

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: 2302T013 Stavba výrobních strojů a zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh komory hnětiče “intermix” 200l

Autor: **Bc. Martin HRABA**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Jan Hlaváč, Ph.D.**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin HRABA**
Osobní číslo: **S15N0050K**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**
Název tématu: **Návrh komory hnětiče "intermix" 2001**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

V úvodu práce bude provedena rešerše na téma gumárenské stroje. V práci budou vypracovány varianty řešení rotoru hnětiče. Pro vybranou variantu bude zpracováno konstrukční řešení včetně jeho ověření. Na závěr práce bude vypracována výkresová dokumentace vybraných dílů.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Provedení rešerše na téma gumárenské stroje
2. Návrh konstrukčních variant
3. Konstrukční návrh zvoleného řešení
4. Vypracování zadané výkresové dokumentace

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **50-70 stran A4**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

KOVÁČ, A., JENKUT, M. *Tvárníci strojev.* Bratislava: Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1978

KAMELANDER, I. *Tvářecí stroje I.* Brno: VUT, 1989

STANĚK, J. *Základy stavby výrobních strojů - Tvářecí stroje..* Plzeň: ZČU v Plzni, 2001

RUDOLF, B., KOPECKÝ, M. *Tvářecí stroje..* Praha: Praha, 1985

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

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jan Hlaváč, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant diplomové práce: **Martin Pergl**
Buzuluk, a.s.

Datum zadání diplomové práce: **19. září 2016**
Termín odevzdání diplomové práce: **2. června 2017**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



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

V Plzni dne 19. září 2016

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji Doc. Ing. Janu Hlaváčovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce. Dále děkuji za spolupráci kolektivu pracovníků Buzuluk v Komárově – Martinovi Perglovi a Jakobovi Růžičkovi.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Hraba Bc.	Martin
STUDIJNÍ OBOR	2302T019 „Stavba výrobních strojů a zařízení“	
VEDOUcí PRÁCE	Hlaváč, Doc. Ing., Ph.D.	Jan
PRACOVÍŠTĚ	ZČU - FST – KKS	
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh komory hnětiče „intermix“ 200l	

FAKULTA	strojí	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2017
----------------	--------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	129	TEXTOVÁ ČÁST	94	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	-----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Diplomová práce obsahuje návrh parametrického modelu šneku, komory a klátů vysokotlakého hnětiče typu intermix sloužícího k přípravě gumových směsí. Součástí práce je řídicí tabulka vytvořená v programu MS Excel a CAD data modelovaná v programu Siemens NX 9.0. Data se do tabulky generují pomocí formulářů s algoritmem vytvořeném v programu VBA (Visual Basic for Applications). K vygenerování modelů stačí zadat požadovaný čistý objem komory. Aplikace vybere nejvhodnější rozměr šneku a automaticky dopočte tvar horního a spodního klátu komory. Tyto data se zapíše tabulky. CAD modely se generují na základě těchto dat. Společnosti Buzuluk poslouží tyto 3D data jako vstupní data při tvorbě nových velikostí vysokotlakých hnětičů.
KLÍČOVÁ SLOVA	Vysokotlaký hnětič, intermix, Buzuluk, CAD, VBA, objem, gumárenský průmysl, kaučuk

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Hraba Bc.	Martin	
FIELD OF STUDY	2302T019 „Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
SUPERVISOR	Hlaváč, Doc. Ing., Ph.D.	Jan	
INSTITUTION	ZČU - FST – KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of intermix chambre 200l		

FACULTY	Mechanical Engineering		DEPARTMENT	Machine Design		SUBMITTED IN	2017
----------------	------------------------	--	-------------------	----------------	--	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	129		TEXT PART	94		GRAPHICAL PART	0
----------------	-----	--	------------------	----	--	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The diploma thesis contains the design of a parametric model of the screw, chamber and lids of a high-pressure intermixing kneader for the preparation of rubber mixtures. Part of the work is a control table created in MS Excel and CAD data designed in Siemens NX 9.0. Data in a table are generated using forms with an algorithm created in VBA (Visual Basic for Applications). To generate the models, simply enter the required pure volume of the chamber. The application selects the most suitable screw size and automatically calculates the shape of the upper and lower lid of the chamber. These data are generated to table. CAD models are generated based on these data. Buzuluk will use these 3D data as input data for creation new sizes of high pressure mills.
KEY WORDS	High pressure mixer, intermix, Buzuluk, CAD, VBA, volume, rubber industry, natural rubber

1 Obsah

1	Úvod.....	1
1.1	Úvod do diplomové práce	1
1.2	Cíl práce.....	1
2	Gumárenství.....	3
2.1	Přírodní kaučuk	3
2.1.1	Historie	3
2.1.2	Složení.....	4
2.2	Syntetický kaučuk	5
2.2.1	Historie	5
2.2.2	Typy syntetického kaučuku a jeho vlastnosti.....	5
2.3	Přísady kaučuku.....	6
2.3.1	Plniva.....	6
2.3.2	Antioxidanty a antiozonanty	7
2.3.3	Změkčovadla	7
2.3.4	Vulkanizační činidla.....	8
2.3.5	Urychlovače vulkanizace	8
3	Analýza trhu.....	9
3.1	Úvod	9
3.2	Ve světě	9
3.3	V České republice.....	11
4	Představení společnosti Buzuluk.	14
4.1	O společnosti	14
4.2	Historie firmy	15
4.3	Směr vývoje	15
5	Výrobní program společnosti.....	16
5.1	Úvod	16
5.2	Přehled výrobního programu	16
5.2.1	Míchací linky.....	16
5.2.2	Kalandry	19
5.2.3	Kalandrovací linky	20
5.2.4	Konfekční stroje	20
6	Vysokotlaké hnětiče	22

6.1	Úvod do vysokotlakých hnětičů	22
6.2	Historie hnětičů	22
6.3	Rozdělení vysokotlakých hnětičů.....	24
6.3.1	Typ tangenciální	25
6.3.2	Typ intermix	26
7	Upřesněné zadání	30
7.1	Úvod	30
7.2	Varianty rotorů	30
7.3	Komora	32
7.4	Uzavírací víka komory - kláty.....	32
7.5	Čistý objem komory	34
8	Tvorba parametrizovaného modelu	36
8.1	Úvod do konstrukce parametrizovaného modelu	36
8.2	Hlavní celky konstrukce šneku.....	37
8.2.1	Úvod	37
8.2.2	Konstrukce válce šneku.....	39
8.2.3	Vnější plocha šneku	41
8.2.4	Nogy.....	42
8.3	Pozice 2. rotoru.....	55
8.3.1	Otočení o 180° vzhledem k axiální ose (osa x).....	55
8.3.2	Otočení o 180° vzhledem k ose y.....	56
8.3.3	Posunutí o hodnotu rozteče ve směru z.....	56
8.3.4	Přesazení rotoru ve směru x	57
8.4	Konstrukce komory	57
8.4.1	Konstrukce komory	58
8.4.2	Konstrukce bočnic	59
8.4.3	Konstrukce prostoru klátů	60
8.5	Konstrukce klátů komory	60
8.5.1	Konstrukce horního klátu komory.....	61
8.5.2	Konstrukce spodního klátu komory	63
9	Dopočet objemu komory.....	65
9.1	Princip dopočtu objemu	65
9.2	Výpočet obsahu obecného průřezu komory	65
9.3	Výpočet obsahu ideálního průřezu komory.....	71

9.4	Výpočet obsahu maximálního průřezu komory	73
9.5	Stanovení obsahu korigované plochy	76
9.6	Variace korigování horního klátu.....	77
10	Čistý objem komory	79
10.1	Úvod	79
10.2	Výpočet čistého objemu komory.....	79
10.2.1	Výpočet objemu prázdné komory	79
10.2.2	Výpočet objemu šneků.....	80
10.2.3	Objem částí rotorů v komoře.....	82
10.2.4	Objem komory úkosů horních klátů.....	82
11	Řízení modelu	83
11.1	Úvod	83
11.2	Vstupní formulář	84
11.3	Formulář korekce kružnic s posuvným středem.....	85
11.4	Formulář korekce kružnic s neposuvným středem.....	87
11.5	Propojení tabulky a modelu.....	88
12	Kontrola kolizí.....	90
13	Srovnání variant modelu pro objem 200 l.....	92
14	Závěr.....	94

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

$\varnothing d$	[mm]	průměr válce šneku
$\varnothing D$	[mm]	průměr vnější plochy šneku
p	[mm]	rozteč 2 šneků
$l_{\text{šnek}}$	[mm]	délka šneku
a_{x1}	[mm]	axiální přesazení šneku 1
a_{x2}	[mm]	axiální přesazení šneku 2
x_m	[mm]	x – ová poloha středu ideální kružnice
y_m	[mm]	y – ová poloha středu ideální kružnice
x_{m1sv}	[mm]	x – ová poloha středu korekční kružnice spodního klátu (víka)
y_{m1sv}	[mm]	y – ová poloha středu korekční kružnice spodního klátu (víka)
x_{m2sv}	[mm]	x – ová poloha středu korekční kružnice spodního klátu (víka) při maximální korekci dané délky
y_{m2sv}	[mm]	y – ová poloha středu korekční kružnice spodního klátu (víka) při maximální korekci dané délky
S_{pv}	[mm ²]	obsah plochy průřezu pod polovinou klátu (víka) – ideální tvar komory
S_{pv1}	[mm ²]	obsah plochy průřezu pod polovinou klátu (víka) – obecný tvar komory
S_{pv2}	[mm ²]	obsah plochy průřezu pod polovinou klátu (víka) – největší přípustný tvar komory
S_{kruh}	[mm ²]	obsah kruhu
S_{komora}	[mm ²]	obsah plochy průřezu ideální komory
$S_{komora1}$	[mm ²]	obsah plochy průřezu komory s korigovanými kláty (víky)
$S_{komora2}$	[mm ²]	maximální obsah průřezu komory
V_{komora}	[litr]	objem prázdné komory
a	[mm]	vzdálenost středu komory a „špičky“ klátu (víka)

Parametry spodního klátu

PT_A	[mm]	výška PT sondy
PT_B	[mm]	odstup PT sondy od trajektorie šneku
y_{m1sv}	[mm]	posunutí korekční kružnice spodního klátu (víka)
R_{sv1}	[mm]	poloměr korekční kružnice spodního klátu (víka)

ΔS_{SV}	[mm ²]	korigovaný obsah průřezu komory spodního klátu (víka)
$V_{\min SV}$	[litr]	min. korigovaný objem komory spodního klátu (víka)

Parametry horního klátu – korekce kružnic s nepohyblivým středem (OFFSET)

P_{\min}	[mm]	minimální offset horního klátu (víka)
P_{\max}	[mm]	maximální offset horního klátu (víka)
P	[mm]	offset horního klátu (víka)
$R_{1\text{OFF}}$	[mm]	poloměr korekční kružnice horního klátu (víka)
$\Delta S_{1\text{OFF}}$	[mm ²]	korigovaný obsah průřezu komory horního klátu (víka)
$\Delta S_{2\text{OFF}}$	[mm ²]	max. korig. obsah průřezu komory horního klátu (víka)
$S_{1\text{OFF}}$	[mm ²]	obsah průřezu komory (víka)
$V_{1\text{OFF}}$	[litr]	objem komory
$V_{2\text{OFF}}$	[litr]	maximální objem komory

Parametry horního klátu – korekce kružnic s pohyblivým středem

R_{1HV}	[mm]	poloměr korekční kružnice horního klátu (víka)
ΔS_{1HV}	[mm ²]	korigovaný obsah průřezu komory horního klátu (víka)
ΔS_{2HV}	[mm ²]	max. korig. obsah průřezu komory horního klátu (víka)
S_{1HV}	[mm ²]	obsah průřezu komory (víka)
V_{1HV}	[litr]	objem komory
V_{2HV}	[litr]	maximální objem komory

Parametry použité v CAD modelu

SKUTECNA_DELKA_SNEKU	[mm]	vstupní hodnota (odpovídá délce šneku l)
PRUMER_VALCE_SNEKU	[mm]	funkce (odpovídá $\emptyset d$)
VNEJSI_PLOCHA_SNEKU	[mm]	funkce (odpovídá $\emptyset D$)
STOUPANI_KRIVKY_ZUB_1	[-]	funkce
STOUPANI_KRIVKY_ZUB_2	[-]	funkce
STOUPANI_KRIVKY_ZUB_STREDNI	[-]	funkce
STOUPANI_KRIVKY_ZUB_STREDNI	[-]	funkce
_ZMENA_SROBOVICE		
UHEL_CELA_ZUBU_KULATA_STR	[°]	konstanta
UHEL_CELA_ZUBU_ROVNA_STR	[°]	konstanta
UHEL_NATOCENI_SKICY_ZUB_1	[°]	funkce
UHEL_NATOCENI_SKICY_ZUB_2	[°]	funkce

UHEL_PATA_ZUBU_KULATA_STR	[°]	konstanta
UHEL_PATA_ZUBU_ROVNA_STR	[°]	konstanta
UHEL_STOUPANI_ZUB_1	[°]	konstanta
UHEL_STOUPANI_ZUB_2	[°]	konstanta
UHEL_STOUPANI_ZUB_STREDNI	[°]	konstanta
UHEL_STOUPANI_ZUB_STREDNI _ZMENA_SROUBOVICE	[°]	konstanta
VNEJSI_PLOCHA_SNEKU	[mm]	funkce
Y_STRED_KRUZNICE	[mm]	konstanta

1 Úvod

1.1 Úvod do diplomové práce

Diplomovou práci zadala společnost Buzuluk a.s. a je zaměřená na hnětič, což je zařízení, které mísením zpracovává kaučuk a další přísady.

Ve své práci se zaměřím na vývoj parametrického modelu šneku a komory hnětiče, korekci tvaru vík a dopočet objemu komory. Práci rozdělím na teoretickou a praktickou část.

V teoretické části představím gumárenství obecně od historie, přes jeho vývoj až po stroje, které používá současný gumárenský průmysl. Dále se budu zabývat popisem hnětičů, jednotlivých celků zařízení, principem činnosti až po popis jednotlivých komponent.

V praktické části se zaměřím na konkrétní varianty rotorů a komor z portfolia společnosti Buzuluk a.s. Dále zanalyzuji vstupní data dodané zadavatelem a postupně zparametrizuji jednotlivé vstupní rozměry šneku a komory. V dalším kroku se budu věnovat dopočtu objemu komory a korigováním vík.

1.2 Cíl práce

Cílem práce je CAD parametrizace šneků a dopočet objemu komory vysokotlakých hnětičů typu intermix pro společnost Buzuluk. Vstupem jsou neparametrická data upravovaná dle předešlých zkušeností. Výstupem se uvažuje generátor CAD modelů řízených tabulkou s algoritmem na základě změn parametrů. Praktická část se bude skládat z následujících celků.

- A. Analýza vstupních dat.
- B. Tvorba parametrického modelu.
- C. Dopočet objemu komory.
- D. Čistý objem komory.
- E. Řízení modelu.
- F. Srovnání variant pro objem 200 litrů.

Teoretická část

2 Gumárenství

2.1 Přírodní kaučuk

2.1.1 Historie

Historie gumárenství se píše od roku okolo 1600, kdy se začínají z Ameriky šířit zprávy o stromě, ze kterého vytéká elastická hmota. Místní tuto hmotu používají k lepení a izolaci. Strom, ze kterého tato hmota vytéká je indiány označován jako „Cahuchu“ (Slzící strom). Z tohoto označení později vzniká slovo kaučuk.



Obrázek 1 vytékající latex z kaučukovníku brazilského [1]

O přibližně 50 let později (cca od roku 1736) je možné si v Evropě již koupit výrobky s kaučukovou ochranou (izolace oblečení, deštníky, obuv, atd.) – zboží je ale na aplikaci nutné odesílat do Ameriky.

V roce 1770 Joseph Priestley objevuje, že kaučuk lze využít k mazání tužky. Okolo roku 1800 bylo francouzskými chemiky Macquerem a Herissantem objeveno, že ztuhlá kaučuková hmota lze rozpouštět v terpentýnu a éteru a tak jej dovážet do Evropy a dále zpracovávat.

Roku 1803 je v Paříži založena první továrna na gumárenské zboží, kde hlavními produkty byly šle a podvazky. Zboží se ukazovalo jako málo použitelné, neboť značně reagovalo na změnu teploty. V létě lepilo a v zimě tuhlo a praskalo.

Roku 1827 Thomas Hancock objevil, že válcováním kaučuku dochází k tzv. Mastifikaci, procesu, kdy při válcování za přídavku mastných kyselin sice částečně ztrácí pružnost, za to se ale velice vylepšují fyzikální vlastnosti, což rozšiřuje použitelnost kaučuku.

Okolo roku 1838 objevuje Nathaniel Hayward, že lze kaučuk ztvrdit přidáním síry, což si nechává patentovat.

Roku 1839 Charles Goodyear odkupuje patent od Nathaniela Haywarda a dále experimentuje. Při předváděcí akci mu kousek směsi upadne na rozžhavená kamma a Goodyear zjišťuje, že se část hmoty stala pružnou. Tato náhoda a další experimenty vedou k objevu vulkanizace. Tato reakce probíhá v kaučuku při přidání síry a oxidu olovnatého a ohřátím směsi na určitou teplotu. Tuto směs si Charles Goodyear nechává v Británii roku 1844 patentovat.



Obrázek 2 Charles Goodyear - kresba [2]

Tyto okolnosti vedou k rozsáhlému zakládání podniků na zpracování kaučuku a pryže. Roste snaha zajistit výsadbu kaučukovníků v Asii.

Roku 1845 R.W. Thompson vynalézá pneumatiku k zmírnění hluku a otřesu vozu na vozovce, což si nechává patentovat jako „pružný nosný element“.

1888 Ir John Boyd Dunlop naváže na výzkum R.W. Thomsona a představí nafukovací pneumatiku.

S rozvojem motorizace se na přelomu 19. a 20. století stává kaučuk nedostatkovou komoditou, což postupně vede k vývoji syntetického kaučuku.

[43]; [44]; [45]; [46]; [47]; [51]

2.1.2 Složení

Přírodní (surový) kaučuk (z chemického hlediska cis-1-4-polyisopren) se získává nařezáváním kůry stromu *Hevea Brasiliensis* (Kaučukovník Brazílský). Takto získaný kaučuk se nazývá latex (disperze polymerní látky ve vodním prostředí). Jedná se o mléčnou šťávu kaučukovníku a obsahuje přibližně 30 % čistého surového kaučuku. Zbytek směsi je kaučukové sérum obsahující velké množství vody. Z tohoto důvodu je latex ještě na plantážích zahušťován – odstředivě (v současnosti nejpoužívanější metoda) z důvodů rozdílných hustot kaučuku a kaučukového séra, nebo vrstvením za pomoci rozvrstvacího činidla. Aby bylo možné z latexu extrahovat čistý kaučuk, musí se surovina postupně upravovat. Latex se upravuje srážením pomocí kyseliny mravenčí, pere se a suší (krepa). Dále se do latexu přidávají plniva, aditiva a materiál se vulkanizuje při teplotě 140-160 °C. Při vulkanizaci dochází k chemické reakci, která způsobí zesíťování polymerů. Odolnost kaučuku se tím mnohonásobně zvyšuje – zesíťované kaučuky se nerozpouštějí a jsou více tepelně odolné (netají). Podle podílu síry, se definuje tvrdost kaučuku – pro běžně vulkanizovaný kaučuk se používá obsah síry 2-3%, polotvrdá pryž 10-20% a tvrdá pryž (ebonit) nad 20% síry.

[50]; [49]; [51]

2.2 Syntetický kaučuk

2.2.1 Historie

Historie syntetického kaučuku se datuje mnohem později a jeho vznik je odpovědí na obrovskou poptávku vzniklou expanzí motorizace. Při prvních pokusech je snaha o zjištění složení přírodního kaučuku. To se jako prvním povedlo roku 1860 Charlesi Grevillu Wiliamsovi, který destilací izoloval izopren.

Roku 1909 německý chemik Fritz Hofman a angličani E.H.Strange a F.E.Mathews syntetizují první umělý kaučuk, který je patentován firmou Bayer Fritze Hofmana.

Vznik nových odvětví průmyslu a rozvoj automobilismu má za následek obrovské zvýšení poptávky po kaučuku, která roku 1913 vyústí v tzv. Gumovou krizi. Význam syntetického kaučuku začíná nabývat až s 1. světovou válkou, kdy je říše odříznuta od dodávek kaučuku z Afriky.

Německá společnost IG Farben vyvíjí roku 1925 butadien styrenový kaučuk zvaný Buno, který se v menší míře používá dodnes.

Roku 1929 vynalézá Walter Bock emulzní polymeraci butadien styrenu a tím začíná širší komerční výroba umělého kaučuku.

Další rozvoj kaučuku nastává díky rozvoji ropného průmyslu. Američtí vědci přicházejí s chloroprenem - pryží odolnou proti ozónu, povětrnostním vlivům a částečně také proti ohni. K výrobě pryže se využívá uhlí a vápenec. Počátkem 60. let se od uhlí a vápence upouští a výrobu zajišťuje ropa. Dochází k výraznému vylepšením mechanických i fyzikálních vlastností. Zvyšuje se odolnost proti oděru, stabilita proti stárnutí a pružnost při nízkých teplotách.

