



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

KONSTRUKČNÍ ZPRACOVÁNÍ A VÝROBA PATENTOVANÉ BOWLINGOVÉ KOULE S VNOŘOVACÍM ÚCHOPEM

DESIGN AND MANUFACTURING OF PATENTED BOWLING BALL EQUIPPED BY SUBMERGING GRASP

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LADISLAV PLACHÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. Ing. JOSEF NEVRLÝ, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Ladislav Plachý

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Konstrukční zpracování a výroba patentované bowlingové koule s vnořovacím úchopem

v anglickém jazyce:

Design and manufacturing of patented bowling ball equipped by submerging grasp

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je - detailní konstrukční zpracování páček, pružin a tlačítek, které budou umístěny uvnitř patentované bowlingové koule a umožní vysouvání a rychlý návrat vnořovacího úchopu při vržení koule - zhotovení prototypu, přičemž je k dispozici předběžný konstrukční návrh a rozřezaná bowlingová koule, připravená pro instalaci zmíněných prvků. Hotová koule bude mít hladký kulový povrch bez dosavadních vývrtů pro uchopení prsty.

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce musí obsahovat: (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci)

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Analýza problému a cíl práce
4. Materiál a metody
5. Výsledky
6. Diskuze
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů

Forma práce: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení, funkční výrobek

Typ práce: experimentální; Účel práce: výzkum a vývoj

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 - 20 stran textu bez obrázků).

Zásady pro vypracování práce:

http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2014.pdf

Šablona práce: http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/UK_sablona_praci.zip

Seznam odborné literatury:

SHIGLEY, J. E, MISCHKE, Ch. R, BUDYNAS, R. G. KONSTRUOVÁNÍ STROJNÍCH SOUČÁSTÍ. VUTIUM, 2008. 1300 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

Vedoucí bakalářské práce: prof. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 21.11.2013

L.S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je návrh, konstrukční zpracování a výroba patentované bowlingové koule s vnořovacím úchopem. Úvod práce pojednává o daném problému a nastiňuje jeho řešení. V další části jsou popsány různé varianty mechanismů, které je možné využít uvnitř koule, a následná volba toho vyhovujícího. Třetí část se zabývá návrhem jednotlivých součástí zvoleného mechanismu, výběrem jejich materiálu a dalšími konstrukčními vlastnostmi, které jsou potřebné k jejich správnému fungování.

KLÍČOVÁ SLOVA

Bowlingová koule s vnořovacím úchopem, bowlingová koule, bowling

ABSTRACT

The purpose of this bachelor thesis is design of mechanical elaboration and manufacturing of patented bowling ball equipped by submerging grasp. The introduction is about given task and it shows a possible solution. In the next part of thesis are described different mechanisms which can be used inside of the ball. Third part is about design of every single component, choice of its material and about other properties which are necessary for the correct function of suitable system.

KEY WORDS

Bowling ball equipped by submerging grasp, bowling ball, bowling

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PLACHÝ, L. *Konstrukční zpracování a výroba patentované bowlingové koule s vnořovacím úchopem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 44 s. Vedoucí bakalářské práce prof. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci, jejíž téma je *Konstrukční zpracování a výroba patentované bowlingové koule s vnořovacím úchopem*, vypracoval a napsal sám, pod vedením prof. RNDr. Ing. Josefa Nevrlého, CSc., a že jsem v seznamu použitých zdrojů uvedl všechny použité zdroje.

V Brně dne _____

Ladislav Plachý

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu práce panu prof. RNDr. Ing. Josefu Nevrlému, CSc. za ochotu, rady i připomínky, které mi pomohly s vypracováním této bakalářské práce. Také bych chtěl poděkovat mé rodině za podporu během mého dosavadního studia a obráběčům kovů za jejich ochotu a čas strávený výrobou tohoto projektu.

OBSAH**ÚVOD**

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	13
2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	14
3 MATERIÁL A METODY	15
3.1 Mechanismus, varianty mechanismů	15
3.1.1 Mechanismus s vačkou	15
3.1.2 Pákový mechanismus	15
3.1.3 Volba mechanismu	16
3.2 Zkušební model	17
3.3 Konstrukční zpracování bowlingové koule	20
3.3.1 Silový rozbor	20
3.3.2 Součásti mechanismu	22
3.3.3 Materiál jednotlivých součástí	24
3.3.4 Pružiny	25
3.3.5 Těžiště	28
3.4 Vyvažování tuhých těles	33
3.4.1 Eliminace silových účinků - statické vyvažování	33
3.4.2 Eliminace momentových účinků - dynamické vyvažování	34
3.4.3 Vyvážení navrhované koule	35
3.5 Montážní postup	35
4 VÝSLEDKY	37
5 DISKUZE	39
6 ZÁVĚR	40
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	41
8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	42
9 SEZNAM OBRÁZKŮ	43
10 SAMOSTATNÉ PŘÍLOHY (VÝKRESY)	44

ÚVOD

Již před více jak 110 lety se v Americe představil sport pro každého – bowling. Je to způsob příjemného uvolnění a také vhodná zátěž pro mladé i starší. Přesto však neklade na hráče takové nároky jako jiná sportovní odvětví.

Na první pohled se jeví jako velice jednoduchá hra – porazit kouli vážící od 8 do 16 liber (cca 3,6 kg až 7,2 kg) opatřenou vrtanými dírami pro tři prsty (umožní lepší uchopení), na vzdálenost cca 19 metrů deset kuželek, postavených ve tvaru rovnostranného trojúhelníku s vrcholem směrem k hráči, a to pokud možno hned prvním hodem.

První koule byly dřevěné, následně se začaly vyrábět gumové, pak polyesterové, uretanové a nakonec z reaktivního uretanu a proaktivního uretanu. Během raných let bowlingu, od dvacátých do konce padesátých let 20. století, se koule vyráběly z gumy. Nebyly tak různorodé, ale měly neomezenou životnost.

Na bowlingu je nejtěžší dosažení dokonalé koordinace rozběhu a pohybu paže držící kouli (mluvíme o kyvadlu) a následné přesné odhození koule s potřebnou rotací [1].

Cílem této bakalářské práce je navrhnout zcela nový způsob uchopení bowlingové koule, který vnese nové možnosti do tohoto sportu a zároveň zachová variace technik hodů koulemi.

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

1

Do současných bowlingových koulí, vyráběných z umělých materiálů, jsou vyvrtány tři otvory pro část palce a dalších dvou prstů stejné ruky, kterými je koule při házení držena.

Podle materiálu použitého na povrchu jsou rozlišovány koule polyuretanové a reaktivní. Polyuretanové koule jsou vhodné pro normální, tzv. rovné hraní a pro hráče, kteří hrají s rotací na suché dráze, protože jsou hladké a nemění příliš směr na dráze. Reaktivní koule jsou díky speciální směsi na povrchu schopny výrazně zvýšit přilnavost ke dráze, a tím při rotaci výrazně změnit směr na konci dráhy.

Na počátku osmdesátých let 20. století vytvořila firma AMF kouli *Angle*, první uretanovou kouli schválenou American Bowling Congress, sportovní organizací věnující se bowlingu ve Spojených státech. I přes svou vyšší cenu než starší, polyesterové koule, se tato koule stala velmi rychle tou nejpoužívanější. Nově objevený uretan se vyznačoval větším tahem na dráhách než kterýkoliv jiný materiál.

Koule se dále rozděluje podle toho, zda mají uvnitř jádro či nikoliv. Tvar jádra uvnitř koule může být velmi rozdílný a výrazně ovlivňuje dráhu koule, hlavně při hře s rotací. Tyto koule při přechodu z naolejované části dráhy na suchou mění výrazně směr a při nárazu do kuželek mají lepší účinnost.

Důležitým faktorem je umístění těžiště buď blíže prstům, nebo palci. Pokud je těžiště blíže prstům, koule se více roztočí a dříve mění směr. Těžiště posunuté k palci působí obráceně, tzn. méně se točí a mění směr později – koule jde déle rovně. Pokud umístíme těžiště koule pro praváka vpravo od osy přímky palec – prsty, pak zatáčí koule ostřeji, tzn. má větší hák a naopak.

Podle povrchu dělíme koule na lesklé a matné. Lesklé koule déle kloužou, a tím mají schopnost změny směru, proto jsou vhodné na méně olejované dráhy či na lehčí olej. U matných koulí je tomu naopak a jsou spíše vhodné na silně naolejované dráhy.

Koule se rozděluje také podle tvrdosti povrchu. Obecně platí, že čím je povrch koule tvrdší, tím je koule vhodnější pro suchou dráhu a naopak.

Hráči mohou použít různě zrnitý smirkový papír, aby mírně upravili povrch koule. Broušení povrchu správným způsobem, může velmi ovlivnit reakci koule. Použití jakéhokoliv papíru, který má zrnitost pod 400 zrn, velmi zlepší třecí efekt koule na dráze. Smirkový papír se může použít i pro velmi vysoký lesk koule. Na střední až hladký lesk se používá smirkový papír zrnitosti 1000-2000 [1], [2].

2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

Tématem této bakalářské práce je návrh nového mechanismu, který nebude využívat úchopu pomocí tří otvorů. Technickou nevýhodou těchto děr je narušení kulového povrchu, které způsobuje neočekávatelné a nepravidelné nadskakování valící se koule. Toto nadskakování zvyšuje nepřesnost hodů. Nevýhodou fyziologickou je při stávajícím úchopu přetěžování prstů, jejich svalů a šlach.

Cílem práce je konstrukční zpracování a výroba patentované bowlingové koule s vnořovacím úchopem. Prvotní návrh mechanismu bude třeba vyzkoušet, např. na zkušebním modelu, a poté ho upravit tak, aby fungoval jak má. Navrhnutá koule bude určena pro rovinné hraní, bude tedy nutné, aby zhotovená koule měla těžiště ve svém středu. Vnořovací, respektive vnořovací úchop tohoto typu doposud nebyl v bowlingu vyzkoušen, bude se jednat o první testy, zda je tento systém lepší, či minimálně srovnatelný, jako úchop klasický, pomocí třech děr. Celý tento mechanismus bude vložen do obyčejné bowlingové koule, proto bude třeba vypočítat její těžiště a v případě jeho značného vychýlení ho navrátit co nejbližší středu celé sestavy.

