



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**

**Katedra biomedicínské techniky**

**Simulace trajektorie tahu provedeného operačním nástrojem  
během konizace**

**Simulation of the trajectory of the used operating tools during the  
cervical conization**

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika  
Studijní obor: Biomedicínský technik

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Hozman, Ph.D.

**Eliška Niebauerová**

---

**Kladno 2021**



# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Niebauerová** Jméno: **Eliška** Osobní číslo: **482956**  
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**  
Garantující katedra: **Katedra biomedicínské techniky**  
Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**  
Studijní obor: **Biomedicínský technik**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Simulace trajektorie tahu provedeného operačním nástrojem během konizace**

Název bakalářské práce anglicky:

**Simulation of the trajectory of the used operating tools during the cervical conization**

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte a vytvořte SW modely optimální a reálné trajektorie tahu operačním nástrojem (tzv. kličky) během konizace. Na základě těchto modelů pak identifikujte souvislost tvaru konizátu a jednotlivých částí tahu operačním nástrojem. Výsledky porovnejte s referenčními tahy lékařského specialisty, tj. operátora z ÚPMD v Praze Podolí a 3D modely konizátů z předchozích zákroků. Pro ověřování použijte zjednodušený simulátor operačního pole a pro realizaci programové prostředí Rhinoceros.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Turyňa, R., Sláma, J., Kolposkopie děložního hrdla, ed. 1, Galén, 2010, 174 s., ISBN 978-80-7262-679-3
- [2] Carcopino, X. et al., The Accuracy of Large Loop Excision of the Transformation Zone Specimen Dimensions in Determining Volume: A Multicentric Prospective Observational Study, Journal of Lower Genital Tract Disease, ročník 21, číslo 2, 2017, 120-124 s., doi: 10.1097/LGT.0000000000000283

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

**doc. Ing. Jiří Hozman, Ph.D.**

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

**MUDr. Radovan Turyňa, Ph.D. (ÚPMD)**

Datum zadání bakalářské práce: **15.02.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **18.09.2022**

  
.....  
doc. Ing. Martin Rožánek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) katedry

  
.....  
prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA  
podpis děkana(ky)

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student(ka) bere na vědomí, že je povinnen(a) 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.

17. 2. 2021

Datum převzetí zadání

Nikauera

Podpis studenta(ky)

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Simulace trajektorie tahu provedeného operačním nástrojem během konizace“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Kladně dne 13. 5. 2021

.....

Eliška Niebauerová

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce, doc. Ing. Jiřímu Hozmanovi, Ph.D., za jeho vstřícný přístup, čas, cenné rady a trpělivost. Dále bych ráda poděkovala MUDr. Radovanu Turynovi, Ph.D. a to především za jeho čas a za poskytnuté konzultace. Další poděkování patří Ing. Kateřině Seidlové a Bc. Tereze Kislíngerové za rady a poskytnutí některých souborů.

## **ABSTRAKT**

### **Simulace trajektorie tahu provedeného operačním nástrojem během konizace**

Bakalářská práce se věnuje modelování trajektorií vysokofrekvenční elektrochirurgické kličky při provádění konizace děložního čípku v programu Rhinoceros. Hlavním cílem je vytvořit SW modely reálných trajektorií, jejichž použitím vzniknou modely konizátů odpovídající reálným a SW modely optimálních trajektorií, jejichž použitím vzniknou modely konizátů blízké ideálním, ale budou reálně dosažitelné. Bakalářská práce se také zabývá jednoduchým simulátorem operačního pole, na kterém lze realizovat vymodelované trajektorie modelem kličky. Tyto trajektorie jsou zaznamenávány na video a zpětně rekonstruovány v Matlabu. Vymodelované trajektorie jsou také prováděny modelem kličky ve vhodné hmotě. Vzniklé modely reálných trajektorií a konizátů jsou velmi blízké skutečným, modely optimálních trajektorií a konizátů splňují dané představy o jejich podobě. Tahy ve vhodné hmotě vznikly modely konizátů odpovídající skutečným. Dva vytvořené jednoduché simulátory operačního pole umožnily simulovat pohyby kličky. Zrekonstruované trajektorie z prvního simulátoru mají odchylky od skutečných, zrekonstruované trajektorie z druhého simulátoru se skutečným podobají. Na základě zkušeností a dosažených výsledků by bylo vhodné vylepšit způsob záznamu a rekonstrukce trajektorie a vytvořit univerzálnější simulátor pro konizaci děložního čípku s možností nastavení různých parametrů obtížnosti.

### **Klíčová slova**

Elektrochirurgická vysokofrekvenční klička (LLETZ), trajektorie, konizát, model, simulátor

## **ABSTRACT**

### **Simulation of the trajectory of the used operating tools during the cervical conization**

The Bachelor's Thesis deals with the modeling of loop trajectories during the Large Loop Excision of the Transformation Zone in Rhinoceros SW. The aim is to create software models of trajectories, which would match the real ones and also trajectories, which would be optimised. The first models will also form models of tissue samples (specimen), which will be very close to the real specimen. The second models will form models of tissue samples, which will be approaching the ideal ones, but still can be realized. Attention is also paid to the simple operating field simulator, which enables simulating movements as trajectories with a loop model. These movements will be recorded on video and then reconstructed. Simulating movements with a loop model will be also realized in eligible material. SW models of realistic trajectories and specimens are very similar to the real ones. SW models of optimised trajectories and specimens correspond with ideas of their form. Simulating movements with a loop model in eligible material created models of tissue samples, which match the real ones. The two created simulators enabled the simulations of loop model movements. The reconstructed trajectories from the first simulator are quite similar to the real ones, with small divergences, and the reconstructed trajectories from the second simulator are similar to the real ones. Based on our experimentation and end results, the recording and reconstruction of the loop movements must be slightly improved and a new simulator should be created, one that is more universal and has adjustable difficulty.

### **Keywords**

LLETZ (Large Loop Excision of the Transformation Zone), trajectory, specimen (tissue sample), model, simulator

# Obsah

Seznam symbolů a zkratk.....	9
<b>1 Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>2 Přehled současného stavu.....</b>	<b>11</b>
2.1 Děložní čípek.....	11
2.2 Léze na děložním čípku.....	12
2.3 Konizace děložního čípku .....	13
2.3.1 Metoda LLETZ.....	14
<b>3 Cíle práce.....</b>	<b>16</b>
<b>4 Metody .....</b>	<b>17</b>
4.1 SW modely trajektorií a konizátů.....	17
4.1.1 Modely ideálních konizátů .....	17
4.1.2 Modely reálných trajektorií .....	18
4.1.3 Modely optimálních trajektorií.....	19
4.1.4 Simulace konizace SW modely .....	19
4.1.5 Konizát tvaru kužele versus konizát tvaru zaobleného obdélníku .....	21
4.1.6 Spojitost mezi tvarem modelu trajektorie a vzniklého konizátu .....	22
4.1.7 Vyjádření symetrie či nesymetrie modelů.....	22
4.2 Srovnání SW modelů s referenčními .....	22
4.2.1 3D modely reálných konizátů.....	23
4.3 Simulátor operačního pole .....	24
4.3.1 Simulace řezu modelem kličky v želatině .....	26
4.4 Záznam a rekonstrukce trajektorií.....	27
<b>5 Výsledky.....</b>	<b>29</b>
5.1 SW modely trajektorií a konizátů.....	29
5.1.1 Ideální modely .....	29
5.1.2 Reálné SW modely .....	31
5.1.3 Optimální SW modely .....	37
5.1.4 Spojitosti mezi tvarem modelu trajektorie a vzniklého konizátu .....	40
5.1.5 Symetrie a nesymetrie modelů .....	42
5.2 První záznamy tahů elektrochirurgické kličky.....	43



5.3	Simulátor operačního pole .....	45
5.3.1	Simulace řezu modelem kličky v želatině .....	50
<b>6</b>	<b>Diskuse .....</b>	<b>53</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>57</b>
	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>58</b>
	<b>Příloha A: SW modely trajektorií a konizátů .....</b>	<b>60</b>
	<b>Příloha B: Zrekonstruované trajektorie.....</b>	<b>65</b>
	<b>Příloha C: Modely konizátu z želatiny.....</b>	<b>70</b>
	<b>Příloha D: Obsah přiloženého ZIP souboru.....</b>	<b>72</b>

# Seznam symbolů a zkratek

## Seznam symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
$\Delta V$	ml	Rozdíl objemu
$V_L$	ml	Objem levé poloviny SW modelu konizátu
$V_P$	ml	Objem pravé poloviny SW modelu konizátu
$V_R$	ml	Objem reálného konizátu
$V_M$	ml	Objem SW modelu konizátu
$\Delta h$	mm	Rozdíl výšky
$h_R$	mm	Výška reálného konizátu
$h_M$	mm	Výška SW modelu konizátu

## Seznam zkratek

Zkratka	Význam
LLETZ	Excize transformační zóny pomocí velké kličky ( <i>Large Loop Excision of Transformation Zone</i> )
LEEP	Excize pomocí kličky ( <i>Loop Electrosurgical Excision Procedure</i> )
HPV	Lidský papilomavirus ( <i>Human Papillomavirus</i> )
NETZ	Excize transformační zóny pomocí jehlové elektrody ( <i>Needle Excision of Transformation Zone</i> )
CKC	Metoda konizace nožem ( <i>Cold Knife Conization</i> )
HR HPV	Vysoce rizikové genotypy HPV ( <i>High Risk Human Papillomavirus</i> )
LC	Konizace laserem ( <i>Laser Conization</i> )
IARC	Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny ( <i>International Agency of Research on Cancer</i> )
TZ	Transformační zóna ( <i>Transformation zone</i> )
CIN	Cevikální intraepiteliální neoplazie ( <i>Cervical Intraepithelial Neoplasia</i> )
SW	Softwarový
RTG	Rentgenové záření
RGB	Barevný model červená-zelená-modrá (Red, Green, Blue)
CT	Výpočetní tomografie ( <i>Computed Tomography</i> )
ÚPMD	Ústav pro péči o matku a dítě
PVC	Polyvinylchlorid
3D	Trojrozměrný ( <i>Three Dimensional</i> )
2D	Dvojrzměrný ( <i>Two Dimensional</i> )

# 1 Úvod

Tato práce se věnuje trajektoriím vysokofrekvenční elektrické kličky při konizaci děložního čípku. Zabývá se především modelováním ideálních a reálných tvarů trajektorií a jejich simulováním. Konizace děložního čípku se provádí řadou metod. Metoda, při které se používá vysokofrekvenční elektrická klička, se nazývá LLETZ (v americké literatuře se používá zejména zkratka LEEP).

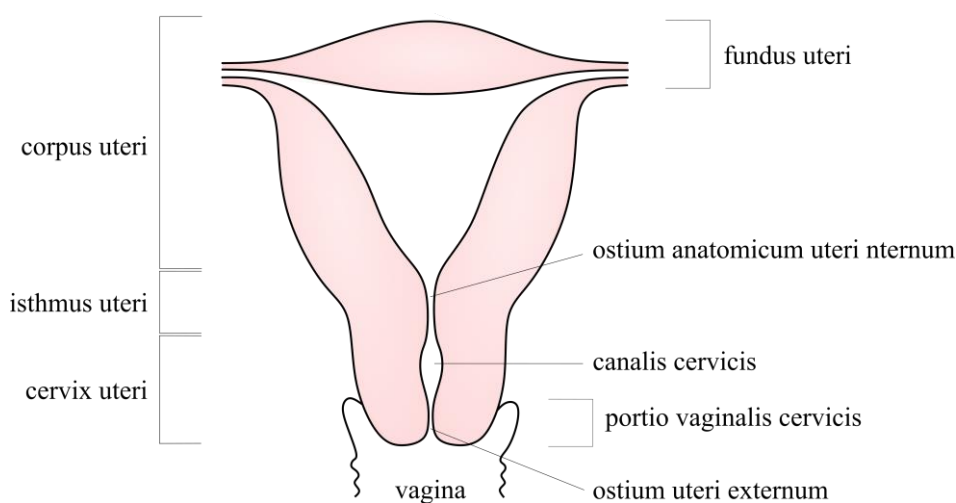
Konizace děložního čípku, tedy odběr části tkáně děložního čípku, je dnes poměrně častý zákrok, kterým se obvykle předchází vzniku či rozvoji karcinomu děložního čípku. Karcinom děložního čípku je globálně jeden z nejčastějších nádorů vyskytujících se u žen. V České republice v posledních letech incidence tohoto onemocnění klesá, nicméně je stále ročně diagnostikováno přes 700 těchto nádorů a více jak 300 žen na toto onemocnění ročně zemře [1]. Nejčastěji se vyskytující karcinomy děložního čípku jsou dvojího typu a vznikají z prekanceróz. Vznik prekanceróz a následně karcinomů je nejčastěji zapříčiněn perzistující infekcí lidským papilomavirem (HPV), především jeho tzv. high risk genotypy, a dalšími kofaktory jako jsou kouření tabáku, promiskuita, dlouhodobé užívání hormonální antikoncepce, multiparita, chlamydiové infekce a další. Riziko vzniku tohoto onemocnění lze výrazně snížit pravidelnými cytologickými screeningy z děložního čípku. Jestliže výsledky cytologie nejsou uspokojivé, mělo by v zásadě následovat kolposkopické vyšetření. [2], [3] Pokud jsou při kolposkopii zjištěny nežádoucí změny v epitelu děložního čípku, provádí se obvykle odběr postižené tkáně – konizace. Tvar odebrané tkáně, konizátu, je různý. Závisí především na trajektorii operačního nástroje a použitém operačním nástroji. Záleží také na celkové velikosti děložního čípku, na velikosti a rozsahu postižené části epitelu a na její lokalizaci. Promítají se zde v neposlední řadě též zkušenosti operátora a další faktory. Tvar konizátu do značné míry určuje úspěšnost konizace a ovlivňuje i riziko předčasného porodu. [4], [5], [6] Právě proto jsem se rozhodla v této práci věnovat trajektoriím vysokofrekvenční elektrochirurgické kličky při konizaci, zjistit jaké trajektorie elektrochirurgické kličky při konizaci lékaři opisují, jak by měly vypadat optimální konizáty a pokusit se navrhnout trajektorie, které k nim povedou.

## 2 Přehled současného stavu

Přehled současného stavu tvoří tři kapitoly, které se postupně zabývají anatomickým popisem děložního čípku, lézemi na děložním čípku a konizací děložního čípku, jejími metodami, konkrétněji se věnuje metodě LLETZ.

### 2.1 Děložní čípek

Děložní čípek je část dělohy, přesněji dolní zaoblená část děložního hrdla, která vyčnívá do dutiny pochvy. Děloha, jejíž anatomický náčrt uvádím na Obr. 2.1, je dutý orgán hruškovitého tvaru, který se kaudálně zužuje. Je tvořena tělem (corpus uteri) a hrdlem děložním (cervix uteri), tyto části odděluje zúžený úsek (isthmus uteri), jenž začíná vnitřní brankou děložní (ostium anatomicum uteri internum). Za touto brankou pokračuje kanál hrdla děložního, endocervikální kanál (canalis cervicis), prostředkem děložního hrdla a na děložním čípku ústí zevní děložní brankou (ostium uteri externum). Tuto branku ohraničují přední a zadní pysk děložního čípku, které jsou pokryty sliznicí označovanou exocervix. Endocervikální kanál, je pokrytý slizničními řasami uspořádanými do palmových listů. Ústí kanálku do exocervixu je u nerodivších žen okrouhlé, u rodivších žen nabývá roztáhlejšího štěrbinovitého tvaru. [3], [7]



**Obr. 2.1:** Náčrt dělohy. Podle předlohy [7].

Děložní čípek je tvořen především vazivovou tkání s vlákny hladké svaloviny, je hojně prorostlý cévami a subepiteliálně se nachází hustá kapilární síť. Vnitřní, endocervikální část, je pokryta jednořadým cylindrickým mucinózním epitelem. Exocervix pokrývá nerohovějící vrstevnatý dlaždicový epitel. Přejít mezi cylindrickým a dlaždicovým epitelem může být náhlý – skvamokolumnární junkce – nebo je mezi nimi úsek metaplastického epitelu, který je pak označován jako

transformační zóna (TZ). V průběhu života ženy se pozice skvamokolumnární junce či TZ mění. Během puberty je na exocervixu, poté se posouvá do ústí endocervikálního kanálku a od nástupu perimenopauzy se obvykle posouvá nad ústí, dovnitř kanálku. [3], [7]

## 2.2 Léze na děložním čípku

Ke vzniku lézí nejčastěji dochází v oblasti transformační zóny. Jejich nejčastějšími původci jsou lidské papilomaviry (HPV). Jedná se o malé DNA viry, které infikují proliferující buňky bazálních vrstev epitelu kůže a sliznic u člověka. Podle onkogenního potenciálu se dělí na genotypy nízké rizikové a genotypy vysoce rizikové (HR HPV). HR HPV jsou podle klasifikace IARC (International Agency of Research on Cancer) zařazeny do skupiny lidských karcinogenů. K nejvíce rizikovým genotypům patří genotypy 16 a 18, které zapříčiňují vznik většiny karcinomů děložního čípku. Aby došlo k maligní transformaci, hlavní podmínkou je perzistence infekce, pro tu je nutná infekce kmenových buněk. V úvodu zmíněné kofaktory jako promiskuita, kouření tabáku, dlouhodobé užívání hormonální antikoncepce atd. usnadňují HPV vstup do organismu, podporují jeho perzistenci a zvyšují riziko vzniku prekanceróz a karcinomů. Infekce HPV se u žen objevuje poměrně často, avšak u většiny z nich za 6–8 měsíců zmizí. V některých případech i vzniklá léze posléze taktéž regradije do normálního stavu bez jakéhokoli zásahu [3], [8].

Pokud ale infekce HPV přetrvává, může dojít k dysplastickým změnám epitelů. Dysplastické změny epitelu jako porucha maturace a cytologické abnormality buněk jsou označovány jako cervikální intraepiteliální neoplazie (CIN) a podle rozsahu se dělí na tři stupně – CIN 1, CIN 2, CIN 3. CIN 3 označuje těžkou dysplazii, která se nachází na více než 2/3 epitelu, je předstupěň karcinomu in situ, po kterém následuje dlaždicobuněčný karcinom. Druhou nejčastější neoplazií je cervikální glandulární intraepiteliální neoplazie. Tyto dysplazie nejsou rozděleny do stupňů, nicméně závažnější změny představuje přítomnost výrazných jaderných abnormalit u endocervikálních žlázek, další změny vedou k adenokarcinomu in situ a následně k adenokarcinomu. [3]

Předcházet rozvinutí maligních transformací a vzniku karcinomů lze ve velké míře pravidelnými cytologickými vyšetřeními stěrů z děložního čípku a endocervikálního kanálu a kolposkopickými vyšetřeními. Při opakovaném nalezení HPV infekce nebo při objevení závažnější léze, se obvykle přistupuje k odstranění poškozené tkáně, ke konizaci. [5], [9]

## 2.3 Konizace děložního čípku

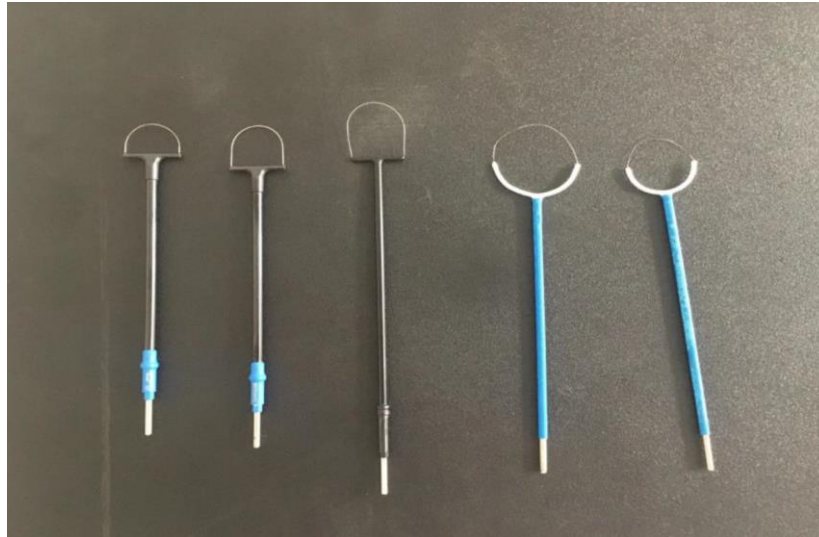
Konizace tkáně s epiteliálními změnami na děložním čípku se provádí několika různými metodami, které se obecně dělí na excizní a ablační. Ablační metody byly používány především v minulosti, jedná se o kryochirurgickou metodu, CO<sub>2</sub> laserovou valorizaci, elektrodiatermii a tzv. cold-coagulation. Mezi excizní metody, které jsou v současné době spíše preferovány, patří elektrochirurgické metody LLETZ a NETZ, metoda nožem CKC a metoda laserem LC. [5], [8]

Jednotlivé metody mají své výhody i nevýhody, liší se velikostí získaného konizátu, tím, zda je odebraný konizát vcelku nebo je tvořen více částmi, délkou prováděného zákroku atd. Nicméně veškeré metody jsou spojené s rizikem krvácení, infekce, zjizvení, špatného hojení a přináší s sebou i jisté vyšší riziko předčasného porodu. Excizionální metody jsou na rozdíl od ablativních metod spojovány s rizikem předčasného porodu před 37. týdnem. Na druhou stranu u některých ablativních metod je vyšší pravděpodobnost neúspěšné konizace, což vede k opakování zákroku. [9] Je jednoznačné, že opakované konizace velmi významně zvyšují riziko předčasného porodu. Není to však zapříčiněno opakováním metody jako takové, nýbrž celkovým odstraněním většího množství tkáně. [6] Pro malé konizáty není prokázána spojitost s vyšším rizikem předčasného porodu. Hraniční výška konizátu, od které je již riziko prokazatelně vyšší, se v různých studiích mírně liší, nicméně se nejčastěji pohybuje okolo 10 mm. Pro objem konizátu je rozhodující hodnota okolo 2,6 ml, shodné a objemnější konizáty jsou obvykle klasifikovány jako velké konizáty. Odebráním tohoto a vyššího objemu tkáně se výrazně zvyšuje riziko předčasného porodu, konkrétně na 12–20 %. Se stejným rizikem bývá spojována výška konizátu 15 mm a vyšší. V názoru, na jakém parametru, výšce nebo objemu, je riziko více závislé, se studie rozcházejí. [5], [6], [9], [10] Odebrané konizáty bývají následně ponořeny do roztoku formaldehydu coby fixačního prostředku. V tomto roztoku se rozměry konizátu změň. Parametry konizátů změřené před fixací formaldehydem se tedy liší od parametrů konizátů fixovaných v roztoku formaldehydu. Zmíněné hraniční hodnoty odpovídají měření parametrů již fixovaných konizátů. To je nutné brát do úvahy. Co se týče měření objemu, obvykle je vypočítáván dosazením rozměrů konizátu do vhodného vzorce. Nejpresnější objemy vycházejí při použití vzorce pro výpočet objemu hemielipsoidu. [11]

V každém případě, hlavním cílem konizace je, aby byla důkladně odebrána veškerá postižená tkáň a předešlo se tím případné nutné rekonizaci a zároveň aby bylo odstraněno co nejmenší množství zdravé tkáně. To tedy platí především u mladých žen, které by v budoucnu chtěly родit. Za úspěšnou lze označit konizaci, při které vznikl tzv. konizát s negativními okraji. Znamená to, že na okrajích konizátu je cca 2–3 mm zdravá tkáň, bez přítomnosti maligních změn. V opačném případě vzniká konizát s pozitivními okraji, pak je obvykle nutná rekonizace. [9], [12]

### 2.3.1 Metoda LLETZ

Tato práce se zabývá prováděním metody LLETZ, která je v současné době jedna z nejčastěji používaných metod pro konizaci děložního čípku [13]. Používá se při ní vysokofrekvenční elektrická klička z wolframu, nerezové oceli či z titanu o různém průměru – viz Obr. 2.2.



**Obr. 2.2:** Různé tvary a velikosti elektrochirurgických kliček používaných pro LLETZ.  
Fotografie: MUDr. R. Turyna, Ph.D., ÚPMD

Tato klička je připojena k elektrochirurgické jednotce coby aktivní elektroda, k elektrochirurgické jednotce je také připojena pasivní, velkoplošná elektroda a společně tvoří monopolární elektrochirurgické zařízení. Elektrochirurgická jednotka generuje střídavý proud ve frekvencích vyšších než 300 kHz. Při takovýchto frekvencích má proud v kličce tepelné účinky na tkáň, se kterou přichází do styku. Konkrétní tepelné účinky závisí na podobě generovaného proudu (kontinuální/pulzní), velikosti napětí, intenzitě proudu atp. Při řezu je elektrochirurgickou jednotkou generován sinusový proud s konstantní frekvencí a uniformní velikostí, typické je také nízké elektrické napětí. Ve tkáni dochází při řezu k odpaření intracelulární vody a k explozi buněk, zároveň dochází i k částečné koagulaci tkáně v místě řezu, čímž je redukováno krvácení. [14]

Řezy operatéři provádějí, zjednodušeně řečeno, pohybem kličky do tkáně a z ní směrem zprava doleva, zleva doprava, případně je také možné shora dolů nebo zdola nahoru. Trajektorie, které operátor kličkou v tkáni provádí, určují výsledné tvary konizátů, potažmo tedy i úspěšnost konizace. Tvar je již předem ovlivněn velikostí děložního čípku, lokalizací, tvarem a rozsahem léze a tvarem vysokofrekvenční kličky. Také zkušenosti operátora s prováděním této metody se odrážejí na výsledných tvarech konizátů, na tom, zda jsou kompletní, nebo jsou tvořeny z více částí ale také např. na celkovém objemu odebrané tkáně. Ti méně zkušení odebírají zpravidla více tkáně než

operatéri s bohatými zkušenostmi, kteří navíc umějí lépe individuálně reagovat a upravit zákrok vzhledem k faktorům vyplývajících z léze i k faktorům týkajících se pacientek. Z toho vyplývá, že trénink LLETZ metody na různých simulátorech a fantomech je pro lékaře, a v konečném důsledku i pro pacientky, podstatný a přínosný. Jednodušší či složitější simulátory a fantomy samozřejmě neslouží pouze pro učení se dané metody, ale i pro její trénink a zdokonalování. Základem každého takového simulátoru bývá dutina, která simuluje pochvu, a párek upevněný uvnitř této dutiny, představující děložní čípek. Ten je propojen s pasivní elektrodou elektrochirurgické jednotky. Sofistikovanější verze nabízí různé velikosti čípků, označení léze atp. [13], [15], [16]

Tvar konizátu by se ideálně měl blížit paraboloidu nebo válci zakulacenému z jedné strany. Měl by být zřejmě symetrický okolo endocervikálního kanálu. Alespoň takové jsou představy chirurgů provádějících konizace a zároveň patologů, kteří konizáty vyhodnocují. Existují studie, které se zabývají způsobem provádění konizace metodou LLETZ a navrhují různé postupy při odstraňování postižené tkáně – použití jedné či více vysokofrekvenčních kliček různých velikostí a jejich kombinace během zákroku, odstranění všeho jedním tahem nebo provádění více dílčích řezů. Věnují se také teoreticky ideálnímu tvaru konizátu, srovnávají konizát ve tvaru kužele s konizátem ve tvaru válce zaobleného na straně endocervixu při odebrání stejně velké léze. Konizátem ve tvaru kužele může být odebrán objem až dvakrát větší. Menší množství zdravé tkáně je odebráno konizátem ve tvaru zaobleného válce, a tudíž se zdá být vhodnější. [8], [17] Vhodné trajektorii vysokofrekvenční elektrochirurgické kličky, jež je oblastí zájmu této práce, se doposud žádná studie nevěnovala.



### 3 Cíle práce

Cílem této práce je navrhnout a v programovém prostředí Rhinoceros vymodelovat SW modely ideálních a reálných trajektorií tahů vysokofrekvenční elektrochirurgické kličky během konizace děložního čípku. Za použití získaných trajektorií vzniknou také modely konizátů, v jejichž tvarech bude hledána souvislost s tvary trajektorií, kterými vznikly. Vzniklé modely trajektorií a konizátů budou porovnávány s reálnými tahy a s 3D modely naskenovaných konizátů, které vznikly při konizacích metodou LLETZ v ÚPMD (Ústav pro péči o matku a dítě). Zároveň bude vytvořen zjednodušený simulátor operačního pole, na kterém budou navržené trajektorie ověřovány.

Jedná se o dílčí cíle zamýšleného hlavního cíle, čímž je vytvoření simulátoru, který by lékařům umožňoval trénink metody LLETZ. Kromě možnosti vyzkoušet si předem daný zákrok, by měl lékařům poskytnout i možnost zpětně se poučit z toho, jak zákrok provedli, jakou trajektorii kličkou, tj. operačním nástrojem, vykonali a co na ní případně nebylo zcela optimální.

## 4 Metody

V této kapitole je řešena metodologie práce. Podkapitola 4.1 se věnuje modelování modelů trajektorií, konizátů a dalších modelů potřebných pro simulaci konizace děložního čípku v programu Rhinoceros. Podkapitola 4.2 řeší srovnání SW modelů s referenčními. V podkapitole 4.3 je navržen simulátor operačního pole. Kapitola 4.4 se zabývá především rekonstrukcí zaznamenaných trajektorií z videozáznamu.

