

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2341 Strojírenství  
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Návrh modulu pro násuvný mechanický snímač otáček a snímače koncových poloh.

Autor: **Jakub Reinhart**  
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Josef FORMÁNEK Ph.D.**

Akademický rok 2018/2019

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub REINHART**  
Osobní číslo: **S15B0176P**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**  
Název tématu: **Návrh modulu pro násuvný mechanický snímač otáček a snímače koncových poloh.**  
Zadávací 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:

Cílem této práce je navrhnout technické řešení násuvného modulu mechanického snímače otáček a koncových poloh, který bude poháněn od systému navíjení. Navržený mechanismus musí mít širší variabilitu použití ve výrobních řadách stroje, kdy též musí odolávat těžkým provozním podmínkám (povětrnostní vlivy, abrazivní prostředí). Dále provést specifikaci požadavků s ohledem na správnou funkčnost a technickou jednoduchost z hlediska vyrobiteľnosti, snížení výrobních nákladů s využitelností 3D tisku většiny částí mechanismu. U výsledného řešení provést komplexní hodnocení.

#### Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

#### Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování rešerše včetně systematického popisu funkce.
2. Vypracování rozboru technických parametrů.
3. Vypracování variant koncepčních řešení.
4. Zhodnocení vybraného koncepčního řešení.

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

**HOSNEDL, S. A KRÁTKÝ, J.** *Příručka strojího inženýra.* Brno: Computer Press, 1999

**MM Průmyslové spektrum:** *Konstrukce CNC obráběcích strojů.* Praha, 2006

**ŘAŠA, J., ŠVERCL, J.:** *Strojnické tabulky.* Scientia, Praha, 2004

**SHIGLLEY, J., E., MISCHKE, C., R., BUDYNAS, R., G.** *Konstruování strojních součástí.* VUT v Brně, Brno, 2010

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

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů  
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jakub Sobotka**  
HENNLICH s.r.o., Litoměřice

Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2018**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2019**

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.  
děkan



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

V Plzni dne 16. října 2018

# ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Reinhart	<b>Jméno</b> Jakub	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	„Stavba výrobních strojů a zařízení“		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Doc. Ing. Formánek Ph.D.	<b>Jméno</b> Josef	
<b>PRACOVISTĚ</b>	ZČU – FST – KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Návrh modulu pro násuvný mechanický snímač otáček a snímače koncových poloh.		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2019
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	72	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	50	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	22
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Bakalářská práce se věnuje konstrukčnímu řešení mechanismu snímání koncových, havarijních a obecných poloh nakládacího zařízení řady Ekonomik od firmy Hennlich Engineering s.r.o. Při konstrukci se využívá technologie 3D tisku.</p>
<p><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p>snímač, mechanismus, CAD, 3D tisk, nakládací zařízení, snímání polohy</p>

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Reinhart	<b>Name</b> Jakub	
<b>FIELD OF STUDY</b>	“ Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Doc. Ing. Formánek Ph.D.	<b>Name</b> Josef	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU – FST – KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Engineering design of plug-in modul for mechanical rotation and end positions sensors.		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2019
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	72	<b>TEXT PART</b>	50	<b>GRAPHICAL PART</b>	22
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	This thesis dissert on design of mechanical sensor for loading machine by Hennlich Engineering s.r.o. This sensor have to mesure read end positions, crash positions and general position of loading machine. For this design is being used technology of 3D printing.
<b>KEY WORDS</b>	sensor, mechanism, CAD, 3D printing, loading machine, mesure of position

## **Prohlášení o autorství**

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

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

**V Plzni dne: 21.5.2019**

.....  
**podpis autora**

## **Poděkování**

Děkuji tímto vedoucímu mé bakalářské práce Doc. Ing. Josefu Formánkovi, Ph.D., oponentovi Ing. Janu Kodetovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. Jakubu Sobotkovi za metodické vedení a odbornou pomoc.

# Obsah

1.	Popis problému.....	1
2.	Teoretická část k použitým principům .....	2
2.1.	Převodové mechanismy .....	2
2.1.1.	Definice .....	2
2.1.2.	Základní rozdělení [1] .....	2
2.2.	Snímače polohy .....	4
2.2.1.	Definice .....	4
2.2.2.	Základní rozdělení [2] .....	4
2.3.	Technologie 3D tisku.....	5
2.3.1.	Popis technologie .....	5
2.3.2.	Metody tisku.....	5
3.	Praktická část.....	7
3.1.	Požadavky na celý mechanismus .....	7
3.2.	Možná konstrukční řešení.....	7
3.2.1.	Varianta 1 .....	7
3.2.2.	Varianta 2 .....	8
3.2.3.	Varianta 3 .....	9
3.2.4.	Varianta 4 .....	9
3.2.5.	Varianta 5 .....	10
3.2.6.	Varianta 6 .....	10
3.2.7.	Možná řešení přídavných převodovek .....	11
3.3.	Popis zvoleného konstrukčního řešení .....	13
3.3.1.	Vlastní konstrukční návrh .....	13
3.4.	Předběžné pevnostní výpočty .....	16
3.4.1.	Axiální síla od kuželového soukolí .....	16
3.4.2.	Radiální síla od mikropínače .....	19
3.5.	Pevnostní analýza programem CAD .....	23
3.5.1.	Pohybový šroub.....	23
3.5.2.	Ozubené kuželové kolo .....	25
3.5.3.	Matice.....	29
3.6.	Nastavení tiskových vlastností .....	33
3.7.	Popis zvoleného materiálu pro 3D tisk.....	33
3.8.	Tisk součástí .....	35
3.8.1.	Matice.....	35



3.8.2.	Šroub .....	35
3.8.3.	Ozubené soukolí .....	36
3.8.4.	Třmeny šroubu .....	36
3.8.5.	Skříň snímače .....	36
3.9.	Montáž a nastavení snímače poloh .....	37
3.10.	Výrobní náklady .....	38
3.10.1.	Výrobní náklady materiálové .....	38
3.10.2.	Výrobní náklady pracovní .....	38
3.10.3.	Výrobní náklady energetické .....	38
3.10.4.	Celkové výrobní náklady .....	39
3.11.	Vize do budoucna .....	40
4.	Závěr .....	41
5.	Citovaná literatura .....	42
6.	Seznam obrázků .....	43
7.	Seznam tabulek .....	44
8.	Seznam příloh .....	45
9.	Přílohy .....	46
9.1.	Příloha č. 1 – Podrobnější rozdělení převodových mechanismů .....	46

## 1. Popis problému

Cílem této práce je navrhnout konstrukční řešení snímače koncových poloh vrátku nakládacího zařízení firmy Hennlich Engineering s.r.o. řady Ekonomik. Zařízení je používáno k vedení převážně sypkých materiálů na přesně určené místo.

Příkladem použití je nakládka uhlí z pásového dopravníku do vagónů vlaku. Na konci pásového dopravníku je umístěno toto nakládací zařízení, do kterého například padá uhlí a pomocí tubusu je materiál veden přímo do vagónu. Je tak eliminováno rozsypání uhlí mimo vagón vlaku. Délku tubusu nakládacího zařízení je možno měnit dle potřeby. Tato část je také konstruována tak, aby odsávala vzduch z místa vysypávání materiálu a tím eliminovala prášení během nakládky. Tento vzduch je veden skrz filtrační zařízení uvnitř nakládacího zařízení, kde se oddělují prachové částice ze vzduchu.

Snímač by měl být nejlépe umístěn uvnitř mechanismu navíjení nakládacího zařízení, aby byl ukryt před možným poškozením při manipulaci se strojem, servisu nebo při pádu materiálu, který prochází nakládacím zařízením.

Snímač musí snímat pomocí mechanické vazby pět základních poloh, a to horní havarijní polohu, horní pracovní polohu, výšku kupy, dolní pracovní polohu a dolní havarijní polohu. Dále by měl snímač snímat obecnou polohu nakládacího zařízení za pomoci systému řízení, v tomto případě nemusí být dodržena mechanická vazba.

Celý mechanismus je třeba uschovat do skříně, která bude chránit jeho části před prachem, vlhkostí a jinými povětrnostními vlivy. Zároveň by měla odolat případnému nárazu při manipulaci, servisu nebo chodu nákladového zařízení.

Dalším hlavním požadavkem je, aby byla většina částí mechanismu snímače tisknutelná pomocí technologie 3D tisku.

Posledním kritériem pro konstrukci je také malý rozměr snímače. Pokud bude snímač umístěn uvnitř mechanismu stroje, je hlavním limitujícím faktorem prostor mezi lanovnicemi, kde by bylo celé zařízení umístěno.

## 2. Teoretická část k použitým principům

### 2.1. Převodové mechanismy

#### 2.1.1. Definice

Základní převodový mechanismus (dále jen převod) je nejjednodušší (elementární) orgán, který splňuje základní (transformační) funkce převodového mechanismu konkretizované podle stanovených požadavků. [1]

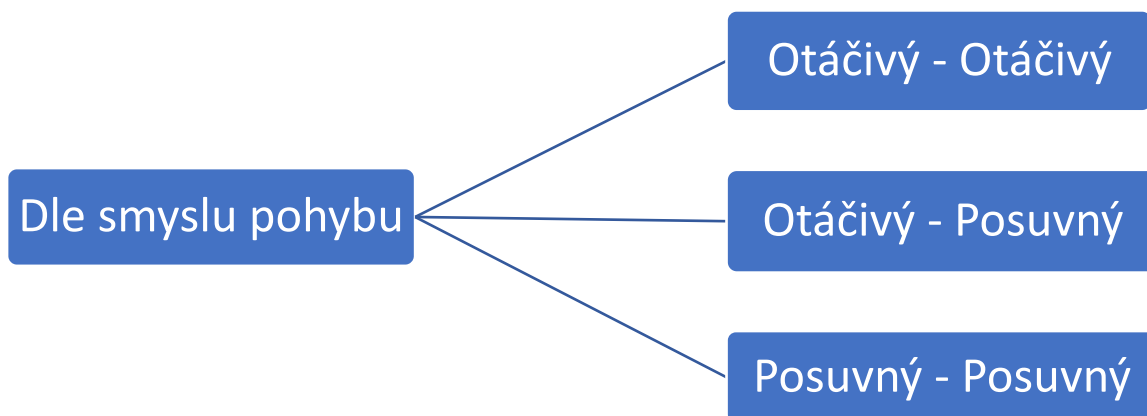
Každý převodový mechanismus má ve své struktuře minimálně tyto členy: vstupní (hnací) člen (prvek), výstupní (hnaný) člen (prvek) a rám. Vstupní a výstupní člen jsou vzájemně propojeny přímo nebo nepřímo prostřednictvím dalšího členu (prvku). Toto propojení může být obecně mechanické, elektrické, hydraulické nebo pneumatické. Dále budou uvažovány pouze mechanické principy. [1]

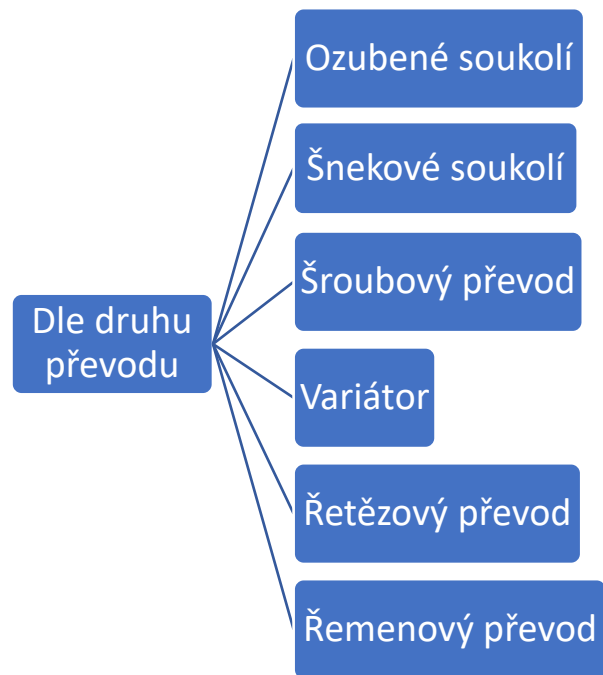
Hlavní veličinou sledovanou u převodových mechanismů je tzv. Převodový poměr. [1]

Převodový poměr (převod) je definován jako poměr rychlostí hnacího členu a hnaného členu [1]

$$i_{1,2} = \frac{\text{rychlost hnacího členu}}{\text{rychlost hnaného členu}}$$

#### 2.1.2. Základní rozdělení [1]





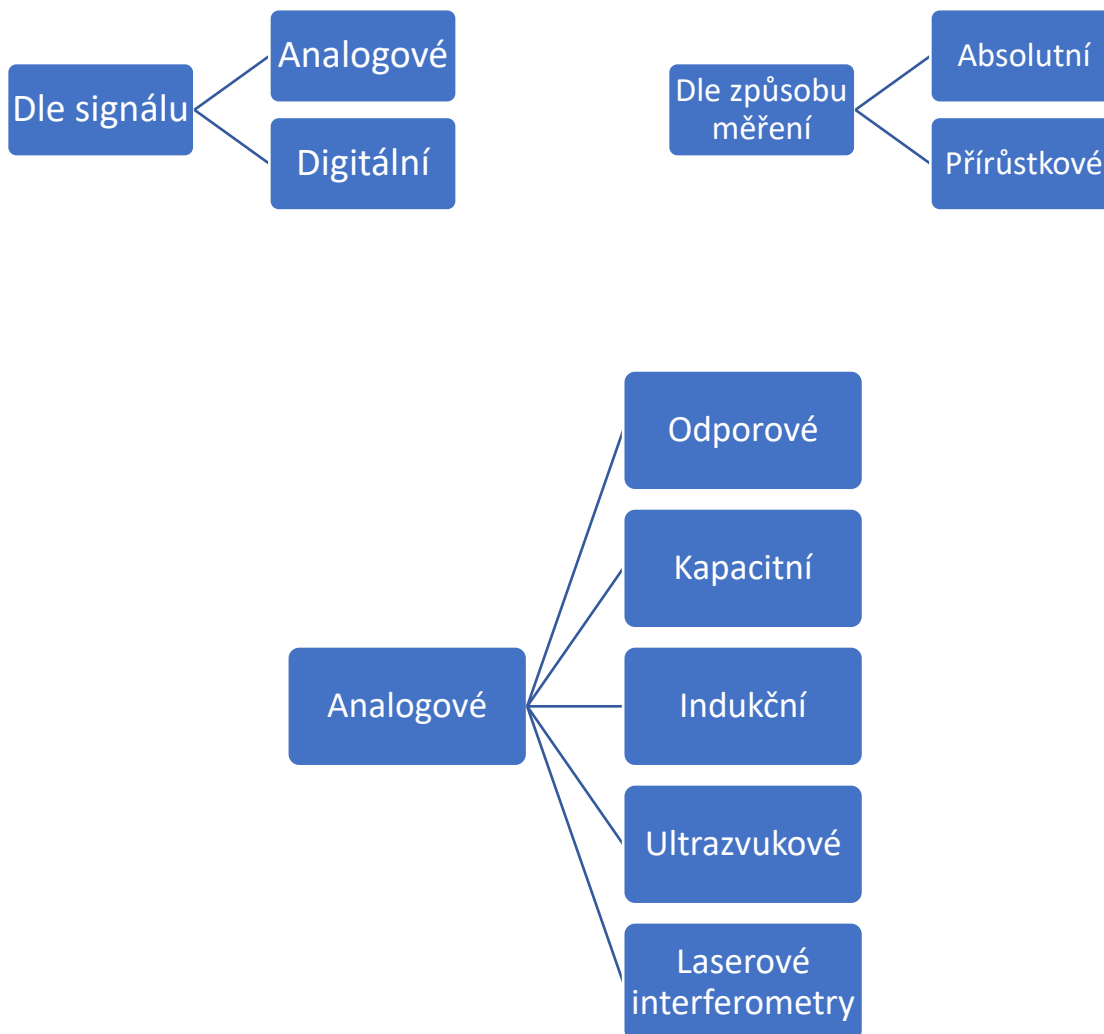
Podrobnější rozdělení viz příloha č. 1

## 2.2. Snímače polohy

### 2.2.1. Definice

Snímač polohy je takové zařízení, které dokáže převést polohu námi sledovaného členu vůči určitému referenčnímu bodu (počátku souřadnic) na signál, který lze dále vyhodnocovat a analyzovat. Výsledky měření lze dále využít například k přímému odečítání hodnot nebo k dalšímu řízení stroje. [2]

### 2.2.2. Základní rozdělení [2]



## 2.3. Technologie 3D tisku

### 2.3.1. Popis technologie

Všechna zařízení na výrobu 3D modelů pracují na principu rozložení počítačového modelu do tenkých vrstev a jejich následném sestavení do reálného modelu v pracovním prostoru tiskárny. Na rozdíl od klasického obrábění se materiál neubírá, ale naopak je po vrstvách přidáván. Model je stavěn na základní desce, která po dokončení každé vrstvy poklesne dolů právě o tloušťku této vrstvy.