[48]; [49]

2.2.2 Typy syntetického kaučuku a jeho vlastností

1) SBR (butadia -styren)

Butadien-styrenový kaučuk je nejběžnější a nejrozšířenější kaučuk vůbec. Jeho pevnost je o trochu menší, než u přírodního kaučuku. Má všeobecné použití a vyšší odolnost proti stárnutí za vyšších teplot. Vyniká také dobrými vlastnostmi proti mechanickému opotřebení. Mezi jeho nevýhody patří snížená odolnost proti ozónu a některým olejům

2) BR (polybutadien)

Poly-butadienový kaučuk je druhým nejrozšířenějším syntetickým kaučukem. Často se používá v kordech pneumatik. V kombinaci s přírodním kaučukem vyniká zvýšenou odolností proti oděru a dobrou tepelnou vodivostí.

3) NBR (butadien-akrylonitril)

Butadien-akrylonitrilový kaučuk má výbornou odolnost proti rozpouštědlům, olejům a bobtnání. Jeho nevýhodami jsou nižší odrazová pružnost a horší vlastnosti při nízkých teplotách.

4) IIR (isobutyl-isopren)

Isobutyl-isoprenový kaučuk vyniká dobrou odolností vůči plynům, chemikáliím a olejům. Má horší odrazovou schopnost.

5) CR (chloropren)

Chloroprenový kaučuk také známý jako neopren má vysokou odolnost proti stárnutí a ozónu. Vyniká také dobrou nehořlavostí a odolností proti olejům a benzínu.

6) IR (isopren)

Isoprenový kaučuk má stejné chemické složení jako kaučuk přírodní. Proti přírodnímu kaučuku má lehčí zpracovatelnost, ale horší odolnost proti opotřebení.

7) EPDM (etyl-propylen)

Etylen-propylenový kaučuk je velice odolný vůči vlivům vnějšího prostředí a ozónu (používá se jako těsnění dveří v automobilech). Je flexibilní do $-57\text{ }^{\circ}\text{C}$ a odolává teplotám do $200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

8) SI (silikon)

Silikonový kaučuk vyniká širokou tepelnou odolností od teplot $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mezi další jeho přednosti patří například, zdravotní nezávadnost, odolnost proti ozonu a stárnutí.

9) AU (polyuretan)

Polyuretanový kaučuk se vyznačuje dobrou pružností, otěruvzdorností a odolností vůči olejům. Horší je jeho tepelná odolnost a tvrdost.

10) Fluorokaučuk

Fluorokaučuk má vysokou odolnost proti agresivním chemikáliím, olejům a teple.

11) ACM (akrylátový kaučuk)

Akrylátový kaučuk vyniká vyšší tepelnou odolností a dále odolností proti olejům a stárnutí. Naproti tomu jeho elasticita je velice nízká.

[68]; [69]

2.3 Přísady kaučuku

Při výrobě se kaučuk mísí s dalšími materiály za účelem zvýšení jeho fyzikálních i mechanických vlastností. Přísady jsou přidávány v hnětiči a je důležité, aby byla směs dobře promíchána. Právě kvalita promíchání nejvíce ovlivňuje vlastnosti gumové směsi. Mezi přísady patří především:

2.3.1 Plniva

Nejběžnějším a nejčastěji používaným plnivem jsou saze, jejich složení je 96-99 % uhlík. Při použití sazí se pryž stává pevnější, houževnatější a tvrdší. Disponuje také větší odolností proti mechanickému opotřebení a tepelnému zatěžování. Často také způsobují typické černé zbarvení pryží.



Obrázek 3 saze [3]

Mezi světlá plniva patří siloxid, kaolín, slída, mletá křída, břidlice, cementy a další.

2.3.2 Antioxidanty a antiozonanty



Obrázek 4 antioxidant 4010NA(IPPD) [4]

Vulkanizací kaučuk polymeruje a jeho dvojně vazby se štěpí na jednoduché. Při vulkanizaci nedojde k rozštěpení všech dvojných vazeb, které mohou dále reagovat s kyslíkem nebo ozonem. Takto vznikají nestabilní peroxidy a ozonidy, které narušují dalším štěpením strukturu pryže, přičemž dochází k jejímu stárnutí.

Z tohoto důvodu se do pryže při výrobě přidávají antioxidanty a antiozonanty, které výrazně zpomalují proces stárnutí.

2.3.3 Změkčovadla



Obrázek 5 kalafuna [5]

Jako změkčovadla se často využívají směsi olejů v určitých poměrech, které zvyšují plasticitu směsi a usnadňují mechanické zpracování – snižují tuhost, zvyšují lepivost. Mezi další často užívaná změkčovadla patří Parafin, Cerezin, asfalty, kalafuna, pryskyřice a další.

2.3.4 Vulkanizační činidla



Obrázek 6 síra [6]

Nejvíce používaným a nejběžnějším vulkanizačním činidlem je síra (častěji v přírodní krystalické podobě, o něco méně ve formě polymorfní). Vulkanizační činidla způsobují při správných podmínkách vznik příčných vazeb mezi řetězci uhlovodíku. Dalšími vulkanizačními činidly jsou například některé oxidy kovů a reaktivní pryskyřice.

2.3.5 Urychlovače vulkanizace



Obrázek 7 vulkacit [7]

Urychlovače vulkanizace velice výrazně zkracují proces vulkanizace – z hodin na minuty. Jejich další výhodou je snižování vulkanizační teploty. Urychlovače dělíme podle rychlosti reakce na pomalé (difénylguanidin), rychlé (N-sulfenamidy), velmi rychlé, ultrarychlé a speciální. Jako urychlovače vulkanizace se používá například Vulkacit MOZ, Thiofise, Thiotax, Sulfenax. Účinnost urychlovače lze zvýšit za pomoci aktivátoru (např. ZnO, Stearin). [51]

3 Analýza trhu

3.1 Úvod

Společností zabývajících se výrobou a servisem strojů a zařízení pro gumárenský průmysl není na světě mnoho – v této kapitole uvádím výběr největších společností, jejichž jednou z hlavních činností je výroba strojů pro gumárenský průmysl.

V České republice je v současné době největším výrobcem strojů pro gumárenský průmysl společnost Buzuluk a.s.

3.2 Ve světě

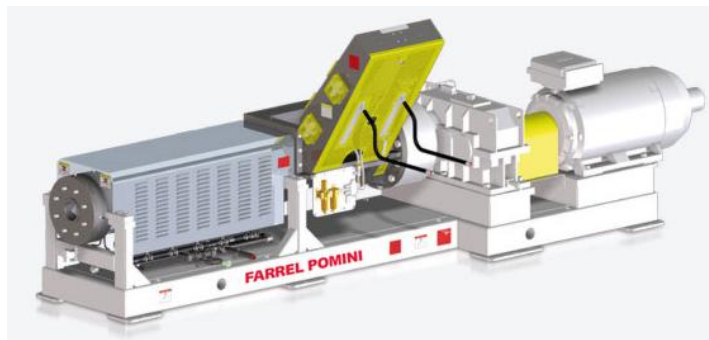
Farrel Pomini

Společnost se sídlem v USA vznikla roku 2011 sloučením společností Farrel Corporation a Pomini Rubber&Plastics Srl. Společnost se specializuje na kontinuální směšovací systémy polymerních směsí. Historie Farrel Corporation se datuje až do 40. let 19. století, kdy jako jedna z prvních společností začala vyrábět stroje pro gumárenský průmysl. Společnost byla lídrem ve vývoji a výrobě strojů pro gumárenský průmysl.

Společnost Pomini byla založena roku 1886 a její specializací byly stroje používané při zpracovávání bavlny. V roce 1949 se společnost začíná orientovat na gumárenský a plastikářský průmysl.



Obrázek 8 Farrel continous mixer [8]



Obrázek 9 hot feed extruder [9]

V současné době je společnost světovým lídrem v oblasti výzkumu, vzdělání, vývoje a výroby v oblasti kontinuálního míšení. [58]

Bainite Machines

Společnost byla založena v roce 1983 a v současné době je lídrem ve výrobě strojů pro gumárenský průmysl v Indii. Společnost se sídlem v Mumbai, se zabývá výrobou hnětičů typu intermix i tangenciálních. Dále vyrábí kalandry, dvouválce, směšovací válce, extrudéry a další. [59]



Obrázek 10 hnětič typu intermix - Bainite Machines [10]



Obrázek 11 Směšovací válec - Bainite Machines [11]

Troester

Společnost Troester se dělí na divizi gumárenskou a kabelovou. Byla založena roku 1892 v Hannoveru v Německu Paulem Troesterem.



Obrázek 12 kalandr společnosti Troester [12]



Obrázek 13 extrudér gumových profilů společnosti Troester [12]

V současné době společnost vyrábí linky na výrobu pneumatik, kalandry, extrudéry, deskové extrudéry, stroje na výrobu profilů, hadic a další. [60]

Krauss Maffei Berstorff

Společnost byla založena Ing. Hermannem Berstorffem roku 1839 v Mnichově (tehdy ještě jako řemeslný obchod). Roku 1892 se společnost stěhuje do Hannoveru a zařazuje do výrobního programu stroje pro gumárenský průmysl. V současné době má pobočky po celém světě (kromě Afriky) a dohromady zaměstnává přes 700 lidí. [61]



Obrázek 14 extrudér společnosti KraussMaffei Berstorff [13]

Comerio Ercole

Společnost založená roku 1885 Ercolem Comerioem (technikem ve firmě na parní kotle) a jeho ženou severovýchodně od italského Milána. Firma se od svého založení soustředí na údržbu mlýnů v textilním průmyslu a již v roce 1894 vyvíjí válcový hnětič, v roce 1900 vnitřní hnětič a v roce 1919 lis na výrobu pryže.

Firma rychle expanduje v roce 1936, kdy zavádí výrobu dalších strojů pro gumárenský, textilní a papírenský průmysl. V současné době se společnost dělí na divizi gumárenskou a plastařskou a zabývá se výrobou nejrůznějších typů kalandrů, hnětičů a specializovaných strojů. [67]

3.3 V České republice

V České republice je největším výrobcem strojů pro gumárenský průmysl společnost Buzuluk a.s. V objemu výroby i šířce portfolia nemá v tuzemsku konkurenci. Pro přehled uvádím alespoň některé výrobce vyrábějící stroje pro gumárenský průmysl.

Bukos-s s.r.o. Otrokovice

Společnost vznikla v roce 1995 vyčleněním části montážního provozu z podniku Buzuluk v Komárově především z důvodu zajištění služeb zákazníkům působícím na Moravě - firmám Continental Barum s.r.o., Mitas Praha a.s. závod Zlín a také ostatním firmám v okolí působícím v plastikařském a gumárenském průmyslu. Mezi gumárenské stroje, které vyrábí Buko-s s.r.o. Otrokovice patří například pásové zásobovače pryže (Batchfeedery), pásové váhy, vynášecí dopravníky, zásobovací dopravníky, sekačky dovažků kaučuku a další. [62]



Obrázek 15 spojovací dopravník mezi chladničkou a kalandr [14]



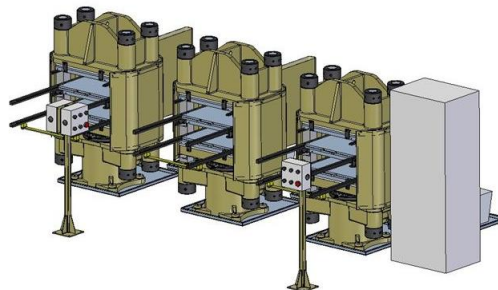
Obrázek 16 váhový a zásobovací dopravník [15]

Sum-Odry s.r.o.

Společnost sídlí v obci Odry na Moravě a kromě dalších strojírenských prací vyrábí také vulkanizační lisy. [63]



Obrázek 17 vulkanizační lis výrobce Sum-Odry s.r.o. [16]



Obrázek 18 CAD model vulkanizačního lisu [17]

Invera

Společnost byla založena roku 1992 skupinou techniků a obchodníků z tehdy upadající TOS Rakovník. Původní náplň, kterou byla modernizace a opravy stávajících strojů TOS Rakovník, časem zavedla výrobu vlastních horizontálních vstřikovacích strojů na plasty a gumy. [64]



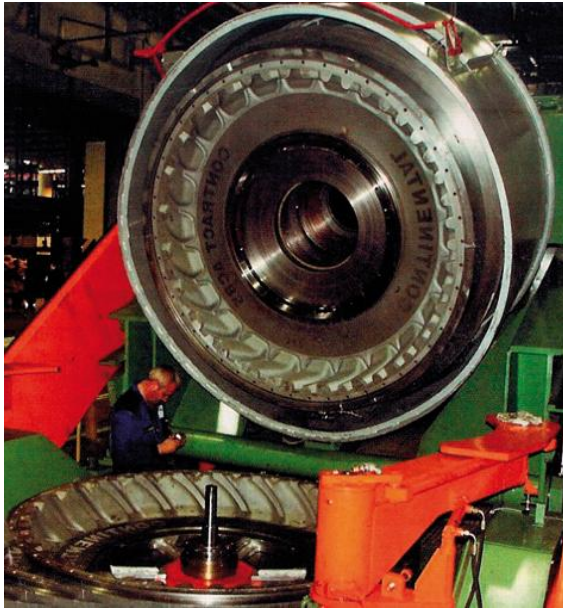
Obrázek 19 jednoúčelový stroj pro gumářenskou výrobu [18]

Chodos Chodov

Společnost sídlí v Chodově u Karlových Varů a specializuje se na výrobu vulkanizačních lisů na pneumatiky, linek pro vulkanizaci v solné lázni a extrudérů. [66]

Rotas strojírna s.r.o.

Společnost sídlí v Rotavě u Sokolova a specializuje se na výrobu vulkanizačních lisů na pneumatiky. Výroba pro gumářenský průmysl byla zahájena roku 1975. [65]



Obrázek 20 vulkanizační lis VL100 [19]



Obrázek 21 vulkanizační lis VL 63,5 [20]

4 Představení společnosti Buzuluk.

4.1 O společnosti

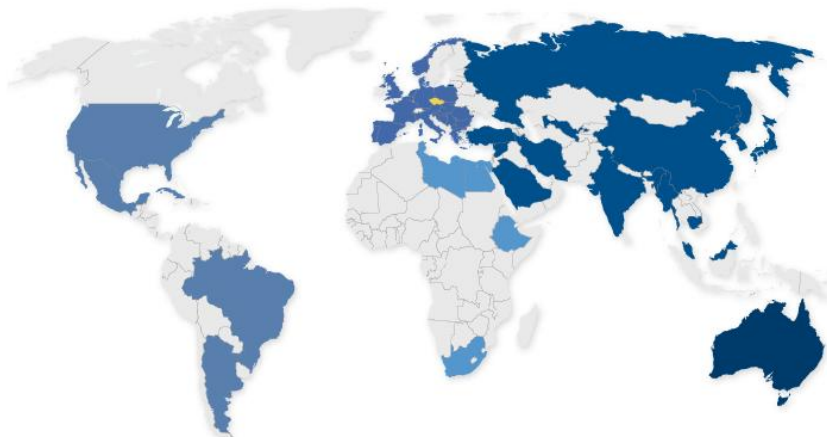
Společnost sídlí ve městě Komárov přibližně 40 km směrem z Plzně do Prahy. V současné době zaměstnává přibližně 660 zaměstnanců a působí na ploše 120 000 m². Vlastník akcií společnosti je DXF Honkong Investment Enterprise Limited (90%) a Xin Sheng Investments Limited (10%).

Podnik se dělí do dvou divizí - se specializací na výrobní stroje pro gumárenský průmysl a na výrobu pístních kroužků. Za zmínku také stojí umělecká kovárna s dlouholetou tradicí.

Divize gumárenské stroje



Divize Gumárenské stroje se zaměřuje nejen na vývoj a výrobu míchacích a válcovacích strojů, ale také celých kalandrovacích linek. Zákazníci divize gumárenských strojů nejsou pouze výrobci pneumatik, jako jsou například JK Tire, Continental, Michelin, Bridgestone, ale také firmy z dalších 40 států světa.



Obrázek 22 přehled zákazníků společnosti Buzuluk a.s. [21]

Na přiložené mapě světa lze vidět působení zákazníků společnosti Buzuluk. [53]

Divize pístní kroužky



Divize pístní kroužky se zaměřuje na vývoj a výrobu pístních a těsnících kroužků, přesných odlitků a obrábění.

Mezi hlavní zákazníky společnosti Buzuluk a.s. se řadí renomovaní výrobci pístů, automobilů, motorů, kompresorů, zahradní techniky či hydraulických systémů. Za zmínku stojí odběratelé divize pístních kroužků Kolbenschmidt Pierburg Group, zavolžský motorový

závod, Volkswagen AG, AUDI AG, ŠKODA Auto, a.s., Stihl, Husqvarna, Wabco, Lombardini, Bentley a další. [53]

4.2 Historie firmy

První zmínky týkající se železářské výroby sahají až do konce 6. století, konkrétně do roku 596, kdy byla údajně založena železářská huť Comoravium. Tato informace, není ale historicky podložena, a proto lze považovat za historický počátek vzniku železářství až rok 1460.

Je známo, že v roce 1543 vlastní podnik Jan Pešík z Komárova, který ho prodává roku 1602 Jindřichu Ottovi z Losu. Ten zavádí tehdejší „novou“ technologii výroby železa pomocí vysoké pece. Jindřich Otto z Losu byl kvůli svým politickým názorům popraven po Bitvě na Bílé Hoře na Staroměstském náměstí a majetek byl zkonfiskován. Majetek velmi levně odkupuje Marie Eusebie, hraběnka z Martinic, roku 1623. Třicetiletá válka a mor nemají na další vývoj podniku dobrý vliv. Vše se mění až poté, co se železářny dostávají do vlastnictví hraběcí rodiny z Vrbna, která vlastní podnik v letech 1690 až 1852. Za zmínku stojí např. Rudolf z Vrbna, který držel železářny od roku 1791 a rozvinul, díky znalostem hutnictví a mineralogie, výrobu litiny a věhlas firmy v oboru i po celém světě. V této době patří železářny na první příčky v Evropě, v podniku pracuje 1000 zaměstnanců, vlastní 4 vysoké pece s dmychadly a vytěží ročně téměř 12 000 tun železné rudy a 2 240 tun železa (r. 1828).

Hořovické panství prodává roku 1852 železářny do vlastnictví knížecí hesenské rodiny z Hanavy, které patří až do roku 1902.

Roku 1902 kupuje železářny společnost C. T. Petzold a spol. a později (1919) přecházejí na akciovou společnost se sídlem v Praze.

Vzhledem k zaměření v současnosti jsou dále zajímavé roky 1904, kdy závod kupuje výrobu válců od firmy Kudlicz, 1931 kdy zavádí výrobu pístních kroužků pro spalovací motory, 1937 spouští výrobu kalendrovacích strojů a strojů pro gumárenský průmysl a 1952 kdy přebírá výrobu gumárenských strojů z Gottwaldova.

Roku 1948 je podnik znárodněn a o rok později přejmenován na BUZULUK Komárov n.p.

Po revoluci se v roce 1992 mění závody opět na akciovou společnost a roku 1996 přechází k ČGS a.s. (Česká Gumárenská Společnost).

Poslední změnou je prodej závodu čínskou společností Dalian Rubber & Plastics Machinery a Tianjin Machinery Import & Export Corporation (2012).

4.3 Směr vývoje

Společnost se v současné době snaží orientovat na nadnárodní výrobce pneumatik. Podíl těchto zákazníků na obratu firmy by měl tvořit 50%. K tomuto výsledku má pomoci vývoj nových produktů v oblasti hnětičů a kalandrů. Upevnění vztahů se zákazníky má napomoci i celosvětově působící servis.

V současné době se společnost za podpory Evropské unie snaží zavést výrobu nového typu hnětiče a jeho uvedení do sériové výroby.

[57]; [73]; [74]

5 Výrobní program společnosti

5.1 Úvod

Společnost Buzuluk a.s. v současné době nabízí širokou škálu výrobků pro zpracování kaučuku, výrobu a balení polotovarů, recyklaci gumy, stroje na výrobu pneumatik, ale také zkušební stroje.

5.2 Přehled výrobního programu

5.2.1 Míchací linky

Míchací linky vznikají spojením několika strojů a zařízení. Skládají se ze zásobovacího zařízení, dopravníků zajišťujících přepravu materiálu, chladiček a samotných hnětičů.



Obrázek 23 míchací linka [22]

Zásobovací zařízení směsi (Batchfeeders)

Používají se v gumárenském a plastikářském průmyslu pro zásobování hnětičů a dvouválců. Krájí gumový pás na malé pásy z až tří palet zároveň. Nařezané pásy jsou automaticky naváženy v ohledu na další příměsi. Pohon dopravníku je zajištěn pomocí 3 kW AC motoru a jeho rychlost lze měnit pomocí frekvenčního měniče.



Obrázek 24 řezací kotouče batchfeederu [23]

Kotouče jsou poháněny AC motorem o výkonu 15 kW. Stroj je vybaven zpětným chodem a maximální šířka řezané pásy je 360 mm.



