti 3 ztrácí nejméně energie o velikost huštění 0,8 baru, protože při této hodnotě se míč odrazil do nejvyšší průměrné výšky. Hodnota 0,8 baru je také doporučená hodnota pro nafukování míče. Ztrátu energie v Joulech jsem určil ze vztahu.

$$E = E_{p1} - E_{p2}$$

Po dosazení.

$$E = mgh_1 - mgh_2$$

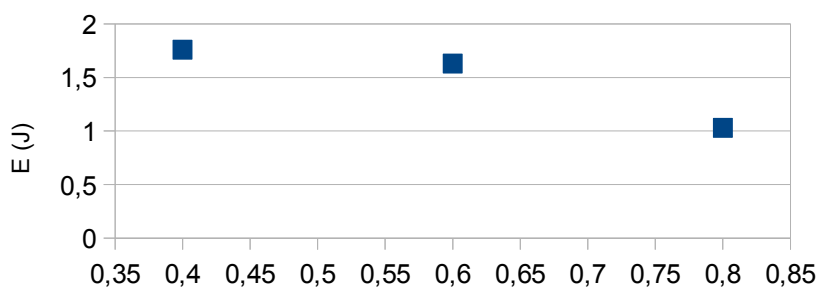
A ztrátu energie v % jsem určil ze vztahu.

$$100 - (100/h_1 * h_2)$$

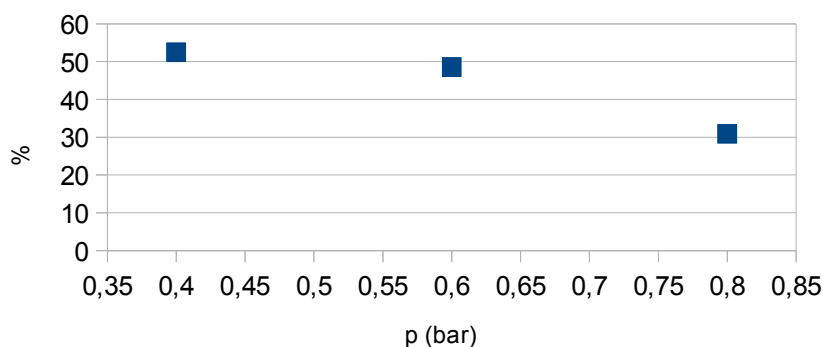
V porovnání lze říci, že ztráta energie v Joulech se rovná té procentuální, protože jediná proměnná ve vzorci $E = mgh$ je v mém případě pouze h (výška).

Grafické znázornění

Míč velikosti 3



Míč velikosti 3



Fotbalový míč velikosti 5 (Puma PowerCat 1.12 Statement)

Míč velikost 5 na betonu			
p (bar)	0,4		
h_1 (cm)	125		
m (kg)	0,426		
Č.m.	h_2	E	
	cm	J	%
1	76		
2	78		
3	77		
4	78		
5	76		
6	78		
7	77		
8	78		
9	78		
10	76		
\bar{X}	77,20	2,00	38,24
s_r	0,9189366		
e_s	0,5		
e	1,4189366	0,0734315	
e_r	1,84%	3,68%	

Míč velikost 5 na betonu			
p (bar)	0,6		
h_1 (cm)	125		
m (kg)	0,426		
Č.m.	h_2	E	
	cm	J	%
1	81		
2	80		
3	81		
4	80		
5	82		
6	80		
7	82		
8	81		
9	80		
10	82		
\bar{X}	80,90	1,84	35,28
s_r	0,875595		
e_s	0,5		
e	1,375595	0,0626743	
e_r	1,70%	3,40%	

Míč velikost 5 na betonu			
p (bar)	0,8		
h_1 (cm)	125		
m (kg)	0,426		
Č.m.	h_2	E	
	cm	J	%
1	94		
2	94		
3	96		
4	95		
5	94		
6	95		
7	95		
8	96		
9	94		
10	96		
\bar{X}	94,90	1,26	24,28
s_r	0,875595		
e_s	0,5		
e	1,375595	0,036467	
e_r	1,45%	2,90%	