3 MATERIÁL A METODY

3

Podstata tohoto technického řešení spočívá v tom, že obsahuje dvě navzájem oddělitelné části. V jedné z těchto částí je výsuvné těleso úchopu, které je opatřeno vratnou pružinou a je napojeno ovládacími páčkami otočnými kolem určitých bodů na tlačítka, opatřená vratnými pružinami [3]. Mechanismus ovládání páčkami je možné zvolit z více variant.

3.1 Mechanismus, varianty mechanismů

3.1

Mechanismus je zařízení sloužící k transformaci pohybu nebo přenosu sil podle daného předpisu. Mechanismus je tvořen soustavou vzájemně pohyblivě spojených těles (členů), z nichž jedno je nepohyblivé (rám). Členy mohou být hnací (vstupní) a hnané. Hnané členy se dělí na přenosové a výstupní (pracovní) [4].

Existují různé druhy mechanismů. Pro bowlingovou kouli budu vybírat ze dvou variant, a to:

- a) mechanismus s vačkou
- b) pákový mechanismus

3.1.1 Mechanismus s vačkou

3.1.1

Je mechanismus, zobrazený na Obr. 3-1, který má jediný stupeň volnosti a obsahuje alespoň jednu vačku spojenou s ostatními členy nejméně jednou obecnou kinematickou dvojicí. Nejjednodušší vačkový mechanismus sestává ze tří členů - z rámu, vačky a hnaného členu. Vačka a hnaný člen se spojují s rámem pomocí rotační, nebo posuvné vazby.

Vačka je základní člen mechanismu, který pohnutím své činné plochy vyvozuje prostřednictvím obecné kinematické dvojice pohyb hnaného členu. Vačka bývá obvykle hnacím členem mechanismu.

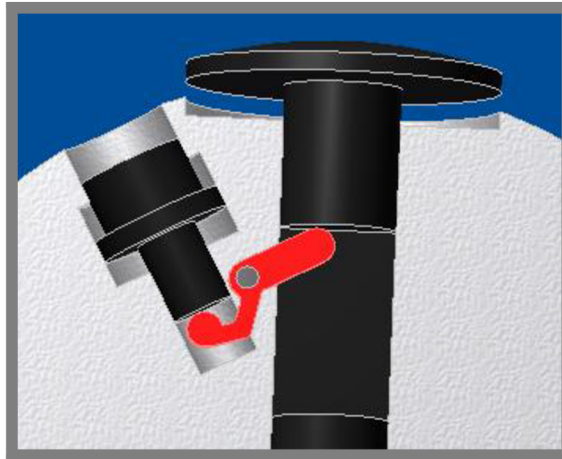
Výhodou vačkových mechanismů je snadné vymezení požadovaného pohybu hnaného členu a snadná zaměnitelnost velikosti zdvihu pouhou výměnou vačky [5].

3.1.2 Pákový mechanismus

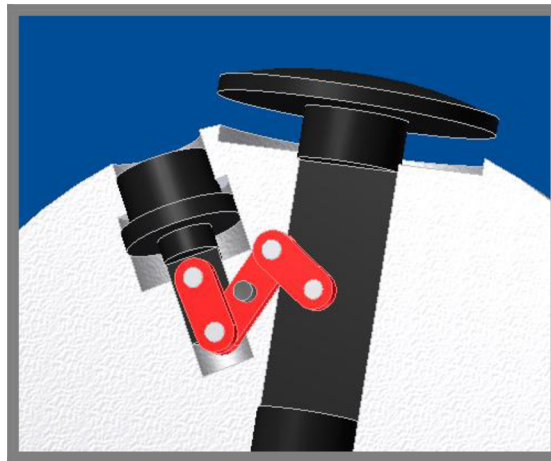
3.1.2

Pákový mechanismus, zobrazený na Obr. 3-2, sestává ze čtyř členů spojených navzájem prostřednictvím otočných kloubů. Jeden ze členů je nehybný rám mechanismu, ostatní se vůči němu pohybují. Všechny body pohyblivých členů opisují různé dráhy (trajektorie). Prostřední člen - páka, je uchycen na rámu pomocí rotační vazby, přičemž trajektorie kloubů na něm ležících jsou kružnice.

Výhodou kloubových mechanismů je jednoduchost výroby a možnost měnit jejich délku. Nevýhodou je malá přesnost přenášené funkce a rovněž skutečnost, že zabírají hodně prostoru [6].



Obr. 3-1 Mechanismus s vačkou



Obr. 3-2 Pákový mechanismus

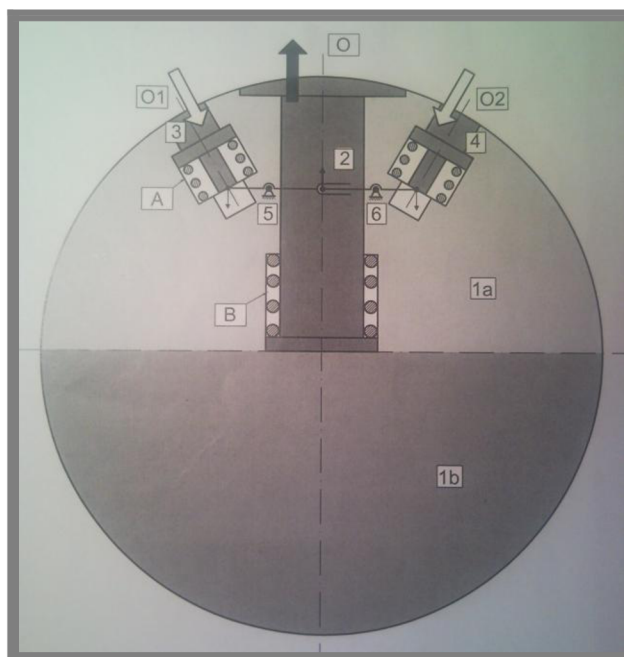
3.1.3 Volba mechanismu

Zejména z důvodů menší možnosti poškození mechanismu s vačkou, ale také proto, že je vačka jednodušší na výrobu, volím právě tento mechanismus. Kvůli ověření funkčnosti mechanismu bylo třeba vyrobit zkušební model.

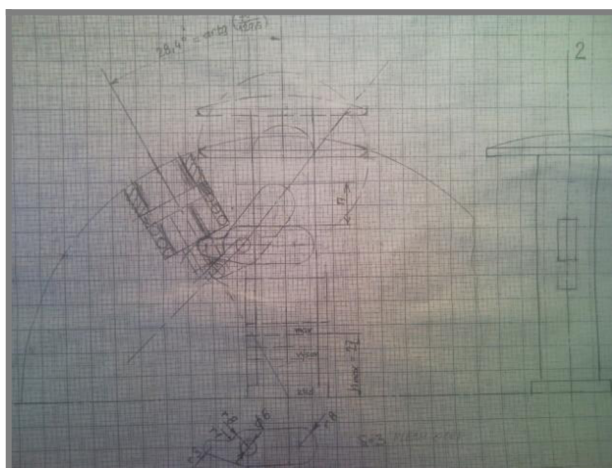
3.2 Zkušební model

Zkušební model, spíše pouze jeho rám, byl vytvořen podle předběžného konstrukčního návrhu (viz Obr. 3-3) a konstrukčního zpracování v měřítku 1:1 (viz Obr. 3-4).

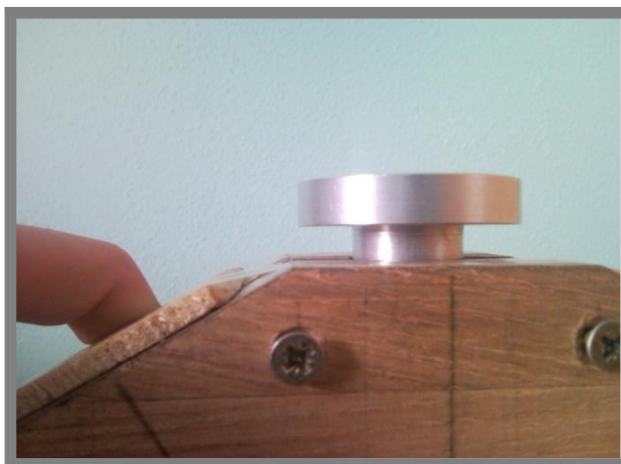
Rám zkušebního modelu je vyroben z jasanového dřeva, tlačítka po stranách a těleso úchopu z duralu, jednotlivé části ovládacích páček s vačkami z ocelového plechu. Tyto části jsou sletovány mosazí. Celý model je zobrazen na Obr. 3-5,6,7.



