

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2341 Strojírenství
Studijní zaměření: Konstrukce průmyslové techniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Konstrukce pedálu k hudební bicí soupravě

Autor: **Štefan TUČNÝ**

Vedoucí práce: **Prof. Ing. Stanislav HOSNEDL, CSc.**

Akademický rok 2011/2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: **2011/2012**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Štefan TUČNÝ**
Osobní číslo: **S09B0193P**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **Konstrukce průmyslové techniky**
Název tématu: **Konstrukce pedálu k hudební bicí soupravě**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

Navrhněte inovaci pedálu k hudební bicí soupravě, který umožní dokonalejší synchronizaci při jejich použití ve dvojici. Zajistěte jednoduché uživatelské nastavení potřebných pracovních funkcí a dalších vlastností pedálu včetně jednoduchého připevnění k bicímu zařízení.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Seznámení s problematikou, analýza dosavadních řešení
2. Návrh variant koncepčního řešení, hodnocení a výběr optimálního řešení
3. Vypracování konstrukčního návrhu vybraného řešení
4. Hodnocení a závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojního inženýra 1. Brno: Computer Press, 1999

ROSENBERG, J. Kinematika. Plzeň: VŠSE, 1985

NOSKIEVIČ, J. Hydromechanika. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1980

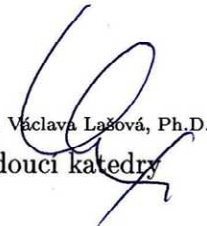
Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Prof. Ing. Stanislav Hosnedl, CSc.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Prof. Ing. Stanislav Hosnedl, CSc.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2011**
Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Václava Lažová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2011

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Autorská práva

Podle Zákona o právu autorském, č.35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků bakalářské/diplomové práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu Prof. Ing. Stanislavu Hosnedlovi, CSc., za jeho čas věnovaný konzultacím, a také za jeho rady a připomínky k této práci.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Tučný	Jméno Štefan	
STUDIJNÍ OBOR	B2341 „Konstrukce průmyslové techniky“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Prof. Ing. Hosnedl, CSc.	Jméno Stanislav	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtně- te
NÁZEV PRÁCE	Konstrukce pedálu k hudební bicí soupravě		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2012
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	46	TEXTOVÁ ČÁST	44	GRAFICKÁ ČÁST	2
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce obsahuje rešerši v oblasti pedálů k bicí soupravě. Je v ní podrobně rozebrán klasický pedál jednoduchý i dvojitý včetně rozboru nedostatků. Tato práce obsahuje také návrh vlastní koncepce pedálu.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>pedály, písty, pístnice, hydraulika, válce, vzpěr</p>

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Tučný	Name Štefan	
FIELD OF STUDY	B2341 “ Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Prof. Ing. Hosnedl, CSc.	Name Stanislav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Engineering design of a music drumset pedal		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2012
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	46	TEXT PART	44	GRAPHICAL PART	2
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis includes a research in the section of drumkit pedals. A classical single and a double pedal are both described in the thesis which also includes an analysis of their disadvantages. There is also a new design of concept of the pedal.
KEY WORDS	pedals, pistons, piston rods, hydraulics, cylinders,

Obsah

1	Úvod	12
2	Historie	12
3	Dosavadní řešení	12
3.1	Tradiční koncepce jednoduchého pedálu	13
3.1.1	Základní deska.....	13
3.1.2	Pedál	14
3.1.3	Pata	14
3.1.4	Řetěz.....	14
3.1.5	Hřídelka.....	15
3.1.6	Sloupky.....	15
3.1.7	System pružiny	15
3.1.8	Kladívko	16
3.1.9	Upínání	16
3.2	Tradiční koncepce dvojitého pedálu.....	17
3.2.1	Levý pedál	17
3.2.2	Pravý pedál	17
3.2.3	Karadanová hřídel	17
3.3	Alternativní koncepce pedálů	18
3.3.1	Sonor Giant Step Twin Effect	18
3.3.2	Sonor Giant Step Middle Pedal.....	18
3.3.3	Magnetický pedál	19
3.3.4	Sleishman Twin Pedal	19
4	Požadavky na funkce a další vlastnosti pedálu	20
5	Analýza dosavadních řešení	21
6	Návrh variant koncepčního řešení.....	23
6.1	Koncepční varianty kinematiky pedálu	23
6.2	Koncepční varianty kinematiky výstupního pístu	24
6.3	Hodnocení a výběr optimální varianty pedálu a pístu	25
6.4	Varianty umístění pružiny	25

7	Návrh sestavy pedálu	26
7.1	Základní rozměry.....	26
7.1.1	Zdvih pístu.....	27
7.1.2	Vnitřní průměr válce	27
7.2	Hydraulický válec.....	28
7.2.1	Výpočet minimální tloušťky stěny válce.....	29
7.3	Píst a pístnice	30
7.3.1	Kontrola pístnice na vzpěr.....	31
7.4	Tělo a pata pedálu, základní deska	32
7.5	Spojení pístnice s pedálem	34
7.6	Spojení pístu se základní deskou	36
8	Návrh sestavy výstupního pístu.....	37
8.1	Píst, pístnice, kladívko.....	37
8.2	Hydraulický válec.....	38
8.3	Návrh pružiny	38
9	Návrh nosné konstrukce pístů a systému uchycení k ráfku bubnu	40
10	Celková sestava	41
10.1	Plnění a odvzdušnění hydraulického systému	42
11	Hodnocení navrženého pedálu a srovnání s tradičním pedálem	42
12	Závěr.....	42
13	Literatura	43

Seznam použitých obrázků

Obr. 1 Historický pedál	12
Obr. 2 Popis jednoduchého pedálu.....	13
Obr. 3 Pedál bez základní desky	14
Obr. 4 Pedál s pákovým převodem	15
Obr. 5 Předepínací šroub	16
Obr. 6 Kladívko s plstěnou hlavou.....	16
Obr. 7 Dvojitý pedál Tama Iron Cobra	17
Obr. 8 Sonor Giant Step Twin Effect	18
Obr. 9 Sonor Giant Step Middle Pedal.....	19
Obr. 10 Magnetický pedál	19
Obr. 11 Sleishman Twin Pedal.....	20
Obr. 12 Mechanické schéma systému pružiny.....	21
Obr. 13 Závislost vratného momentu na úhlu natočení	22
Obr. 14 Varianta A- pístnice s kladkou.....	23
Obr. 15 Varianta B- píst s posuvnou vazbou	23
Obr. 16 Varianta C- pedál s rotační vazbou s pístem dole.....	24
Obr. 17 Varianta D- pedál s rotační vazbou s pístem nahoře.....	24
Obr. 18 Varianta A- kladívko s přímočarým pohybem.....	24
Obr. 19 Varianta B- kladívko s rotačním pohybem	25
Obr. 20 Varianta A- tažná pružina vně válce	25
Obr. 21 Varianta B- tlačná pružina uvnitř válce	26
Obr. 22 Sestava pedálu.....	26
Obr. 23 Rovnovážná poloha pedálu	27
Obr. 24 Poloha pedálu při kontaktu kladívka s blánou bubnu	28
Obr. 25 Sestava hydraulického válce	28
Obr. 26 Hydraulická přípojka Legris	29
Obr. 27 Píst s pístnicí	30
Obr. 28 Pístní těsnění Hennlich K54.....	30
Obr. 29 Tělo pedálu (1)	32
Obr. 30 Tělo pedálu (2)	32
Obr. 31 Spojení paty s pedálem (1).....	32
Obr. 32 Spojení paty s pedálem (2).....	33
Obr. 33 Základní deska	33
Obr. 34 Spojení paty se základní deskou	33
Obr. 35 Spojení pístnice s pedálem (1)	34
Obr. 36 Spojení pístu s pedálem (2).....	35
Obr. 37 Spojení pístu se základní deskou (1).....	36
Obr. 38 Spojení pístu se základní deskou (2).....	36
Obr. 39 Matice s osazením.....	37
Obr. 40 Píst s pístnicí a kladívkem.....	37
Obr. 41 Válec výstupního pístu.....	38
Obr. 42 Hydraulická přípojka.....	38
Obr. 43 Systém pružiny.....	39

Obr. 44 Nosná konstrukce	40
Obr. 45 Upínání výstupních pístů	40
Obr. 46 Svírací mechanismus.....	41
Obr. 47 Celková sestava.....	41

1 Úvod

Pro svou bakalářskou práci jsem si vybral téma konstrukce pedálu k bicí soupravě, protože hra na bicí je mým velkým koníčkem a problematika pedálů mě už delší dobu zajímá. Pedál slouží v bicí soupravě k úderům do basového bubnu. Nabízí tak bubeníkovi možnost zapojit do hry i úderý nohou. V práci se nejprve zaměřím na popis dosavadních řešení a jejich hodnocení. Dále navrhnu svojí vlastní variantu řešení. V závěru práce návrh zhodnotím a porovnam s běžným pedálem.

2 Historie

První pedály začaly vznikat již ke konci devatenáctého století. Byly ze dřeva a bubeníci si je vyráběli po domácku sami. Roku 1909 si William F. Ludwig nechal svou konstrukci pedálu patentovat a začal se sériovou výrobou. Po druhé světové válce začali někteří bubeníci používat basové bubny dva a tím jim bylo umožněno hrát oběma nohama. Toto řešení ovšem nebylo příliš praktické. Bicí souprava se přidáním dalšího basového bubnu stala objemnější a vzhledem k tomu, že basový buben je nejdražší z celé sady, ne každý bubeník si toto řešení mohl dovolit. Proto vznikl dvojitý pedál, díky kterému se dá hrát oběma nohama na jeden basový buben. První dvojitý pedál byl sestaven roku 1972 australským bubeníkem Donem Shleishmanem.



Obr. 1 Historický pedál

3 Dosavadní řešení

V dnešní době existuje řada výrobců basových pedálů, kteří ženou technickou úroveň pedálů stále vpřed. Patří mezi ně většinou výrobci kompletních bicích souprav a příslušenství, nebo jsou to firmy se zaměřením pouze na pedály. Pedály lze podle technické vyspělosti rozdělit na

amatérské, poloprofesionální a profesionální, nebo podle koncepce na klasické pedály jednoduché, klasické pedály dvojité a pedály alternativní, které se svou koncepcí odlišují od klasických pedálů.

3.1 Tradiční koncepce jednoduchého pedálu

Konstrukce je u všech výrobců pedálů velmi podobná. Jednoduchý pedál se skládá z těchto hlavních dílů znázorněných na obr. 2.



Obr. 2 Popis jednoduchého pedálu

3.1.1 Základní deska

Základní deska spojuje patu se sloupky. Levnější pedály základní desku nemají a pata je spojena se sloupky pomocí dvou pružných drátů. Tyto pedály jsou méně stabilní.