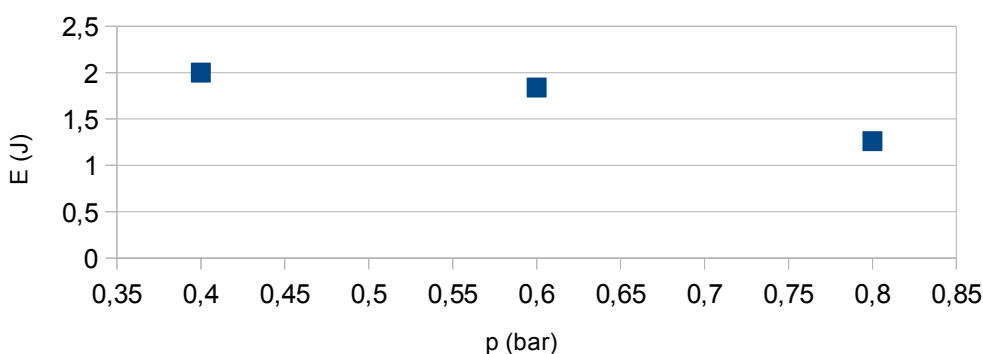
h_1 – výška odkud byl míč pouštěn, h_2 – výška odrazu, m – hmotnost míče,

p – velikost huštění míče, E – ztráta v Joulech (J), % - ztráta v procentech

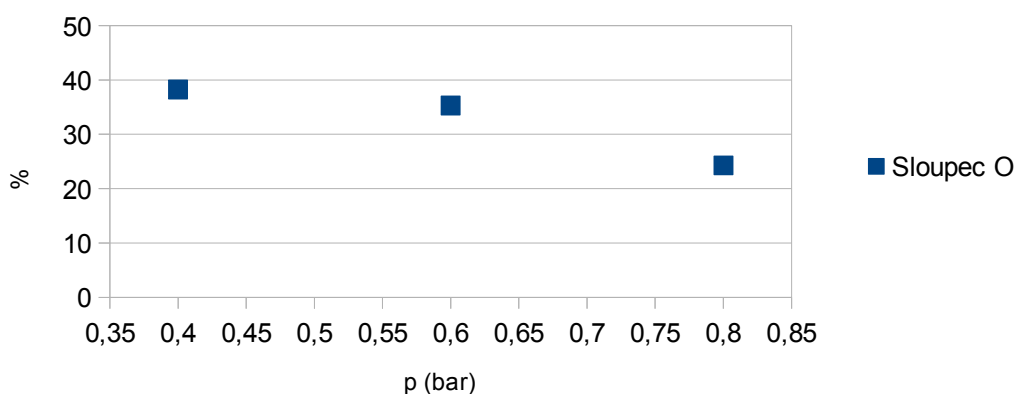
Míč velikosti 5 se chová podobně jako míč velikosti 3. Pro vypočítání ztrát zde byli použity stejné vztahy jako u míče 3 viz. Str 15. Z výsledků lze vyčíst že míč o velikosti 3 má odlišné ztráty než míč velikosti 5. Odlišnost je dána hlavně jiným materiálem míče, ale oba vykazují menší ztráty s nejmenší ztrátou s rostoucím tlakem.

Grafické znázornění

Míč velikosti 5



Míč velikosti 5



Z grafů lze vyčíst že ztráta v Joulech je stejná jako ztráta v %.

Závislost na výšce odkud je míč pouštěn

Při tomto měření jsem využil pouze míč velikost 3. Zkoumal jsem ztráty ze tří výšek.