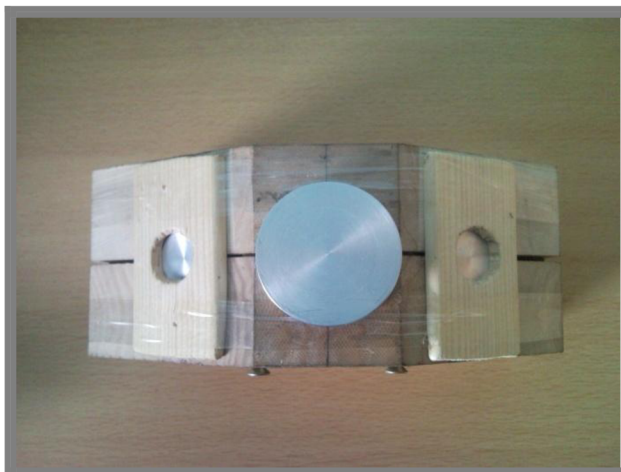
Obr. 3-3 Předběžný návrh



Obr. 3-4 Konstrukční zpracování v měřítku 1:1



Obr. 3-5 Zkušební model - pohled zepředu



Obr. 3-6 Zkušební model - pohled shora



Obr. 3-7 Zkušební model - pohled na mechanismus

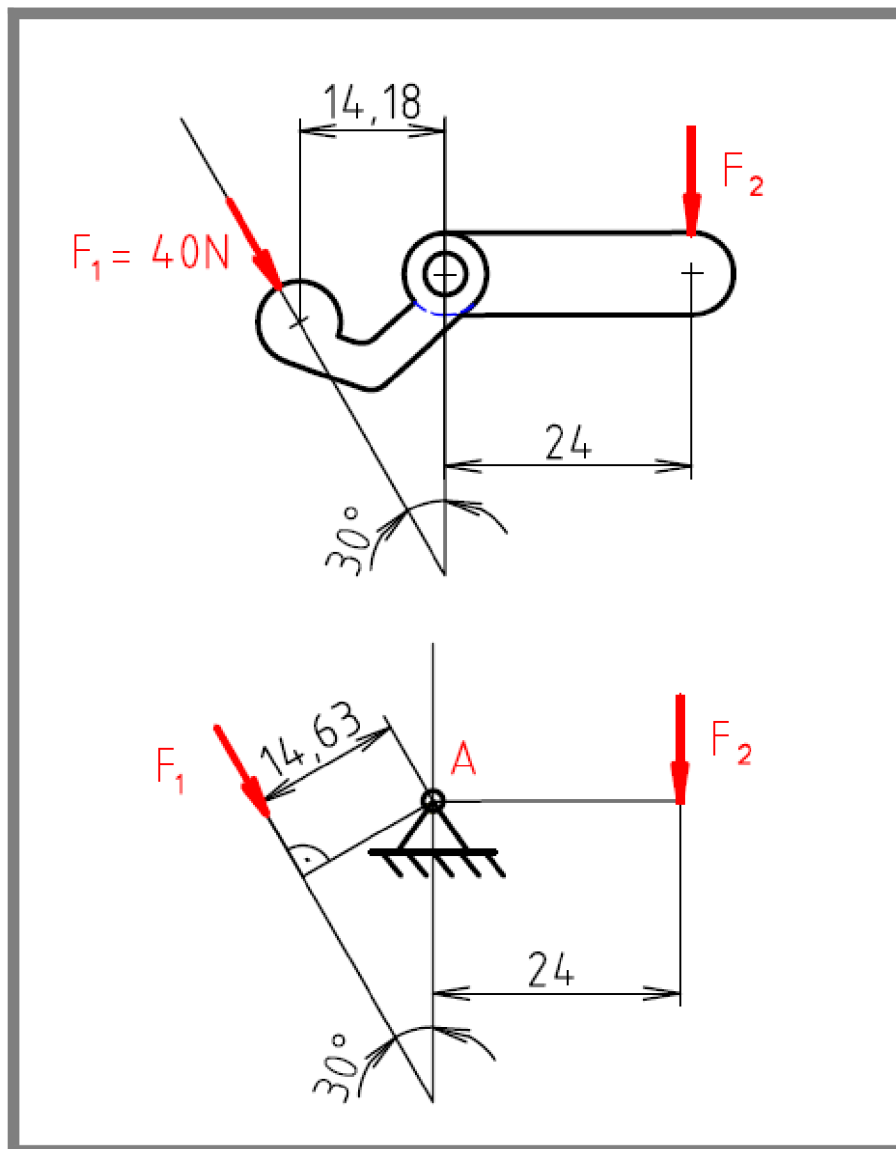
Mechanismus funguje dle předpokladů, je tedy vhodný pro aplikaci do bowlingové koule.

Ve zkušebním modelu má horní část tělesa úchopu průměr 50 mm, což je pro dobrý úchop nedostačující. Ovládací páčky, které po stlačení tlačítek slouží k vysunutí tělesa úchopu, fungují tak, jak mají, jejich úprava bude tedy spočívat pouze v korekci jejich rozměrů a to tak, aby po vysunutí byla mezera na uchopení prsty mezi držákem a koulí co nejvhodnější. Pružiny ve zkušebním modelu byly vybrány čistě kvůli jejich rozměrům. Bude třeba navrhnout pružiny v mechanismu tak, aby došlo k rychlému návratu tlačítek a hlavně vnořovacího úchopu ihned po hodů zpět do koule.

3.3 Konstrukční zpracování mechanismu

Tato kapitola se zabývá návrhem jednotlivých částí mechanismu uvnitř koule.

3.3.1 Silový rozbor



Obr. 3-8 Silový rozbor

1. Zadané hodnoty

F_1	= 40 N
a	= 14,63 mm
b	= 24 mm
β	= 30°

2. Kinematický rozbor

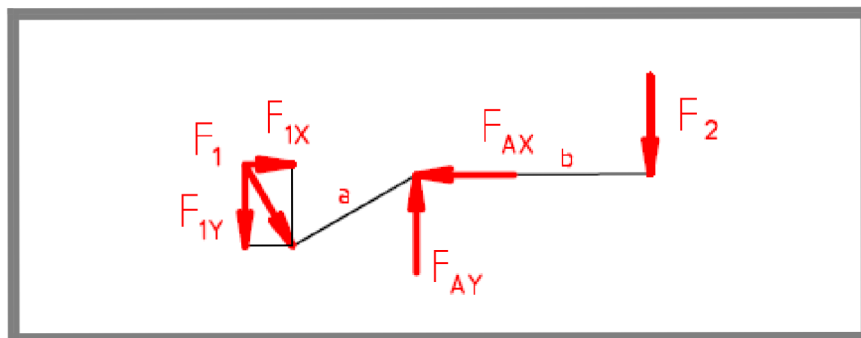
$$i = i_V - (i^* \xi_i - \eta)$$

$$i = 3 - 2$$

$$i = 1^{\circ V}$$

Jde o pohyblivé uložení s jedním stupněm volnosti.

3. Úplné uvolnění



Obr. 3-9 Úplné uvolnění

$$NP = \{F_{AX}, F_{AY}, F_2\}$$

4. Statický rozbor

$$\mu = v \quad \wedge \quad \mu_r + \mu_M \leq V_M$$

$$3 = 3 \quad \wedge \quad 0 + 0 \leq 1$$

Staticky určitý problém.

5. Sestavení rovnic rovnováhy

$$\Sigma F_X = 0 \quad F_{1X} - F_{AX} = 0$$

$$F_{AX} = F_1 \cdot \sin(\beta)$$

$$F_{AX} = 40 \cdot \sin(30)$$

$$\underline{F_{AX} = 20 \text{ N}}$$

$$\Sigma F_Y = 0 \quad F_{1Y} - F_{AY} + F_2 = 0$$

$$F_{AY} = F_2 + F_1 \cdot \cos(\beta)$$

$$F_{AY} = 21,34 + 40 \cdot \cos(30)$$

$$\underline{F_{AY} = 59,02 \text{ N}}$$

$$\Sigma M_A = 0 \quad F_1 \cdot a + F_2 \cdot b = 0$$

$$F_2 = (F_1 \cdot a) / b$$

$$F_2 = (40 \cdot 14,63) / 24$$

$$\underline{F_2 = 24,38 \text{ N}}$$

3.3.2 Součásti mechanismu

Tato část práce se zabývá návrhem součástí mechanismu, tedy určením jejich tvaru a rozměrů. Výsledné výrobky musí plnit svou funkci nepřetržitě v daných podmínkách, musí být přizpůsobeny používání člověkem a také musí být vyrobitelné v předepsaných tolerancích.

3.3.2.1 Těleso úchopu

Těleso úchopu bude, stejně jako tlačítka, uvnitř koule. Bude na něj působit síla od pružiny, gravitační síla a při valení koule také normálová síla od podložky a třecí síla. Horní část součásti musí být dobře uchopitelná, musí mít dostatečně velký průměr. Výhodou bude tvarování podle lidské ruky. Dřík tělesa úchopu musí být v místě kontaktu s ovládacími páčkami rovinný. Na spodní části součásti bude pružina zajišťující jeho návrat do původní pozice. Z důvodu snadného nasazení pružiny bude třeba těleso úchopu vyrobit ze dvou částí, které budou spojeny závitem. Navržený tvar je na Obr. 3-10.

Výkres: 3 - 3A/4 – 3/3
 4 - 3A/4 – 3/4

3.3.2.2 Tlačítka

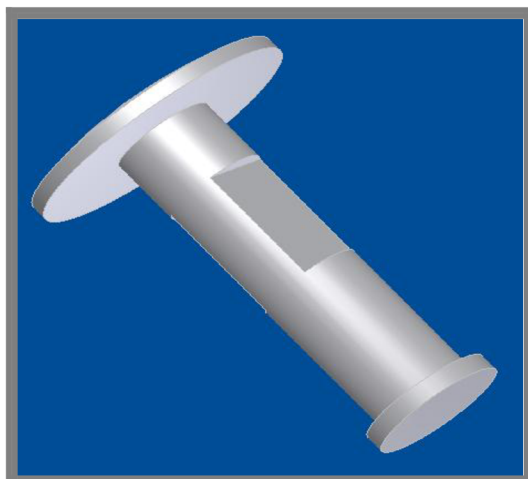
Tlačítka musí být navržena tak, aby se ukryla do útrobu koule a zajistila přenos síly potřebné na vysunutí tělesa úchopu. Horní hrana tlačítek nesmí při zpětném pohybu, který jim udělí pružiny, přesáhnout povrch koule. Část, jejíž horní plocha tvoří segment povrchu koule, těchto součástí musí mít dostatečný průměr, aby mohli být stlačeny prstem člověka. Za těchto podmínek byl navržen tvar tlačítek na Obr. 3-11.