Obr. 3 Pedál bez základní desky

3.1.2 Pedál

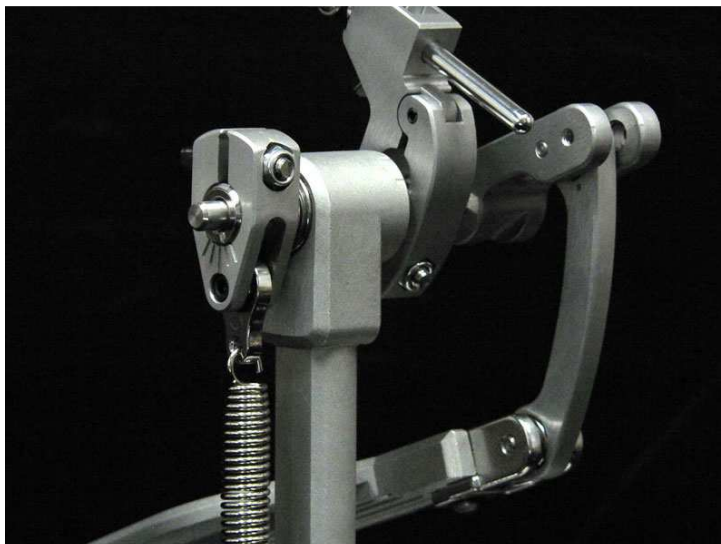
Pedál slouží pro přenos síly z bubeníkovy nohy na řetěz. Rotační vazbou je pedál spojen s patou. Na konci pedálu je připojen řetěz, na který se přenáší síla z pedálu. Pedál je většinou zespona žebrovaný a vyroben z hliníku kvůli snížení hmotnosti.

3.1.3 Pata

Pata je připevněna k základní desce. Jsou v ní uložena ložiska a prochází jí čep, který tvoří rotační vazbu mezi patou a pedálem. Ložiska v patě jsou jen u profesionálních a některých poloprofesionálních pedálů.

3.1.4 Řetěz

Přenáší sílu z pedálu vytváří na kladce kroutící moment. Někteří výrobci používají místo řetězu také pásek z textilu nebo pákový převod.



Obr. 4 Pedál s pákovým převodem

3.1.5 Hřídelka

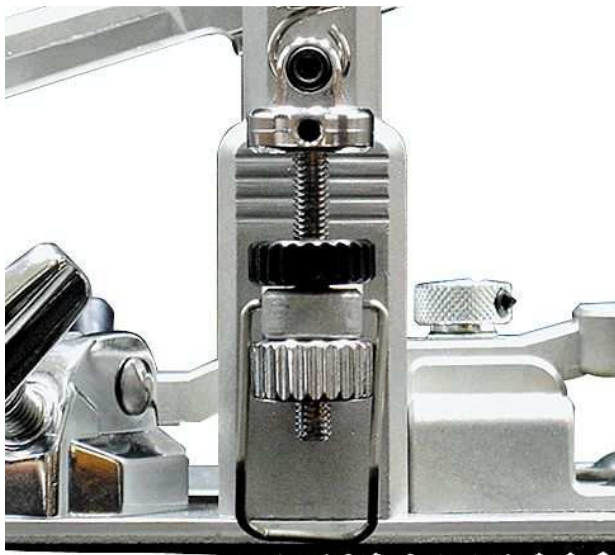
Hřídelka slouží pro přenos kroutícího momentu na pouzdro kladívka a raménko pružiny. Je vyrobena ze šestihranu a na obou koncích je válcového tvaru. Hřídelka je uložena ve sloupcích. Na pravé straně hřídelka svou délkou přesahuje až za sloupek a je na ní připevněno raménko pružiny.

3.1.6 Sloupky

Sloupky slouží jako nosná konstrukce. Ve sloupcích jsou uložena ložiska a prochází jimi hřídelka. Většina pedálů má sloupky dva, po jednom na každé straně, někteří výrobci však od této koncepce upustili a jejich konstrukce má sloupek jen jeden.

3.1.7 Systém pružiny

Raménko se otáčí společně s hřídelkou a vychyluje tím tažnou pružinu ze své rovnovážné polohy. Díky tomu se po odlehčení nohy z pedálu vrací kladívko zpět. Pružina je zespodu přichycena ke šroubu. Tento šroub prochází okem ve sloupcu a je zdola uchycen maticí. Šrouba je zajištěn kontramaticí. Díky tomuto šroubu si může každý bubeník nastavit předepnutí pružiny dle libosti. Matice jsou vroubkované, aby se daly utahovat ručně.



Obr. 5 Předepínací šroub

3.1.8 Kladívko

Kladívko je výstupním členem mechanismu pedálu, který udeřuje do blány basového bubnu. Je upevněno v pouzdru, které je připevněno na hřídelce. Bubeník si může přizpůsobit délku vytažení kladívka z pouzdra. Úhel natočení kladívka v nezatíženém stavu lze nastavit relativní polohou kladívka a raménka. Hlava kladívka je vyrobena z plsti nebo plastu. Vyrábějí se i kladívka kombinovaná.



Obr. 6 Kladívko s plstěnou hlavou

3.1.9 Upínání

Pedál je kvůli stabilitě potřeba upevnit k ráfku basového bubnu. K tomu slouží upínací mechanismus. Ten je připevněn na základní desce. Dotahováním kličky se stahují čelisti, mezi nimiž je umístěn ráfek.

3.2 Tradiční koncepce dvojitého pedálu



Obr. 7 Dvojitého pedál Tama Iron Cobra

Dvojitého pedál slouží k hraní oběma nohama a je odvozen od pedálu jednoduchého. Konstrukce je rozšířena o levý pedál a pravý pedál má trochu pozměněnou podobu kvůli integraci dalšího kladívka.

3.2.1 Levý pedál

Na rozdíl od pedálu pravého není jeho součástí systém pružiny, kladívko a upínání. Aby byla zajištěna jeho stabilita, je k jeho základu připevněn plíšek opatřený hroty. Hroty se při zashroubování zaboří do koberce. Některé pedály mají na spodní straně základní desky nalepen suchý zip. Ten po přichycení ke koberci dodá pedálu ještě větší stabilitu.

3.2.2 Pravý pedál

Součástí pravého pedálu jsou dvě kladívka. Každé je poháněno z jednoho pedálu, má svoji vlastní hřídelku letmo uloženou ve sloupku a vlastní pružinu. Na levou hřídelku je připojena kardanová hřídel.

3.2.3 Kardanová hřídel

Přenáší točivý moment z levého pedálu na levou hřídelku. Díky kloubům si může bubeník nastavit natočení a polohu levého pedálu. Hřídel je teleskopická a je možno nastavit i vzájemnou vzdálenost pedálů.

3.3 Alternativní koncepce pedálů

3.3.1 Sonor Giant Step Twin Effect



Obr. 8 Sonor Giant Step Twin Effect

Je to dvojitý pedál, který se ovládá jen jednou nohou. Hraje se na něj technikou zvanou pata/špička. Při sešlápnutí špičkou nohy udeří pravé kladívko a při sešlápnutí patou udeří kladívko levé.

3.3.2 Sonor Giant Step Middle Pedal

Konstrukce tohoto pedálu obsahuje navíc střední část. Ta je upnuta k ráfku bubnu. Na této střední části jsou obě kladívka s hřídelkami a pružinami. Oba pedály přenášejí točivý moment na hřídelky pomocí kardanových hřídelí.



Obr. 9 Sonor Giant Step Middle Pedal

3.3.3 Magnetický pedál

Místo pružiny je použit pro návrat pedálu permanentní magnet.



Obr. 10 Magnetický pedál

3.3.4 Sleishman Twin Pedal

Skládá se ze dvou pedálů a střední části, která je připevněna k ráfku bubnu. Pedály mají směrem do středu vysunuta ramena. Na každém z nich je řetěz, který obepíná kladku. Odpadá tak nutnost použít kardanovou hřídel.



Obr. 11 Sleishman Twin Pedal

4 Požadavky na funkce a další vlastnosti pedálu

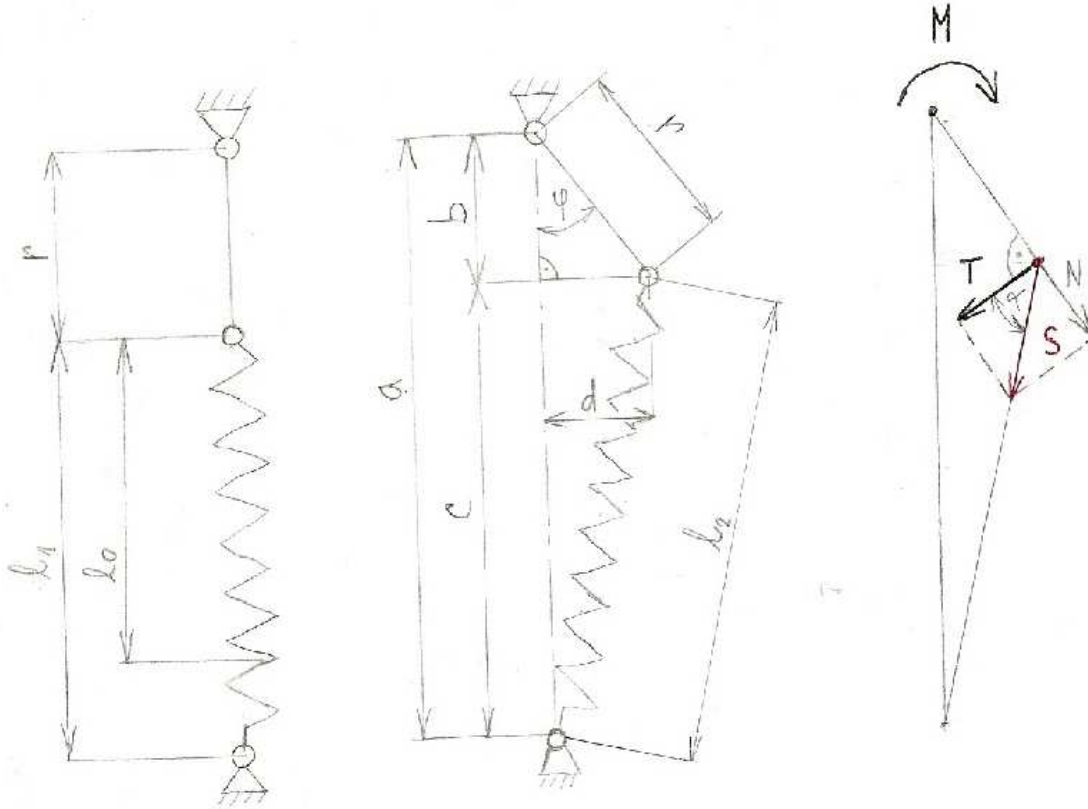
Dva základní požadavky, bez kterých by pedál nemohl fungovat, jsou tyto:

- Převést energii, kterou bubeník působí na pedál, na energii, kterou kladívko udeří do blány bubnu
- Zajistit po úderu návrat kladívka zpět

Pro stanovení dalších požadavků na pedál vycházím z požadavků uživatele, tedy bubeníka. Pro něj je důležité, aby nemusel k úderu používat zbytečně velké síly. Hra by pro něj byla více vysilující a také by nebyl schopen dosáhnout vysokého tempa hraní. Proto bude důležité zvolit správný **převodový poměr**, redukovat **hmotnost pohyblivých částí pedálu**, a také **mechanické ztráty** vzniklé třením. Je důležité, aby měl pedál **hladký a plynulý chod**. Každý bubeník má své specifické požadavky na konfiguraci pedálu. Proto je potřeba při konstrukci myslet na umožnění **přizpůsobení parametrů** pedálu. Všechny nastavitelné parametry musí být možno přizpůsobit ručně, popřípadě za použití univerzální bubenické kličky. Aby byla zajištěna poloha pedálu, je součástí konstrukce pedálu **upínání k ráfku basového bubnu**. Důležitý je také konkurenceschopný design. Dalšími požadavky jsou jednoduchá montáž, možnost výměny opotřebovaných dílů, nízké výrobní náklady a vyrobiteľnosť dílů. Při konstrukci dvojitého pedálu je nutná kinematická vazba od levého pedálu k druhému kladívku. Tato vazba by měla být co nejméně ztrátová, aby neměl levý pedál méně hladký chod než pedál pravý.