### 2.3.2. Metody tisku

- SLS - Selective Laser Sintering, zapékání práškového materiálu laserovým paprskem, tloušťka vrstvy cca 0,1 mm, levný stavební materiál, v ceně modelu kompenzovaný vysokou pořizovací cenou stroje, oblast využití: neomezeno, ideální na subtilní vzdušné struktury - EOS, Německo, [www.eos.info](http://www.eos.info) [3]
- SLA - stereolitografie, nejstarší technologie používaná od roku 1986, vytvrzování tekutého kompozitu laserovým paprskem, univerzální technologie - 3D Systems, USA, [www.3dsystems.com](http://www.3dsystems.com) [3]
- ZCORP - v tenké vrstvě nanesený prášek je spojován pojivem, které je vytlačováno z tiskových hlav (obdobu inkjetové tiskárny), je možné vyrobit i barevný 3D model, povrch není hladký, model je křehký a vyžaduje další povrchovou úpravu, oblast využití: hmotové modely bez požadavku na kvalitu povrchu a míru detailu, jediná technologie na výrobu barevných modelů - Zcorporation, USA, [www.zcorp.com](http://www.zcorp.com) [3]
- LOM - Laminated Object Manufacturing, každá vrstva je vyříznuta z plastu a plošně přilepena k vrstvě předchozí, tloušťka vrstvy 0,165 mm, nejlevnější stavební materiál, model je po dokončení umístěn v kvádru materiálu o maximálních rozměrech 3D modelu (X x Y x Z), velké množství stavebního materiálu nevyužito (odpad), podpurný materiál se odstraňuje mechanicky, nejkvalitnější povrch vodorovných ploch, oblast použití: hmotové modely, nevhodné pro velmi subtilní konstrukce, velmi kvalitní povrch a přesnost - Solido, Izrael, [www.solido3d.com](http://www.solido3d.com) [3]

- FDM - Fused Deposition Modeling, nanášení roztaveného materiálu v tenké vrstvě, dva stavební materiály - modelovací a podpůrný, tloušťka vrstvy 0,25 mm, minimální odpad, hrubá struktura modelu - velká tloušťka vrstvy, nerovný povrch vodorovné vrstvy, podpůrný materiál se odstraňuje manuálně event. vodou, oblast využití: pevné, tvarově stálé mechanické modely bez požadavku na kvalitu povrchu, nevhodné pro subtilní konstrukce - Dimension, USA, [www.dimensionprinting.com](http://www.dimensionprinting.com) [3]
- FDM COLOR - nově i v barvě na zařízení HP Designjet 3D Color Printer [3]
- POLYJET MATRIX - tiskovými hlavami vytlačovaný fotopolymer je vytvrzován pomocí UV lampy, dva stavební materiály - modelovací a podpůrný, velmi kvalitní povrch modelů, tloušťka vrstvy 0,016 mm, podpůrný materiál se odstraňuje tlakovou vodou, omezená životnost stavebního materiálu cca 1 rok, několik typů stavebního materiálu, oblast využití: neomezeno, vhodné na modely s vysokou mírou detailu - Objet, Izrael, [www.2objet.com](http://www.2objet.com) [3]
- MULTI JET MODELING – termoplastický materiál - vosk - je vytlačován tiskovými hlavami, dva stavební materiály - modelovací a podpůrný - s různou teplotou tání, podpory se odstraní nahřátím modelu - 3D systems, USA, [www.3dsystems.com](http://www.3dsystems.com) [3]
- THERMOPLASTIC INKJET WITH MILLING – kombinace vytlačování termoplastického materiálu - vosku - s horizontálním frézováním, velmi přesná metoda stavby modelu vhodná pro odlévání metodou ztraceného modelu - Solidscape, USA, [www.solid-scape.com](http://www.solid-scape.com) [3]
- DIGITAL LIGHT PROJECTION - nejnovější technologie založená na nasvícení fotopolymeru UV projekcí modelového řezu, univerzální technologie, bezodpadová technologie, omezená životnost materiálu - EnvisionTEC, Německo, [www.envisiontec.de](http://www.envisiontec.de) [3]

### 3. Praktická část

#### 3.1. Požadavky na celý mechanismus

Hlavním požadavkem je snížit výrobní náklady pod úroveň nákladů na dosavadní technické řešení. Toto řešení je tvořeno šnekovou převodovkou a snímačem poloh Stromag.

Snímač musí pomocí mechanické vazby snímat pět základních poloh: horní havarijní polohu, horní pracovní polohu, výšku kupy, dolní pracovní polohu a dolní havarijní polohu. Dále musí být snímač schopen určovat obecnou polohu nakládacího zařízení.

Dalším důležitým požadavkem je možnost tisku většiny dílů nového snímače poloh pomocí technologie 3D tisku, který nyní firma Hennlich Engineering s.r.o. zavádí.

Následně by měla být docílena možnost při malých úpravách konstrukce snímače aplikovat nové řešení na vyšší řady nakládacích zařízení.

Druhotnými požadavky na mechanismus jsou:

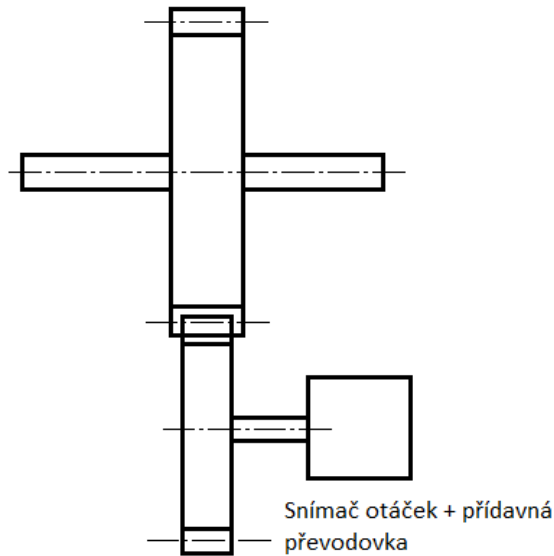
- Snadná montáž a servis.
- Velký rozsah nastavení pracovních zdvihů stroje.
- Dlouhá životnost (minimálně dva roky).
- Odolnost vůči povětrnostním vlivům.
- Možnost fungování ve velkém teplotním rozsahu (-40 °C až +80 °C)

#### 3.2. Možná konstrukční řešení

##### 3.2.1. Varianta 1

První možnou variantou je použití jednoduchého převodu pomocí čelních ozubených kol. Na pastorku tohoto soukolí je napřímo připojen snímač otáček a za pomoci systému řízení snímány všechny potřebné polohy. Výhodou této varianty je jednoduchost a variabilita čelního ozubení. Nevýhodou ale je, že není dodržena podmínka mechanické vazby pro snímání pěti základních poloh. Pro mechanické snímání koncových havarijních poloh je připojena převodovka s takovým finálním převodovým poměrem, aby při jednom pracovním zdvihu stroje vykonal výstupní hřídel pouze jednu otáčku. Na tomto výstupním hřídeli je aplikován princip vačkového mechanismu a takto mechanicky snímána základní poloha. Nevýhoda vyplývající z připojení takovéto převodovky jsou velké rozměry. Mohlo by proto dojít například ke kolizi s navíjecím mechanismem nakládacího zařízení.

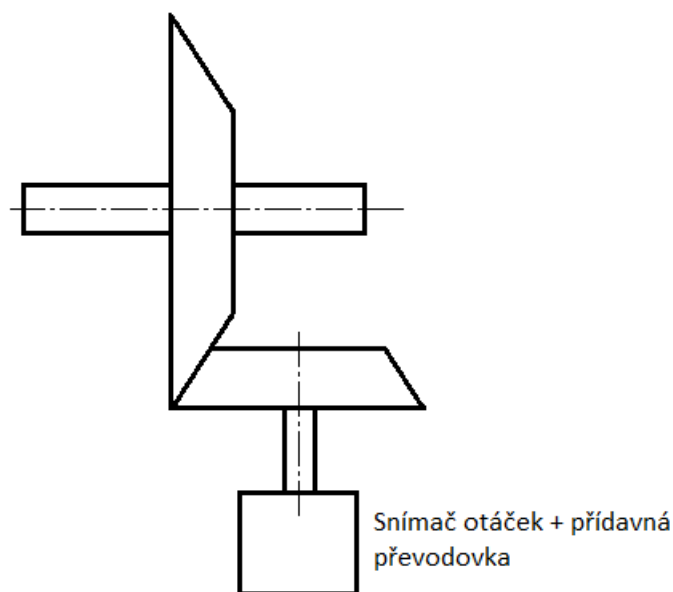




Obrázek 1 - Schéma varianty 1

### 3.2.2. Varianta 2

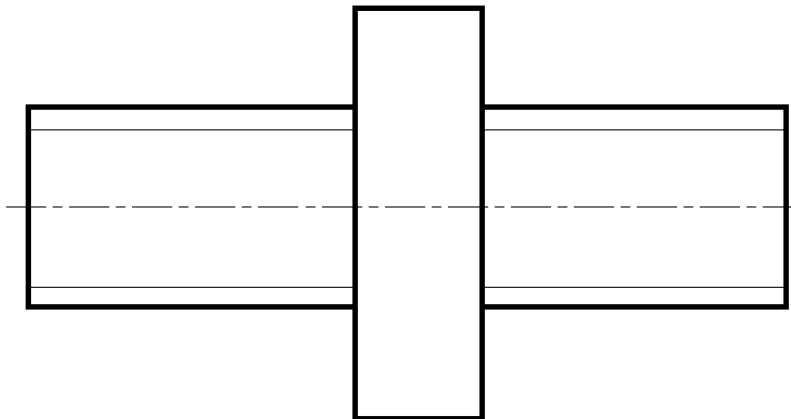
Druhou možností je modifikace varianty číslo 1, ale na místo použití čelních ozubených kol použít kuželové soukolí s úhlem  $90^\circ$ , jež umožňuje lepší využití prostoru v mechanismu navíjení nakládacího zařízení. Jako v předchozím případě výhodou tohoto řešení je jednoduchost a variabilita. Nevýhodou je zde ale také nutnost připojení přídatné převodovky a s tím spojené větší rozměry celého mechanismu. Dalším záporem je také náchylnost kuželového soukolí na přesnost montáže a výroby a také vznik axiálních sil, které by mohly při použití plastů na konstrukci mechanismu zapříčinit destrukci celé konstrukce.



Obrázek 2 - Schéma varianty 2

### 3.2.3. Varianta 3

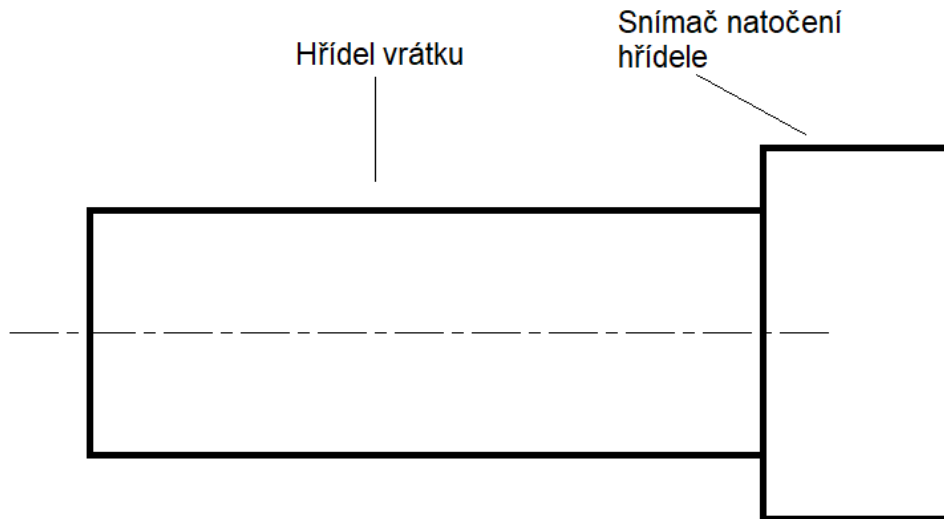
Třetí variantou je využití mechanismu šroubu a matice. Šroubové kolo je v této variantě by nasazeno přímo na hřídeli vrátku a spojeno například pomocí těsného pera. Matice je pomocí vodícího členu zajištěna proti otáčení a tím se otáčivý pohyb hřídele transformuje na posuvný pohyb matice. Na takové matici by následně mohl být z jedné strany umístěn jazýček, který by při pohybu matice postupně stiskával jednotlivé mechanické mikrospínače. Na druhé straně by mohl být umístěn například bezkontaktní snímač polohy, který by zajistil snímání obecné polohy.



Obrázek 3 - Schéma varianty 3

### 3.2.4. Varianta 4

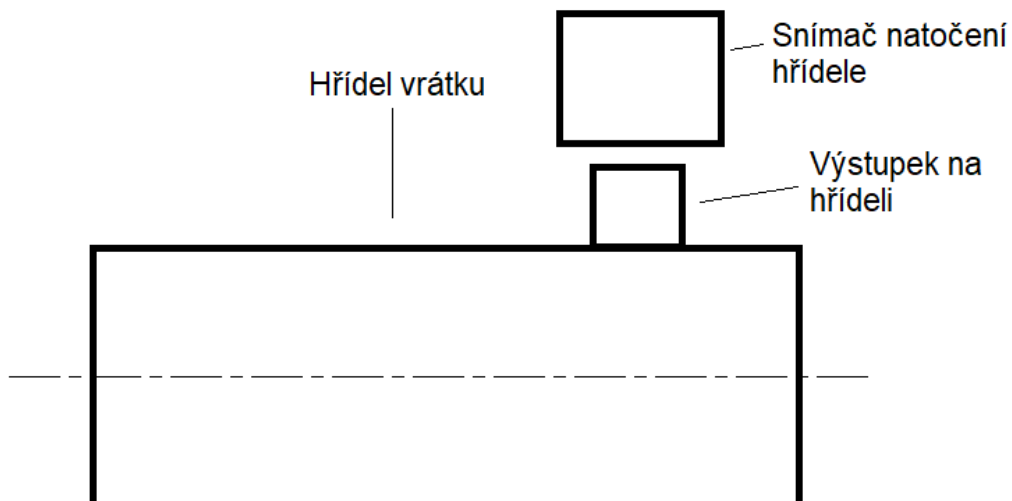
Dalším řešením je přímé snímání otáček hřídele připojením snímače natočení, například potenciometr, na konec hřídele vrátku. Výhodou je snadný přístup při pozdějším servisu a eliminace přenášení otáčivého pohybu z hřídele navíjení nakládacího zařízení na vstupní člen snímače poloh pomocí převodu což přispívá k celkové jednoduchosti finálního řešení. Ovšem toto zařízení porušuje dva základní požadavky, a to uschování snímače koncových poloh uvnitř mechanismu navíjení nakládacího zařízení a také mechanickou vazbu pro snímání pracovních a havarijních poloh.



Obrázek 4 - Schéma varianty 4

### 3.2.5. Varianta 5

Další možností je upravit variantu 4 a snímat natočení hřídele mechanismu navíjení nakládacího navíjení například indukčním snímačem mezi lanovnicemi. V tomto případě by se musel hřídel osadit výstupky tak, aby docházelo ke změně magnetického pole a tím k měření. Toto řešení je velmi jednoduché, a navíc odolá povětrnostním vlivům i bez použití zakrytování. Nevýhodou ale je nutnost složitějšího systému řízení stroje a absence mechanického snímání pěti základních poloh.

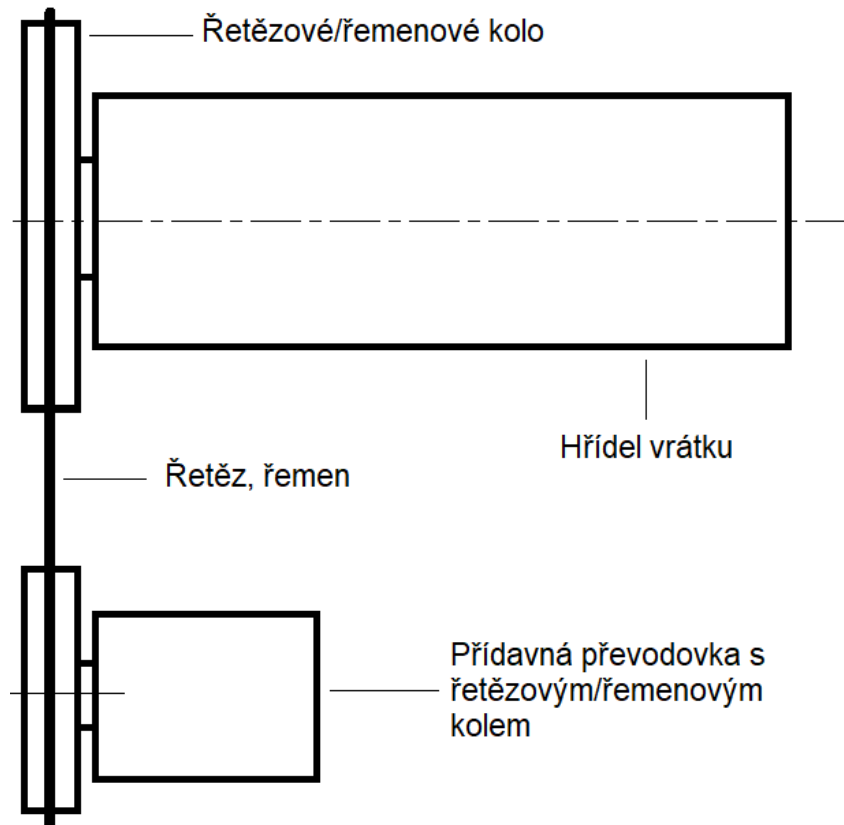


Obrázek 5 - Schéma varianty 5

### 3.2.6. Varianta 6

Poslední možností je použití řemenového nebo řetězového převodu k přenesení otáček do převodovky uchycené na rámu stroje. Tato převodovka by mohla fungovat například na

principu přídavné převodovky popsané například ve variantě 1. Nevýhodou ale je náchylnost řemenového nebo řetězového převodu na opotřebení a tím vznikající vůle. Tento problém by musel být řešen přídavným napínacím mechanismem, systémem mazání a krytováním mechanismu.



Obrázek 6 - Schéma varianty 6

### 3.2.7. Možná řešení přídavných převodovek

Nejjednodušším řešením takové převodovky je použití soustavy čelních ozubených kol. Toto řešení vyniká jednoduchou konstrukcí, snadným servisem a dlouhou životností. Ovšem například při vstupním převodu s převodovým poměrem  $i=1$  by musel být výsledný převodový poměr takové převodovky 12:1 což by znamenalo buď použití menšího počtu soukolí s velkým převodovým poměrem nebo více soukolí s malým převodovým poměrem. S tím jsou spojeny i velké rozměry takové převodovky což koliduje s požadavkem na co nejmenší celkové rozměry snímače poloh.