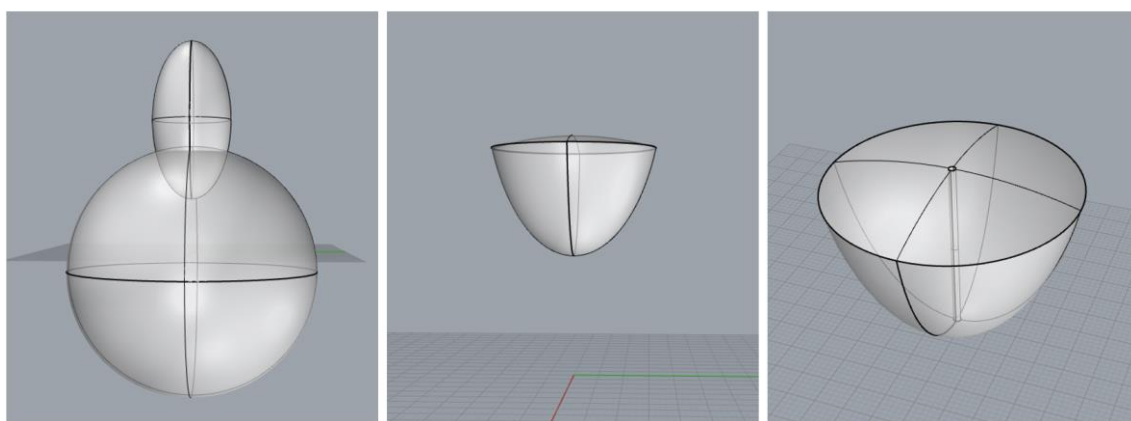
### 4.1 SW modely trajektorií a konizátů

Veškeré modelování probíhalo v programu Rhinoceros. Ve výsledcích jsou modely zobrazovány nejčastěji v režimu *Poloprůhledné zobrazení* nebo *Stínované zobrazení*. Nejmenší dílek sítě odpovídá rozměru 1x1 mm.

#### 4.1.1 Modely ideálních konizátů

Z rozhovorů s panem MUDr. Radovanem Turynou, Ph.D. z ÚPMD vyplývá, že ideální tvar konizátu by měl být podobný eliptickému paraboloidu a měl by být souměrný okolo endocervikálního kanálu. Ze všeho nejdříve tedy vzniklo několik modelů konizátů, které splňovaly tyto podmínky.

Nejprve vznikaly modely ideálních konizátů ze dvou těles (elipsoid/koule/paraboloid/válec), tyto dvě tělesa byla překryta tak, aby jejich průnik vytvářel těleso podobné ideálnímu konizátu. Průnik byl získán použitím funkce *Booleovský průnik*. Endocervikální kanálek uprostřed modelu vznikl funkcí *Kruhová díra*, poloměr díry byl obvykle volen 15 mm. Tento postup je zachycen na Obr. 4.1.



**Obr. 4.1:** Postup tvorby nejjednodušších modelů konizátů. Zleva doprava – elipsa protínající kouli, po použití *Booleovského průniku*, hotový model konizátu (po použití *Kruhové díry*). (Pro zobrazení modelu bylo použito *Poloprůhledné zobrazení*.)

Další modely konizátů byly tvořeny opět průnikem dvou těles, kdy jedno z nich byl válec se zakulacenou horní podstavou. Ten byl vytvořen z válce a koule o velkém průměru, doprostřed této koule byl umístěn válec tak, že obvodem své horní podstavy protínal plášť koule. Použitím *Booleovského rozdělení*, následného odstranění přebytečné části koule, spojením dvou částí funkcí *Spojit* a pomocí funkce *Kruhová díra* vznikl kýžený model zjednodušeně představující děložní čípek. Druhé těleso vznikalo pomocí kruhu či elipsy, které byly vytaženy skrz válec použitím funkce *Vytáhnout plochu podél křivky*. Kruhy a elipsy byly vytahovány podél souměrných oblouků, parabol či otevřených částí elips, které z elips vznikly pomocí přímky a funkce *Stríhat*. Průnik vzniklých těles byl získán funkcí *Booleovský průnik*. Při tomto procesu v podstatě vznikaly ony ideální trajektorie. Výsledné ideální trajektorie z nich vycházejí. Primárně bylo vytvořeno několik obecných tvarů ideální trajektorie z parabol, části elipsy a části zaobleného obdélníka, jehož stěny se směrem nahoru rozšiřovaly. Toho bylo dosaženo přesunutím jeho horních editačních bodů do stran. Editační body se zobrazí příkazem *EditačníBodyZap*. Následoval příkaz *ZaoblitRohy* s poloměrem 30 mm, jímž vznikl plynulý přechod v rozšíření. Obecné ideální trajektorie byly následně upravovány tak, aby svými rozměry vyhovovaly velikostem jednotlivých modelů děložních čípků a také modelům klíčků, které v rámci této práce vznikly pro simulaci konizace a věnuje se jim podkapitola 4.1.4.

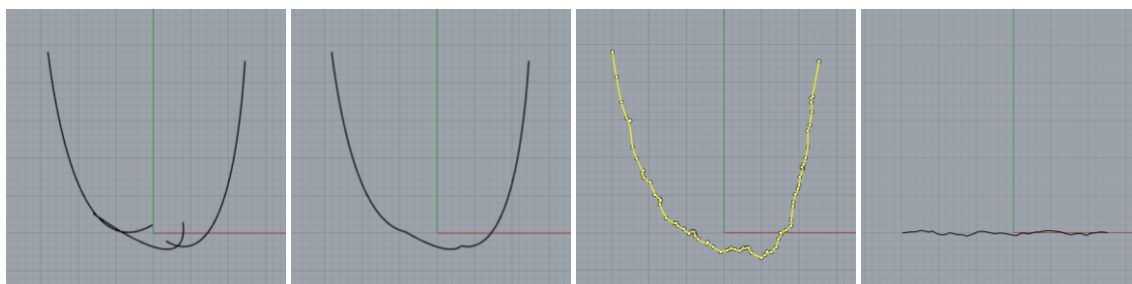
#### 4.1.2 Modely reálných trajektorií

Oproti ideálním konizátům nejsou reálné nikterak osově ani středově souměrné. Jsou v některých případech značně nepravidelné, jejich povrch je různě zvlňný, není hladký a má různé výběžky. V této části práce byla snaha vytvořit trajektorie, které by daly vzniknout takovým reálným konizátům. Předlohou při tvorbě reálných modelů byly do jisté míry 3D modely naskenovaných reálných konizátů a videozáznamy, které vznikly při měření v ÚPMD (více o nich v podkapitole 4.2).

První vznikaly trajektorie ze dvou parabol, které se na koncích vzájemně překrývaly. Funkcí *Stríhat* byly odstraněny jejich přebytečné části, následně byly spojeny funkcí *Spojit* a po použití příkazu *ZaoblitRohy* na sebe plynule navazovaly. Poloměr zaoblení byl ve většině případů 2 mm. Obdobným způsobem vznikaly následující trajektorie, ze tří parabol. Jeden model trajektorie ze tří parabol byl vybrán a upraven pomocí deformační funkce do tří velikostí, pro možnost kombinace se všemi třemi modely děložního čípku.

Další modely trajektorií, potažmo konizátů, vznikaly použitím *Editačních bodů*. Nejprve byla vytvořena křivka ze tří parabol, případně byla použita některá již vytvořená trajektorie ze tří parabol, na kterou bylo vloženo velké množství (cca 50) *Editačních bodů* příkazem *VložitEditačníBod*. V pohledu zepředu bylo poté těmito body pohybováno a trajektorie byla tvarována do různých výběžků a zubů. Tímto způsobem vznikaly trajektorie, které vystihovaly pohyb klíčky v tkáni ve vertikálním směru. Některé trajektorie byly následně *Editačními body* deformovány také v pohledu shora, kde

všechny body ležely primárně na jedné úsečce. Postup tvorby těchto trajektorií je zobrazen na Obr. 4.2.



**Obr. 4.2:** Postup tvorby reálných trajektorií. Zleva doprava – tři paraboly, spojené části parabol, deformované trajektorie se zapnutými *Editačními body*, zdeformovaná trajektorie shora.

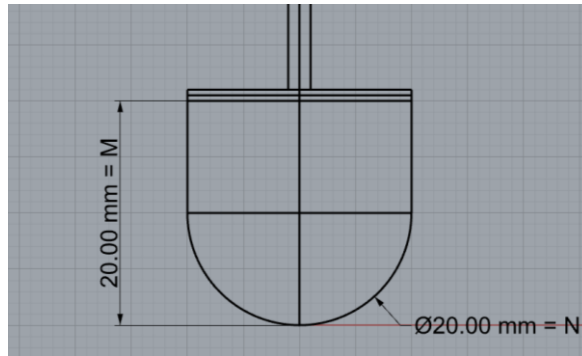
Následně bylo modelováno několik trajektorií, kterými by vznikly modely konizátů co nejvíce blízké reálným konizátům, resp. jejich zrekonstruovaným 3D modelům (postup rekonstrukce 3D modelů je uveden v podkapitole 4.2). Postup byl stejný jako u předchozích modelů, *Editačními body* byl model trajektorie tvarován podle obrysu daného reálného konizátu ze strany.

### 4.1.3 Modely optimálních trajektorií

Jako optimální trajektorie jsou myšleny takové trajektorie, které jsou ideální vzhledem k podmínkám konizace a zohledňují lidský faktor. Nacházejí se tudíž někde mezi reálnými a teoreticky ideálními trajektoriemi, přičemž některé reálné trajektorie je možné mezi ně zařadit. Tyto modely vznikaly stejným způsobem jako složitější modely reálných trajektorií, *Editačními body* byla ale trajektorie deformována (v pohledech Zepředu a Shora) v menší míře a její celkový tvar byl více souměrný.

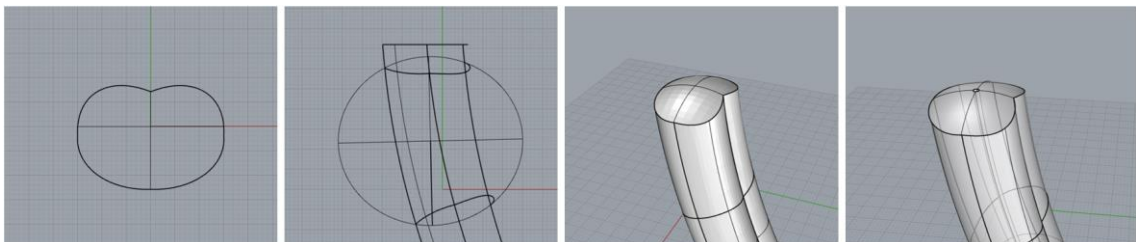
### 4.1.4 Simulace konizace SW modely

Pro simulaci řezu vysokofrekvenční elektrochirurgickou kličkou vznikly nejprve modely jednotlivých kliček, které v ÚPMD při konizacích používají. Z kruhu o příslušném průměru a obdélníku byl pomocí funkce *Stříhat* získán tvar wolframového drátku. Použitím funkce *Spojit* byly přidány další obdélníky tak, aby vznikla 2D klička. Plocha v jejím tvaru byla získána funkcí *Plocha z rovinných křivek*. U vytvořených SW modelů konizátů jsou v některých případech uváděny rozměry použité kličky ve formě  $M \times N$  mm, kde  $M$  představuje délku drátku a  $N$  poloměr půlkruhu, do kterého je vytvarován – viz Obr. 4.3.



**Obr. 4.3:** Okótovaný model kličky s rozměry 20x20 mm.

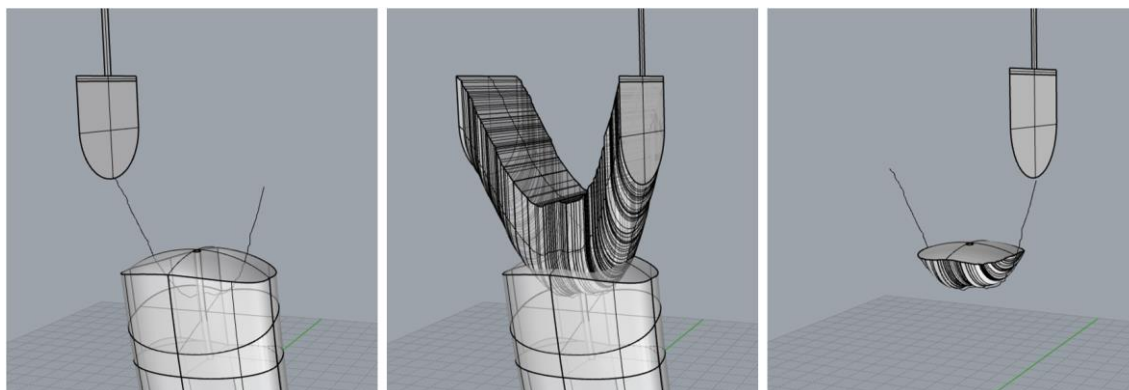
Následovalo modelování děložního čípku. První modely děložních čípků vznikaly z válce, jehož jedna podstava byla upravena pomocí Booleovských funkcí třemi způsoby – buď jejím nahrazením částí koule, nebo paraboloidu, anebo se na stávající plochu napojila část anuloidu. Spojení těles umožnily funkce *Spojit* a *Seskupit objekty*. Další model děložního čípku vznikl z kruhu o průměru 30 mm, který byl zploštěn a zdeformován *Editačními body*. Plochou z rovinných křivek byla získána stejně tvarovaná plochá, která byla následně vytažena podél mírně prohnuté křivky pomocí funkce *Vytáhnout plochu podél křivky*, a vznikl v podstatě zdeformovaný válec. Vytvořením menšího elipsoidu, jeho vhodným natočením funkcí *Otočit* a umístěním skrz zdeformovaný válec byl za použití funkcí *Booleovské rozdělení* a *Booleovské sjednocení* získán zdeformovaný válec se zaoblenou horní podstavou. Endocervikální kanálek ve zdeformovaném válci vznikl pomocí malého kruhu, který byl vytažen podél již dříve použité mírně prohnuté křivky funkcí *Vytáhnout plochu podél křivky* uprostřed tohoto válce. Toto těleso bylo následně *Booleovským rozdílem* odečteno od zdeformovaného válce. Průběh vytváření tohoto modelu je zaznamenán na Obr. 4.4. Jelikož děložní čípky mají různé velikosti, stejným postupem byly vytvořeny ještě další dva modely cervixů, jeden vznikl z kruhu o průměru 20,5 mm a druhý z kruhu o průměru 38 mm.



**Obr. 4.4:** Snímky tvorby modelu cervixu. Zleva doprava – plocha ve tvaru zdeformovaného kruhu, rozdělení zdeformovaného válce elipsoidem, vzniklý zdeformovaný válec se zaoblenou podstavou (*Stínované zobrazení*), výsledný model konizátu (*Poloprůhledné zobrazení*).

Vymodelované ideální, reálné i optimální trajektorie byly následně použity pro tvorbu modelů konizátů. Funkcí *Vytáhnout plochu podél křivky* modely kliček opisovaly

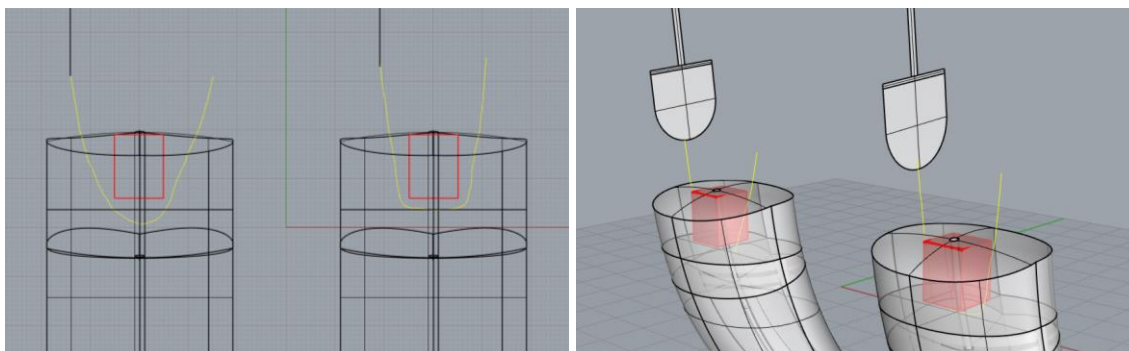
vymodelované trajektorie skrz model cervixu za vzniku tělesa. Průnik těchto dvou těles tvořil výsledný konizát, který byl získán pomocí Booleovských funkcí. Postup je zachycen na Obr. 4.5.



**Obr. 4.5:** Postup získání modelu konizátu – zleva doprava: tři uspořádané modely, po použití funkce *Vytáhnout plochu podél křivky*, vzniklý konizát po použití *Booleovského průniku*.  
(*Poloprůhledné zobrazení*)

#### 4.1.5 Konizát tvaru kužele versus konizát tvaru zaobleného obdélníku

V kapitole 2 – Přehled současného stavu (podkapitola 2.3.1) – jsou zmíněny studie zabývající se tvarem konizátu, které porovnávají konizát ve tvaru kužele s konizátem ve tvaru zaobleného obdélníku z hlediska objemu odebrané tkáně, při odebírání stejně velké léze. Toto srovnání bylo také předmětem modelování. Použit byl model cervixu největší velikosti (vytvořený z kruhu o průměru 38 mm), léze byla vytvořena jako kvádr, se čtvercovou podstavou o rozměrech 10x10 mm a s výškou 13 mm. Tato léze byla umístěna do horní části modelu cervixu, endocervikální kanál procházel cca jejím středem. Léze byla nabarvena na červeno. Nastavení barvy se nachází v pravé liště, ve Vlastnostech objektu, v Barvách pro zobrazení. Následně byly vytvořeny dvě optimální trajektorie, kterými by byla odebrána léze s minimálně cca 2 mm okolní zdravé tkáně (aby vznikl konizát s negativními okraji). Jedna trajektorie vznikla z paraboly, jež byla upravena velkým množstvím *Editačních bodů* do tvaru podobného kuželi. Druhá vznikla z části zaobleného obdélníka, opět upravením *Editačními body*. Obě trajektorie byly obarveny na žluto. Pro oba řezy byl použit model kličky s rozměry 20x20 mm. Uspořádání modelů před řezem je zachyceno na Obr. 4.6. Po vytvoření modelů konizátů byly pro oba konizáty příkazy *Objem* a *Délka* zjištěny objem a výška, tyto parametry byly následně porovnány.



**Obr. 4.6:** Pohled zepředu a z perspektivy (*Poloprůhledné zobrazení*) na uspořádané modely pro simulaci odběru léze (na obrázku červeně) kličkou o rozměrech 20x20 mm, která se bude pohybovat po žlutých trajektoriích. Levá trajektorie se svým tvarem blíží tvaru kužele, pravá zaoblenému obdélníku.

#### 4.1.6 Spojitost mezi tvarem modelu trajektorie a vzniklého konizátu

Pro názorné zobrazení spojitosti mezi tvary vzniklých konizátů a trajektoriemi, kterými byly vytvořeny, byly modely trajektorie umístěny pod modely vzniklých konizátů. U několika vybraných modelů byly tvarové spojitosti částí trajektorií a jim odpovídající části konizátů *barevně* zvýrazněny ve vektorovém editoru Inkscape.

#### 4.1.7 Vyjádření symetrie či nesymetrie modelů

U vybraných modelů ideálních a reálných trajektorií, respektive u modelů konizátů, které jimi vznikly, byla porovnána jejich symetrie okolo endocervikálního kanálu. Konizáty byly v Rhinocerosu vždy rozděleny na polovinu uprostřed endocervikálního kanálu pomocí vytvořené čtvercové plochy a funkce *Stříhat*. Následně byla použita funkce *Uzavřít rovinné otvory*, poté se vybrala daná polovina modelu konizátu a příkazem *Objem* program zobrazil objem označeného tělesa. Objemy levé a pravé poloviny konizátu byly následně porovnány, respektive byl spočítán rozdíl mezi nimi podle:

$$\Delta V = V_L - V_P \quad (1)$$

Kde  $\Delta V$  (ml) je rozdíl objemů,  $V_L$  (ml) je objem levé poloviny konizátu a  $V_P$  (ml) je objem pravé poloviny konizátu.

## 4.2 Srovnání SW modelů s referenčními

Vzhledem k situaci spojené s pandemií Covid-19 bylo měření spojené s prováděním referenčních tahů vysokofrekvenční elektrochirurgické kličky lékařským specialistou možné uskutečnit pouze jednou. Tahy kličkou byly prováděny v různých typech párků a špekáčků. Na párcích byla ze stran přitisknuta pasivní elektroda propojena se zařízením pro vysokofrekvenční elektrochirurgickou kličku. Z tohoto měření, které se odehrávalo na operačním sále v ÚPMD, vznikl videozáznam, na kterém jsou zachyceny jednotlivé tahy kličkou, avšak není možné je nějakým způsobem v dostatečné kvalitě zrekonstruovat

a použit je pro porovnání. Ve výsledcích je tedy alespoň několik fotografií z provádění referenčních tahů a vzniklých konizátů. Dále byl také získán záznam jedné reálné konizace, který byl pořízen především pro rekonstrukci trajektorie kličky při reálném zákroku (rekonstrukci trajektorií z videozáznamů se věnuje podkapitola 4.4). Za referenční trajektorie byly vzaty i zrekonstruované trajektorie, které vznikly opisováním ideálních trajektorií modelem kličky na simulátoru operačního pole, jímž se zabývá podkapitola 4.3. Tyto tahy byly opět zaznamenány na videozáznam. Zrekonstruované tahy jsou uvedeny pro srovnání se SW modely optimálních trajektorií. Dále jsou porovnávány SW modely reálných konizátů s 3D modely reálných konizátů, které byly odebrány při konizacích v ÚPMD v druhé polovině roku 2019 a na začátku roku 2020. Jsou porovnávány jejich objemy a celkové výšky (nikoli výšky endocervikálního kanálu, které někdy bývají označovány jako výšky konizátů) tímto způsobem:

$$\Delta V = V_R - V_M \quad (2)$$

Kde  $\Delta V$  (ml) je rozdíl objemu,  $V_R$  (ml) je objem reálného konizátu a  $V_M$  (ml) je objem SW modelu konizátu.

$$\Delta h = h_R - h_M \quad (3)$$

Kde  $\Delta h$  (mm) je rozdíl výšky,  $h_R$  (mm) výška reálného konizátu a  $h_M$  (mm) výška SW modelu konizátu.

Výška modelu konizátu v Rhinocerosu byla získána vytvořením přímky délkou odpovídající délce konizátu a zjištěním její přesné délky jejím označením a následným příkazem *Délka*. Označením modelu konizátu a příkazem *Objem* byl získán jeho objem. Způsob získání rozměrů reálných naskenovaných konizátů je popsán na konci podkapitoly 4.2.1.

### 4.2.1 3D modely reálných konizátů

Během měření v ÚPMD jsou právě odebrané konizáty skenovány sestavou Phywe XR 4.0, která funguje na principu mikro CT. Na stoleček v experimentálním prostoru daného zařízení se na podložce umístí konizát, který se následně společně se stolečkem krokovým motorem pomalu otáčí o 360°. Během otáčení je konizát ozařován RTG zářením z rentgenky. Za stolečkem je umístěn detektor RTG záření a jeho pomocí jsou pořizovány projekce otáčejícího se konizátu, které jsou vždy pootočené o zvolený úhel od předchozí projekce. Při tomto měření byl úhel mezi jednotlivými projekcemi nastaven na 1,8°. Nasnímaná data jsou zpracovávána v softwaru Measure CT, který kromě jiného, rekonstruuje jednotlivé řezy konizátem. Pro rekonstrukci konkrétního řezu vždy pracuje s jedním konkrétním řádkem ve všech vzniklých projekcích. Tímto softwarem lze také nastavovat parametry RTG záření a snímání sestavy. Co se týče nastavených základních parametrů zařízení při měřeních, bylo nastaveno anodové napětí na 35 kV a anodový proud na 1 mA. Zrekonstruované řezy několika konizátů poskytla Bc. Tereza



Kislingerová, která se ve své bakalářské práci věnovala nové metodice měření objemu konizátů a veškeré snímky konizátů pořídila výše zmíněnou sestavou. Tyto snímky byly následně upraveny pomocí skriptu v Matlabu *konizaty\_vcelku.m*, který vytvořila Ing. Kateřina Seidlová, která se v předchozích letech také zabývala konizáty děložního čípku, ale především jejich rozměry a metodou jejich měření. Do tohoto skriptu byly zadávány pouze vstupní parametry, a to konkrétně číslo počátečního a koncového řezu, na kterém se nachází konizát. Upravené snímky se následně ve složce nahrály do programu Fiji (ImageJ), který umožňuje analýzu či zpracování snímků/obrazů. Je volně stažitelný, v příloze C je přiložen odkaz na jeho stažení. Tento program snímky konvertuje do RGB a následně je zobrazí ve 2D. Použitím pluginu *3D Viewer* lze následně zobrazit konizát ve 3D.

Skript *konizaty\_vcelku.m* mimo jiné také vypočítává rozměry konizátů. Některé rozměry je ale nutné převést na reálné, jelikož paprsky RTG záření, které konizátem v soustavě Phywe XR 4.0 procházejí, jsou rozbíhavé a na detektoru je tedy zaznamenána projekce zvětšeného konizátu. Pro získání reálného objemu je nutné *objem* (bez *objemu koncových řezů*) vydělit hodnotou 1,45, která odpovídá součinu zvětšení v osách x, y a z. Po následném vydělení výsledku hodnotou 1 000 000 vyjde objem v ml. Hodnota výšky konizátu ve skriptu je rovna počtu řezů konizátu, přičemž jednotlivé řezy jsou od sebe vzdáleny 0,1 mm, vynásobením *výšky* hodnotou 0,1 je tedy získána jeho reálná výška v mm.

### 4.3 Simulátor operačního pole

Nejprve vzniklo několik modelů vysokofrekvenčních elektrochirurgických kliček splením dvou částí špejle kolmo na sebe. Na kratší část byl připevněn drátek vytvarovaný do tvaru kličky. Zcela první klička vznikla ze slabších špejlí a ze slabšího drátku, byla obarvena na černo a u spojení dvou částí špejle byla označena bílou barvou. Na zbylé modely byly použity silnější špejle i drátek, který byl zároveň více rigidní.

Simulátor operačního pole je tvořen fantomem části vnitřního ženského pohlavního ústrojí – pochvy a děložního hrdla, respektive děložního čípku. Vznikl ze dvou odpadních trubek z polypropylenu o průměrech 5 cm a 11 cm a délce 25 cm, a z molitanového válce o průměru 15 cm a délce 20 cm – viz Obr. 4.7. Molitanový válec byl nejprve ze stran ořezán nožem tak, by se lépe vešel do větší odpadní trubky, ale aby v ní zároveň držel a nebyl v ní příliš volně. Doprostřed jedné podstavky takto ořezaného válce byl vyříznut hluboký kruhový otvor (o průměru cca 2–3 cm) do hloubky cca 2/3 válce. Na konci této kruhové dutiny bylo odebráno více molitanu, v tomto místě má ústit děložní čípek do pochvy. Na druhé podstavě byl molitan proříznut třemi cca 6cm řezy kolmými na podstavu, které se ve středu podstavky protínají. Uvnitř válce se tyto řezy potkávají s kruhovým otvorem. Do tohoto místa lze kruhovým otvorem zavést menší odpadní trubka, tedy její jeden konec. Do této malé trubky byl umístěn špekáček či párek (dále

model živé tkáně) coby děložní čípek. Upevněn byl kousky molitanu, které vyplňovaly mezeru mezi ním a stěnou menší odpadní trubky a udržovaly ho na místě. Mezi kolmé řezy v molitanu byla vsunuta gynekologická zrcadla, která se utahováním šroubku rozevřela a spolu s nimi i okolní molitan. Malá odpadní trubka s modelem živé tkáně byla zavedena z druhé strany tak, aby pozice modelu živé tkáně odpovídala cca pozici děložního čípku z pohledu na jeho endocervikální část, směrem od gynekologických zrcadel. Kompletní fantom byl pro simulaci kolposkopie umístěn na stole a jeho přední část byla podložena vhodným materiálem tak, že fantom s deskou stolu svíral cca 30 °. Před gynekologická zrcadla byl umístěný kolposkop KAPS 3000, kterým byla osvětlována oblast fantomu děložního čípku.



**Obr. 4.7:** Jednotlivé součásti, ze kterých byl fantom/simulátor vytvořen.

Do modelu živé tkáně byly vyřezány nožem ideální i neideální trajektorie. Takto upravený model živé tkáně byl umístěn na stejné místo, jako byl původní. A černě nabarveným modelem kličky bylo následně pohybováno po vyřezaných trajektoriích. Tyto tahy byly zdokumentovány na videozáznam. Kamera byla umístěna na stativu vedle kolposkopu z pravé strany (záznamem a následným zpracováním se zabývá podkapitola 4.4).