5 Analýza dosavadních řešení

Vývoj pedálu je v dnešní době ve velmi pokročilém stádiu. Přesto se najde několik nedostatků. Jedním nedostatkem je dosavadní řešení systému vracení kladívka. Tento systém nyní analyzuji z hlediska mechaniky.



Obr. 12 Mechanické schéma systému pružiny

$$b = r \cdot \cos\varphi$$

$$d = r \cdot \sin\varphi$$

$$c = a - b = a - r \cdot \cos\varphi$$

$$l_2 = \sqrt{a^2 - 2ar \cdot \cos\varphi + r^2}$$

$$\Delta l = l_2 - l_0 = \sqrt{a^2 - 2ar \cdot \cos\varphi + r^2} - l_0$$

$$S = k \cdot \Delta l = k \cdot \left(\sqrt{a^2 - 2ar \cdot \cos\varphi + r^2} - l_0 \right)$$

$$\frac{l_2}{\sin\varphi} = \frac{a}{\sin(\alpha + 90^\circ)} = \frac{a}{\cos\alpha} \Rightarrow \alpha = \arccos \frac{a \cdot \sin\varphi}{l_2}$$

$$T = S \cdot \cos\alpha = S \cdot \frac{a \cdot \sin\varphi}{l_2}$$

$$M = r \cdot T = r \cdot k \cdot \left(\sqrt{a^2 - 2ar \cdot \cos\varphi + r^2} - l_0 \right) \cdot \frac{a \cdot \sin\varphi}{\sqrt{a^2 - 2ar \cdot \cos\varphi + r^2}} =$$
$$= r \cdot k \cdot a \cdot \sin\varphi \left(1 - \frac{l_0}{\sqrt{a^2 - 2ar \cdot \cos\varphi + r^2}} \right)$$

a,b,c,d,r = rozměry dle schématu [m]

l_0 = délka pružiny ve stavu volném [m]

l_1 = délka pružiny po předepnutí (rovnovážná poloha) [m]

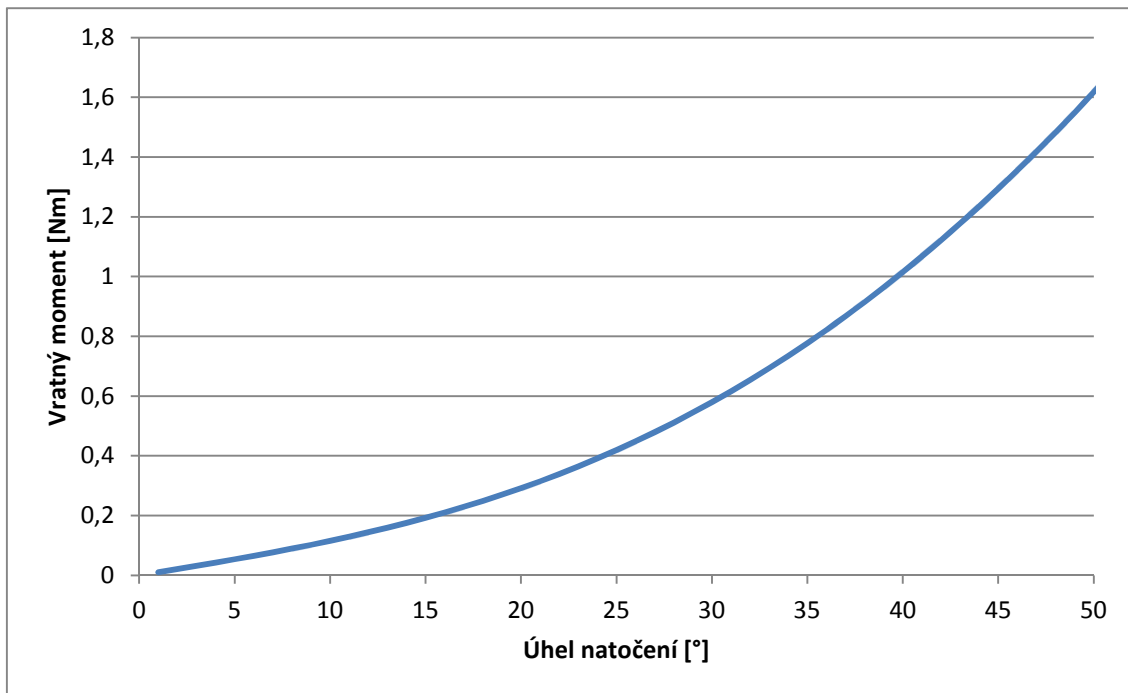
l_2 = délka pružiny při vychýlení z rovnovážné polohy [m]

S,T,N = síly dle schemata [N]

M = vratný moment [Nm]

k = tuhost pružiny [N/m]

Průběh funkce lze vidět v tomto grafu:



Obr. 13 Závislost vratného momentu na úhlu natočení

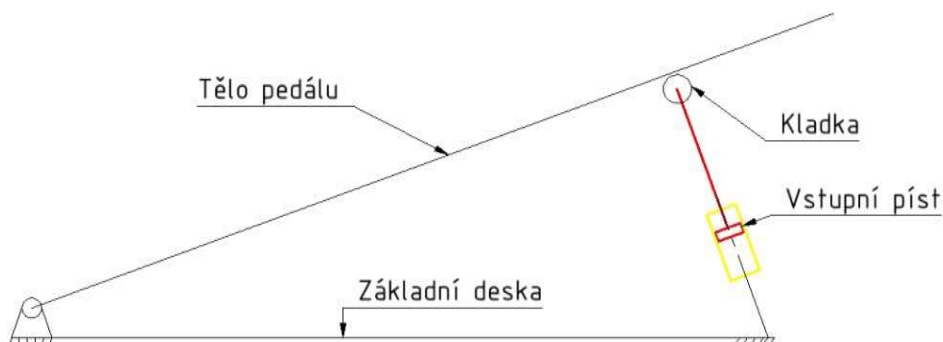
Z grafu je vidět průběh točivého momentu vyvozeného pružinou na hřídelku v závislosti na úhlu natočení hřídelky. Hodnota momentu roste zpočátku téměř lineárně. Po dosažení úhlu přibližně 15° roste velikost vratného momentu mnohem rychleji a přestává být lineární. Nelinearita vratného momentu negativně ovlivňuje plynulost hraní, což mám ověřeno i z mé bubenické praxe.

Problémem dvojitých pedálů je nestejný chod obou pedálů. Levý pedál přenáší točivý moment přes kardanovu hřídel, ve které dochází k mechanickým ztrátám a chod tohoto pedálu je proto vždy méně hladký než chod pravého pedálu. Vzhledem ke konstrukci kardanového kloubu dochází v průběhu jedné půlotáčky k periodické odchylce úhlové rychlosti hnaného hřídele vůči rychlosti hnacího hřídele. Úhlová rychlost hnaného hřídele kolísá tím více, čím více se osy hřídelů odchyľují. To má také negativní vliv na plynulost chodu levého pedálu. Měl jsem možnost vyzkoušet si řadu dvojitých pedálů a tento problém byl znát na každém z nich.

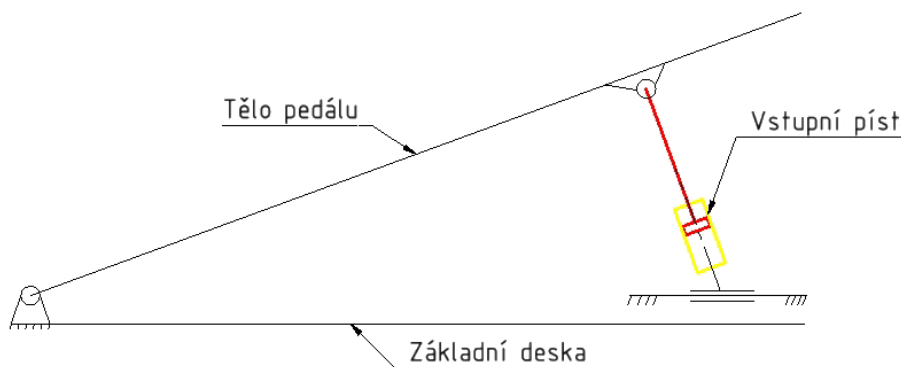
6 Návrh variant koncepčního řešení

Protože na trhu je velká nabídka konvenčních pedálů, rád bych přistoupil k návrhu nekonvenčně a navrhl zcela novou koncepci pedálu, která doposud nebyla zkonstruována. Zároveň bych také rád odstranil dva výše uvedené nedostatky. Nová koncepce, kterou navrhuji, bude fungovat na hydraulickém principu. Pohybem pedálu se bude přes vstupní hydraulický píst vytlačovat kapalina. Ta přes výstupní píst uvede do pohybu pístnici, na které bude připevněno kladívko.