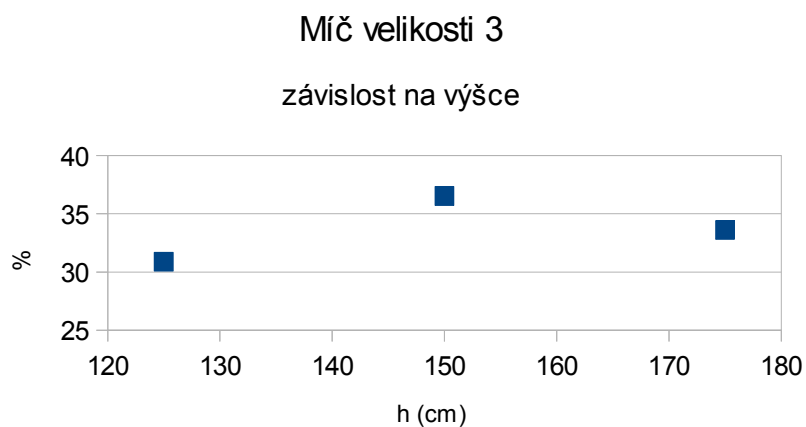
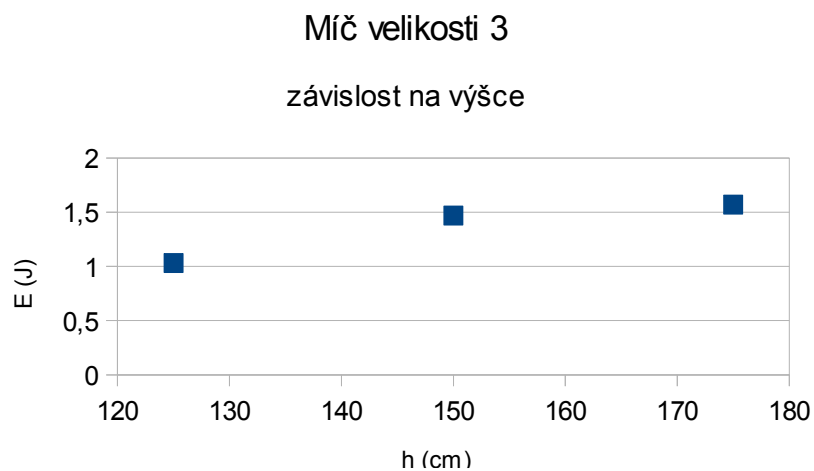
Fotbalový míč byl nahustěn na hodnotu 0,8 baru. Byl pouštěn z výšky 125 cm, 150 cm a 175 cm.

Fotbalový míč velikosti 3 (Adidas EPP Glider)

Míč velikost 3 na betonu			
p (bar)	0,8		
h_1 (cm)	125		
m (kg)	0,273		
Č.m.	h_2	E	
	cm	J	%
1	87		
2	86		
3	86		
4	86		
5	87		
6	87		
7	86		
8	85		
9	87		
10	87		
\bar{X}	86,40	1,03	30,88
s_r	0,6992059		
e_s	0,5		
e	1,1992059	0,0286965	
e_r	1,39%	2,78%	

Míč velikost 3 na betonu			
p (bar)	0,8		
h_1 (cm)	150		
m (kg)	0,273		
Č.m.	h_2	E	
	cm	J	%
1	96		
2	95		
3	94		
4	94		
5	96		
6	94		
7	97		
8	95		
9	95		
10	96		
\bar{X}	95,20	1,47	36,53
s_r	1,0327956		
e_s	0,5		
e	1,5327956	0,0472595	
e_r	1,61%	3,22%	

Míč velikost 3 na betonu			
p (bar)	0,8		
h_1 (cm)	175		
m (kg)	0,273		
Č.m.	h_2	E	
	cm	J	%
1	116		
2	117		
3	117		
4	115		
5	115		
6	117		
7	117		
8	116		
9	115		
10	117		
\bar{X}	116,20	1,57	33,61
s_r	0,9189366		
e_s	0,5		
e	1,4189366	0,0384588	
e_r	1,22%	2,44%	

Grafické znázornění

Z tabulek lze vyčíst, že z čím větší výšky míč padá, tak tím ztráta není menší. Hlavní faktor, který zde působí a ovlivňuje výsledek, je odpor vzduchu. Dále zde hraje roli chyby měření, protože nejmenší jednotka stupnice měření odrazu byla 1 cm, proto soustavná chyba byla 0,5 cm (polovina nejmenšího dílku). Roli také hraje jestli míč padne na šev nebo ne.