Obrázek 25 zásobovací zařízení [22]



Obrázek 26 zásobovací zařízení v míchací lince [22]

Chladičky

Chladičky chladí pás gumové směsi přicházející z dvouválce nebo kalandru. Pás prochází přes separační roztok, dále se řeže a ukládá na paletu.



Obrázek 27 chladička kaučuku [24]

Vysokotlaké hnětiče

Obrázek 28 vysokotlaký hnětič s pohonem [25]



Obrázek 29 vysokotlaký hnětič [25]

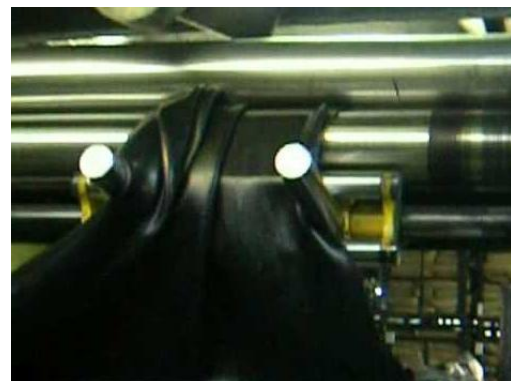
Vysokotlaké hnětiče mohou být součástí míchacích linek nebo postaveny samostatně. Jejich funkcí je míchání směsi surového kaučuku a příměsí (plniva, oleje, přísady, činidla atd.) na polotovary. Společnost Buzuluk a.s. vyrábí dva typy vysokotlakých hnětičů – typ tangenciální a typ intermix.

Dvouválec

Dvouválec je historicky první míchací zařízení, u kterého šla ovlivňovat teplota směsi. Zařízení se skládá ze dvou proti sobě běžných válců, jejichž rychlost je rozdílná (běžné poměry rychlostí – frikční poměry - válců jsou 1:1,05 a 1:1,2). S rostoucím frikčním poměrem se zvětšuje smyk při míchání směsi a tedy i jeho teplota. Velikost smyku při míchání lze také měnit velikostí mezery mezi válci.



Obrázek 30 dvouválec [22]



Obrázek 31 Stockblender [26]

Dvouválce se používají k plastikaci kaučuků, míchání, chlazení a přehřevu směsi. Jejich zařazení do míchací linky není nutné, ale velice časté. Dvouválec lze dovybavit dalším příslušenstvím, jako jsou například Stockblender (posuvné vedení plátu přes horní válec zpátky tak, aby nedocházelo ke kumulaci materiálu na jednom místě štěrbině spodních válců), řezačky, tvarové válce a další.

5.2.2 Kalandry

Kalandry jsou víceválcová zařízení sloužící k výrobě dlouhých a tenkých pásů. Kalandry disponují 2-5 leštěnými válci často s vlastními pohony. Stavění mezery mezi válci se vyrábí v ručním i hydraulickém provedení.

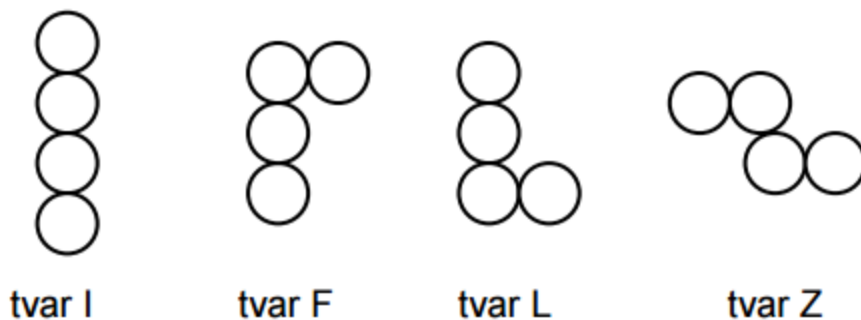


Obrázek 32 dvouválcový kalandr [22]

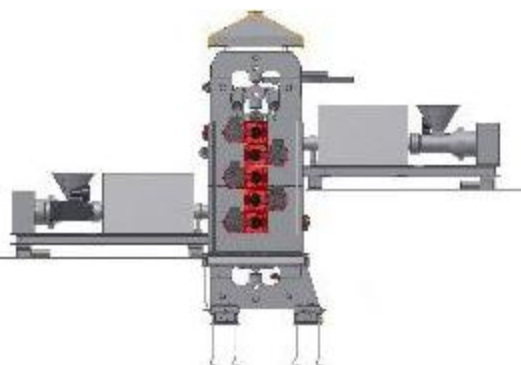


Obrázek 33 tříválcový kalandr [22]

Jednotlivé válce lze sestavit do různých variant podle daných požadavků (viz Obrázek 34)



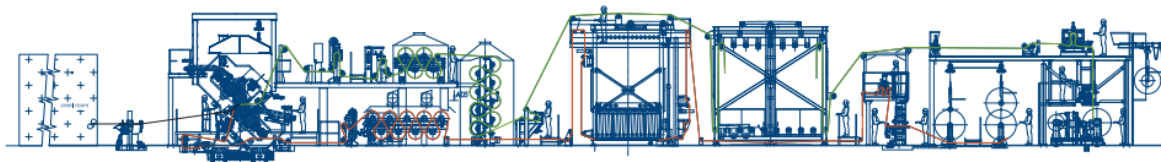
Obrázek 34 různé uspořádání čtyřválcového kalandru [27]



Obrázek 35 pětiválcový kalandr [28]

5.2.3 Kalandrovací linky

Linka pro tažení pryžové fólie včetně linky pro pogumování textilního kordu a ocelového kordu a linka pro výrobu polotovárů dopravníkových pásů, max. šířka 2 600 mm.

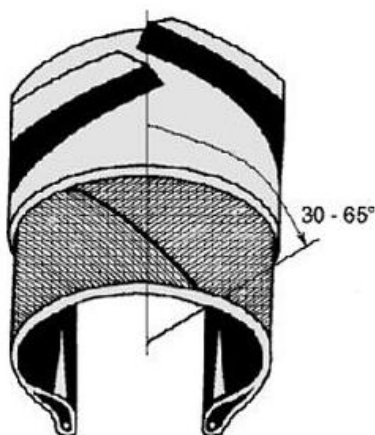


Obrázek 36 čtyřválcová kalandrovací linka s vkládáním textilie a ocelového kordu [22]

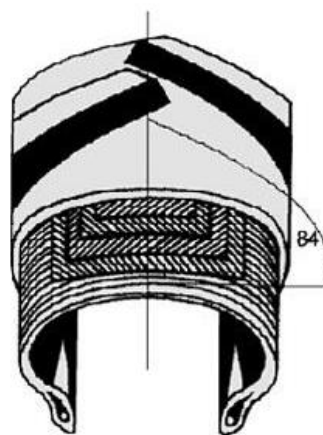
5.2.4 Konfekční stroje

Diagonální a radiální konfekční jednotka

Konfekční stroje slouží ke „skládání“ pneumatik. Společnost Buzuluk vyrábí konfekční stroje pro výrobu diagonálních a radiálních pláštěů s výjimkou silničních. Pro přehled uvádím rozdíly mezi radiální a diagonální konstrukcí pneumatiky (vlákna kostry jsou nanášena pod jinými úhly).



Obrázek 37 diagonální pneumatika [29]

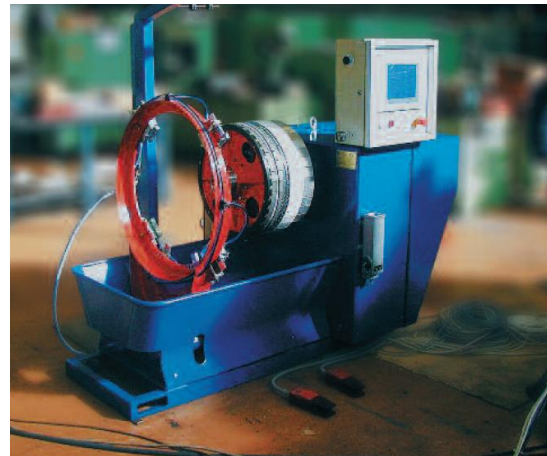


Obrázek 38 radiální pneumatika [29]

Stroj se skládá ze dvou jednotek. Na první jednotce se zhotovují diagonální pneumatiky. Tato jednotka slouží také jako první stupeň pro výrobu radiálních pneumatik. Na druhé jednotce se v druhém stupni zhotoví radiální plášť.



Obrázek 39 diagonální a konfekční stroj [22]



Obrázek 40 stroj na potahování ocelových lanek patek [22]

Dalšími stroji, které patří do portfolia společnosti Buzuluk, jsou zkušební stroje, rotační vulkanizační lis, speciální kalandry, dvouválce a linky pro balení syntetického kaučuku. Přehled těchto strojů jsem uvedl v příloze č. 3.

[55]; [56]; [57]

6 Vysokotlaké hnětiče

6.1 Úvod do vysokotlakých hnětičů

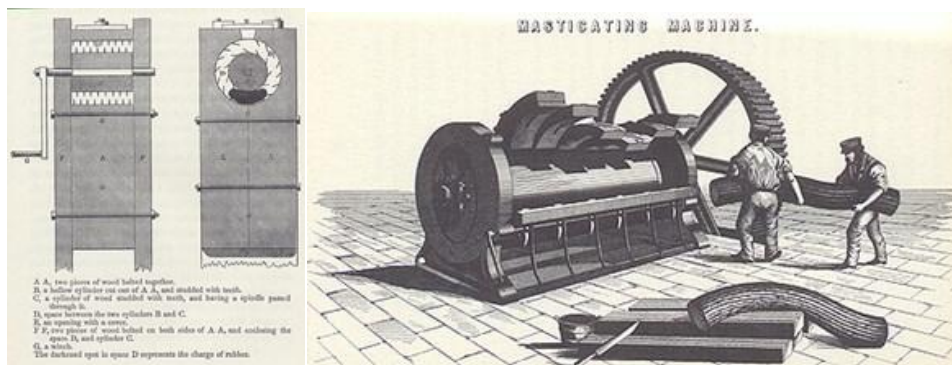
Vysokotlaké hnětiče jsou zařízení sloužící k míchání směsí kaučuku a příměsí, které tvoří plniva, oleje a další chemické složky. Výsledná směs slouží jako polotovary pro další zpracování, při kterém se nejčastěji vyrábí pneumatiky a technická guma. Mezi technickou gumu můžeme zařadit například kabely, profily, těsnění, ale také výrobky obuvnického průmyslu.

Vysokotlaké hnětiče mohou fungovat samostatně nebo jako součást míchacích linek pro přípravu gumových směsí.

6.2 Historie hnětičů

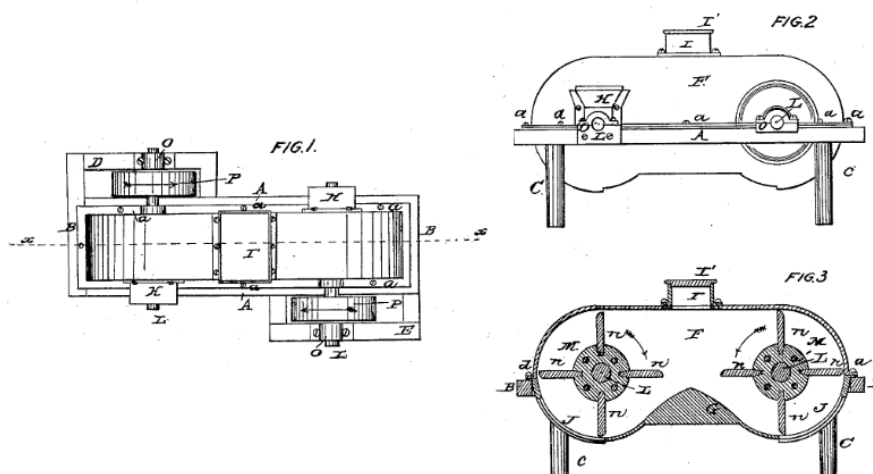
Historie hnětičů sahá do první poloviny 19. století, kdy začaly s nástupem gumárenské výroby, vznikat první hnětiče. Původní účel těchto strojů byl ve skutečnosti zcela odlišný – jednalo se o hnětiče těsta v pekárenství.

První hnětič byl vynalezen Thomasem Hancockem roku 1820 (patent r. 1837) ve Velké Británii. Tehdy se jednalo ještě o hnětič s jedním rotorem zvaný Hancock's Pickle.



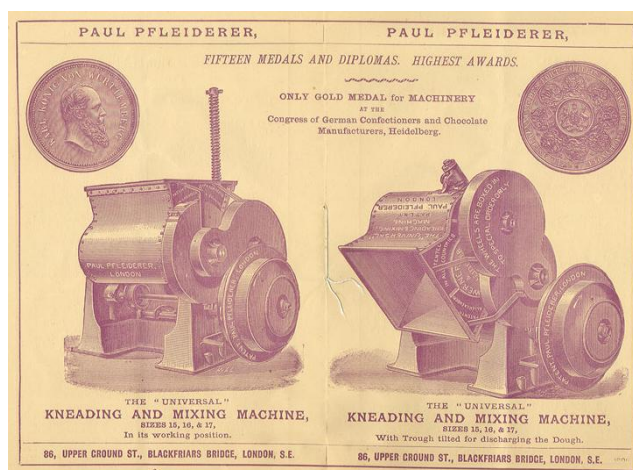
Obrázek 41 historicky první hnětič - zkonstruován Thomasem Hancockem [34]

První zmínky o dvurotorovém hnětiči jsou z roku 1865, kdy Nathaniel Goodwin patentoval hnětič s názvem „Quartz mill.“ Jeho pevnost však nebyla vysoká.



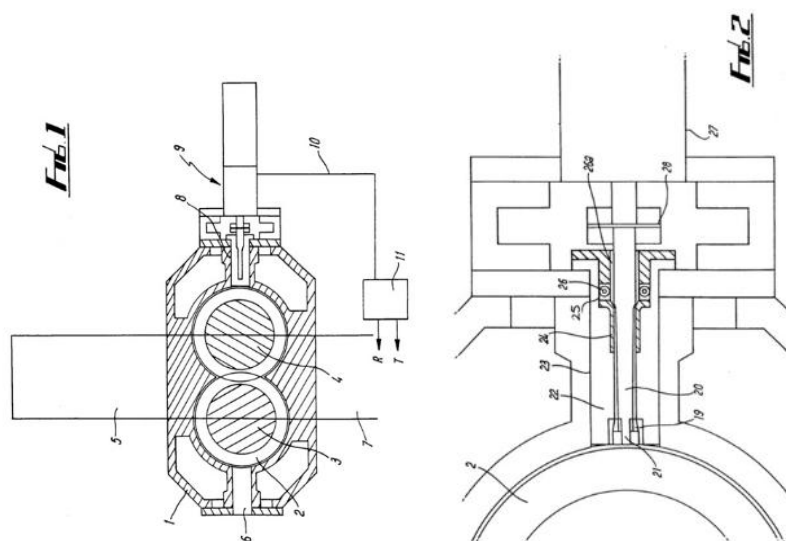
Obrázek 42 první dvourotorový hnětič Nathaniela Goodwina [35]

Prvním dvourotorovým strojem, který bylo možné skutečně používat pro míchání gumy, byl stroj, který patentoval Paul Pfeleiderer roku 1878-1879. (Stroj byl původně vynalezen Paulem Freyburgerem r. 1873)



Obrázek 43 první dvorotorový použitelný hnětič Paula Pfeiderera [36]

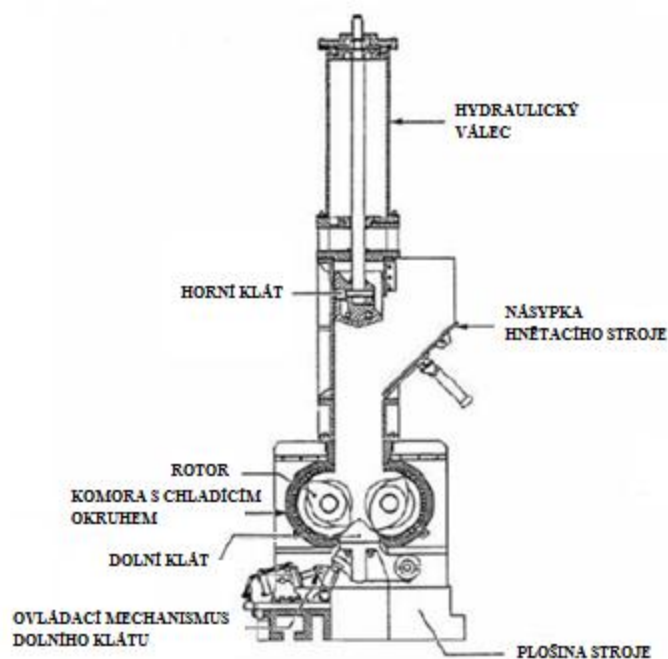
Dvourotorový hnětič typu intermix byl vynalezen neznámým inženýrem společnosti *ITS Rubber Co Construction* ve Velké Británii na počátku 30. let 20. století. Detailnější konstrukci a návrh později provedl Francis Shaw pro společností *Manchester Ltd*, který si tento návrh později také patentoval.



Obrázek 44 první dvourotorový hnětič typu intermix Francise Shawa

6.3 Rozdělení vysokotlakých hnětičů

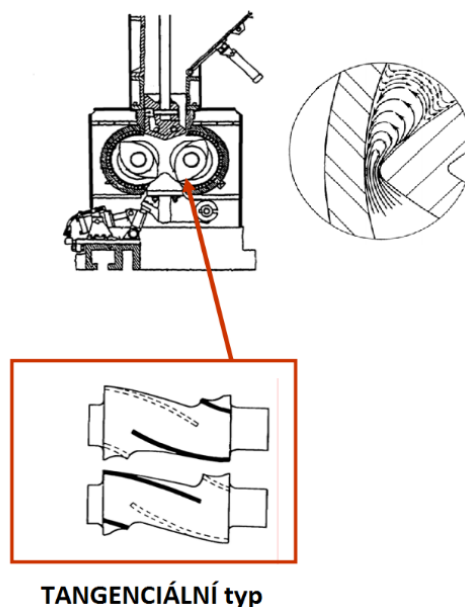
Vysokotlaké hnětiče lze rozdělit podle typu rotorů na dva základní typy – tangenciální a intermix. Oba typy se dají použít pro přípravu gumových směsí se střední viskozitou, tzn. pro výrobu především technické gumy, zároveň mají ale specifické použití a vlastnosti podle typu. Vysokotlaký hnětič se skládá z násypky a komory. Násypka je složená z pístu s hydraulickým či pneumatickým pohonem, krytu násypky a klátu. Do násypky se vloží suroviny a jsou, pomocí pístu, uzavřeny horním klátem do komory. Komora se skládá z rámu, rotorů a šneků. Komora, kláty, rotory a šneky (veškeré díly, které přicházejí přímo do styku s míchaným materiálem) disponují vnitřním chlazením. Při hnětení se uvolňuje přetlačováním a třením směsi teplo, které zvyšuje teplotu míchané směsi. Pokud by díly nebyly chlazené, došlo by u dílů k překročení vulkanizační teploty, která se pohybuje v rozmezí 140 - 160 °C.



Obrázek 45 hlavní celky hnětiče [37]

6.3.1 Typ tangenciální

Tangenciální typ, také označovaný jako „Banbury mixer“ podle svého vynálezce Fernely H. Bunburyho z roku 1916, se vyznačuje rotory, které míchají směs především o stěny komory.



Obrázek 46 řez komorou hnětiče - tangenciální typ [38]

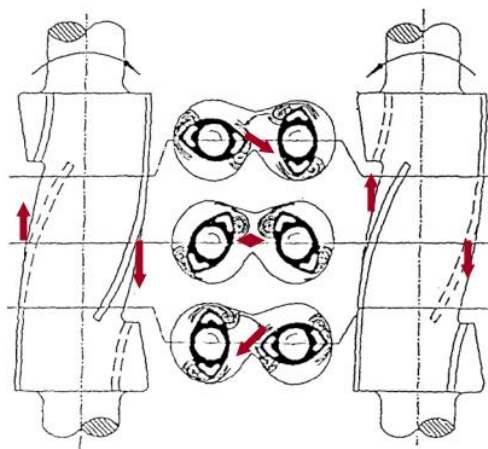
Jejich křídla (zuby) se neprotínají, což umožňuje otáčet rotory nezávisle na sobě, navíc odlišnou rychlostí. Vzájemná rychlost se stanovuje poměrem (např. 1:1,1). Směs rotuje okolo komory, ale přestupuje také z jednoho rotoru na druhý.



Obrázek 47 pohled na rotory hnětiče - tangenciální typ [39]

Využitelnost tohoto typu je velice široká a vyznačuje se také svojí jednoduchostí. Obzvláště vhodný je pro lepkavé materiály a dokončovací operace na směsích s vyšší viskozitou.

Tangenciální typy můžeme dále rozdělit například podle počtu křídel na dvoukřídlé a čtyřkřídlé. Původní typ byl dvoukřídlý, ale postupně, z důvodu zvyšování produktivity výroby, vznikl v průmyslovém odvětví výroby pneumatik, u větších typů hnětičů, typ čtyřkřídlý, který se časem rozšířil i na menší varianty strojů.