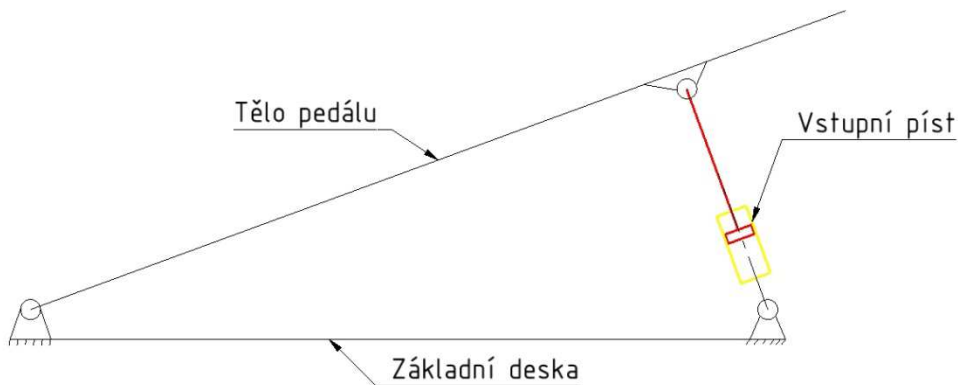
6.1 Koncepční varianty kinematiky pedálu



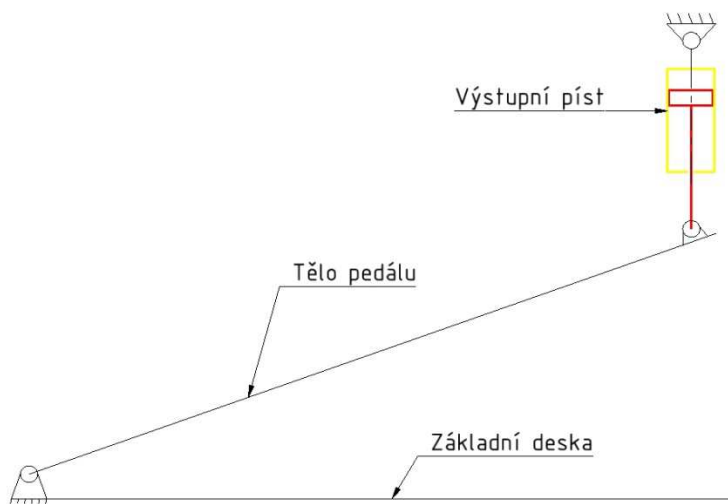
Obr. 14 Varianta A- pístnice s kladkou



Obr. 15 Varianta B- píst s posuvnou vazbou



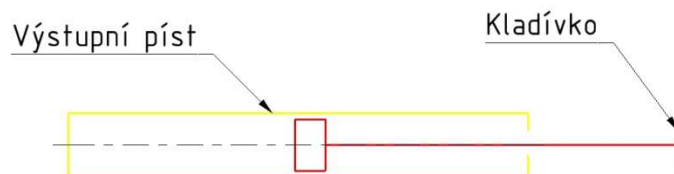
Obr. 16 Varianta C- pedál s rotační vazbou s pístem dole



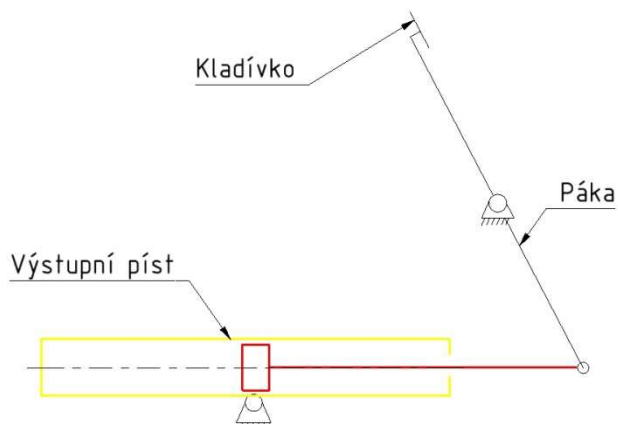
Obr. 17 Varianta D- pedál s rotační vazbou s pístem nahore

6.2 Konceptní varianty kinematiky výstupního pístu

Nabízejí se dvě varianty- kladívko se může pohybovat přímočarým nebo rotačním pohybem.



Obr. 18 Varianta A- kladívko s přímočarým pohybem



Obr. 19 Varianta B- kladívko s rotačním pohybem

6.3 Hodnocení a výběr optimální varianty pedálu a pístu

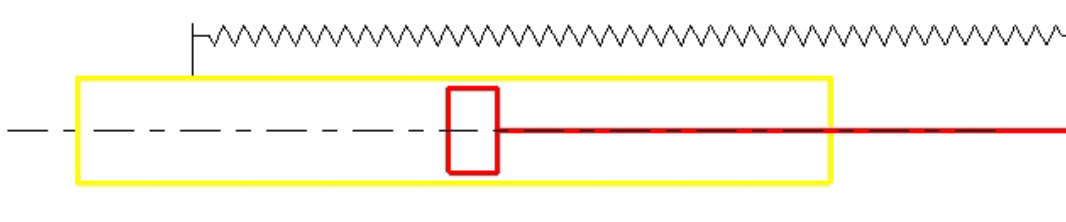
Aby byla varianta A funkční, muselo by být zamezeno případné rotaci pístnice vzhledem k pístu. K zamezení této rotace nevidím žádné schůdné řešení, a proto tuto variantu vylučuji.

U varianty B by musela být posuvná vazba tvořena lineárním vedením. Protože náklady na lineární vedení jsou velmi vysoké, tuto variantu také vylučuji.

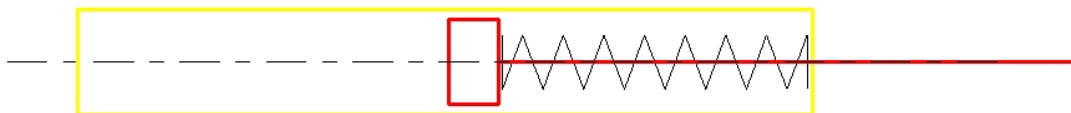
Varianta D by musela oproti variantě C počítat s další konstrukcí navíc pro uchycení pístu. Konstrukce pedálu by se tak stala složitější a nákladnější. Proto volím variantu C.

Varianta B s rotačním pohybem kladívka má tři rotační vazby. Tím by se zvýšily náklady na výrobu a montáž. Proto pro svou konstrukci volím variantu B s přímočarým pohybem kladívka.

6.4 Varianty umístění pružiny



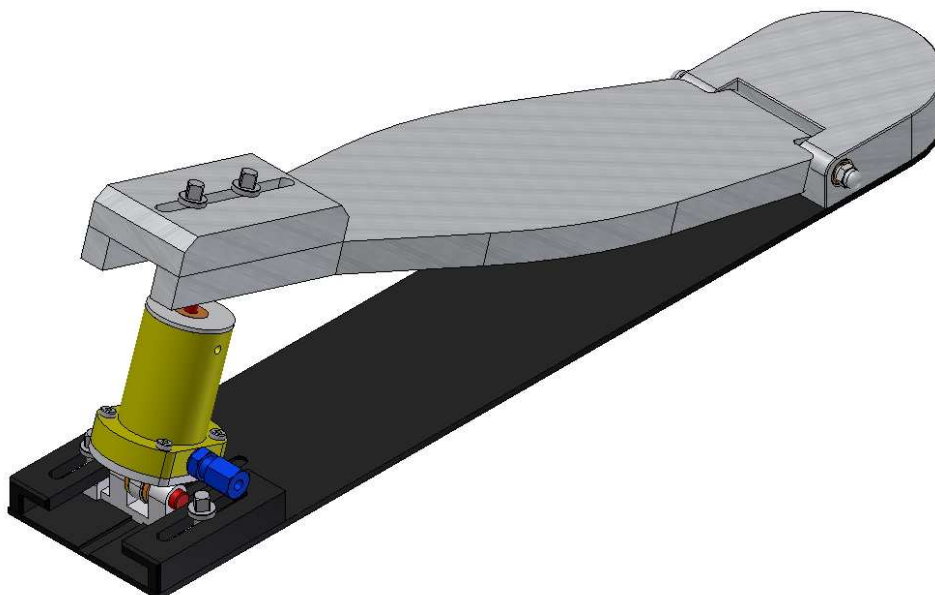
Obr. 20 Varianta A- tažná pružina vně válce



Obr. 21 Varianta B- tlačná pružina uvnitř válce

U varianty B by se musela zvýšit výška válce. Také systém pro předepínání pružiny uživatelem by byl komplikovaný. Pro svůj návrh proto volím variantu A s tažnou pružinou umístěnou z vnější strany válce.

7 Návrh sestavy pedálu



Obr. 22 Sestava pedálu

7.1 Základní rozměry

Pro návrh pedálu si určím základní rozměry, ze kterých budu při konstrukci vycházet. Tyto rozměry budou vycházet z tradičního pedálu. Rozměry s indexem 1 se týkají vstupního pístu, s indexem 2 výstupního pístu. Výchozí rozměry jsou následující:

Délka těla pedálu	230mm
Úhel natočení pedálu v nezátíženém stavu	20°
Úhel natočení pedálu v zatíženém stavu	15°
Délka dráhy kladívka	100mm
Vzdálenost osy kladívka od podlahy	330mm

U tradičního pedálu je vyhovující i převodový poměr mezi pedálem a kladívkem. Jeho hodnota vychází přibližně $i=4$. U svého návrhu bude tedy tento převodový poměr respektovat.

7.1.1 Zdvih pístu

Potřebný zdvih výstupního pístu se musí rovnat délce dráhy kladívka. Potřebný zdvih vstupního pístu můžeme určit z převodového poměru.

$$H_2 = 100 \text{ mm}$$

$$H_1 = \frac{H_2}{i} = \frac{100}{4} = 25 \text{ mm}$$

7.1.2 Vnitřní průměr válce

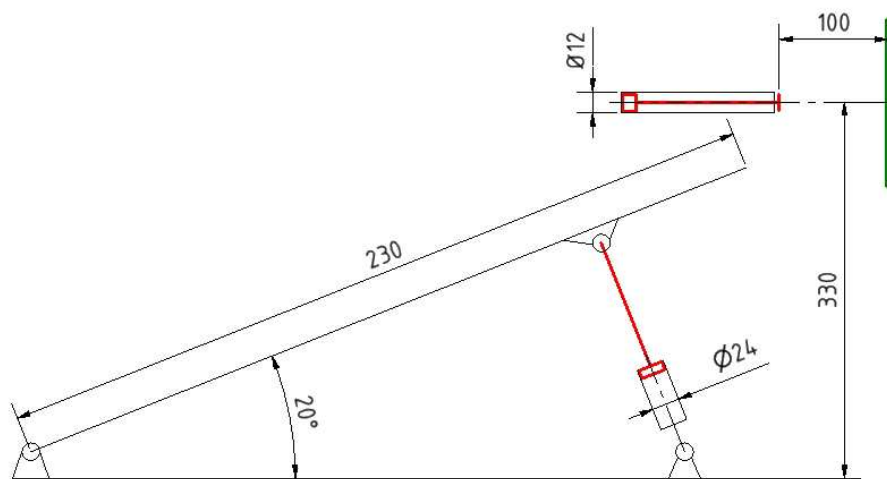
Vnitřní průměr válce výstupního pístu volím 12mm. Vnitřní průměr vstupního válce vypočtu opět z převodového poměru.