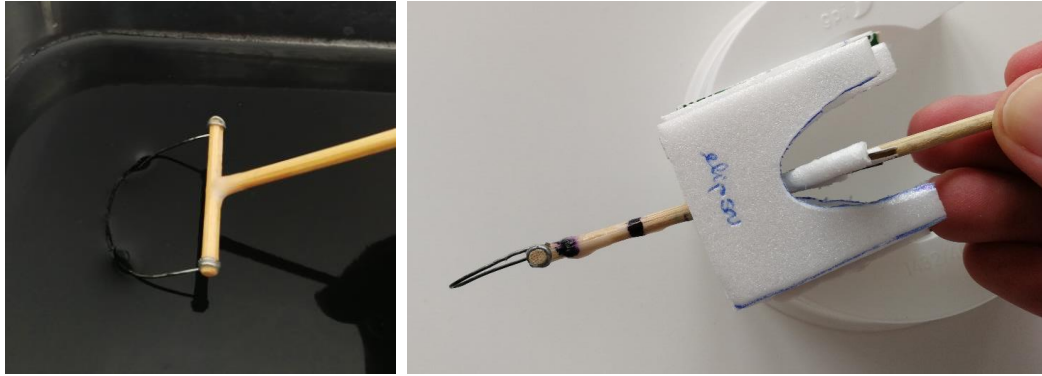
Následně vznikl druhý simulátor, který se podobá prvnímu, jeho konstrukce byla stejná, vyjma toho, že ve velké odpadní trubce byl vyříznut otvor v místě, kde je umístěn fantom děložního čípku. Otvor je také vyříznutý ve stejné úrovni v molitanu. Otvor je dostatečně velký, aby jím mohly být pozorovány a natáčeny tahy modelem elektrochirurgické kličky uvnitř. Do malé odpadní trubky byly u tohoto simulátoru umisťovány vyřezané trajektorie (čtyři ideální a čtyři reálné), které byly primárně navrženy jako SW modely. Trajektorie byly vyřezány nožem do pruhů z tenké polystyrenové desky. Šířka polystyrenových pruhů byla nepatrně větší než vnitřní průměr

malé odpadní trubky. To zajišťovalo pevné uchycení pruhu polystyrenu v malé odpadní trubce. Po vyřezaných trajektoriích bylo pohybováno černým modelem kličky. Tahy byly zaznamenány na kameru, která byla umístěna nad vyříznutým otvorem. Operační pole bylo v tomto případě osvětlováno kolposkopem z druhé strany, než byla umístěna gynekologická zrcadla.

### **4.3.1 Simulace řezu modelem kličky v želatině**

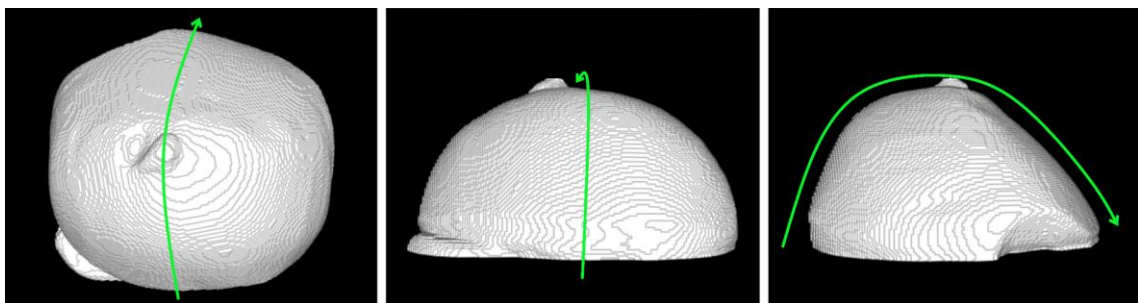
Po vyzkoušení tahů modelem kličky v různých materiálech (banán, avokádo, puding, želatina), se jevila želatina jako nejvhodnější hmota pro simulaci řezů, při které zároveň vznikne i použitelný model konizátu. Pro přípravu ideální formy želatiny byla použita Želatina v plátcích (Dr. Oetker), příprava probíhala dle návodu uvedeného na obalu, ale bylo použito pouze poloviční množství vody. Při závěrečném zahřívání roztoku byly na tři plátky želatiny přidány 2 čajové lžičky cukru a prášek z jedné rozdrčené tablety aktivního uhlí (Carbo medicinalis – PharmaSwiss). Aktivní uhlí sloužilo pouze pro obarvení jinak bezbarvé želatiny. Důležité bylo provádět následně řezy v čerstvé želatině, ne starší než 24 hodin.

Pro tahy v želatině se používaly modely kliček se silnějším drátkem. Primárně byly tahy v želatině prováděny pouze na základě představ o ideálních a optimálních trajektoriích – viz Obr. 4.8 vlevo. Posléze bylo do pruhů z tenké polystyrenové desky vyřezáno několik SW vymodelovaných ideálních a optimálních trajektorií, daná trajektorie byla vyřezána vždy dvakrát. Mezi dva pruhy se stejnou trajektorií byl po stranách umístěn pruh vysokého kartonu a tyto části k sobě byly následně přilepeny tak, aby trajektorie byly ve vzájemném zákrytu. Na rukojeť jednoho z modelů kliček, s rozměry kličky z drátku 20x20 mm, byly cca 40 mm od spojení s druhou částí špejle přilepeny dva trojúhelníky z kartonu, a na jejich nejdelší hranu byl ještě přilepen pruh z polystyrenu. Na kličce vznikla z kartonu v podstatě šipka. Klička se následně vždy vsunula mezi dvě slepené identické trajektorie a vzniklá šipka na kličce se pohybovala po vyřezaných trajektoriích – viz Obr. 4.8 vpravo. Drátek se přitom pohyboval v želatině. Před řezem v želatině se v několika případech drátek nahřál nad plamenem.



**Obr. 4.8:** Vlevo fotografie řezu modelem kličky v želatině, vpravo fotografie realizace pohybu kličky po vyřezaných trajektoriích.

Některé vzniklé modely konizátů z želatiny byly následně nasnímány sestavou Phywe XR 4.0, jejíž nastavení bylo stejné jako při snímání reálných konizátů v ÚPMD (anodové napětí na 35 kV a anodový proud na 1 mA). Výsledné snímky byly poté upraveny ve skriptu *konizaty\_vcelku.m*, případně následně také ve skriptu *korekce.m*. Pomocí tohoto skriptu byly odstraňovány nežádoucí artefakty na koncových řezech želatinovým konizátem v podobě malých bílých objektů pomocí funkce *bwareaopen*. Stejným způsobem byly odstraňovány části želatiny, které se v několika málo případech odlomily při manipulaci s želatinovým konizátem. Upravené řezy byly ve složce nahrány do programu Fiji (ImageJ) a pluginem *3D Viewer* byly zobrazeny 3D modely konizátů z želatiny. Ve výsledcích je daný konizát zobrazen vždy ze tří pohledů (shora, zepředu a ze strany), konizáty jsou orientovány podle průběhu kličky při jejich tvorbě, a to dle Obr. 4.9 (zelené šipka znázorňuje pohyb kličky). Výška modelů byla určována, stejně jako u reálných konizátů, ve skriptu *konizaty\_vcelku.m*. Postup je uveden v podkapitole 4.2.1.



**Obr. 4.9:** Průběh kličky při tvorbě konizátů v želatině znázorněn zelenou šipkou.

#### 4.4 Záznam a rekonstrukce trajektorií

V průběhu veškerých měření vzniklo několik záznamů referenčních, reálných, optimálních a ověřovacích trajektorií, které bylo možné zrekonstruovat. Veškeré

trajektorie a tahy byly zaznamenány kamerou Canon Legria HF R86 HD. Režim snímání kamery byl nastaven na bodové osvětlení.

První zrekonstruovatelný záznam vznikl na operačním sále, na kterém je zachycen samotný zákrok konizace. Tento záznam byl pořízen na kameru bez stativu. Po rekonstrukci zachycené trajektorie v prvním záznamu následovalo ověření vhodnosti zvolené metody pro rekonstrukci trajektorií. To bylo realizováno rekonstrukcemi jednoduchých trajektorií černého modelu klíčky s bílou značkou. Následně byly zaznamenávány trajektorie téhož modelu klíčky, při jejím pohybu po vyřezaných trajektoriích na obou simulátorech operačního pole. Kromě prvního záznamu přímo na sále, byl pro ostatní zaznamenávání kamerou použit stativ Sony.

Trajektorie na videích byly zrekonstruovány v Matlabu ve skriptu *rekonstrukce\_trajektorie.m*. Použitím funkce *cpselect* byl označen na jednotlivých snímcích zřetelný bod (bílé označení) na pohybující se klíčce. Tento bod byl označován např. na každém pátém snímku. Současně se označoval na dvou snímcích jdoucích za sebou. Následně byly tyto body uloženy, respektive jejich souřadnice, do proměnných *fixedPointsA* a *movingPointsA*, kde *A* bylo číslo a nabývalo hodnot od jedné do poloviny počtu označených snímků. Tyto body byly poté zobrazeny spojené v grafu funkcí *plot*. Aby trajektorie vzniklá spojením těchto bodů odpovídala realitě, bylo nutné zobrazovat jejich ypsilonové souřadnice na ose *y* obráceně. Od celkové velikosti osy *y* byla tedy původní ypsilonová souřadnice vždy odečtena.

U některých zrekonstruovaných trajektorií, které nejsou příliš přehledné, byl zeleným bodem označen jejich začátek a červeným bodem jejich konec.

## 5 Výsledky

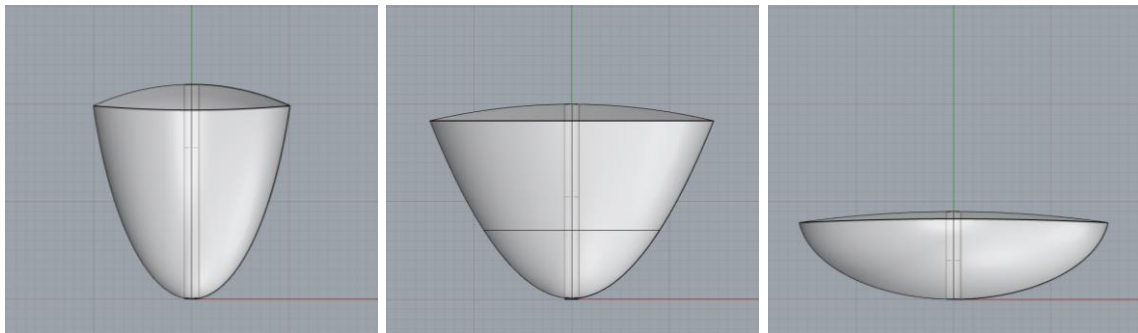
Kapitola výsledků je tvořena třemi částmi. První část se věnuje vytvořeným SW modelům, druhá vzniklým záznamům z ÚPMD a rekonstrukci trajektorie klíčky při reálné konizaci, třetí část se zabývá simulátorem operačního pole.

### 5.1 SW modely trajektorií a konizátů

Pro veškeré uvedené SW modely platí, že nejmenší dílek sítě odpovídá rozměrům 1x1 mm.

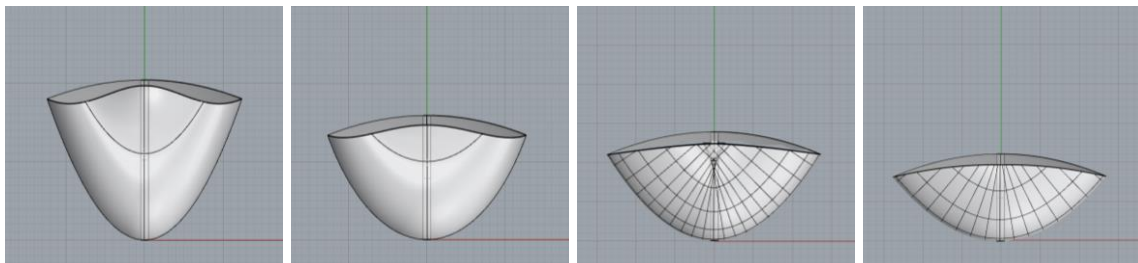
#### 5.1.1 Ideální modely

Primárních modelů ideálních konizátů, které vznikly průnikem jednoduchých těles, bylo vytvořeno šest, na Obr. 5.1 uvádím tři z nich. Zbylé jsou v příloze A.1.

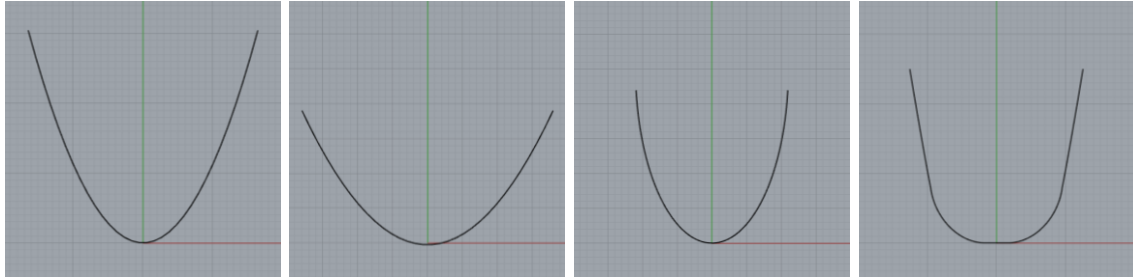


**Obr. 5.1:** Modely ideálních konizátů vytvořené jako průnik dvou jednoduchých těles.

Průnikem složitějších těles vznikly čtyři ideální modely konizátů, které uvádím na Obr. 5.2. Následně v této části vznikly obecné ideální trajektorie, které jsou na Obr. 5.3

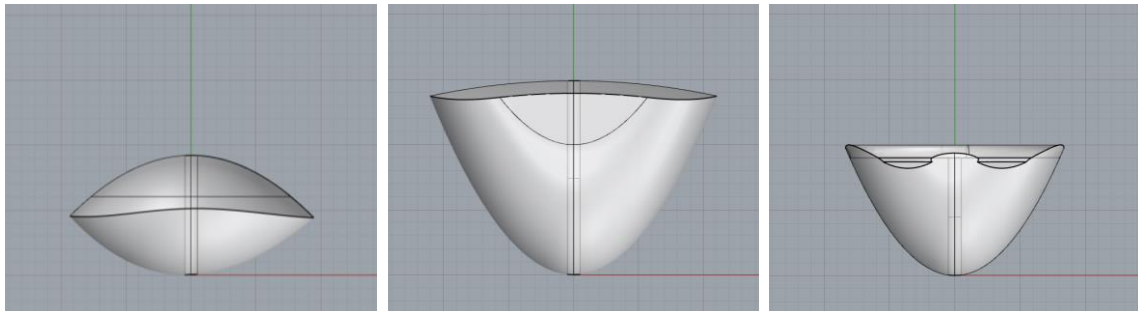


**Obr. 5.2:** Modely ideálních konizátů vytvořené jako průnik válce se zakulacenou horní podstavou a tělesem vzniklým vytažením kruhu či elipsy podél oblouku, paraboly nebo části elipsy.



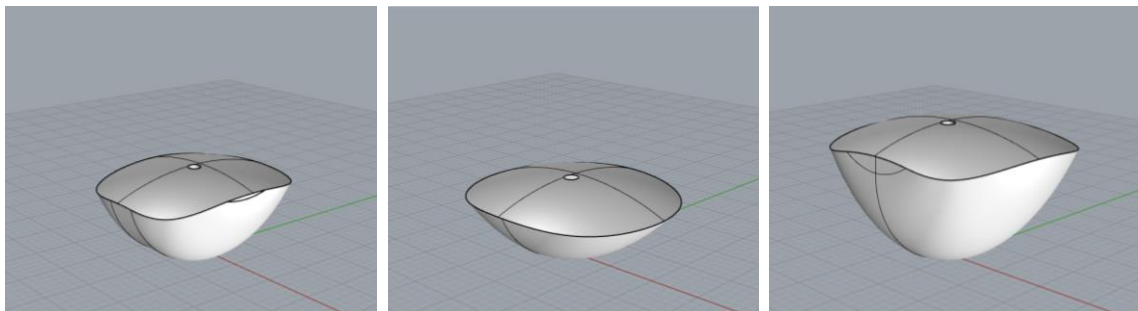
**Obr. 5.3:** Modely ideálních trajektorií v obecné podobě.

Za použití těchto trajektorií (upravených dle velikosti ostatních modelů) vznikaly simulace řezu při konizaci modely konizátů s využitím tří modelů děložního čípku (horní podstava zaoblená, horní podstava do špičky, respektive kuželu, a horní podstava s částí anuloidu), které jsou na Obr. 5.4, další tři takto vzniklé konizáty zobrazené v pohledu Perspektiva jsou v příloze A.2.



**Obr. 5.4:** Modely ideálních konizátů vytvořených simulací řezu při konizaci ve třech modelech cervixů. (Pro vznik byl použit model cervixu s podstavou zleva doprava: do špičky, zaoblenou a s částí anuloidu.)

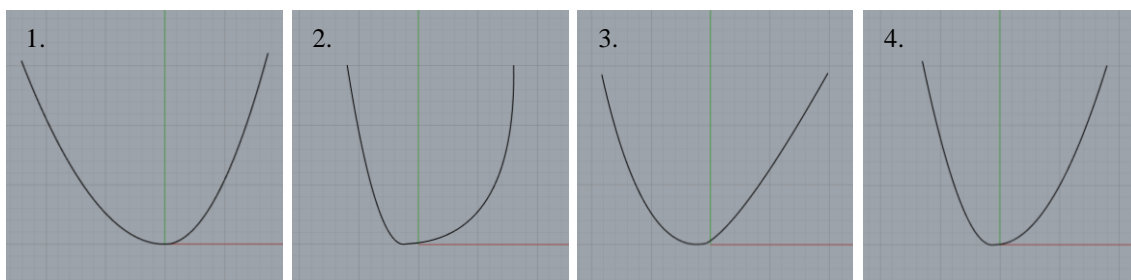
Dále vznikly tři modely ideálních konizátů simulací řezu v modelu cervixu, který se nejvíce blíží realitě – viz Obr. 5.5.



**Obr. 5.5:** Modely ideálních konizátů vytvořených simulací řezu při konizaci v modelu cervixu, jež se nejvíce blíží reálnému cervixu, v jeho střední velikosti (průměr před deformací 30 mm).

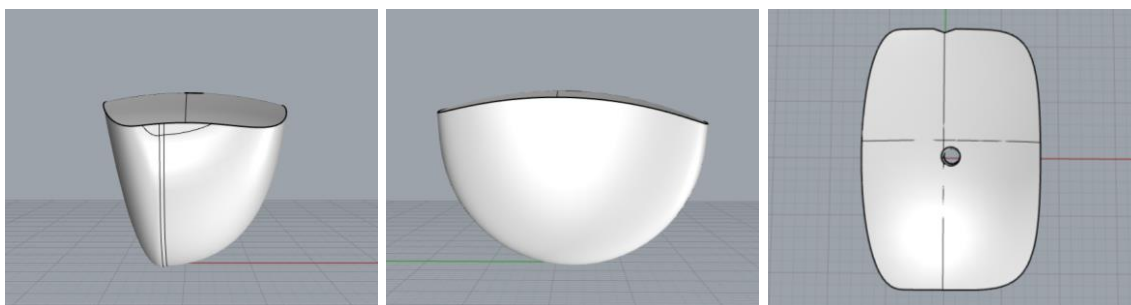
## 5.1.2 Reálné SW modely

První vznikly jednoduché modely trajektorií ze dvou parabol, které jsou na Obr. 5.6.



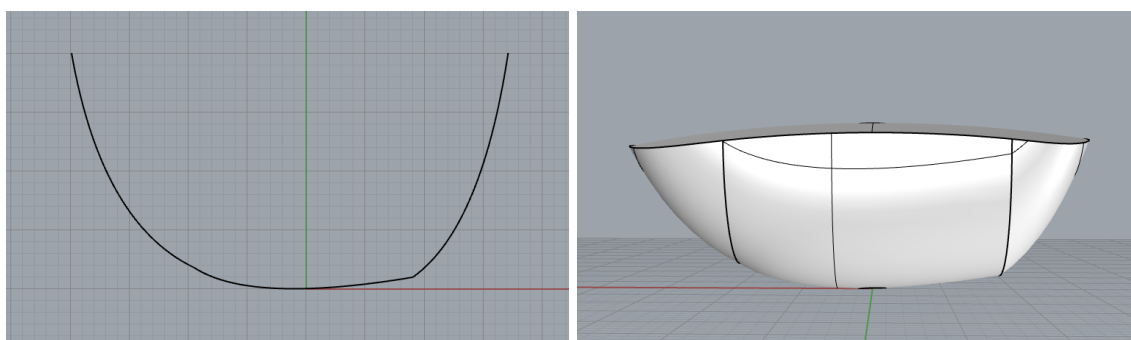
**Obr. 5.6:** Modely reálných trajektorií ze dvou parabol.

Použitím 2. modelu trajektorie vznikl model konizátu, který je na Obr. 5.7.



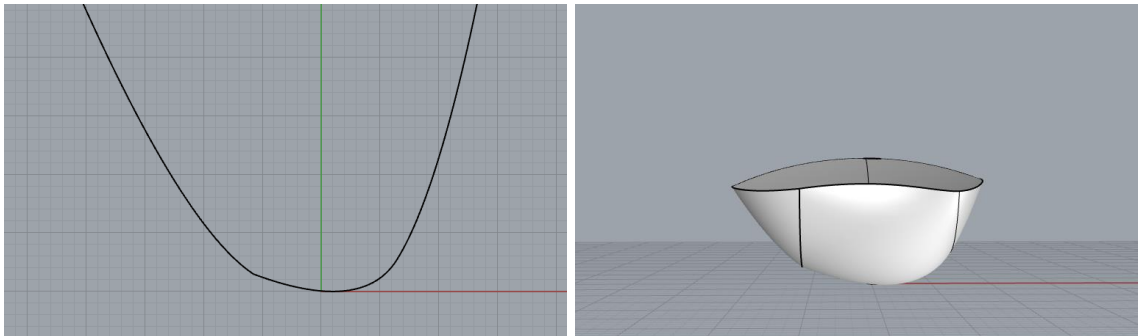
**Obr. 5.7:** Model reálného konizátu vytvořený simulací řezu kličky podél 2. trajektorie na Obr. 5.6. Pohledy zepředu, ze strany a shora.

Následujících jednoduchých modelů trajektorií ze tří parabol vzniklo sedm, část jich uvádím společně se vzniklými konizáty na Obr. 5.8 až 5.11, zbylé jsou uvedeny v příloze A.3 a A.4.



**Obr. 5.8:** Model reálné trajektorie ze tří parabol a jím vytvořený model konizátu z modelu cervixu největší velikosti (38 mm průměr před deformací) použitím modelu kličky s rozměry 20x20 mm.



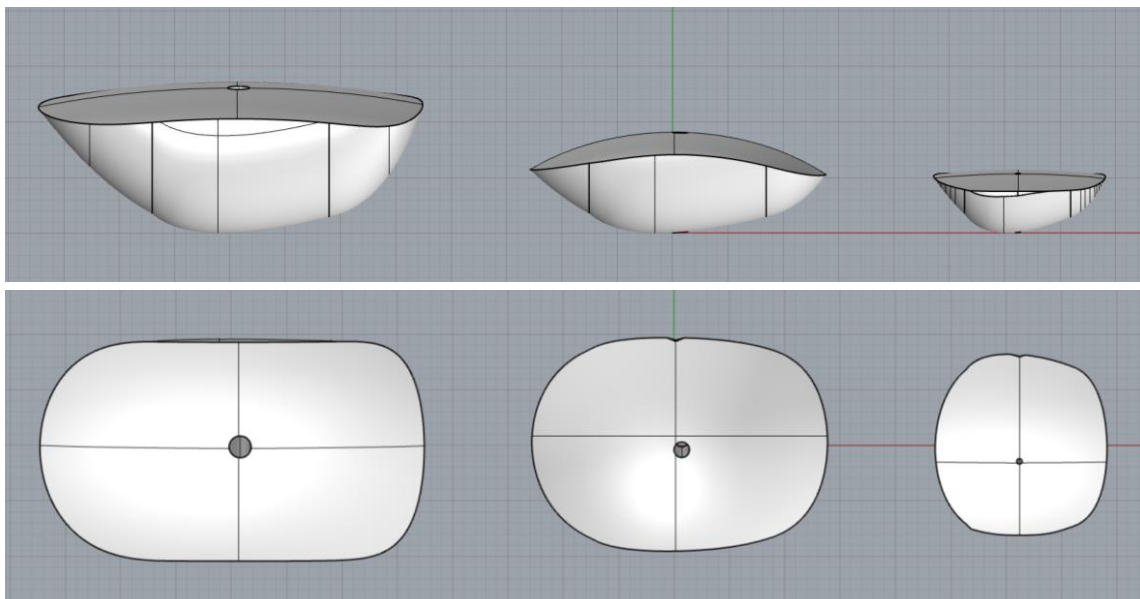


**Obr. 5.9:** Model reálné trajektorie ze tří parabol a jím vytvořený model konizátu z modelu cervixu střední velikosti (30 mm průměr před deformací) použitím modelu klíčky s rozměry 25x20 mm.

Na Obr. 5.10 je trajektorie, kterou vznikly konizáty ve všech třech velikostech modelů cervixů, jejich srovnání je uvedeno na Obr. 5.11.

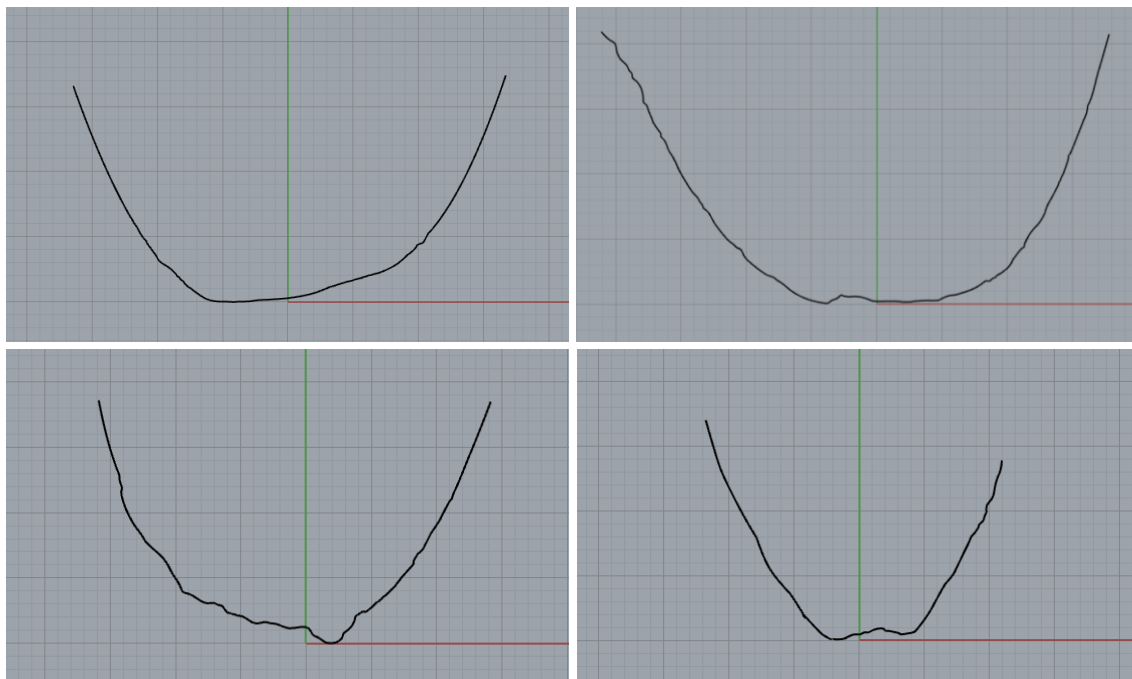


**Obr. 5.10:** Model reálné trajektorie ze tří parabol.

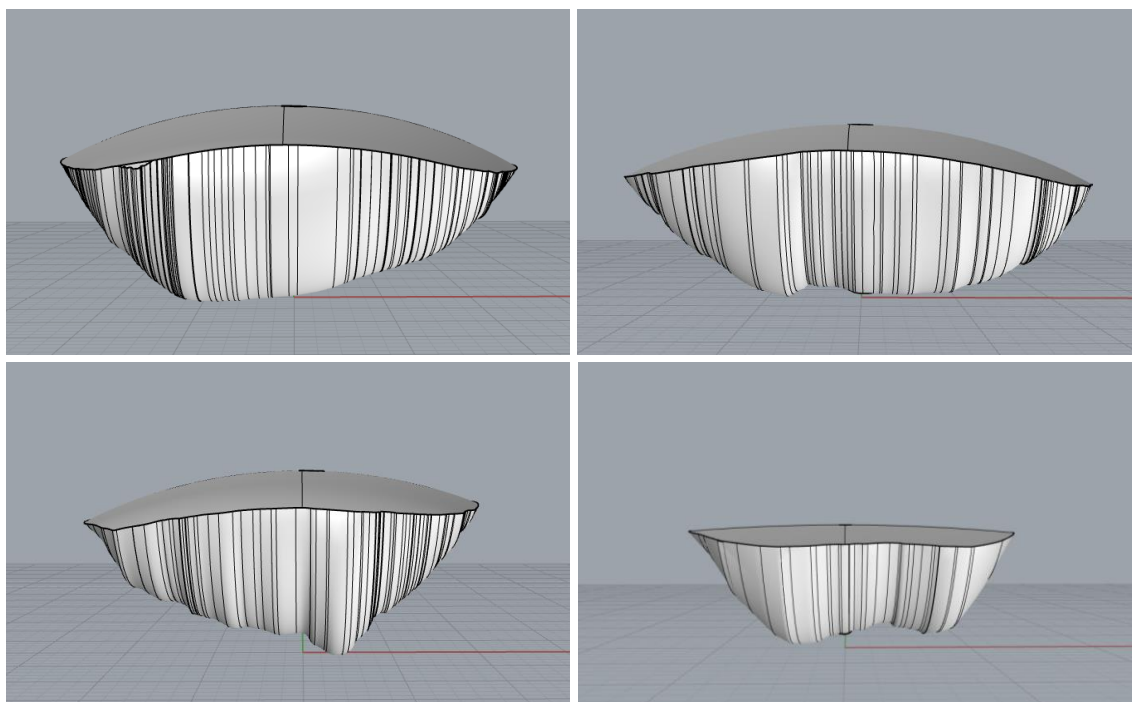


**Obr. 5.11:** Pohled ze strany a shora na modely reálných konizátů vzniklé zleva doprava z největšího, středního a nejmenšího modelu cervixu, za použití klíčky o rozměrech 20x20 mm, která se pohybovala po trajektorii uvedené na Obr. 5.10.

