

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Návrh parametrů**

**kruhového otočného voliče do auta**

**2018**

**Autor: Jakub Novotný**

**Vedoucí: Ing. Jan Zavřel, Ph.D.**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Novotný** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **456378**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Návrh parametrů kruhového otočného voliče do auta**

Název bakalářské práce anglicky:

**Design of the rotary car knob**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Seznamte se s konstrukcí otočných voličů.
- 2) Provedte analýzu vybraného řešení a navrhnete náhradní schéma.
- 3) Pro vybrané řešení proveďte ladění úlohy tak, aby kruhový volič disponoval požadovanými vlastnostmi.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Valášek M., Stejskal V., Březina J.: Mechanika A. ČVUT, Praha, 2007.
- [2] Valášek M., Bauma V., Šika Z.: Mechanika A. ČVUT, Praha, 2007.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Jan Zavřel, Ph.D., odbor mechaniky a mechatroniky FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **24.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **17.08.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

Ing. Jan Zavřel, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Milan Růžička, CSc.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_ Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_ Podpis studenta

# Anotační list

<b>Jméno autora:</b>	Jakub Novotný
<b>Název bakalářské práce:</b>	Návrh parametrů kruhového otočného voliče do auta
<b>Anglický název:</b>	Design of rotary car knob
<b>Akademický rok:</b>	2017/2018
<b>Studijní obor:</b>	Teoretický základ strojního inženýrství
<b>Ústav:</b>	Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky
<b>Vedoucí bakalářské práce:</b>	Ing. Jan Zavřel, Ph.D.
<b>Bibliografické údaje:</b>	36 stran 21 obrázků příloha – CD s výpočtním programem, pdf. souborem a docx. souborem bakalářské práce
<b>Klíčová slova:</b>	control panel, rotary knob, car, notching, spring

## Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá vývojem a konstrukcí ovládacích panelů do osobních automobilů. V první části práce je shrnut vývoj, konstrukce a technologie výroby ovládacích panelů. Dále je práce zaměřena na konstrukci otočných voličů na kontrolním panelu a jsou popsány některé druhy konstrukcí. V další části práce je vytvořen matematický model pohybu kruhového voliče, nastavení parametrů a vykreslení jeho krouticího momentu, který je porovnán s již vyvinutým panelem.

## Abstract:

Bachelor thesis deals with development and desing of control panels used in cars. I describe the developement, design and technology of production in first part of my thesis. I describe the construction of rotary knob and its types of design. Futher I focused on creating a mathematical model and creating simulation of movement of the rotary knob. At the end I compare this simulation with already developed and producted control panel.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a vyznačil všechny citace z pramenů.

V Praze dne .....

.....

Podpis

#### Poděkování:

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Janu Zavřelovi, Ph.D. za vedení mé práce a za podporu a jeho rady, které přispěly k úspěšnému dokončení této práce. Dále bych rád poděkoval kolegům ze společnosti Valeo, kteří mi poskytli informace o vývoji kontrolních panelů.

# Obsah

Obsah .....	6
Seznam použitých symbolů a cizích výrazů .....	8
1 Úvod.....	9
2 Cíle bakalářské práce .....	9
3 Ovládací panely .....	10
3.1 Konstrukce panelu.....	11
3.1.1 Vývoj panelu.....	11
3.1.2 Technologie výroby .....	12
3.1.3 Kinematika tlačítek a otočných voličů.....	13
3.2 Druhy konstrukcí.....	15
3.2.1 Konstrukce s notchingem po obvodu ovladače .....	15
3.2.2 Konstrukce s notchingem po obvodu ovladače na krytu panelu .....	16
3.2.3 Konstrukce s notchingem ze spodní strany voliče .....	17
3.2.4 Konstrukce s notchingem axiálně na krytu panelu .....	17
3.2.5 Konstrukce kruhové pružiny s notchingem zesponu voliče .....	18
3.2.6 Koncepční řešení konstrukcí.....	19
4 Analýza a vytvoření modelu systému .....	20
4.1 Analýza systému .....	20
4.2 Model systému .....	21
4.2.1 Analýza definice modelu .....	21
4.2.2 Řešení hledáním bodu dotyku.....	22
4.2.3 Řešení dopočtením středu kružnice .....	24
4.2.4 Zavedení sil v bodě dotyku.....	26
5 Nastavení parametrů modelu systému .....	29
5.1 Počáteční nastavení .....	29
5.2 Nastavení parametrů podle reálného dílu.....	30

5.3 Porovnání simulace a laboratorního měření.....	31
Závěr .....	35
Reference .....	36
Ústní Reference.....	37
Seznam tabulek, grafů a obrázků.....	38
Přílohy.....	39

## Seznam použitých symbolů a cizích výrazů

Notching	Tvarové plochy povrchu definující krok voliče
Kavita	Část formy pro vstřikování plastů
$x_0, y_0, x_s, y_s$	Souřadnice středu kružnice (půlkružnice)
$x_D, y_D$	Souřadnice bodu dotyku
$x_{\max}$	Délka sinusoidy v x-ovém směru
$A$ [m]	Amplituda sinusoidy
$\omega$ [rad/s]	Úhlová frekvence
$\varphi$ [°]	Úhel tečny
$t$	Vektor tečny
$n$	Vektor normály
$S_k$	Matice souřadnic středu kružnice
$F_p$ [N]	Síla vytvářená pružinou
$N$ [N]	Normálová síla v bodě dotyku
$F_t$ [N]	Třecí síla v bodě dotyku
$F_v$ [N]	Výsledná síla ze sil $N$ a $F_t$
$F_m$ [N]	Síla vytvářející kroučící moment na voliči
$\alpha, \gamma$ [°]	Úhly uvolněných sil
$y_{\text{pred}}$ [m]	Předpjatost pružiny
$d_y$ [m]	Rozdíl aktuální polohy pružiny s nulovou polohou
$R$ [m]	Rameno působící momentové síly
$\mu$	Součinitel tření
$k$ [N.m <sup>-1</sup> ]	Tuhost pružiny
$r$ [m]	Poloměr kružnice (polokružnice)
$v$ [m.s <sup>-1</sup> ]	Rychlost a směr pohybu kružnice
$M$ [N.cm]	Kroučící moment
$e, d$	Křivky grafu z naměřených hodnot



# 1 Úvod

Ovládací panely jsou ve vozidlech běžnou součástí. Pro zlepšení vazby mezi cestujícími a vozem je zapotřebí vyvíjet přesnější a pocitově příjemnější charakteristiku pohybu jednotlivých tlačítek. Protože specifikace zákazníků se stávají složitější a je vyvíjen větší tlak na přesné splnění zadaných specifikací, a protože kinematika tlačítek a otočných voličů se vyvíjí hlavně na základě zkušeností konstruktérů a není vytvořen žádný model, který by splňoval potřebná kritéria a přesnost pro zjednodušení a zrychlení vývoje, budu se této práci zabývat vytvořením matematického modelu a simulací pro otočný volič na kontrolním panelu do auta.

Vytvořený model a jeho simulaci se budu snažit pomocí zvolených parametrů nastavit podle již vyvinutého kontrolního panelu a poté porovnat výsledky ze simulace a z laboratorního měření panelu.

Vytvořený model by mohl do budoucna napomoci k přesnějšímu vývoji kruhového voliče dle specifikací zákazníka a zrychlení procesu jeho vývoje.

## 2 Cíle bakalářské práce

Cíle bakalářské práce jsou:

- Seznámení s konstrukcí otočných voličů
- Provedení analýzy vybraného řešení a návrh náhradního schéma
- Pro vybrané řešení provést ladění úlohy tak, aby kruhový volič disponoval požadovanými vlastnostmi

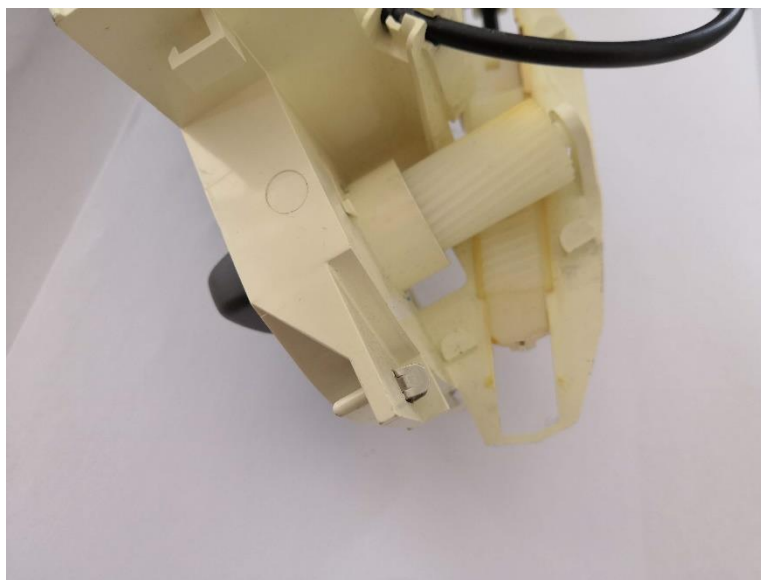
### 3 Ovládací panely

Ovládací panel na centrální konzoli automobilu jsou běžnou součástí interiéru dlouhou řadu let. Nachází se na něm ovládání vyhřívání vozidla, autorádia, klimatizace a v poslední době GPS navigace (Global Positioning system).

Na ovládacích panelech se velmi často nachází dva druhy tlačítek. Voliče otočné a tlakové, které jsou v posledních generacích aut nahrazovány dotykovými displeji. Ovladače jsou vyvíjeny dle specifikací od zákazníka – automobilky. Nejdůležitější konstrukční kritéria při vývoji a výrobě panelu jsou rozměry, kvalita povrchu pohledových součástí a předem definovaná funkčnost, zadaná zákazníkem.

Předchozí generace konzolí na ovládaní byly konstruovány na systému lanek, která byla umístěna ve vedení, kterým bylo při otáčení voliče posouváno díky ozubenému převodu na jezdcí a voliči, jak je vidět na obrázku 1. U těchto panelů bylo potřeba velkého pohybu samotného ovladače, aby se žádaná změna projevila [6].

Nevýhodou systému by mohla být poměrně velká potřebná síla ke změně nastavení páky, či velikost samotné konstrukce, kde mohl být problém s přesným podsvícením dle požadavků a s přesností výroby dílů kvůli jejich velikosti a tvaru.