$$d_2 = 12 \text{ mm}$$

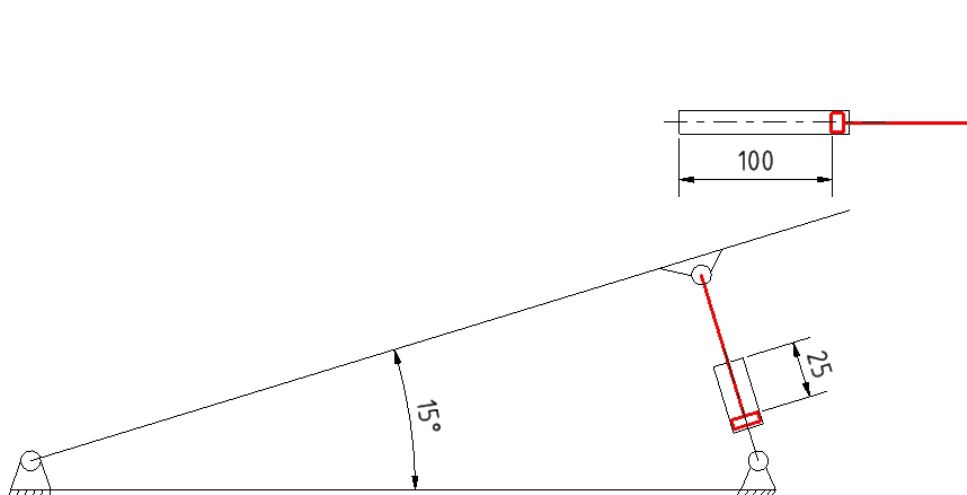
$$i = \frac{S_1}{S_2} = \frac{\frac{\pi \cdot d_1^2}{4}}{\frac{\pi \cdot d_2^2}{4}} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

$$d_1 = \sqrt{i \cdot d_2^2} = \sqrt{4 \cdot 12^2}$$

$$d_1 = 24 \text{ mm}$$



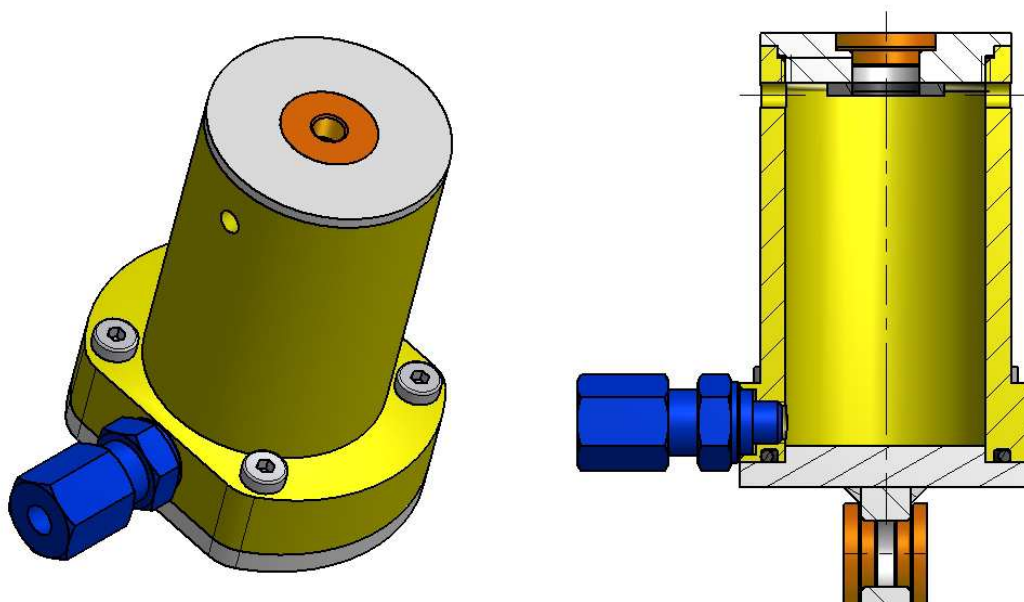
Obr. 23 Rovnovážná poloha pedálu



Obr. 24 Poloha pedálu při kontaktu kladívka s blánou bubnu

Každý bubeník má trochu jiný styl úderu a ne každému vyhovuje převodový poměr pedálu. Proto bude poloha pístu ve vodorovném směru nastavitelná. Posunutím pístu si bubeník mění převodový poměr mezi nohou a pístem. Čím bude píst posunut víc směrem k bubnu, tím větší sílu bude muset bubeník v noze vyvinout a zároveň se zkrátí dráha pohybu nohy.

7.2 Hydraulický válec

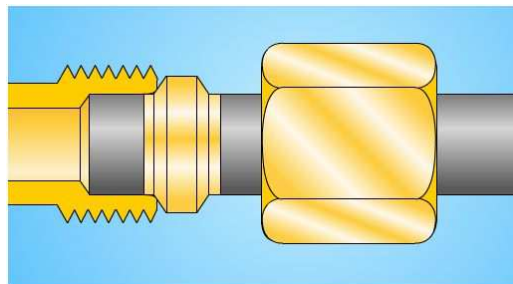


Obr. 25 Sestava hydraulického válce

Hydraulický válec je z obou stran zakryt víky. Spodní víko je utěsněno pomocí O-kroužku. Připevněno je k přírubě válce pomocí čtyř šroubů. K vnější straně víka je koutovým svarem přivařen domeček, ve kterém jsou z každé strany nalisována dvě bronzová kluzná pouzdra,

kterými prochází čep. K vnitřní straně vrchního víka je přilepen gumový doraz, který slouží jako doraz. O něj se bude píst opírat v rovnovážné poloze. Vrchní víko je do válce našroubováno. Není potřeba jej těsnit, protože nepřijde do kontaktu s kapalinou (píst je jednočinný). Do víka je kvůli lepšímu vedení pístu nalisováno kluzné pouzdro z bronzu, kterým bude procházet pístnice. Kvůli tomuto vedení je důležité zajistit vystředění víka vzhledem k válci. To je zajištěno osazením. Do stěny válce jsou vyvrtány dva otvory, které slouží k zamezení vzniku přetlaku/podtlaku při pohybu pístu.

Do příruby válce je našroubována přípojka pro hydraulickou hadici. Vybral jsem přípojku z nabídky společnosti Legris. [4] Při šroubování matice „zalézá“ kroužek do tělesa přípojky a začne se deformovat. Deformace způsobí vtažení kroužku do hydraulické hadičky a tím se hadička zajistí proti vytažení.



Obr. 26 Hydraulická přípojka Legris

7.2.1 Výpočet minimální tloušťky stěny válce

Jako maximální možnou sílu působící v ose vstupního válce uvažuji tíhu dospělého člověka.

$$m = 80 \text{ kg}$$

m = maximální hmotnost [kg]

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

g = gravitační zrychlení [m/s^2]

$$F_{1_{max}} = m \cdot g = 80 \cdot 9,81$$

$F_{1_{max}}$ = maximální síla [N]

$$F_{1_{max}} = 784,8 \text{ N}$$

p_{max} = maximální tlak [MPa]

$$p_{max} = \frac{F_{1_{max}}}{S_1} = \frac{F_{1_{max}}}{\frac{\pi \cdot d_1^2}{4}} = \frac{784,8}{\frac{3,14 \cdot 24^2}{4}}$$

d_1 = průměr pístu [mm]

S_1 = plocha průřezu pístu [mm^2]

$$p_{max} = 1,74 \text{ Mpa}$$

Materiál pro válec jsem zvolil ocel ČSN 11 523.

$$R_e = 355 \text{ MPa}$$

$$\sigma_D = \frac{R_e}{3} = 118 \text{ Mpa}$$

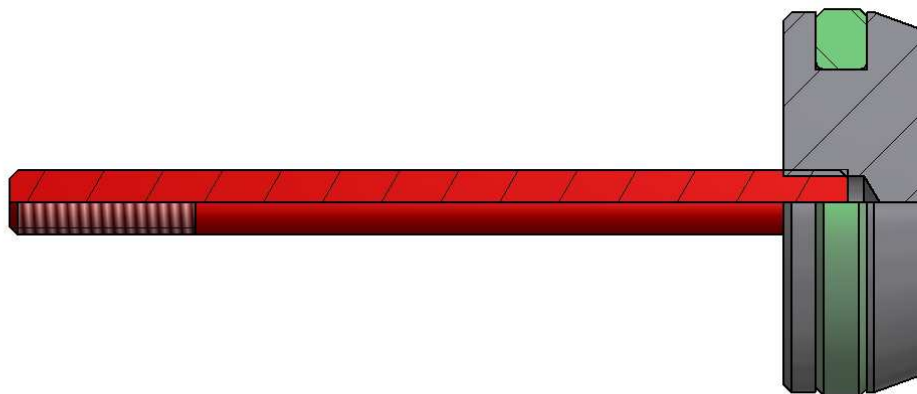
$$t_{1min} = \frac{p_{max} \cdot d_1}{2 \cdot (\sigma_D - p_{max})} = \frac{1,74 \cdot 24}{2 \cdot (118 - 1,74)}$$

$$t_{1min} = 0,18 \text{ mm}$$

R_e = mez kluzu [MPa]
 σ_D = dovolené napětí [MPa]
 t_{1min} = minimální tloušťka stěny válce [mm]

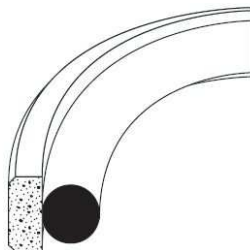
Pro bezpečný provoz pístu stačí tedy tloušťka stěny válce 0,18mm, nicméně kvůli návrhu osazení a závitu bude skutečná tloušťka válce 3mm.

7.3 Píst a pístnice



Obr. 27 Píst s pístnicí

Píst je našroubován na závit pístnice o průměru 4mm. Vzhledem k velkému rozdílu průměrů pístu a pístnice nepřipadá v úvahu varianta plunžru ani varianta, kdy by byl píst a pístnice z jednoho dílu. Na píst je nasazeno pístní těsnění Hennlich K 54. Těsnicí složku tvoří válcový kroužek z PTFE a pryžový O-kroužek z NBR. O-kroužek přebírá statické utěsnění v prostoru drážky, zatímco válcový kroužek PTFE utěsňuje v dynamickém rozsahu (stěna válce). Kromě toho vzniká hydraulickým tlakem přes deformaci O-kroužku přídavná složka síly směrem na stěnu válce. Znamená to, že se stoupajícím tlakem se také zvyšuje přítlačná síla. Přednosti tohoto těsnicího systému jsou ve velmi nepatrném tření, které je jak ve statickém, tak i v dynamickém rozsahu téměř identické. Z toho vyplývá nerušený volný běh. [5]



Obr. 28 Pístní těsnění Hennlich K54

7.3.1 Kontrola pístnice na vzpěr

Délka pístnice namáhaná na vzpěr je $l=36$ mm

Pístnice je uložena kloubově z jedné strany, proto platí:

$$l_0 = \frac{l}{\sqrt{2}} = \frac{36}{\sqrt{2}} = 25,5 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{S}{I_{\min}}}} = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot d^4}{64}}} = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{16}{d^2}} \cdot \sqrt{\frac{16}{4^2}}} = 25,5$$

$$\lambda_m = 90$$

$$10 < \lambda < \lambda_m$$

l_0 = ekvivalentní délka [mm]
 λ = štíhlostní poměr pístnice
 I_{\min} = minimální kvadratický moment průřezu pístnice [mm⁴]
 λ_m = kritický štíhlostní poměr
 S = plocha průřezu pístnice [mm²]
 d = průměr pístnice [mm]

Dochází tedy k přechodovému vzpěru podle Tetmayera.