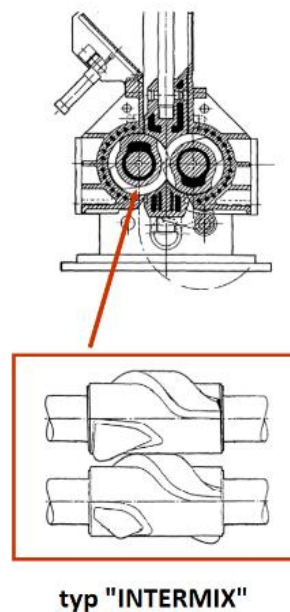


Obrázek 48 pohyb materiálu v komoře - tangenciální typ [38]

Na obrázku 48 lze vidět tok materiálu v komoře. Jeho rozdělování probíhá o stěny komory.

6.3.2 Typ intermix

Vysokotlaký hnětič typu intermix se vyznačuje dvojicí rotorů, jejichž zuby (nogy) zapadají při rotaci do sebe. Směs se tak nemíchá jen o strany komory jako v případě tangenciálního typu, ale především mezi nogy ve střední části komory.



typ "INTERMIX"

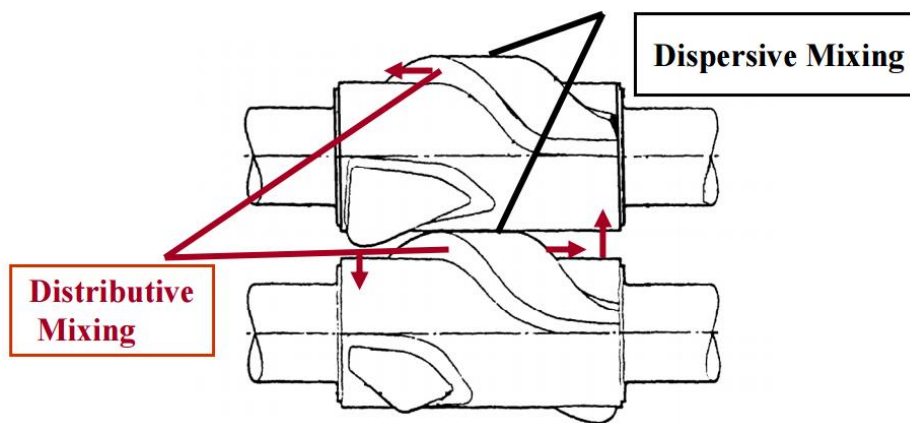
Obrázek 49 řez komorou - typ intermix [38]



Obrázek 50 pohled do komory hnětiče typu intermix [40]

Šneky s rotory musí rotovat stejnou rychlostí, aby nedocházelo ke kolizím nogů. Jak lze vidět naobrázku 51 směs je v komoře míchána odlišným způsobem. Dělení materiálu probíhá nejen u stěn komory, ale hlavně v jejím středu.

[54]; [70]; [71]; [72]; [75]



Obrázek 51 pohyb a dělení materiálu v komoře – typ intermix [38]

Praktická část

7 Upřesněné zadání

7.1 Úvod

Jako vstupní data byla společností Buzuluk poskytnuta 3D CAD data jednotlivých variant rotorů (03737, 03889, 03888) se šneky a tabulka s přehledem jednotlivých hodnot parametrů zadávaných při modelování konkrétní varianty. Dále společnost poskytla výkresovou dokumentaci sestavy hnětiče typu 03737, jeho rotoru a horního klátu variant 03737, 03889, 03888.

Při parametrizaci vnitřního prostoru komory byla společností Buzuluk poskytnuta další 3D CAD data, především samotný svařovaný rám komory a bočnice varianty 03737.

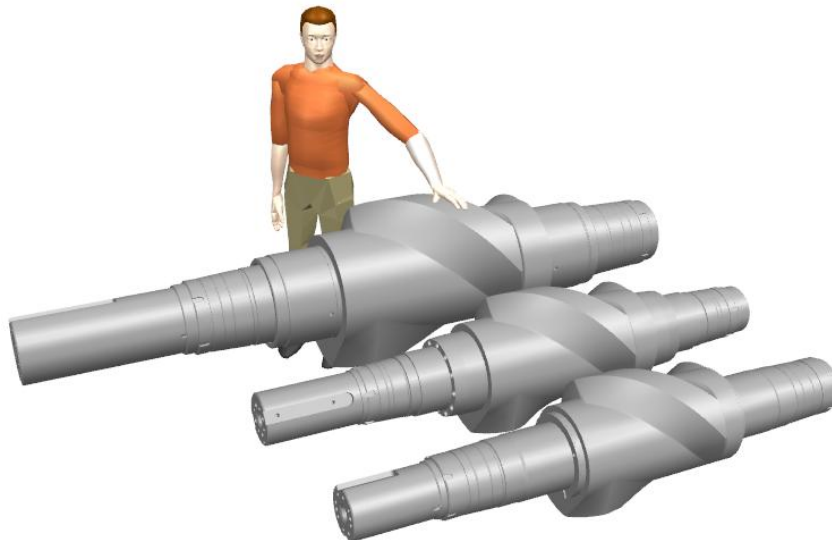
7.2 Varianty rotorů

Velikosti částí stroje jsou dané velikostí požadovaného objemu. Velikosti poskytnutých rotorů proto odpovídají následujícím hodnotám čistého objemu (objem je v tomto případě zaokrouhlen).

Tabulka 1 hodnoty čistých objemu u jednotlivých velikostních variant

Typ	Čistý objem komory (zaokrouhlený) [litr]
03888	140
03889	250
03737	320

Pro lepší představu uvádím tyto velikosti ve srovnání s postavou člověka (viz Obrázek 52).



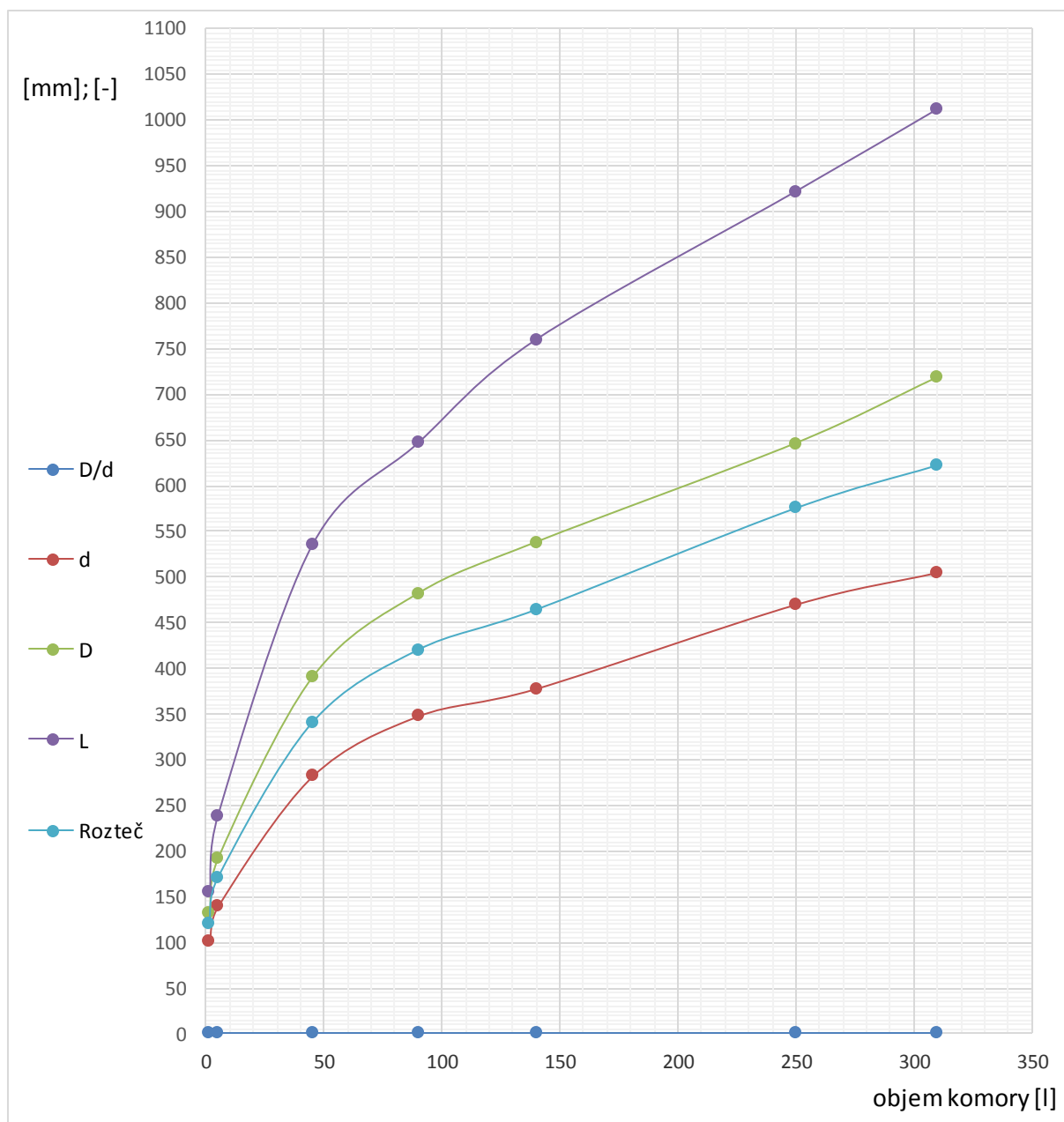
Obrázek 52 srovnání velikostí šneků s postavou člověka

Kromě 3D CAD dat společnost poskytla i tabulky a graf se změnami poměrů mezi průměry šneku. Z Graf 1 je patrné, že změny délek a průměru v závislosti na velikosti čistých objemů komor nevykazují žádnou závislost.

Tabulka 2 změny rozměrových hodnot variant hnětičů intermix v jednotlivých objemech

Parametr	1,5 [l]	5 [l]	45 [l]	90 [l]	140 [l]	250 [l]	310 [l]
D/d [mm]	1,29412	1,37143	1,38298	1,38506	1,42328	1,374468	1,421782
d [mm]	102	140	282	348	378	470	505
D [mm]	132	192	390	482	538	646	718
L [mm]	155	239	535	647	760	922	1012
Rozteč [mm]	120	170	340	420	464	575	622

Z Graf 1 lze vypočítat prudký pokles hodnot pro hodnoty čistého objemu komory 45 litrů a menší.

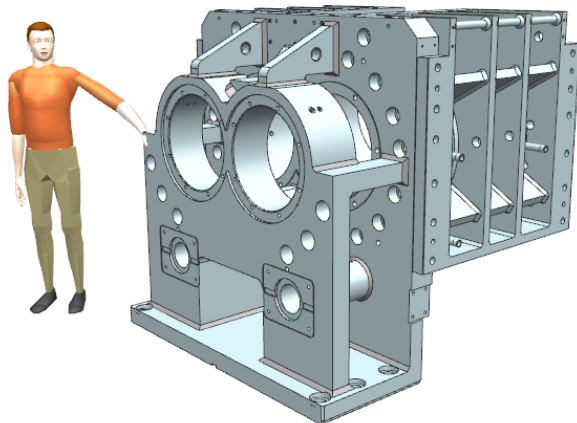


Graf 1 změny rozměrových hodnot šneků

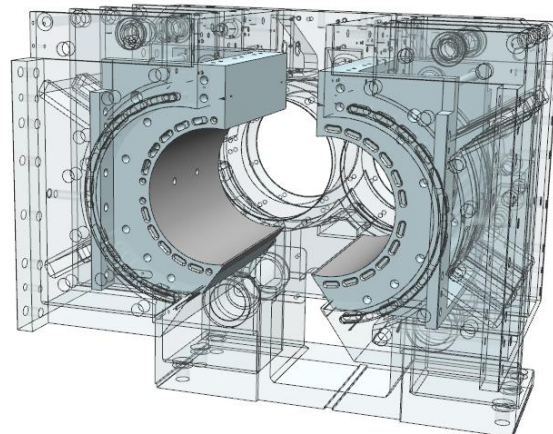
Graf a všechny vstupní tabulky jsou uvedené v příloze č. 2

7.3 Komora

Vnitřní tvar komory se skládá z dvou válců vzdálených o rozteč. Průměry těchto válců vychází z velikosti průměru vnějšího pláště šneku zvětšeného o odstup mezi šnekem a komorou. Pro představu uvádím srovnání velikosti komory 03737 s postavou člověka (na obrázku je zobrazena pouze jedna bočnice s komorou a žebry).



Obrázek 53 porovnání velikosti člověka s velikostí 03737



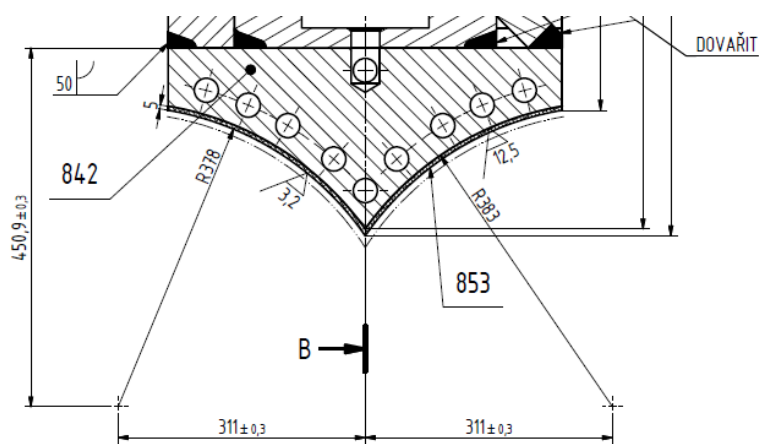
Obrázek 54 porovnání velikostí typu 03737 a 03888

Vzhledem k řešené problematice se dále zabývám hlavně vnitřním tvarem komory, tzn. především průměrem válců komory, jejich roztečí a délkou.

7.4 Uzavírací víka komory - kláty

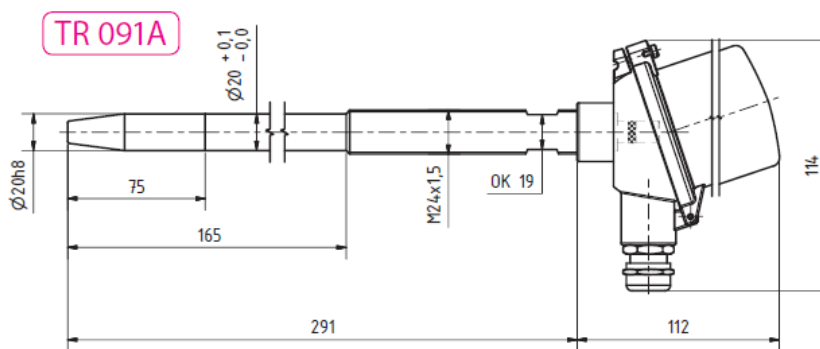
Zavírací víka komory jsou dvě – horní a dolní. V terminologii gumárenství se horní a dolní víko nazývá horní a dolní klát. Pro potřeby této práce se dále zabývám pouze částí klátu, která bezprostředně zasahuje do vnitřního prostoru komory.

Ideální tvar horního a dolního klátu je přímo dán tvarem komory. Skutečný tvar je trochu jiný. Kláty jsou jediné díly komory, které je možné pro dané rozměry šneku a komory upravovat a to pouze odebráním materiálu (pokud by se materiál přidával, vznikly by kolize se šneky). V Buzuluku jsou kláty upravovány zcela individuálně tak, aby bylo dosaženo výsledného objemu. V tomto případě je ještě horní klát posunut směrem nahoru. Jako příklad mohu uvést opět velikost hnětiče 03737 u něhož je poloměr válce komory 368 mm, ale poloměr tvaru klátu 378 mm. Došlo tedy k navýšení mezery mezi trajektorií vnějšího pláště šneku a klátem o 10 mm.



Obrázek 55 výřez výkresu - horní klát 03737 [41]

U horního klátu lze pozorovat úkosy po stranách. Tyto úkosy jsou z důvodu umístění PT sond do bočnic komory nebo vstřikovadel (např. vstřikovadlo změkčovadel). PT sondami se měří teplota komory a míchané směsi.

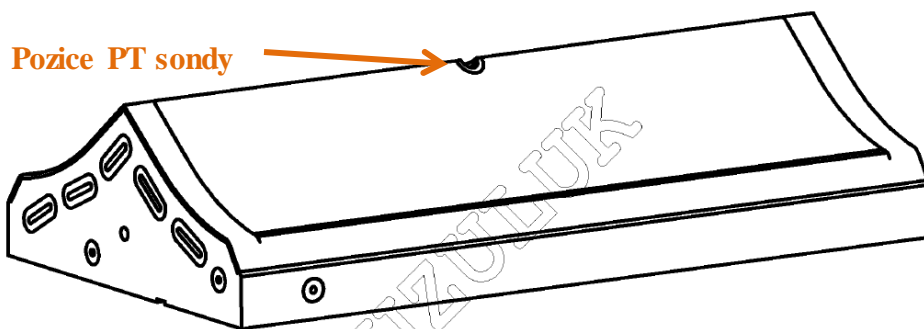


Obrázek 56 PT sonda výrobce Sensit [42]

Obrázek 57 rozměry PT sondy typ TR 091A výrobce Sensit [42]

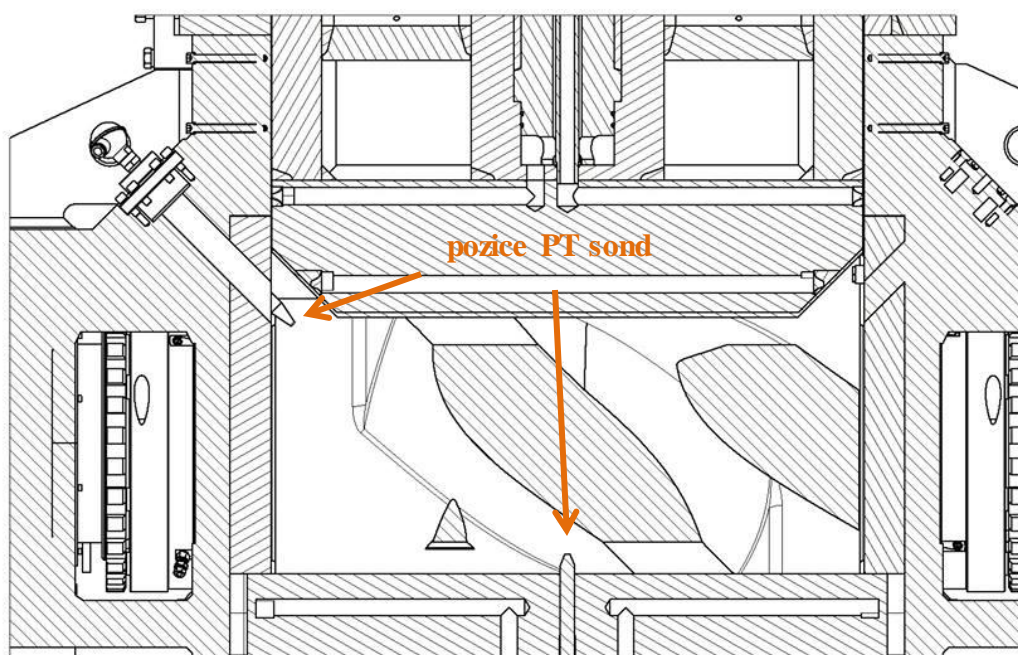
Společnost Buzuluk používá PT sondy značky Sensit. Zde uvádím příklad PT sondy používané na komoře typu 03737.

U dolního klátu se PT sonda umísťuje do špičky klátu. Klát je nutné proto snížit tak, aby PT sonda přečnívala špičku klátu o určitý rozměr.



Obrázek 58 spodní klát komory 03737 [41]

Na obrázku 59 lze vidět umístění PT sond u horního a ve spodním klátu.



Obrázek 59 řez komorou hnětiče - pozice PT sond [41]

7.5 Čistý objem komory

Ve společnosti Buzuluk se hnětiče konstruují na výslednou hodnotu objemu, tzv. čistý objem komory. Čistý objem komory je myšlen celkově možný teoreticky využitelný objem komory bez uvažování plnicího faktoru. Plnicí faktor je v případě Tabulka 3 u hnětičů typu internix 65% čistého objemu komory.