Dalším přípustným řešením je použití principu planetové převodovky. Toto řešení umožňuje dosáhnout velkých převodových poměrů při malých zástavbových rozměrech. Ovšem náročnost na přesnost výroby a celková složitost planetové převodovky vylučuje použití 3D tisku, což je jeden z hlavních požadavků.

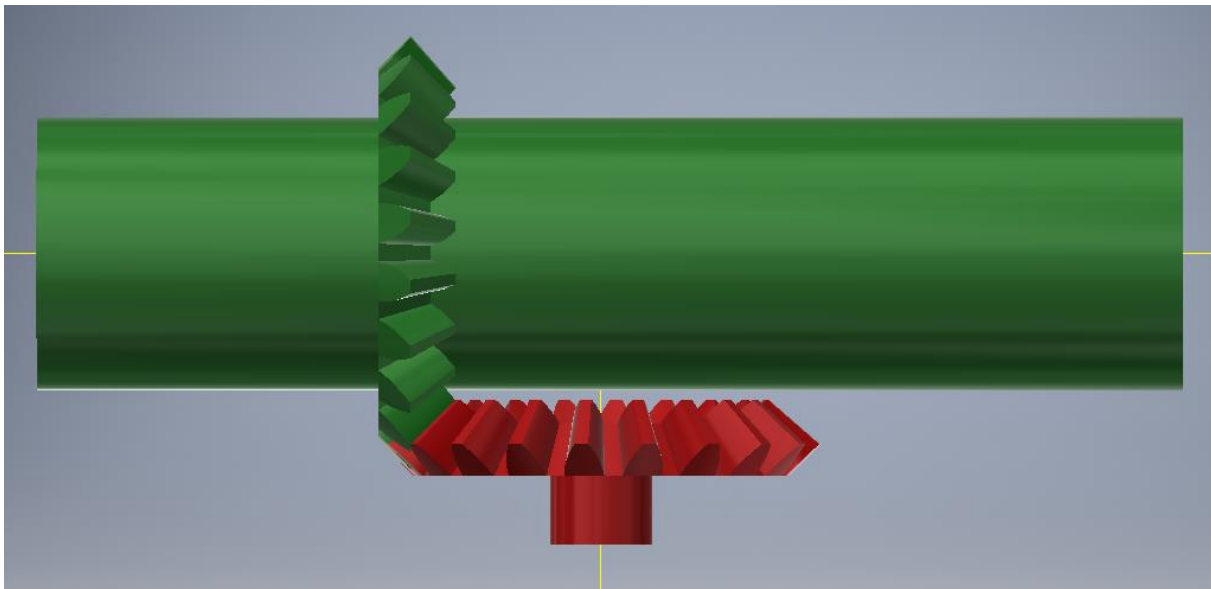
Na výstupu z těchto přídavných převodovek by následně byl jednoduchý vačkový mechanismus, který by poskytl mechanickou vazbu pro snímání havarijních a pracovních poloh. Následně pomocí například potenciometru na výstupu z převodovky by bylo možné snímat i obecnou polohu nakládacího zařízení.

### 3.3. Popis zvoleného konstrukčního řešení

#### 3.3.1. Vlastní konstrukční návrh

Konečné konstrukční řešení se skládá z kombinace varianty 2 a 3 z předchozí kapitoly.

Kuželový převod je použit jako vstupní člen do převodovky, která snímá všechny potřebné polohy. Kuželový převod má převodový poměr  $i=1$ , čímž se eliminuje zrychlení či zpomalení otáček od systému navíjení nakládacího zařízení a také nárůst velikosti kuželového převodu, což je nežádoucí z důvodu omezeného prostoru mezi lanovnicemi. Zuby ozubených kol kuželového převodu jsou rovné z důvodu větší jednoduchosti výroby. Výkresy obou ozubených kol viz příloha č. 11 a 12.



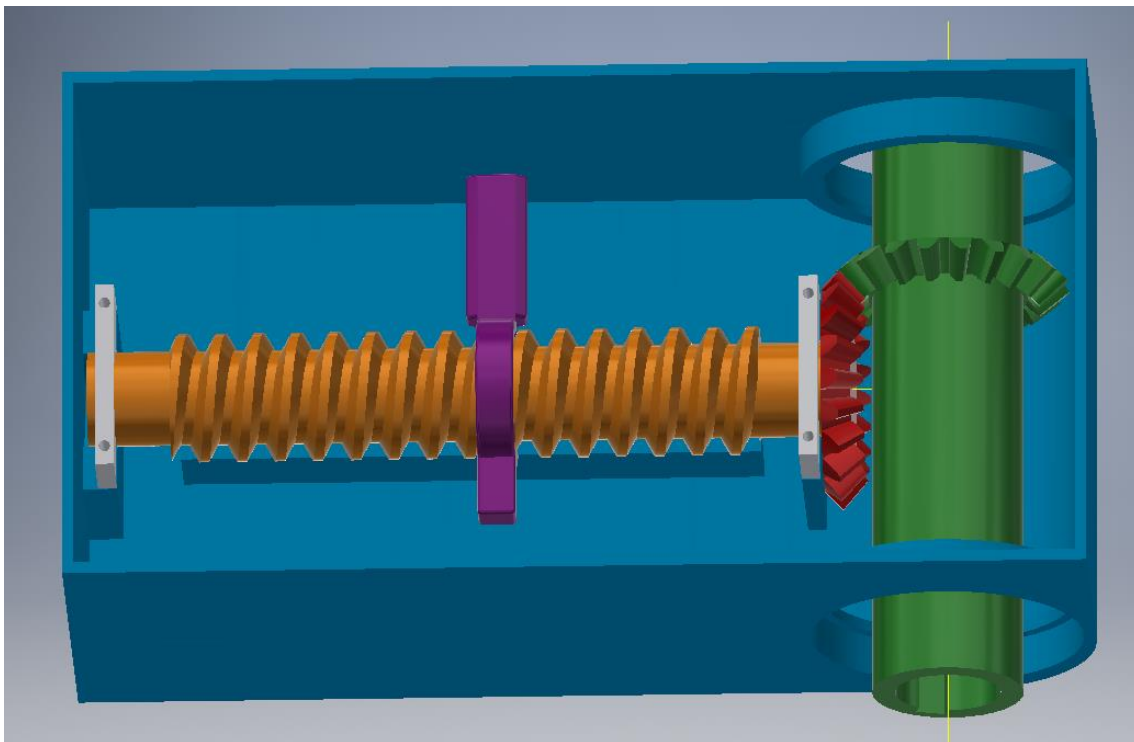
Obrázek 7 - Kuželový převod

Kuželový převod je následně napojen na pohybový šroub s maticí, jež jsou uloženy ve skříní celého mechanismu. Matice se šroubem jsou opatřeny nenormalizovaným trapézovým závitem, který je upraven tak, aby bylo snadnější tento závit vytisknout a měl optimální stoupání pro dosažení dostatečné přesnosti nastavení samotných mechanických mikropsínačů a tím dosáhnout požadovaného zdvihu. Oba konce šroubu jsou opatřeny prostorem bez závitu pro případné vyjetí matky ze závitu například z důvodu manipulace s navíjením stroje během celkové montáže nakládacího zařízení. Díky tomu je mechanismus ochráněn proti vlastní destrukci. Matice obsahuje na spodní straně výstupek, díky kterému je vedena na dně skříně, což zajišťuje transformaci otáčivého pohybu šroubu na posuvný pohyb matice. Matice také má na levé straně jazýček pro stisknutí mechanických mikropsínačů a na pravé straně výstupek pro

upevnění magnetu pro indukční snímač obecné polohy zařízení. Výkres šroubu a matice viz příloha č. 6 a 7.

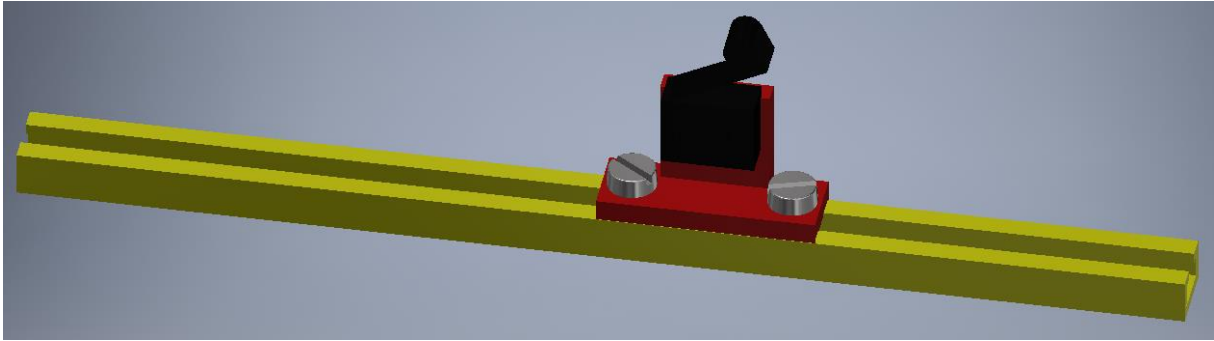
Celý mechanismu je umístěn ve skříni, která zakrývá jak mechanismus šroubu a matice, tak i kuželový převod. Skříň je vytisknuta se silou stěny 3 mm což zajišťuje dostatečnou pevnost a houževnatost na to, aby skříň odolala jak povětrnostním vlivům, tak namáhání při přenosu síly od kuželového soukolí na rám a případné nárazy a vibrace při například servisu nakládacího zařízení. Výkres skříně viz příloha č. 8.

Šroub je upevněn v přesně definovaném pouzdře, jež je tvořeno částí skříně a upevňovacího třmenu. Výkres třmenu šroubu viz příloha č. 4. Na konci šroubu je prostor pro umístění axiálního ložiska, které bude přenášet sílu vzniklou v kuželovém ozubení na skříň mechanismu.



Obrázek 8 - Mechanismus snímače upevněný ve skříni

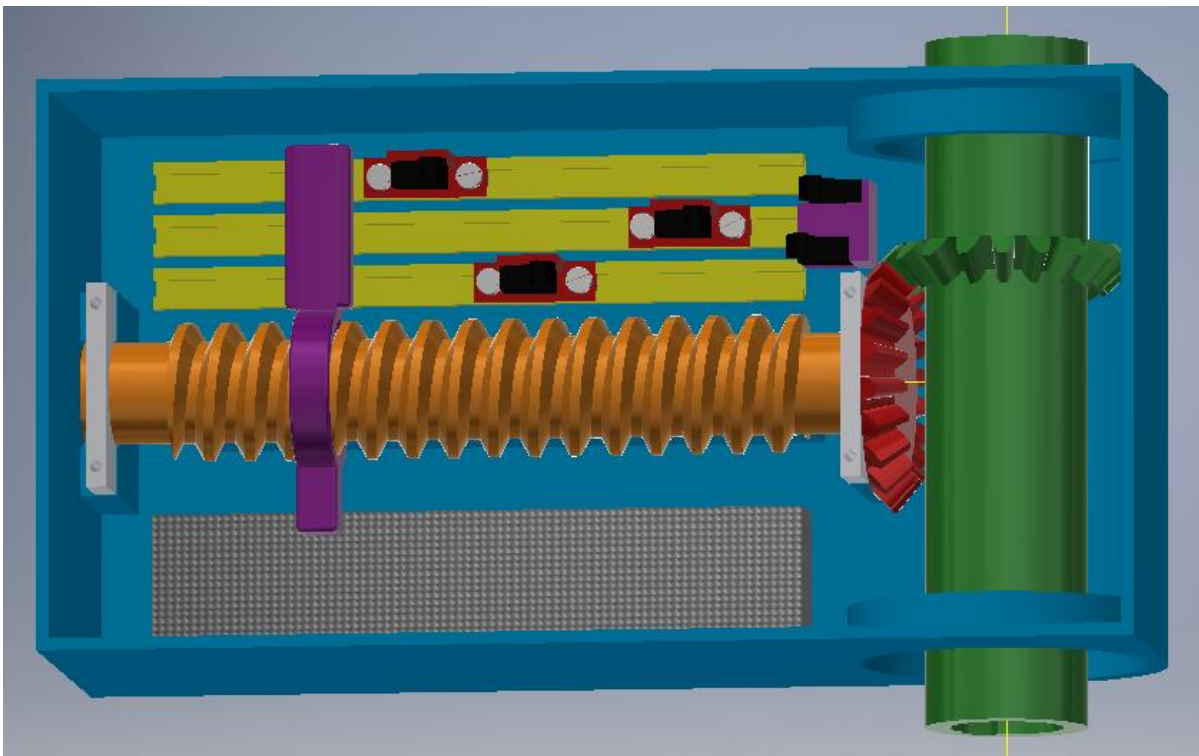
Mikrospínače jsou umístěny na dně skříně v takové vzdálenosti od jazýčku matice, aby byla zajištěna potřebná mechanická vazba pro správný pracovní chod mikrospínačů. Mikrospínače horní havarijní a pracovní polohy jsou umístěny v přesně definovaném místě ve skříni pomocí adaptéru snímačů horních poloh. Výkres adaptéru viz příloha č. 3. Mikrospínače výšky kupy, dolní pracovní a dolní havarijní polohy jsou umístěny v adaptérech, jež se budou pohybovat v kolejnicích připevněných na dně skříně. Tím je zajištěna možnost nastavení přesného pracovního zdvihu stroje a nastavení požadované výšky kupy. Výkres adaptéru viz příloha č. 2.



Obrázek 9 - Sestava posuvu snímače

Výkres sestavy posuvu snímače viz příloha č. 9.

Snímání obecné polohy zařízení je zajištěno lineárním indukčním snímačem, jež snímá polohu matice pomocí magnetu umístěného na pravém výstupku matice. Tento snímač vytváří analogové hodnoty, jež jsou zpracovávány systémem řízení uvnitř rozvodné skříně nakládacího zařízení.



Obrázek 10 - Sestava snímače koncových poloh

Výkres sestavy snímače koncových poloh viz příloha č. 9.



### 3.4. Předběžné pevnostní výpočty

Výhodou mechanismu je, že není určen k přenosu vysokého kroutícího momentu, ale pouze k přenosu mechanické vazby, a to je úhel natočení hřídele mechanismu navíjení nakládacího zařízení. Z toho důvodu je třeba určit pouze síly vzniklé při pohybu mechanismu snímače. Největšímu zatížení je mechanismus snímače vystaven v momentě, kdy dojde ke stisknutí mechanického mikropsínače jazýčkem matice.

Silami vzniklými při pohybu mechanismu jsou:

- Axiální síla vzniklá při záběru kuželového soukolí.
- Radiální síla vzniká při pracovním zdvihu mikropsínače.

#### 3.4.1. Axiální síla od kuželového soukolí

Axiální síla vznikající při pohybu kuželového převodu je přenášena na pohybový šroub a ten by mohl být touto silou namáhán na vzpěr. Proto je nutné spočítat takzvanou kritickou sílu.

Pro výpočet je nejprve nutné určit kvadratický modul průřezu pro pohybový šroub: [5]

$$(1) J = \frac{\pi d_1^4}{64} - \frac{\pi d_2^4}{64}$$

Kde:

- $d_1$  je malý průměr trapézového závitu šroubu,
- $d_2$  je průměr otvoru ve šroubu.

Nyní lze vypočítat kritickou sílu pro pohybový šroub: [4]

$$(2) F_{kr} = \frac{4\pi^2 EJ}{l^2}$$

Kde  $E$  je modul pružnosti v tahu a  $l$  je délka pohybového šroubu.

Následně kombinací rovnice (1) a (2) dostaneme vztah:

$$(3) F_{kr} = \frac{4\pi^2 E \frac{\pi d_1^4}{64} - \frac{\pi d_2^4}{64}}{l^2}$$

Pro splnění silové podmínky musí platit, že:

$$(4) F < F_{kr}$$

Po dosazení vztahu (3) do vztahu (4) dostaneme vztah:

$$(5) F < \frac{4\pi^2 E \frac{\pi d_1^4}{64} - \frac{\pi d_2^4}{64}}{l^2}$$

Nyní je třeba určit sílu  $F$ , která je potřeba pro zjištění, zda byla splněna silová podmínka nebo ne. Síla  $F$  vzniká v kuželovém ozubení a jedná se o axiální sílu.

Pro určení této síly je třeba určit kroutící moment, který kuželový převod přenáší. V tomto případě je přenášený kroutící moment roven třecímu momentu vznikajícímu v třecích pouzdrech pohybového šroubu.

$$(6) M = M_{\zeta}$$

Obecný vztah pro výpočet třecího momentu zní: [5]

$$(7) M_{\zeta} = F_{př} \frac{f}{\sqrt{1+f^2}} r_{\zeta}$$

Kde:

- $F_{př}$  je přítláčná síla působící na šroub,
- $f$  je součinitel tření,
- $r_{\zeta}$  je poloměr pohybového šroubu.

Přítláčná síla je v tomto případě síla vzniklá hmotností pohybového šroubu, kuželového kola a pohybové matice.

$$(8) F_{př} = (m_{\zeta} + m_k + m_m) * g$$

Kde:

- $m_{\zeta}$  je hmotnost šroubu,
- $m_k$  je hmotnost kuželového kola,
- $m_m$  je hmotnost matice.

Po dosazení vztahu (8) do vztahu (7) a zohlednění vztahu (6) získáme vztah:

$$(9) M = (m_{\zeta} + m_k + m_m) * g \frac{f}{\sqrt{1+f^2}} r_{\zeta}$$

Díky vztahu (9) nyní lze zjistit sílu  $F_t$  působící v ozubení: [6]

$$(10) F_t = \frac{2M}{d_m}$$

Kde  $d_m$  je průměr roztečné kružnice kuželového kola.