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 12,6 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{TET} = 335 - 0,62 \cdot \lambda = 319,2 \text{ Mpa}$$

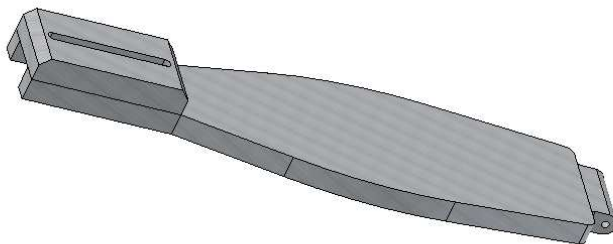
$$\sigma = \frac{F_{\max}}{S} = \frac{784,8}{12,6} = 62,3 \text{ Mpa}$$

$$s_{TET} = \frac{\sigma_{TET}}{\sigma} = \frac{319,2}{62,3} = 5,1$$

σ_{TET} = mezní napětí pro namáhání nosníku na vzpěr podle Tetmayera [MPa]
 F_{\max} = maximální síla [N]
 σ = napětí působící na pístnici [MPa]
 s_{TET} = bezpečnost při namáhání na přechodový vzpěr podle Tetmayera

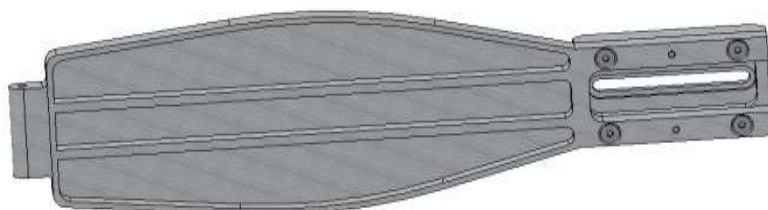
Pístnice tedy vyhovuje s bezpečností 5,1.

7.4 Tělo a pata pedálu, základní deska



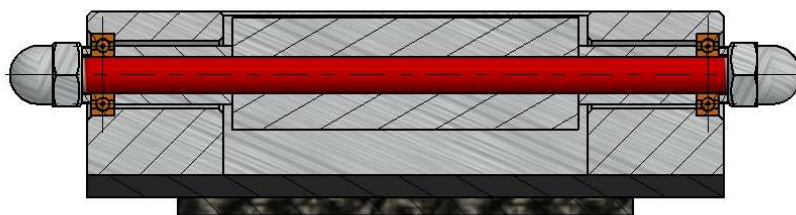
Obr. 29 Tělo pedálu (1)

Tělo pedálu je tvořeno dvěma díly, které jsou smontovány šrouby se zápusťnou hlavou. Protože je potřeba, aby bylo táhlo vzhledem k pedálu vycentrované, musí být vycentrovaná i vyvýšená destička vzhledem k pedálu. To je zajištěno dvěma kolíky. Prvotní návrh s použitím vyvýšené destičky nepočítal. Po zjištění, že mezi tělem pedálu a podstavou není dostatek prostoru pro požadovaný zdvih pístu (který byl zčásti blokován vidlicí), jsem se uchýlil k této variantě. Do zvýšeného prostoru se nyní vejde celá vidlice (viz obrázek č. 35) a tím se zvětšil i prostor pro zdvih pístu. Drážka je určena ke změně polohy pístu.



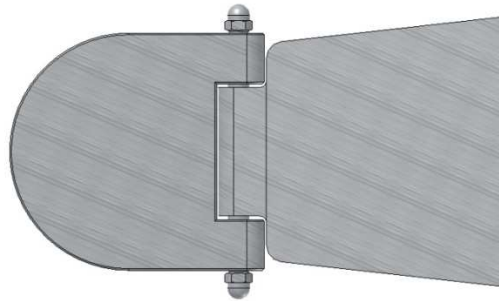
Obr. 30 Tělo pedálu (2)

Tělo pedálu je tvořeno z větší části skořepinou, která je vyztužena dvěma žebry. Na jedné straně těla je výstupek s otvorem. Skrz něj povede čep, který bude společně s patou pedálu tvořit rotační vazbu.



Obr. 31 Spojení paty s pedálem (1)

Po obou stranách paty je vloženo ložisko SKF 618/4. Ložiska jsou z vnější strany zajištěna uzavřenými maticemi. Uzavřené matice jsem volil z estetických důvodů. Vůli mezi tělem pedálu a patou vymezují distanční válečky, které se opírají o vnitřní kroužky ložisek a tělo pedálu.



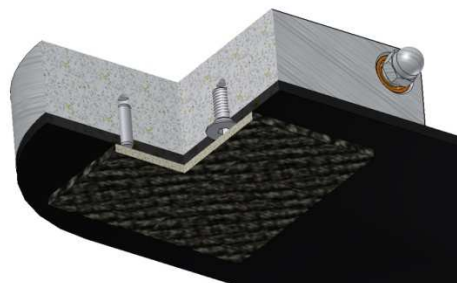
Obr. 32 Spojení paty s pedálem (2)

Podstava pedálu je vyrobena z plechu o tloušťce 2,5mm. Ze spodní strany jsou přilepeny dva čtverce suchého zipu, které zabrání ujíždění pedálu na koberci. Lišty sloužící k ustavení polohy pístu, jsou přišroubovány k desce šrouby se zápusťnou hlavou.



Obr. 33 Základní deska

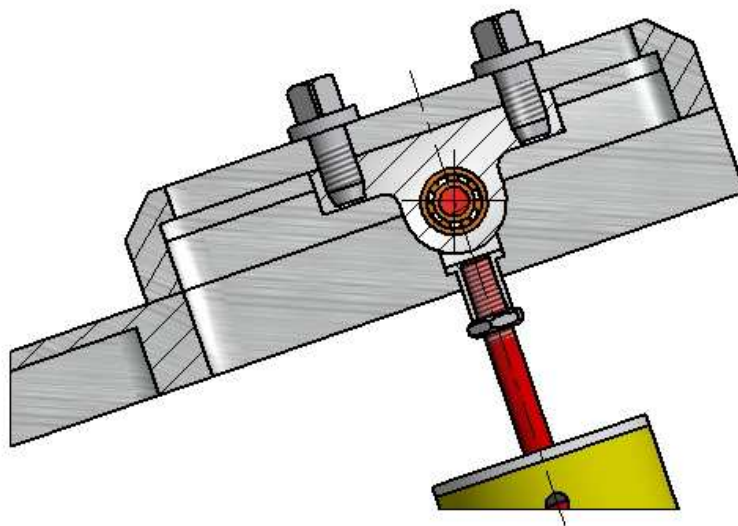
Pata pedálu je připevněna také šrouby se zápusťnou hlavou a přesná poloha je zajištěna dvěma válcovými kolíky.



Obr. 34 Spojení paty se základní deskou

Tělo, pata a podstava pedálu patří mezi nejobjemnější díly celé sestavy, a proto se výběrem lehkého materiálu pro tyto díly výrazně sníží hmotnost celé sestavy. Tyto díly budou vyrobeny z hliníkové slitiny EN AW 2007.

7.5 Spojení pístnice s pedálem



Obr. 35 Spojení pístnice s pedálem (1)

Jak již bylo naznačeno v kinematickém schématu, vazba mezi pístnicí a pedálem musí být rotační. Pístnice je našroubována (a zajištěna maticí) na vidlici, kterou jsem vybral z katalogu firmy Mädler. Součástí této vidlice je i čep o průměru 4mm zajištěný závlačkou. V katalogovém listu jsem zjistil, že čep je vyroben z ušlechtilé oceli DIN 17 440. Tato ocel má mez kluzu $R_{p0,1} = 230 \text{ MPa}$.

Kontrola čepu na smyk:

$$R_{p0,1} = 230 \text{ Mpa}$$

$$F_{max} = 784,8 \text{ N}$$

$$d = 4 \text{ mm}$$

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{S} = \frac{F_{max}}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{784,8}{\frac{3,14 \cdot 4^2}{4}} = 62,5 \text{ Mpa}$$

$$s = \frac{R_{p0,1}}{\sigma_{max}} = \frac{230}{62,5} = 3,7$$

$$R_{p0,1} = \text{mez kluzu [MPa]}$$

$$F_{max} = \text{maximální síla [N]}$$

$$\sigma_{max} = \text{maximální napětí [MPa]}$$

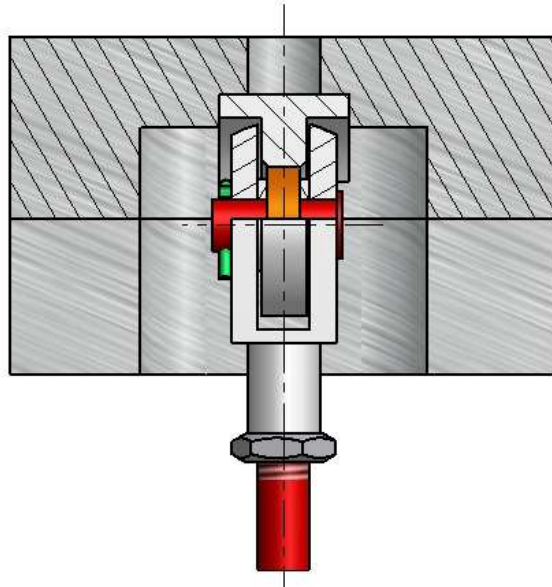
$$d = \text{průměr čepu [mm]}$$

$$S = \text{plocha průřezu čepu [mm}^2\text{]}$$

$$s = \text{koeficient bezpečnosti}$$

Čep tedy vyhovuje s bezpečností 3,7.

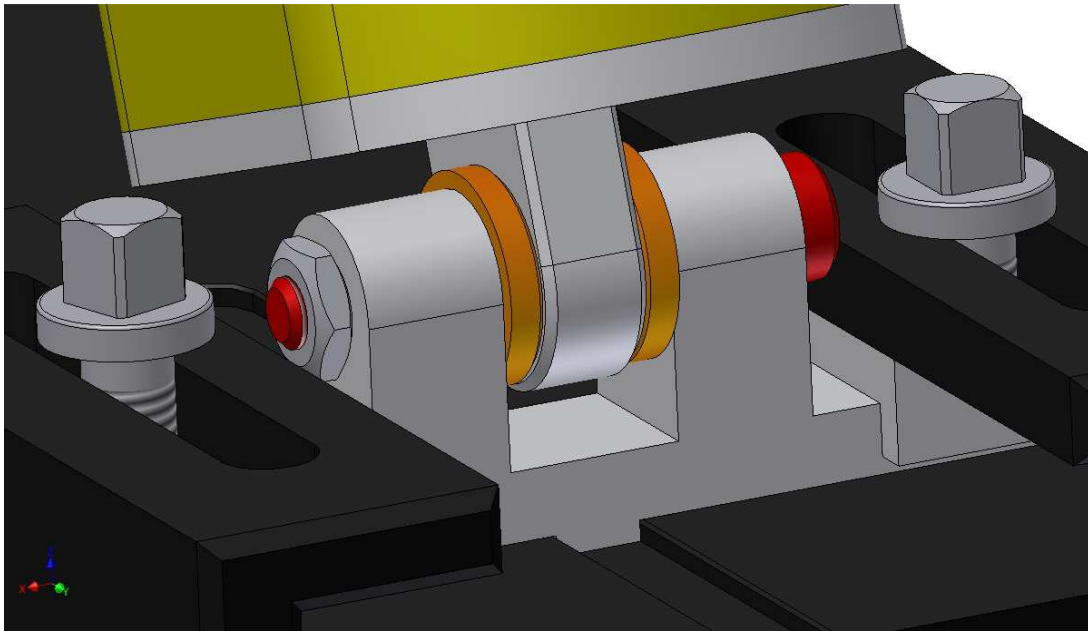
Do táhla je nalisováno ložisko SKF 618/4. Ložisko nebude kontrolováno na trvanlivost, protože se vnitřní kroužek vzhledem k vnějšímu otáčí jen kývavým pohybem. Proto bude ložisko kontrolovat jen v porovnání se základní statickou únosností. Hodnota základní statické únosnosti tohoto ložiska je 180N. Při hraní nepůsobí noha na pedál silou větší než 100N. Ložisko tedy vyhovuje. O vnitřní kroužek ložiska se z každé strany opírá jedna podložka. Tyto podložky zamezí vzájemnému kontaktu vidlice s táhlem.