Tabulka 3 znázornění pojmu "čistý objem komory"

Typ stroje	Tangenciální						Do sebe zapadající	
		03551	14690	14630	03730	03736	03888	03737
Objem míchací komory	L	2,5	100	250	270	420	140	320
Užitný objem komory	L	1,8	75	170	190	300	91	208
Kapacita při měrné hmotnosti 1,12	Kg	2	84	190	212	333	102	232
Doporučená rychlost hnětadel	ot. /min.	20-100	10 - 60	10 - 40	10 - 60	10 - 60	10 - 50	
Výkon pohonu	kW	22	520	1000	1500	2250	690	
Hrdlo komory	mm	-	300 × 630	400 × 810	460 × 889	610 × 950	374 × 760	
Rozměry spodního uzávěru	mm	-	220 × 630	400 × 810	420 × 889	450 × 950	364 × 760	

8 Tvorba parametrizovaného modelu

8.1 Úvod do konstrukce parametrizovaného modelu

Konstrukce celého parametrického modelu včetně dopočtu objemu je vytvořena v sestavě, která obsahuje modely:

HNETIC

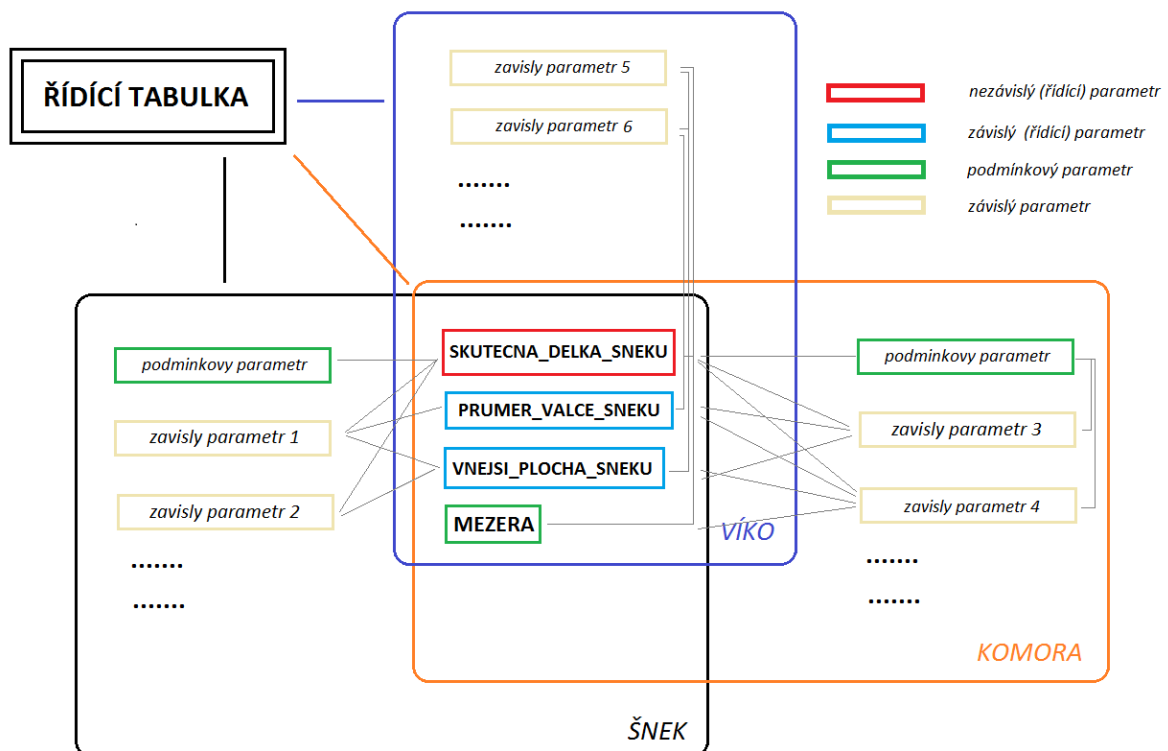
HNETIC2

KOMORA

HORNI_VIKO

SPODNI_VIKO

Model HNETIC je hlavním řídicím modelem celé sestavy. V tomto modelu jsou definovány veškeré parametry. V modelu je vytvořené celé tělo šneku, které se nachází v komoře. Hlavní celky konstrukce šneku jsou středový válec, nogy a vnější plocha šneku. V modelu HNETIC je vytvořen a umístěn také druhý šnek komory, který má specifickou a závislou polohu k prvnímu šneku. Konstrukce prvního rotoru je řízená více parametry, ze kterých jsou celkově 3 nezávislé, z toho 2 jsou závislé na posledním řídicím parametru. Hlavním a jediným řídicím parametrem celého modelu je délkový rozměr šneku.



Obrázek 60 schéma bloků a řízení sestavy

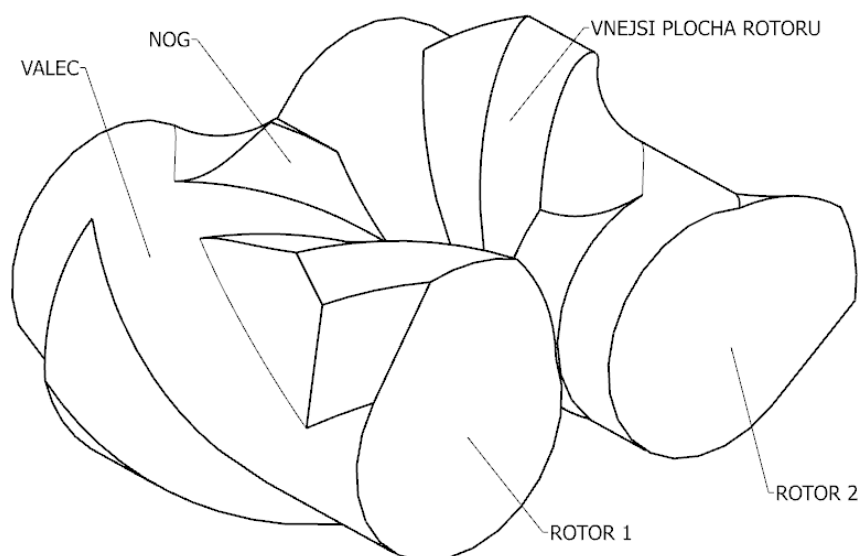
Tento parametr řídí všechny ostatní parametry při generování rotoru. Dalšími parametry jsou závislé parametry PRUMER_VALCE_SNEKU a VNEJSI_PLOCHA_SNEKU. Tyto

parametry jsou oddělené od ostatních závislých proměnných, protože jejich hodnoty pocházejí ze vstupních dat jednotlivých velikostí rotorů, ale jejich hodnoty byly aproximovány tak, aby vyhovovaly celé množině velikostí.

8.2 Hlavní celky konstrukce šneku

8.2.1 Úvod

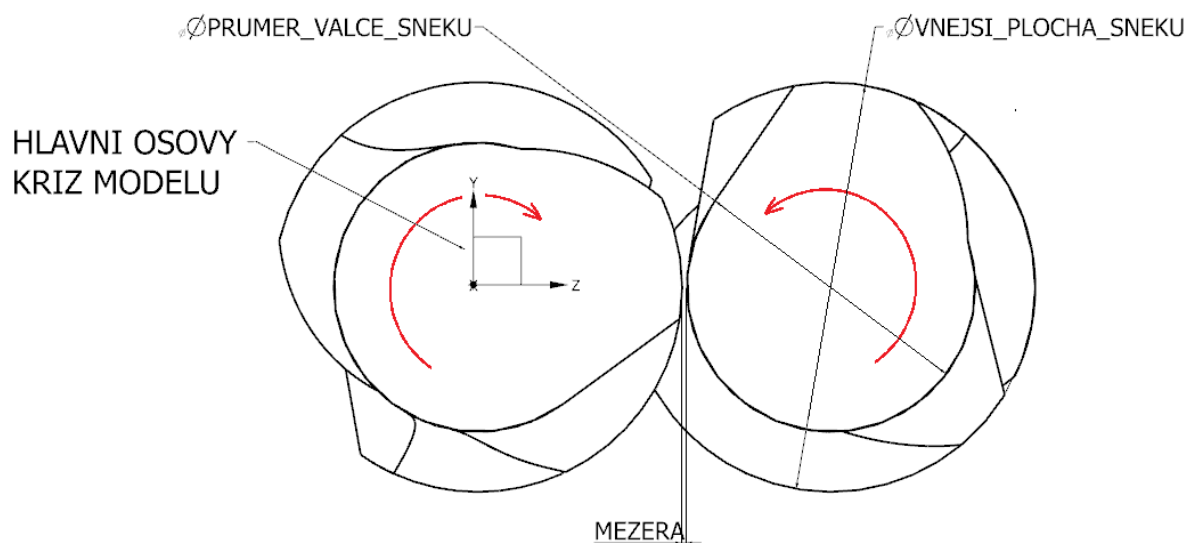
Konstrukce rotoru se skládá z několika částí – válce; jednotlivých nogů, které jsou na tomto válci rozmístěny a vnější plochy rotoru.



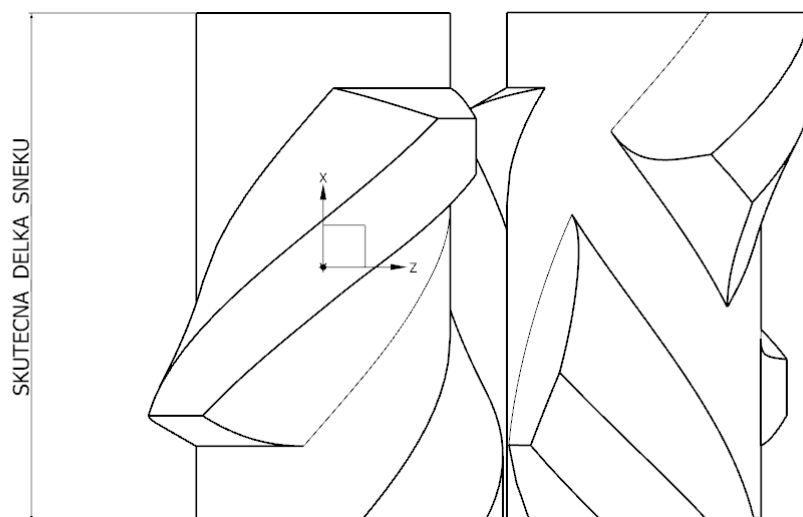
Obrázek 61 popis hlavních celků šneku

Hlavní parametry jsou:

$\varnothing d$ (průměr válce šneku)	[mm]
$\varnothing D$ (vnější plocha šneku)	[mm]
skutečná délka šneku	[mm]
mezera	[mm]



Obrázek 62 definice hlavních parametrů



Obrázek 63 definice parametru délky

Podmínkový parametr MEZERA je třeba definovat před započítáním samotné konstrukce. Tento parametr jsem definoval jako podmínkovou funkci, která pro určité rozsahy funkce vybere danou hodnotu.

Tabulka 4 rozsahy hodnot parametru MEZERA podmínkové funkce

Ø vnější plochy šneku [mm]	<500	<650	<750	<850	>850
hodnota parametru	4	6	8	10	12

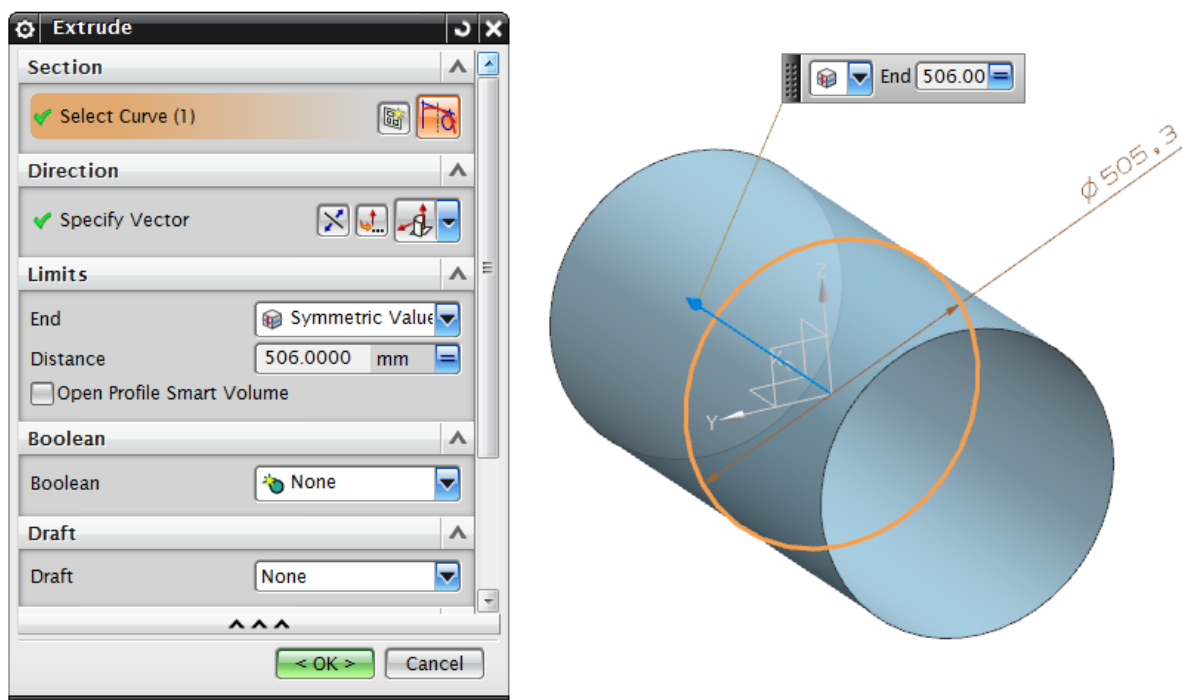
Zápis podmínkové funkce má tvar:

```
if(VNEJSI_PLOCHA_SNEKU<500)4
else(if(VNEJSI_PLOCHA_SNEKU>=500&VNEJSI_PLOCHA_SNEKU<650)6
```

```
else(if(VNEJSI_PLOCHA_SNEKU>=650&VNEJSI_PLOCHA_SNEKU<750)8
else(if(VNEJSI_PLOCHA_SNEKU>=750&VNEJSI_PLOCHA_SNEKU<850)10 else(12))))
```

8.2.2 Konstrukce válce šneku

Základní stavební částí šneku je válec, na kterém jsou umístěné nogy. Průměr tohoto válce (PRUMER_VALCE_SNEKU) jsem definoval jako parametr závislý na celkové délce šneku (SKUTECNA_DELKA_SNEKU). Geometrie je vytvořena pomocí funkce *Extrude* a skici, jejíž osový kříž je umístěn v závislosti k hlavnímu osovému kříži modelu v totožné poloze. Rozměry vytažení (*Distance*) funkce *Extrude* jsou $\frac{SKUTECNA_DELKA_SNEKU}{2}$.



Obrázek 64 použitá funkce CAD systému na tvorbu válce šneku

Kružnice skici je umístěná k počátku souřadnicového systému osového kříže skici a její průměr je parametr PRUMER_VALCE_SNEKU, který jsem definoval jako aproximovanou funkci závislosti délky a průměru válce.

Vstupními daty ze společnosti Buzuluk byl přehled rozměrů šneků.

Tabulka 5 vstupní data

Parametr	1,5 [I]	5 [I]	45 [I]	90 [I]	140 [I]	250 [I]	310 [I]
D/d [mm]	1,29412	1,37143	1,38298	1,38506	1,42328	1,374468	1,421782
d [mm]	102	140	282	348	378	470	505
D [mm]	132	192	390	482	538	646	718
L [mm]	155	239	535	647	760	922	1012
Rozteč [mm]	120	170	340	420	464	575	622

Tabulkové údaje odpovídají parametrům použitým v modelu následovně:

Ød ... PRUMER_VALCE_SNEKU

ØD ... VNEJSI_PLOCHA_SNEKU

L ... SKUTEČNA_DELKA_SNEKU

Tvorba šneků byla ve společnosti Buzuluk prováděna s různými přístupy, a proto je konstrukce jednotlivých velikostí vždy jedinečná. Z tohoto důvodu neexistuje přímá závislost mezi délkou šneku a jeho průměry. Pokud se má model řídit jedním hlavním parametrem, který určuje zároveň hodnoty průměrů (PRUMER_VALCE_SNEKU a VNEJSI_PLOCHA_SNEKU), je nutné vstupní data vyjádřit pomocí funkce.

Vstupní data společnosti Buzuluk jsou v grafu 2 znázorněna modrými body. Těmito body je potřeba proložit funkcí závislosti délky na průměru válce šneku. K tomuto účelu jsem využil program MS Excel, který disponuje možností proložit těmito body polynomicou funkcí 2. – 6. stupně. Výsledné hodnoty jsem srovnal s původními hodnotami a pro daný stupeň polynomu vypočetl odchylku od vstupních dat. Součtem všech odchylek se vyhodnotí nej přesnější aproximace bodů pomocí funkce. V tomto případě se jedná o funkci polynomu druhého stupně.

Tabulka 6 výpočet odchylek polynomických funkcí

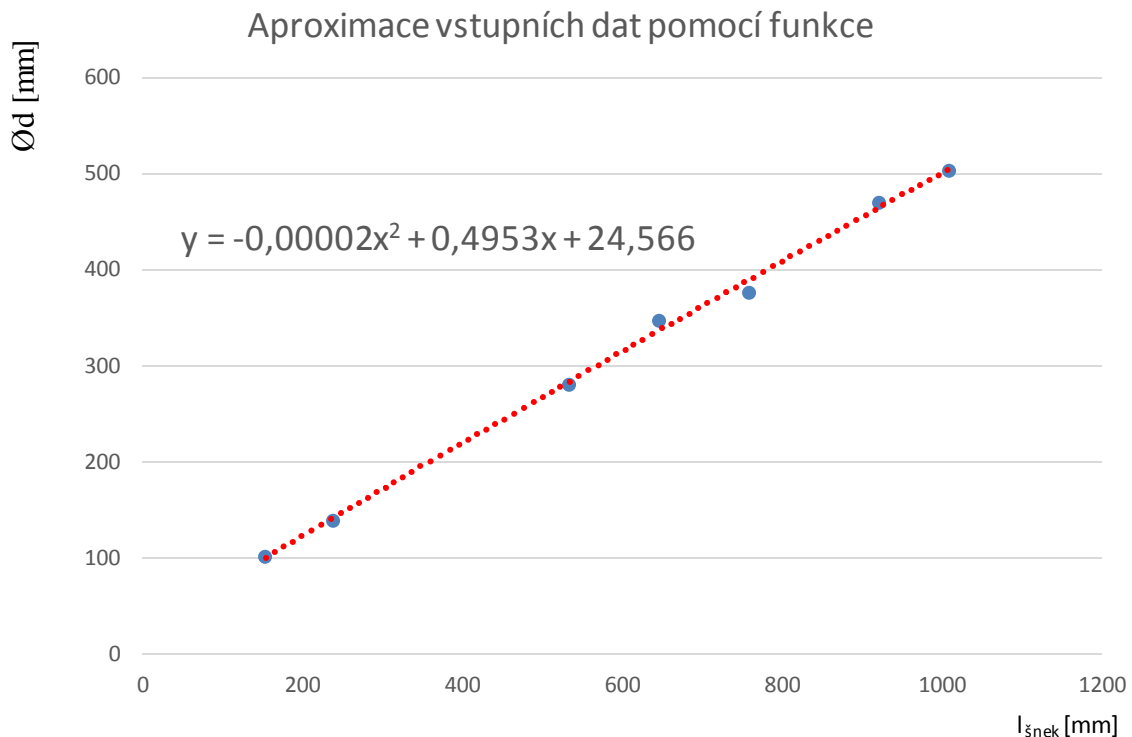
d	polynom 4. stupne	100,8344477	138,5132993	275,1401627	323,2944324	369,302328	433,4910285	470,7530702			
	odchylka	-1,14%	-1,06%	-2,43%	-7,10%	-2,30%	-7,77%	-6,78%			
D	polynom 4. stupne	134,167731	190,127890	398,083526	468,066099	533,339584	627,529630	688,504383	44,00%	3	
	odchylka	1,64%	-0,98%	2,07%	-2,89%	-0,87%	-2,86%	-4,11%	15,41%		
d	polynom 3. stupne	100,6607275	142,1872884	284,9848575	338,0302505	391,26552	467,432749	509,8358746			
	odchylka	-1,31%	1,56%	1,06%	-2,86%	3,51%	-0,55%	0,96%	11,81%		
D	polynom 3. stupne	131,642275	196,4430838	411,943575	492,7623046	576,5502	704,0572896	780,3105456	47,09%	4	
	odchylka	-0,27%	2,31%	5,63%	2,23%	7,17%	8,99%	8,68%	35,28%		
d	polynom 2. stupne	100,857	141,80028	283,827	336,65292	389,442	464,23092	505,32672			
	odchylka	-1,12%	1,29%	0,65%	-3,26%	3,03%	-1,23%	0,06%	10,63%		
D	polynom 2. stupne	133,0535	191,35958	394,5695	470,54582	546,692	654,96632	714,66512	18,78%	1	
	odchylka	0,80%	-0,33%	1,17%	-2,38%	1,62%	1,39%	-0,46%	8,15%		
d	lineární aproximace	102,448	142,2136	282,34	335,3608	388,855	465,5458	508,1518			
	odchylka	0,44%	1,58%	0,12%	-3,63%	2,87%	-0,95%	0,62%	10,22%		
D	lineární aproximace	134,8465	191,6557	391,8405	467,5861	544,008	653,5686	714,4356	18,80%	2	
	odchylka	2,16%	-0,18%	0,47%	-2,99%	1,12%	1,17%	-0,50%	8,58%		

V programu MS Excel jsem zavedl spojnici trendu pomocí funkce polynomu druhého stupně.

$$y = -0,00002 * x^2 + 0,4953 * x + 24,566$$

Tato funkce vyjadřuje závislost délky šneku na jeho malém průměru. V tomto případě jsem do rovnice dosadil parametry použité při konstrukci CAD modelu.

$$\text{PRUMER_VALCE_SNEKU} = -0,00002 * \text{SKUTEČNA_DELKA_SNEKU}^2 + 0,4953 * \text{SKUTEČNA_DELKA_SNEKU} + 24,566$$



Graf 2 aproximace vstupních hodnot pomocí funkce

Množina nezávislých proměnných této funkce je množina všech eventálních délek šneku. Obor hodnot funkce jsou všechny průměry válce. Pro jakoukoliv hodnotu délky šneku je možné vygenerovat velikost průměru válce.