Výkres: 4 - 3A/4 – 3/5

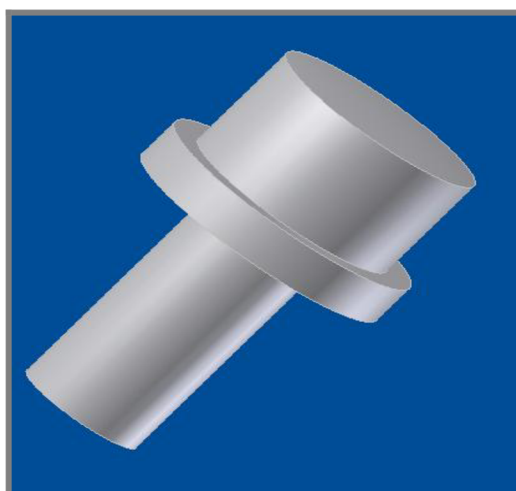
3.3.2.3 Ovládací páčky

Ovládací páčky se musí otáčet okolo čepu a musí přenášet sílu vyvinutou člověkem při stlačení tlačítek na držák tak, aby vyjel z koule a šel uchopit (viz Obr. 3-12).

Výkres: 3 - 3A/4 – 3/03
 4 - 3A/4 – 3/6
 4 - 3A/4 – 3/7
 4 - 3A/4 – 3/8



Obr. 3-10 Těleso úchopu



Obr. 3-11 Tlačítko



Obr. 3-12 Ovládací páčka

3.3.2.4 Čepy

Čepy budou přenášet síly způsobené stiskem tlačítek na vysunutí tělesa úchopu. Tyto síly jsou kolmé k ose čepů.

Výkres: 4 - 3A/4 – 3/9

3.3.2.5 Podložky

Vymezovací podložky slouží jako náhrada odebraného materiálu koule při jejím řezání.

Výkres: 3 - 3A/4 – 3/10
3 - 3A/4 – 3/11

3.3.3 Materiál jednotlivých součástí

Na součásti uvnitř koule budou působit malé síly, v rozmezí od 0 do maximálně 100 N. Ke tření bude docházet pouze ve chvíli stlačení a návratu tlačítek a držáku, tyto prvky nebudou tepelně ovlivněny a drsnost jejich povrchu nemusí být nižší než drsnost, která vznikne jejich obráběním za účelem dosažení požadovaných rozměrů. Hmotnost součástí by měla být co nejmenší a to taková, aby odpovídala hmotnosti odebraného materiálu z původní bowlingové koule, jejíž hustota je:

$$m_k = 11 \text{ lb} = 4,9896 \text{ kg}$$

$$R_k = 0,1089 \text{ m}$$

$$V_k = \frac{4}{3}\pi R_k^3$$

$$V_k = 0,0054 \text{ m}^3$$

$$\rho_k = \frac{m}{V_k}$$

$$\rho_k = 922,34 \text{ kg.m}^{-3}$$

Z těchto důvodů volím jako materiál tlačítek a tělesa úchopu dural, který má dostatečnou pevnost a hustotu nejbližší hustotě koule, a to $\rho = 2800 \text{ kg.m}^{-3}$ [4]. Materiál použitý k výrobě ovládacích páček bude ocelový plech tloušťky $t = 4 \text{ mm}$. Materiál k výrobě čepů je ocel 11 500. Páčky a čepy jsou menších rozměrů, rozdíl hmotností nebude tak markantní. Podložky budou vyrobeny ze silonu, jehož hustota $\rho = 1100 \text{ kg.m}^{-3}$ [4] je velmi podobná hustotě materiálu koule.

Otvory pro prsty, které byly na původní bowlingové kouli, a případné opravy povrchu, např. rýh od používání koule a možné odštípnutí materiálu při obrábění, lze provést pomocí metakrylátové licí pryskyřice (dentacrylu), která má po správné aplikaci dostatečnou tvrdost a pevnost.

3.3.4 Pružiny

Pružiny jsou strojní součásti, které mají schopnost akumulovat mechanickou energii na základě pružné deformace materiálu, ze kterého jsou vyrobeny. V závislosti na užitém materiálu a geometrii je možné získat pružiny s různým průběhem závislosti zatížení (síly, momentu) na deformaci (charakteristika pružiny) a tedy i tuhostí. Tuhost pružiny je konstantní pouze u pružin s lineární charakteristikou nebo v lineární oblasti nelineární charakteristiky. U nelineárních pružin je proměnlivá. Kromě akumulace mechanické energie mohou pružiny sloužit také k vyvození předepsané velikosti síly nebo momentu, k tlumení otřesů, rázů nebo kmitání nebo k pružnému spojení dvou či více součástí. Pro různé účely se používají různé druhy pružin.

Podle fyzikálního principu činnosti lze pružiny rozdělit na mechanické, pneumatické, hydropneumatické, aj. Mechanické pružiny se obvykle dělí podle použitého materiálu (kovové, nekovové), druhu zatěžování (tah, tlak, ohyb, smyk) a konstrukčního uspořádání. Kovové pružiny se podle konstrukce rozdělují na vinuté (z drátů a pásů), tyčové, kroužkové, svinované, listové a speciální. Mezi vinuté pružiny patří šroubovité válcové pružiny z drátů a tyčí kruhového průřezu, které představují nejrozšířenější druh pružin.

3.3.4.1 Tvary šroubovitých tlačných pružin

Obvykle se používají čtyři základní provedení konců lišící se počtem závěrných a obrobených závitů a provedením opěrné plochy. Pružina s *otevřeným koncem* je tvořena drátem navinutým v nenarušenou šroubovici tzn., že krajní závit není přihnuto k sousednímu. Pružina s *uzavřeným koncem* má krajní závit zdeformován (přihnuto k sousednímu závitě) tak, že úhel stoupání šroubovice je nulový.

3.3.4.2 Materiály pružin

Pružiny se vyrábějí buď tvářením za tepla, nebo za studena, a to závislosti na rozměrech materiálu, druhu pružiny a požadovaných vlastnostech. Nejčastěji užívaným materiálem jsou uhlíkové, legované a korozi-vzdorné oceli. Mezi nezelezné materiály vhodné pro výrobu pružin patří fosforové bronz, mosaz, slitiny mědi a beryllia a různé slitiny niklu [3].

3.3.4.3 Návrh pružin

Pružina 1

$$D_{e, \max} = 30 \text{ mm}$$

$$d_e <1;2>$$

$$y_{\max} = 12,5 \text{ mm}$$

$$n_t = 4,5$$

$$n_a = 2,5$$

$$l_{0, \max} = 18 \text{ mm}$$

$$F_m = 40 \text{ N}$$

$$G = 81500 \text{ MPa}$$

$$E = 206000 \text{ MPa}$$

Návrh

1. Volba průměru drátu

Volím $d_N = 1,6$ mm

2. Délka pružiny v klidovém (volném) stavu

$$l_0 = n_t \cdot d_N + y_{\max} + r$$

r...rezerva (dosednutí závitů)

$$l_0 = 4,5 \cdot 1,6 + 12,5 + 1$$

$$l_0 = 20,7 \text{ mm}$$

přidání délky → předpětí

$$l_0 = 22 \text{ mm}$$

3. Výpočet tuhosti pružiny

$$y_N = l_0 - n_t \cdot d_N$$

$$y_N = 22 - 4,5 \cdot 1,6$$

$$y_N = 14,8 \text{ mm}$$

$$F_m = k \cdot y_N$$

$$k = \frac{F_m}{y_N}$$

$$k = \frac{40}{14,8}$$

$$k = 2,703 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

4. Výpočet středního a vnějšího průměru pružiny

$$k = \frac{d_N^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot n_d}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{d_N^4 \cdot G}{k \cdot 8 \cdot n_d}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{1,6^4 \cdot 81500}{3,125 \cdot 8 \cdot 2,5}}$$

$$D = 21,46 \text{ mm}$$

$$D_e = D + d_N$$

$$D_e = 21,46 + 1,6$$

$$D_e = 23,06 \text{ mm}$$

5. Kontrola vybočení pružiny

5.1 Elastická konstanta

$$C_2' = \frac{2 \cdot \pi \cdot (E - G)}{2 \cdot G - E}$$

$$C_2' = \frac{2 \cdot \pi \cdot (206000 - 81500)}{2 \cdot 81500 + 206000}$$

$$C_2' = 6,66$$

5.2 Redukovaná štíhlost pružiny

$$\alpha = 0,5$$

$$\lambda_r = \frac{\alpha \cdot l_0}{D}$$
$$\lambda_r = \frac{0,5 \cdot 22}{21,46}$$
$$\lambda_r = 0,51$$

5.3 Vybočení pružiny

$$\frac{C_2}{\lambda_r^2} = 25,35 > 1$$

Dojde ke stlačení bez vybočení.