Obr. 36 Spojení pístu s pedálem (2)

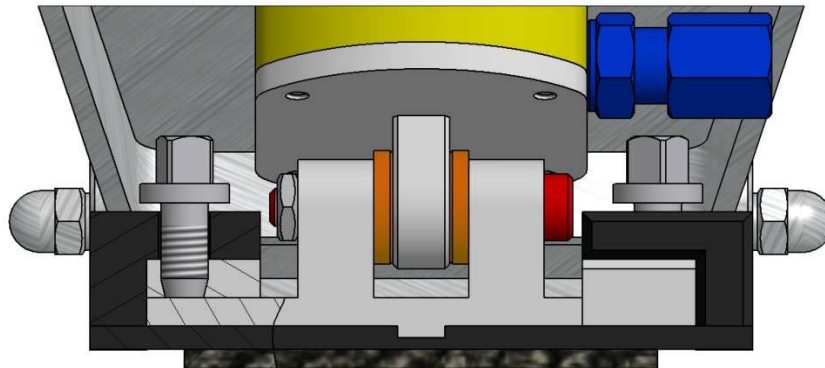
Táhlo je připevněno šrouby k pedálu a v tomto místě lze měnit nastavení polohy pístu. Táhlo zapadá do drážky, která zajišťuje vycentrování.

7.6 Spojení pístu se základní deskou



Obr. 37 Spojení pístu se základní deskou (1)

Podle kinematického schématu musí být i píst uložen otočně. V tomto místě se píst otáčí o velmi malý úhel (o necelý jeden stupeň). Proto je v tomto místě použito místo valivého ložiska kluzné pouzdro. Skrze vidlici a domeček prochází čep. Ten je zajištěn z jedné strany osazením a z druhé strany maticí.



Obr. 38 Spojení pístu se základní deskou (2)

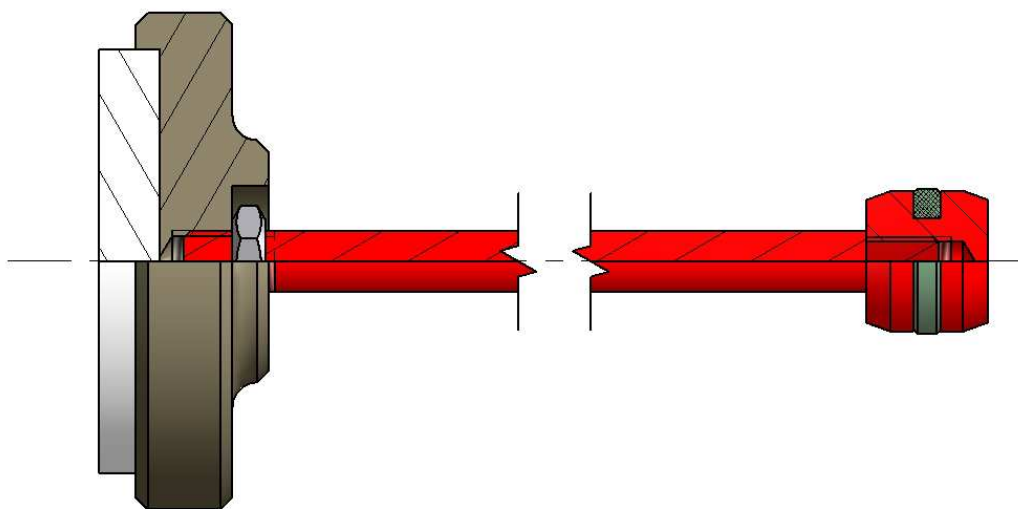
Změna nastavení polohy pístu je umožněna posunutím spodní vidlice. K vycentrování vidlice slouží drážka v základní desce, do které zapadá výstupek vidlice. Nastavená poloha je zajištěna dvěma šrouby, které přitlačují vidlici k základní desce. Šrouby procházejí maticemi, které mají po stranách osazení. Toto osazení je navrženo kvůli pohodlnějšímu zacházení při nastavování polohy vidlice. Při posouvání vidlice se posouvají zároveň i matice se šrouby.



Obr. 39 Matice s osazením

8 Návrh sestavy výstupního pístu

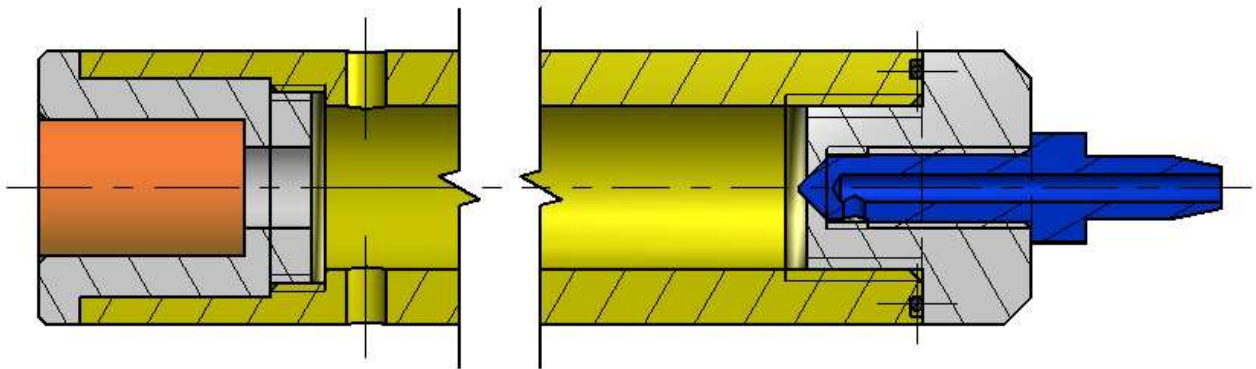
8.1 Píst, pístnice, kladívko



Obr. 40 Píst s pístnicí a kladívkem

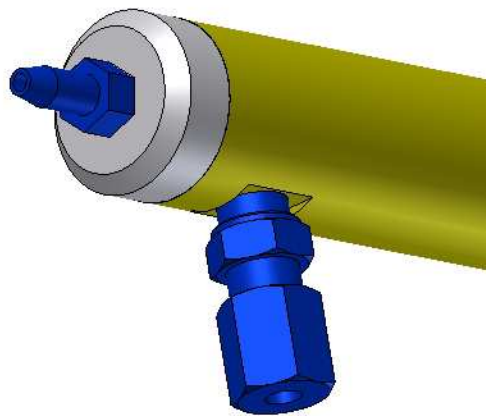
Provedení pístu a pístnice výstupního pístu je stejné, jako u pístu vstupního. Na konec pístnice je našroubováno kladívko. Kladívko se skládá ze dvou dílů. Z kovového kroužku a na něm nalepeného plastového polštářku.

8.2 Hydraulický válec



Obr. 41 Válec výstupního pístu

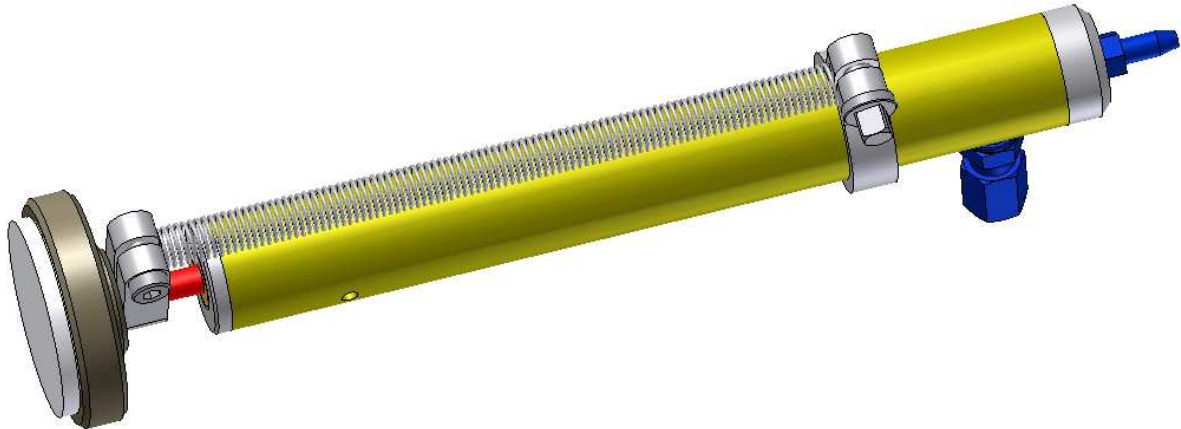
Hydraulický válec je z obou stran zakryt víky, která jsou našroubována. Pro lepší vedení pístnice je do předního víka nalisováno lineární kuličkové ložisko. Víko je za vnější průměr vystředěno s pístem. Zadní víko je utěsněno O-kroužkem. Do tohoto víka je našroubován odvzdušňovací šroub. Stejně jako do pístu vstupního válce je i do tohoto válce vyvrtán otvor pro zamezení přetlaku/podtlaku při pohybu pístu. Za úrovní dna zadního víka je našroubována přípojka hydraulické hadice. Pro správné dosednutí těsnění této přípojky je válcová plocha v tomto místě zfrézována.



Obr. 42 Hydraulická přípojka

8.3 Návrh pružiny

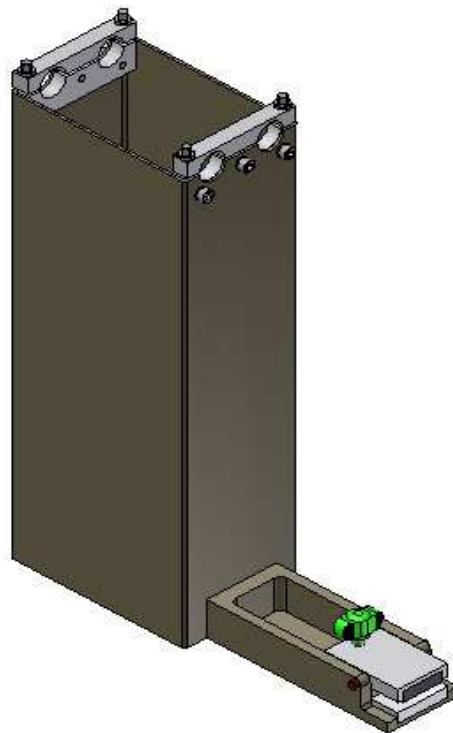
Tažná pružina je uchycena závěsnými oky za šrouby svěrných kroužků. Jeden svěrný kroužek je umístěn na pístnici, druhý na válci pístu. Polohu svěrného kroužku na válci je možno měnit. Díky tomu si uživatel může nastavit předepnutí pružiny.