Po dosazení vztahu (9) do (10):

$$(11) F_t = \frac{2(m_s + m_k + m_m) * g \frac{f}{\sqrt{1+f^2}} r_{\check{c}}}{d_m}$$

Nyní lze vypočítat konečnou axiální sílu  $F$ , kterou bude namáhán pohybový šroub:

$$(12) F = F_t * \tan \alpha * \sin \delta$$

Po dosazení vztahu (11) do (12):

$$(13) F = \frac{2(m_s + m_k + m_m) * g \frac{f}{\sqrt{1+f^2}} r_{\check{c}}}{d_m} * \tan \alpha * \sin \delta$$

Následnou kombinací vztahu (5) a vztahu (13) dostaneme konečnou silovou podmínku:

$$\frac{2(m_s + m_k + m_m) * g \frac{f}{\sqrt{1+f^2}} r_{\check{c}}}{d_m} * \tan \alpha * \sin \delta < \frac{4\pi^2 E \frac{\pi d_1^4}{64} - \frac{\pi d_2^4}{64}}{l^2}$$

Vzhledem k vlastnostem povrchu uvnitř kluzných pouzder šroubu a použití maziva bude koeficient tření  $f$  zvolen 0,2. [7]

Hmotnost matice, šroubu a ozubeného kuželového kola je dle programu Slic3r PE přibližně 112 g.

Střední průměr ozubeného kola činí 52,929 mm. Úhel profilu zubu  $\alpha$  je 20° a úhel roztečného kužele je 45°.

Vnější průměr šroubu je 25 mm a vnitřní průměr je 15 mm. Délka šroubu činí 194 mm.

Modul pružnosti v tahu pro zvolený materiál je 2,206 GPa.

Po dosazení všech těchto hodnot dostáváme:

$$\frac{2(0,112) * 9,81 \frac{0,2}{\sqrt{1 + 0,2^2}} \frac{0,025}{2}}{52,929} * \tan 20 * \sin 45 < \frac{4\pi^2 2206000000 \frac{\pi 0,025^4}{64} - \frac{\pi 0,015^4}{64}}{0,194^2}$$

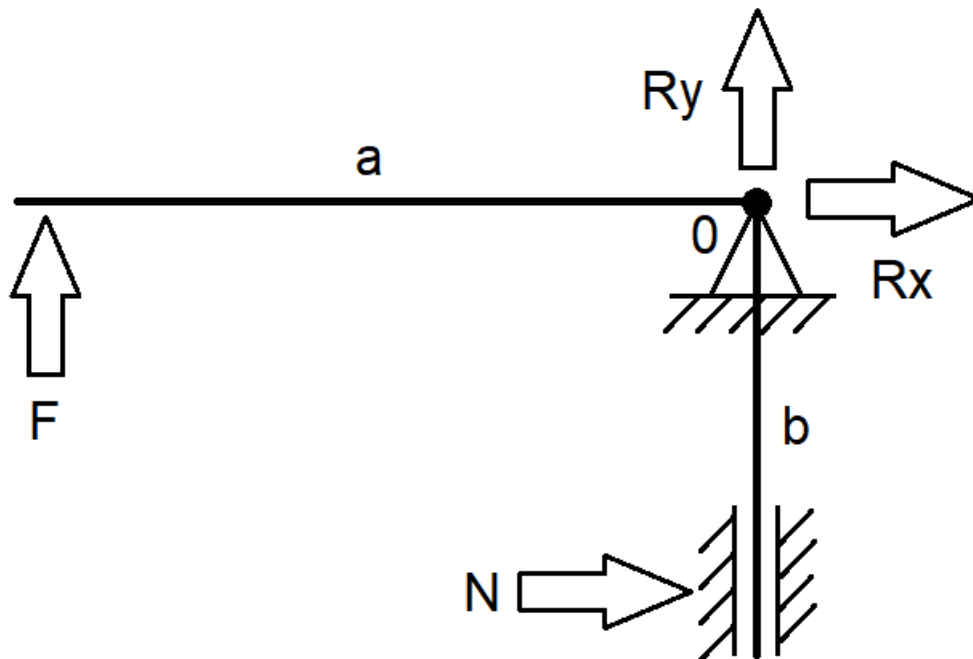
$$0,0000261N < 0,0001103N$$

Podmínka tedy byla splněna a šroub není kriticky nebo nadkriticky namáhán na vzpěr.

### 3.4.2. Radiální síla od mikropsínače

V momentě stisku mechanického mikropsínače jazýčkem matice vzniká síla  $F$  ve vzdálenosti  $a$  od středu závitu matice, kterou je samotná matice namáhána. Tato síla  $F$  je díky rotačnímu uložení matice na šroubu transformována na kroutící moment. Reakcí, která působí proti tomuto kroutícímu momentu je síla  $N$  vznikající ve vedení matice.

Kvůli komplexnímu tvaru matice je celá součást zjednodušena na nosník ve tvaru L, jež je v bodě 0 rotačně uloženo. V tomto bodě se také nacházejí reakční síly  $R_y$  a  $R_x$ . Ve vzdálenosti  $b$  od bodu 0 se nachází posuvné uložení, ve kterém působí normálová síla  $N$ . Poslední silou působící na tento nosník je síla  $F$  od mechanického mikropsínače ve vzdálenosti  $a$  od bodu 0.



Obrázek 11 - Schéma namáhání matice

Podmínky rovnováhy pro tento nosník jsou určeny takto:

$$(1) x: R_x + N = 0$$

$$(2) y: R_y + F = 0$$

$$(3) M_{(0)}: F * a - N * b = 0$$

Z rovnice (3) lze určit normálovou reakci N:

$$F * a - N * b = 0$$

$$(5) N * b = F * a$$

$$(4) N = \frac{F * a}{b}$$

Následně lze požit rovnici (4) a po dosazení do rovnice (1) získáme reakci Rx:

$$R_x + \frac{F * a}{b} = 0$$

$$R_x = -\frac{F * a}{b}$$

Poslední potřebnou reakcí je reakce Ry. Tu lze získat z rovnice (2):

$$R_y + F = 0$$

$$R_y = -F$$

Ze schématu nosníku je patrné, že je namáhán na ohyb silou F na rameni a, a reakční silou N na rameni b. Díky rovnici (5) není třeba počítat napětí v ohybu pro každé rameno zvlášť, ale bude spočítáno napětí v ohybu pouze pro jedno z ramen. Napětí jsou si rovna. Pro platnost této myšlenky je třeba říci, že průřezové moduly v ohybu pro obě dvě ramena se sobě rovnají (ramena mají stejné rozměry v průřezu a orientace těchto průřezů je stejná).

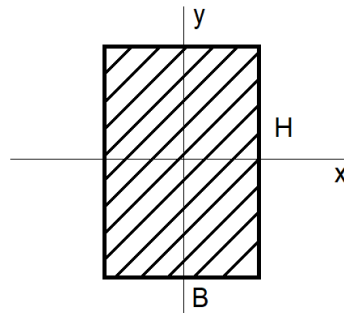
Stanovení maximálního ohybového momentu  $M_{max}$ :

$$M_{o MAX} = F * a$$

Stanovení modulu průřezu v ohybu: [5]

$$(7) W_{ox} = \frac{b * h^2}{6}$$

$$(8) W_{oy} = \frac{h * b^2}{6}$$



V případě daného nosníku platí:

$$(6) B = H = a$$

Obrázek 12 - Schéma pro stanovení modulu průřezu

Jedná se tedy o čtvercový průřez.

Po uvážení rovnice (6) lze rovnice (7) a (8) upravit takto:

$$W_{ox} = W_{oy} = W_o$$

$$W_o = \frac{b * h^2}{6} = \frac{h * b^2}{6} = \frac{a^3}{6}$$

Obecný vztah pro stanovení napětí v ohybu zní takto:

$$\sigma_o = \frac{M_o MAX}{W_o}$$

Po dosazení ohybového momentu a modulu průřezu v ohybu získáme tento vztah:

$$\sigma_o = \frac{F * a}{\frac{a^3}{6}} = F * a * \left(\frac{a^3}{6}\right)^{-1} = \frac{6 * F * a}{a^3}$$

$$(9) \sigma_o = \frac{6 * F}{a^2}$$

Dalším krokem je stanovení maximálního dovoleného napětí pro zvolený materiál PET – G:

$$(10) \sigma_d = \frac{R_m}{k}$$

Kde k je úroveň bezpečnosti.

Pro splnění pevnostní podmínky musí platit, že:

$$\sigma_o \leq \sigma_d$$

Po dosazení vztahu (9) a (10) musí tedy platit:

$$\frac{6 * F}{a^2} \leq \frac{R_m}{k}$$

- Bezpečnost  $k$  bude zvolena 1,5.
- Pevnost v ohybu  $R_m$  pro tento materiál činí 0,0772 GPa.
- Rozměr  $a$  se rovná 10 mm.
- Síla  $F$  je dle dat výrobce přibližně 3 N.

Při dosazování budou všechny hodnoty dosazeny v základních jednotkách

$$\frac{6 * 3}{0,01^2} \leq \frac{77200000}{1,5}$$

$$(11) 180000 Pa \leq 51466666 Pa$$

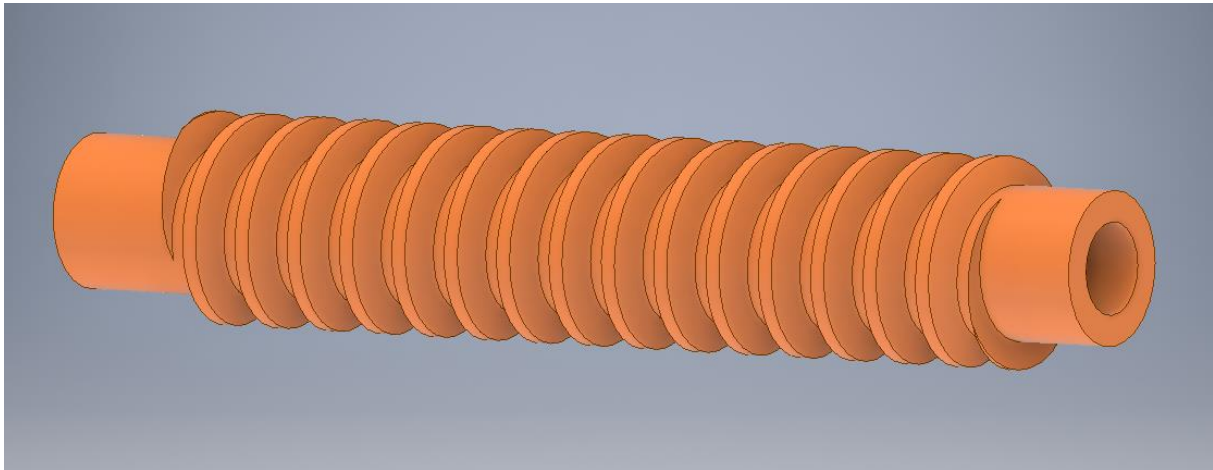
Z rovnice (11) vyplývá, že pevnostní podmínka byla splněna.

### 3.5. Pevnostní analýza programem CAD

Celý snímač poloh včetně pevnostních analýz je vypracován programem CAD jménem Autodesk Inventor profesional 2018 Student Edition. Jedná se o jednoduché statické analýzy. Stupeň deformace je zvětšen pro lepší představu způsobu deformace součásti při zatížení.

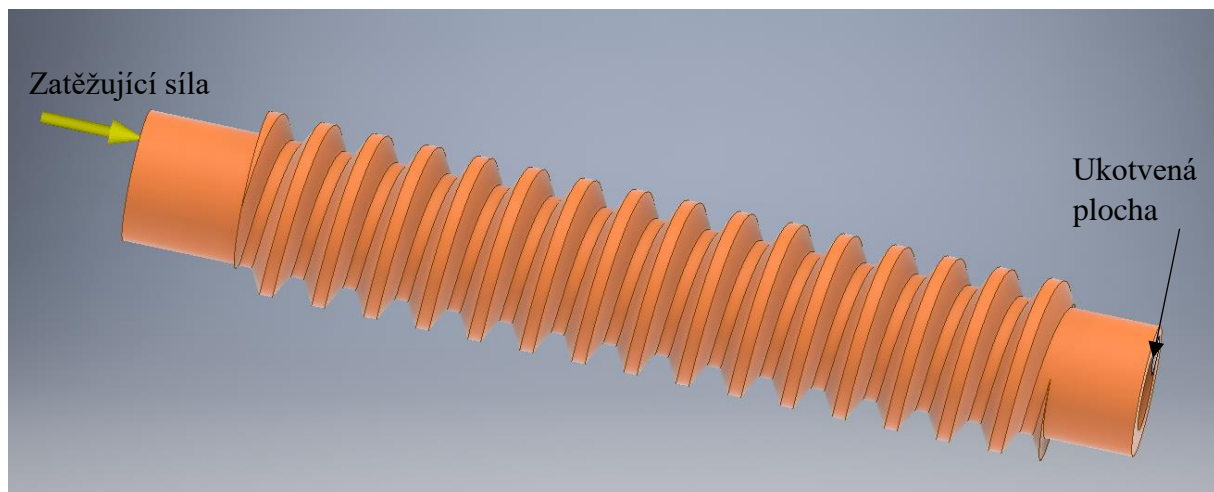
#### 3.5.1. Pohybový šroub

Pohybový šroub je namáhán tlakem od síly vznikající pohybem kuželového soukolí.



Obrázek 13 - Šroub

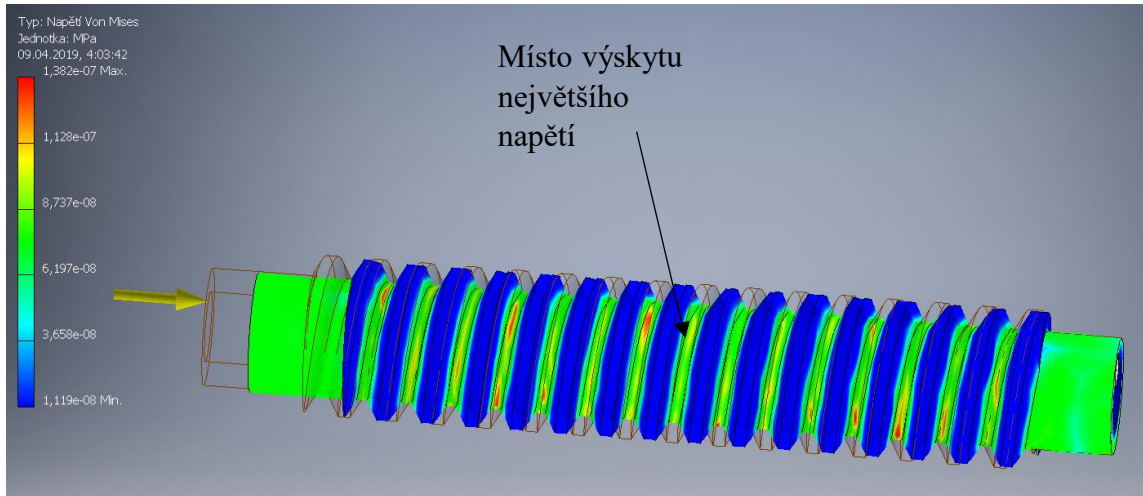
V předešlé kapitole byla tato síla určena na velikost 0,0000261 N. Šroub je tedy na jednom konci tlakově zatížen touto silou a na druhém konci pevně uchycen (bude odebráno všech 6 stupňů volnosti).



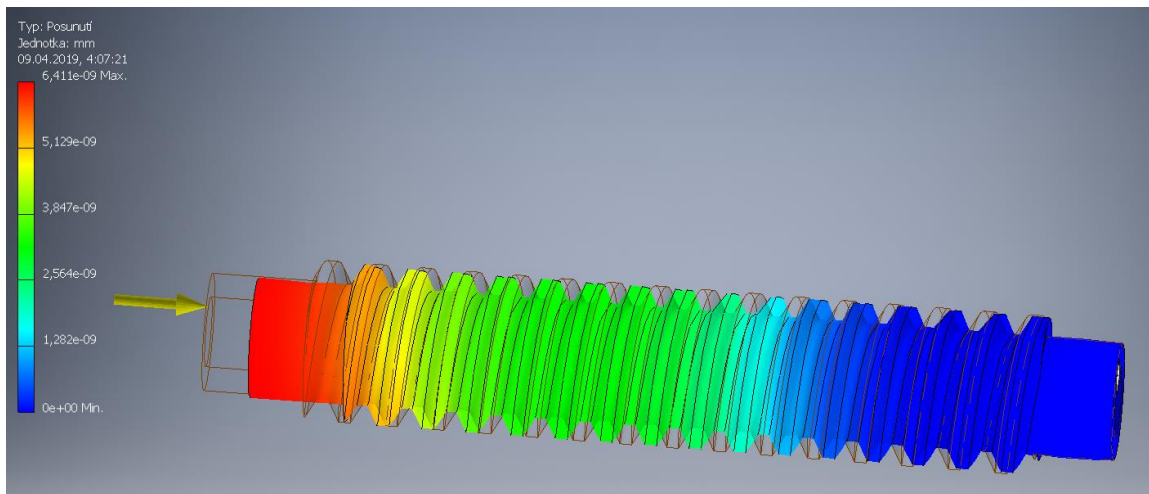
Obrázek 14 – Zatížení šroubu



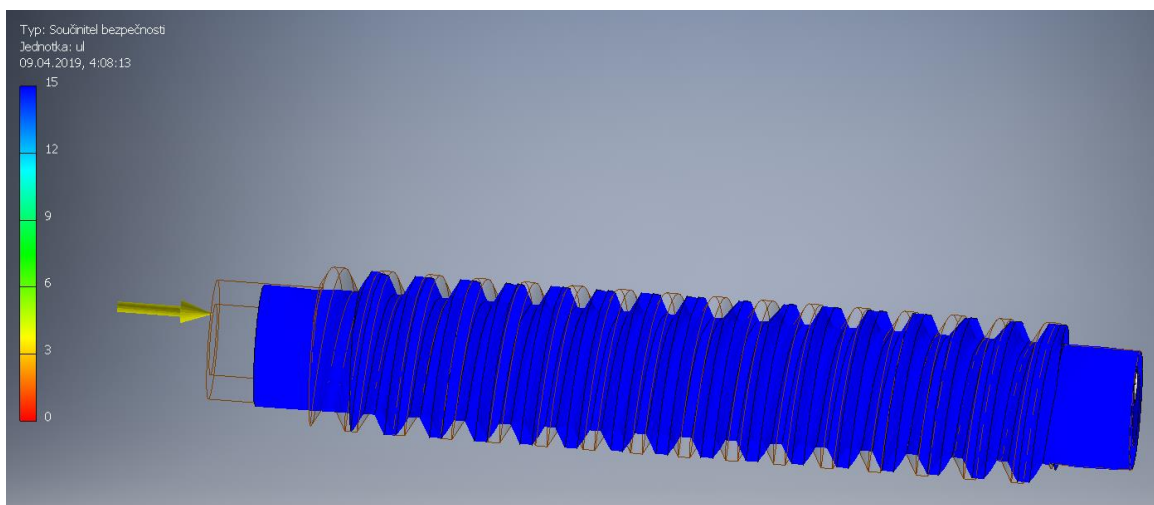
Po provedení analýzy vypadají výsledky takto:



Obrázek 15 – Výsledky pevnostní analýzy šroubu: Napětí Von Mises



Obrázek 16 - Výsledky pevnostní analýzy šroubu: Posunutí



Obrázek 17 - Výsledky pevnostní analýzy šroubu: Součinitel bezpečnosti

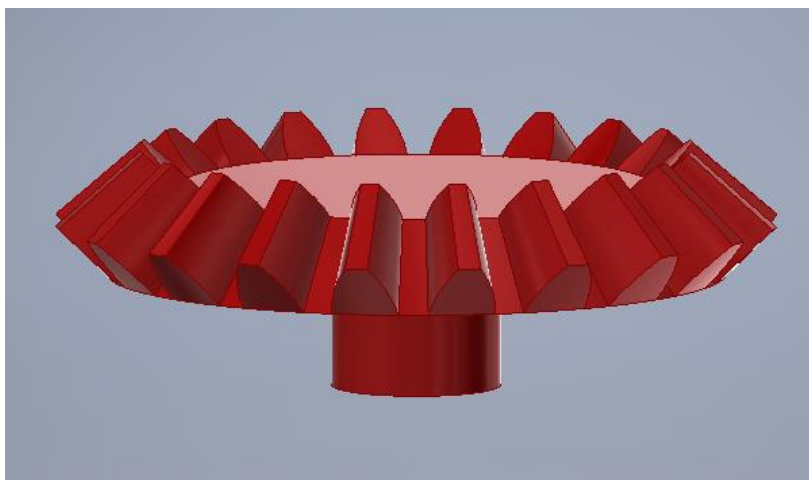
Tabulka 1 - Výsledky pevnostní analýzy šroubu

Maximální napětí	$1,382 * 10^{-7}$ MPa
Maximální posunutí	$6,411 * 10^{-9}$ mm
Minimální koef. bezpečnosti	15

Dle výsledků analýzy lze usoudit, že síla zatěžující šroub na tlak je téměř zanedbatelná. Vzniklé maximální napětí se nijak výrazně nepřibližuje mezi pevnosti v tlaku pro daný materiál a vzniklé posunutí nijak neovlivní chod celého mechanismu. Vzniklý koeficient bezpečnosti také zaručuje dlouhou životnosti šroubu při namáhání tlakem.

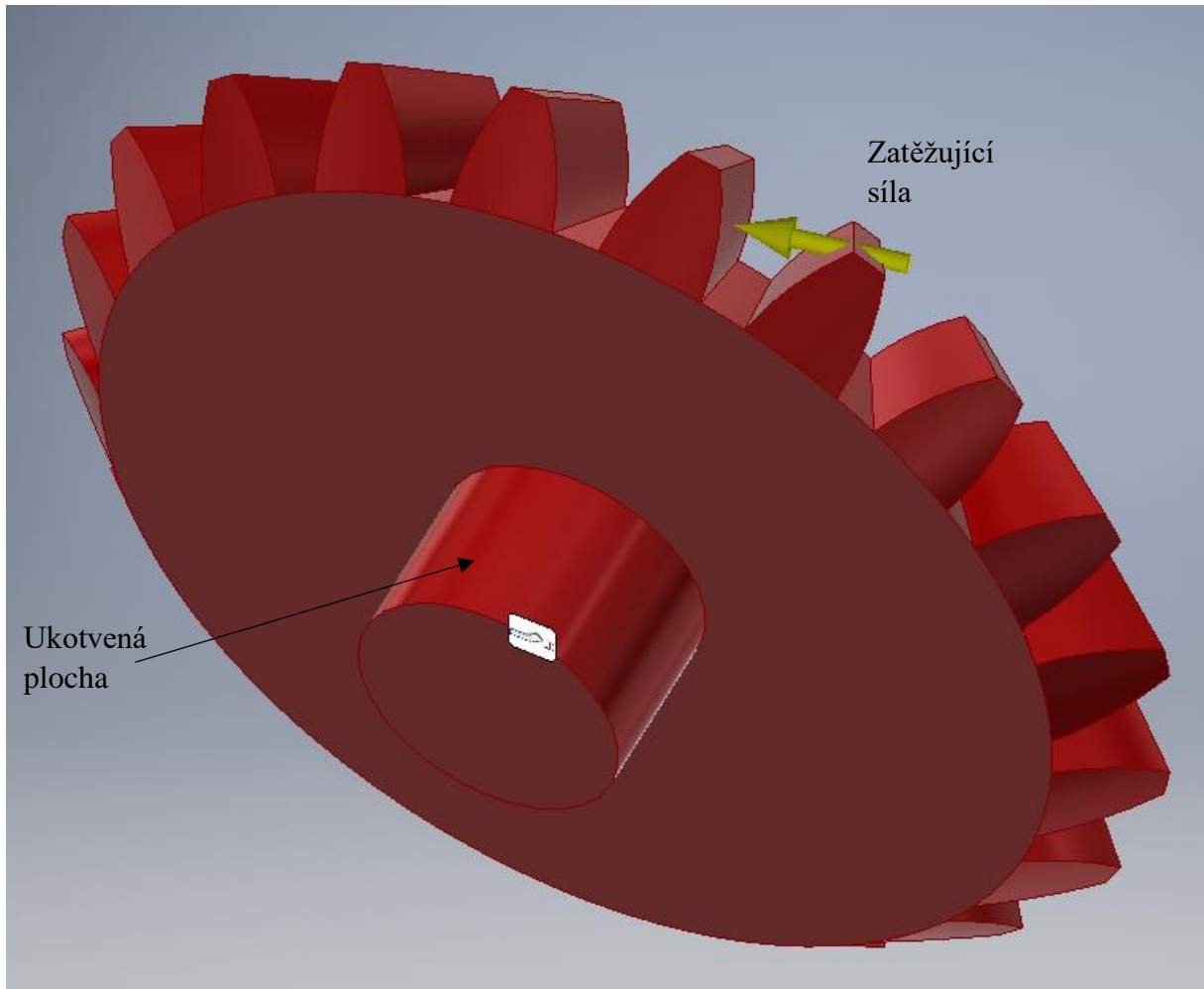
### 3.5.2. Ozubené kuželové kolo

Ozubené kuželové kolo s přímými zuby je namáháno na boky zubů tlakovou silou vzniklou transformací odporového kroutícího momentu vznikajícímu v kluzných pouzdrech pohybového šroubu. Protože jsou obě ozubená kuželová kola téměř stejná, bude statická analýza použita pouze na jedno z nich.



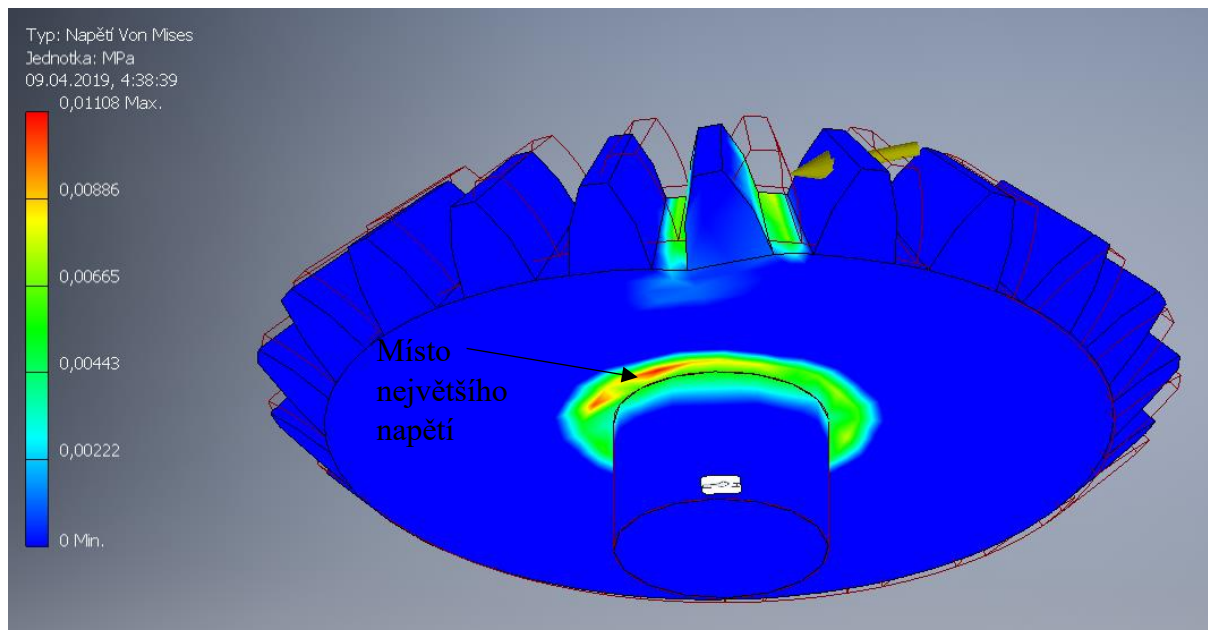
Obrázek 18 - Kuželové kolo

Zatěžující síla je rovna 0,102 N. Síla je aplikována pouze na jeden bok zubu, protože se jedná o kuželové ozubené kolo s rovnými zuby, tedy při pohybu dochází k přenosu síly v každém okamžiku pouze přes jeden zub. Kolo je upevněno za centrovací čep, kde je zachyceno všech šest stupňů volnosti.

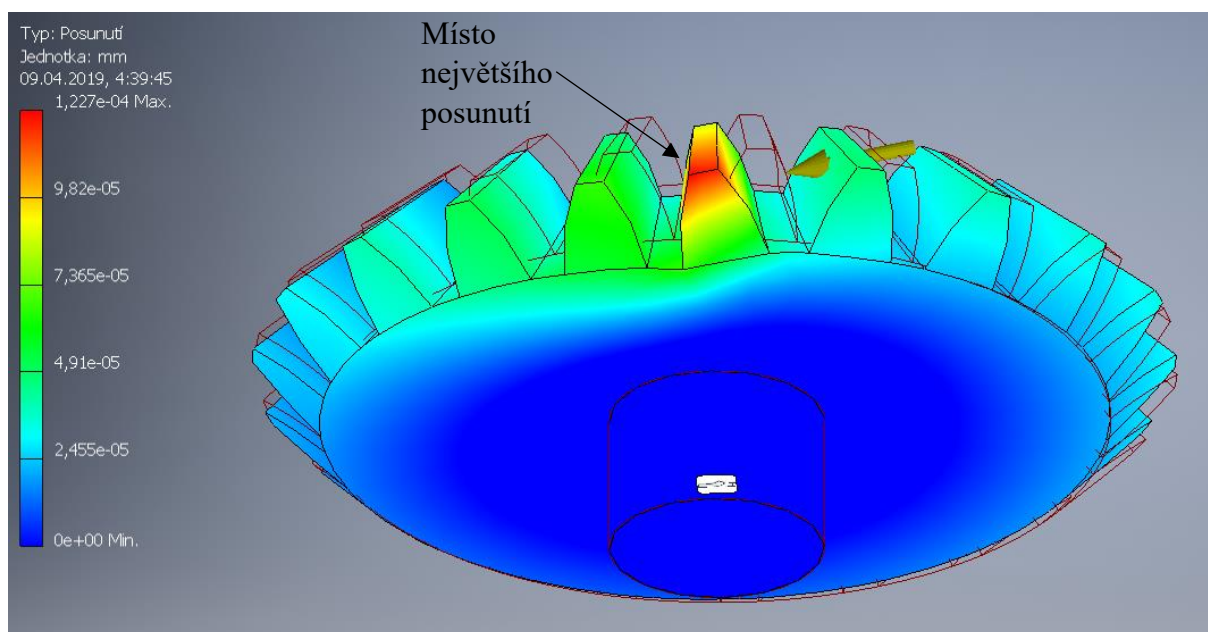


Obrázek 19 - Zatížení kuželového kola

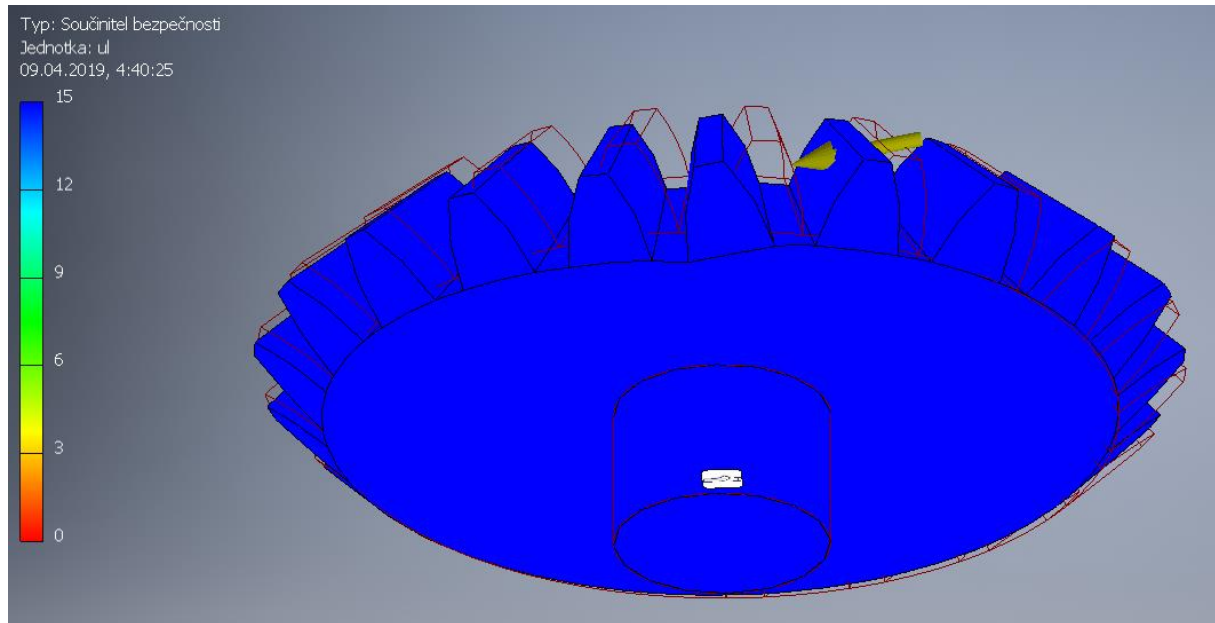
Po provedení analýzy vypadají výsledky takto:



Obrázek 20 - Výsledky pevnostní analýzy kuželového kola: Napětí Von Mises



Obrázek 21 - Výsledky pevnostní analýzy kuželového kola: Posunutí



Obrázek 22 - Výsledky pevnostní analýzy kuželového kola: Součinitel bezpečnosti

Tabulka 2 - Výsledky pevnostní analýzy kuželového kola

Maximální napětí	0,011 MPa
Maximální posunutí	$1,227 * 10^{-4}$ mm
Minimální koef. bezpečnosti	15

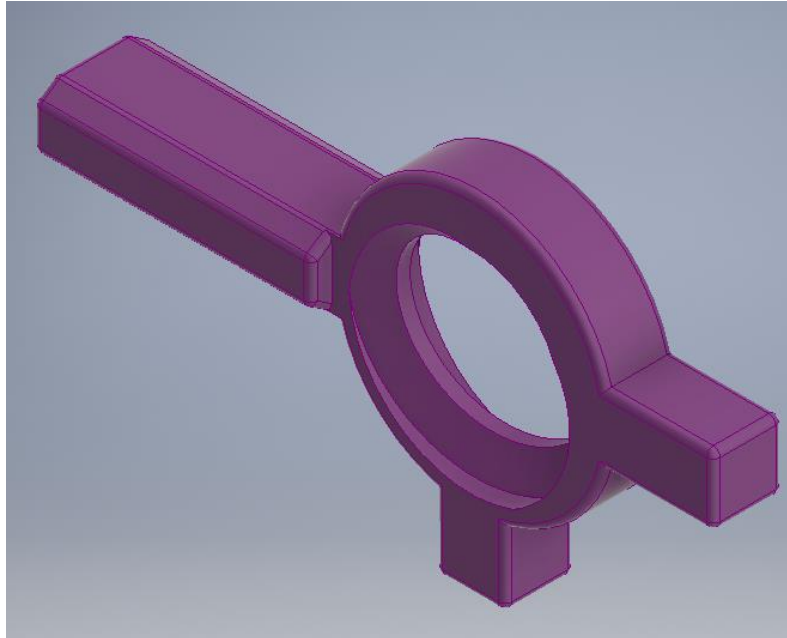
I v případě ozubeného kuželového kola nedošlo k nijak významně velkému namáhání, které by ovlivnilo chod nebo životnost celého mechanismu.

Místo největšího napětí lze eliminovat zaoblením ostré hrany mezi středícím kolíkem a zadní plochou ozubeného kuželového kola.