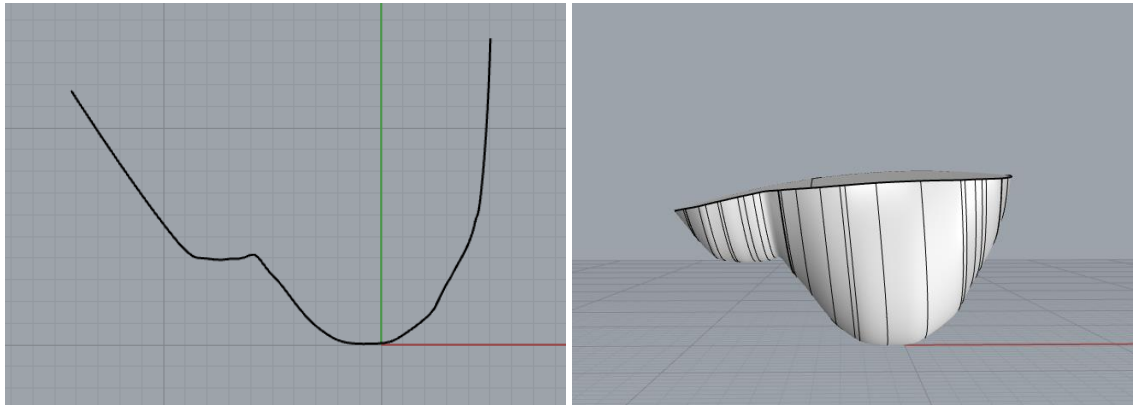
Deformováním předchozích trajektorií pomocí editačních bodů vzniklo jedenáct modelů reálných trajektorií. Pět z nich je zobrazeno na Obr. 5.12, 5.13 a 5.14 společně s modely vzniklých konizátů při simulaci řezu kličkou. Zbylé modely trajektorií a jimi vytvořené konizáty uvádím v příloze A.5, A.6.



**Obr. 5.12:** Modely reálných trajektorií zdeformovaných editačními body v jednom směru.

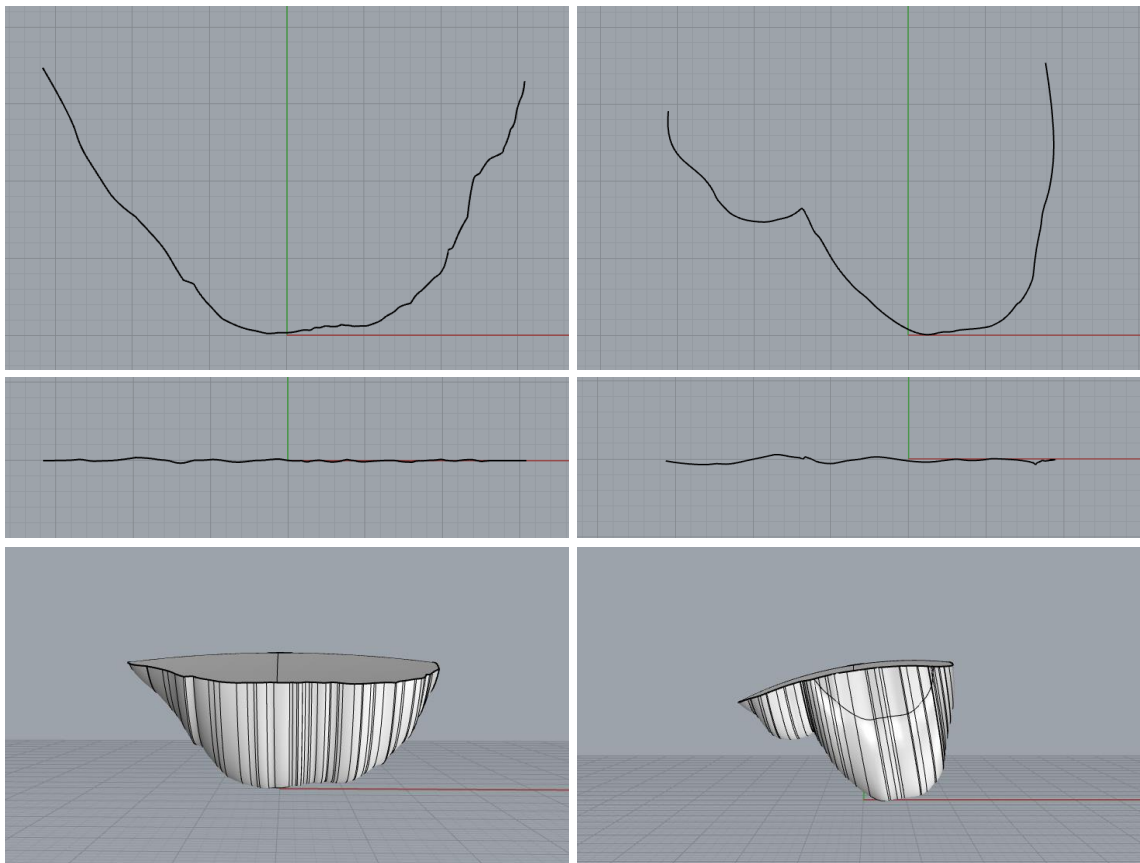


**Obr. 5.13:** Modely reálných konizátů, vzniklých použitím modelů trajektorií na Obr. 5.12.  
 (zleva shora: *konizat\_adv3+B20x20\_def\_t4.3dm*, *konizat\_adv3+B20x20\_def\_t1.3dm*,  
*konizat\_adv4+B20x20\_def\_3t\_.3dm*, *konizat\_adv2+B20x20\_def\_t7.3dm* – v příloze D)



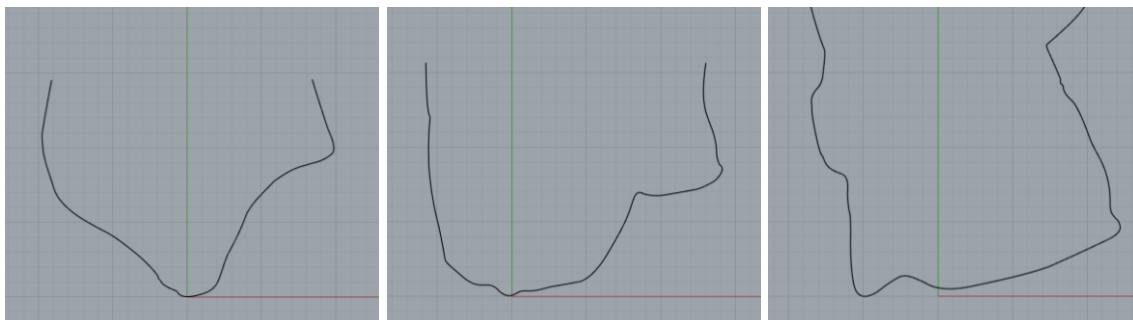
**Obr. 5.14:** Model reálné trajektorie a jeho použitím vzniklý model konizátu, který je typický pro odběr tkáně děložního čípku ve směrech shora dolů nebo zdola nahoru.  
(*konizat\_adv2+B20x20\_tdh2.3dm* – v příloze D)

Deformováním modelů trajektorií editačními body také v pohledu shora vznikly další čtyři modely reálných trajektorií a jejich použitím taktéž modely reálných konizátů. Dva tyto modely jsou uvedeny na Obr. 5.15, zbylé dva uvádím v příloze A.7.

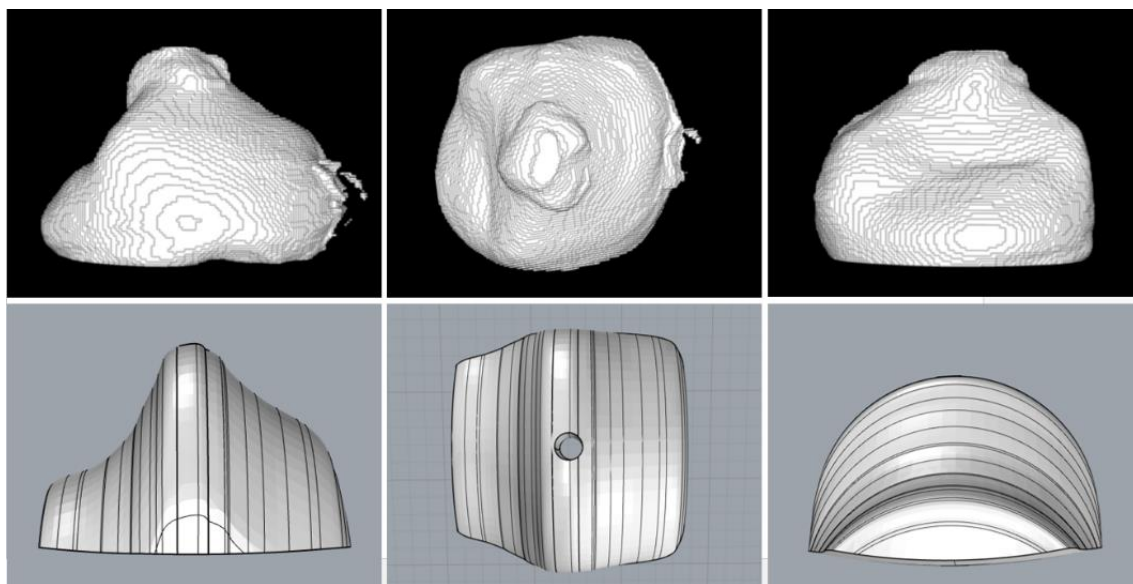


**Obr. 5.15:** Modely reálných trajektorií zepředu a shora a modely konizátů, které jejich použitím vznikly. Konizát vlevo vznikl použitím kličky s rozměry 32x32 mm, konizát vpravo použitím kličky 20x20 mm. (Model trajektorie i konizátu je součástí jednoho modelu, zleva – *konizat\_adv4+S32x32\_kompldef\_t9.3dm*, *konizat\_adv4+B20x20\_tdh4.3dm*. – v příloze D)

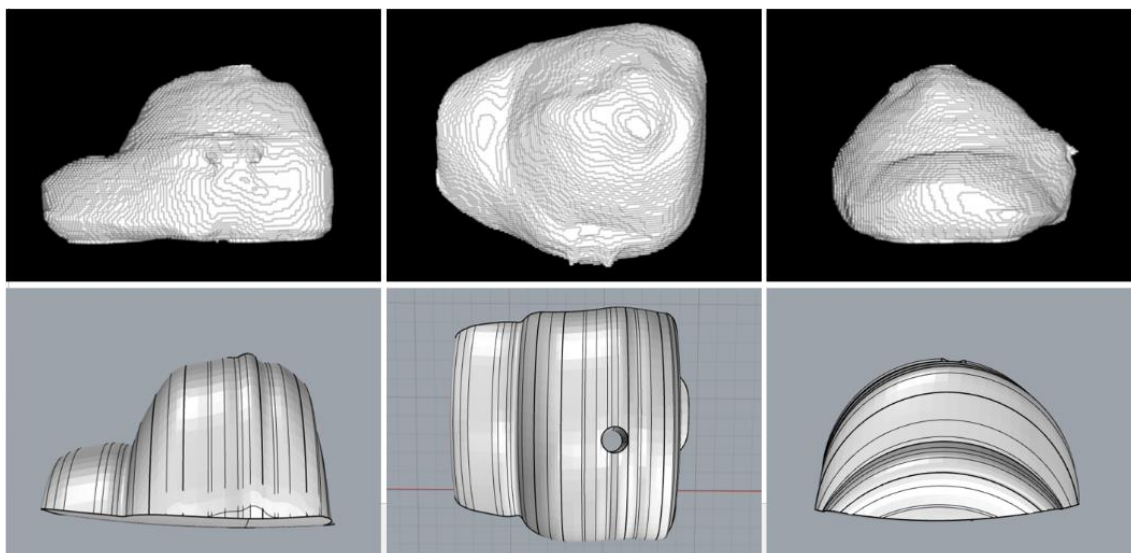
Následně vznikly tři modely konizátů podle reálných konizátů, jež uvádím na Obr. 5.17, 5.18 a 5.19 společně s jejich předlohou – 3D modely reálných konizátů, které vznikly při konizacích v ÚPMD. Trajektorie použité pro jejich vznik jsou na Obr. 5.16. Vzniklé SW modely byly následně porovnány s jejich předlohou (reálným konizátem). Srovnání výšek a objemů SW modelů konizátů a reálných konizátů, uvádím v Tab. 5.1 a 5.2. Rozdíly objemů a výšek byly spočítány dle (2) a (3).



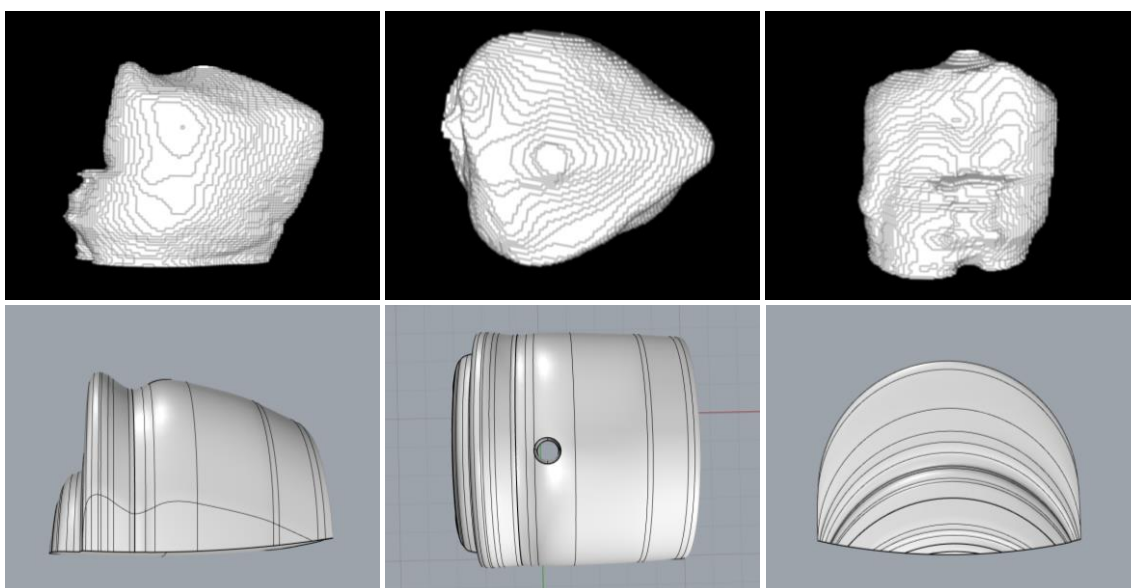
**Obr. 5.16:** Modely reálných trajektorií, které kopírují obrys reálných konizátů a daly vzniknout následujícím modelům reálných konizátů na Obr. 5.17, 5.18 a 5.19.



**Obr. 5.17:** 3D model reálného konizátu, který byl předlohou pro SW model konizátu a vytvořený model konizátu. Konizát vznikl ze středního modelu děložního čípku za použití klíčky s rozměry 20x20 mm. (*konizat\_p1.3dm* – v příloze D)



**Obr. 5.18:** 3D model reálného konizátu, který byl předlohou pro SW model konizátu a vytvořený model konizátu. Konizát vznikl ze středního modelu děložního čípku za použití modelu kličky s rozměry 20x20 mm. (*konizat\_p2.3dm* – v příloze D)



**Obr. 5.19:** 3D model reálného konizátu, který byl předlohou pro SW model konizátu a vytvořený model konizátu. Konizát vznikl ze středního modelu děložního čípku za použití modelu kličky s rozměry 20x20 mm. (*konizat\_p3.3dm* – v příloze D)

**Tab. 5.1:** Srovnání objemů SW modelů konizátů a reálných konizátů, které byly jejich předlohou.

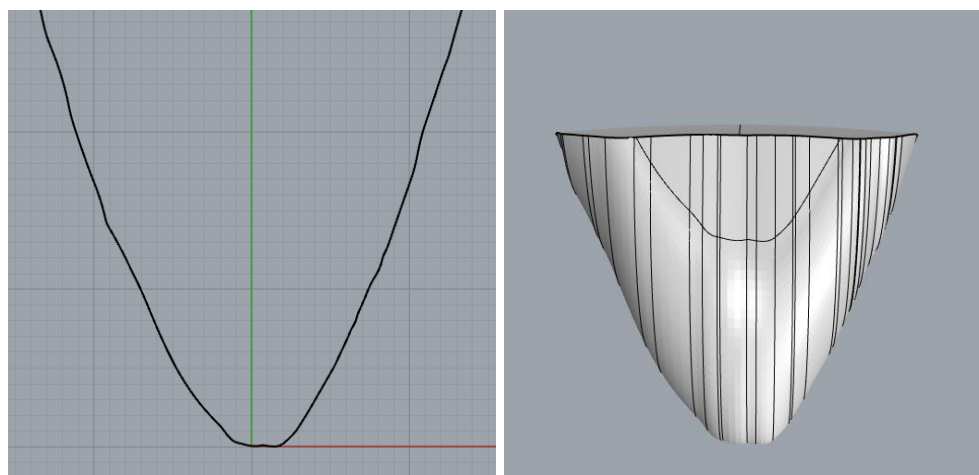
Konizát	Objem reálného konizátu (ml)	Objem SW modelu konizátu (ml)	Rozdíl objemů (ml)
Obrázek 5.17	2,92	2,50	0,42
Obrázek 5.18	2,89	2,71	0,18
Obrázek 5.19	2,26	3,35	-1,09

**Tab. 5.2:** Srovnání výšek modelů konizátů a reálných konizátů, které byly jejich předlohou.

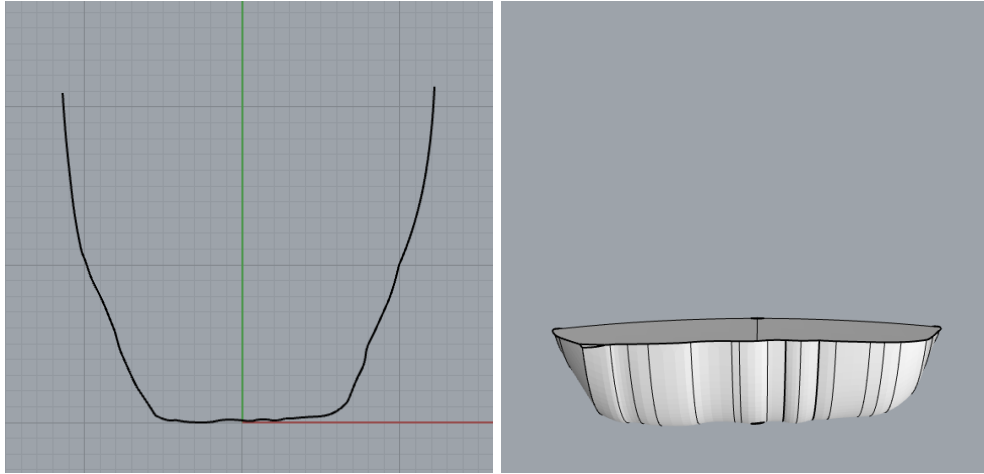
Konizát	Výška reálného konizátu (mm)	Výška SW modelu konizátu (mm)	Rozdíl výšek (mm)
Obrázek 5.17	16,50	13,80	2,70
Obrázek 5.18	15,20	12,99	2,21
Obrázek 5.19	15,80	14,62	1,18

### 5.1.3 Optimální SW modely

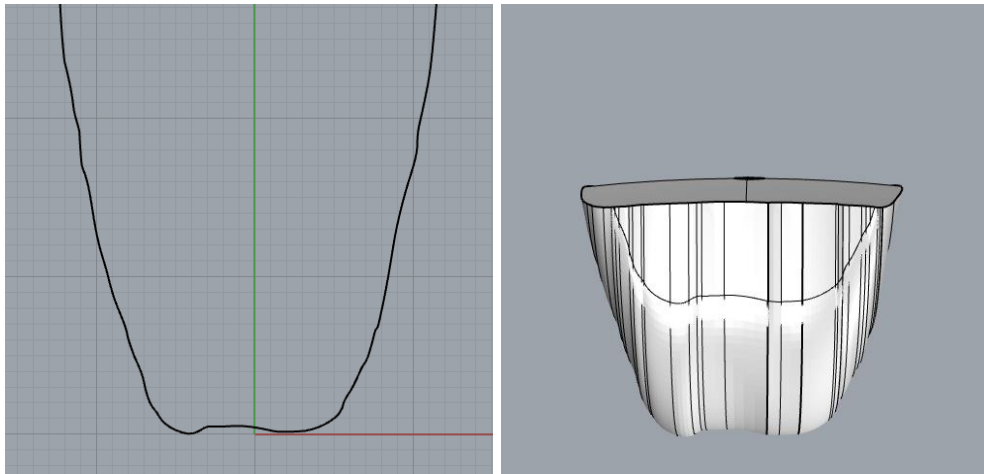
Modelů optimálních trajektorií vzniklo sedm, byly kombinovány s různými modely cervixů a kliček a byly používány pro různě hluboké řezy, respektive jejich simulace. Čtyři modely optimálních kliček a některé jimi vzniklé konizáty jsou na Obr. 5.20, 5.21, 5.22 a 5.24. Zbylé modely trajektorií i konizátů jsou v příloze A.8.



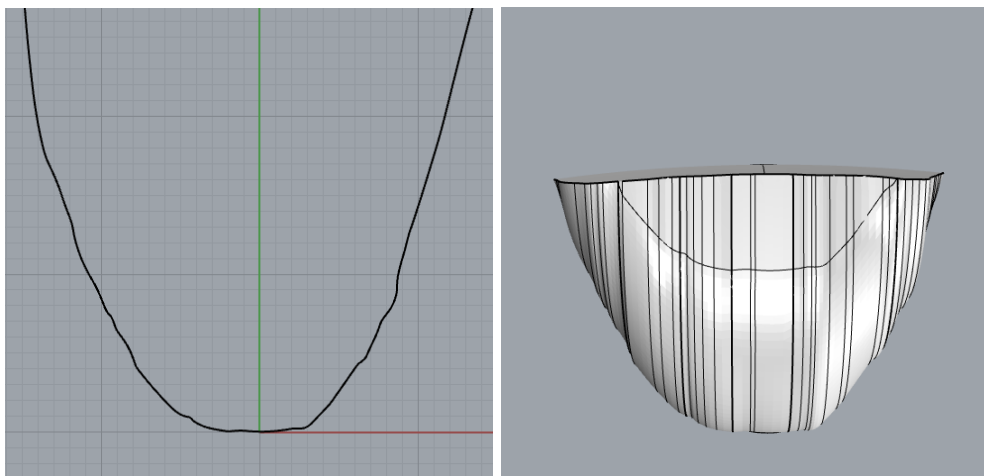
**Obr. 5.20:** Model optimální trajektorie, který by mohl být použitý pro odstranění léze okolo endocervikálního kanálu, a jejím použitím vzniklý model optimálního konizátu.  
(konizat2\_adv4+B20x20\_6ot.3dm – v příloze D)



**Obr. 5.21:** Model optimální trajektorie, která by mohla být použita pro odstranění povrchové léze, a jejím použitím vzniklý model optimálního konizátu. (*konizat2\_adv2+B20x20\_4ot.3dm* – v příloze D)

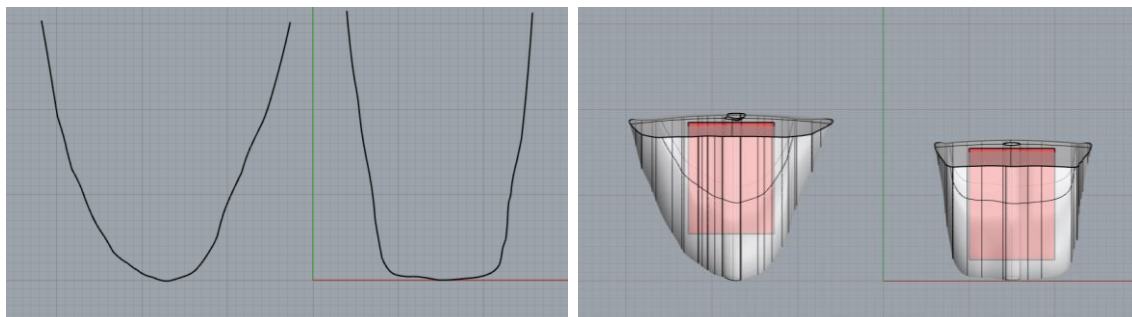


**Obr. 5.22:** Model optimální trajektorie, který by mohl být použitý pro odběr léze okolo endocervikálního kanálu, a jím vytvořený model optimálního konizátu. (*konizat2\_adv3+B20x20\_3ot.3dm* – v příloze D)



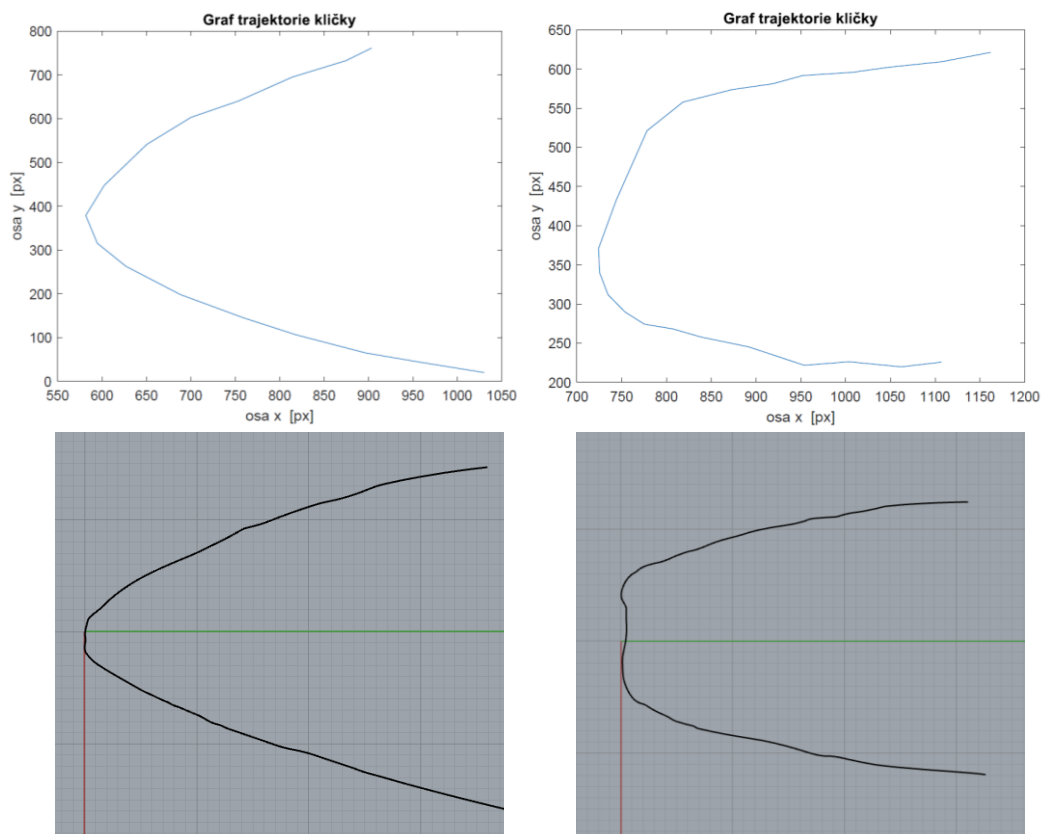
**Obr. 5.23:** Model optimální trajektorie a jím vzniklý model optimálního konizátu. (*konizat2\_adv4+B20x20\_2ot.3dm* – v příloze D)

Simulací odběru stejně velké léze dvěma různými trajektoriemi vznikly konizáty, které jsou společně s použitými trajektoriemi na Obr. 5.24. Konizát vzniklý trajektorií blízkí se tvaru kužele měl o 1,02 ml větší objem a byl o 3,5 mm vyšší než konizát vzniklý trajektorií ve tvaru zaobleného obdélníka.