8.2.3 Vnější plocha šneku

Vnější plochu jsem vytvořil podobným způsobem, jako plochu válce šneku. Pozice geometrie je stejná a k jejímu vytvoření jsem rovněž použil funkci *Extrude*. Rozdíly jsou pouze v parametru průměru kružnice skici, pomocí které je geometrie vytvořena.

Parametr průměru skici vychází z tabulky hodnot průměrů a délek šneku poskytnutých společností Buzuluk. Stejně jako v předchozím případě je potřeba průměr vnějšího pláště šneku řídit funkcí, jejíž závislou hodnotou je délka šneku. V tomto případě se aproximace hodnot z tabulky týká ØD.

Tabulka 7 vstupní data

Parametr	1,5 [I]	5 [I]	45 [I]	90 [I]	140 [I]	250 [I]	310 [I]
D/d [mm]	1,29412	1,37143	1,38298	1,38506	1,42328	1,374468	1,421782
d [mm]	102	140	282	348	378	470	505
D [mm]	132	192	390	482	538	646	718
L [mm]	155	239	535	647	760	922	1012
Rozteč [mm]	120	170	340	420	464	575	622

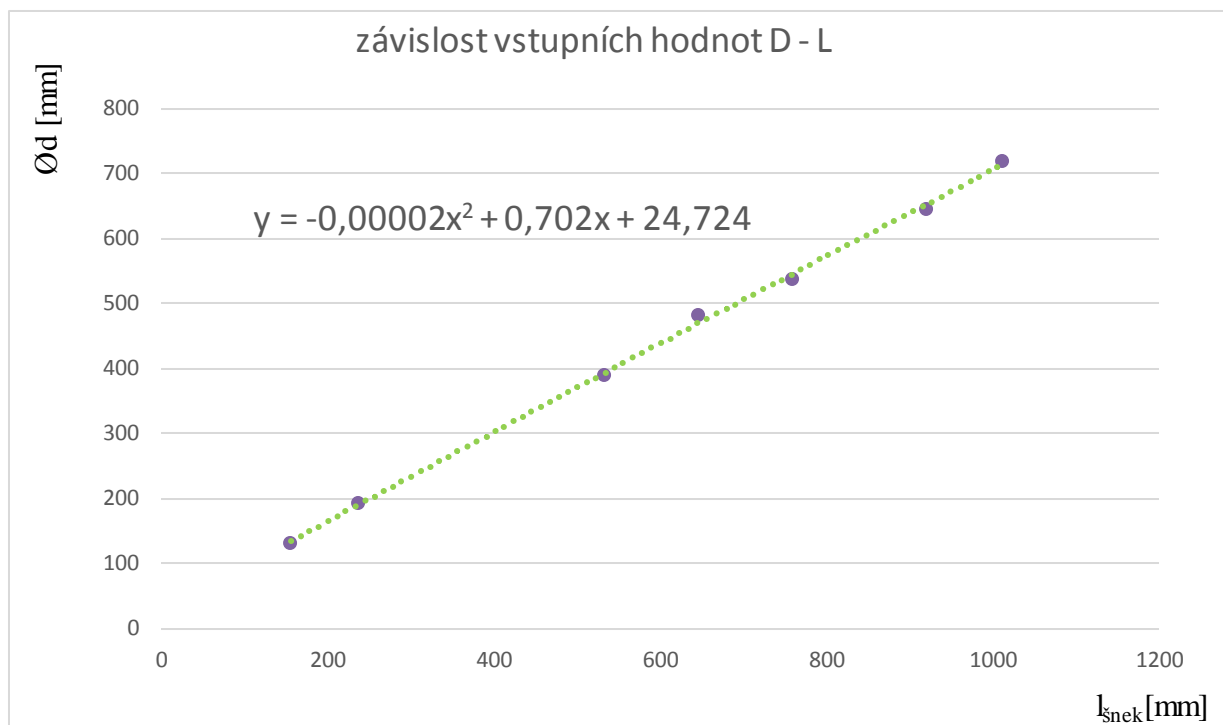
Tabulkové údaje odpovídají parametrům použitým v modelu následovně:

Ød ... PRUMER_VALCE_SNEKU

ØD ... VNEJSI_PLOCHA_SNEKU

L ... SKUTEČNÁ_DELKA_SNEKU

Tabulkové hodnoty délky šneku L a ØD jsou přeneseny do grafu v programu MS Office.



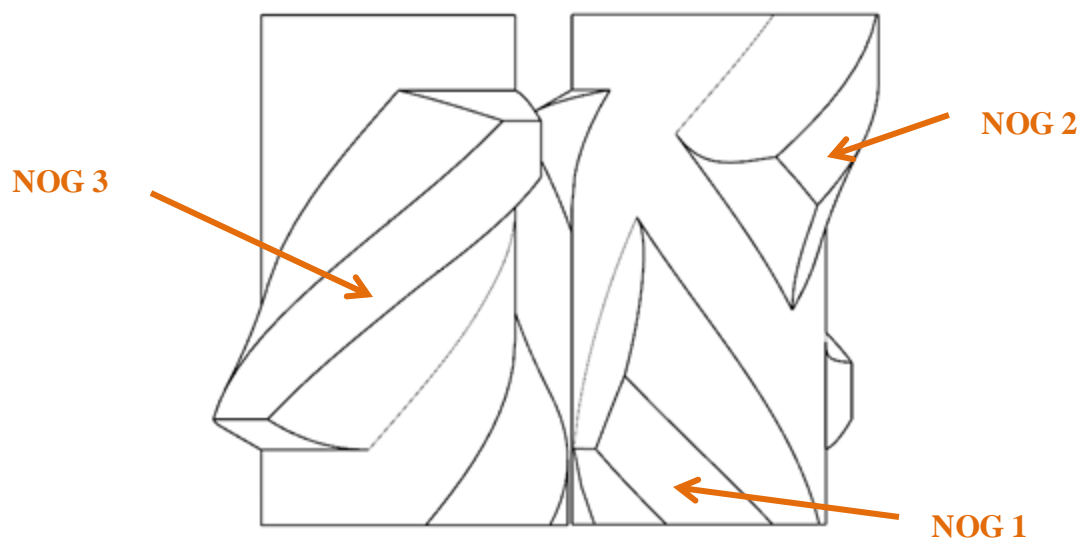
Graf 3 aproximace vstupních hodnot pomocí funkce

Celý postup aproximace je shodný s předešlým postupem.

8.2.4 Nogy

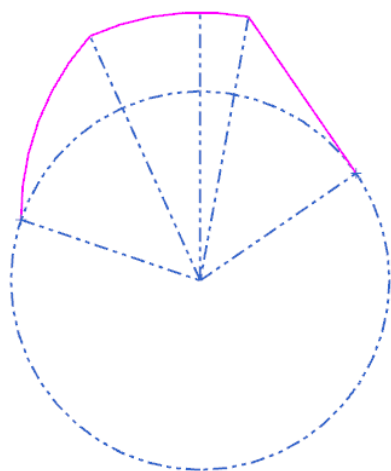
8.2.4.1 Konstrukce nogů

Funkce nogu šneku je míchání směsi v komoře. V komoře jsou uloženy dva stejné šneky, jejichž nogy zapadají do sebe. Z tohoto důvodu jsou jednotlivé nogy šneku, jak je vidět na obrázku 65, zcela odlišné.

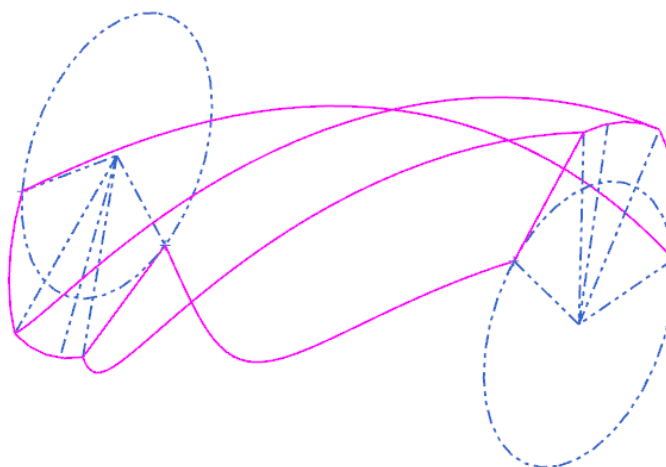


Obrázek 65 pozice nogů

Hlavní tělo nogu se konstruuje pomocí počáteční a koncové skici, které jsou svázaný úhlem a čtyřmi šroubovicemi, které vytváří základní hrany nogu. Toto tělo se vždy vytváří přes celou délku šneku.



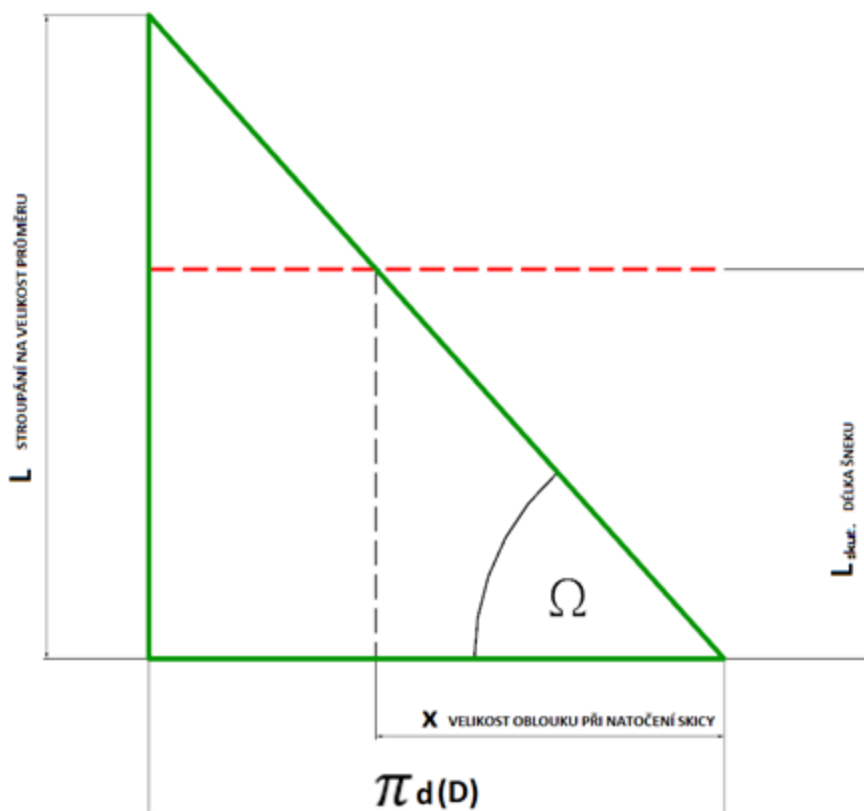
Obrázek 66 řídící skica



Obrázek 67 spirála nogu

Aby stoupání šroubovic bylo přesné a závislé na úhlu natočení koncové skici vůči skice počáteční, je potřeba stoupání šroubovic zadat parametricky v závislosti na délce šneku, průměru, na kterém leží a úhlu natočení koncové skici. Za tímto účelem jsem rozvinul šroubovici do roviny podle obrázku 68. Úhel Ω symbolizuje úhel stoupání šroubovice, spodní odvěsna trojúhelníku odpovídá obvodu podstavy válce. Druhá odvěsna odpovídá výšce válce, při kterém spirála dokončí jednu otáčku na daném průměru válce. Červená přerušovaná čára vymezuje na druhé odvěsně délku šneku. Pokud spustíme kolmici z průsečíku červené čáry a přepony trojúhelníku, dostaneme délku oblouku natočení koncové skici. Toto natočení lze přepočítat do velikosti úhlu mezi počátečním a koncovým bodem vzniklého oblouku. Takto definuji parametricky závislost natočení koncové skici ke stoupání šroubovice.

Výpočet úhlu natočení skici – šroubovice



Obrázek 68 schéma k dopočtu úhlu natočení skici

K výpočtu úhlu je využito podobnosti trojúhelníků.

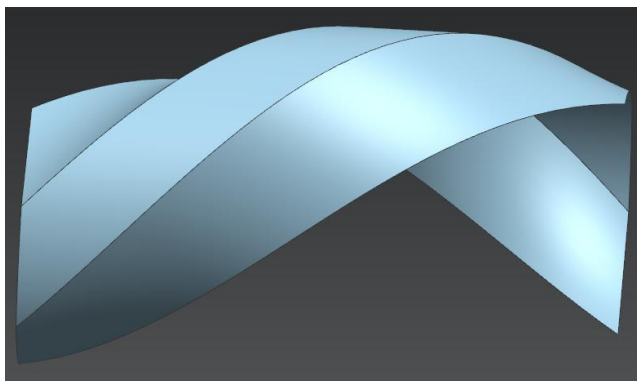
$$\frac{L}{\pi \cdot d} = \frac{L_{skut}}{x} \quad x = L_{skut} \cdot \frac{\pi \cdot d}{L}$$

$$x = \frac{\pi \cdot r \cdot \alpha}{L}$$

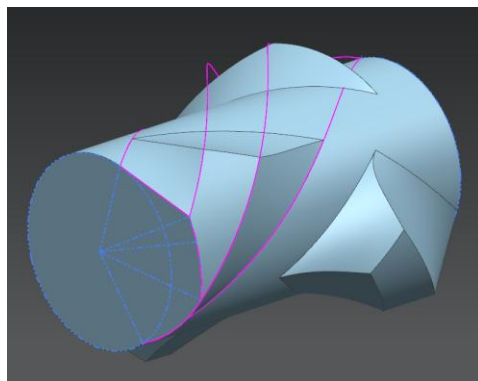
$$\frac{\pi \cdot r \cdot \alpha}{L} = L_{skut} \cdot \frac{\pi \cdot d}{L}$$

$$\alpha = \frac{360 \cdot L_{skut}}{L}$$

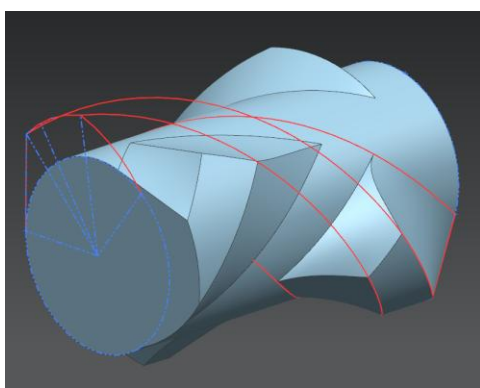
V CAD prostředí programu Siemens NX jsem pro tvorbu stěn nogů využil vždy stejné funkce – *Swept (tažení)*. Tato funkce umožňuje zadat počáteční a koncový profil tažení a až tři křivky, které udávají cestu mezi počátečním a koncovým profilem.



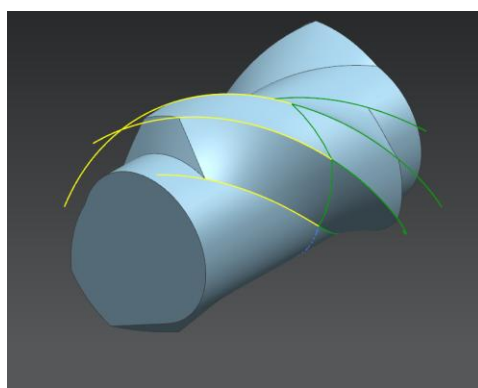
Obrázek 69 tvar plochy nogu



Obrázek 70 naznačení tvořících spirál



Obrázek 71 naznačení tvořících spirál



Obrázek 72 naznačení tvořících spirál s přechodem křivosti

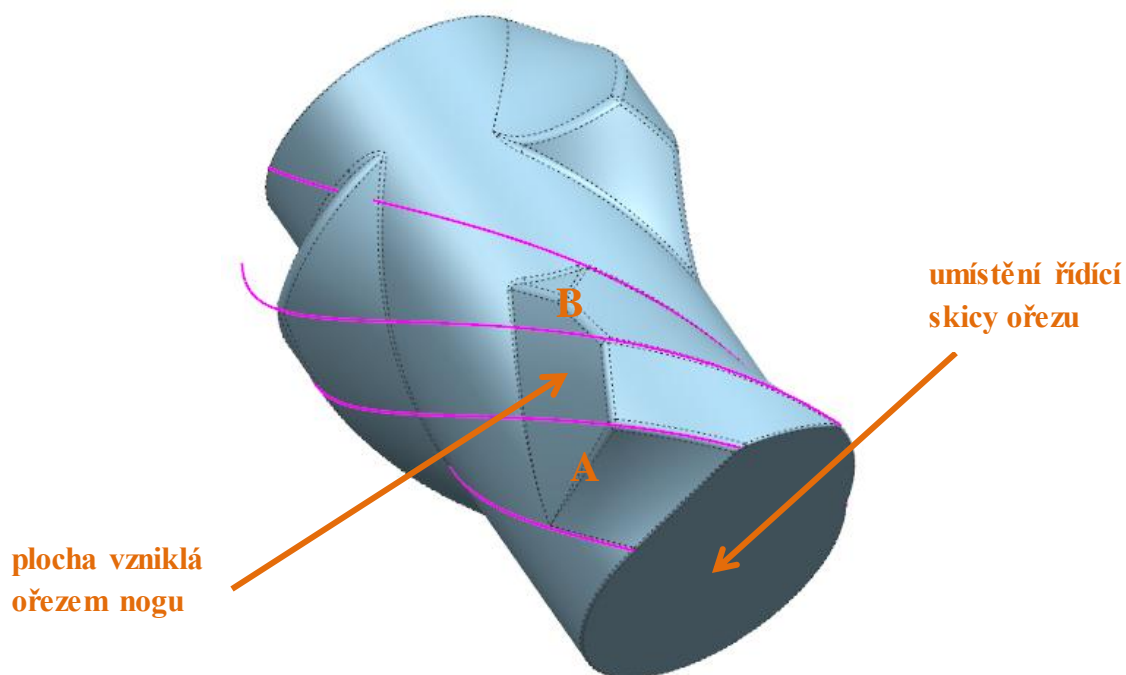
Malé rozdíly vykazuje konstrukce třetího nogu, u kterého se u jedné ze stěn mění úhel stoupání šroubovice (viz obrázek 72)

8.2.4.2 Ořezy nogů

Ořez jednotlivých nogů je velice problematickou částí. Dosavadní způsob zakončování nogů je zcela jedinečný. Vždy je třeba definovat koncovou závislost na délce šneku, ale zároveň promítnout do této závislosti velikost průměrů.

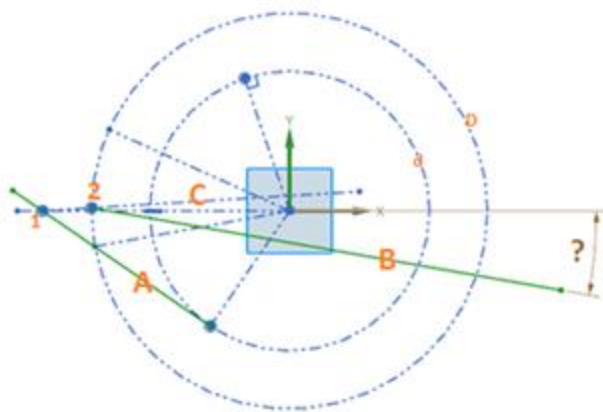
a) Ořez nogu 1

Jedná se o zakončení nogu podle obrázku 73.



Obrázek 73 znázornění pozice geometrie

Tento ořez je zcela řízen skicou, která definuje hrany vzniklé ořezem (hrany *A* a *B*). Úsečka *A* je vedena tečně ke kružnici o *Ød*. Spojnice dotykového bodu kružnice o *Ød* a úsečky *A* a středu skici je odkloněna od vertikální osy skici o PATNI_UHEL (definovaný parametr - konstantní úhel řídicí skici nogu).