Při použití šikmého ozubení by dále došlo nejen k větší plynulosti rotačního pohybu výstupního ozubeného kola, ale také k záběru alespoň 2 zubů v určitý moment a tím zvýšení životnosti převodu.

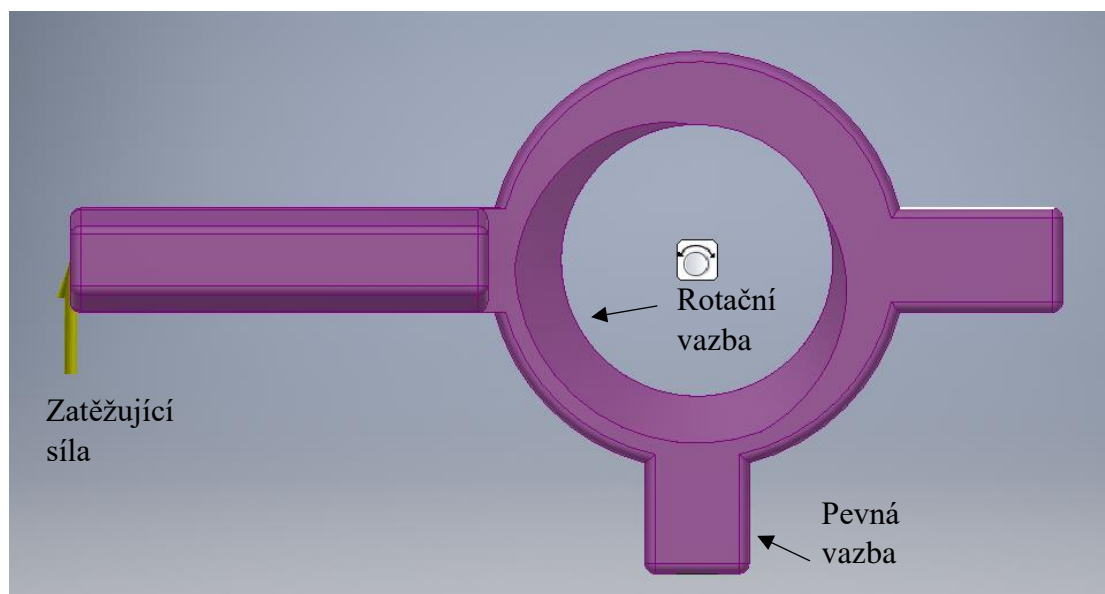
### 3.5.3. Matice

Pohybová matice je namáhána silou vzniklou při pracovním zdvihu mechanického snímače polohy, tedy při jeho stisku. Touto silou je namáhán jazýček matice opatřený zkosením pro lepší náběh ramena snímače.



Obrázek 23 - Matice

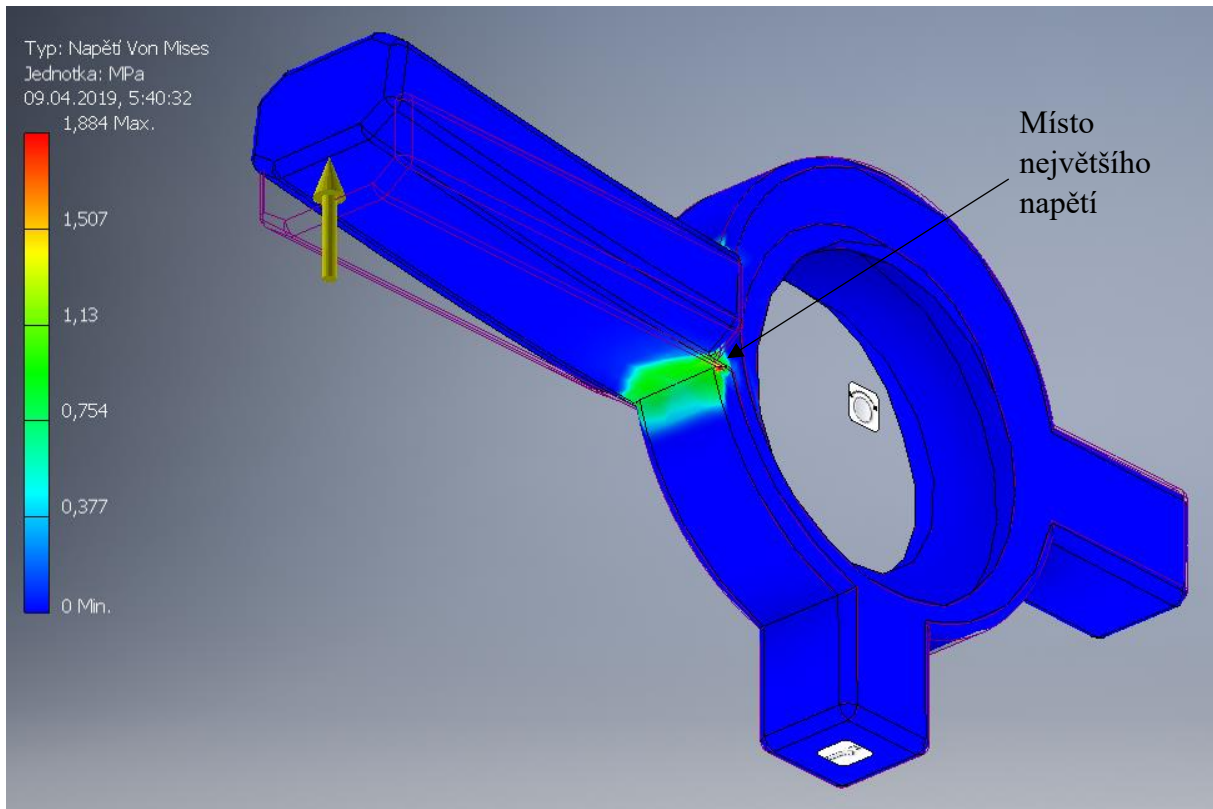
Pro nasimulování co nejhorsích podmínek při zatížení matice je zatěžující síla 3 N umístěna až na konec jazýčku. Zároveň je matice za malý průměr závitu ukotvena rotačně a za spodní plochu vedení ukotvena pevně. Tímto se docílí zachycení všech šesti stupňů volnosti a nasimulování reálného namáhání matice.



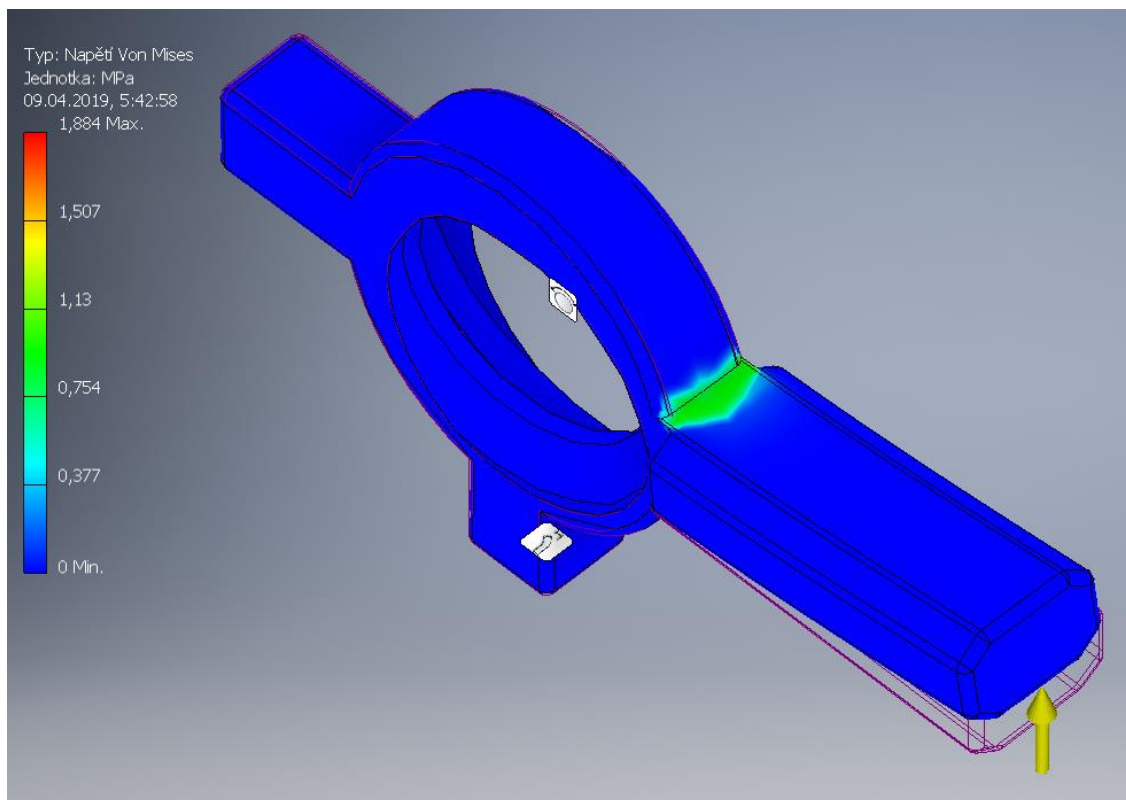
Obrázek 24 - Zatížení matice



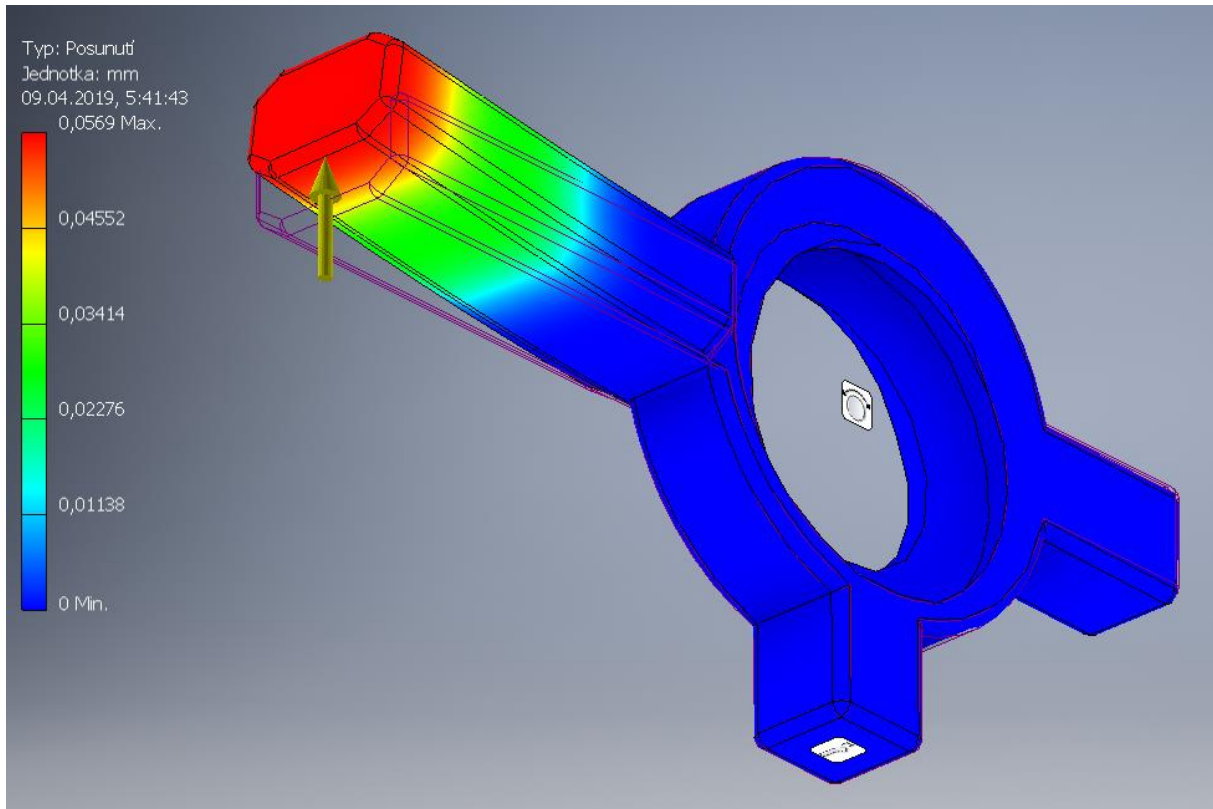
Po provedení analýzy vypadají výsledky takto:



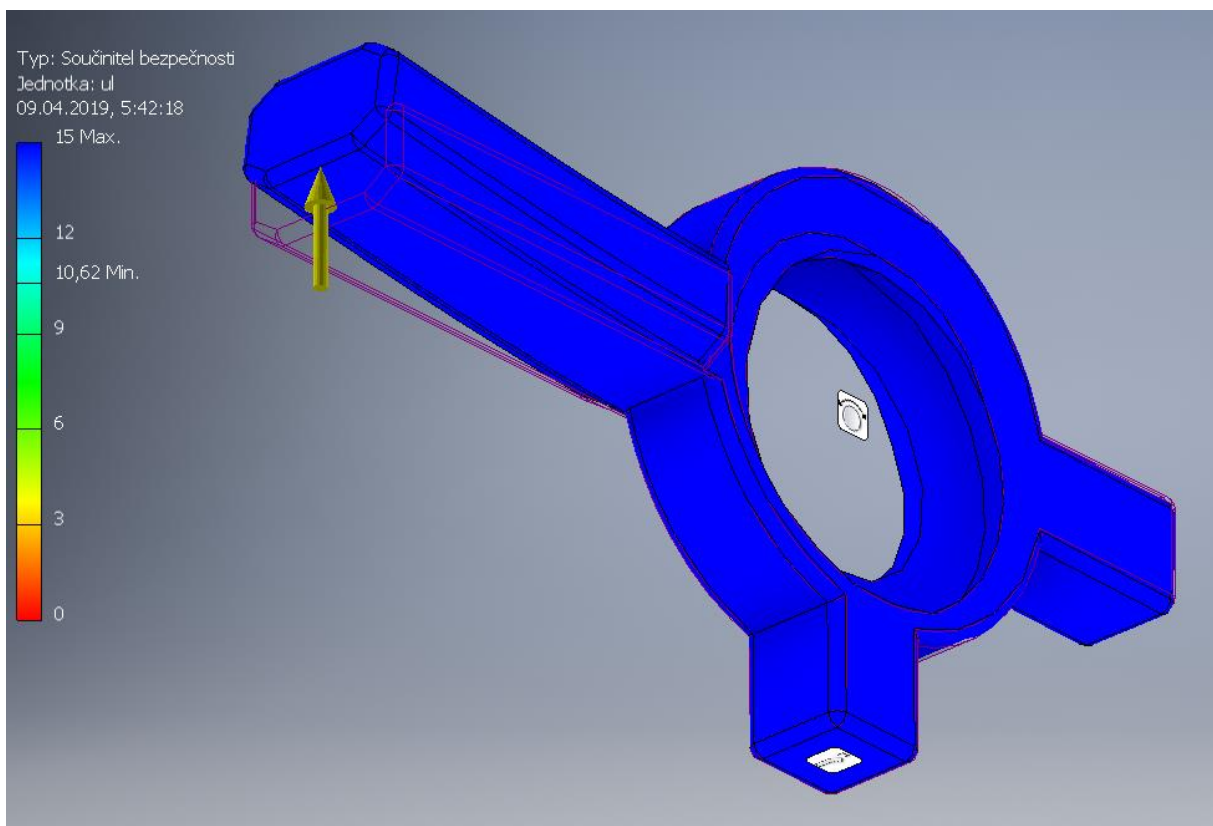
Obrázek 25 - Výsledky pevnostní analýzy matice: Napětí Von Mises



Obrázek 26 - Výsledky pevnostní analýzy matice: Napětí Von Mises – pohled shora



Obrázek 27 - Výsledky pevnostní analýzy matice: Posunutí



Obrázek 28 - Výsledky pevnostní analýzy matice: součinitel bezpečnosti



Tabulka 3 - Výsledky pevnostní analýzy matice

Maximální napětí	1,884 MPa
Maximální posunutí	0,057 mm
Minimální koef. bezpečnosti	10,62

Matice je ze všech tří zkoumaných součástí tou nejvíce namáhanou. Maximální napětí zde činí 1,884 MPa. Tuto skutečnost má na svědomí vznikající kroutící moment od zatěžující síly. I přes to je dosažený koeficient bezpečnosti 10,62 naprosto dostačující pro dlouhodobou životnost celého mechanismu.

Při pohledu na místo působení maximálního napětí by bylo vhodné zaoblit všechny hrany v okolí jazýčku tak, aby se síla nekoncentrovala v rozích, ale rovnoměrně se rozložila.

### 3.6. Nastavení tiskových vlastností

Pro tisk všech součástí byla zvolena tiskárna Prusa MK3 od firmy Prusa Research, která svými schopnostmi naprosto dostačuje potřebným rozměrovým přesnostem všech součástí snímače.

Pro tisk byla použita standartní tryska dodávaná s touto tiskárnou, to je tryska o průměru 0,4mm. Díky zvolenému materiálu není třeba udržovat stálou teplotu okolního prostředí během tisku, tudíž tiskárna nemusí být umístěna v boxu s kontrolovanou teplotou.

Teplota trysky pro první vrstvu byla na základě zvoleného materiálu nastavena na 235 °C a po vytištění prvních třech vrstev byla snížena na 230°C. Teplota podložky je pro všechny vrstvy zvolena 75°C.

Pro vytvoření tiskového souboru ve formátu .gcode byl použit program doporučovaný výrobcem tiskárny a to Slic3r PE. Tento program obsahuje již přednastavené funkce a tiskové módy přímo pro daný typ tiskárny.

Vlastnosti tisku budou nastavovány dle konkrétní součásti na základní přednastavení od výrobce, a to na módy DETAIL MK3 s výškou vrstvy 0,05mm, NORMAL MK3 s výškou vrstvy 0,1mm a FAST MK3 s výškou vrstvy 0,2mm. Výplň součástí snímače koncových poloh bude nastaven na tvar čtverců a vyplnění proběhne na 30 až 40 procent v závislosti na konkrétní součásti. Více namáhané součásti budou vyplněny větším množstvím materiálu.