Pružina 2

$$D_e = 30 \text{ mm}$$
$$d_e < 1; 2,5 >$$
$$y_{\max} = 28 \text{ mm}$$
$$n_t = 4$$
$$n_a = 2$$
$$l_{0,\max} = 40 \text{ mm}$$
$$F_{m,\max} \in < 65; 75 >$$
$$G = 81500 \text{ MPa}$$
$$E = 206000 \text{ MPa}$$

Návrh

1. Volba průměru drátu

$$\text{Volím } d_N = 1,8 \text{ mm}$$
$$\text{Pak } D = 28,2 \text{ mm}$$

2. Délka pružiny v klidovém (volném) stavu

$$l_0 = n_t \cdot d_N + y_{\max} + r$$
$$l_0 = 4 \cdot 1,8 + 28 + 1$$
$$l_0 = 36,2 \text{ mm}$$
$$l_0 = 37 \text{ mm}$$

$r \dots$ rezerva (dosednutí závitů)

přidání délky \rightarrow předpětí

$$y_N = l_0 - n_t \cdot d_N$$
$$y_N = 37 - 4 \cdot 1,8$$
$$y_N = 29,8 \text{ mm}$$

3. Výpočet tuhosti pružiny

$$k = \frac{dN^4 * G}{D^3 * 8 * n_d}$$
$$k = \frac{1,8^4 * 81500}{28,2^3 * 8 * 2}$$
$$k = 2,384 \text{ N} * \text{mm}^{-1}$$

4. Výpočet síly vyvinuté pružinou v mezním stavu

$$F_m = k * y_N$$
$$F_m = 2,384 * 29,8$$
$$F_m = 71,04 \text{ N}$$

5. Kontrola vybočení pružiny

5.1 Elastická konstanta

$$C_2' = \frac{2 * \pi * (E - G)}{2 * G - E}$$
$$C_2' = \frac{2 * \pi * (206000 - 81500)}{2 * 81500 + 206000}$$
$$C_2' = 6,66$$

5.2 Redukovaná štíhlost pružiny

$$\alpha = 0,5$$
$$\lambda_r = \frac{\alpha * l_0}{D}$$
$$\lambda_r = \frac{0,5 * 29,8}{28,2}$$
$$\lambda_r = 0,53$$

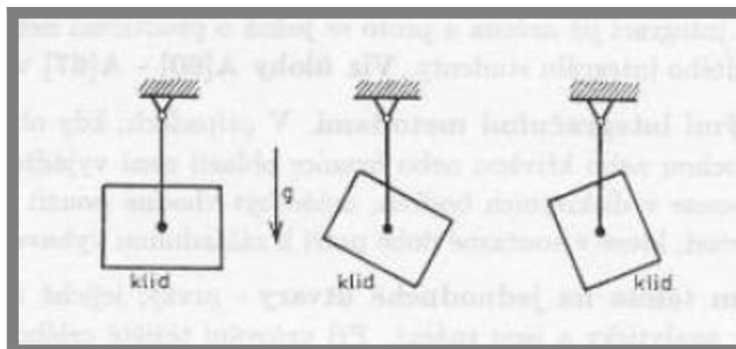
5.3 Vybočení pružiny

$$\frac{C_2'}{\lambda_r^2} = 23,71 > 1$$

Dojde ke stlačení bez vybočení.

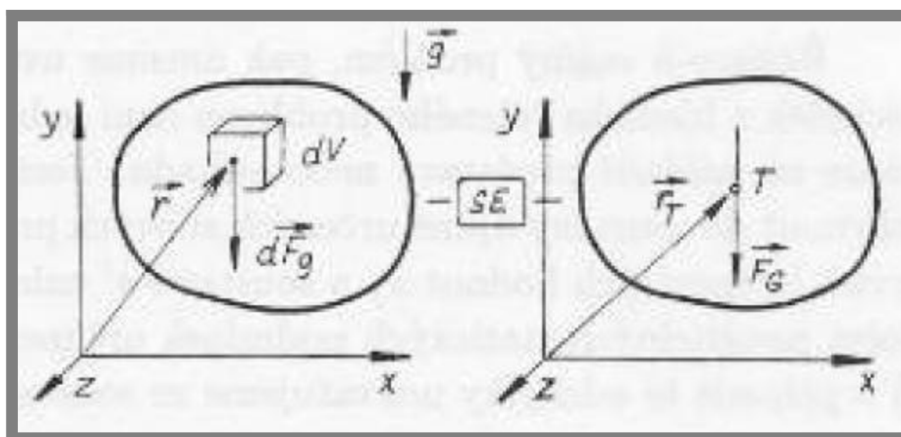
3.3.5 Těžiště

V tělese umístěném v gravitačním poli zemském lze nalézt bod T s touto vlastností: Zavěsíme-li těleso v tomto bodě na dobře ohebné lano, pak při jakémkoliv natočení tělesa kolem tohoto bodu zůstává těleso v klidu, tedy ve statické rovnováze (viz Obr. 3-13). Bod, který má uvedenou vlastnost nazýváme těžištěm tělesa.



Obr. 3-13 Těžiště tělesa [7]

Oblast, kterou zaujímá těleso, můžeme disjunktně (nemající společný prvek) rozdělit na elementární prostorové podoblasti, přičemž každé podoblasti přiřadíme bod, který daná podoblast obsahuje. Silovou interakci podoblasti s okolím vyjádříme elementární tíhovou silou $d\vec{F}_G = \vec{g} * \rho * dV$ (viz Obr. 3-14). Vzhledem k vlastnostem gravitačního pole a velikosti těles ve strojírenství, jsou nositelky elementárních tíhových sil rovnoběžné. Mají svislý směr a jsou orientovány k Zemi. Na těleso pak působí soustava rovnoběžných elementárních sil v prostoru. Zvolíme-li souřadnicový systém pevně spojený s tělesem, pak při otáčení tělesa, působí na těleso soustava rotujících rovnoběžných sil. Tato soustava má osu a osy sestrojené v jednotlivých polohách procházející vždy jedním bodem, střediskem soustavy elementárních tíhových sil – těžištěm.



Obr. 3-14 Silová interakce podoblasti s okolím [7]

3.3.5.1 Vlastnosti těžiště

1. Těžiště je bodem tělesa, kterým prochází osa soustavy elementárních tíhových sil při každém natočení tělesa
2. Tíhová síla, je staticky ekvivalentní se soustavou elementárních tíhových sil, prochází těžištěm a při každém natočení má vzhledem k souřadnicovému systému spojenému se Zemí stejnou velikost, směr a smysl.

Proto těleso vázané v těžišti bez omezení natočení je v každé natočené poloze ve statické rovnováze.

Vedle statického vymezení těžiště, které vychází z vlastností soustavy elementárních tíhových sil působících na těleso v gravitačním poli zemském, lze těžiště vymežit na základě elementárních setrvačných sil. V newtonovské mechanice je statické a dynamické těžiště totožné. Jednotlivé souřadnice x , y a z těžiště se určí nezávisle na sobě.

$$x_T = \frac{\int g \cdot \rho \cdot x \cdot dV}{\int g \cdot \rho \cdot dV}$$

$$y_T = \frac{\int g \cdot \rho \cdot y \cdot dV}{\int g \cdot \rho \cdot dV}$$

$$z_T = \frac{\int g \cdot \rho \cdot z \cdot dV}{\int g \cdot \rho \cdot dV}$$

Na strojírenské úrovni je $\vec{g} = konst.$ Jestliže po rozdělení oblasti, přes kterou integrujeme, na n podoblastí známe polohu těžiště podoblastí, pak polohu těžiště určíme ze vztahu:

$$\vec{r}_T = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^n \vec{r}_{T_i} \cdot m_i$$

Jestliže těleso má geometricky a hmotnostně bod, osu nebo rovinu souměrnosti, pak těžiště leží na útvaru souměrnosti. Těžiště tělesa je jednoznačně určeno průsečíkem os soustavy elementárních tíhových sil pro dvě polohy tělesa. V případě spojení dvou těles v jedno, bude těžiště tohoto tělesa ležet na úsečce spojující těžiště jeho jednotlivých částí. Těžiště tělesa může ležet i mimo těleso.

3.3.5.2 Určování polohy těžiště

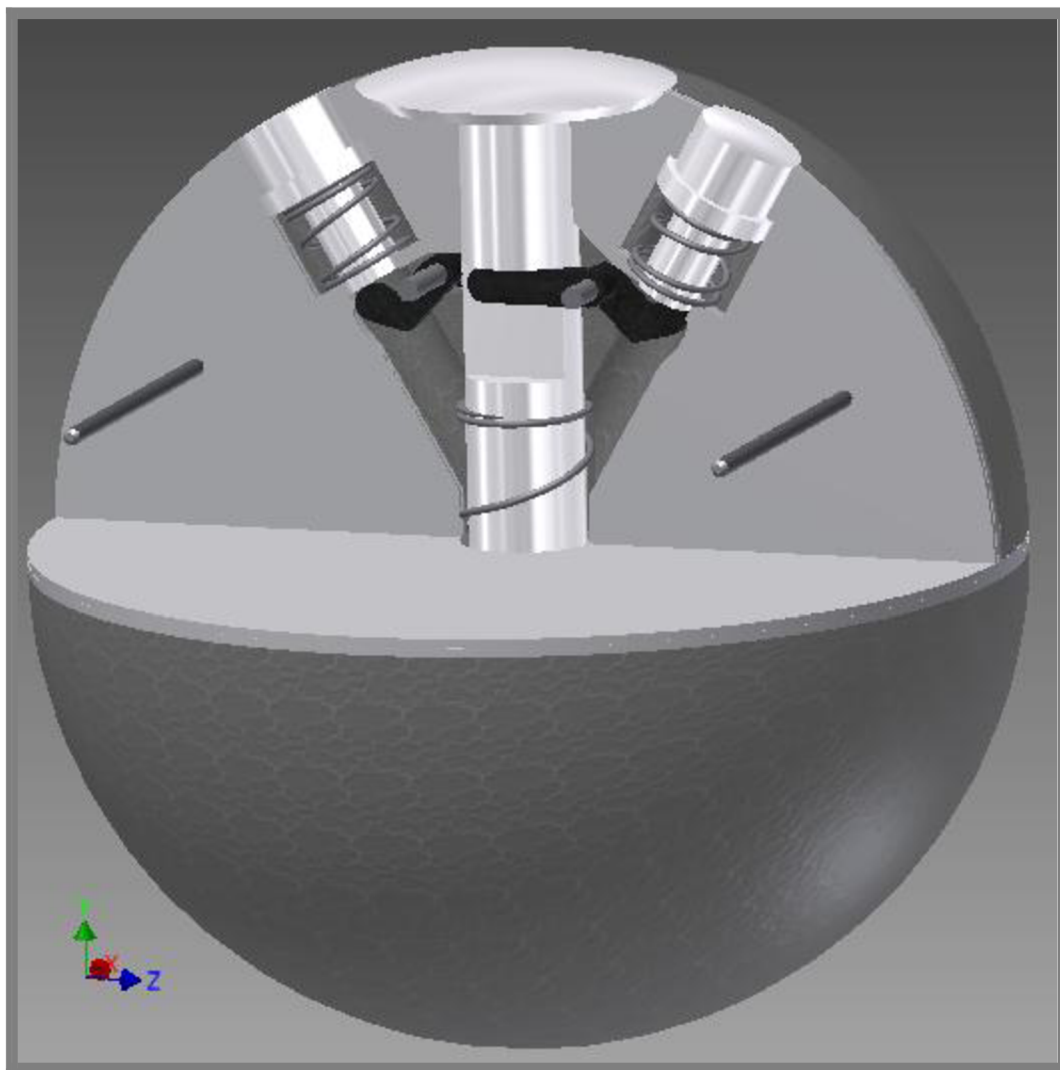
1. Integrací podle definičních vztahů
2. Numerickými integračními metodami
3. Rozdělíme tělesa na jednoduché útvary – prvky, jejichž těžiště i hmotnosti byly určeny analyticky a jsou známé. Při určování těžiště celého tělesa využíváme součtových vlastností integrálu. Integrál součtu (rozdílu) je roven součtu (rozdílu) integrálů.