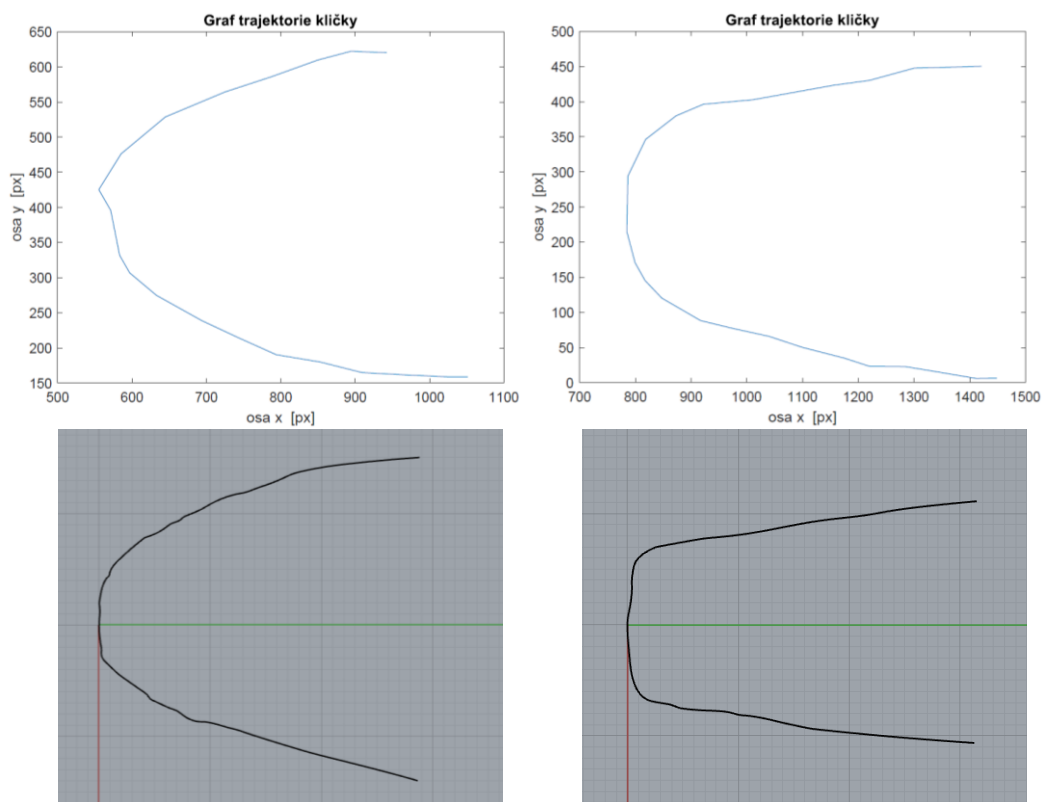
**Obr. 5.24:** Vlevo je snímek použitých modelů optimálních trajektorií, kterými má být odebrána stejně velká léze se záměrem odebrat při tom co nejméně okolní, zdravé tkáně. Vpravo výsledné modely konizátů s červeně označenými lézemi.

Následně byly některé modely optimálních trajektorií tvarově srovnávány s referenčními trajektoriemi, které byly prováděny opisováním ideálních vyřezaných trajektorií modelem klíčky na simulátoru operačního pole – viz Obr. 5.25 a 5.26.



**Obr. 5.25:** Tvarové srovnání zrekonstruovaných referenčních trajektorií ze simulátoru operačního pole (nahore) a vymodelovaných optimálních trajektorií (pod nimi).

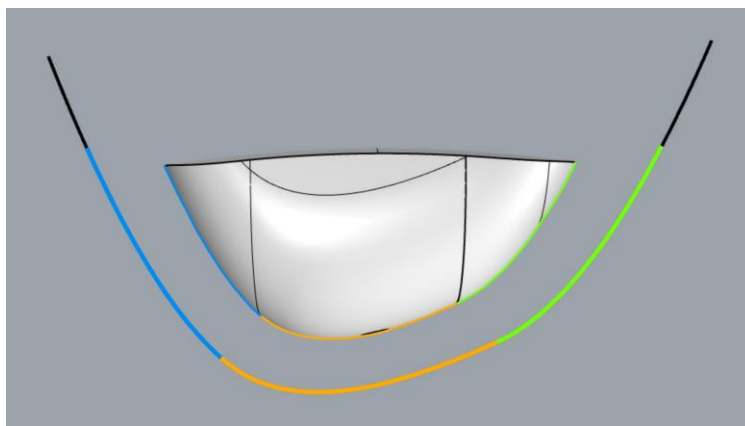




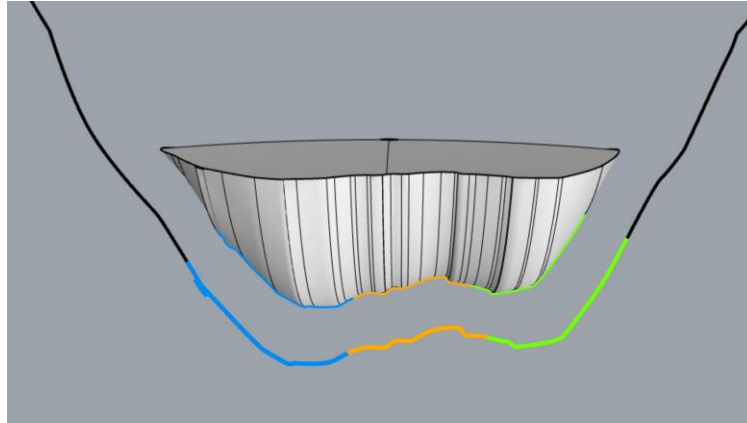
**Obr. 5.26:** Tvarové srovnání zrekonstruovaných referenčních trajektorií ze simulátoru operačního pole (nahore) a vymodelovaných optimálních trajektorií (pod nimi).

#### 5.1.4 Spojitosti mezi tvarem modelu trajektorie a vzniklého konizátu

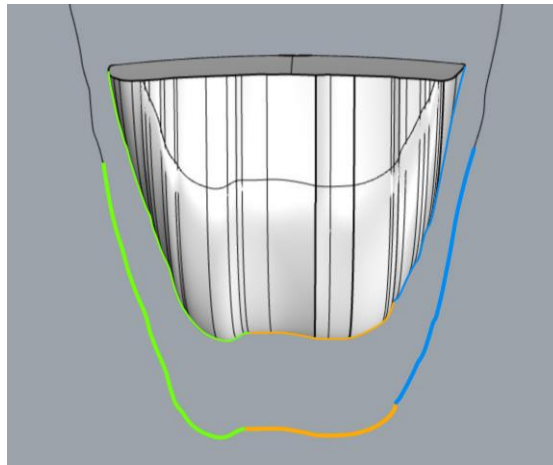
Tvarové spojitosti mezi modelem trajektorie a modelem vzniklého konizátu jsou ve většině případů patrné na první pohled – viz několik konizátů s trajektoriemi v příloze A.9. Tři vybrané modely, u kterých jsou barevně označeny části trajektorií a jim odpovídající části konizátů jsou na obrázcích Obr. 5.27, 5.28, 5.29. Na Obr. 5.30 jsou tvarové spojitosti označeny na detailu jednoho z modelů konizátu.



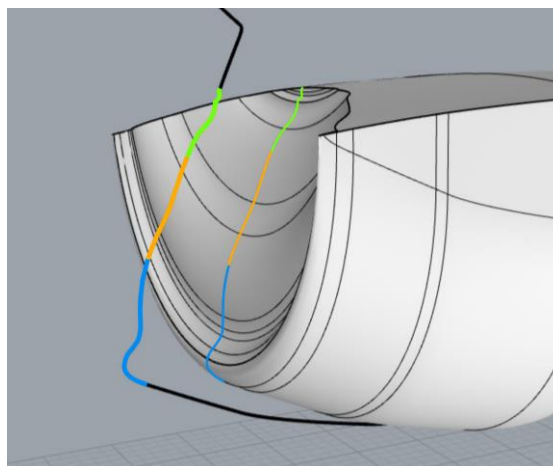
**Obr. 5.27:** Jednoduchý model reálného konizátu s použitým modelem trajektorie, na kterých jsou barevně označeny odpovídající si části.



**Obr. 5.28:** Model reálného konizátu s modelem použité trajektorie, na kterých jsou barevně označeny části, které si odpovídají.



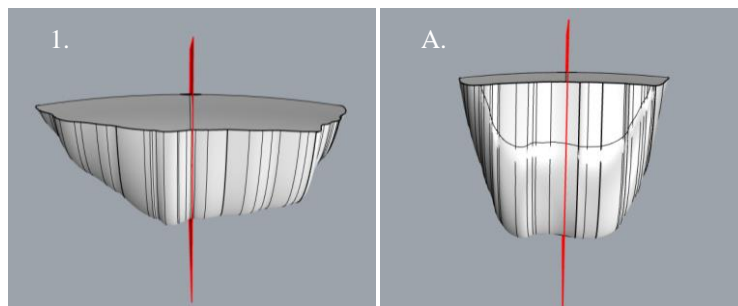
**Obr. 5.29:** Model optimálního konizátu s modelem použité kličky, na kterých jsou barevně označeny části, které si odpovídají.



**Obr. 5.30:** Detailní část modelu konizátu *konizat\_p\_3.3dm* a použitého modelu trajektorie s vyznačenými tvarovými spojitostmi.

### 5.1.5 Symetrie a nesymetrie modelů

Byly porovnány objemy polovin konizátů u šesti reálných modelů a šesti optimálních modelů konizátů. Hodnoty objemů polovin konizátů a výsledné rozdíly, počítané dle (1), jsou pro reálné modely v Tab. 5.3 a pro optimální modely v Tab. 5.4. Jeden konizát z každé skupiny uvádím na Obr. 5.31. Zbylé konizáty, u kterých byla takto ověřována (ne)symetrie, jsou na obrázcích v příloze A.10 a A.11, jsou označeny a je u nich uveden název modelu, který je v příloze D.



**Obr. 5.31:** Modely, u kterých se ověřovala symetrie – rozdělení značí červená linie/plocha. Vlevo model reálného konizátu (*\_konizat\_adv4+S32x32\_def\_3traj\_6.3dm*), vpravo model optimálního konizátu (*konizat2\_adv3+B20x20\_3ot.3dm*). (modely jsou v příloze D)

**Tab. 5.3:** Tabulka porovnávající objemy polovin modelů reálných konizátů.

Reálný konizát	Objem levé poloviny konizátu (ml)	Objem pravé poloviny konizátu (ml)	Rozdíl objemů (ml)
1.	2,26	2,51	0,25
2.	1,30	1,18	0,12
3.	0,76	1,22	0,46
4.	1	0,81	0,19
5.	1,05	0,78	0,27
6.	0,64	1,2	-0,56

**Tab. 5.4:** Tabulka porovnávající objemy polovin modelů optimálních konizátů.

Optimální konizát	Objem levé poloviny konizátu (ml)	Objem pravé poloviny konizátu (ml)	Rozdíl objemů (ml)
A.	2,30	2,09	0,21
B.	0,29	0,3	-0,01
C.	2,33	1,91	0,42
D.	1,11	1,01	0,10
E.	1,80	1,84	-0,04
F.	1,85	1,86	-0,01

## 5.2 První záznamy tahů elektrochirurgické kličky

První byly zaznamenány referenční tahy vysokofrekvenční kličkou v párcích, na sále v ÚPMD, které nebylo možné zrekonstruovat. Na Obr. 5.32 jsou alespoň snímky z jedné konizace z tohoto záznamu a na Obr. 5.33 vzniklé modely konizátů.

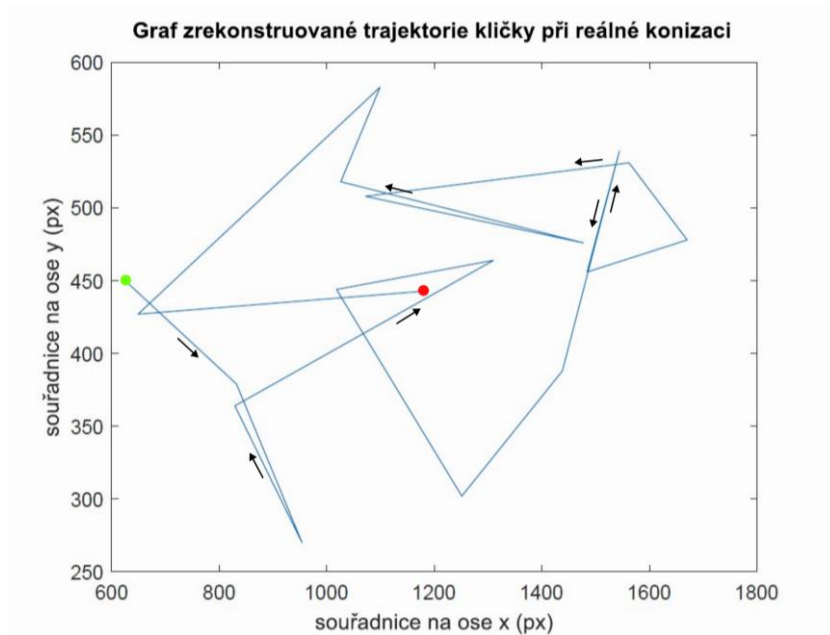


**Obr. 5.32:** Snímky zachycující průběh referenčního tahu vysokofrekvenční elektrochirurgické kličky v párcu prováděného panem MUDr. Turynou, Ph.D.



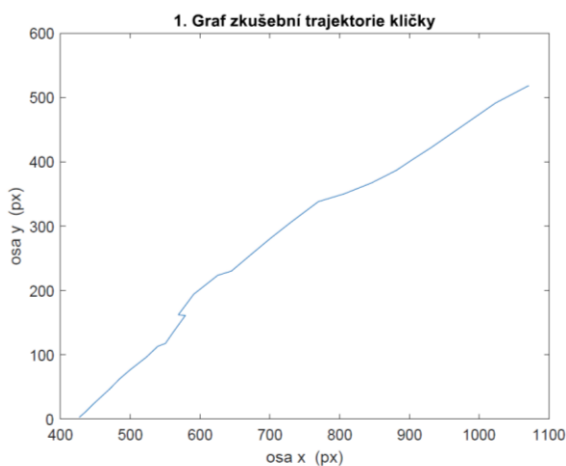
**Obr. 5.33:** Modely konizátů vzniklé referenčními tahy elektrochirurgickou kličkou v párcích, které odpovídají skutečným konizátům.

Na druhém záznamu byla zachycena trajektorie elektrochirurgické kličky přímo při provádění konizace děložního čípku. Graf se zrekonstruovanou trajektorií s označením průběhu kličky je na Obr. 5.34. Neupravený graf je umístěn v příloze B.1

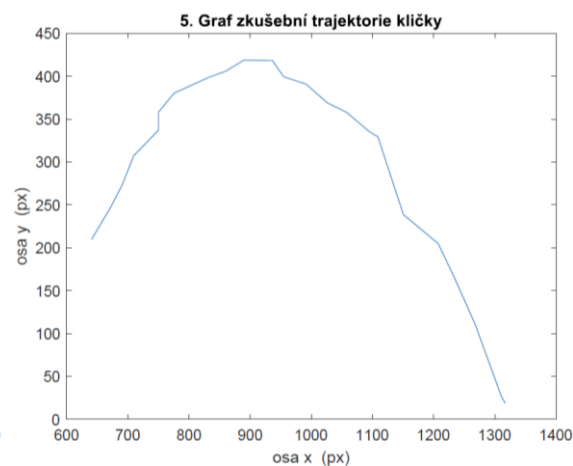


**Obr. 5.34:** Graf znázorňující pohyb kličky při zákroku. Zelený bod je počáteční bod, červený je koncový bod. Šipky ukazují směr pohybu kličky

Následně bylo zrekonstruováno pět jednoduchých tahů modelem kličky. První a pátý graf se zrekonstruovanou trajektorií jsou na Obr. 5.35 a 5.36, zbylé jsou v příloze B.2, B.3 a B.4.



**Obr. 5.35:** Graf pohybu kličkou z levého dolního rohu do pravého horního rohu. Plocha kličky byla rovnoběžná s trajektorií.



**Obr. 5.36:** Graf trajektorie kličky napodobující pohyb při konizaci, parabolický pohyb zleva doprava. Plocha kličky kolmá k trajektorií.

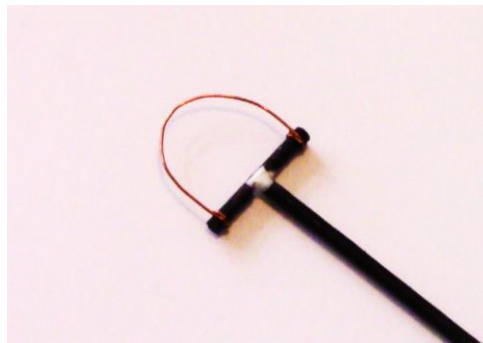
Další tahy byly již zaznamenávány na simulátoru operačního pole.

### 5.3 Simulátor operačního pole

První vytvořený simulátor uvádím na Obr. 5.37. a vytvořený model kličky, kterým se v simulátoru prováděly tahy je na Obr. 5.38.

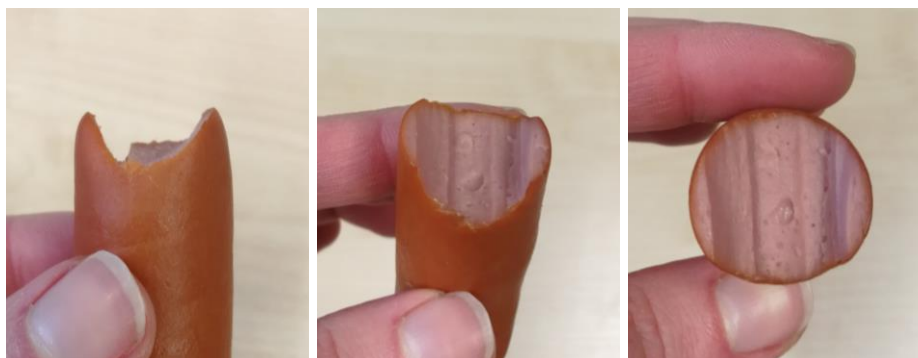


**Obr. 5.37:** Vlevo fotografie celého sestaveného simulátoru z odpadních trubek, molitanu a gynekologických zrcadel, vpravo pohled na simulovaný děložní čípek, který je upevněný v malé odpadní trubce a na vzniklé operační pole, ve kterém byly prováděny tahy modelem kličky.

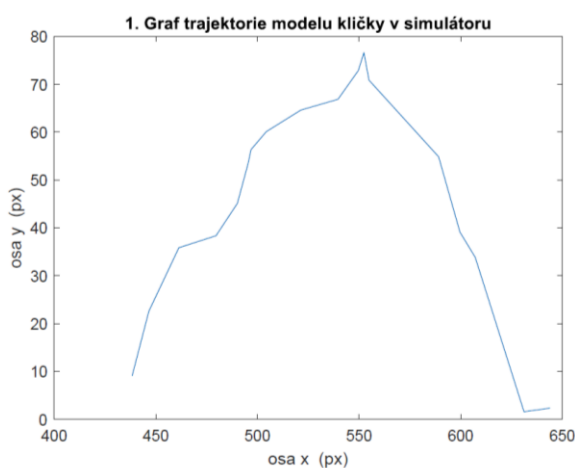


**Obr. 5.38:** Model vysokofrekvenční elektrochirurgické kličky nabarvený načerno s bílým označením v místě slepení dvou částí špejle, kterým byly prováděny tahy v simulátorech operačního pole, jež byly nahrávány na videozáznam.

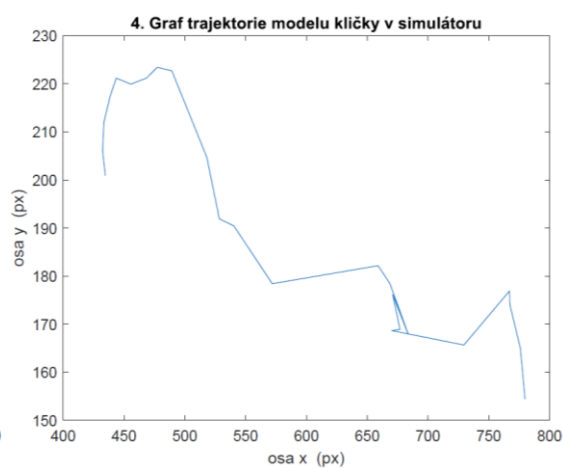
Výběr několika rekonstruovaných tahů realizovaných pohybem modelu kličky po vyřezaných trajektoriích v párcích a špekáčcích – viz Obr. 5.39 – na tomto simulátoru, je na Obr. 5.40 až 5.45. Zbylé jsou uvedeny v příloze B.5 až B.12.



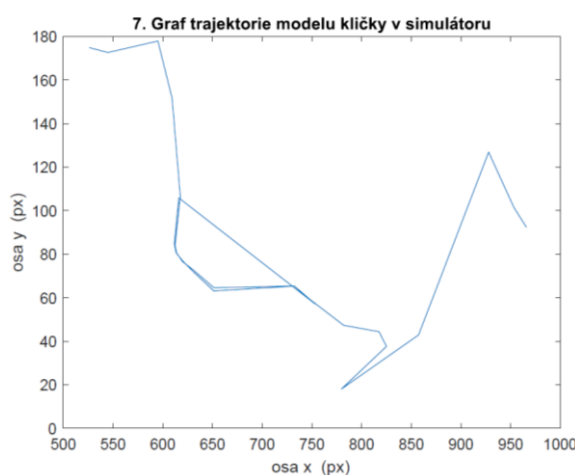
**Obr. 5.39:** Vyřezané trajektorie v párcích.



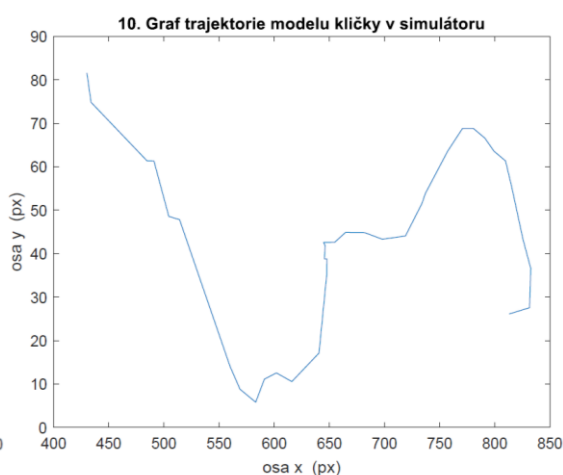
**Obr. 5.40:** Graf zrekonstruované trajektorie kličky, kdy se vyříznutá trajektorie v páрку blížila ideální, byla symetrická, měla tvar paraboly a byla hlubší. Pohyb kličkou byl zleva doprava.



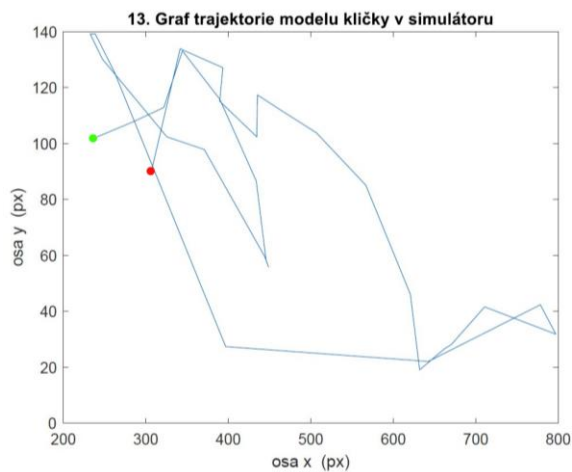
**Obr. 5.41:** Graf zrekonstruované trajektorie kličky, kdy vyříznutá trajektorie v páрку byla neideální (reálná), nesymetrická, s různými hlubšími výběžky. Pohyb kličkou byl zprava doleva.



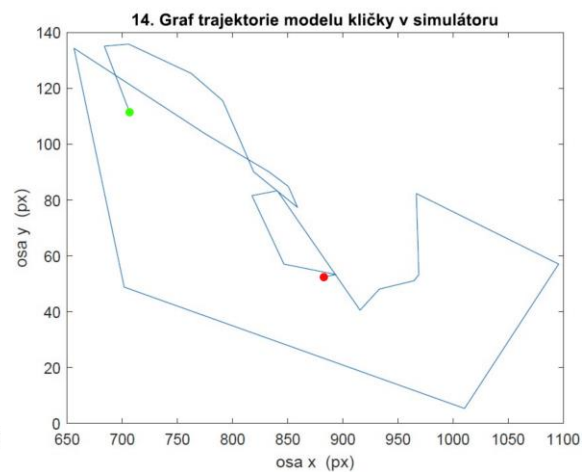
**Obr. 5.42:** Graf zrekonstruovaná trajektorie kličky, kdy vyříznutá trajektorie v páрку byla neideální (reálná), v levé části byl zářez do hmoty páрку. Pohyb kličkou byl zprava doleva.



**Obr. 5.43:** Graf zrekonstruované trajektorie kličky, kdy vyříznutá trajektorie ve špekáčku byla ideální, ve tvaru paraboly. Pohyb kličkou byl zleva doprava.



**Obr. 5.44:** Graf zrekonstruované trajektorie klíčky, kdy vyříznutá trajektorie v párku byla neideální. Jde o simulaci případu, kdy je nutné klíčku uprostřed konizace vytáhnout a začít z druhé strany.



**Obr. 5.45:** Graf zrekonstruované trajektorie klíčky, kdy vyříznutá trajektorie ve špekáčku byla neideální. Jde o simulaci případu, kdy je nutné klíčku uprostřed konizace vytáhnout a začít z druhé strany.

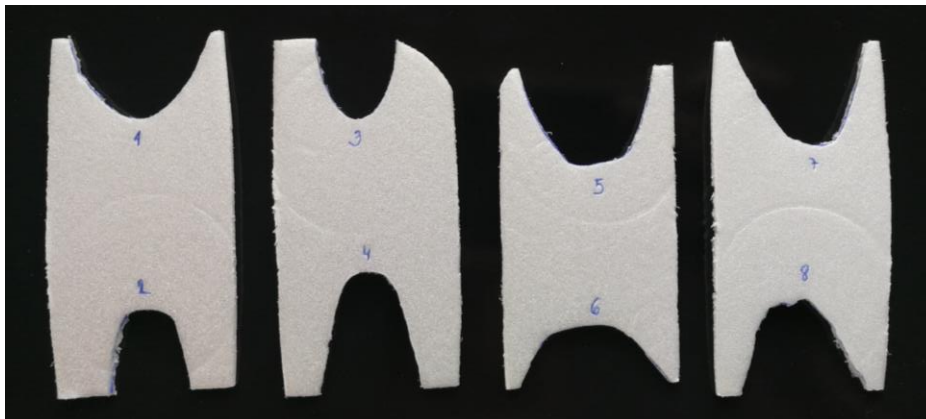
Druhý vytvořený simulátor byl téměř identický s prvním, odlišoval se pouze výřezem ve velké odpadní trubce a v jedné straně molitanu uvnitř. Pohled skrz tento výřez na operační pole uvnitř simulátoru je na Obr. 5.46.



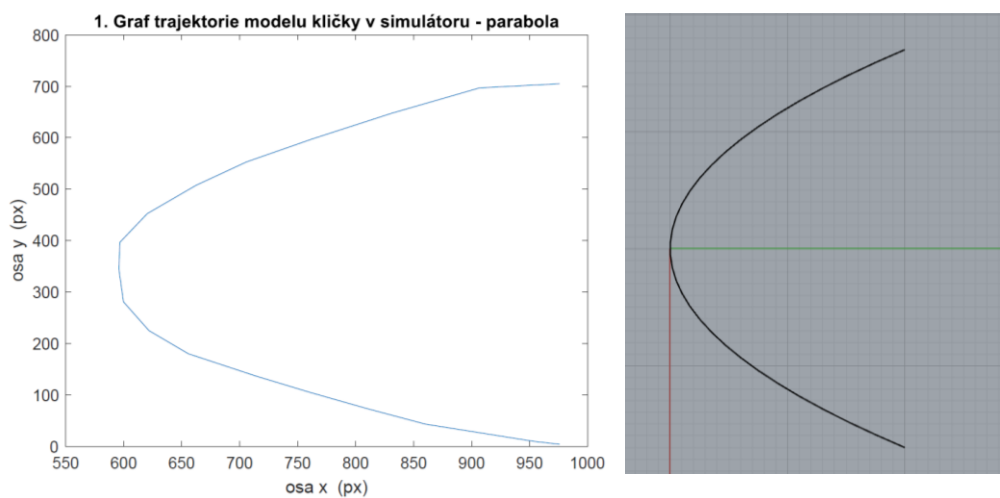
**Obr. 5.46:** Pohled do simulátoru operačního pole při provádění tahů modelem klíčky po vyřezaných trajektorích.



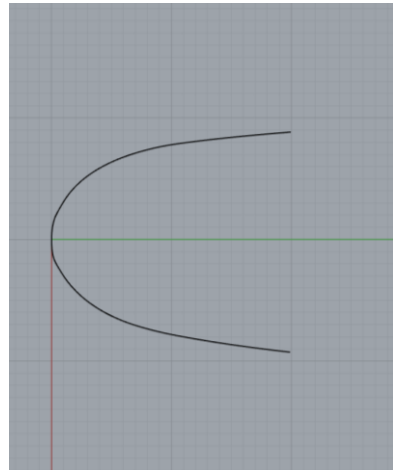
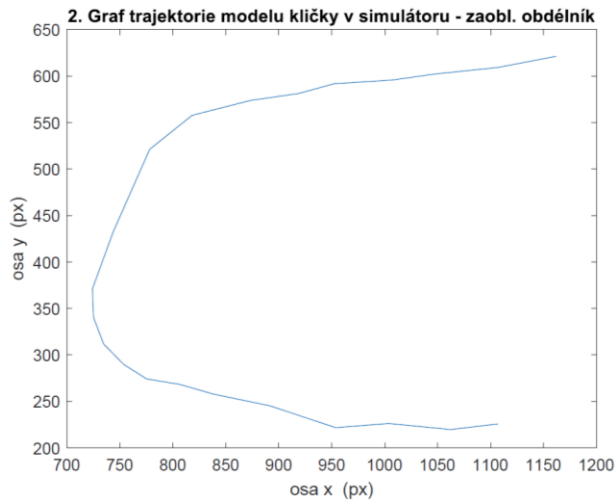
Vyřezané trajektorie, které byly použity pro tahy modelem klíčky na druhém simulátoru jsou na Obr. 5.47. Vybrané zrekonstruované tahy uvádím na Obr. 5.48 až 5.51, zbylé jsou v příloze B.13 a B.14.