*Obrázek 1: Příklad převodu kruhového voliče*

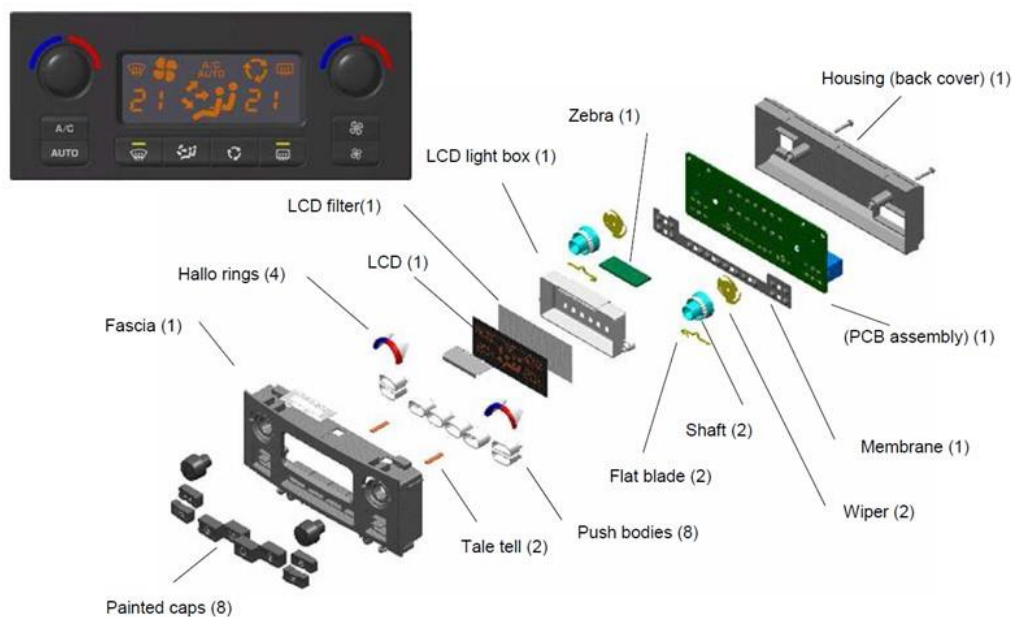
Nyní se pro definovaný pohyb ovladače využívá speciálně tvarovaného povrchu – „notching“ (tvarové plochy, které vytváří specifický krouticí moment), nejčastěji umístěným na spodní straně voliče či na spodní straně prstence, který klouže po pružině, či po jezdcí na pružině. Pružina a speciálně tvarované plochy zajišťují požadovaný krokový pohyb voliče. Vlastnosti rotace voliče jsou definovány požadavky zákazníka [10] a [11].

## **3.1 Konstrukce panelu**

### **3.1.1 Vývoj panelu**

Konstrukce panelu a jednotlivých tlačítek záleží na požadavcích zákazníka, podle kterých se konstrukce vyvíjí. Při konstruování a vyvíjení panelů se postupuje od daných zástavbových vnějších rozměrů a tvarů tak, aby mohl být panel umístěn do vozidla. Dále podle požadovaných funkcí - počet a velikost tlačítek. Speciálně pro rotační volič záleží především na průměru, jestli chce zákazník uprostřed voliče i tlakové tlačítko, jakým způsobem chce mít vytvořené podsvícení voliče, a samozřejmě umístění na daném panelu s interakcí ostatních funkcí a tlačítek podle zadání zákazníka. Na obrázku 2 je rozpadlý pohled panelu, kde je naznačeno z kolika součástí je panel sestaven.

Největší důraz se při vývoji panelu klade na vyrobitelnost jednotlivých součástí. Ovladače se vyrábí s vysokou přesností. Důvodem je přesnost uložení, aby nedocházelo ke kolizím jednotlivých součástí mezi sebou, ale také, aby naopak nevznikaly příliš velké mezery mezi tlačítky na pohledových stranách. Tlačítka a všechny ostatní voliče by měly mít přesné vedení tak, aby byla deviace pohybu co nejmenší [2], [10] a [11].



Obrázek 2: Rozpadlý pohled konstrukce panelu

### 3.1.2 Technologie výroby

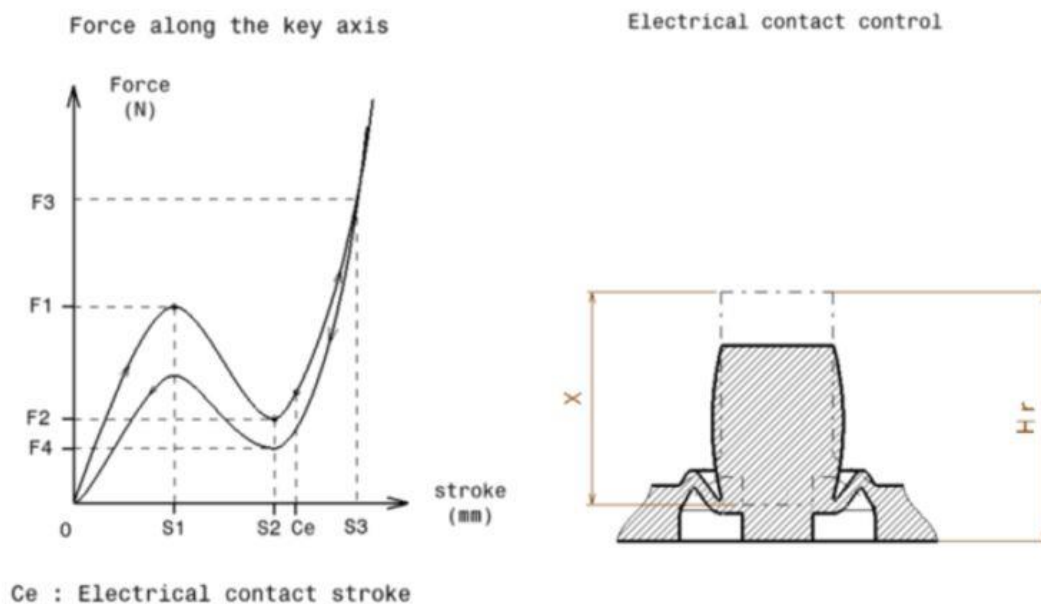
Ovládací panely jsou vyráběny z plastů. Součásti se vyrábí procesem vstříkovaní plastů do forem. U procesu vstříkovaní jsou podobné problémy jako u odlévání. Nesmí docházet ke staženinám na dílech, které jsou způsobené chladnutím materiálu na silných stěnách. Stěny, musí být zkoseny pod úhlem, na dílech se nesmí nacházet podkoso ploch, aby součást mohla být vyhozena z formy. I přes určité nevýhody této technologie při návrhu konstrukce, jsou vyráběny velké počty kusů za relativně nízkou cenu. Další problémy mohou nastat při větším počtu kavit na formě (část formy, ve které se nachází tvar vstříkovaného dílu) v jednotlivých nástrojích. Při upravování dílů po spuštění sériové výroby může docházet k nepřesné úpravě na každé kavitě. Tuningové úpravy nástrojů jsou dělány jednotlivě na každé kavitě zvlášť, proto každá z kavit může být upravena trochu jinak. Z toho vzniká problém, kde se může stát, že díly z některé kavity nemusí zapadat do protikusu. Problém je řešen sledováním kusů z jednotlivých kavit, které jsou očíslovány, a na produkční lince jsou sestavovány protikusy dílů, aby zapadly. Proces sestavení probíhá na lince, kde se kompletní panely složí dohromady a expedují se k zákazníkovi [10] a [11].

### 3.1.3 Kinematika tlačítek a otočných voličů

Základními pohyby pro ovladače je posuvný pohyb v jedné ose pro tlačítka a rotační pohyb okolo jedné osy pro otočné voliče, nebo sloučení těchto pohybů, kde se volič posouvá i otáčí okolo jedné osy. Další pohyby, které jsou tlačítka vykonávány, jsou deviační pohyby, které by v ideálním případě neměly existovat.

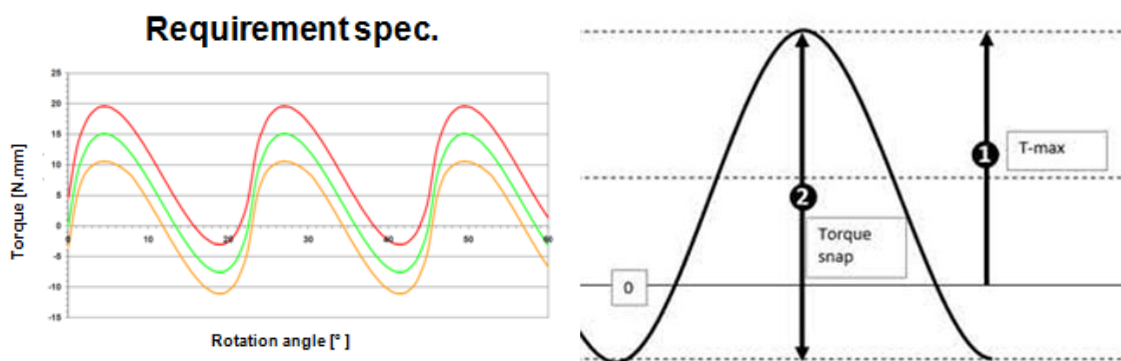
Kinematika tlačítek a voličů je přesně definována specifikací zákazníka.

Všeobecně požadovaný pohyb tlačítek je takový, aby spotřebitel poznal, kdy tlačítko zmáčkne. Je potřeba, přizpůsobit konstrukci pohybu tak, aby nedocházelo k velkému promáčknutí tlačítka, aniž by byl pohyb zaznamenán, ale k malému promáčknutí tlačítka dojít musí, aby spotřebitel poznal že tlačítko zmáčkne. Graf průběhu posuvného pohybu na obrázku 3 [2].



Obrázek 3: Příklad zadání od zákazníka pro tlačítko

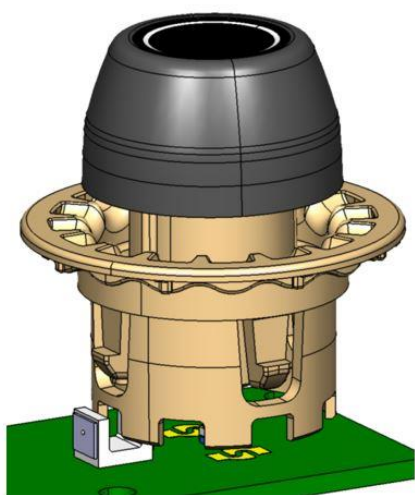
Definice pro otočný volič je tvořena grafem průběhu krouticího momentu a průměrem voliče. Průběh krouticího momentu naznačuje jednotlivé kroky pohybu, kde pro každý krok musí spotřebitel vyvinout sílu pro otočení. U otočných voličů je dalším kritériem maximální úhel otočení a počet kroků. Kroky jsou tvořeny notchingem viz obrázek 4 [3].



Obrázek 4: Příklad zadání od zákazníka pro otočný volič

Pohyb voliče je snímán senzory umístěnými na PCB (Printed Circuit Board), které se nachází pod konstrukcí tlačítek a otočných voličů a je softwarem měněn na potřebný signál. Pro zachycení pohybu voliče se často používají optické senzory. Při použití těchto snímačů je zapotřebí upravit konstrukci voliče a umístit na ni vykousnutí pro možné snímání, viz obrázek 5 [4].

Dále se pro určení natočení využívá potenciometru. Na potenciometru je umístěno ozubené kolo, kterým je otáčeno za pomoci převodu z otočného voliče. Konstrukce na obrázku 6 [2].