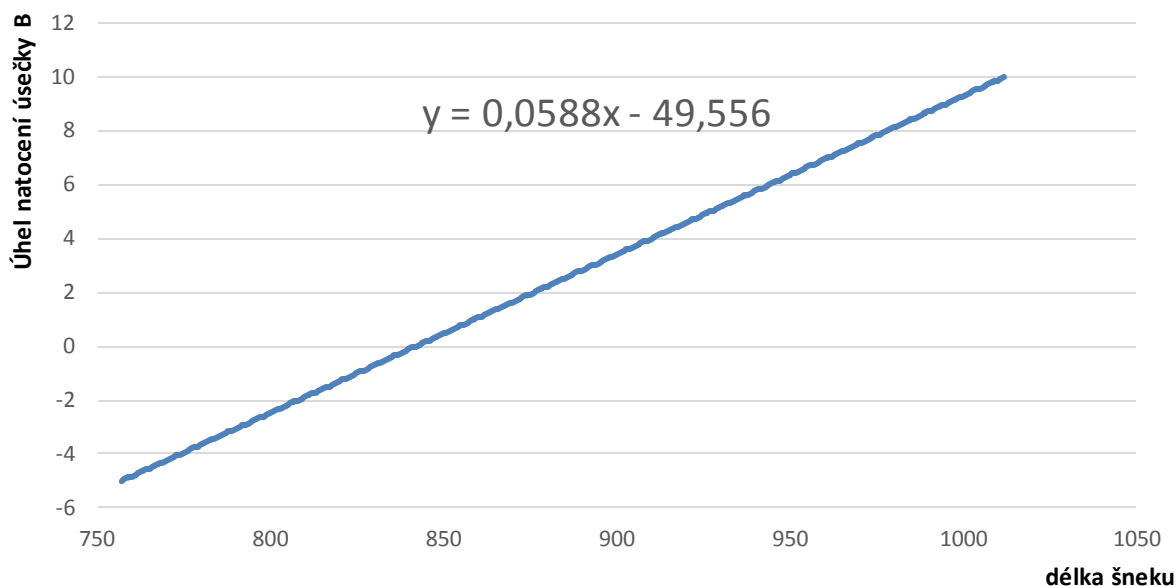
Obrázek 74 řídicí skica ořezu nogu 1

Průsečkem *I* úsečky *A* s horizontální osou jsem vedl pomocnou přímkou *C*, která se odklání od horizontální osy o konstantní úhel 3,5°. V průsečiku *2* pomocné přímky *C* a pomocné kružnice o *ØD* jsem vedl úsečku pod úhlem, jehož hodnota je definována lineární závislostí:

$$y = 0,0588 * x - 49,556$$

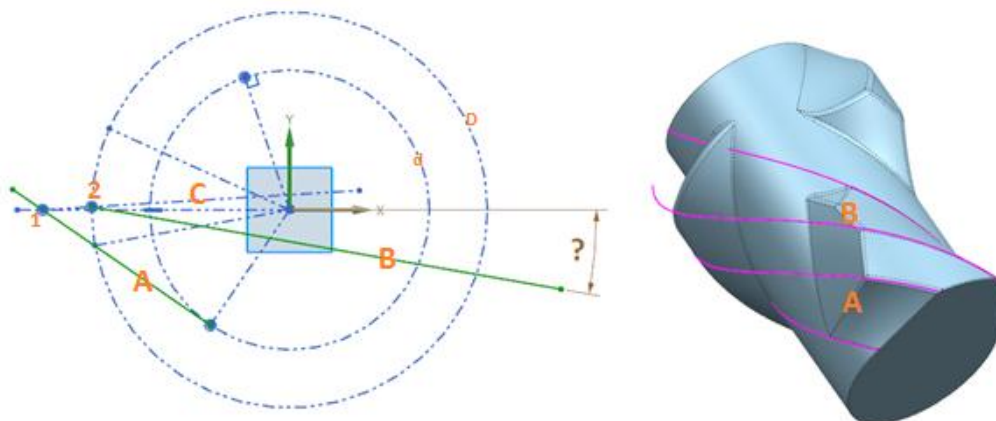
Kde *y* je velikost odklonu a *x* je délka šneku.

Závislost úhlu na délce šneku



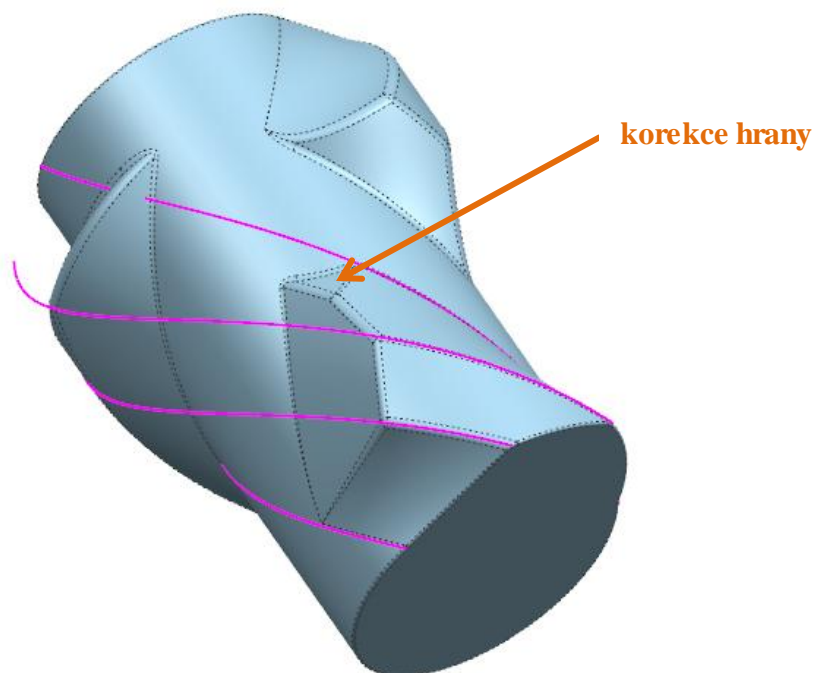
Graf 4 závislost úhlu natočení hrany *B* pomocné skici vůči horizontále skici a délky šneku

Tato rovnice vznikla pomocí vyšetřování úhlů natočení hrany *B* při srovnávání s CAD modely poskytnutými společností Buzuluk. Zadání pomocí úhlu zajišťuje stejnou hodnotu natočení pro nejrůznější délkové rozměry šneku. Úhel je definovaný pomocí funkce z důvodu, že při menších průměrech vnější plochy šneku dochází k přetočení úsečky *B* nad horizontálu skici.



Obrázek 75 řídicí skica ořezové geometrie

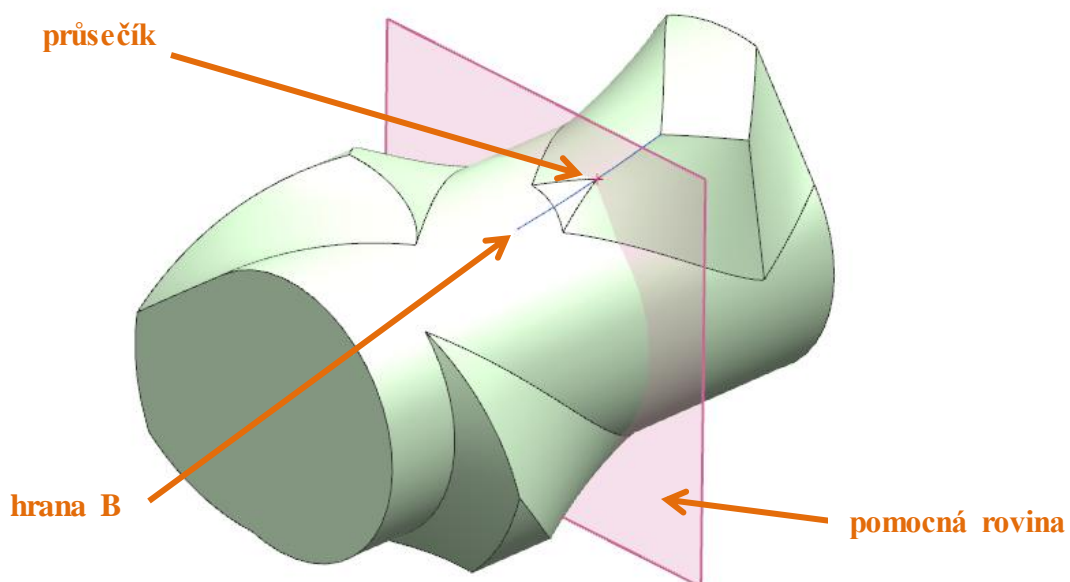
Vzniklé úsečky *A* a *B* skici jsem použil jako vstupní geometrii k vytažení ploch ve směru kolmém k ploše skici. Dále jsem vytvořil průnik těchto ploch s jednotlivými plochami boku nogu 1. Takto vzniklé křivky jsem použil jako vstupní data funkce *Studio surface*, kterou vytvoříme ořezovou plochu nogu 1.



Obrázek 76 znázornění korekce hrany nogu 1

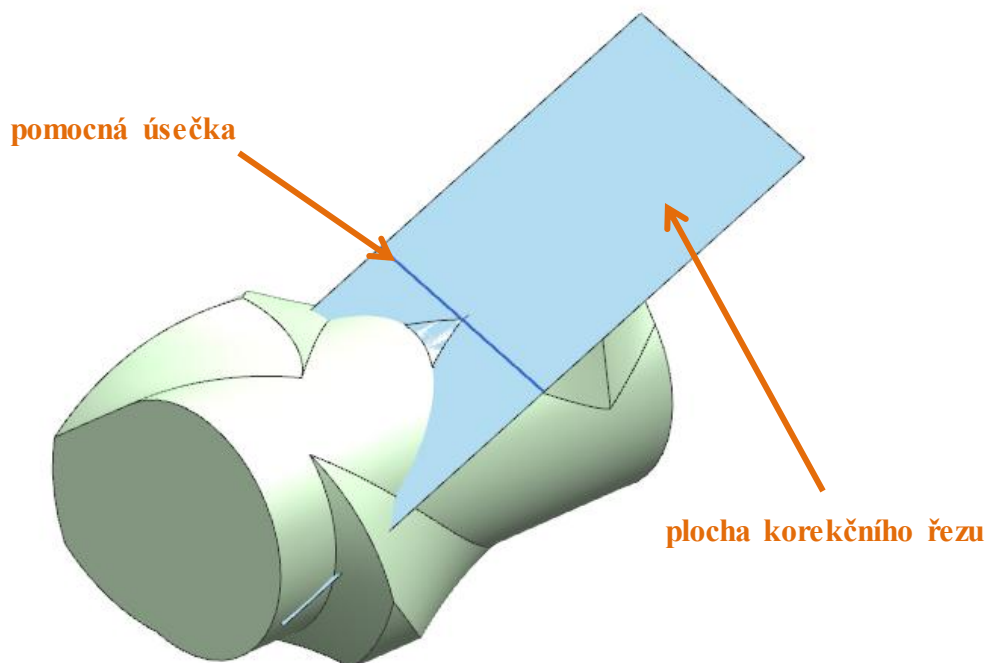
Dále je potřeba vytvořit parametrickou geometrii pro korekci hrany podle obrázku 76. K tomuto účelu jsem zavedl pomocnou rovinu odsazenou od středové roviny, kolmou na osu šneku o hodnotu danou rovnicí:

$$\frac{\text{SKUTEČNA_DELKA_SNEKU}}{10} - 2 * \text{MEZERA}$$



Obrázek 77 geometrie korekce ořezu - část 1

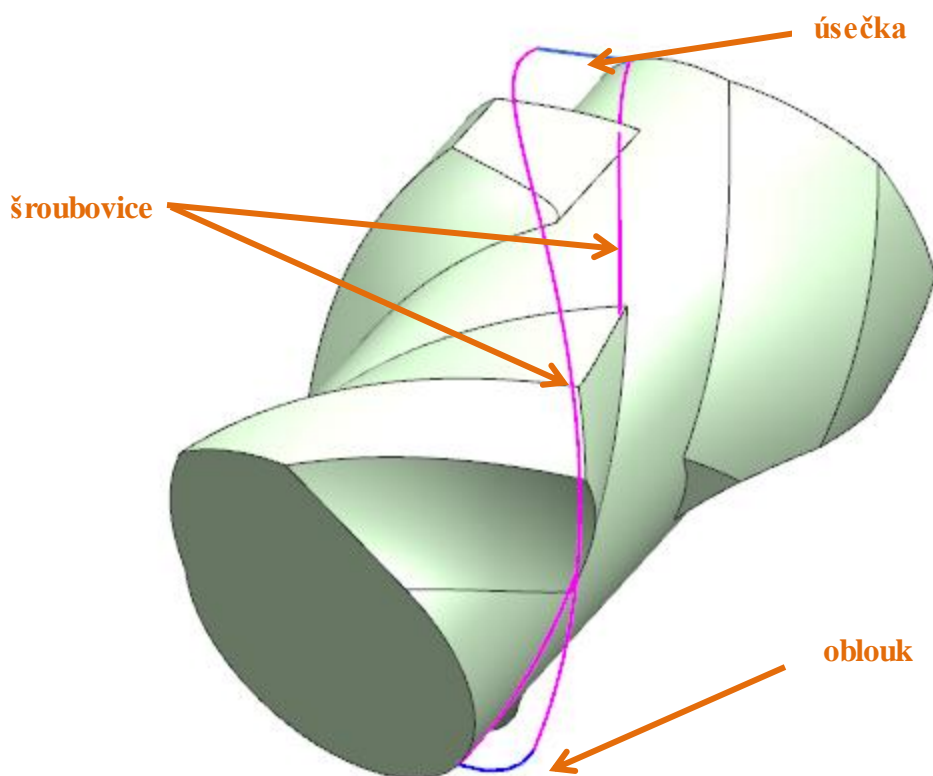
Dále jsem vytvořil průsečík s hranou B. Tímto průsečíkem jsem vedl dostatečně dlouhou úsečku o sklonu 13° k ose Z modelu. Úsečku jsem použil jako vstupní geometrii pro tvorbu plochy taženou pod úhlem 56° ke kladnému směru osy Y (viz obrázek 78). Takto vzniklá plocha je korekční plochou nogu 1.



Obrázek 78 geometrie korekce ořezu - část 2

b) Ořez nogu 2

Základní konstrukční geometrie ořezové plochy nogu 2 se skládá ze dvou šroubovic, které jsou definovány pomocí parametrů oblouku o poloměru 160 mm, který leží v čele šneku a úsečky, která leží v jeho druhém čele.



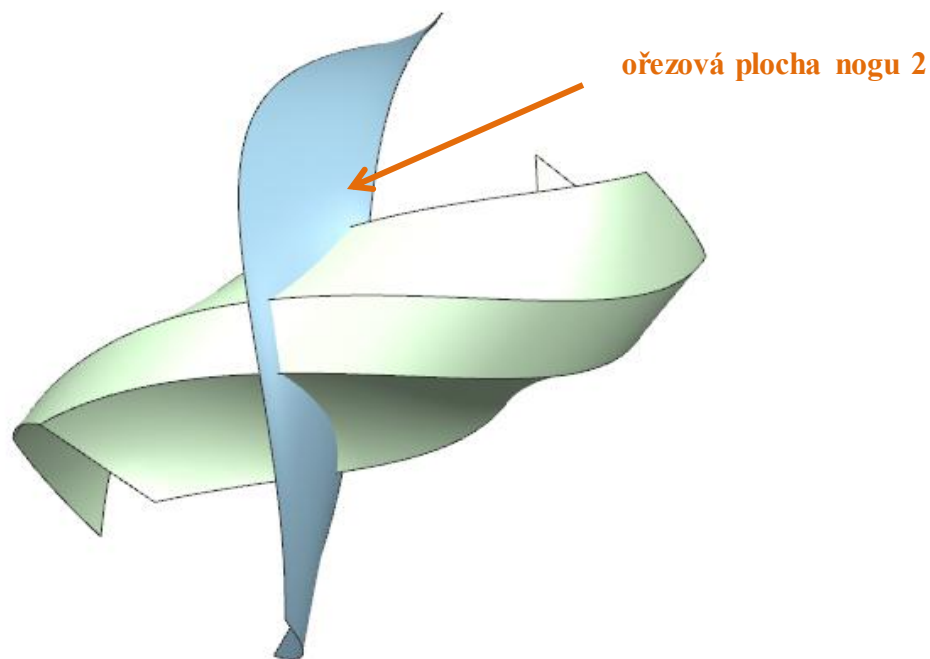
Obrázek 79 geometrie ořezu nogu 2

Platí, že koncové body oblouku a úsečky spojují obě šroubovice. Tuto konstrukční geometrii jsem použil jako vstup do funkce *Swept (tažení)*, kterou jsem vytvořil již samotnou ořezovou plochu. Jelikož nejsou jednotlivé velikosti lineární, dochází ke vzniku odchylky v posunutí této ořezové plochy. Tuto odchylku jsem korigoval pomocí funkce *Offset face*, kterou jsem zajistil posun ořezové plochy ve směru její normály. Hodnota posunutí musí být závislá na velikosti, v tomto případě na délce šneku. Pomocí tabulkového editoru MS Excel jsem vynesl odchylky posunutí jednotlivých velikostních variant do grafu a proložil a aproximoval pomocí lineární funkce:

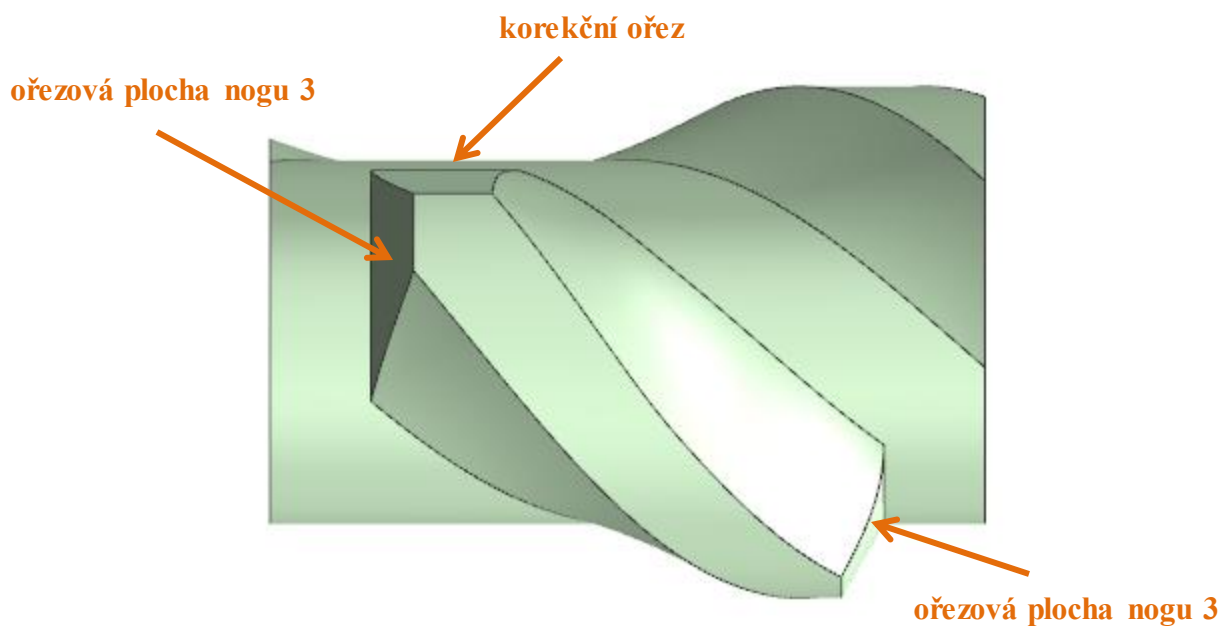
$$y = 0,0784 * x - 59,387$$

Kde y zastává hodnoty posunutí a x délku šneku příslušné varianty.

Jelikož šroubovice konstrukční geometrie leží na válcích malého a velkého průměru šneku, dochází při posunutí ve směru normály k vybočení ořezové plochy mimo hranice ploch válců malého a velkého průměru. Toto vybočení má za následek vznik nespojitých ploch a CAD model má problémy při tvorbě objemu. Z toho důvodu je žádoucí plochu rozšířit.



Obrázek 80 výsledná ořezová plocha nogu 2

c) Ořez nogu 3

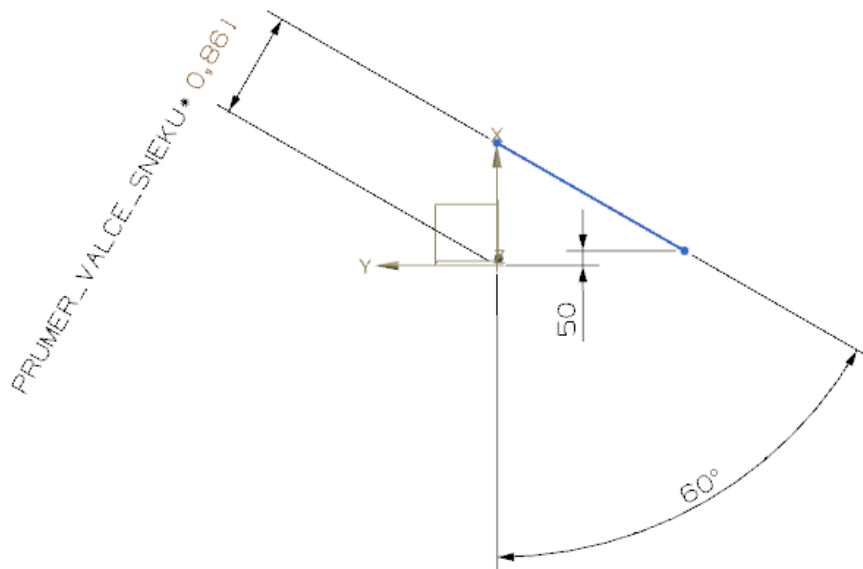
Obrázek 81 definice ořezových ploch nogu 3

Zakončení nogu 3 je, co se samotné parametrizace týká, nejjednodušší. Zakončovací plochy nogu 3 jsem vytvořil rotací dvou úseček okolo podélné osy šneku. Úsečky jsou konstruovány podle skici na obrázku 82. Osový kříž skici je umístěn ve středu šneku. Úsečka, která tvoří konstrukční geometrii skici, se odchyluje od vertikální osy y skici o úhel 60° . Pozice úsečky

v rovině je definována pomocí dvou bodů. Počáteční bod leží na vertikální ose y a jeho kolmá vzdálenost od počátku je dána funkcí:

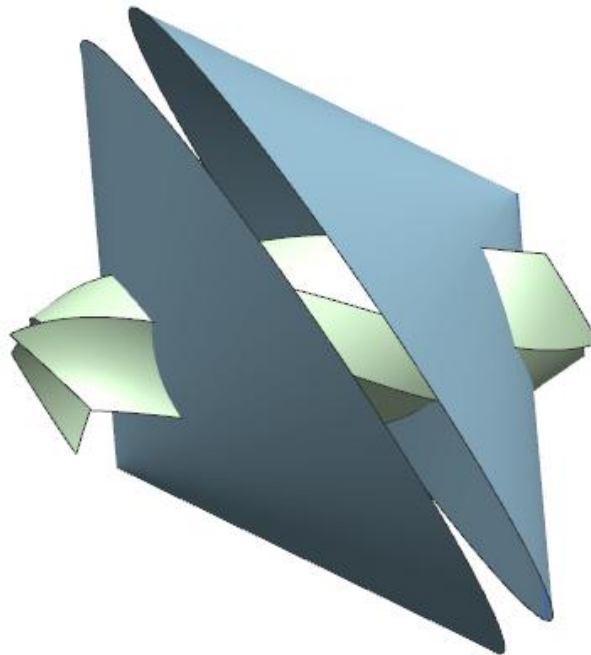
$$y = 0,861 * x$$

Kde y je kolmá vzdálenost bodu od počátku a x malý průměr šneku (PRUMER_VALCE_SNEKU). Koncový bod úsečky je definován jako vertikální vzdálenost od horizontální osy x.