Tisk bude probíhat na magnetickou podložku, která bude pouze odmaštěna technickým benzínem před zahájením zahřívání podložky.

### 3.7. Popis zvoleného materiálu pro 3D tisk

Pro tisk částí vlastního mechanismu je důležité zvolit takový materiál, který má dobrou odolnost vůči abrazi, dostatečnou houževnatost, aby odolal silám vzniklým při pohybu mechanismu a aby nekřehnul při nízkých teplotách, při kterých v některých případech nakládací zařízení pracuje.

Polyethylentereftalát (PET) je nejvíce běžně používaný plast na světě – láhve, oděvní vlákna, nádoby a obaly na potraviny. PET-G je upravená verze PET. "G" znamená "modifikovaný glykol", který se přidává k materiálové kompozici během polymerace. Výsledkem je vlákno, které je jasnější, méně křehké a snadněji se používá než jeho základní forma PET (PETG je vysoce odolný proti nárazu na rozdíl od PET). V chemii se

tento materiál označuje jako

(polyethylentereftalát - 1,4cyklohexylendimethylentereftalát). [8]

PETG vlákno kombinuje vlastnosti materiálů ABS (silnější, odolnější teplotám, odolnější) a PLA (snadný tisk). Adheze mezi vrstvami je obvykle vynikající, riziko zkroucení nebo výrazného smrštění není tak velké a výhodou je, že jej lze recyklovat. Mnoho výrobců a uživatelů se shoduje na tom, že nejde o nejjednodušší materiál pro tisk. [8]

Mnou zvolený materiál PET-G je také dobrým kompromisem mezi abrazivzdorností a houževnatostí. Tento materiál se navíc vyznačuje v porovnání s běžnými materiály pro 3D tisk velmi nízkou teplotou křehnutí, přibližně  $-40^{\circ}\text{C}$  v závislosti na výrobci daného materiálu.

Materiál pro samotnou skříň mechanismu je zvolen PET. Tento materiál má v porovnání s PET-G má sice celkově horší mechanické vlastnosti, ale na skříň nejsou kladeny tak vysoké nároky jako na mechanismus. V tomto případě musí skříň pouze přenášet síly vzniklé uvnitř mechanismu na rám nakládacího zařízení a zakrývat mechanismus před povětrnostními vlivy, případně pádem malého úlomku přepravovaného materiálu.

Další nespornou předností materiálu PET a PET-G je zdravotní nezávadnost. Někteří výrobci dodávají své tiskové filamenty i s certifikací, díky které lze materiál použít ve zdravotnickém a potravinářském průmyslu. Díky tomu není nutno omezit použití tohoto snímače koncových poloh pouze pro těžký průmysl ale také na potravinářský průmysl například při nakládce mouky a podobně.

V následující tabulce jsou shrnuty mechanické vlastnosti ve srovnání s materiály ABS a PVC. [8] [9]

Tabulka 4 - Srovnání materiálů PET-G, ABS a PVC

	Pevnost v tahu [GPa]	Modul pružnosti v tahu [GPa]	Pevnost v ohybu [GPa]	Modul pružnosti v ohybu [GPa]	Vrubová houževnatost [J/cm]	Tvrdost Rockwell
PET-G	0,053	2,206	0,077	2,137	0,909	108
ABS	0,042	2,137	0,072	2,344	4,117	94
PVC	0,051	2,833	0,088	3,316	0,427	-

## **3.8. Tisk součástí**

### **3.8.1. Matice**

U pohybové matice jsou dvě hlavní možnosti tisku.

První možností je matici rozdělit v rovině symetrie jazýčku pro stisk mikrosplínačů, která je zároveň rovnoběžná s osou závitu a tisk provést vertikálně tak, aby se průřez v průběhu tisku postupně uzavíral. Tento postup by minimalizoval nebo úplně eliminoval použití podpor při tisku, ale bylo by potřeba speciálního přípravku při spojování obou polovin matice. Tento spoj by také narušil celkovou pevnost součásti a vnesl by do ní nepřesnost, která je v případě závitu značným negativem.

Výhodnější je matici tisknout na jejím boku. Tento postup vyžaduje použití podpor. Této možnosti také přispívá trapézový závit vytvořený pro použitý šroubový převod, který umožňuje jeho snadný tisk ve vertikální poloze. Po začištění výtisku navíc vzniklá hrubá plocha nijak neovlivňuje funkčnost a životnost celého mechanismu.

Protože se jedná o součást mechanismu snímače bude pro dosažení co nejmenší drsnosti povrchu a přesnosti tvaru zvolen mód DETAIL MK3 a výplň bude nastavena na 40 %.

### **3.8.2. Šroub**

Stejně jako v případě pohybové matice má i pohybový šroub dvě hlavní možnosti tisku.

První možností je šroub rozdělit v rovině symetrie a tisknout jej na dvě poloviny, které budou poté slepeny dohromady. Stejně jako v případě pohybové matice je zde ale problém s přesností lepení a s narušením celkové pevnosti šroubu.

Výhodnější tedy je šroub tisknout ve vertikální poloze. Kvůli malé ploše první vrstvy výtisku je potřeba v softwaru Slic3r PE nastavit takzvaný brimm, který zvětší plochu první vrstvy a zajistí tím stabilitu výtisku a zamezí odlepení první vrstvy, což by znamenalo nezdar tisku. Vzhledem k výšce šroubu je třeba brimm nastavit alespoň 10mm od vnějšího perimetru první vrstvy. Také je potřeba použít podpory pod první vrstvou závitu tak, aby nedošlo ke špatnému vytištění a deformaci tvaru závitu.

Šroub je další klíčovou součástí mechanismu, a proto jako v případě matice bude nastaven mód DETAIL MK3 a výplň 40 % pro dosažení větší pevnosti součásti.

### **3.8.3. Ozubené soukolí**

Obě ozubená kola je třeba tisknout vertikálně tak, aby zuby směřovali vzhůru. Touto orientací je zajištěna dostatečná tvarová přesnost zubů a nižší drsnost povrchu zubů. Tím je zajištěna co největší životnost kuželového soukolí. Při této orientaci je třeba použít podpory na spodní straně ozubeného kola, které však nijak neovlivní celkový chod a životnost mechanismu.

Pro co nejmenší drsnost povrchu zubu je nastaven mód DETAIL MK3. Protože v ozubeném soukolí dochází k vyššímu tření je zvýšen počet perimetrů na 4 a pro snížení tiskového času je snížena výplň na 35 %.

### **3.8.4. Třmeny šroubu**

Třmeny šroubu jsou poměrně jednoduché součásti a nevyžadují nijak náročnou přípravu na tisk. Součásti jsou tištěny horizontálně bez žádných podpor. Otvory pro šrouby jsou bez podpor vytištěny s dostatečnou přesností pro protažení šroubu při sestavování mechanismu snímače.

Třmeny šroubu není třeba tisknout ve vysoké kvalitě, a proto bude pro jejich tisk nastaven mód FAST MK3 a výplň 30 %.

### **3.8.5. Skříň snímače**

V případě skříně snímače je tisk také celkově nenáročný. Jediným problémem při použití tiskárny prusa MK3 je velikost tiskové plochy. Rozměry skříně jsou větší než tisková plocha a tím pádem bude třeba skříň rozdělit na dvě části a vytisknou obě poloviny zvlášť. Obě poloviny skříně jsou tištěny ve vertikální poloze a následně slepeny modelářským lepidlem.

Pro zajištění dostatečné rozměrové přesnosti a eliminaci borcení stěn skříně během tisku je nastaven mód NORMAL MK3 a pro snížení času tisku je nastavena výplň na 30 %.

### 3.9. Montáž a nastavení snímače poloh

Prvním krokem při montáži je příprava obalu snímače. Příprava spočívá ve vlepení kolejnic a držáku snímačů horní pracovní a havarijní polohy na předem určené místo v obalu snímače pomocí lepidla na plastové součástky. Dále vložení adaptérů pro mechanické snímače do kolejnic a také obecného snímače polohy na specifické místo v obalu. Posledním přípravným krokem je vložení samotných mechanických snímačů na svá místa.

Montáž snímače koncových poloh začíná vložением vstupního členu, kuželového kola, do obalu snímače a vložení dvou těsnících kroužků do určených pozic. Dále se kuželové kolo nasune na hřídel vrátku tak, aby se opřelo o prostřední lanovnici. Kuželové kolo se při dalším skládání vrátku zajistí proti pohybu pomocí třetí lanovnice. Po složení celého vrátku se částečně složený snímač připevní společně s celým vrátkem na rám stroje. Obal snímače se připevnění pomocí šroubového spoje k rámu stroje, konkrétně k držáku vrátku.

Nastavení a tím i finální složení snímače začne až při dokončení montáže celého nakládacího zařízení a po potřebných testech funkčnosti celého zařízení. Prvním krokem při nastavování mechanismu je posunutí celého zařízení do horní havarijní polohy. Poté se nasadí pohybová matice na šroub opatřený kuželovým kolem do takové polohy, aby při vložení do skříně snímače na své místo jazýček matice stiskl mechanický snímač horní havarijní polohy. Tím je na pevně určena horní pracovní i havarijní poloha. Po dosažení požadované polohy matice je třeba šroub zajistit v obalu pomocí upevňovacích třmenů pomocí dvou závrtných šroubů. Následně se zdvih nakládacího zařízení posune do takové polohy, která určuje výšku kupy dle přání zákazníka. Poté je třeba jeden ze tří mechanických snímačů v kolejnicích nastavit tak, aby jej v této poloze jazýček matice stiskl. Snímač je třeba následně zajistit proti pohybu dotažením dvou šroubů na adaptéru mechanického snímače. Tyto dva kroky jsou totožné pro následující dolní pracovní a havarijní polohu.

Finálním krokem je zapojení veškeré elektroinstalace snímačů a uzavření skříně snímače pomocí víka. Víko je pro větší ochranu vnitřního mechanismu proti prachu, vlhkosti a jiným nečistotám zatěsněno montážním silikonem.

### 3.10. Výrobní náklady

Do hrubých výrobních nákladů bude započítána složka spotřeby elektřiny materiálu a čas potřebný pro přípravu tiskárny pro tisk a údržba po tisku.

Tabulka 5 - Počáteční podmínky pro výpočet výrobních nákladů

Sazba za práci konstruktéra:	600 Kč/hod
Cena 1kg materiálu:	650 Kč
Spotřebováno materiálu:	0,7 kg
Počet tisků	4
Celkový tiskový čas všech součástí:	54,2 hod
Průměrný čas obsluhy tiskárny:	0,2 hod
Cena elektřiny:	1,3kč/kWh [12]
Spotřeba elektřiny:	0,2 kW/hod

#### 3.10.1. Výrobní náklady materiálové

Díky programu Slic3r PE lze určit přesné množství spotřebovaného materiálu. Do programu je ale potřeba zadat hustotu materiálu dle datasheetu výrobce daného materiálu.

Následně lze vypočítat náklady na materiál takto:

$$VNM = \text{cena 1kg materiálu} \cdot \text{spotřebováno materiálu}$$

#### 3.10.2. Výrobní náklady pracovní

Pracovní náklady lze určit součinem sazby za práci konstruktéra, průměrným časem obsluhy tiskárny na jeden výtisk a počtem tisků. Nelze zde použít do součinu celkový počet součástí snímače, protože při jednom tisku lze tisknout buď jednu velkou součást, nebo několik menších součástí najednou. Průměrný čas se skládá ze dvou složek. První složkou je příprava tiskárny na tisk a druhou je opracování vytisknutých součástí, například odstranění podpor a podobně.

Výsledná rovnice zní:

$$VNP = \text{sazba za práci konstruktéra} \cdot \text{průměrný čas obsluhy tiskárny} \cdot \text{počet tisků}$$

#### 3.10.3. Výrobní náklady energetické

Spotřeba elektřiny 3D tiskárny Prusa MK3 se pohybuje v závislosti na teplotách při tisku a množství pohybů tiskárny (složitosti tištěné součásti) v rozmezí 0,15 až 0,2 kW za 1 hodinu

tisku. Pro případ snímače je použita horní hranice daného rozmezí kvůli složitosti a velikosti součástí.

Následný výpočet energetických nákladů zní takto:

$$VNE = \text{cena elektřiny} \cdot (\text{celkový tiskový čas} \cdot \text{spotřeba elektřiny})$$

#### 3.10.4. Celkové výrobní náklady

Jedná se pouze o součet dílčích složek:

$$CVN = VNM + VNP + VNE$$

$$\begin{aligned} CVN &= \text{cena 1kg materiálu} \cdot \text{spotřeba materiálu} \\ &+ \text{sazba za práci konstruktéra} \cdot \text{průměrný čas obsluhy tiskárny} \\ &\cdot \text{počet tisků} + \text{cena elektřiny} \cdot (\text{celkový tiskový čas} \\ &\cdot \text{spotřeba elektřiny}) \end{aligned}$$

$$CVN = 650 \cdot 0,7 + 600 \cdot 0,2 \cdot 4 + 1,3 \cdot (54,2 \cdot 0,2)$$

$$CVN = 455 + 480 + 14,1$$

$$CVN = 949,1 \text{ Kč}$$

Celkové výrobní náklady na vyrobení jednoho snímače koncových poloh činní 949,1 Kč. Po připočítání ceny potřebné elektroniky, která bude přibližně do 1000 Kč, dojde k výraznému snížení nákladů oproti stávajícímu řešení.



### 3.11. Vize do budoucna

V průběhu konstrukce snímače docházelo k různým úpravám pro zlepšení tisknutelnosti, zjednodušení montáže a nastavení snímače, které nejsou promítnuty do dosavadního konstrukčního řešení snímače. Dosavadní řešení je určeno pro vizuální představu o celkové konstrukci snímače a zjištění funkčnosti a spolehlivosti celého mechanismu. Následně se na této verzi bude také testovat celková životnost mechanismu pomocí testovacího zařízení s počítadlem proběhnutých cyklů, jedním cyklem se myslí pohyb od horní havarijní polohy do spodní havarijní polohy a zpět.

V budoucím konstrukčním řešení bude šroub s pohybovou maticí posunut ze středu obalu směrem ke stěně. Vedení matice bude přemístěno ze dna obalu na stěnu a pro snímání obecné polohy nakládacího zařízení bude použit nízkoprofilový lineární potenciometrický snímač umístěný pod maticí. Vzniklý větší prostor vedle šroubu s maticí bude zužitkován pro úpravu uchycení tří nastavitelných mechanických snímačů tak, aby bylo možné snímače snadněji a citlivěji nastavovat.

Díky ušetřenému místu získanému přeuspořádáním mechanismu snímače bude taky možné zmenšit rozměry skříně mechanismu a tím docílit tisku skříně v celku.

Další úpravou bude změna materiálu použitého pro tisk všech součástí. Místo materiálu PET-G bude použit speciální plast PET-G s příměsí uhlíku. Díky uhlíku se tento materiál stává elektroodivým a bylo by možné celý snímač následně elektricky uzemnit přes rám nakládacího zařízení a tím umožnit použití tohoto řešení do prostředí ATEX 22, tedy výbušného prostředí.

Poslední úpravou při osvědčení funkčnosti, životnosti a spolehlivosti druhé verze snímače polohy by byla úprava tohoto řešení pro větší verze nakládacího zařízení, to jsou řady Standart a Heavy.

## 4. Závěr

Výstupem bakalářské práce je komplexní řešení mechanického snímání koncových, havarijních a obecných poloh nakládacího zařízení firmy Hennlich s.r.o. Hlavními požadavky kladenými na toto nové řešení snímání koncových a pracovních poloh byly: mechanická vazba pro snímání koncových a pracovních poloh nakládacího zařízení, snímání obecné polohy nakládacího zařízení, odolnost proti povětrnostním vlivům, jednoduché nastavení a servis, možnost většinu dílů vyrábět pomocí technologie 3D tisku a nízké výrobní náklady (nižší než u dosavadního řešení). Všechny hlavní požadavky na snímač byly splněny, tudíž tento koncept je schopen plně nahradit dosavadní řešení pod názvem Stromag.

Při pevnostních výpočtech kriticky namáhaných součástí byly všechny pevnostní podmínky splněny s dostatečně velkým koeficientem bezpečnosti. To zaručuje dlouhou životnost, a tedy spolehlivost mechanismu snímače. Při pevnostní analýze pomocí softwaru AutoCAD Inventor 2018 byl tento předpoklad potvrzen.

Všechny součásti požadovaného zařízení byly konstruovány tak, aby jejich 3D tisk byl co nejjednodušší a nejrychlejší. Díky použití této technologie bylo také docíleno možnosti dělat drobné úpravy konstrukce celého mechanismu během výroby nebo ji upravit pro individuální potřeby zákazníka.

Toto řešení bude použito k testům životnosti plastových součástí mechanismu a k utvoření první představy o skutečné celkové funkčnosti. Díky těmto informacím bude možno dále upravit vůle v mechanismu, rozměry součástí a volbu materiálu tak, aby snímač jako celek více vyhovoval požadavkům a zvýšila se jeho životnost a funkčnost.