Obrázek 5: Příklad konstrukce pro optický snímač



Obrázek 6: Příklad konstrukce při použití potenciometru

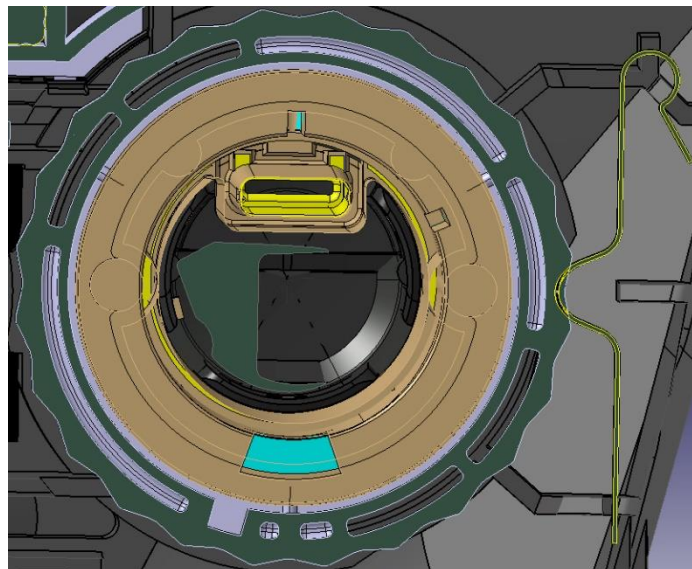
## 3.2 Druhy konstrukcí

Druhy konstrukcí se dají dělit dle pozice notchingu vůči pružině, či jezdcí na pružině.

### 3.2.1 Konstrukce s notchingem po obvodu ovladače

Tato konstrukce je tvořena notchingem, který je tvořen plochami po obvodu kruhového voliče, proti němuž v radiální poloze působí jezdec na pružině či samostatná pružina s výběžkem, jak je možno vidět na obrázku 7 [5].

Výhodou této konstrukce je jednoduché ukotvení pružiny, kdekoliv, aby se dotýkala po obvodu notchingu, či umístění jezdcí s pružinou, aby osa jezdcí směřovala do středu otočného voliče.



Obrázek 7: Konstrukce voliče s notchingem po obvodu

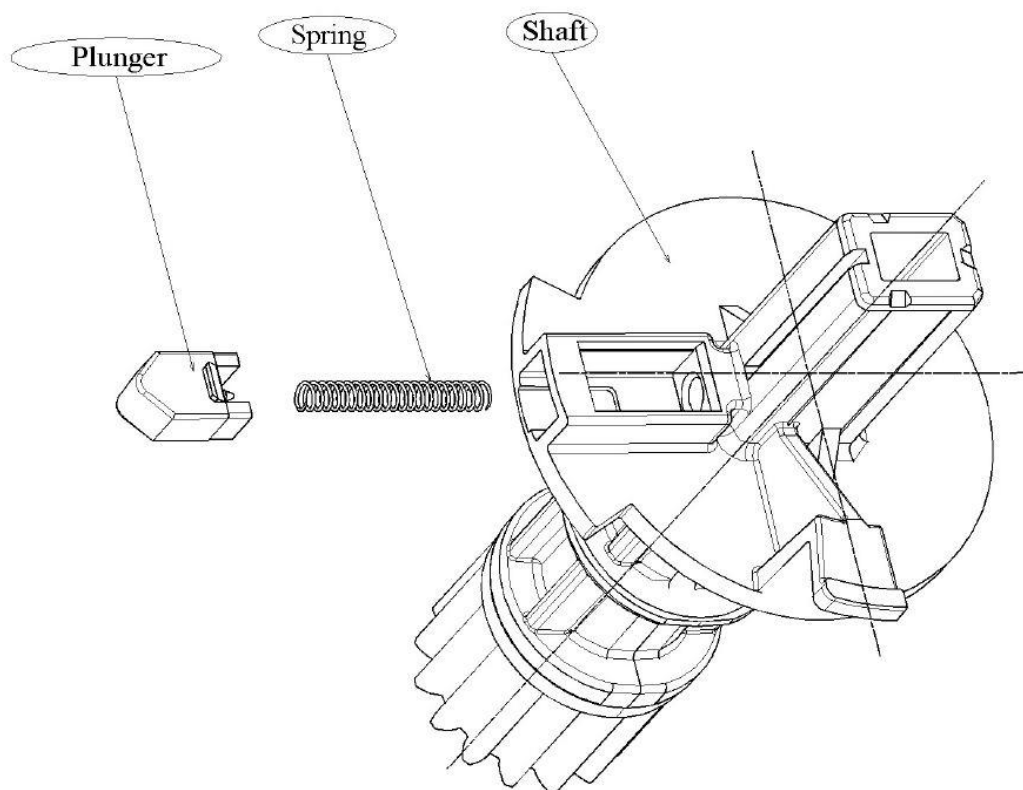
Nevýhodou je působení síly z pružiny, která tlačí z jedné strany voliče a tím vychyluje volič z nominální pozice, kde mohou okolo jeho obvodu vznikat větší mezery, než jsou povolené v zákaznickově specifikaci. Při vychýlení z nominální pozice není jen problém estetický, ale může docházet k úniku světla od podsvícení, nebo k usazování nečistot a prachu v konstrukci [3], [10] a [11].

### 3.2.2 Konstrukce s notchingem po obvodu ovladače na krytu panelu

Konstrukce je podobná s konstrukcí v kapitole 3.2.1. Rozdíl je, že plochy notchingu se nacházejí na krytu panelu a odporový článek, který tvoří definovaný pohyb, je jezdec na lineární vinuté pružině nacházející se přímo v konstrukci voliče, jak je vidět na obrázku 8 [2] a [6].

Výhodou tohoto uspořádání je zamezení vychýlení z pozice celého voliče, kde dochází z jedné strany ke zvětšování mezer mezi jednotlivými díly. Tento problém je řešen díky většímu rozkladu sil působící na daný volič, než u konstrukce z kapitoly 3.2.1.

Nevýhodou je větší tvarová náročnost krytu panelu, kde jsou k dalším důležitým konstrukčním prvkům, jako jsou vedení tlačítek a všech ostatních součástí, přidány tvarové plochy notchingu. Přitom jsou nutné složitější tvary na voliči, kde se musí vytvořit pouzdro pro vedení pružiny a jezdec, viz obrázek 8 [10] a [11].



Obrázek 8: Konstrukce radiálně umístěné pružiny a jezdcce



### 3.2.3 Konstrukce s notchingem ze spodní strany voliče

Konstrukční řešení s notchingem na spodní části voliče, kde proti notchingu působí jezdec na pružině je předchůdcem nynějšího řešení, kde se využívá předpjatosti pružiny k požadovanému odporu při otáčení voliče. Osa jezdcce je rovnoběžná s osou voliče, na jehož spodní straně se nachází tvarové plochy notchingu [1] a [2].

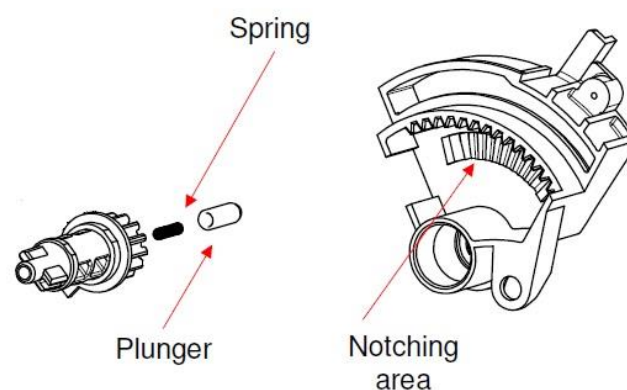
Výhodou je libovolné umístění jezdcce okolo voliče pouze s podmínkou rovnoběžnosti osy jezdcce s osou voliče.

Nevýhodou konstrukce může být zkřížení voliče na vedení, kvůli síle působící pouze v jednom místě ve spodní části voliče. Tím mohou na voliči vznikat větší třecí účinky podél vedení a volič nemusí splňovat požadovaný kroučící moment, který je definovaný zákazníkem [10] a [11].

### 3.2.4 Konstrukce s notchingem axiálně na krytu panelu

Notching se jako u typu v kapitole 3.2.2 nachází na krytu panelu. Rozdíl je, že se nachází v osovém směru voliče. Jezdec je upevněn na vinuté pružině v pouzdře umístěném na obvodu voliče také v osovém směru, viz obrázek 9 [6], [7] a [8].

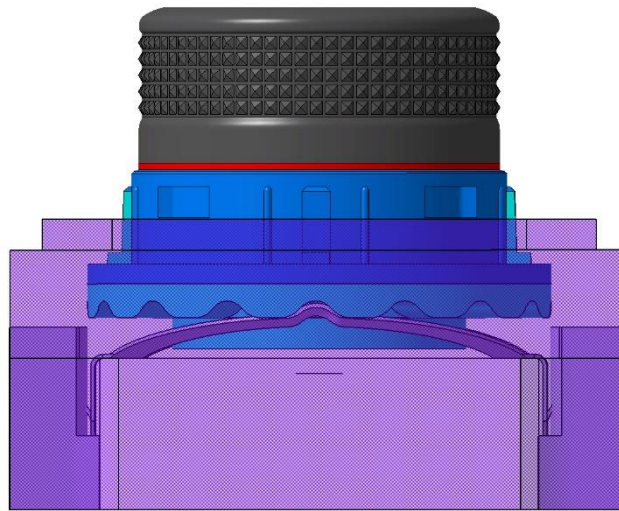
U konstrukce se reguluje problém se zkřížením voliče, protože síla od pružiny nepůsobí na tak velkém rameni jako to je u konstrukce v kapitole 3.2.3. Tím nedochází k tak velkému tření. Na průběh kroučícího momentu působí menší negativní účinky a je tedy i jednodušší upravit vlastnosti pružiny nebo plochy notchingu, aby byl kroučící moment dle specifikací [10].



Obrázek 9: Axiální umístění notchingu na krytu panelu

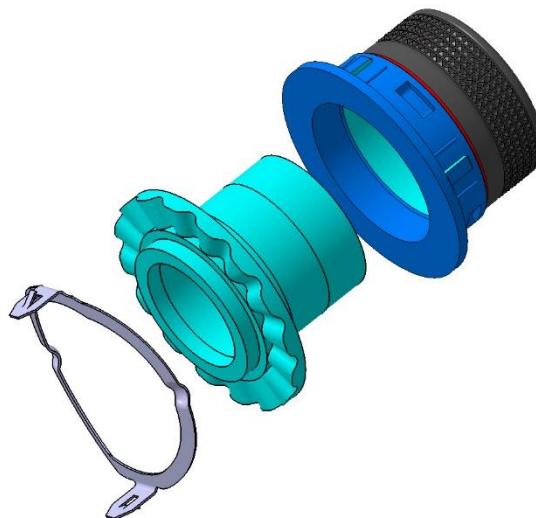
### 3.2.5 Konstrukce kruhové pružiny s notchingem zespodu voliče

Tato konstrukce otočného voliče se nyní využívá nejvíce. Notching se nachází zespodu voliče, nebo na jeho prstenci, pod kterým je předpjatá pružina kruhového tvaru se dvěma výstupky, jak je vidět na obrázcích 10 a 11. Tato konstrukce koriguje problém zkřížení voliče na jeho vedení, který vznikal při použití konstrukce s jezdcem na pružině působící v jednom bodě zespodu voliče. Nevzniká zde ani problém vyosení z nominální pozice jako při použití konstrukce popsané v kapitole 3.2.1. [2].