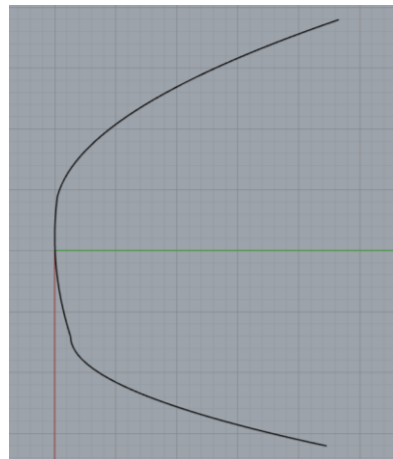
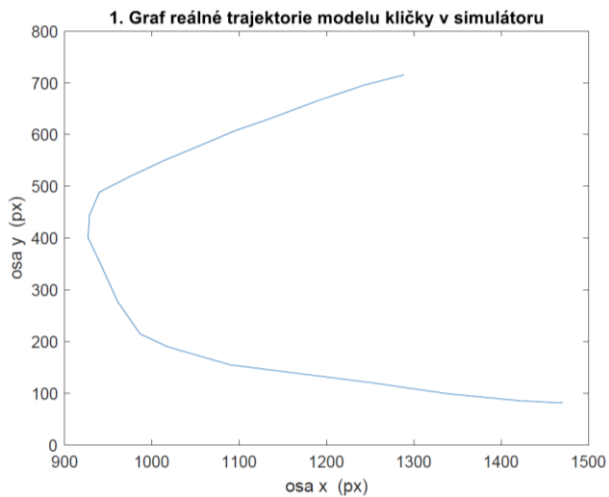
**Obr 5.47:** Vyřezané trajektorie do polystyrenové desky použité pro tahy modelem klíčky v simulátoru operačního pole. Čísla napsaná u trajektorií odpovídají jejich pořadí při prováděných tazích.



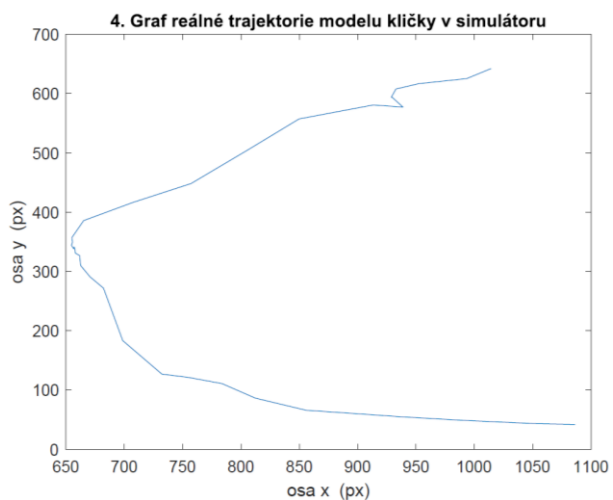
**Obr 5.48:** Vlevo graf zrekonstruované trajektorie klíčky z druhého simulátoru, vpravo model ideální trajektorie, po které se klíčka pohybovala.



**Obr. 5.49:** Vlevo graf zrekonstruované trajektorie kličky z druhého simulátoru, vpravo model ideální trajektorie, z části zakulaceného obdélníku, po které se klička pohybovala.



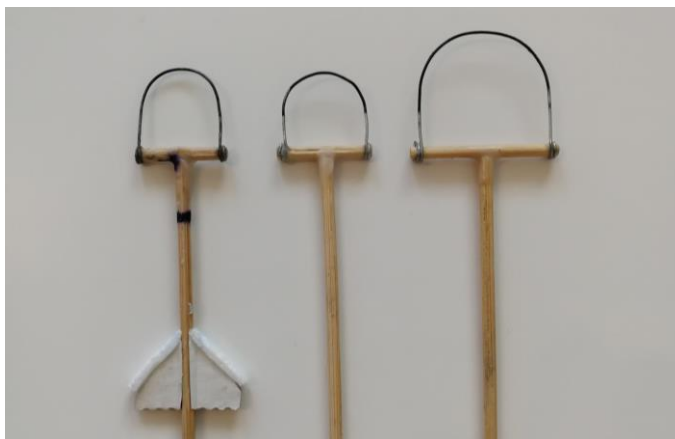
**Obr. 5.50:** Vlevo graf zrekonstruované trajektorie kličky z druhého simulátoru, vpravo model reálné trajektorie, po které se klička pohybovala.



**Obr. 5.51:** Vlevo graf zrekonstruované trajektorie kličky z druhého simulátoru, vpravo model reálné trajektorie, po které se klička pohybovala.

### 5.3.1 Simulace řezu modelem kličky v želatině

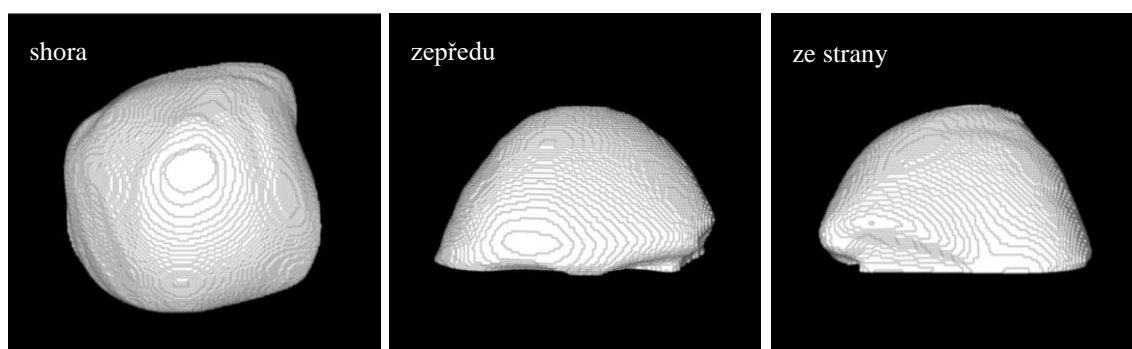
Pro řez v želatině vznikly modely kliček, které jsou na Obr. 5.52. Z prvních konizátů z želatiny vytvořených bez vodící trajektorie pro kličku byly dva nasnímány a jejich 3D modely jsou uvedeny na Obr. 5.54 a 5.55, jejich fotografie jsou na Obr. 5.53.



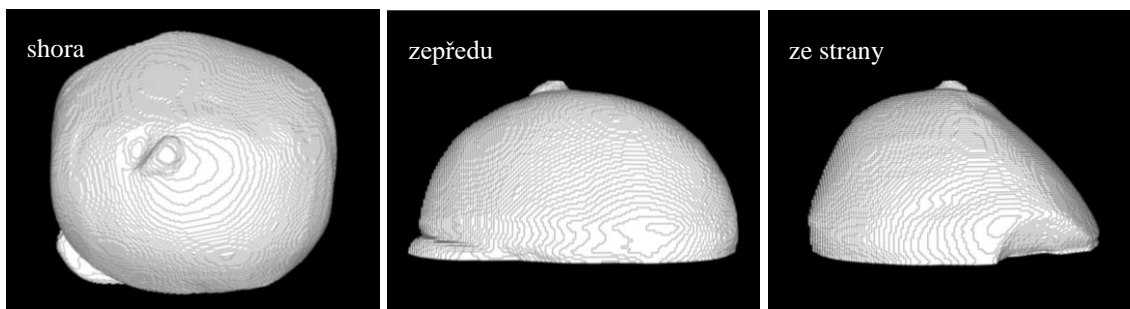
**Obr. 5.52:** Modely kliček pro řezy v želatině. Vlevo klička s šipkou pro pohyb ve vyřezaných trajektoriích.



**Obr. 5.53:** První modely konizátů vyříznuté z želatiny.



**Obr. 5.54:** Model konizátu z želatiny vytvořený ve snaze dosáhnout ideálního tvaru konizátu. Jde o konizát, který je na Obr. 5.53 vlevo. Výška modelu je 13,5 mm.

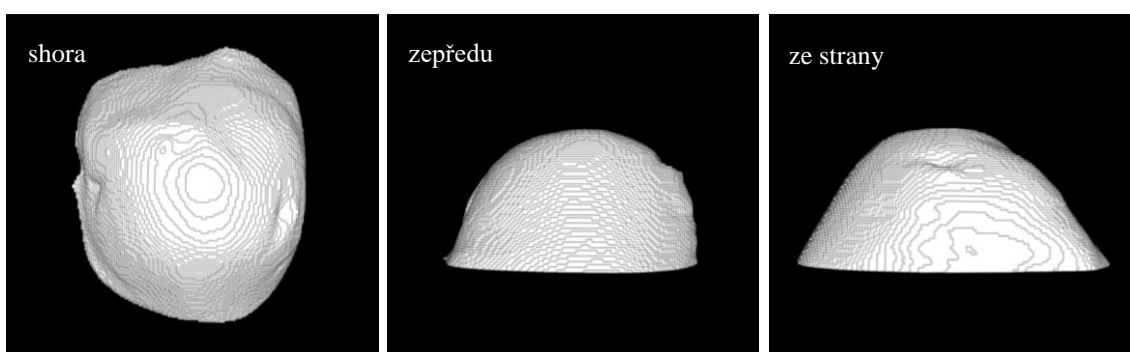


**Obr. 5.55:** Model konizátu z želatiny vytvořený ve snaze dosáhnout reálného tvaru konizátu. Jde o konizát, který je na Obr. 5.53 vpravo. Výška modelu je 17,6 mm.

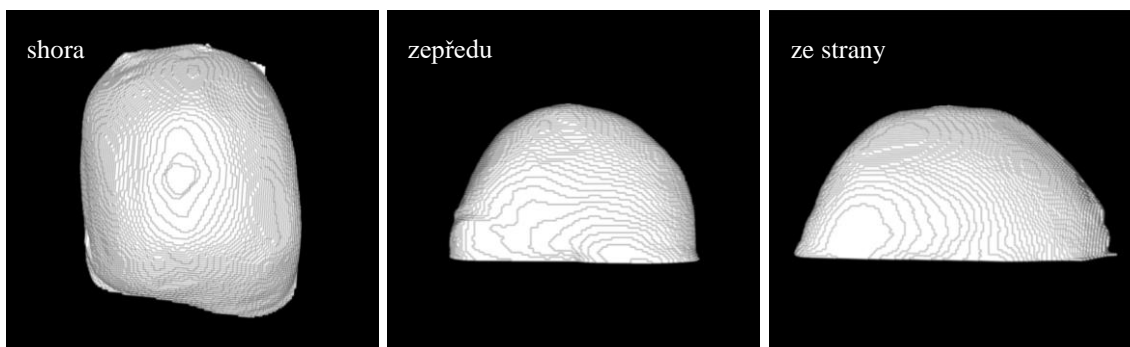
Následně bylo vytvořeno a nasnímáno šest modelů konizátů z želatiny, které vznikly pohybem kličky, respektive šipky na ní, po vyřezaných trajektoriích. Tři jsou na Obr. 5.57 až 5.59, zbylé tři v příloze C.3 až C.5. Na Obr. 5.56 jsou fotografie tří uváděných konizátů, analogicky jsou fotografie zbylých tří modelů konizátů umístěny v příloze C.2. SW modely trajektorií, po kterých se klička pohybovala, jsou v příloze C.1.



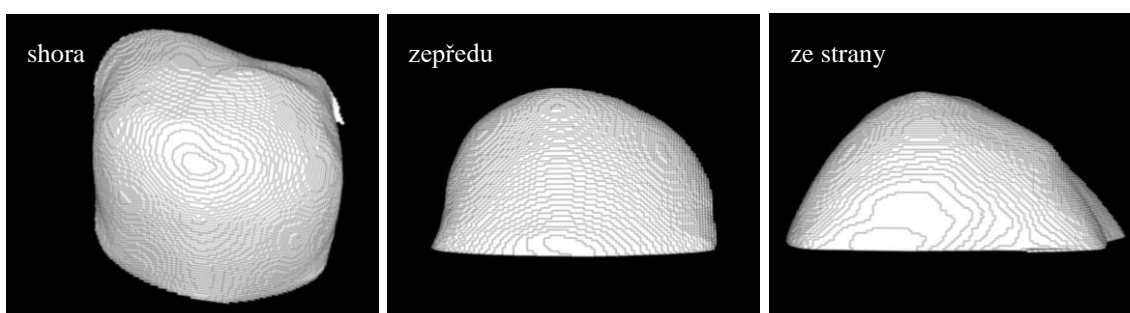
**Obr. 5.56:** Fotografie želatinových konizátů, které vznikly kličkou pohybující se v rámci vyříznuté trajektorie odpovídající SW modelům ideálních trajektorií.



**Obr. 5.57:** Model konizátu z želatiny vytvořený pohybem kličky v rámci vyříznuté trajektorie odpovídající SW modelu ideální trajektorie. Jde o konizát, který je na Obr. 5.56 vlevo. Výška modelu je 11,5 cm.



**Obr. 5.58:** Model konizátu z želatiny vytvořený pohybem kličky v rámci vyříznuté trajektorie odpovídající SW modelu ideální trajektorie. Jde o konizát, který je na Obr. 5.56 uprostřed. Výška modelu je 14,7 mm.



**Obr. 5.59:** Model konizátu z želatiny vytvořený pohybem kličky v rámci vyříznuté trajektorie odpovídající SW modelu ideální trajektorie. Jde o konizát, který je na Obr. 5.56 vpravo. Výška modelu je 13,8 mm.

## 6 Diskuse

Hlavními výsledky práce jsou vytvořené SW modely ideálních, reálných i optimálních trajektorií, potažmo konizátů. Ze SW simulací konizace vyplývá, že zvolená trajektorie má přímý vliv na tvar konizátu, tedy i na jeho objem. Dalším podstatným výsledkem je vytvořený jednoduchý simulátor operačního pole. Došlo také k důležitému zjištění, a sice, že opisování ideální trajektorie rukojetí kličky nemusí vést ke vzniku ideálního, respektive optimálního tvaru konizátu.

Práce je tvořena dvěma částmi. První část se věnuje modelování v Rhinocerosu, druhá simulátoru operačního pole, jež umožňuje prakticky využít navržené a vymodelované SW modely trajektorií.

V rámci modelování v Rhinocerosu vznikly jako první ideální konizáty, které, ačkoli jsou velmi jednoduché, jsou zřejmě nejideálnější a odpovídají představám lékařů o ideálních tvarech konizátů, kterých ovšem v praxi nelze dosáhnout. Jednoduché modely reálných trajektorií mají tvar značně idealizovaný, reálným se blíží pouze svým obecným nesymetrickým tvarem. Propracovanější modely trajektorií, především ty deformované editačními body ve dvou směrech (pohledech) se reálným konizátům velmi blíží. Modely reálných konizátů, které jsou z jedné strany zaoblené a z druhé strany šikmé, odpovídají konizátům, které při konizacích často vznikají. V takových případech zpravidla při vstupu kličkou do tkáně vzniká zaoblená strana a při vytahování kličky z tkáně dochází ke vzniku šikmé části konizátu. Na Obr. 5.14 je model trajektorie a konizátu, které jsou typické pro odběr tkáně ve směru shora dolů či zdola nahoru. Z modelů konizátů, které vznikly trajektoriemi modelovanými podle reálných konizátů, se od reálného konizátu z hlediska objemu nejvíce odlišoval model konizátu na Obr. 5.19, kdy reálný konizát byl o 1,09 ml větší. Výškou se od reálného konizátu nejvíce lišil konizát na Obr. 5.17, rozdíl činil 2,7 mm. Nejsnazším a přesnějším způsobem pro srovnání modelů reálných trajektorií s reálnými trajektoriemi se prozatím jeví porovnání vzniklých konizátů. Zde byly porovnávány pouze objemy a výšky reálných konizátů a jejich modelů. Bylo by ale možné, a do budoucna vhodné, vyhodnotit jejich podobnost sofistikovanější metodou. Nabízí se např. metoda fitování dvou těles na sebe s následnou sumou čtverců odchylek nafitovaného tělesa (v tomto případě modelu) od tvaru reálného konizátu. Tuto metodu použila ve své diplomové práci [18] Ing. Kateřina Seidlová pro fitování geometrického tělesa (elipsoidu) na reálný konizát děložního čípku.

Vytvořené modely optimálních trajektorií vycházejí z modelů ideálních konizátů a zároveň se snaží brát do úvahy podmínky na operačním sále, lidský faktor u lékaře, možný mechanický odpor tkáně děložního čípku, dýchání pacientky atp. Tyto trajektorie byly modelovány s určitou představou, jaká léze by jimi mohla být odstraňována, respektive kde by se daná léze mohla nacházet. Vzniklo jich pouze sedm, nicméně

představují možné obecné tvary optimálních trajektorií, které mohou být přizpůsobeny danému konkrétnímu případu použití. Mezi optimální modely trajektorií by mohlo být zařazeno i pár modelů reálných trajektorií, což je ideální situace, která se děje též při reálných konizacích. Modely optimálních trajektorií se velmi podobají zrekonstruovaným ideálním tahům ze simulátoru operačního pole, se kterými byly srovnávány.

Simulace odběru stejně velké léze dvěma různými trajektoriemi potvrdila tvrzení ze studie [17], která označuje trajektorii ve tvaru zaobleného obdélníka z hlediska menšího objemu odebrané tkáně, jako vhodnější pro použití při odstranění léze. Pohybem kličky po trajektorii ve tvaru kužele vznikl relativně velký konizát, který byl o 1,02 ml objemnější a o 3,5 mm vyšší než konizát, který vznikl použitím trajektorie ve tvaru zaobleného obdélníka. Trajektorie ve tvaru zaobleného obdélníka umožňuje při řádném odstranění léze zároveň odebrat menší množství zdravé tkáně, což je pro snížení rizika předčasného porodu zásadní.

Kromě okometrického zhodnocení symetrie reálných a optimálních trajektorií byla zjišťována symetrie vzniklých modelů konizátů okolo endocervikálního kanálu srovnáváním objemu levé a pravé poloviny konizátu, který byl rozříznutý uprostřed endocervikálního kanálu. K tomuto způsobu bylo přistoupeno především z důvodu 3D deformace některých modelů trajektorií. V takových případech by nebylo možné porovnávat levou a pravou polovinu křivky jejich překrytím, jak bylo původně zamýšleno. Větší rozdíly objemů vyšly u modelů reálných konizátů, maximální rozdíl v objemu mezi levou a pravou polovinou modelu reálného konizátu činil 0,56 ml, minimální 0,12 ml. U modelů optimálních konizátů byl maximální objemový rozdíl mezi levou a pravou polovinou 0,42 ml, minimální 0,01 ml. Použitou metodu lze považovat za určitý způsob důkazu o nesymetrii či symetrii, který ale nebude vždy odpovídat skutečnosti. Velké nerovnoměrnosti na obou stranách trajektorie či konizátu mohou dát dohromady podobné objemy. Stejný problém by nastal i při porovnávání polovin trajektorií. Ačkoli lze namítat, že pouhé okometrické zhodnocení symetrie trajektorií okolo osy je značně subjektivní, aktuálně se dle mého jeví jako relevantní způsob určení symetrie. Nicméně ani jeden ze zmíněných způsobů není pro hodnocení a potvrzení či vyvrácení symetrie optimální. Okometrickou metodu by bylo možné optimalizovat vytvořením určité škály symetrie (od nejmenší vnímané symetrie po nejvíce vnímanou symetrii) a každý konizát by byl subjektivně ohodnocen určitým skóre.

Tvar vzniklého konizátu přesně odpovídá tvaru trajektorie a kličky použitých na jeho tvorbu. Tvarové spojitosti jsou patrné na první pohled, na Obr. 5.27, 5.28 a 5.29 jsou navíc barevně vyznačeny. Na Obr. 5.30 je zobrazen výsledný tvar části modelu konizátu v případě, že se klička v modelu cervixu vrací (jde tkání proti svému původnímu pohybu), a vzniká v konizátu jakási kapsa/vykrojení. Toto při běžné konizaci obvykle nevzniká. Na některých reálných konizátech jsou části, které tvarově neodpovídají tvaru kličky. Modely, takových konizátů nelze vytvořit pouhým pohybováním modelem kličky skrz

model cervixu po modelu trajektorie – viz Obr. 5.17. Při samotné konizaci bude hrát významnou roli různé natáčení kličky. Části konizátu neodpovídající tvaru kličky mohou vznikat nejspíše i kvůli určité deformaci tkáně děložního čípku tlakem při provádění konizace, tvar může být též změněn kvůli koagulaci. Nelze vyloučit, že vznik těchto tvarově neodpovídajících částí není podpořen také určitou malou deformací kličky v tkáni při zákroku. Neodpovídající tvar také může vzniknout v případě, že se klička v tkáni uprostřed konizace zastaví, je nutné ji vyjmout a dokončit konizaci z druhé strany děložního čípku. Tato situace bohužel občas nastává a bývá jí negativně ovlivněn celkový výsledek konizace.

Konstrukce simulátoru operačního pole byla velmi jednoduchá, přitom funkční. První simulátor měl sice jisté nedostatky, otvory v molitanu mohly být řešeny lépe, při rozevření molitanu gynekologickými zrcadly přesahovaly kusy molitanu okolo atp. Tyto poznatky byly uplatněny při následné konstrukci druhého simulátoru. Pro záznam prováděných tahů a možnost následné rekonstrukce bylo stěžejní umístění kamery na stativ.

Primárním cílem bylo simulovat konizaci přímo řezáním modelu živé tkáně (párku či špekáčku). Bohužel se nepodařilo nalézt ani sestrojít vhodné zařízení, kterým by bylo možné model živé tkáně reznout stejným způsobem, jako vysokofrekvenční elektrochirurgickou kličkou. Tudíž byla zvolena alternativa – pohybování modelem kličky po různých trajektoriích, záznam těchto trajektorií a jejich následná rekonstrukce. Trajektorie prováděné na prvním simulátoru byly natáčeny kamerou, která byla umístěna vedle kolposkopu, natáčela tedy pohybujiící se kličku skrz otvor vytvořený gynekologickými zrcadly. Tento způsob záznamu nebyl vhodný, zrekonstruované trajektorie příliš neodpovídaly skutečným, bylo tam jisté zkreslení kvůli natáčení tahů pod velmi malým úhlem. Proto vznikl druhý simulátor, ve kterém byl otvor přesně nad operačním polem, skrz který bylo možné natáčet pohyby. Rekonstruované trajektorie z tohoto simulátoru jsou mnohem přesnější a odpovídají mnohem více realitě. Ačkoli jsou zde stále určité nepřesnosti, zdá se, že tímto způsobem je možné relativně dobře zrekonstruovat provedený tah kličkou. Hlavní komplikací při provádění tahů na sekundárním simulátoru, bylo neupevnění simulátoru dostatečně pevně, tudíž při některých tazích došlo k jeho posunutí, což způsobilo skok na zrekonstruované trajektorii. Zároveň je nutné vzít v úvahu, že při provádění tahů se mi někdy třásla ruka, ne vždy byla kličkou opsána celá trajektorie a drátek kličky se v některých případech zasekl v některém z výřezů trajektorie. Prováděný tah tedy nebyl vždy sám o sobě zcela přesný. Při rekonstrukci nebyla na několika snímcích videa zřetelně vidět bílá značka na modelu kličky. Pro další záznamy a rekonstrukce by bylo vhodné vytvořit novou kličku s menším nebo jiným označením. Případně upravit stávající označení. Určitá nepřesnost při rekonstrukci trajektorií bude vznikat vždy, pokud bude daný bod na pohybujiící se kličce označován ručně.



Řezy modely kliček v želatině umožnily ověřit vymodelované trajektorie v praxi. Želatina kladla vůči kličce odpor, a to především na začátku řezu, na povrchu. Bylo nutné s tím počítat a kličku vhodně natočit, aby nevznikl rovný vertikální řez v želatině. Pokud se drátek na modelu kličky rozžhavl, odpor želatiny na začátku řezu nebyl v podstatě žádný, klička pak procházela želatinou velmi snadno. Nicméně dle mého názoru více analogické k opravdové konizaci jsou řezy želatinou nerozžhaveným drátkem. Při provádění řezů, kdy se klička pohybovala v rámci vyřezaných trajektorií, primárně nevznikaly optimální tvary konizátů, naopak, podobaly se reálným, které mívají, jak již bylo zmíněno, typicky jednu stranu zaoblenou a druhou šikmou. Při větším soustředění bylo možné vytvořit optimálnější konizáty, nicméně výsledný tvar velmi ovlivňovalo natáčení kličky během řezu želatinou. Ačkoli pro řezy byla želatina dobrým materiálem, při manipulaci se vzniklými konizáty se lámala a při skenování v sestavě Phywe 4.0 se při každém pootočení zatřásla, na některých snímcích je zřetelný malý pohyb horní části želatinového konizátu, 3D snímky konizátů tedy nemusí 100 % odpovídat skutečnosti. Vytvořené modely konizátů z želatiny odpovídaly reálným a některé i optimálním konizátům.

Vymodelované optimální trajektorie nejspíše v praxi často nepovedou k získání optimálních konizátů. Nicméně krokem blíže k nalezení takových trajektorií, které k nim povedou, by mohlo být vyzkoušení navrhovaných optimálních trajektorií elektrochirurgickou kličkou v modelu živé tkáně operatéry, kteří provádějí konizace. Pro realizaci by mohl být použitý jednoduchý simulátor, který vznikl v rámci této práce. Jistě by v něm mělo být možné nějakým vhodným způsobem připojit pasivní elektrodu k párku či špekáčku připevněném uprostřed simulátoru. Trajektorie operačního nástroje při konizaci je oblast, které dosud nebylo věnováno příliš pozornosti, ačkoli má přímý vliv na tvar konizátu a tím na úspěšnost celého zákroku. Může mít tedy také významný dopad na následný život pacientky. Proto je důležité se této oblasti věnovat a nalézt nejen reálné optimální trajektorie, ale např. i tvarové spojitosti mezi provedenou trajektorií a vzniklým konizátem v reálném prostředí.

## 7 Závěr

V rámci bakalářské práce byly navrženy SW modely reálných trajektorií a konizátů, které se velmi blíží reálným. Nicméně v případě, že se klička začne pohybovat proti svému obecnému pohybu (zleva doprava nebo zprava doleva) vznikají modely značně se lišící od reálných konizátů. Dále byly vymodelovány optimální trajektorie vedoucí ke vzniku modelů optimálních konizátů. Na základě představ lékařů byly též vytvořeny modely ideálních konizátů.

Tvarové spojitosti mezi modelem trajektorie a modelem konizátu, který vznikl jejím použitím, jsou ihned patrné. V Rhinocerosu se klička přesně pohybuje po vymodelované trajektorii, pak vzniklý model konizátu přesně odpovídá i jejímu tvaru. Reálné konizáty se od tvaru použité kličky někdy odlišují.

Vytvořené modely reálných trajektorií potažmo konizátů byly porovnávány s 3D modely reálných konizátů, které vznikly při konizacích děložního čípku v ÚPMD. Modely optimálních trajektorií byly porovnány s rekonstruovanými ideálními trajektoriemi ze simulátoru operačního pole. Shodu reálných a vymodelovaných konizátů by bylo možné v budoucnu doložit například použitím metody nejmenších čtverců.

Byly vytvořeny dva simulátory operačního pole z odpadních trubek a molitanu, na kterých prozatím byly pouze opisovány a zaznamenávány trajektorie. Zaznamenané trajektorie byly zpětně rekonstruovány. Kvalitně zrekonstruovat bylo možné tahy prováděné v druhém operačním simulátoru, který umožňuje sledování a zaznamenávání dění v operačním poli přímo otvorem v odpadní trubce a molitanu nad touto oblastí. Vymodelované trajektorie byly realizovány řezy v želatině, za vzniku želatinových konizátů blížících se reálným konizátům. Z těchto řezů vyplývá, že pohyb kličkou po ideální trajektorii nezajišťuje vznik ideálního konizátu a tedy, že možnost vyzkoušení si tahů elektrochirurgickou kličkou a jejich trénink je velkou výhodou.