$$x_T = \frac{\int x \cdot dm}{m} = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{m}$$

4. Experimentálně [7], [8]

3.3.5.3 Určení polohy těžiště navrhované koule

Těžiště navrhované koule určíme pomocí nástroje *Fyzikální vlastnosti* programu *Autodesk Inventor Professional 2012*. V tomto programu byl vytvořen model, u kterého byl zvolen identický materiál jako má reálná koule a její ostatní součásti. Tento model je na Obr. 3-15 spolu s orientací souřadného systému v jeho levém dolním rohu. Souřadnice těžiště sestavy jsou na Obr. 3-16, přičemž počátek souřadného systému je ve středu koule.



Obr. 3-15 Model navrhované koule

The screenshot displays the 'Fyzikální' (Physical) properties tab of a software application. The interface is organized into several sections:

- Material:** A dropdown menu for 'Materiál' and an 'Aktualizovat' (Update) button.
- Density and Precision:** 'Hustota' (Density) is set to $1,011 \text{ g/cm}^3$ and 'Požadovaná přesnost' (Required precision) is set to 'Velmi vysoké' (Very high). A 'Schránka' (Lock) button is present.
- General Properties (Obecné vlastnosti):**
 - Checkboxes for 'Zahrnout kosmetické svary' (Include cosmetic welds) and 'Zahrnout přepsání KS' (Include KS conversion) are both unchecked.
 - Center of Gravity (Těžiště):** A table of coordinates relative to the origin:

Axis	Value	Unit
X	-0,000	mm (Relativní)
Y	0,373	mm (Relativní)
Z	-0,001	mm (Relativní)
 - Mass and Surface Area:** 'Hmotnost' (Mass) is $5,426 \text{ kg}$ (Relative), and 'Povrch' (Surface area) is $495197,279 \text{ mm}^2$.
 - Volume:** 'Objem' (Volume) is $5367780,672 \text{ mm}^3$.
- Inertia Properties (Vlastnosti setrvačnosti):**
 - Buttons for 'Hlavní' (Main), 'Globální' (Global), and 'Těžiště' (Center of Gravity) are shown. 'Hlavní' is selected.
 - Main Moments (Hlavní momenty):**

Axis	Value	Unit
I1	25939,058	kg mn
I2	25736,715	kg mn
I3	25864,772	kg mn
 - Rotations about Main Axes (Rotace na hlavní):**

Axis	Value	Unit
Rx	0,11	deg (Relativní)
Ry	-0,10	deg (Relativní)
Rz	-0,03	deg (Relativní)

Obr. 3-16 Fyzikální vlastnosti sestavy

Těžiště sestavy je téměř v počátku souřadného systému. X-ová souřadnice je nula, protože všechny součásti jsou symetrické právě podle počátku. Y-ová souřadnice je posunuta směrem vzhůru z důvodu větší hustoty součástí mechanismu, tj. duralu a oceli, ale vyvrtané díry, tedy volná místa, tento rozdíl kompenzují, těžiště je proto v tomto směru posunuto minimálně. Z-ová je skoro rovna nule, tisícinná odchylka je způsobena rozložením hmotnosti pružiny u tělesa úchopu.

3.4 Vyvažování tuhých těles

Cílem vyvažování tuhých těles je eliminovat přidané silové a momentové účinky. Tyto přidané účinky jsou závislé na úhlové rychlosti $\vec{\omega}$ a na úhlovém zrychlení $\vec{\alpha}$.

3.4.1 Eliminace silových účinků – statické vyvažování

Při statickém vyvažování se snažíme odstranit přidané zatěžující účinky, které se nacházejí v silových pohybových rovnicích. Tyto účinky se budou blížit nule, bude-li

$$x_T \rightarrow 0$$

$$y_T \rightarrow 0$$

Snahou i cílem statického vyvažování je dosáhnout toho, aby těžiště leželo v ose rotace.

Při statickém vyvažování eliminujeme vliv tíhové síly. Tato síla má charakter volného vektoru, a proto ji můžeme vhodně posouvat na tělese. Stačí nám tedy vyvažovat v jedné vyvažované rovině.

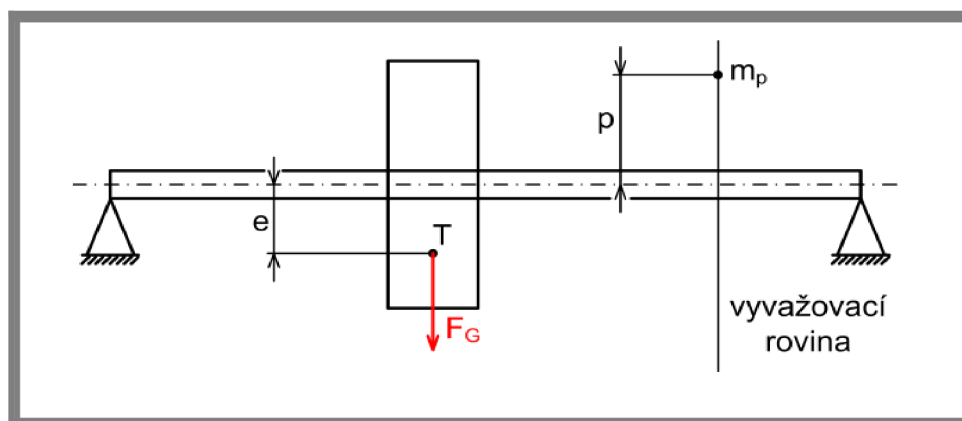
Technické provedení

a) Lehký stroj – jedná se o vyvažování za klidu. Stroj umístíme na vyvažovací trny a nastaví se tak, že těžiště je pod osou rotace. Na protilehlou stranu přidáme hmotu tak, abychom dosáhli toho, že se motor po novém usazení nebude otáčet.

Veličina, která charakterizuje míru nevyváženosti, se nazývá nevyváha a je vyjádřena vztahem

$$N = m * e \text{ [kg * m]}$$

e je excentricita – udává, o kolik je těžiště vychýleno z osy rotace.



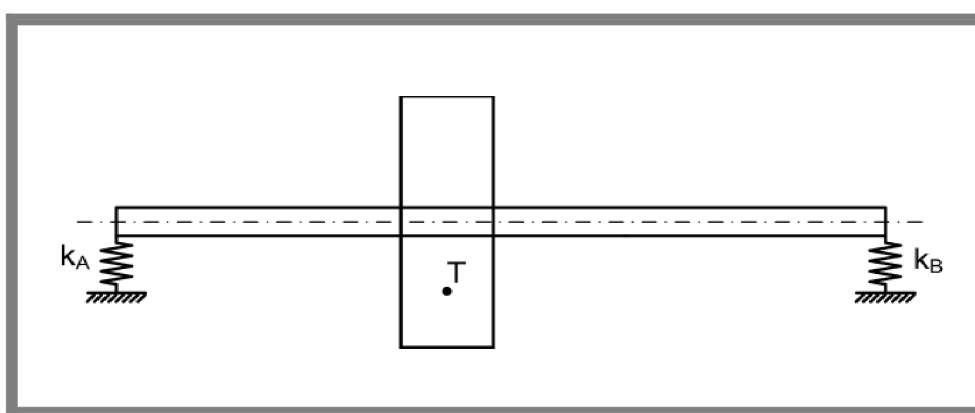
Obr. 3-17 Statické vyvažování – lehký stroj [9]

Musí platit

$$m * e = m_p * p$$

p je většinou jasně dána buď konstrukčně nebo technologicky.

b) Těžký stroj – jedná se o vyvažování za rotace. Většina těles je poměrně hmotná a tak není možné je vyvažovat na vyvažovacích trnech. Proto jsou za tímto účelem konstruovány speciální stroje – vyvažovačky, které mají v ložiscích zabudované měřící prvky, které jsou schopny zjišťovat parametry, jež jsou nezbytné pro správné vyvážení, (excentricita, poloha excentricity, poloha těžiště, působící síly v ložiscích apod.)