Obrázek 10: Konstrukce voliče s notchingem na prstenci

Nevýhodou může být neomezené otáčení na jednu či druhou stranu, kde zákazník může zadat celkový úhel otáčení voliče například na 270°. Tento problém je řešen použitím dvojitého notchingu, kde jedna strana pružiny klouže po vnitřních plochách a druhá strana

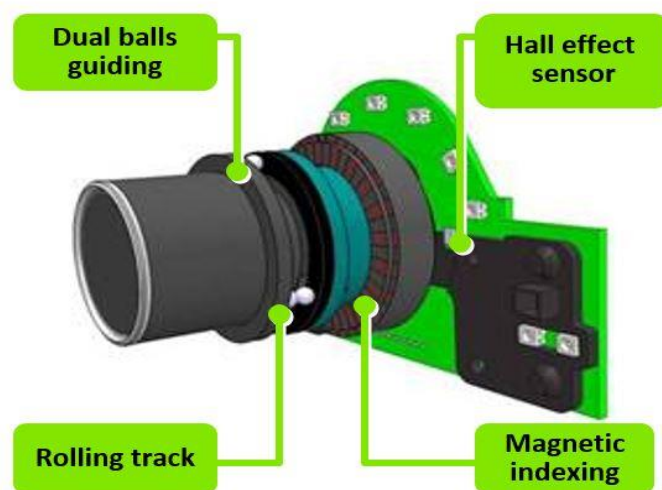


Obrázek 11: Konstrukce voliče s notchingem na prstenci - rozpadlý pohled

pružiny klouže po vnějších plochách notchingu. Tímto řešením se dá nastavit jakýkoliv úhel otáčení. Ovšem musí být zavedeny koncové vymežovací plochy na notchingu. Stejným zavedením dvojitého notchingu se dá dosáhnout i různého krouticího momentu při otáčení. Pro příklad vnitřní notching je konstruován na menší krouticí moment a vnější notching je konstruován pro větší krouticí moment. Tyto prstence notchingu jsou v různém poměru kroků. Třeba tři kroky malého krouticího momentu k jednomu kroku velkého krouticího momentu. Dále se zkoušelo použití pružiny, kde na jedné straně je výstupek, který zapadá do notchingu a na druhé straně je pružina rovná, pouze opřená o vnější oblouky notchingu. Ovšem u této konstrukce pružiny vznikal problém s větší hlučností při otáčení voliče [10] a [11].

### 3.2.6 Konceptní řešení konstrukcí

Jedním z konceptních konstrukčních řešení by mohl být notching vytvořený magnetickým polem cívek, které se nachází na PCB. Magnetické pole vytváří neviditelný notching podle působení a intenzity magnetického pole jednotlivých cívek [2]. Nevýhodou tohoto konstrukčního řešení je, že volič může v jednotlivých polohách kmitat a je zde pohyb s vůlí, než začne magnetické pole cívky působit. Ovšem největším problémem je nutnost použití přesného, nejčastěji kuličkového ložiska, které má udržovat volič v dané poloze a zaručovat přesnou rotaci. Ložiska jsou v takto velkém množství



Obrázek 12: Konstrukce voliče za použití magnetického pole

produkovaných panelů velmi nákladná, proto se od tohoto konceptu upustilo. Schéma konstrukce na obrázku 12 [10] a [11].

## 4 Analýza a vytvoření modelu systému

### 4.1 Analýza systému

Konstrukci k analýze a dalšímu zpracování jsem zvolil z kapitoly 3.2.5. Z důvodu, že tato konstrukce je využívána nejčastěji. Jedná se o konstrukci kruhové pružiny s výběžky a notchingem na spodní straně prstence otočného voliče.

Pružina kruhového tvaru má dva válcové výběžky, které jsou styčnými plochami kontaktu s notchingem. Notching po těchto výběžcích klouže a vytváří střídavý průběh krouticího momentu, jak je vidět z obrázku 4. Z toho vyplývá, že důležitými parametry při definování konstrukce otočného voliče je tvar notchingu, přesný tvar výběžků na pružině a její tuhost a předpjatost. Poloha pružiny v konstrukci bývá neměnná, její předpjatost je dána konstrukcí. Při vývoji se mění materiálové vlastnosti pružiny, pozice zůstává stálá.

Pro tvar notchingu je důležité jeho maximum a kolmost ploch, po kterých pružina stoupá či klesá. V této závislosti je i důležitý tvar styčné plochy na pružině. Nejčastěji je využívána kulová plocha, ale je možno využití i ploch jehlanu či kužele.

Přesná hodnota momentu vychází ze síly, kterou je potřeba vytvořit pro otočení o jeden krok. Dále ze síly, kterou vyvine předpjatá pružina, kdy po překročení nejvyššího bodu notchingu dopomáhá s dotočením voliče. Tomuto stavu se říká snap force. Při poloze notchingu s pružinou v nejvíce předpjatém stavu dochází k maximální hodnotě krouticího momentu. Pohyb o jeden krok je dovršen, když pružina opět zapadne mezi plochy notchingu.

## 4.2 Model systému

### 4.2.1 Analýza definice modelu

Zmíněný pohyb notchingu po pružině si můžeme představit jako pohyb bodu po sinusové křivce. Bod stoupá a klesá v závislosti na pohybu. Když uvážíme, že styčné plochy pružiny jsou tvořeny válcovými plochami, můžeme tyto plochy nahradit v rovině půlkružnicí. Protože je pružina symetrická, můžeme v modelu použít pouze jedné styčné plochy. Znamená to, že budeme mít dvě křivky posouvající se jedna po druhé. Nezáleží, která z křivek bude konat pohyb a která bude nehybná. Zvolil jsem sinusovou křivku pevnou. Pohybuje se křivka půlkružnice, která zastupuje danou pružinu. I přesto, že v reálné konstrukci se pohybuje notching po upevněné pružině. V rovině mezi těmito křivkami bude vždy pouze jeden bod dotyku, ve kterém, budou působit dané síly systému viz. obrázek 13. Pro řešení modelu a k jeho pozdějšímu ladění využívám program Matlab.

Tímto schématem je vytvořen základní model systému, se kterým dále pracuji.

Pro matematické vyjádření schématu platí.

Rovnice kružnice:

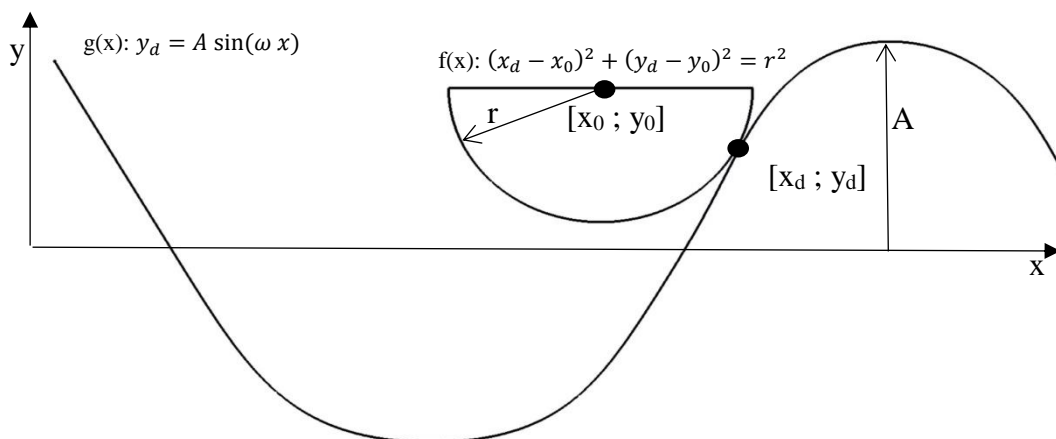
$$f(x): (x_d - x_0)^2 + (y_d - y_0)^2 = r^2, \quad (1)$$

kde  $x_0$  a  $y_0$  jsou souřadnice středu kružnice,  $x_d$  a  $y_d$  jsou body kružnice a  $r$  je její poloměr.

Rovnice sinusoidy:

$$g(x): y_d = A \sin(\omega x_d) \quad (2)$$

$y_d$  je aktuální poloha,  $A$  amplituda sinusoidy,  $x_d$  poloha ve směru osy  $x$ .



Obrázek 13: Schéma v bodě dotyku

## 4.2.2 Řešení hledáním bodu dotyku

Pro řešení bodu dotyku jsem křivku kružnice popsanou rovnicí (1) a křivku sinusoidy popsanou rovnicí (2) převedl do anulovaného tvaru viz rovnice (3) a (4).

Pro rovnici kružnice to je:

$$0 = y_0 - \sqrt{r^2 - (x_d - x_0)^2} - y_d \quad (3)$$

Rovnice sinusoidy:

$$0 = A \sin(\omega x_d) - y_d \quad (4)$$

Body  $x_d$ ,  $y_d$  jsou souřadnice bodu dotyku.  $x_0$  a  $y_0$  jsou souřadnice středu kružnice. V rovnicích (3) a (4) vidíme, že jsou čtyři neznámé. Jednu neznámou  $x_0$  si zadáme jako parametr  $x_{opt}$ . Zbývá jedna neznámá, pro kterou vytvoříme rovnici s podmínkou rovnosti derivací.

$$\frac{df(x)}{dx} = \frac{dg(x)}{dx} \quad (5)$$

Z čehož plyne rovnice:

$$\frac{df(x)}{dx} - \frac{dg(x)}{dx} = 0 \quad (6)$$

Derivace křivky kružnice:

$$\frac{df(x)}{dx} = \frac{(x_d - x_{opt})}{\sqrt{r^2 - (x_d - x_{opt})^2}} \quad (7)$$

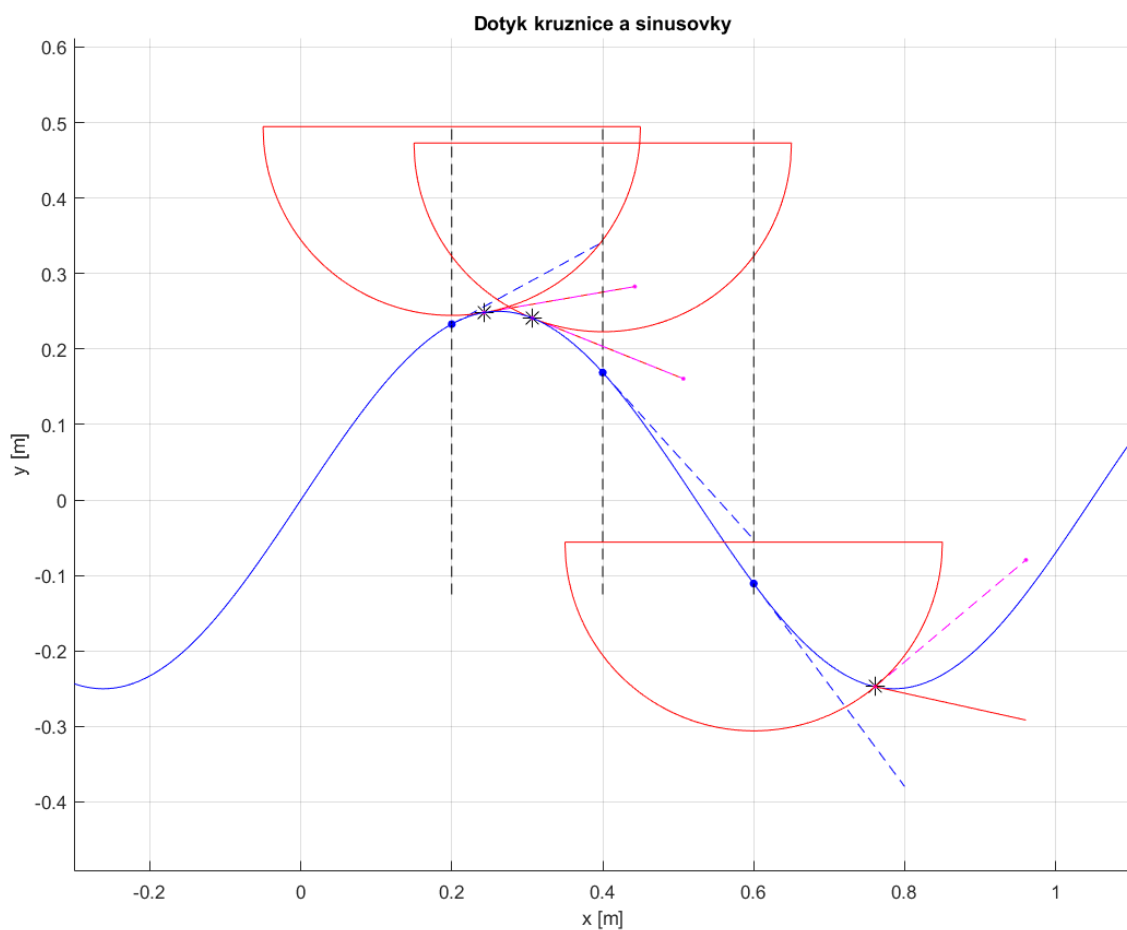
Derivace křivky sinusoidy:

$$\frac{dg(x)}{dx} = A \omega \cos(\omega x_d) \quad (8)$$

Dosažením rovnic (7) a (8) do rovnice (6) a doplněním rovnic (3) a (4) vznikne soustava rovnic (9) s třemi neznámými  $y_0$ ,  $x_d$ ,  $y_d$  a jedním parametrem  $x_{opt}$ :

$$\begin{aligned} 0 &= y_0 - \sqrt{r^2 - (x_d - x_{opt})^2} - y_d \\ 0 &= A \sin(\omega x_d) - y_d \\ 0 &= \frac{(x_d - x_{opt})}{\sqrt{r^2 - (x_d - x_{opt})^2}} - A \omega \cos(\omega x_d) \end{aligned} \quad (9)$$

Bohužel způsob se zavedením parametru pro posun kružnice v x-ovém směru nebylo vhodné. Respektive numerické řešení v programu nevycházelo vhodně. Řešení bylo dosaženo pouze na horní polovině sinusoidy. Když se měl bod dotyku počítat za inflexním bodem sinusoidy, program počítal dotyk s druhou polovinou kružnice. viz obrázek 14. Kde je vidět, že když bylo  $x_{opt}$  zvoleno 0,2 a 0,4 řešení bylo správné, ovšem jakmile bylo  $x_{opt}$  zvoleno 0,6 program nenašel požadované řešení. Řešení pro  $x_{opt}$  odpovídá bodu dotyku horní poloviny kružnice.



Obrázek 14: Vykreslení bodu dotyku kružnice a sinusoidy - 1. řešení

### 4.2.3 Řešení dopočtením středu kružnice

Na rozdíl od řešení z kapitoly 4.2.2 budeme jako parametr brát bod dotyku a budeme hledat souřadnice středu kružnice.

Předpokladem je, že ke každé zvolené x-ové souřadnici bodu dotyku je y-ová souřadnice  $y_d$ , kterou dopočítáme z rovnice sinusoidy (4). Dále v získaném bodě dotyku se souřadnicemi  $x_d, y_d$  spočítáme derivaci sinusoidy (8). Tím získáme tečnu v tomto bodě. Po získání tečny můžeme získat i normálu v bodě dotyku. Na normále leží hledaný střed kružnice.

Ze získané tečny spočítáme úhel tečny  $\varphi$  ze vztahu

$$tg\varphi = \frac{dg(x)}{dx} \Rightarrow \varphi = \arctg\left(\frac{dg(x)}{dx}\right) \quad (10)$$

Za použití úhlu  $\varphi$  můžeme vyjádřit jednotkový vektor pro tečnu i normálu.

Jednotkový vektor  $\mathbf{t}$  pro tečnu je:

$$\mathbf{t} = \begin{bmatrix} \cos \varphi \\ \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (11)$$

a jednotkový vektor  $\mathbf{n}$  pro normálu je:

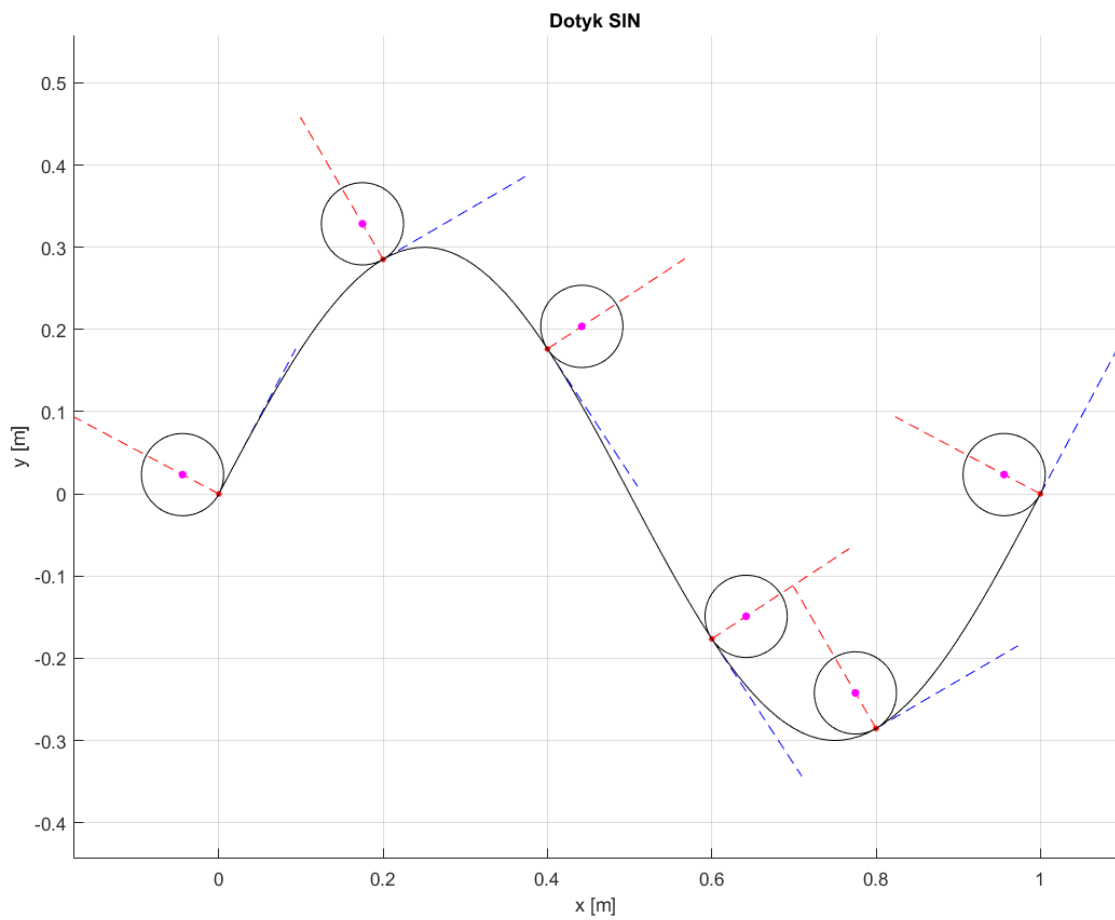
$$\mathbf{n} = \begin{bmatrix} -\sin \varphi \\ \cos \varphi \end{bmatrix} \quad (12)$$

Hledaný bod středu kružnice se nachází na normále ve vzdálenosti poloměru od bodu dotyku. Rovnice pro nalezení středu kružnice  $\mathbf{S}_k = [x_0 ; y_0]$  je:

$$\mathbf{S}_k = \mathbf{n} * r = \begin{bmatrix} -\sin \varphi \\ \cos \varphi \end{bmatrix} r \quad (13)$$



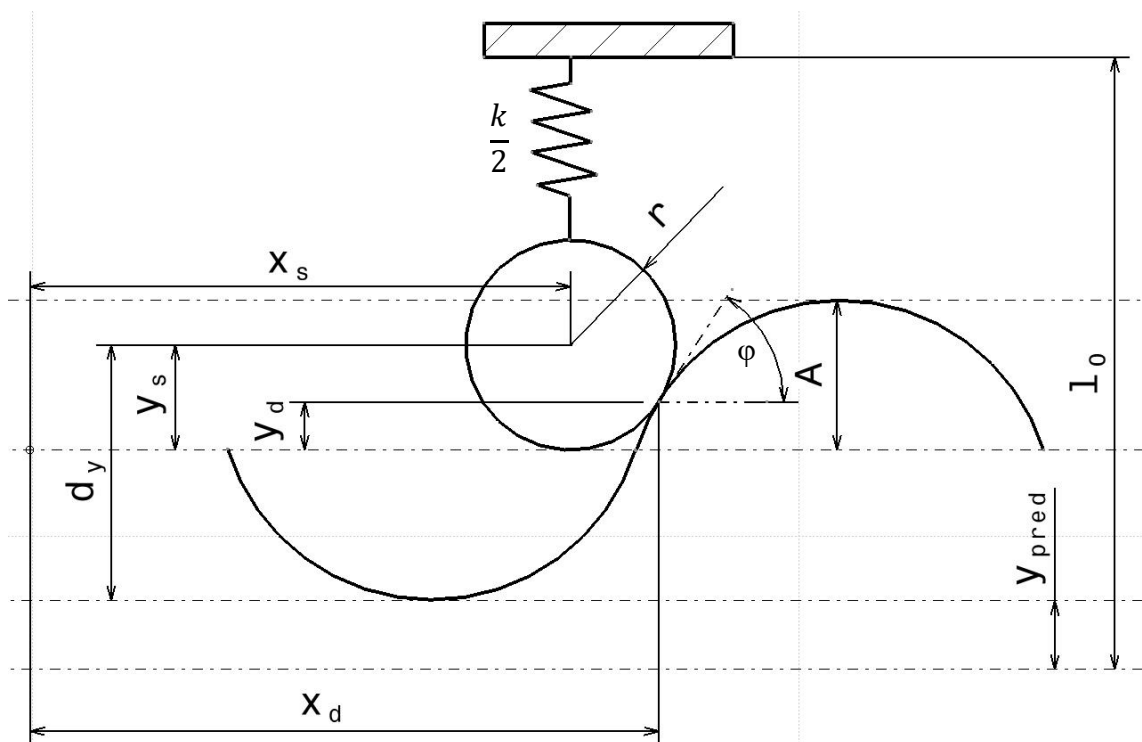
Toto řešení se v programu ukázalo jako funkční, viz obrázek 15.