## 5. Citovaná literatura

- [1] Krátký J. a Krónerová E., *Obecné strojní části 2: základní a složené převodové mechanismy*, Plzeň: Západočeská univerzita, 2011.
- [2] Formánek J., *Přednáška z předmětu Měřicí technika*, Plzeň, 2019.
- [3] „pkmodel,“ [Online]. Dostupné z: <http://www.pkmodel.cz/3dtisk.html>. [cit. 13. 11. 2018].
- [4] Fišer M., „Pruty namáhané na vzpěr“ [Online]. Dostupné z: [https://www.kme.zcu.cz/kmet/pp2/vzper-primych-prutu/pruvodce\\_resenim.pdf](https://www.kme.zcu.cz/kmet/pp2/vzper-primych-prutu/pruvodce_resenim.pdf). [cit. 29. 3. 2019].
- [5] Hosnedl S. a Krátký J., *Příručka strojního inženýra*, Brno: Computer Press, 1999.
- [6] „Pasivní odpory“ [Online]. Dostupné z: [http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/ZMech/CD\\_Zaklady\\_mechaniky/text/ZM07\\_treni.pdf](http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/ZMech/CD_Zaklady_mechaniky/text/ZM07_treni.pdf). [cit. 29. 3. 2019].
- [7] Prášil L., „Kuzelová kola se šikmými a zakřivenými zuby“ [Online]. Dostupné z: [http://www.kst.tul.cz/podklady/casti\\_fs/podklady/Kuzelova%20soukoli%20se%20sikmy%20a%20zakrivenymi%20zuby.pdf](http://www.kst.tul.cz/podklady/casti_fs/podklady/Kuzelova%20soukoli%20se%20sikmy%20a%20zakrivenymi%20zuby.pdf). [cit. 29. 3. 2019].
- [8] Kratina J., „E-konstruktor“ [Online]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/soucinitel-treni>. [cit. 29. 3. 2019].
- [9] „MATERIALPRO 3D“ [Online]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/blog/rozdily-abs-pla-petg/>. [cit. 25. 3. 2019].
- [10] „E-konstruktor“ [Online]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/plasty-mechanicke-vlastnosti>. [cit. 25. 3. 2019].
- [11] Leinveber J. a Vávra P., *Strojnické tabulky*, Albra, 2017.
- [12] Beneš D., *Proměny energetických trhů - přednáška z kurzu Organizace trhů a odvětví pohledem manažerů*, Praha: Vysoká škola ekonomická, 2019.

## 6. Seznam obrázků

Obrázek 1 - Schéma varianty 1 .....	8
Obrázek 2 - Schéma varianty 2 .....	8
Obrázek 3 - Schéma varianty 3 .....	9
Obrázek 4 - Schéma varianty 4 .....	10
Obrázek 5 - Schéma varianty 5 .....	10
Obrázek 6 - Schéma varianty 6 .....	11
Obrázek 7 - Kuželový převod .....	13
Obrázek 8 - Mechanismus snímače upevněný ve skříni .....	14
Obrázek 9 - Sestava posuvu snímače .....	15
Obrázek 10 - Sestava snímače koncových poloh .....	15
Obrázek 11 - Schéma namáhání matice .....	19
Obrázek 12 - Schéma pro stanovené modulu průřezu.....	21
Obrázek 13 - Šroub .....	23
Obrázek 14 – Zatížení šroubu .....	23
Obrázek 15 – Výsledky pevnostní analýzy šroubu: Napětí Von Mises .....	24
Obrázek 16 - Výsledky pevnostní analýzy šroubu: Posunutí.....	24
Obrázek 17 - Výsledky pevnostní analýzy šroubu: Součinitel bezpečnosti.....	24
Obrázek 18 - Kuželové kolo.....	25
Obrázek 19 - Zatížení kuželového kola.....	26
Obrázek 20 - Výsledky pevnostní analýzy kuželového kola: Napětí Von Mises .....	27
Obrázek 21 - Výsledky pevnostní analýzy kuželového kola: Posunutí .....	27
Obrázek 22 - Výsledky pevnostní analýzy kuželového kola: Součinitel bezpečnosti .....	28
Obrázek 23 - Matice .....	29
Obrázek 24 - Zatížení matice .....	29
Obrázek 25 - Výsledky pevnostní analýzy matice: Napětí Von Mises .....	30
Obrázek 26 - Výsledky pevnostní analýzy matice: Napětí Von Mises – pohled shora .....	30
Obrázek 27 - Výsledky pevnostní analýzy matice: Posunutí .....	31
Obrázek 28 - Výsledky pevnostní analýzy matice: součinitel bezpečnosti.....	31

## 7. Seznam tabulek

Tabulka 1 - Výsledky pevnostní analýzy šroubu .....	25
Tabulka 2 - Výsledky pevnostní analýzy kuželového kola.....	28
Tabulka 3 - Výsledky pevnostní analýzy matice .....	32
Tabulka 4 - Srovnání materiálů PET-G, ABS a PVC .....	34
Tabulka 5 - Počáteční podmínky pro výpočet výrobních nákladů.....	38

## 8. Seznam příloh

- Příloha č. 1 – Podrobnější rozdělení převodových mechanismů
- Příloha č. 2 – Výkres adaptéru snímače, č. výkresu BP2019-001
- Příloha č. 3 – Výkres adaptéru snímačů horních poloh, č. výkresu BP2019-002
- Příloha č. 4 – Výkres třmenu šroubu, č. výkresu BP2019-003
- Příloha č. 5 – Výkres kolejnice, č. výkresu BP2019-004
- Příloha č. 6 – Výkres matice, č. výkresu BP2019-005
- Příloha č. 7 – Výkres šroubu, č. výkresu BP2019-006
- Příloha č. 8 – Výkres skříně, č. výkresu BP2019-007
- Příloha č. 9 – Výkres sestavy posuvu snímače, č. výkresu BP2019-008
- Příloha č. 10 – Výkres sestavy snímače koncových poloh, č. výkresu BP2019-009
- Příloha č. 11 – Výkres kuželového ozubeného kola 1, č. výkresu BP2019-010
- Příloha č. 12 – Výkres kuželového ozubeného kola 2, č. výkresu BP2019-011

## 9. Přílohy

### 9.1. Příloha č. 1 – Podrobnější rozdělení převodových mechanismů

#### Ozubené převody – válcová (čelní) soukolí

##### Základní poznatky

Tyto převody, stejně jako všechny převody obecně, slouží k vytvoření kinematické a silové vazby mezi hnacím a hnaným členem. Je u nich předepsaná změna úhlové rychlosti (otáček) a tomu odpovídající změna točivého momentu. Vazba je založena na principu záběru s přímým dotykem obou spoluzabírajících členů. Zuby hnacího a hnaného kola se po sobě odvalují (s částečným prokluzem), proto má většina těchto převodů vysokou účinnost. Jsou to nejčastěji používané převody. [1]

##### Zubové profily

Technický význam má zejména ozubení:

- Cykloidní – odvaluje-li se kružnice po kružnici (z vnějšku nebo zevnitř), tak každý bod tvořící kružnice opisuje cykloidu (epicykloidu nebo hypocykloidu). Nevýhody – složitý výrobní nástroj, citlivé na osovou vzdálenost, problém korekce. Proto se používá výjimečně. [1]
- Kruhový oblouk (Wildhaber – Novikovo ozubení) – zuby kol mají konvexní, popř. konkávní boky tvořené kruhovými oblouky. Výhoda – malý stykový tlak, proto se používají pro reduktory válcovacích stolic při malých rychlostech (pouze šikmé ozubení). Nevýhoda – stejná jako u cykloidního. [1]
- Evolventní – nejčastěji používané ve strojírenství. Evolventa vznikne, odvaluje-li se přímka (tvořící) po základní kružnici. Každý bod přímky opisuje evolventu. [1]

##### Vlastnosti válcových čelních soukolí

- soukolí s vnějším ozubením mění smysl otáčení [1]
- soukolí s vnitřním ozubením zachovávají smysl otáčení [1]

#### Ozubené převody – kuželová soukolí

Zuby hnacího a hnaného kola se po sobě, stejně jako u čelních válcových soukolí, odvalují (s částečným prokluzem). Převody mají proto vysokou účinnost ( $\eta = 96\%$ ). [1]

Valivá soukolí s kuželovými koly slouží k vytvoření kinematické a silové vazby mezi různoběžnými hřídeli. Jsou nejjednodušším ozubeným převodem pro různoběžné osy hřídelí. Velmi často se používají pro úhel os  $90^\circ$ . [1]

V porovnání s čelními válcovými ozubenými koly je u nich dražší výroba (nutnost speciálních strojů a nástrojů), složitější konstrukční uspořádání (nutno dodržovat určité zásady při jejich uložení) a kromě délkových úchylek nutno sledovat i úchyly úhlové. [1]

Geometrický základ soukolí tvoří dvojice komolých kuželů patního a hlavového (a mezi nimi kužel roztečný). Jednoduchý převodový mechanismus tvořený dvojicí spoluzabírajících ozubení vytvořených na kuželových tělesech s různoběžnými osami. Jeho hlavní funkcí je konstantní, tzn. neměnná transformace velikosti, rychlosti, polohy, příp. i formy veličin přenášené mechanické energie (změnou formy se rozumí transformace sil při určité rychlosti na točivé momenty při odpovídajících otáčkách, příp. naopak). [1]

### **Ozubené převody – šroubová válcová soukolí**

Jednoduchý převodový mechanismus tvořený dvojicí spoluzabírajících ozubených kol vytvořených na válcových tělesech s mimoběžnými osami. Jeho hlavní funkcí je konstantní, tzn. Neměnná transformace velikosti, rychlosti, polohy a přenášené mechanické energie (transformace sil při určité rychlosti na točivé momenty při odpovídajících otáčkách, popř. naopak). [1]

Vzájemná poloha dvou mimoběžných os se určí pomocí nejkratší příčky těchto mimoběžných os (osa mimoběžek) a pomocí úhlu mimoběžek  $\Sigma$ . [1]

### **Ozubené převody – šneková soukolí**

Jednoduchý převodový mechanismus tvořený dvojicí spoluzabírajících ozubených kol vytvořených na válcových tělesech s mimoběžnými osami. Jeho hlavní funkcí je konstantní, tzn. Neměnná transformace velikosti, rychlosti polohy a přenášené mechanické energie (transformace sil při určité rychlosti na točivé momenty při odpovídajících otáčkách, příp. naopak). [1]

Mimoběžné osy jsou, v pohledu ve směru příčky mimoběžek kolmé. Úhel mimoběžek je  $\Sigma = 90^\circ$ .

Šneková soukolí jsou speciálním případem šroubového válcového soukolí, kde snížením počtu zubů pastorku přejde tento v jednoduchý nebo vícechodý šroub, který se nazývá šnek. Šířka šneku překračuje jeho roztečný průměr. [1]

Protikolo je ve strojírenské terminologii nazýváno jako šnekové kolo. [1]

### **Převod pohybový šroub – pohybová matice**

Transformují rotační pohyb na posuvný, resp. Posuvný pohyb na rotační. U silové transformace jde o transformaci točivého momentu na posuvnou sílu, resp. Posuvné síly na točivý moment. Vazba je založena na principu záběru s přímým dotykem obou spoluzabírajících členů. Transformační vazba je konstantní a je určena rozměrovým parametrem. Hnaná a hnací část převodu vykonává šroubový pohyb. [1]



## Charakteristické vlastnosti

Jednoduchý převodový mechanismus tvořený dvojicí šroub – matice se společnou osou. Jeho hlavní funkcí je konstantní, tzn. neměnná transformace velikosti, rychlosti, polohy a přenášené mechanické energie (transformace točivého momentu při určité rychlosti otáčení na posuvnou sílu při odpovídající posuvné rychlosti, popř. naopak). [1]

Podle tvaru stykových poměrů závitu šroubu a matice rozdělujeme tento převod na:

- závity s plošným dotykem, kde se závity šroubu a matice dotýkají v ploše a při pohybu dochází ke smykovému (kluznému) tření, [1]
- závity, kde jsou mezi bok závitu šroubu a matice vloženy valivá tělesa (kuličky), které se odvalují po bocích závitu šroubu a matice je při pohybu valivé tření. [1]

## Třecí převody

U třecích převodů je silová vazba založena na principu působení normálového zatížení mezi dvěma tělesy tak, aby ve směru kolmém na normálu (tj. směr tečny) automaticky vznikla tečná (třecí) síla. U třecích převodů je obvodová síla, která působí na průměru kola, třecí silou mezi hnacím a hnaným kolem třecího mechanismu. Pro správnou funkci třecího převodu je třeba: [1]

- mít dvě kola, jejichž velikost (průměry) splňuje požadavky na požadovaný převodový poměr, [1]
- tato dvě kola vzájemně mezi sebou předepnou přítláčnou (tj. vzhledem k obvodu normálovou) silou, [1]
- ve směru tečny k povrchu třecího kola vyvodit, vlivem projevu třecích vlastností, tj. působení vzájemného součinitele tření mezi povrchy třecích kol, třecí sílu. [1]

U třecích převodů se tedy točivý moment přenáší třením (tj. silovou vazbou) bezprostředně (tj. bez vložení členu) z jednoho kola na druhé. K docílení třecí (obvodové) síly je zapotřebí přítláčné síly a co největší součinitel tření. [1]

Třecí převody se používají k přenosu menších výkonů na blízké, rovnoběžné nebo různoběžné hřídele. [1]

## Řetězové převody

Vazba je založena na principu záběru s přímým dotykem mezi hnacím členem a vloženým členem a mezi vloženým členem a hnaným členem. Vloženým členem je řetěz. Většina těchto převodů má vysokou účinnost. Tyto převody, na rozdíl od ozubených převodů, mohou pracovat i ve vlhkém a prašném prostředí i při vyšších teplotách. Vložený člen (řetěz) umožňuje pohánět jedním hnacím členem několik rovnoběžných hnaných hřídelí. [1]

## Převody s nepřímou vazbou (čtyřčlenné) s využitím tření

Vazba je založena na principu přenosu pohybu a zatížení třecími silami mezi hnacím členem a vloženým členem a mezi vloženým členem a hnaným členem. Vloženým členem je řemen. Většina těchto převodů má vysokou účinnost. Vložený člen (řemen) umožňuje pohánět jedním hnacím členem (hřídelí) několik rovnoběžných hnaných členů (hřídelí). [1]

Nejjednodušší řemenový převod tvoří, kromě rámu, dvě řemenice (hnací a hnané) a řemen. [1]

Poznámka:

Existuje jeden typ řemenového převodu, kdy transformace pohybu a zatížení nevyužívá třecí účinky, ale tvarový styk řemenic a řemenu – ozubený řemenový převod. [1]

## **Tříčlenné mechanismy – vačkové mechanismy**

Jako vačkový označíme mechanismus obsahující alespoň jednu vačku spojenou s ostatními členy minimálně jednou obecnou kinematickou dvojicí. Vačkou nazýváme člen mechanismu, který pohybem své činné plochy vyvozuje prostřednictvím obecné kinematické dvojice pohyb hnaného členu a vačka je pak obvykle hnacím členem mechanismu. Tvar vačky (křivka obrysu vačky) se nejčastěji stanoví pro předepsaný průběh zdvihu nebo zrychlení zdvihátka v závislosti na úhlu natočení vačky. [1]

Vačka

- člen mechanismu, který pohybem své činné plochy vyvozuje prostřednictvím obecné kinematické dvojice pohyb hnaného členu [1]
- vzestupný bok vačky slouží ke zrychlování zdvihátka, vrcholová část ke zpomalování pohybu [1]
- mezi vzestupným bokem a vrcholovou částí vačky je nulové zrychlení [1]
- prudký nárůst zrychlení na počátku zdvihu bývá spojen s rázem, který je zdrojem hluku a působí vytloukání stykových ploch [1]
- skoky v průběhu zrychlení vyvolávají i poměrně velké amplitudy harmonických složek kmitů, není-li rozvodový mechanismus dostatečně tuhý [1]
- proto vzniká požadavek na spojitou změnu křivosti vačky, pak je i spojitý průběh zrychlení [1]

Vačkový mechanismus realizuje transformace:

- rotace – posuv [1]
- posuv – rotace [1]
- posuv – posuv [1]

hnaný člen je s vačkou spojen obecnou kinematickou dvojicí. Pro správnou funkci vačkového mechanismu je zapotřebí neustálý styk hnaného členu s vačkou, který je buď nucený nebo silový. Silový styk je zajišťován např. vratnými pružinami, tíhovými silami, hydraulickými popř. pneumatickými prvky. Nevýhodou tohoto uspořádání je zvýšené silové namáhání mechanismu, způsobené vneseným předpětím. [1]

## Čtyřčlenné mechanismy – klikové mechanismy

Jako klikový označíme mechanismus obsahující zalomenou (klikovou) hřídel spojenou ojnici. Kliková hřídel vykonává rotační pohyb. Ojnice je spojena s excentrickým čepem klikové hřídele a s tyčí, která vykonává posuvný pohyb. Závislost velikosti posuvové rychlosti a otáček je dána velikostí excentricity zdvihového čepu klikové hřídele a délkou ojnice. [1]

Klikovými mechanismy realizujeme transformace:

- rotace – posuv (kompresory, pístová čerpadla, ...) [1]
- posuv – rotace (spalovací motory, ...) [1]

Převodovky s proměnlivou polohou os a konvenčními převodovými mechanismy:  
VARIÁTORY

### Základní poznatky

Složené převodové mechanismy, stejně jako všechny základní (jednoduché) převodové mechanismy obecně, slouží k vytvoření kinematické a silové vazby mezi vstupním členem a výstupním členem. Je u nich předepsaná změna úhlové rychlosti (otáček) a tomu odpovídá změna točivého momentu. Uvolníme-li jeden z členů, např. rám, získáme z klasické převodovky soustavu a dvěma stupni volnosti – diferenciál. Jestliže jeden člen stojí (nebo je zabrzděn), dostaneme systém s jedním stupněm volnosti – mechanismus. [1]

Diferenciální převodovky tedy mohou skládat více pohybů do jednoho (např. u obráběcích strojů) nebo rozkládat pohyb tam, kde je třeba vyrovnávat rozdíly v rychlostech (např. diferenciál automobilu). [1]

Obvykle nazýváme převodovky se dvěma stupni volnosti jako planetové převodovky. Skládají se ze spoluzabírajících ozubených kol, z nichž jedna skupina je souosou soustavou kol otáčející se různými úhlovými rychlostmi kolem nehybné osy rámu. Druhá skupina koná dvě rotace. Jedna rotace je kolem čepu, který je umístěn na členu nazvaném unášeč, druhá rotuje s unášečem kolem hlavní osy. Planetové převodovky se skládají z čelních válcových kol s vnějším i vnitřním ozubením, ale i z kuželových kol. [1]