Obr. 3-18 Statické vyvažování – těžký stroj [9]

3.4.2 Eliminace momentových účinků – dynamické vyvažování

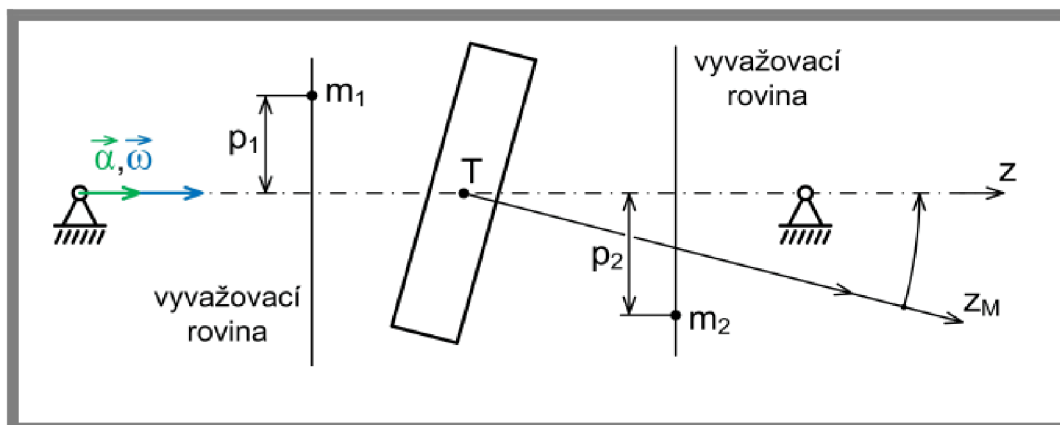
Při dynamickém vyvažování se snažíme odstranit přidané zatěžující účinky, které se nacházejí v momentových pohybových rovnicích. Tyto účinky se budou blížit nule, pokud bude

$$D_{xz} \rightarrow 0$$

$$D_{yz} \rightarrow 0$$

Snahou i cílem při dynamickém vyvažování je dosáhnout stavu, kdy osa rotace je hlavní osou setrvačnosti.

Při dynamickém vyvažování eliminujeme vliv momentu. Moment lze modelovat jako silovou dvojici, je proto nutné vyvažovat minimálně ve dvou vyvažovacích rovinách.



Obr. 3-19 Dynamické vyvažování [9]

Technické řešení je možné pouze za rotace. Za klidu se tento vliv vůbec neprojeví. Provádí se opět na speciálních strojích jako v případě statického vyvažování [9].

3.4.3 Vyvážení navrhované koule

3.4.3

Z důvodu polohy těžiště, zjištěné v bodě 3.3.5.3 této práce, není vyvážení potřeba. Velikosti hlavních momentů setrvačnosti jsou na Obr. 3-16. Fyzikální vlastnosti sestavy v části 3.3.5.3.

3.5 Montážní postup

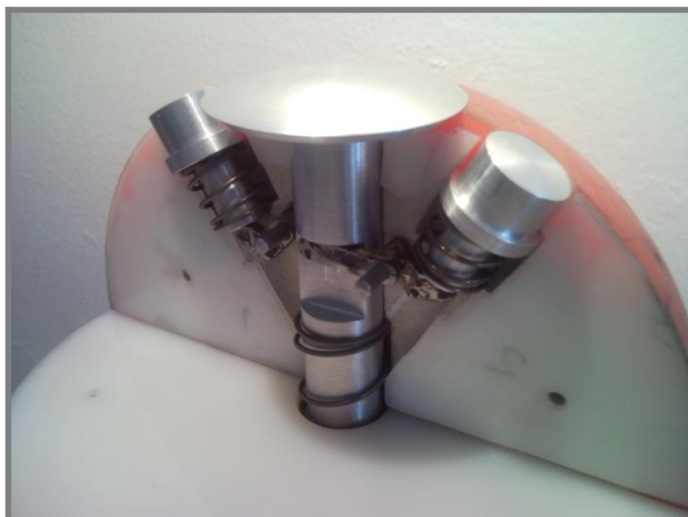
3.5

1. Při montáži použijeme pro lepší orientaci výkres sestavy, s číslem 1 - 3A/4 - 3/00.
2. Na každou čtvrtinu koule, 2 - 3A/4 - 3/1, přilepíme příslušné silonové podložky, 3 - 3A/4 - 3/10.
3. Do dvou děr ($\varnothing 5$) v první čtvrtinu kouli, dále rámu, vložíme příslušný čep, s číslem výkresu 4 - 3A/4 - 3/9. Na každý čep nasadíme jednu pružnou podložku ČSN 02 1740.01 - 5.
4. Na první tlačítko, 4 - 3A/4 - 3/5, nasuneme pružinu s označením 1,6x23,06x22x4,5 a tuto sestavu vložíme do rámu. Stejný postup opakujeme pro druhé totožné tlačítko. Vkládáme opět do rámu.
5. Na levý čep nasadíme první ovládací páčku, 3 - 3A/4 - 3/03, tak, aby se její kratší rameno dotýkalo prvního tlačítka.
6. Vložíme těleso úchopu, 3 - 3A/4 - 3/3.
7. Na pravý čep nasadíme druhou ovládací páčku, 3 - 3A/4 - 3/03, tak, aby se její kratší rameno dotýkalo druhého tlačítka. Poté na každý čep nasadíme jednu pružnou podložku ČSN 02 1740.01 - 5.
8. Nasadíme druhou čtvrtinu koule tak, aby oba čepy zapadly do příslušných děr.
9. Vyvrtáme 4 díry pro závitové tyče podle výkresu sestavy. Sešroubujeme závitovými tyčemi DIN 975 M5x180, maticemi ISO 4032 - M5 - 8 s podložkami ISO 7089 - 5 - 200 HV.
10. Na celek, sestavený podle bodů 1-9 tohoto montážního postupu, přilepíme silonovou podložku, 3 - 3A/4 - 3/11.
11. Na těleso úchopu, nasuneme pružinu s označením 1,8x30x37x4, na šroub nanese me lepidlo na závity a přišroubujeme šroub, 4 - 3A/4 - 3/4.

12. Na polokouli, 3 - 3A/4 - 3/2, přilepíme silonovou podložku, 3 - 3A/4 - 3/11.
13. Vyvrtáme 4 díry pro závitové tyče podle výkresu sestavy. Sešroubujeme závitovými tyčemi DIN 975 M5x180, maticemi ISO 4032 - M5 - 8 s podložkami ISO 7089 - 5 - 200 HV.
13. Díry spolu se šrouby, maticemi a podložkami zalijeme modelářskou pryskyřicí a vyhladíme smirkovým papírem.

4 VÝSLEDKY

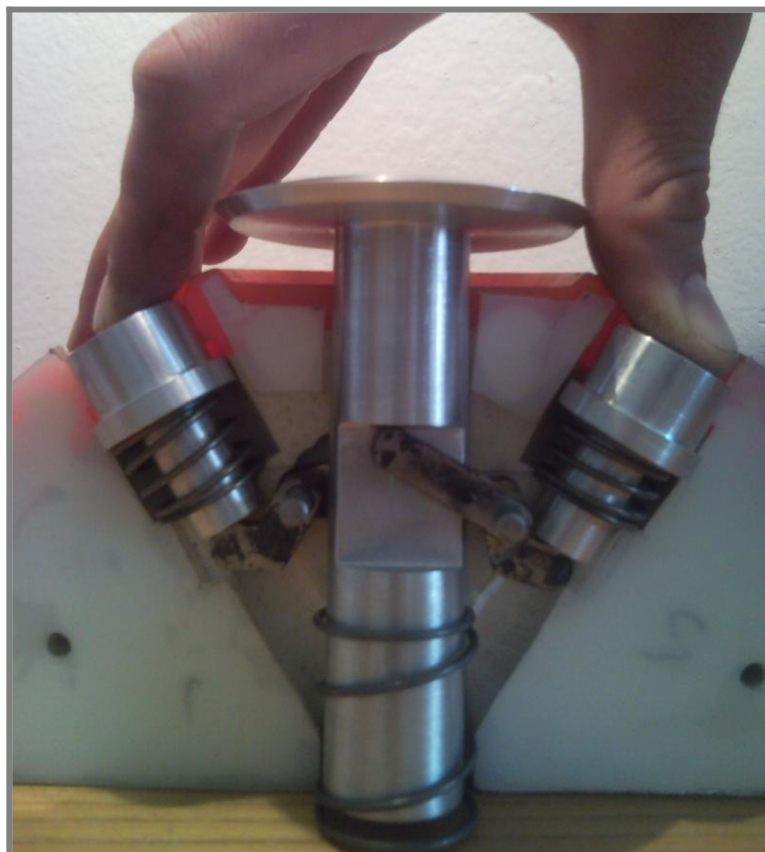
Výsledkem této práce je zhotovený funkční model bowlingové koule s vnořovacím úchopem. Pohled na mechanismus uvnitř koule je Obr. 4-1 a Obr. 4-2. Tento mechanismus je funkční (viz Obr. 4-3), po stlačení dvou tlačítek se vysune těleso úchopu, za které je možno celou kouli uchopit. Po vržení koule se těleso úchopu vrátí na své původní místo uvnitř koule. Na Obr. 4-4 je vizuální srovnání modelu, vytvořené v programu *Autodesk Inventor Professional 2012*, a vyrobené, tedy realné koule.



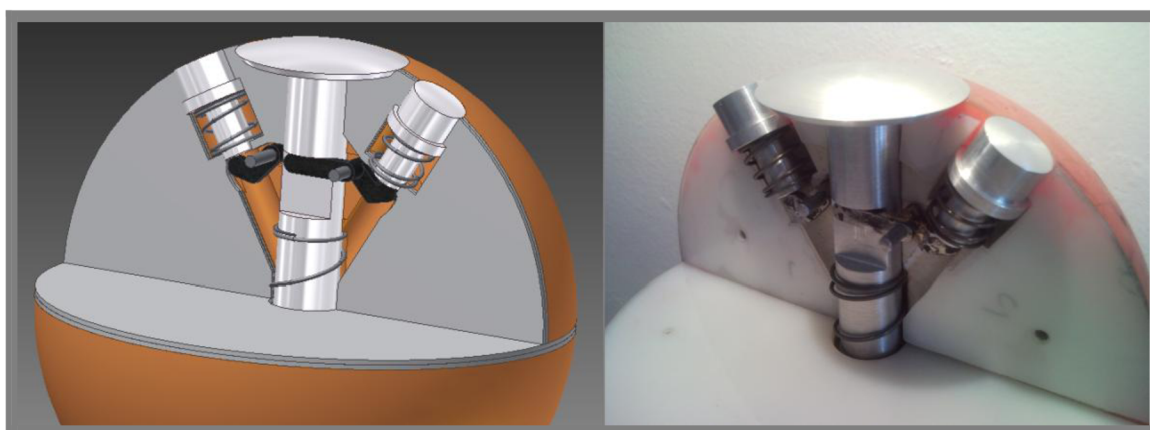
Obr. 4-1 Vyrobená koule – pohled na mechanismus



Obr. 4-2 Vyrobená koule – čelní pohled na celou kouli



Obr. 4-3 Vyrobená koule – funkčnost mechanismus



Obr. 4-4 Srovnání - model x vyrobená koule

5 DISKUZE

5

Navržený mechanismus je umístěn v původní kouli na bowling. Hlavní součástí celého mechanismu je těleso úchopu, které se skládá ze dvou částí, tělesa úchopu a šroubu. Horní část tělesa úchopu – tzv. klobouk má kulový tvar, jehož poloměr je totožný s poloměrem celé koule. Totéž platí i u tlačítek, čímž je dosaženo hladkého kulového povrchu koule.