Obrázek 15: Vykreslení bodu dotyku kružnice a sinusoidy + tečného a normálového vektoru v bodě dotyku - 2. řešení

#### 4.2.4 Zavedení sil v bodě dotyku

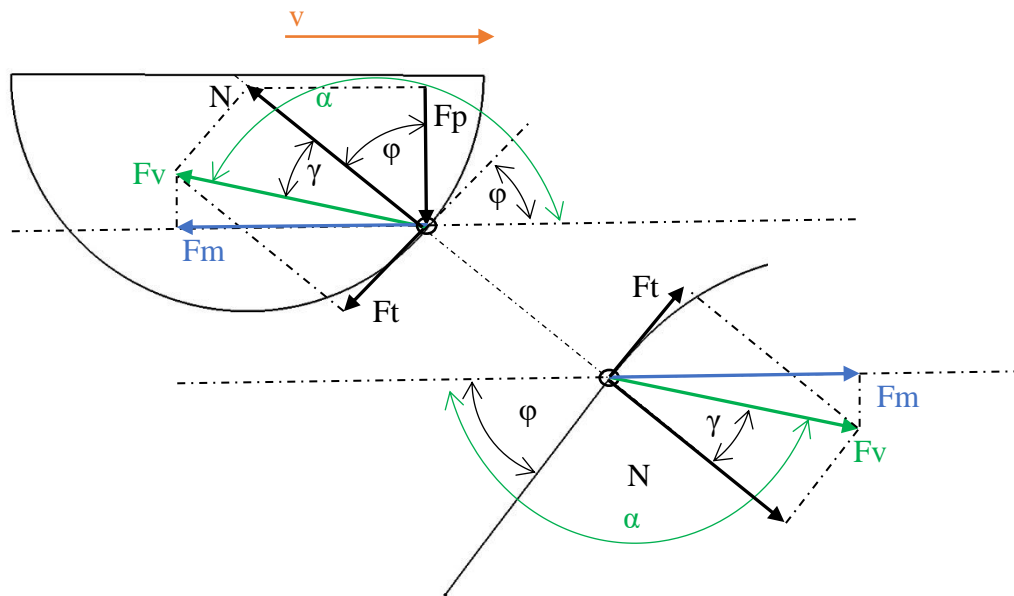
Model na obrázku 16 naznačuje všechny potřebné rozměry, které budu dále ve výpočtech využívat. Na modelu je vidět, že tuhost pružiny je vydělena dvěma. To je z důvodu, protože celková tuhost pružiny se vztahuje na obě styčné plochy. Ovšem dále ve výpočtu používám celou hodnotu tuhosti z důvodu, že je pružina symetrická a ve výsledku, kdybych počítal pouze s poloviční tuhostí musel bych výsledný moment vynásobit dvěma, protože mezi pružinou a notchingem jsou vždy dvě styčné plochy.



Obrázek 16: Schéma situace při dotyku

Po určení bodu dotyku a definování všech potřebných rozměrů lze vyjádřit a určit působící síly mezi půlkružnicí a sinusoidou.

Uvolnění sil v bodě dotyku viz. obrázek 17 [9].



Obrázek 17: Uvolnění sil v místě dotyku

Z uvolnění můžeme vidět, že známe pouze sílu  $F_p$ , což je síla vyvinutá pružinou. Platí,

$$F_p = k(dy + y_{pred}), \quad (14)$$

kde  $k$  je tuhost pružiny,  $y_{pred}$  je předpjetost pružiny a  $dy$  je průhyb pružiny při pohybu po sinusoidě. Podle obrázku 16 je  $d_y$  definováno jako:

$$d_y = A + y_s, \quad (15)$$

kde  $A$  je amplituda sinusoidy a  $y_s$  je y-ová souřadnice středu kružnice.

Poté zvolíme směr pohybu polokružnice naznačený směrem konstantní rychlostí  $v$ . Proti pohybu působí třecí síla  $F_t$  definovaná jako:

$$F_t = N \mu, \quad (16)$$

kde  $N$  je normálová síla od působení mezi dvěma tělesy a  $\mu$  je součinitel tření. Z uvolnění předpokládáme, že síla  $N$  je vytvořena silou  $F_p$  jako:

$$N = \frac{F_p}{\cos(\varphi)} \quad (17)$$

Po dosazení rovnice (17) do rovnice (16) pro sílu  $F_t$  platí:

$$F_t = \frac{F_p}{\cos(\varphi)} \mu \quad (18)$$

Výslednou sílu  $F_V$  vypočítáme přes Pythagorovu větu s odvěsnami  $F_t$  a  $N$ .

$$F_V = \sqrt{F_t^2 + N^2} \quad (19)$$

Dosazením do rovnic (17) a (18) do rovnice (19) dostáváme:

$$F_V = \sqrt{\left(\frac{F_p}{\cos(\varphi)} * \mu\right)^2 + \left(\frac{F_p}{\cos(\varphi)}\right)^2} = \frac{F_p}{\cos(\varphi)} \sqrt{\mu^2 + 1} \quad (20)$$

Sílu  $F_m$  tvořící moment, tedy sílu, která je potřeba pro otočení v daném místě dotyku dopočítáme jako:

$$F_m = F_V \cos(\alpha), \quad (21)$$

kde úhel  $\alpha$  určíme jako součet úhlů  $\varphi, \frac{\pi}{2}$ , a úhlu  $\gamma$ , který určíme z pravoúhlého trojúhelníka s odvěsnami  $F_t$  a  $N$ .

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{F_t}{N} \implies \gamma = \operatorname{arctg} \left( \frac{F_t}{N} \right) \quad (22)$$

Dosazením rovnice (16) do rovnice (22) dostaneme:

$$\gamma = \operatorname{arctg} \left( \frac{N \mu}{N} \right) = \operatorname{arctg}(\mu) \quad (23)$$

Úhel  $\alpha$  je roven:

$$\alpha = \varphi + \frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg}(\mu) \quad (24)$$

Výsledná rovnice pro výpočet síly  $F_m$  vznikne dosazením rovnic (20) a (24) do rovnice (21)

$$F_m = \frac{F_p}{\cos(\varphi)} \sqrt{\mu^2 + 1} \cos \left( \varphi + \frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg}(\mu) \right) \quad (25)$$

Výsledný moment  $M$  získáme vynásobením síly  $F_m$  působící na rameni  $r$ . (9)

$$M = F_M r \quad (26)$$

## 5 Nastavení parametrů modelu systému

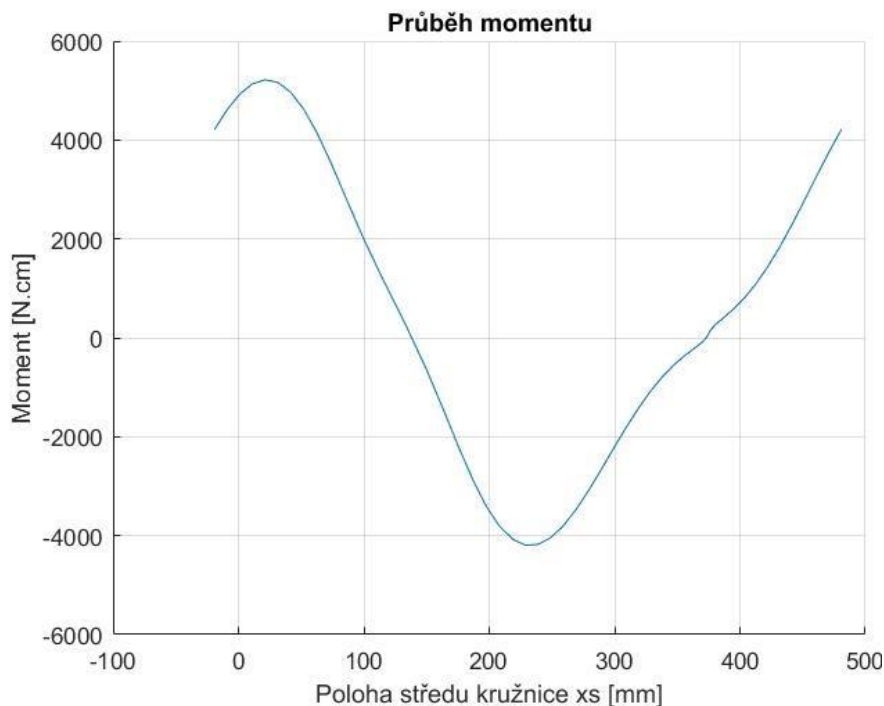
### 5.1 Počáteční nastavení

Pro vstupní systém nechám v programu spočítat průběh momentu z obrázku 15. Poté ho porovná s parametry modelu s otočným voličem, který se nachází v jednom z vyráběných panelů.

Vstupní parametry pro vytvořený model jsou:

poloměr kružnice  $r = 0,02$  m ; amplituda sinusoidy  $A = 0,25$  m ; délka křivky v x-ové souřadnici  $x_{max} = 0,5$  ; součinitel tření  $\mu = 0,3$  ; tuhost pružiny  $k = 100$  N.m<sup>-1</sup> ; rameno působení výsledné síly  $R = 0,5$  m ; hodnota předpjatosti pružiny  $y_{pred} = 0,05$  m.

Výsledný průběh momentu na ovladači je zobrazen na obrázku 18.

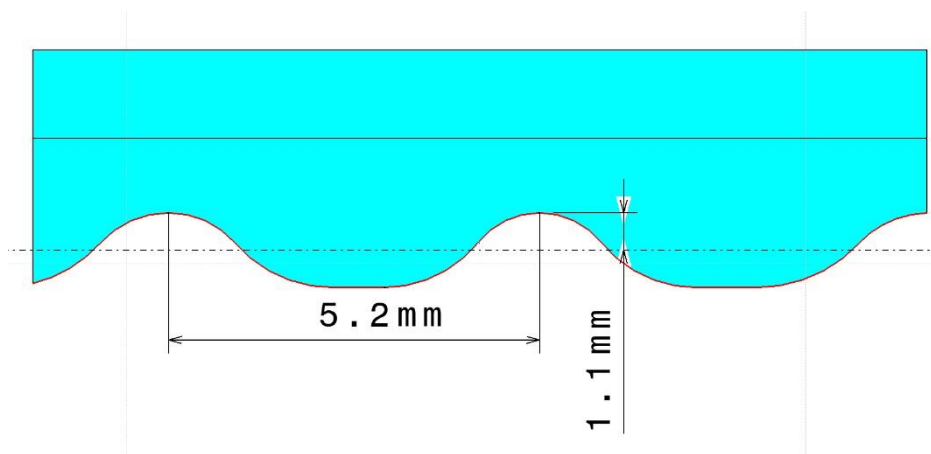


Obrázek 18: Graf průběhu krouticího momentu bez nastavených parametrů

Zvolené parametry a výsledný průběh není relevantní. Čísla byla zvolena, aby bylo dokázáno, že script je funkční a je možno jej upravit.