Změna odrazu na jiném povrchu

Míč velikost 3 na betonu			
p (bar)	0,8		
h_1 (cm)	125		
m (kg)	0,273		
Č.m.	h_2	E	
	cm	J	%
1	87		
2	86		
3	86		
4	86		
5	87		
6	87		
7	86		
8	85		
9	87		
10	87		
\bar{X}	86,40	1,03	30,88
s_r	0,6992059		
e_s	0,5		
e	1,1992059	0,0286965	
e_r	1,39%	2,78%	

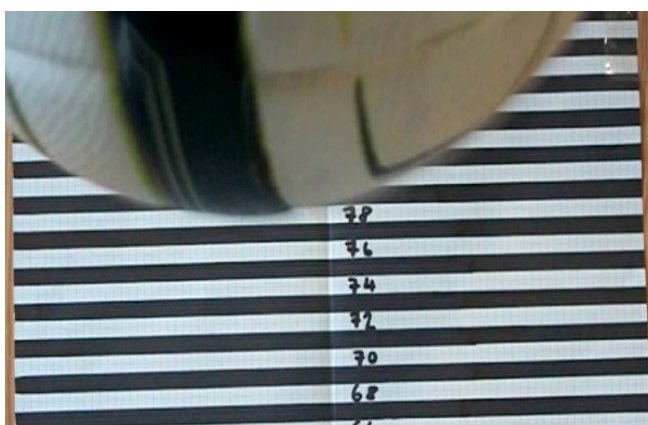
Míč velikost 5 na betonu			
p (bar)	0,8		
h_1 (cm)	125		
m (kg)	0,426		
Č.m.	h_2	E	
	cm	J	%
1	94		
2	94		
3	96		
4	95		
5	94		
6	95		
7	95		
8	96		
9	94		
10	96		
\bar{X}	94,90	1,26	24,28
s_r	0,875595		
e_s	0,5		
e	1,375595	0,036467	
e_r	1,45%	2,90%	

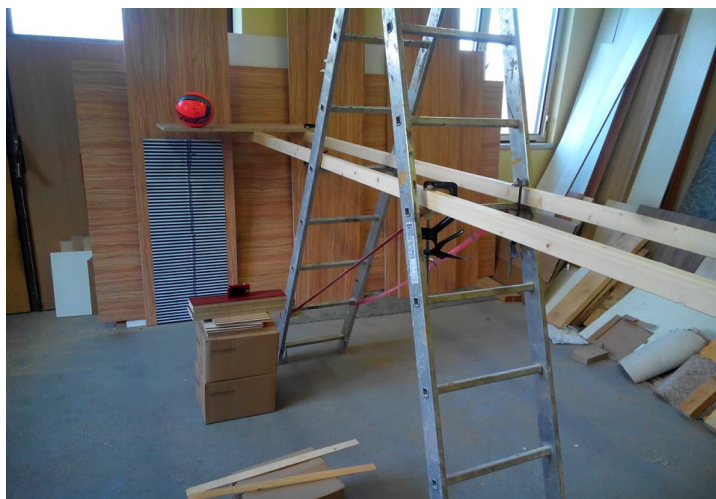
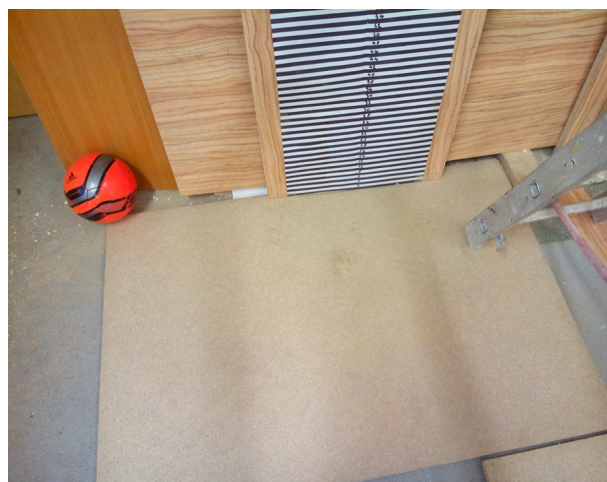
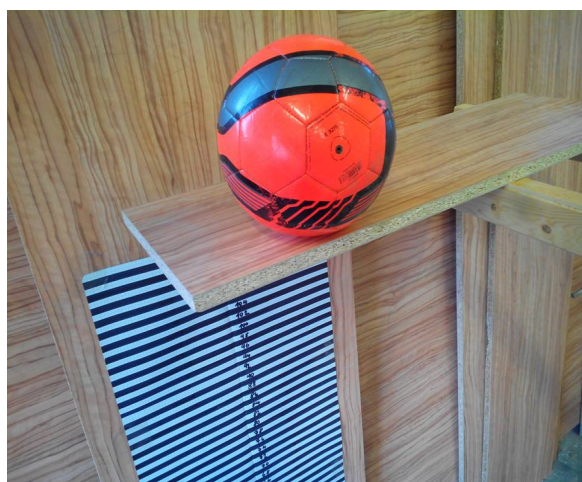
Míč velikost 3 na dřevotříse			
p (bar)	0,8		
h_1 (cm)	125		
m (kg)	0,273		
Č.m.	h_2	E	
	cm	J	%
1	84		
2	83		
3	83		
4	84		
5	84		
6	84		
7	82		
8	83		
9	84		
10	83		
\bar{X}	83,40	1,11	33,28
s_r	0,6992059		
e_s	0,5		
e	1,1992059	0,0320393	
e_r	1,44%	2,88%	