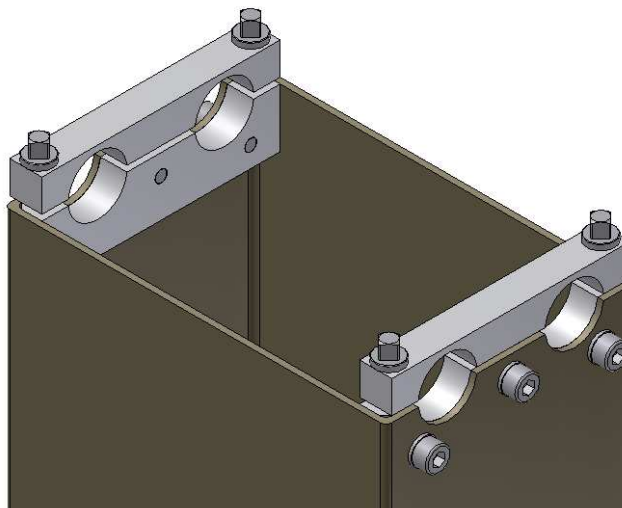
Obr. 43 Systém pružiny

Experimentálně jsem zjistil, že je u tradičního pedálu při maximálním předeptnutí pružiny potřeba zatížení přibližně 60N (zatížení působí na konec pedálu), aby byl pedál sešlápnut na maximum. Pokud chci dosáhnout stejného výsledku u svého návrhu, musí i navrhovaná pružina působit za stejných podmínek stejnou silou proti konci pedálu. Protože převodový poměr je $i=4$, pak musí pružina působit proti kladívku silou $F = \frac{60}{4} = 15N$. Další podmínkou pro návrh pružiny je, aby při maximální možné vzdálenosti svěrných kroužků (konkrétně 232mm) byla délka pružiny kratší, než maximální délka pružiny v plně zatíženém stavu. Z nabídky pružin společnosti Hennlich těmto podmínkám vyhovuje pružina s označením H 08/3/4.

9 Návrh nosné konstrukce pístů a systému uchycení k ráfku bubnu

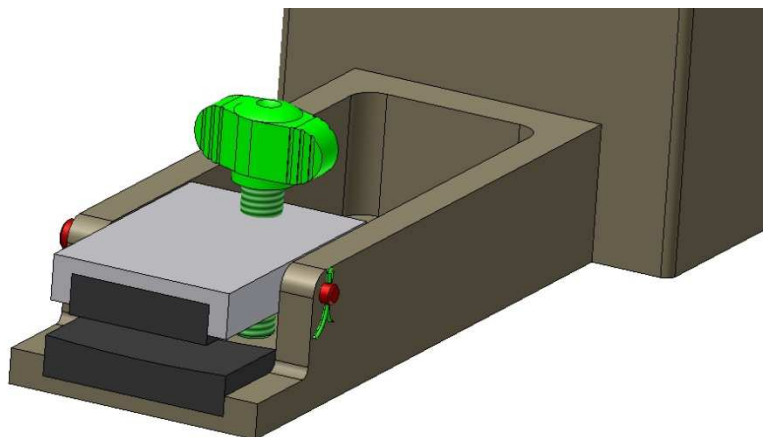


Obr. 44 Nosná konstrukce



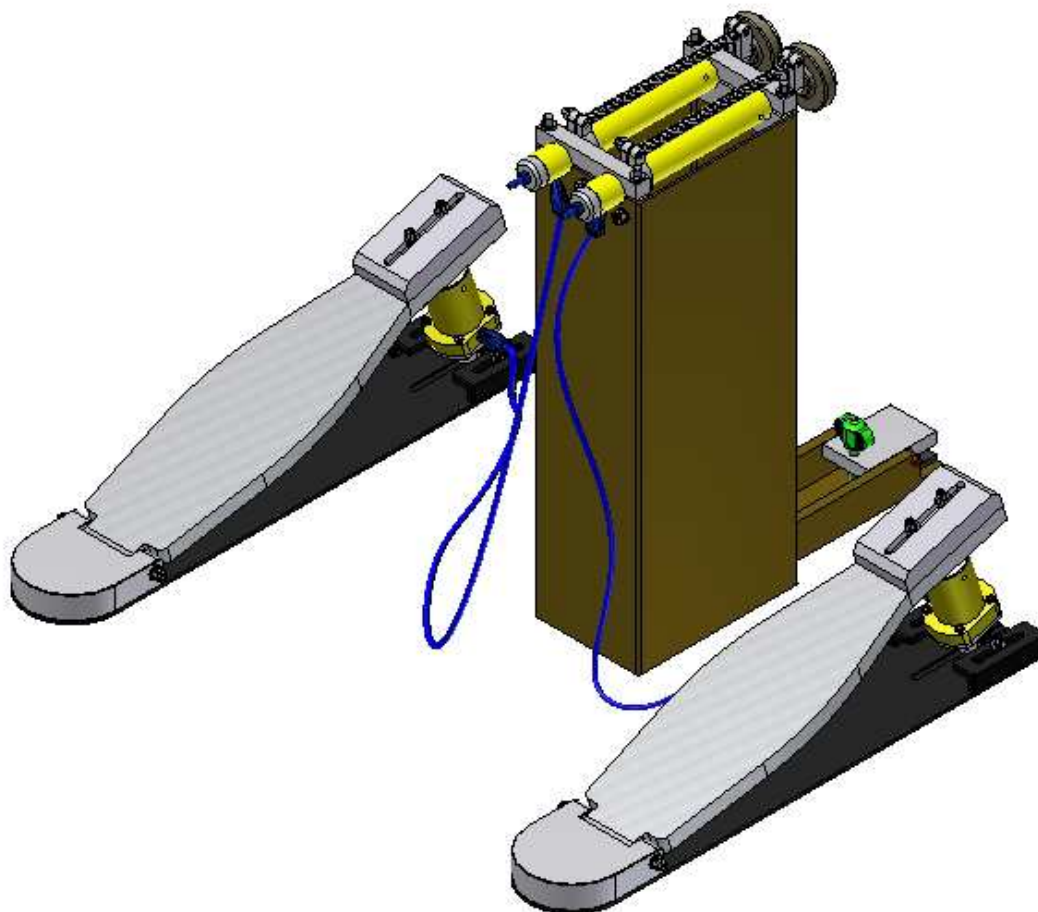
Obr. 45 Upínání výstupních pístů

Nosný profil je tvořen ohnutým plechem o tloušťce 2mm. Konce plechu jsou k sobě naletovány. K upevnění pístů slouží dvě dělené destičky s otvory pro výstupní písty. Utažením vrchního dílu destičky se zajistí poloha pístu. K nosnému profilu je připevněna lišta, na které je umístěn svírací mechanismus. K svěrné destičce a k liště jsou přilepeny gumové kvádry, mezi které se umístí ráfek bubnu. Svěrná destička je s lištou spojena čepem a utahováním kličky se ráfek bubnu sevře.



Obr. 46 Svírací mechanismus

10 Celková sestava



Obr. 47 Celková sestava

Vstupní a výstupní píst jsou k sobě připojeny hydraulickou hadicí o průměru 4mm. Nosná konstrukce se připe k ráfku bubnu a pedály mohou být umístěny dle libosti uživatele.

10.1 Plnění a odvzdušnění hydraulického systému

Válec výstupního pístu se otočí odvzdušňovacím šroubem směrem dolů. Tímto válcem se naplní celý systém hydraulickou kapalinou a poté se do něj zasune píst s pístnicí. Válec se otočí o 180°, aby odvzdušňovací šroub mířil směrem nahoru. Nejvyšší bod hydraulického systému je nyní v místě tohoto šroubu a proto se zde nashromáždí vzduch, který zůstal v systému. K odvzdušňovacímu šroubu se připojí hadička, jejíž druhý konec se zavede do nádoby s hydraulickou kapalinou. Odvzdušňovací šroub se povolí a sešlápnutím pedálu se dostane vzduch mimo hydraulický systém. Vrácením pedálu zpět se nasaje z nádoby kapalina, která nahradí v systému objem již nepřítomného vzduchu.

11 Hodnocení navrženého pedálu a srovnání s tradičním pedálem

Jak jsem již uvedl, hlavní nevýhodou tradičních dvojitých pedálů je nestejný chod levého a pravého pedálu způsobený připojením levého pedálu přes kardanův hřídel. V navrženém řešení jsou oba pedály připojeny k výstupnímu pístu stejným způsobem, a proto budou mít stejný chod. To považuji za hlavní výhodu mého návrhu.

Další výhodou je způsob, jakým je vyřešena pružina. Díky posuvnému pohybu kladívka je průběh síly působící proti pohybu kladívka v závislosti na prodloužení lineární funkcí. To přispěje k plynulejšímu chodu pedálu.

U tradičního dvojitého pedálu jsou kladívka součástí sestavy pravého pedálu. Kvůli rozměrům výstupního pístu jej nebylo možno integrovat do sestavy pedálu a musela být navržena samostatná nosná konstrukce. Můj návrh pedálu bude proto těžší a objemnější. Na druhou stranu má bubeník díky samostatné nosné konstrukci možnost umístit si oba pedály do libovolné polohy, aniž by musel měnit polohu basového bubnu.

Nevýhodou mého návrhu budou zřejmě vyšší náklady na výrobu způsobené výrobou dílů hydrauliky a jejich montáží. Další nevýhodou budou vyšší nároky na údržbu.

12 Závěr

Cílem mé práce byl návrh pedálu k bicí soupravě. Provedl jsem rešerši v této oblasti a upozornil jsem na nedostatky dnes vyráběných pedálů. Dále jsem navrhl a zkonstruoval vlastní dvojitý pedál. Při návrhu jsem se snažil dosavadní nedostatky eliminovat. Koncepce pedálu je velmi nekonvenční, neboť funguje na hydraulickém principu. Podle dostupných informací takový pedál dosud nikdo nevyrábí. Proto bych rád nechal vyrobít prototyp tohoto pedálu, abych jej vyzkoušel v praxi a zjistil, zda by byl schopný konkurovat svými vlastnostmi pedálům od renomovaných výrobců.

13 Literatura

- [1] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra : obecné strojní části 1*. Praha : Computer Press, 1999.
- [2] NOSKIEVIČ, J. *Hydromechanika*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1980
- [3] ROSENBERG, J. *Kinematika*. Plzeň: VŠSE, 1985
- [4] <http://www.legris.com>
- [5] <http://www.hennlich.cz/produkty/tesneni-hydraulicka-tesneni-pistni-tesneni-242/k-54.html>

PŘÍLOHA č. 1

Pozice pedálu v rovnovážné a zatížené poloze