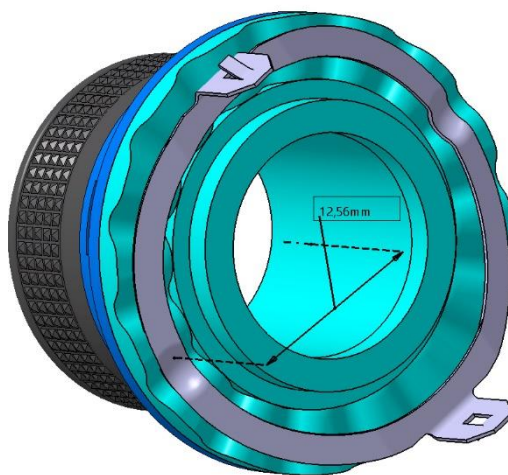
## 5.2 Nastavení parametrů podle reálného dílu

Pro nastavení parametrů systému jsem zvolil otočný volič, který se již nachází v reálném, vyráběném panelu, aby bylo možno porovnat výsledky méj simulace s naměřenými hodnotami, které mám dostupné. Obrázky 19 a 20 ukazují parametry, které jsem naměřil na 3D modelu. Hodnota 5,2 mm ukazuje periodu notchingu, kterou použiji jako periodu sinusoidy v modelu a hodnota 1,1 mm je amplituda. Dalším změněným parametrem je



Obrázek 19: Průřez notchingu reálného dílu

poloměr kružnice  $r = 1,9$  mm. Tuhost pružiny je  $k = 3300$  N.m<sup>-1</sup>. Hodnota tuhosti byla vyčtena z výrobního výkresu pružiny. Předpjatost pružiny je  $y_{pred} = 0,4$  mm. Velikost jsem vyčetl z 3D modelu sestavy panelu.

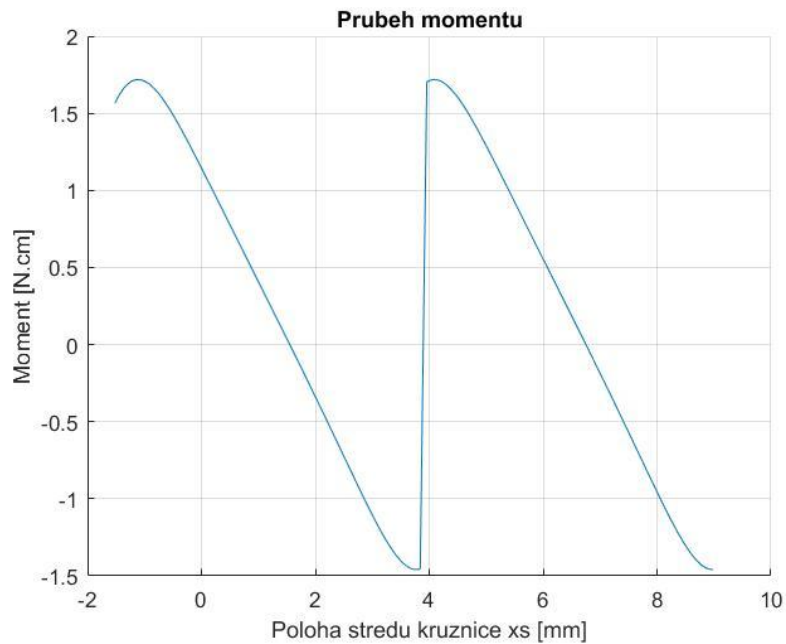


Obrázek 20: Naměřené rameno působení výsledné síly

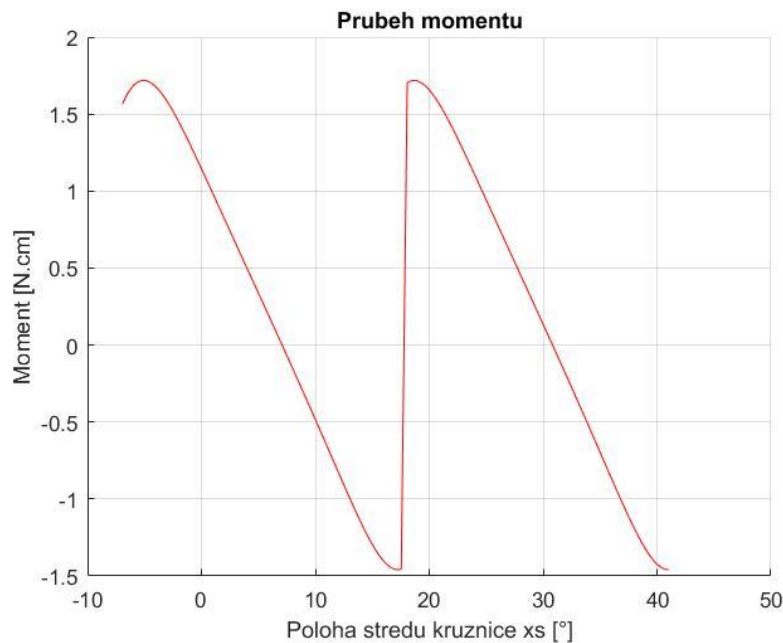
Posledním změněným parametrem je rameno, na které výsledná síla působí,  $R = 12,56$  mm, viz. obrázek 20.

### 5.3 Porovnání simulace a laboratorního měření

V modelu nechávám počítat pouze jeden krok, tedy jednu periodu křivky. V grafu tedy bude zobrazeno pouze posunutí o jeden krok otočení voliče. Po provedení simulace s upravenými parametry dle kapitoly 5.2 vyšel maximální krouticí moment okolo 1,7 N.cm a minimální krouticí moment okolo 1,5 N.cm, viz obrázek 21.

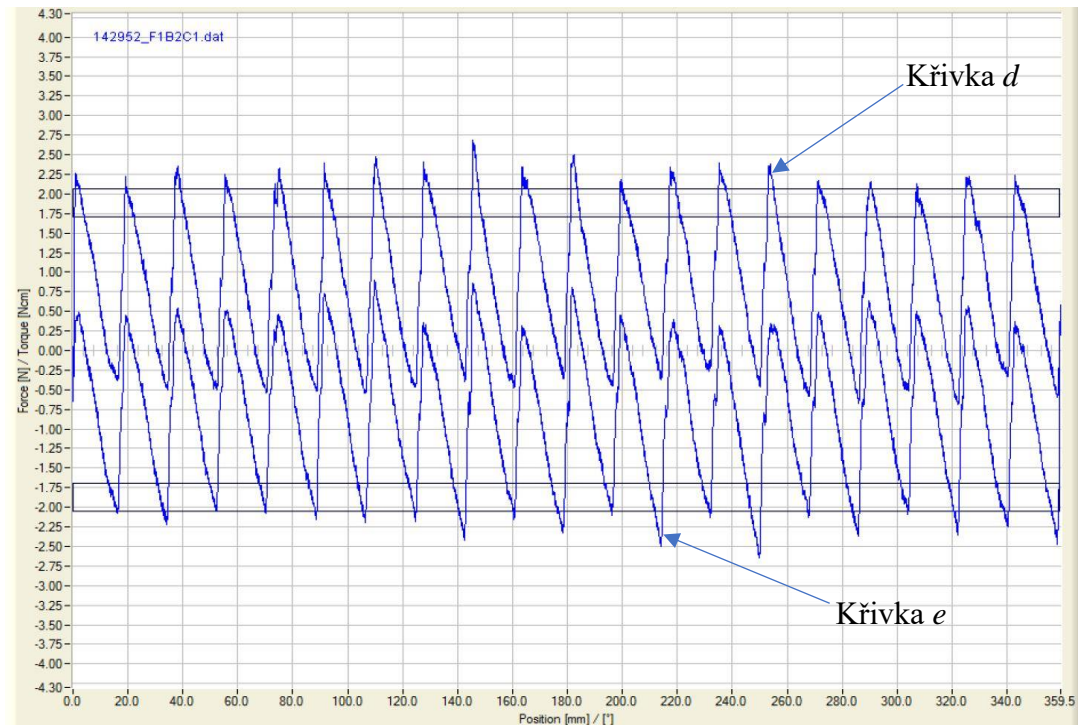


Obrázek 21: Graf průběhu krouticího momentu po nastavení parametrů



Obrázek 22: Graf průběhu krouticího momentu po nastavení parametrů s převedením polohy středu na stupně

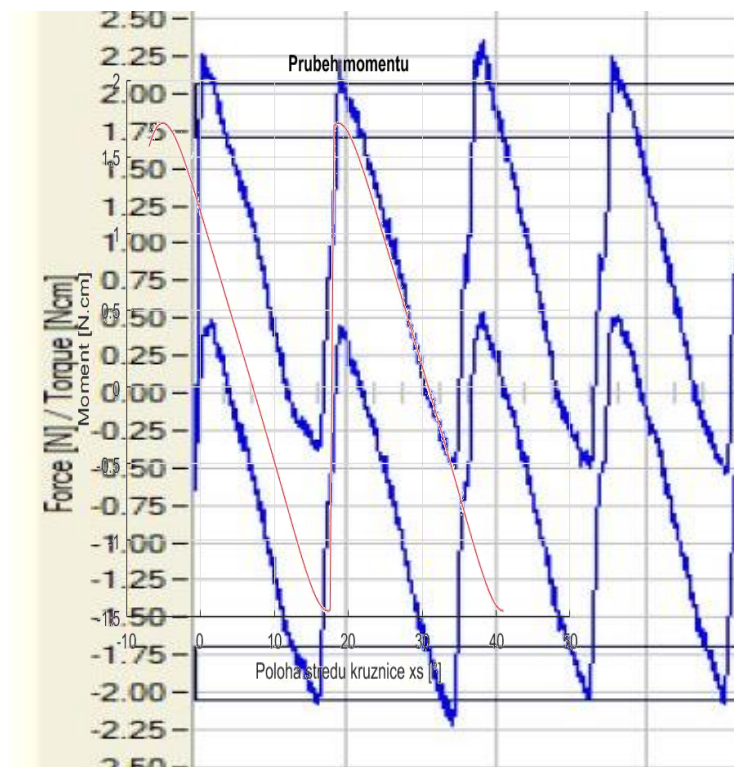
Graf na obrázku 22 má souřadnice polohy středu převedeny na stupně, aby se mohla porovnat simulace s naměřenými hodnotami, kde pohyb voliče je ve stupních.



Obrázek 23: Graf naměřeného kroučícího momentu reálného dílu

Graf naměřeného kroučícího momentu na obrázku 23 ukazuje průběh momentu pro otočení voliče o  $360^\circ$ . Kde horní křivka *d* vyznačuje rotaci voliče jedním směrem a dolní křivka *e* druhým směrem, proto má opačnou hodnotu. Pro srovnání s modelem budu využívat pouze jednu periodu.