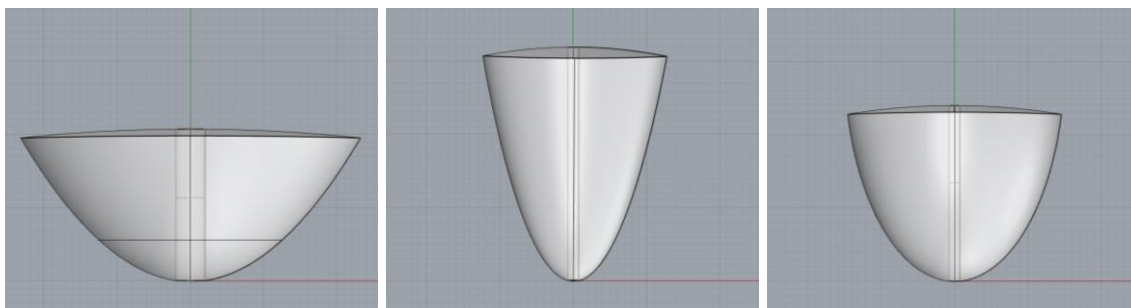
Veškeré dílčí cíle této bakalářské práce byly splněny. V budoucnu by měl vzniknout propracovanější simulátor, který by umožňoval lékařům zkoušet řezy operačním nástrojem pro konizaci a zároveň by také zachycoval a rekonstruoval prováděné trajektorie.

## Seznam použité literatury

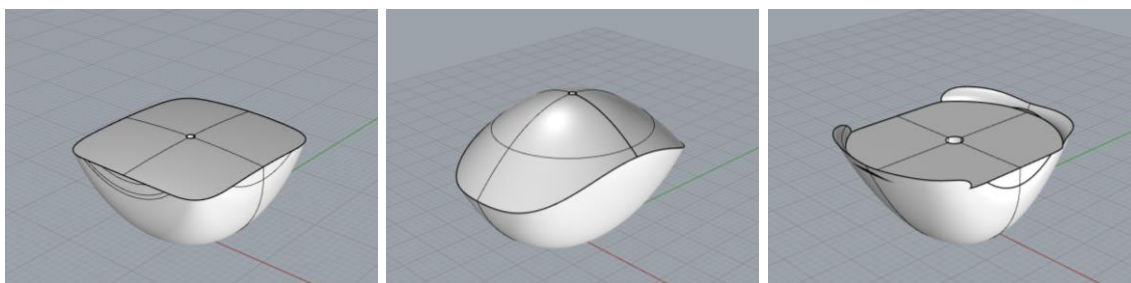
- [1] Incidence a mortalita - vývoj v čase: ZN hrdla děložního - cervicis uteri, ženy. *Svod* [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://svod.cz/analyse.php?modul=incmor#>
- [2] DUNDR, Pavel a Kristýna NĚMEJCOVÁ, 2018. Prekancerózy a karcinomy děložního hrdla: Doporučený postup pro bioptické vyšetření. In: *Společnost českých patologů: České lékařské společnosti Jana Evangelisty Purkyně* [online]. 3. 9. 2018 [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <http://www.patologie.info/soubory/all/Guideline%20-%20Prekancer%C3%B3zy%20a%20karcinomy%20d%C4%9Blo%C5%BE%C3%ADho%20hrdla.pdf>
- [3] TURÝNA, Radovan a Jiří SLÁMA, 2010. *Kolposkopie děložního hrdla*. Praha 5, Na Bělidle 34: Galén. ISBN 978-80-7262-679-3.
- [4] MIYAKOSHI, Kei, Atsuo ITAKURA, Takayuki ABE et al., 2021. Risk of preterm birth after the excisional surgery for cervical lesions: a propensity-score matching study in Japan. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine* [online]. **34**(6), 845-751 [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1080/14767058.2019.1619687>
- [5] TURÝNA, R. a P. VELEBIL, 2012. Konizace a předčasné porody. *Zdravotnictví a medicína* [online]. 9. 3. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://zdravi.euro.cz/clanek/postgradualni-medicina/konizace-a-predcasne-porody-463806>
- [6] CASTANON, Alejandra, Rebecca LANDY, Peter BROCKLEHURST et al., 2014. Risk of preterm delivery with increasing depth of excision for cervical intraepithelial neoplasia in England: nested case-control study. *The BMJ* [online]. 2014-11-05, **349** [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1136/bmj.g6223>
- [7] ČIHÁK, Radomír, 2013. *ANATOMIE 2: Třetí, upravené a doplněné vydání*. 3. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-4788-0.
- [8] WRIGHT, V Cecil, 2003. Cervical squamous and glandular intraepithelial neoplasia: Identification and current management approaches. *Salud Publika Mex* [online]. **45**(S3), 417-429 [cit. 2020-10-20]. Dostupné z: <https://www.medigraphic.com/pdfs/salpubmex/sal-2003/sals033p.pdf>
- [9] KHAN, Michelle J. a Karen K. SMITH-MCCUNE, 2014. Treatment of cervical precancers: Back to Basics. *Obstetrics and gynecology* [online]. **123**(6), 1339-1343

- [cit. 2021-04-06]. PMC4077778. Dostupné z:  
doi:<https://dx.doi.org/10.1097%2FAOG.0000000000000287>
- [10] GATTA, Luke A., Jeffrey A. KULLER a Eleanor H. RHEE, August 2017. Pregnancy Outcomes Following Cervical Conization or Loop Electrosurgical Excision Procedures. *Obstetrical & Gynecological Survey* [online]. 72(8), 494-499 [cit. 2021-4-6]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1097/ogx.0000000000000468>
- [11] CARCOPINO, Xavier, Julien MANCINI a Walter PREDIVILLE, April 2017. The Accuracy of Large Loop Excision of the Transformation Zone Specimen Dimensions in Determining Volume: A Multicentric Prospective Observational Study. *Journal of Lower Genital Tract Disease* [online]. 21(2), 120-124 [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1097/lgt.0000000000000283>
- [12] LILIĆ, Velkoslav, Zorica STANOJEVIĆ, Biljana DJORDJEVIĆ et al., 2007. The rationale for hysterectomy after uterine cervix conization. *FACTA UNIVERSITATIS: Medicine and Biology* [online]. 14(1), 25-29 [cit. 2021-04-06]. UC 618.146-006-089-085. Dostupné z:  
<http://facta.junis.ni.ac.rs/mab/mab200701/mab200701-06.pdf>
- [13] MORTINARI, Eliana, Christoph GRIMM a Richard SCHWAMEIS, 2018. Influence of training level on cervical cone size and resection margin status at conization: a retrospective study. *Gynecology and Obstetrics* [online]. 30 March 2018, 297, 1517-1523 [cit. 2021-04-05]. Dostupné z:  
doi:<https://doi.org/10.1007/s00404-018-4761-1>
- [14] IHNÁT, Peter, 2017. *Základní chirurgické techniky a dovednosti*. U Průhonu 22, Praha 7: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0334-8.
- [15] WALTERS, Christen L., Jenny M. WHITWORTH, Sharon L. TYRA et al., Jun 2013. Constructing a Novel Simple LEEP Training Model. *Journal of Graduate Medical Education* [online]. 2(5), 320-322 [cit. 2020-03-18]. PMID: 24404281. Dostupné z: doi:<https://dx.doi.org/10.4300%2FJGME-D-12-00061.1>
- [16] REZNICZEK, Günther A, Sofia SEVERIN, Ziad HILAL, et al., Jun 2017. Surgical performance of large loop excision of the transformation zone in a training model: A prospective cohort study. *Medicine (Baltimore)*. 96(23), e7026. PMCID: PMC5466212. Dostupné z:  
doi:<https://dx.doi.org/10.1097%2FMD.00000000000007026>
- [17] PREDIVILLE, Walter, March 1995. Large loop excision of the transformation zone. *Bailliere's Clinical Obstetrics and Gynaecology*. 9(1), 189-220. ISBN 0-7020-1930-5.
- [18] SEIDLOVÁ, Kateřina, 2019. *Analýza konizátu po operaci děložního hrdla z hlediska objemu, tvaru a rozměrů in vitro*. Kladno. Diplomová práce. FBMI, ČVUT. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Hozman, Ph.D.

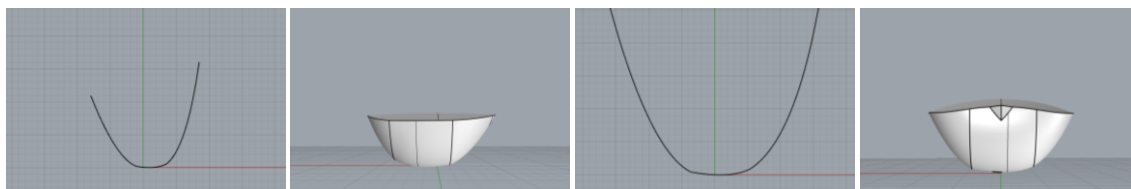
## Příloha A: SW modely trajektorií a konizátů



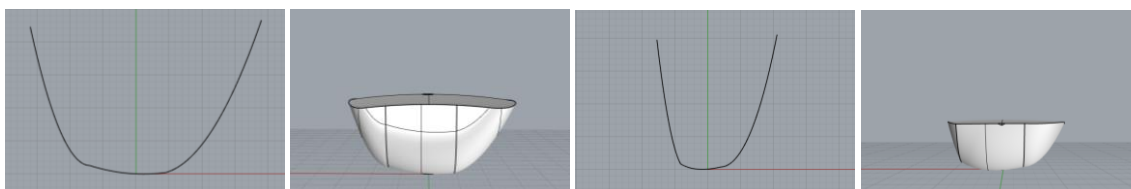
**Obr. A.1:** Modely ideálních konizátů vytvořené jako průnik dvou jednoduchých těles.



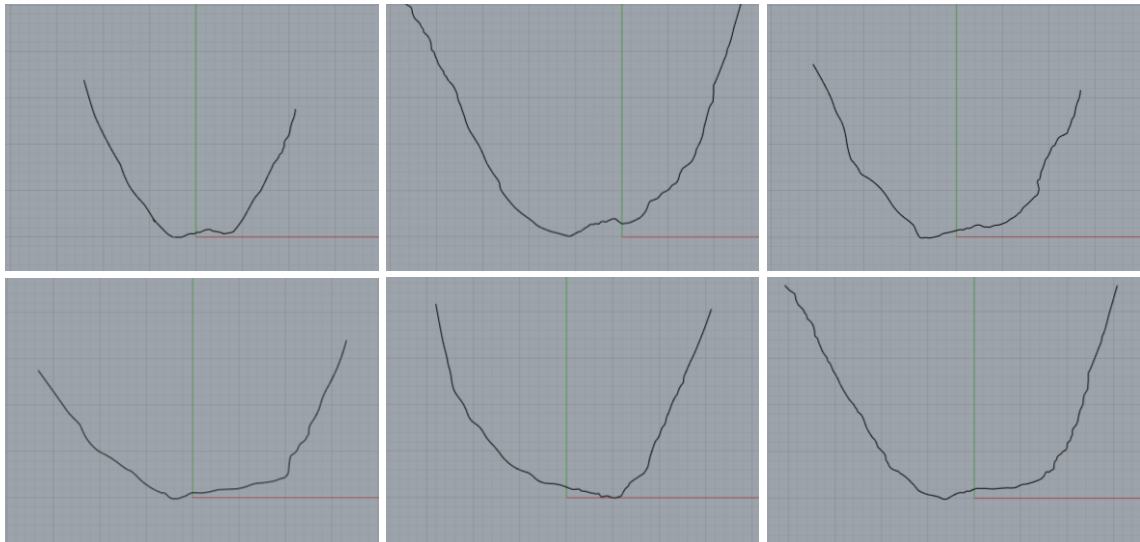
**Obr. A.2:** Modely ideálních konizátů vytvořených pomocí sofistikovanějších modelů cervixů a modelů klíčků. (Pro vznik byl použit model cervixu s podstavou zleva doprava: zaoblenou, do špičky a s částí anuloidu.)



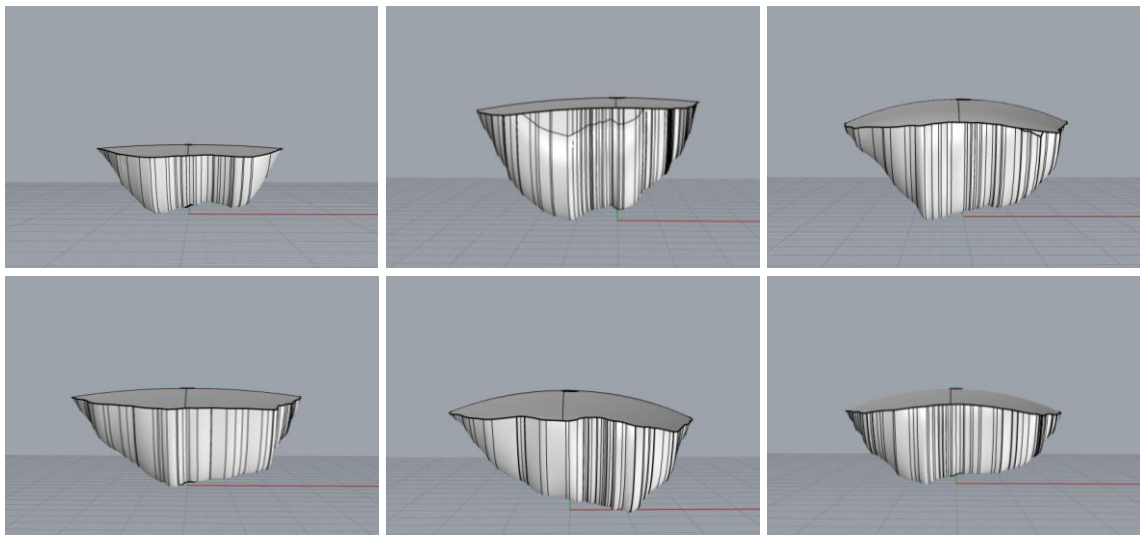
**Obr. A.3:** Modely reálných trajektorií ze tří parabol. Vpravo od trajektorií je umístěn konizát, který jejím použitím vznikl. Konizát vlevo vznikl z nejmenšího modelu cervixu a použitím klíčky s rozměry 25x20 mm, konizát vpravo vznikl z prostředního modelu cervixu za použití modelu klíčky 15x20 mm.



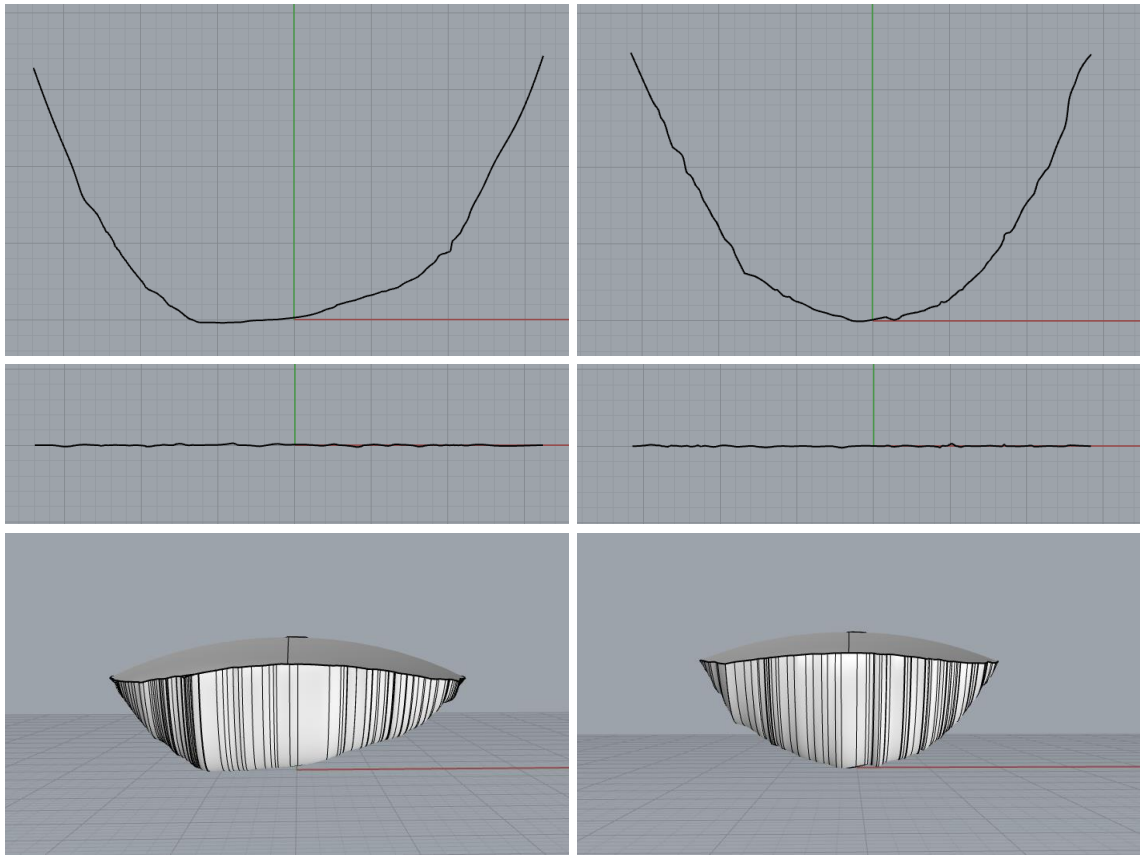
**Obr. A.4:** Modely reálných trajektorií ze tří parabol. Vpravo od trajektorií je umístěn konizát, který jejím použitím vznikl. Konizát vlevo vznikl z nejmenšího modelu cervixu použitím klíčky s rozměry 25x20 mm, konizát vpravo vznikl z prostředního modelu cervixu za použití modelu klíčky 15x20 mm.



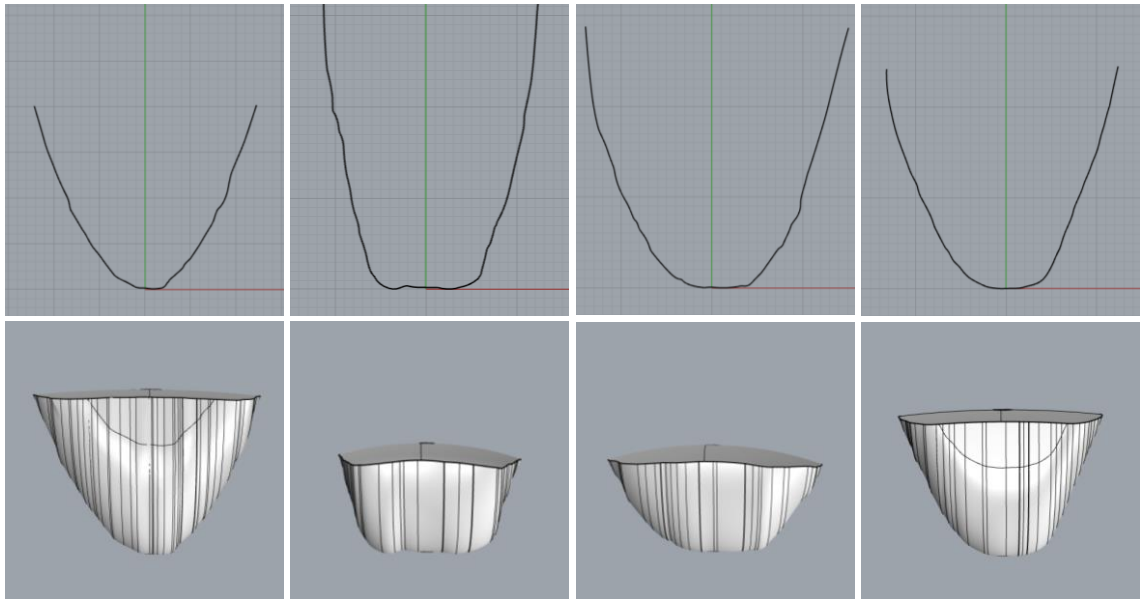
**Obr. A.5:** Modely reálných trajektorií zdeformovaných Editačními body v jednom směru.



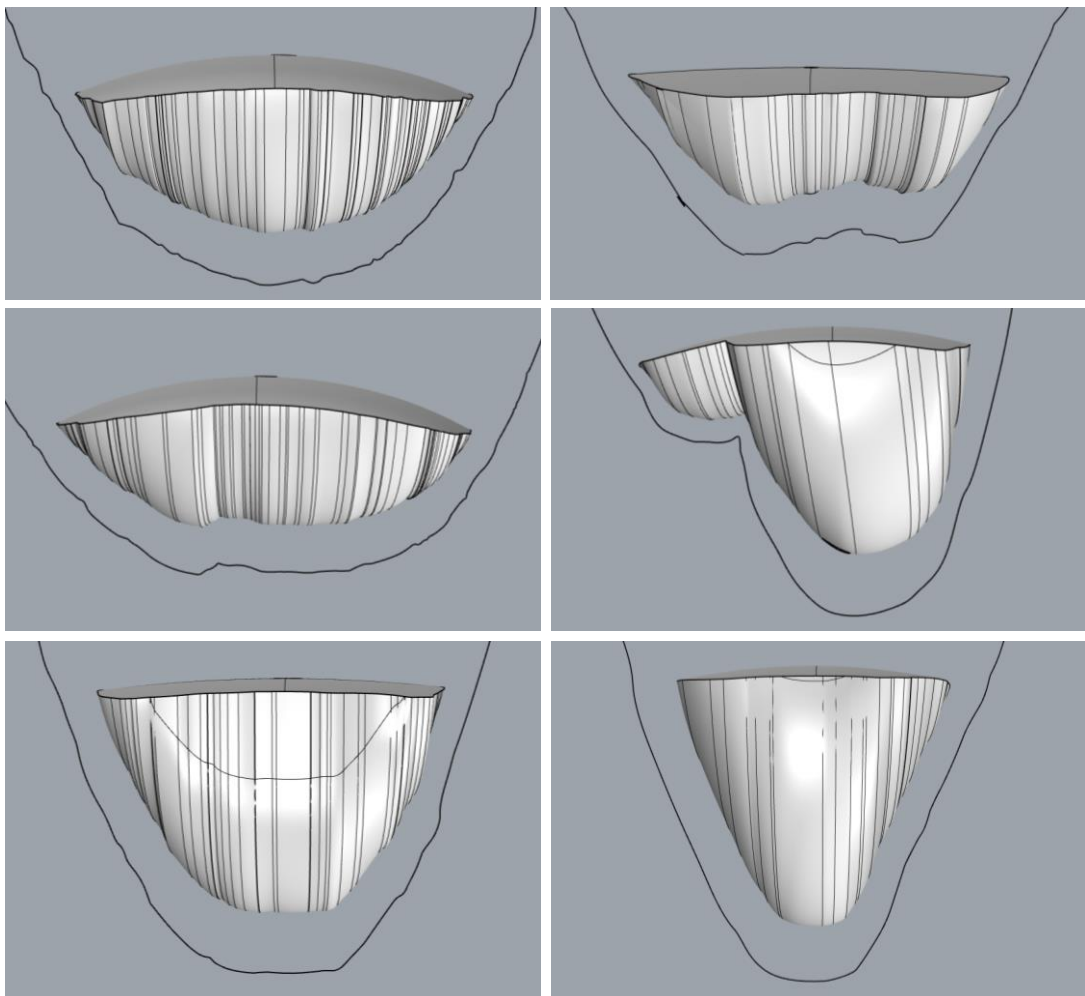
**Obr. A.6:** Modely reálných konizátů, které vznikly simulací řezu modelem kličky v modelech cervixu. Klička se pohybovala po trajektoriích uvedených na Obr. A.5. (Zleva shora:  
*konizat\_adv2\_B20x20\_def\_t8.3dm, konizat\_adv4+B20x20\_def\_5t\_.3dm,*  
*konizat\_adv3\_B20x20\_kompldef\_t9.3dm, konizat\_adv4+S32x32\_def\_3t\_6.3dm,*  
*konizat\_adv3+B20x20\_3def\_10.3dm, konizat\_adv3+B20x20\_def\_t5.3dm)*



**Obr. A.7:** Modely reálných trajektorií zepředu a shora a modely konizátů, které jejich použitím vznikly. Oba konizáty vznikly použitím klíčky s rozměry 20x20 mm. (Model trajektorie i konizátu je součástí jednoho modelu, zleva – *konizat\_adv3+B20x20\_kompldef\_t1.3dm*, *konizat\_adv3+B20x20\_kompldef\_t3.3dm*.)

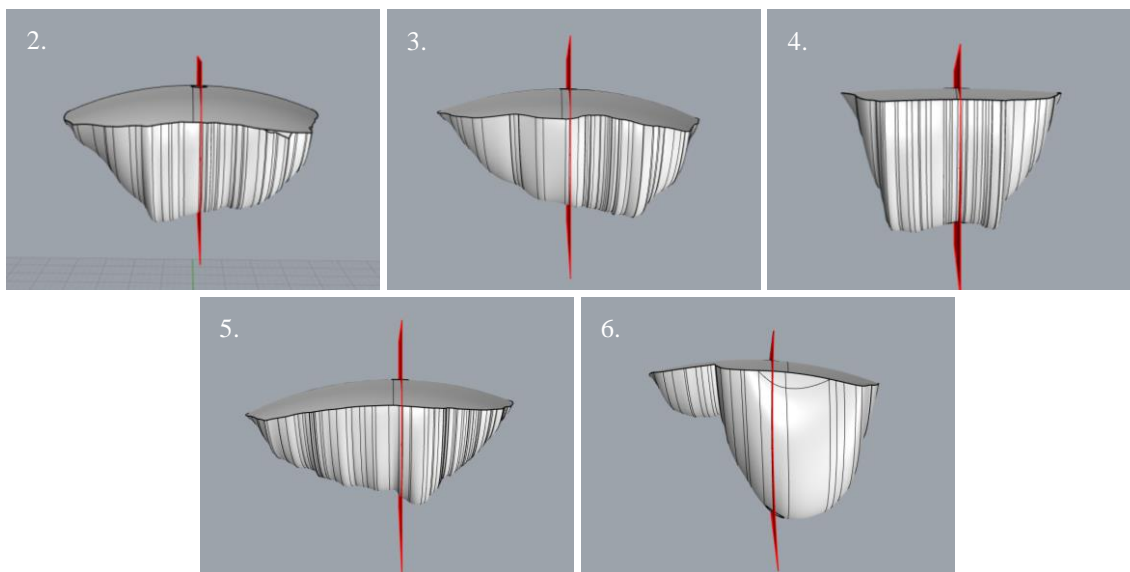


**A.8:** Modely optimálních trajektorií a jejich použitím vzniklé konizáty. (Zleva doprava: *konizat\_1ot\_cx4+B20x20.3dm*, *konizat\_3ot\_cx3+B20x20.3dm*, *konizat\_2ot\_cx3+B20x20.3dm*, *konizat\_7ot\_cx4+S25x20.3dm*)

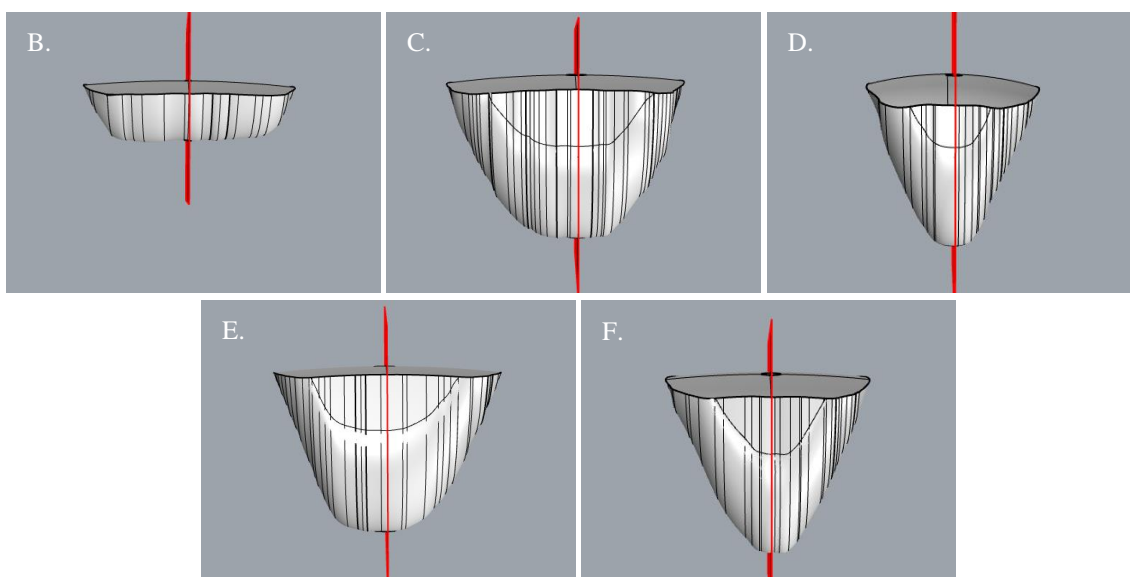


**A.9:** Modely reálných a optimálních konizátů a trajektorií pro porovnání tvarových spojitostí mezi nimi.



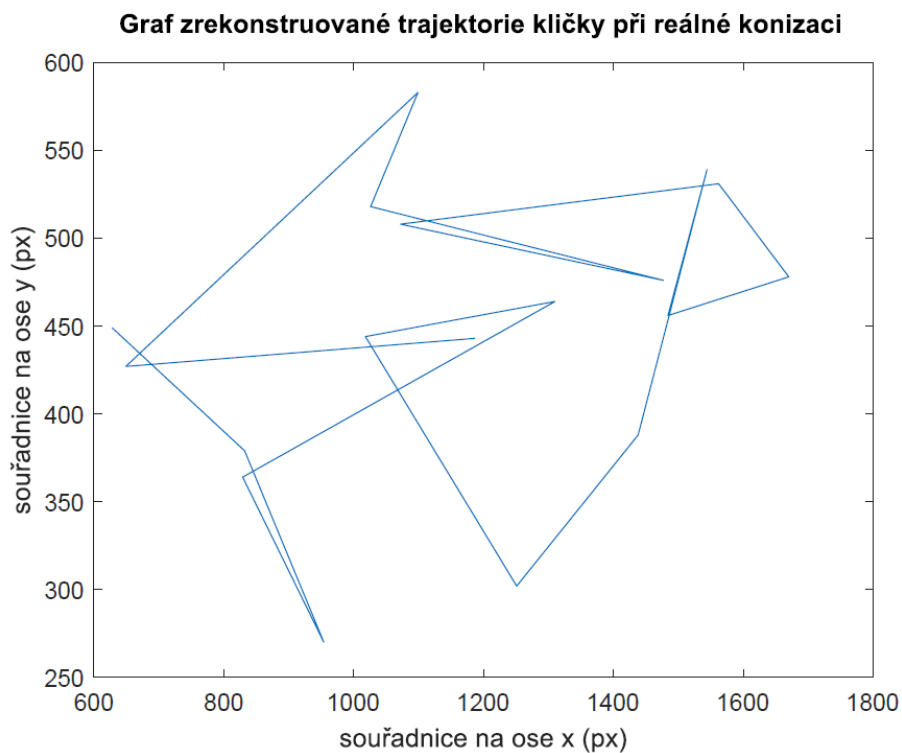


**A.10:** Modely vybraných reálných konizátů, u kterých byla určována symetrie okolo ednocervikálního kanálu porovnáváním objemů polovin konizátů – červená linie/plocha značí místo rozdělení. Získané hodnoty objemů polovin těchto konizátů jsou v Tab. 5.3. (dle pořadí vzestupně: *\_konizat\_adv3+B20x20\_kdef\_t\_9.3dm*, *\_konizat\_adv3+B20x20\_def\_traj3\_10.3dm*, *konizat\_adv4+B20x20\_def\_traj3.3dm*, *konizat\_adv3+B20x20\_def\_t3.3dm*, *konizat\_adv3+B20x20\_tdh3.3dm*)