Míč velikost 5 na dřevotříse			
p (bar)	0,8		
h_1 (cm)	125		
m (kg)	0,426		
Č.m.	h_2	E	
	cm	J	%
1	87		
2	84		
3	84		
4	86		
5	86		
6	84		
7	84		
8	87		
9	85		
10	84		
\bar{X}	85,10	1,67	31,92
s_r	1,2866839		
e_s	0,5		
e	1,7866839	0,0700164	
e_r	2,10%	4,20%	

Při tomto zkoumání byli míče pouštěny z jedné neměnné výšky (125 cm). Oba fotbalové míče byli nahustěny na hodnotu 0,8 baru. Cílem bylo dokázat že velikost odrazu je závislá na druhu povrchu (v našem případě beton a deska z dřevotřísky). Z výsledků vyplývá že na betonu ztrácí fotbalové míče méně. Je to dáno hlavně tvrdostí a minimální pružností materiálu. Dřevotřísková deska byla položena přímo na beton, aby se zminimalizovaly ztráty způsobené otřesi (desky na betonové podlaze). Druh povrchu je velmi důležitý zejména ve futsale.

Fotodokumentace





Závěr

Věřím, že se mi podařilo dokázat jak je důležité, aby byl fotbalový míč nahuštěn na tu správnou hodnotu tlaku a jaký vliv má povrch a výška pádu na výšce odrazu.

Ačkoliv práce byla zdlouhavá a zprvu jsem nevěděl jak budu postupovat, tak myslím že práce dopadla uspokojivě. Toto zkoumání mi přineslo mnoho nového v oblasti rozvoje tvořivosti. Dokázal jsem se vypořádat s problémy a nesnázemi tohoto zkoumání. A věřím, že jsem se obohatil v oblasti Fyziky.

Dále bych chtěl poděkovat panům profesorům Kubínovi a Úlovcovi, kteří mě vždy nasměrovali správným směrem a pomohli mi k vypracování této maturitní práce z Fyziky.

Zdroje

LEPIL, Oldřich, Milan BEDNAŘÍK a Radmila HÝBLOVÁ. *Fyzika pro střední školy*. 4., přeprac. vyd. Praha: Prometheus, 2001, 266 s. Učebnice pro střední školy (Prometheus). ISBN 80-719-6184-1.

HALLIDAY, David. *Fyzika: Vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. 1. vyd. VUTIUM, 2000, 1198 s. ISBN 80-214-1869-9.

MIKULČÁK, Jiří. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. 1. vyd., dotisk. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1988, 206 s. Pomocné knihy pro žáky (Státní pedagogické nakladatelství).