Obrázek 24: Sloučené grafy ze simulace a laboratorního měření

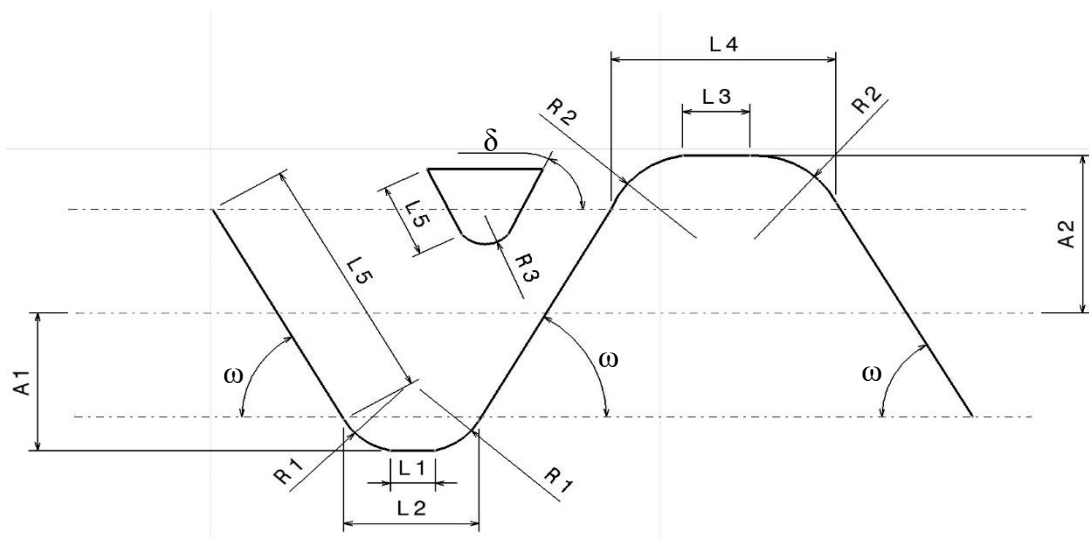
Při porovnání grafů na obrázku 22 a obrázku 23, můžeme na první pohled vidět, velmi podobný tvar průběhu na jedné periodě. Detailnější porovnání je vidět na obrázku 24, kde červená křivka představuje graf momentu ze simulace a modrá křivka představuje graf momentu z měření. Křivka sinusoidy z modelu dostatečně simuluje tvar notchingu použitý na měřeném voliči. Přesný tvar na reálném díle viz. obrázek 18.

Dále můžeme vidět, že naměřený model dosahuje většího maximálního krouticího momentu. To může způsobovat zanedbané tření. Jedná se o tření, které je vytvářeno mezi voličem a jeho vedením. Dále to může způsobovat nepřesná hodnota tuhosti pružiny, která se může lišit od definice z použitého výkresu z důvodu nepřesnosti ve výrobě. Menší je i hodnota minimálního momentu. To může být opět způsobeno nezapočítaným třením ve vedení voliče.

Více se tento model nastavit k dané sestavě nemusel. Výsledný průběh momentu ze simulace odpovídá přepokládanému výsledku, kde se předpokládalo menší maximum

momentu a menší minimum krouticího momentu. Tento předpoklad byl konzultován s vývojovým konstruktérem ze společnosti Valeo Ing. Alešem Krupkou.

Další ladění by probíhalo vytvořením křivky, která by byla podobná sinusoidě, která by byla vytvořena z několika intervalů, kde každý interval by byl tvořen z jednoduché křivky (přímky, výsečí kružnice, část sinusoidy). Jednotlivá křivka by se dala upravovat dle potřebných vlastností. Ke změně parametrů křivky by se využilo vícekriteriálního ladění, kde by se ladily parametry křivky, rozměry polokružnice představující pružinu, nebo změna tvaru představující styčné plochy pružiny, mohlo by se využít dalšího tvaru, třeba trojúhelníku se zaoblenými rohy. Příklad parametrizace křivky je vidět na obrázku 25. Tyto parametry by se mohly samozřejmě pozměnit podle bližších požadavků.



Obrázek 25: Návrh parametrizace křivky

## Závěr

V první části této bakalářské práce jsem se zabýval všeobecným uplatněním a podmínkami, za kterých se ovládací panel do auta vyvíjí. Dále jsem se zabýval konkrétně pouze otočným voličem a popsal několik konstrukcí, podle kterých je otočný volič konstruován, včetně jeho výhod a nevýhod do konkrétní zástavby a specifikace od zákazníka.

Po prozkoumání a provedení rešerše na konstrukci otočných voličů, jsem zvolil nejčastější případ konstrukce, který firma Valeo využívá. Jedná se o konstrukci, kde působí pružina kruhového tvaru ze spodní strany notchingu, který je umístěn přímo na voliči. Pro tuto konstrukci jsem provedl analýzu pohybu.

Podle analýzy a zjednodušení modelu byl vytvořen matematický model. Bylo nutno přijít na dvě řešení problému, protože pro první řešení matematického modelu zmíněného v kapitole 4.2.2 nebylo možno najít vhodné řešení pod inflexním bodem sinusoidy a program vykazoval nesprávné výsledky. Pro druhé řešení byl tento problém vyřešen, z důvodu rozdílného přístupu k řešení, které se po simulaci ukázalo jako správné.

Po získání matematického modelu pohybu a uvolnění sil v bodě dotyku se provedla simulace systému a nastavení parametrů ke konkrétnímu reálnému produktu, který jsem zvolil, aby bylo zřejmé, jaké výsledky simulace vykazuje. Po nastavení systému změnou parametrů podle zmíněného reálného kusu bylo dosaženo předpokládaného výsledku, kde bylo maximum krouticího momentu simulace menší než reálného dílu. Tento výsledek byl pravděpodobně způsoben, tím že nebylo započítáno tření celého otočného voliče na jeho vedení v konstrukci. Pro přesnější určení velikosti zanedbaného tření by bylo třeba simulaci porovnat s více naměřenými produkty a určit rozdíl mezi měřením a simulací.

Pro využití modelu a ladění jednotlivých parametrů v předvývoji produktu by bylo zapotřebí použít vícekriteriální ladění křivky a tvaru, vlastnosti pružiny a tvar jejich styčných ploch představující tvar pružiny v rovině, pomocí programu Matlab.

## Reference

1. Zexel Valeo Clomate Control Corporation. *Rotary switch mechanism for operation panel* [online]. Vynálezce: **Akihiro Koseki, Kazuhiko Hirota, Hiroshi Misuda**. Příhl. 24.10.2000. 200/4, 5 R, 17 R, 200/18, 564,568,573,574, 310-317,336. Čís. patentu *US6670567B1*. United States Patent. [30.12.2003].

Dostupné z:

<https://patentimages.storage.googleapis.com/63/fc/17/5d8fece3c37fde/US6670567.pdf>

2. **Krupka, Aleš**. *HVAC2\_VIC\_Presentation*. [Prezentace] Praha : Valeo s.r.o, 2006.

3. Nokia Mobile phones Limited. *Rotary controller for electrical or electronic apparatuses* [online]. Vynálezce: **Peter Decker, Stefan Hoyler, Suleyman Bakacak, Zoltan Nemeth**. Příhl. 21.05.1999. 341/35, 20; 318/628, 318/685, 626; 200/318,320, 336, 504, 505, 43.11, 43.16. Čís. patentu *US6404354B1*. United States Patent.

[11.06.2002].

Dostupné z:

<https://patentimages.storage.googleapis.com/5f/f5/fb/c9982b6a43ee60/US6404354.pdf>

4. Immerson Corporation. *Mechanisms for control knobs and other interface devices* [online]. Vynálezce: **Steven P.Vassalo, Kenneth M. Martin**. Příhl. 11.08.2000. 345/156, 345/157, 158, 161, 163, 167, 184. Čís. patentu *US7038667B1*. United States Patent. [02.05.2006].

Dostupné z:

<https://patentimages.storage.googleapis.com/73/88/04/92a6d253cd180a/US7038667.pdf>

5. US Control Corps. *Rotary switch with spring stabilized contact control rotor* [online]. Vynálezce: **David G. Hackbarth, Kenyon A. Hapke, Spencer C. Schantz**. Příhl. 22.08.1995. 200/6 R, 6 B-6 C, 200/11 R, 11 A-11 TW, 14, 17 R, 291, 293,303, 307, 565, 568, 569; 74/527, 528. Čís. patentu *US5589671A*. United States Patent.

[31.12.1996].

Dostupné z:

<https://patentimages.storage.googleapis.com/11/dc/17/cd76105c118859/US5589671.pdf>

6. U-SHIN LTD. *Dial Control Device* [online]. Vynálezce: **Kazunori Morizono, Makito Fukazawa, Yasuo Nemoto**. Přihl. 02.04.2009. Čís. patentu *US20090084220A1*. United States Patent. [31.01.2012].

Dostupné z:

<https://patentimages.storage.googleapis.com/c2/d6/2e/b3509ce6f67a55/US20090084220A1.pdf>

7. **Lucaora, L.** *Valeo Control panel standard*. [Dokument] Creteil : Valeo s.r.o, 2003. Notching for rotary knob.

8. Electronic Hardware Corp. *Rotary switch contained inside a knob* [online]. Vynálezce: **Paul Lemire**. Přihl. 30.12.1998. Čís. patentu *US6225580B1*. United States Patent. [01.05.2001].

Dostupné z:

<https://patents.google.com/patent/US6225580B1/en?q=DESIGN+OF+ROTARY+KNOB+WITH+spring&oq=DESIGN+OF+ROTARY+KNOB+WITH+spring>

9. **Valášek M., Stejskal V., Březina J.** *Mechanika A*. Praha : ČVUT, 2004. 80-01-02890

## Ústní Reference

10. Ústní výklad o vývoji a konstrukci ovládacích panelů **Jelínek, Vojtěch**, Mechanical design engineer Valeo Prague
11. Ústní výklad o vývoji a konstrukci ovládacích panelů **Jaroš, Jan**, Mechanical design engineer Valeo Prague

## Seznam tabulek, grafů a obrázků

Obrázek 1: Příklad převodu kruhového voliče .....	10
Obrázek 2: Rozpadlý pohled konstrukce panelu .....	12
Obrázek 3: Příklad zadání od zákazníka pro tlačítko .....	13
Obrázek 4: Příklad zadání od zákazníka pro otočný volič.....	14
Obrázek 5: Příklad konstrukce pro optický snímač .....	14
Obrázek 6: Příklad konstrukce při použití potenciometru .....	14
Obrázek 7: Konstrukce voliče s notchingem po obvodu .....	15
Obrázek 8: Konstrukce radiálně umístěné pružiny a jezdc.....	16
Obrázek 9: Axiální umístění notchingu na krytu panelu .....	17
Obrázek 10: Konstrukce voliče s notchingem na prstenci.....	18
Obrázek 11: Konstrukce voliče s notchingem na prstenci - rozpadlý pohled .....	18
Obrázek 12: Konstrukce voliče za použití magnetického pole.....	19
Obrázek 13: Schéma v bodě dotyku .....	21
Obrázek 14: Vykreslení bodu dotyku kružnice a sinusoidy - 1. řešení .....	23
Obrázek 15: Vykreslení bodu dotyku kružnice a sinusoidy + tečného a normálového vektoru v bodě dotyku - 2. řešení .....	25
Obrázek 16: Schéma situace při dotyku .....	26
Obrázek 17: Uvolnění sil v místě dotyku .....	27
Obrázek 18: Graf průběhu krouticího momentu bez nastavených parametrů .....	29
Obrázek 19: Průřez notchingu reálného dílu .....	30
Obrázek 20: Naměřené rameno působení výsledné síly.....	30
Obrázek 21: Graf průběhu krouticího momentu po nastavení parametrů	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obrázek 22: Graf průběhu krouticího momentu po nastavení parametrů s převedením polohy středu na stupně .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obrázek 23: Graf naměřeného krouticího momentu reálného dílu .....	32
Obrázek 24: Sloučené grafy ze simulace a laboratorního měření .....	33
Obrázek 25: Návrh parametrizace křivky.....	34

# **Přílohy**

CD s výpočetním programem, pdf. souborem a docx. souborem bakalářské práce.