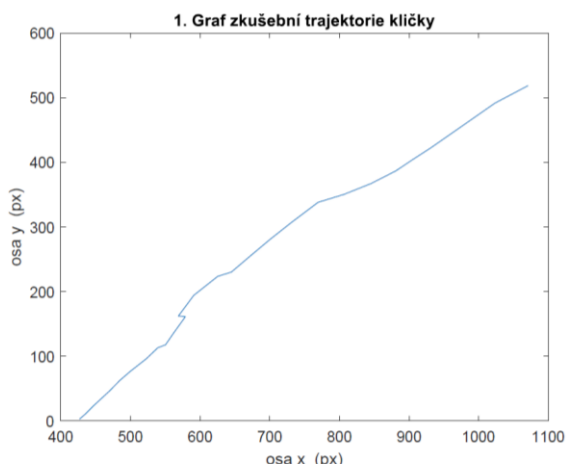


**A.11:** Modely vybraných optimálních konizátů, u kterých byla určována symetrie okolo ednocervikálního kanálu porovnáváním objemů polovin konizátů – červená linie/plocha značí místo rozdělení. Získané hodnoty objemů polovin těchto konizátů jsou v Tab. 5.4. (dle pořadí vzestupně: *konizat2\_adv2+B20x20\_4ot.3dm*, *konizat2\_adv4+B20x20\_2ot\_traj.3dm*, *konizat2\_adv3+B20x20\_5ot.3dm*, *konizat\_7ot\_cx4+S25x20.3dm*, *konizat2\_adv4+B20x20\_6ot.3dm*)

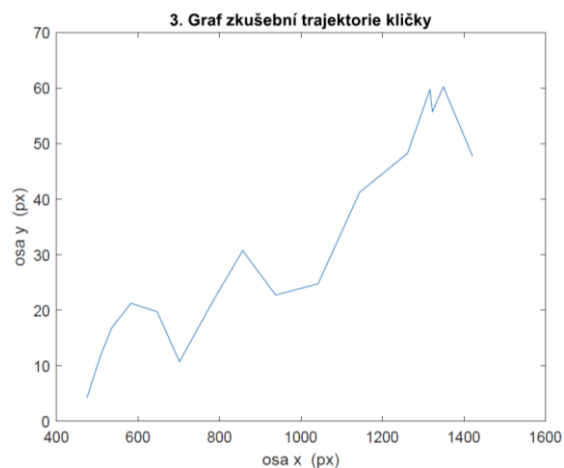
## Příloha B: Zrekonstruované trajektorie



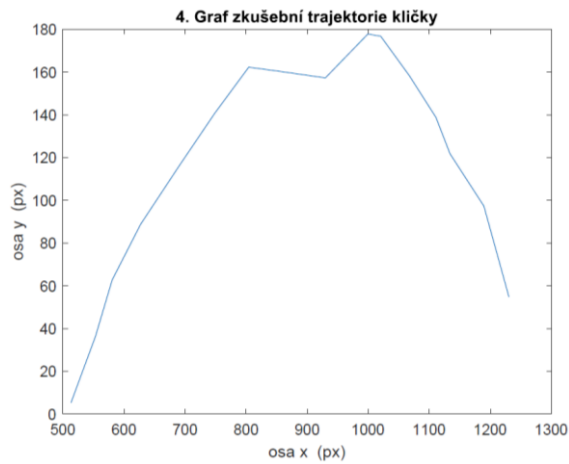
**B.1:** Graf znázorňující pohyb kličky při konizaci děložního čípku v ÚPMD.



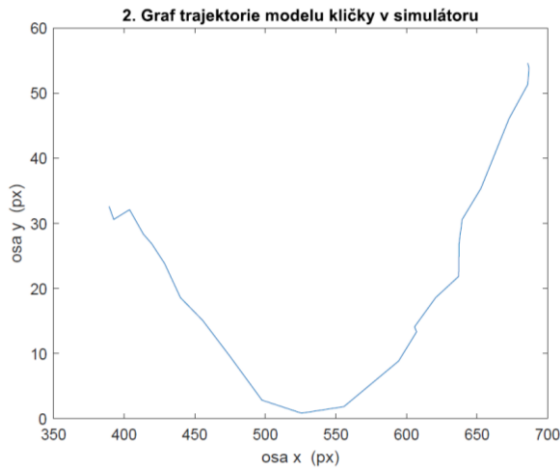
**B.2:** Graf pohybu kličkou z levého dolního rohu do pravého horního rohu. Plocha kličky byla kolmo k trajektorii.



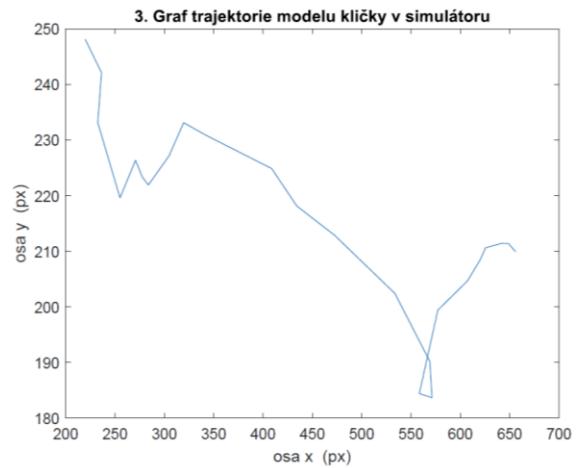
**B.3:** Graf horizontálního pohybu kličkou zleva doprava. Plocha kličky byla kolmo k trajektorii.



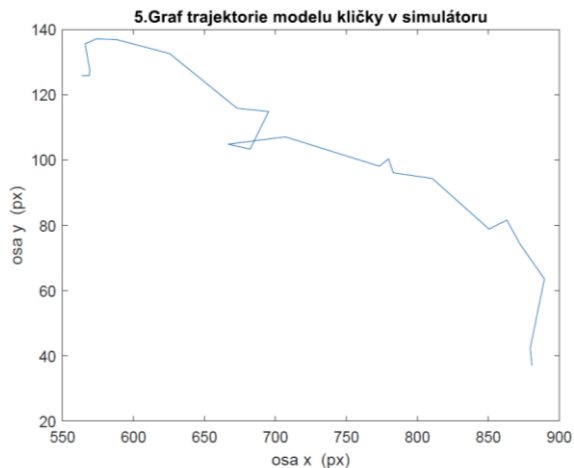
**B.4:** Graf trajektorie klíčky napodobující pohyb při konizaci, parabolický pohyb zleva doprava. Plocha klíčky byla kolmo k trajektorii.



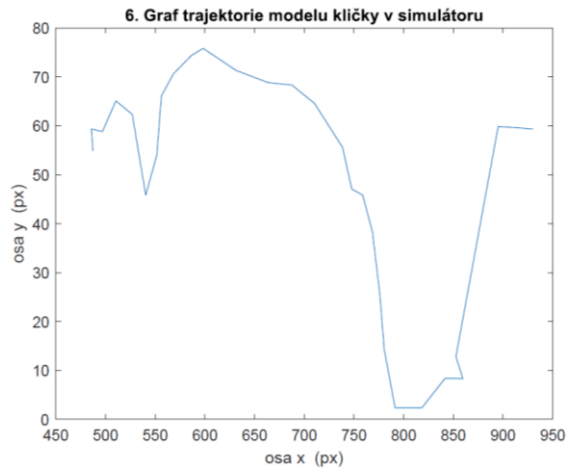
**B.5:** Zrekonstruovaná trajektorie klíčky, kdy vyříznutá trajektorie v páрку se blížila ideální, byla symetrická, měla tvar paraboly a byla méně hluboká. Pohyb klíčkou byl zleva doprava.



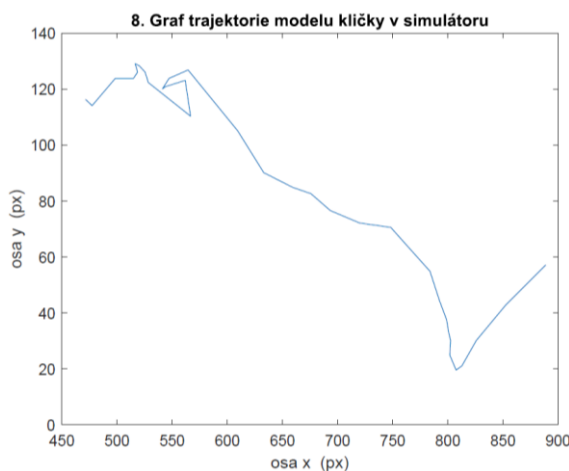
**B.6:** Zrekonstruovaná trajektorie klíčky, kdy vyříznutá trajektorie v páрку byla neideální (reálná), nesymetrická, s různými výběžky. Pohyb klíčkou byl zleva doprava.



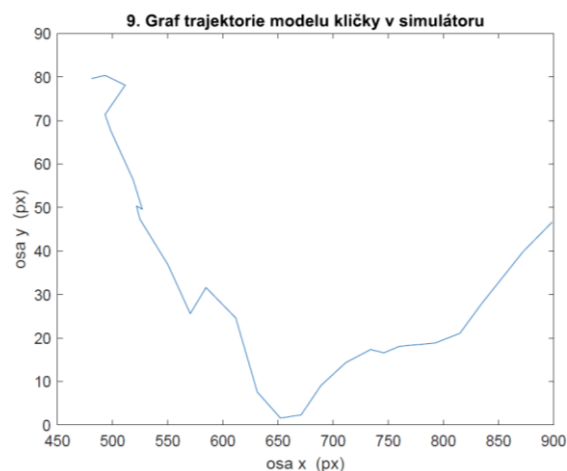
**B.7:** Zrekonstruovaná trajektorie klíčky, kdy vyříznutá trajektorie v páрку byla neideální (reálná), byla relativně mělká, na krajích se rychle svažovala a měla drobné výřezy. Pohyb klíčkou byl zleva doprava.



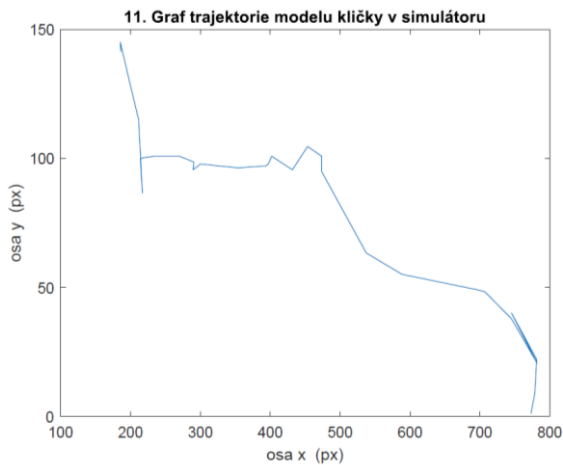
**B.8:** Zrekonstruovaná trajektorie klíčky, kdy vyříznutá trajektorie v páрку byla neideální (reálná), nesymetrická, v pravé části byl hluboký výřez. Pohyb klíčkou byl zleva doprava.



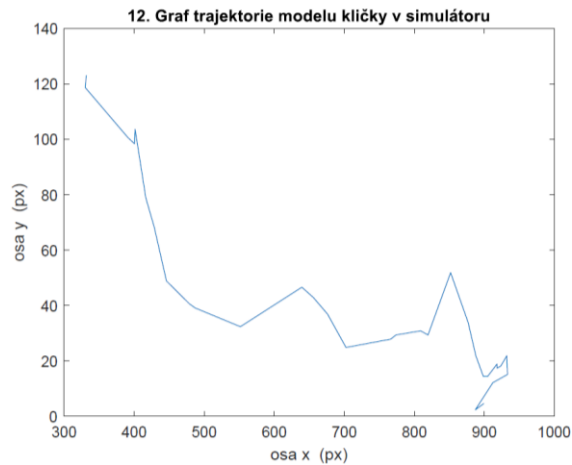
**B.9:** Zrekonstruovaná trajektorie klíčky, kdy vyříznutá trajektorie v páрку byla neideální, mělká, s vystouplou částí uprostřed. Pohyb klíčkou byl zleva doprava.



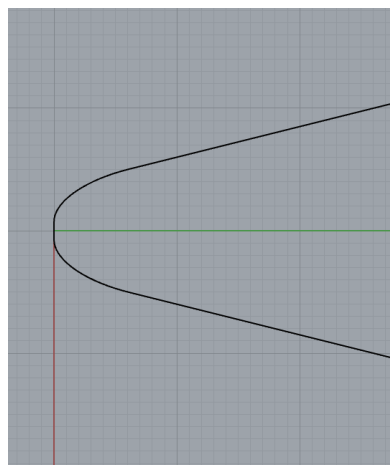
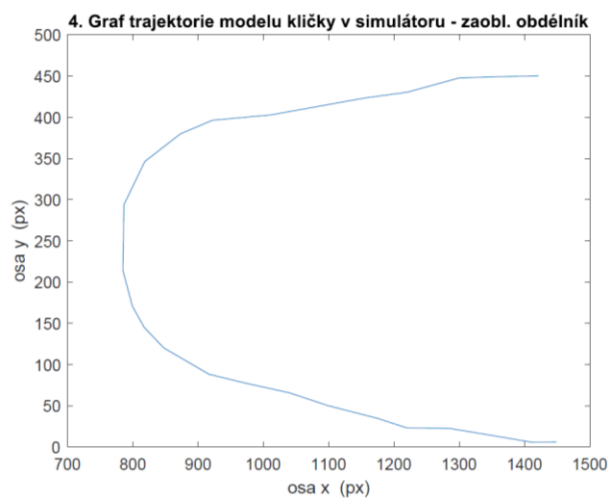
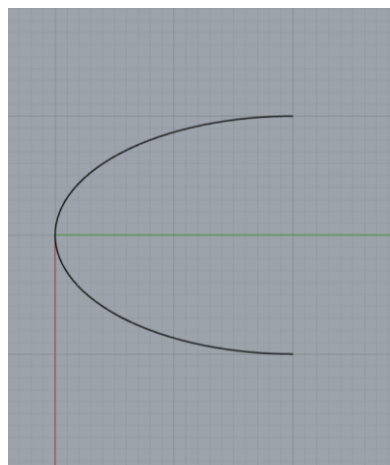
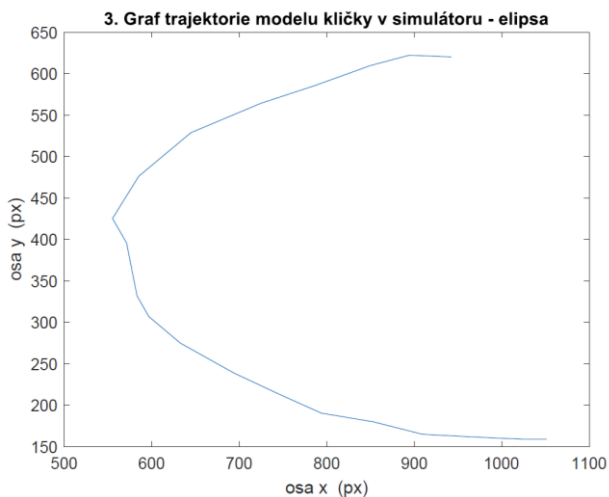
**B.10** Zrekonstruovaná trajektorie klíčky, kdy vyříznutá trajektorie ve špekáčku byla ideální, symetrická a mělká. Pohyb klíčkou byl zleva doprava.



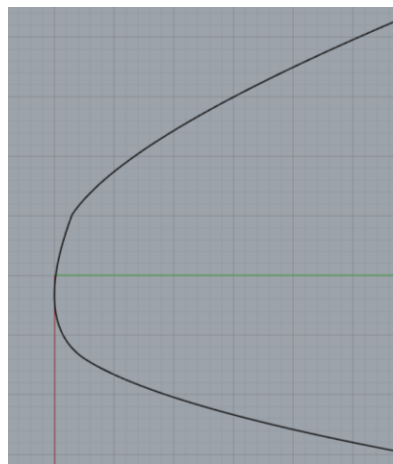
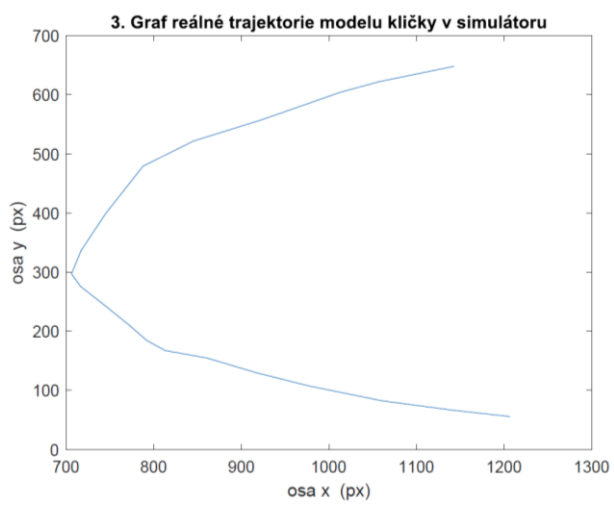
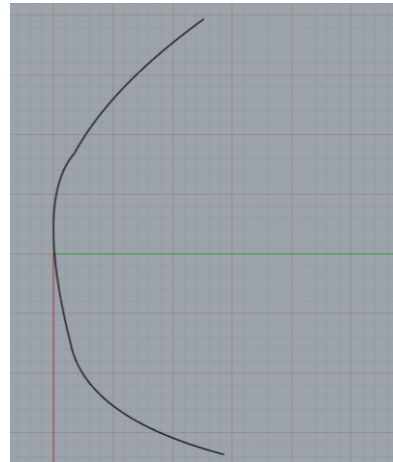
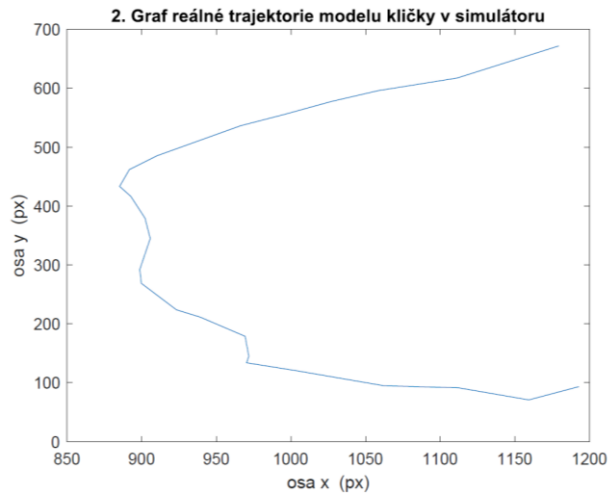
**B.11:** Zrekonstruovaná trajektorie klíčky, kdy vyříznutá trajektorie ve špekáčku byla neideální, nesymetrická, se dvěma zářezy. Pohyb klíčkou byl zleva doprava.



**B.12:** Zrekonstruovaná trajektorie klíčky, kdy vyříznutá trajektorie ve špekáčku byla neideální, měla jeden hlubší výřez, obecně byla mělká. Pohyb klíčkou byl zleva doprava.

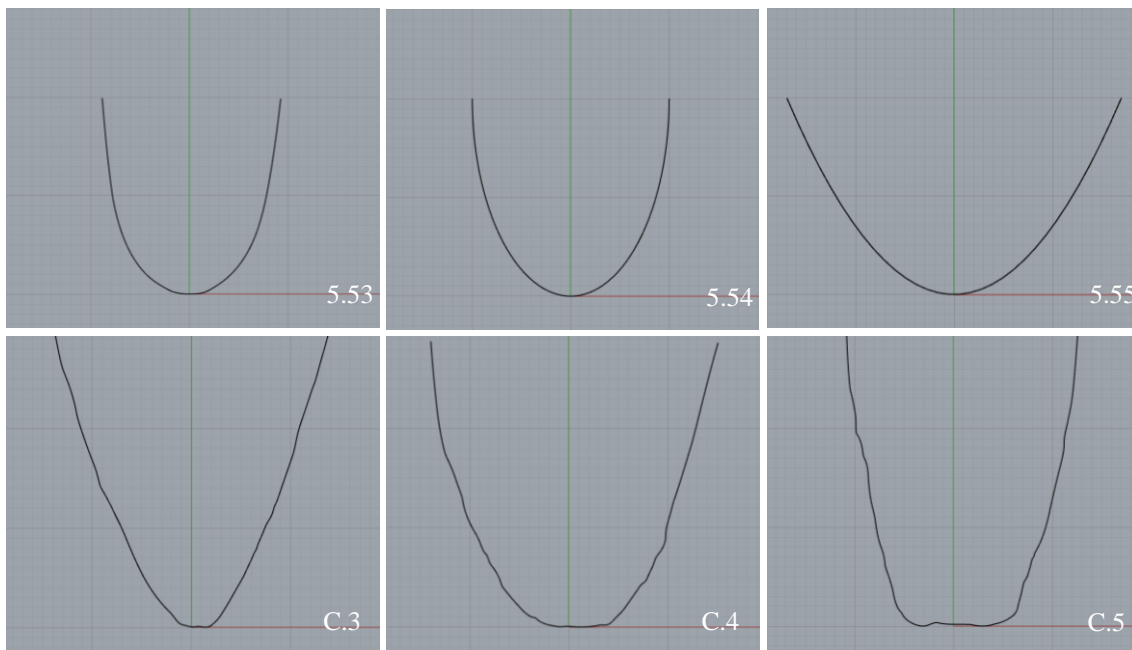


**B.13:** Vlevo grafy zrekonstruované trajektorie klíčky z druhého simulátoru, vpravo model ideální trajektorie, po které se klíčka pohybovala.



**B.14:** Vlevo grafy zrekonstruovaných trajektorií kličky z druhého simulátoru, vpravo modely reálné trajektorie, po ktoré se kličky při daném tahu pohybovaly.

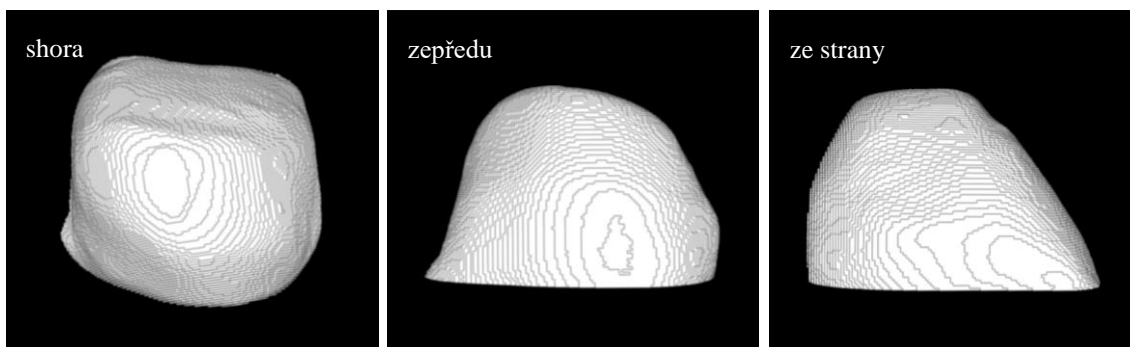
## Příloha C: Modely konizátu z želatiny



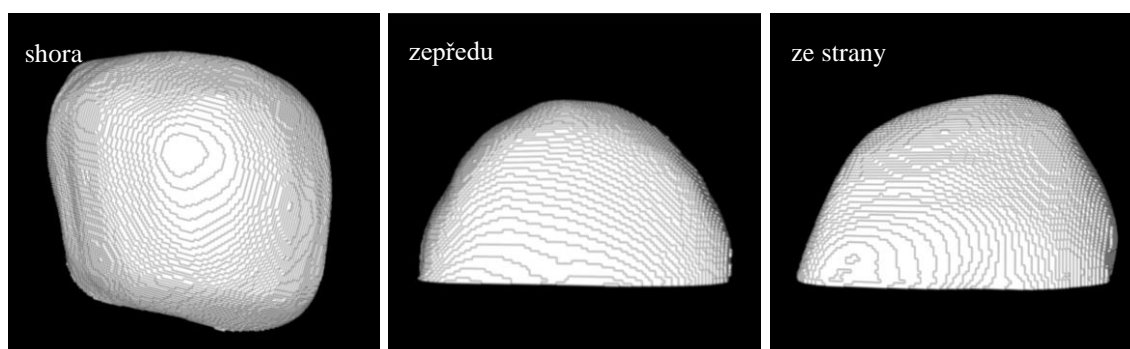
**C.1:** Modely ideálních (horní řádek) a optimálních (spodní řádek) trajektorií, které byly vyřezány do polystyrenové desky a podél nich se pohyboval model kličky, přičemž drátkem řezal želatinu. (V pravém dolním rohu je odkaz na Obr. či přílohu C, kde se nachází vzniklý konizát.)



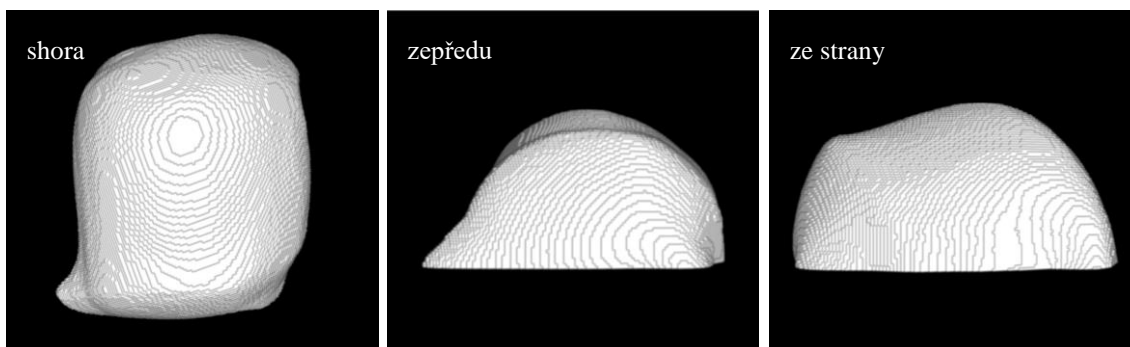
**C.2:** Fotografie želatinových konizátů, které vznikly kličkou pohybující se v rámci vyříznuté trajektorie odpovídající SW modelům optimálních trajektorií.



**C.3:** Model konizátu z želatiny vytvořený pohybem kličky v rámci vyříznuté trajektorie odpovídající SW modelu optimální trajektorie. Jde o konizát, který je na fotografii vlevo u C.2. Výška modelu je 16,2 mm.



**C.4:** Model konizátu z želatiny vytvořený pohybem kličky v rámci vyříznuté trajektorie odpovídající SW modelu optimální trajektorie. Jde o konizát, který je na fotografii uprostřed u C.2. Výška modelu je 13,7 mm.



**C.5:** Model konizátu z želatiny vytvořený pohybem kličky v rámci vyříznuté trajektorie odpovídající SW modelu optimální trajektorie. Jde o konizát, který je na fotografii vpravo u C.2. Výška modelu je 13,9 mm.

Odkaz pro stažení programu Fiji, Image J: <https://fiji.sc/>



## **Příloha D: Obsah přiloženého ZIP souboru**

PDF soubory:

Abstrakt v češtině – Abstrakt.pdf

Abstrakt v angličtině – Abstract.pdf

Klíčová slova v češtině – Klicova\_slova.pdf

Klíčová slova v angličtině – Keywords.pdf

Zadání bakalářské práce – Zadani\_bakalarske\_prace.pdf

Kompletní bakalářská práce – 17PBBBP\_482956\_Eliska\_Niebauerova.pdf

Adresáře:

Skripty v Matlabu

Modely v Rhinocerosu