Návrh pružin byl spojen s odhadem síly vyvolané zamáčknutím tlačítka prstem. Tento odhad byl správný, neboť vyrobené pružiny jdou snadno stlačit a přitom umožňují dostatečně rychlý návrat tlačítek do svých původních poloh. Pružina, která zajišťuje návrat vnořovacího úchopu, je dostatečně tuhá na to, aby nedošlo k jejímu úplnému stlačení při držení celé sestavy za vnořovací úchop. Návrh této pružiny vycházel z odhadované hmotnosti kompletní sestavy a rovněž z odhadovaných sil působících na tlačítka. Tuto hmotnost a síly lze vyčíslit přesněji. Pružiny by pak měly ještě vhodnější vlastnosti pro celou sestavu.

Ovládací páčky jsou vyrobeny s větší nepřesností, než jaká byla požadována, nicméně i přesto plní svou funkci, což je zajištění přenosu sil z tlačítek na těleso úchopu.

6 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo konstrukční zpracování a výroba patentované bowlingové koule s vnořovacím úchopem. Stanovený cíl byl úspěšně dosažen, navržený mechanismus v jádru koule funguje tak, jak bylo testováno na zkušebním modelu. Všechny součásti celé sestavy byly navrženy s ohledem na tvar původní bowlingové koule, jejich cena je proto vyšší, než by tomu bylo při zakoupení běžně dostupných součástí, např. pružin. Cena celého projektu bez nákladů na bowlingovou kouli je necelých 5000,- Kč, z toho cena materiálu je přibližně 1200,- Kč. Celková částka není příliš vysoká z důvodu dostupnosti materiálu a jednoduchosti navržené konstrukce.

Vyrobená koule je připravena k dalšímu testování a případnému zdokonalování. Tvar „klobouku“ tělesa úchopu je možné upravit tak, aby jeho spodní část byla tvarovaná podle lidské ruky, resp. dlaně. Je rovněž možná inovace ovládacích páček tak, že mohou být vyrobeny z jednoho kusu a jinou metodou obrábění, např. na CNC strojích, čímž by se zvětšila jejich přesnost.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

7

- [1] JOHN, Jiří a NOSEK, Antonín. *Bowling a kuželky: popis prostředí, technika, vybavení, pravidla*. 1. vyd. Praha: Grada, c2001, 207 s. ISBN 80-247-9048-3.
- [2] JOWDY, John. *Technika bowlingu pro maximální skóre*. 1. vyd. Praha: Talpress, 2005. ISBN 80-719-7259-2.
- [3] NEVRLÝ JOSEF. *Metací koule s vnořovacím úchopem* [patent]. Užitný vzor, CZ 20528 U1. Uděleno 15. 2. 2010. Zapsáno 16. 11. 2009.
- [4] SHIGLEY, J. E, MISCHKE, Ch. R, BUDYNAS, R. G. *KONSTRUOVÁNÍ STROJNÍCH SOUČÁSTÍ*. VUTIUM, 2008. 1300 s. ISBN: 978-80-214-2629-0.
- [5] KOLOC, Z., VÁCLAVÍK, M. *Váčkové mechanismy*. 1. Vydání. Praha SNTL, 1988. 379 s.
- [6] KRÍŽ, R. a kol. *Stavba a provoz strojů III, Mechanismy*. Praha SNTL, 1978.
- [7] Florian, Z., Ondráček, E., Příkryl, K. *Mechanika těles – statika*. 1995.
- [8] BEER, Ferdinand Pierre. *Vector mechanics for engineers*. 9th ed. Boston: McGraw-Hill Companies, c2010, 236 s. ISBN 978-007-3529-400.
- [9] HOUFEK, Lubomír. *Dynamika*. Brno, 2011. Přednášky. Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

F_I [N]	- síla vyvinutá prstem
a [mm]	- rozměr páky
b [mm]	- rozměr páky
m_k [kg]	- hmotnost koule
R_k [m]	- poloměr koule
V_k [m ³]	- objem koule
ρ_k [kg.m ⁻³]	- hustota koule
i	- počet stupňů volnosti vázaného tělesa
i_v	- počet stupňů volnosti volného tělesa
NP	- neznáme parametry
F_{Ix} [N]	- síla F_1 ve směru x
F_{Iy} [N]	- síla F_1 ve směru y
F_{Ay} [N]	- síla ve vazbě A ve směru x
F_{Ay} [N]	- síla ve vazbě A ve směru y
F_2 [N]	- reakční síla
F_x	- síly působící ve směru x
F_y	- síly působící ve směru y
M_A	- momenty kolem bodu A
$D_{e,max}$ [mm]	- vnější průměr pružiny
D [mm]	- střední průměr pružiny
d [mm]	- průměr drátu pružiny
y_{max} [mm]	- maximální možné stlačení pružiny
n_t	- celkový počet závitů pružiny
n_a	- počet činných závitů pružiny
$l_{0,max}$ [mm]	- maximální možná délka pružiny ve volném stavu
F_m [N]	- mezní síla
G [MPa]	- modul pružnosti ve smyku
E [MPa]	- modul pružnosti v tahu
d_N [mm]	- návrhový průměr drátu pružiny
l_0 [mm]	- délka pružiny ve volném stavu
r [mm]	- rezerva (při dosednutí závitů pružiny)
y_N [mm]	- návrhové stlačení pružiny
k [N.mm ⁻¹]	- tuhost pružin
C_2	- elastická konstanta
$F_{m,max}$ [N]	- maximální možná mezní síla
β [°]	- charakteristický úhel mechanismu
ζ	- počet složek mechanického pohybu odebraných vazbami
η	- počet deformačních parametrů omezených stykovými vazbami
ν	- počet použitelných podmínek statické rovnováhy
μ	- neznámé nezávislé parametry
μ_F	- neznámé nezávislé parametry silové
μ_M	- neznámé nezávislé parametry momentové
μ_r	- neznámé nezávislé parametry polohové
α	- součinitel uložení konců pružiny
λ_r	- redukovaná štíhlost pružiny

9 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 3-1 Mechanismus s vačkou	16
Obr. 3-2 Pákový mechanismus	16
Obr. 3-3 Předběžný návrh	17
Obr. 3-4 Konstrukční zpracování v měřítku	17
Obr. 3-5 Zkušební model - pohled zepředu	18
Obr. 3-6 Zkušební model - pohled shora	18
Obr. 3-7 Zkušební model - pohled na mechanismus	18
Obr. 3-8 Silový rozbor	20
Obr. 3-9 Úplné uvolnění	21
Obr. 3-10 Těleso úchopu	23
Obr. 3-11 Tlačítko	23
Obr. 3-12 Ovládací páčka	23
Obr. 3-13 Těžiště tělesa [7]	29
Obr. 3-14 Silová interakce podoblasti s okolím [7]	29
Obr. 3-15 Model navrhované koule	31
Obr. 3-16 Fyzikální vlastnosti sestavy	32
Obr. 3-17 Statické vyvažování – lehký stroj [9]	33
Obr. 3-18 Statické vyvažování – těžký stroj [9]	34
Obr. 3-19 Dynamické vyvažování [9]	35
Obr. 4-1 Vyrobená koule – pohled na mechanismus	37
Obr. 4-2 Vyrobená koule – čelní pohled na mechanismus	37
Obr. 4-3 Vyrobená koule – funkčnost mechanismus	38
Obr. 4-4 Srovnání – model x vyrobená koule	38

10 SAMOSTATNÉ PŘÍLOHY

1. Osvědčení o zápisu užitečného vzoru – Metací koule s vnořovacím úchopem (kopie)

<i>Druh výkresu</i>	<i>Název výkresu</i>	<i>Číslo dokumentu</i>
2. Výkres sestavy	Bowlingová koule s vnořovacím úchopem	1 - 3A/4 - 3/00
3. Výkres součásti	Čtvrtina koule	2 - 3A/4 - 3/1
4. Výkres součásti	Polokoule	3 - 3A/4 - 3/2
5. Výkres svarku	Ovládací páčka	3 - 3A/4 - 3/03
6. Výkres součásti	Těleso úchopu	3 - 3A/4 - 3/3
7. Výkres součásti	Podložka 1	3 - 3A/4 - 3/10
8. Výkres součásti	Podložka 2	3 - 3A/4 - 3/11
9. Výkres součásti	Šroub	4 - 3A/4 - 3/4
10. Výkres součásti	Tlačítko	4 - 3A/4 - 3/5
11. Výkres součásti	Páčka 1	4 - 3A/4 - 3/6
12. Výkres součásti	Páčka 2	4 - 3A/4 - 3/7
13. Výkres součásti	Páčka 3	4 - 3A/4 - 3/8
14. Výkres součásti	Čep	4 - 3A/4 - 3/9
15. List kusovníku	Kusovník	4 - 3A/4 - 3/01
16. List kusovníku	Kusovník	4 - 3A/4 - 3/02