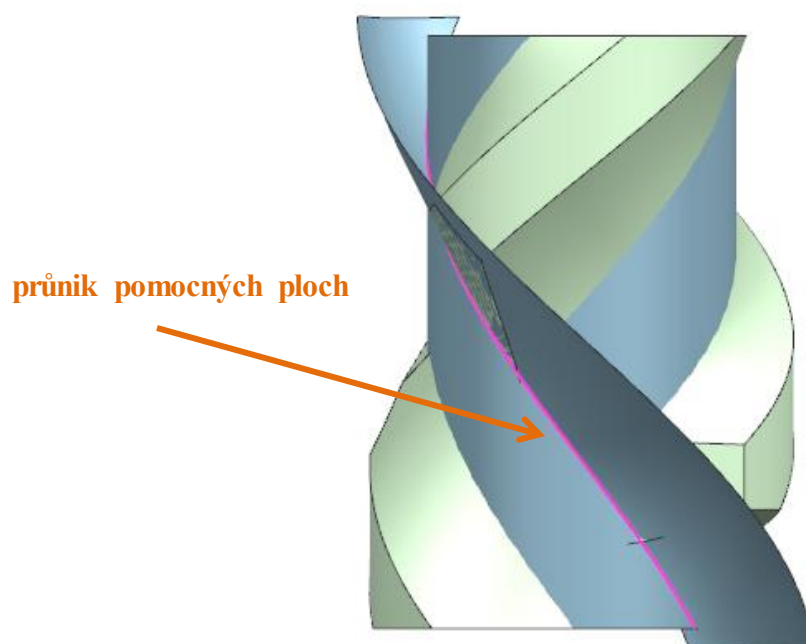
Obrázek 82 řídicí skica ořezové plochy nogu 3

Výsledné ořezové plochy nogu 3 vzniknou rotací této skici okolo osy šneku a zrcadlením podle středové roviny šneku.



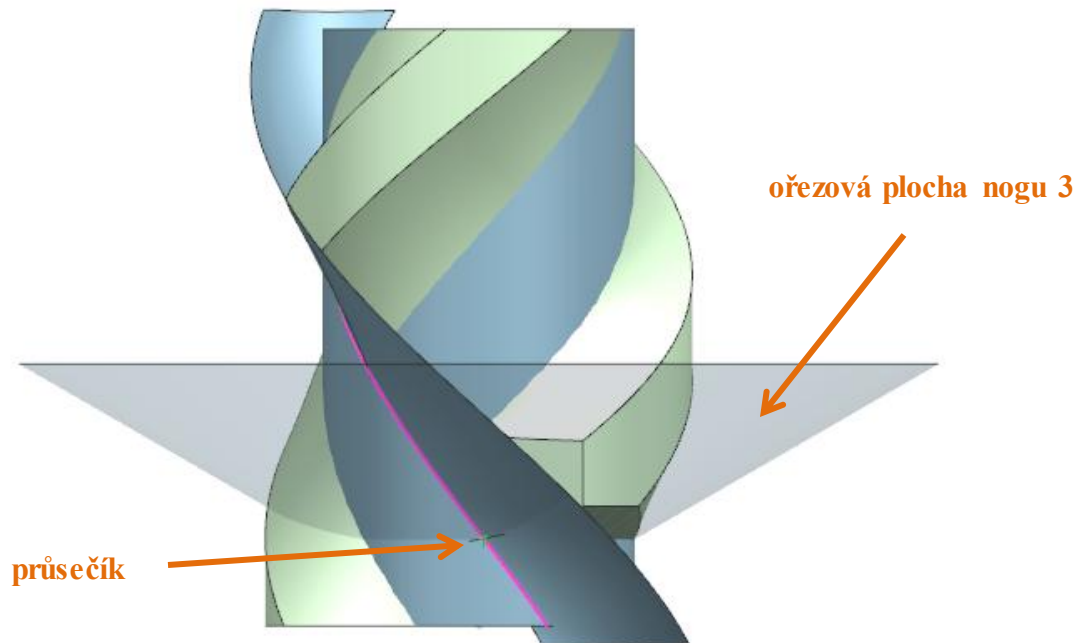
Obrázek 83 výsledná ořezová plocha nogu 3

Plochu nogu 3 jsem musel dále ořezat korekční plochou tak, aby byly odstraněny kolize s druhým šnekem při rotaci. Konstrukce vychází z převzaté ořezové plochy nogu 2 a malého válce šneku (válec o průměru s parametrem PRUMER_VALCE_SNEKU) zvětšeného na průměru o dvojnásobnou hodnotu parametru MEZERA. Pomocí těchto ploch jsem vytvořil průnik.



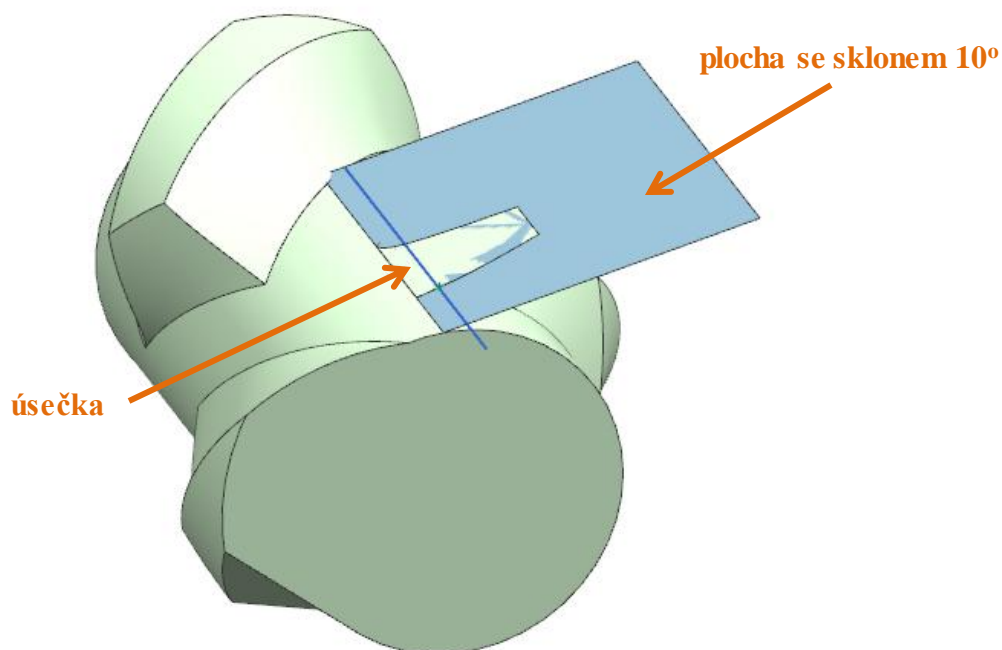
Obrázek 84 geometrie korekční plochy nogu 3 - část 1

Dále jsem použil třetí pomocnou plochu – ořezovou plochu nogu 3 a vytvořil průnik s již vzniklým průnikem. Výsledkem je bod, kterým jsem vedl dostatečně dlouhou úsečku rovnoběžnou s osou šneku.



Obrázek 85 geometrie korekční plochy nogu 3 - část 2

Z této úsečky jsem vytvořil plochu s odklonem 10° k ploše válce šneku. Tato plocha tvoří již samotnou korekční plochu nogu 3.

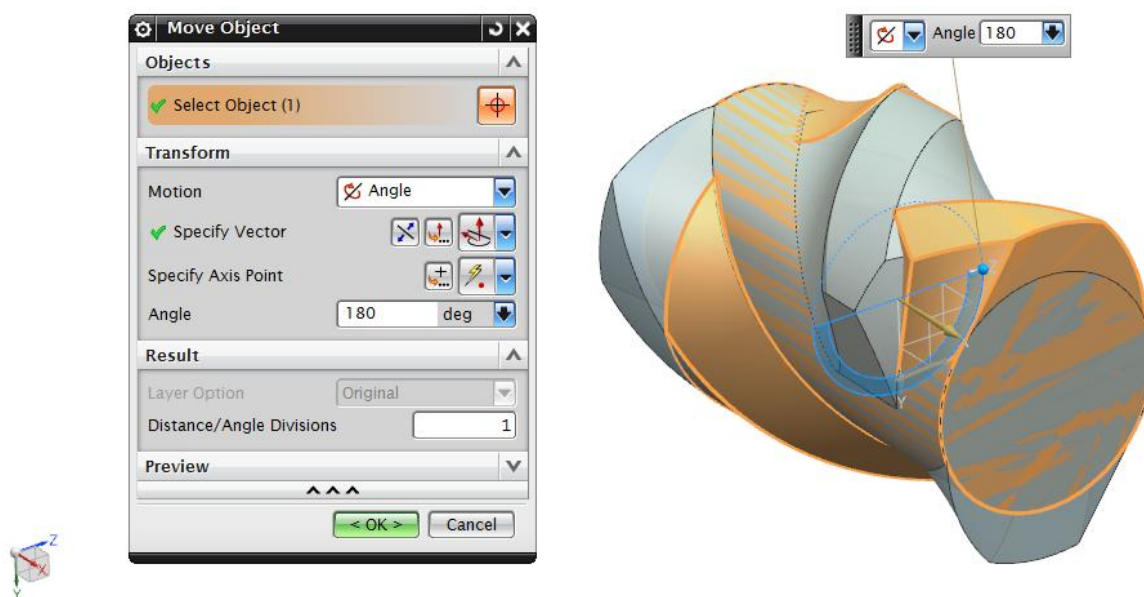


Obrázek 86 výsledná korekční plocha nogu 3

8.3 Pozice 2. rotoru

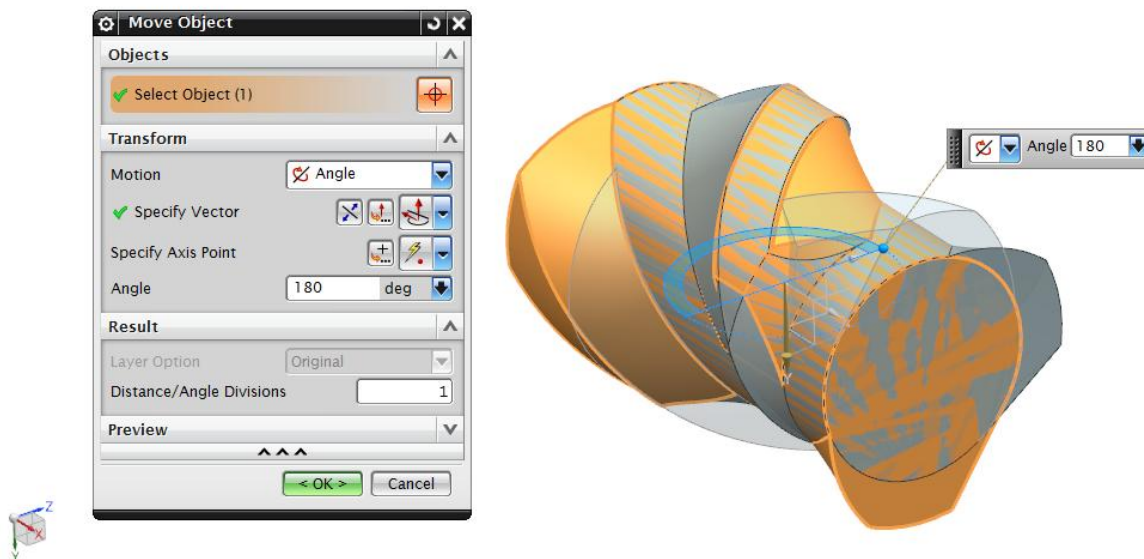
Rotory jsou umístěny v komoře tak, že poloha prvního rotoru je vůči druhému rotoru definována pomocí 4 pohybů (2 rotace a 2 posuvy). Správná parametrizace těchto pohybů je velice důležitá pro stanovení konečných kolizí rotorů při chodu.

8.3.1 Otočení o 180° vzhledem k axiální ose (osa x)



Obrázek 87 otočení šneku o 180° okolo jeho podélné osy

8.3.2 Otočení o 180° vzhledem k ose y

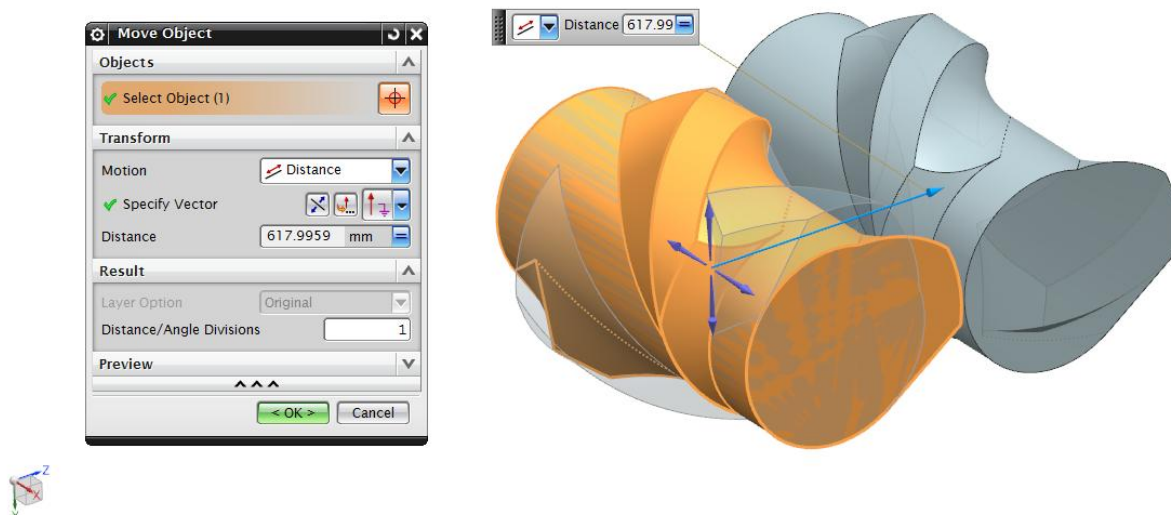


Obrázek 88 otočení šneku podél vertikální osy (zde osa y)

8.3.3 Posunutí o hodnotu rozteče ve směru z

Tento posun je již parametrizován z důvodů rozdílných průměrů válců rotorů jednotlivých velikostí. Výpočet posunutí vychází z výrazu:

$$VZDAL..SNEKU = \frac{VNEJSI_PLOCHA_SNEKU}{2} + MEZERA + \frac{PRUMER_VALCE_SNEKU}{2}$$



Obrázek 89 posunutí šneku o hodnotu rozteče

8.3.4 Přesazení rotoru ve směru x

Pozice rotorů v ose x není totožná, rotory jsou vůči sobě přesazeny o určitou vzdálenost, která vychází z velikosti průměru šneku. Tento posuv jsem parametrizoval pomocí podmínkové rozhodovací funkce, kdy pro určité rozsahy velikostí šneků volím rozdílná odsazení.

Tabulka 8 hodnoty parametru podmínkové funkce ax. přesazení

Ø vnější plochy šneku [mm]	<500	<600	<700	>850
hodnota parametru [mm]	0,4	1	1	1,1

Podmínkový výraz má tvar:

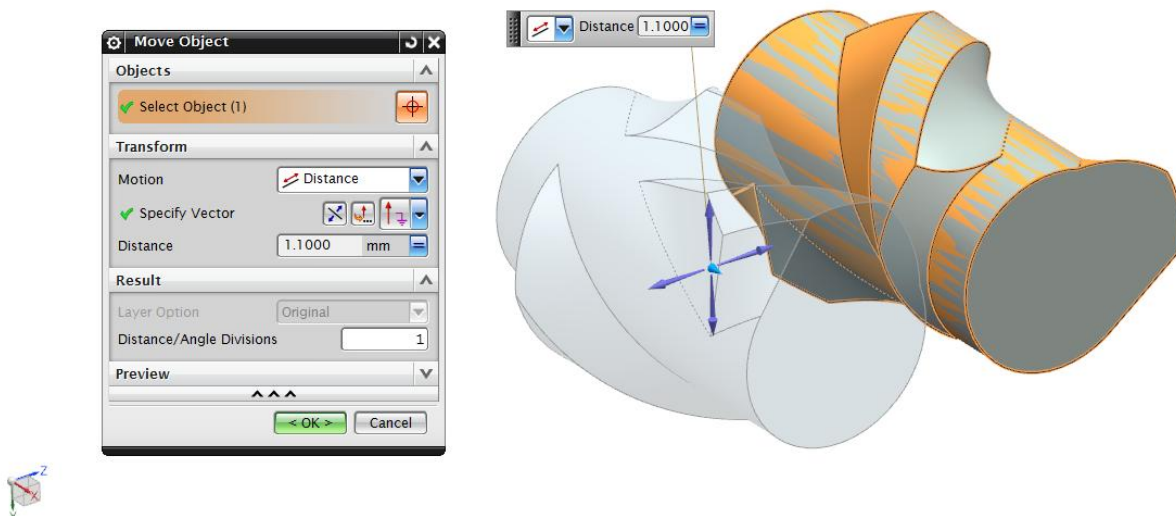
```
if(VNEJSI_PLOCHA_SNEKU<500)0.4
```

```
else(if(VNEJSI_PLOCHA_SNEKU>=500&VNEJSI_PLOCHA_SNEKU<600)1
```

```
else(if(VNEJSI_PLOCHA_SNEKU>=600&VNEJSI_PLOCHA_SNEKU<700)1
```

```
else(1.1)))
```

Zápis funkce jsem koncipoval tak, že pro daný rozsah velikostí průměrů vnějšího pláště šneku se přiřadí definovaná hodnota.



Obrázek 90 přesazení šneku v axiálním směru

8.4 Konstrukce komory

Konstrukce komory obsahuje tři hlavní celky:

- konstrukce komory
- konstrukce bočnic
- konstrukce prostoru klátů

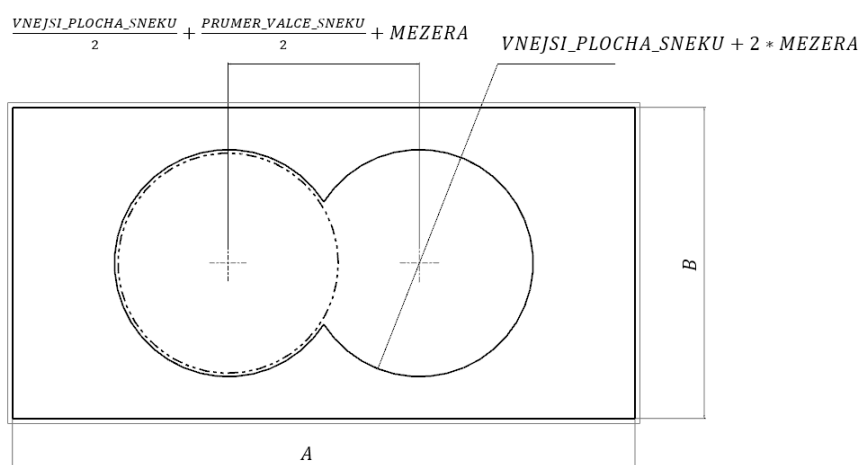
Velikost komory je plně závislá na velikosti šneku. Z tohoto důvodu je nutné, aby výrazy, které jsou použity k tvorbě konstrukční geometrie, vycházely z výrazů použitých ke konstrukci šneku. Jednotlivé rozměry skici definujeme 4 hlavními parametry popsány v

kapitole 8.2.1 *Úvod do hlavních celků konstrukce šneku*. Tyto výrazy se do modelu načítají pomocí funkce *Product Interface*, která umožňuje načítání prvků (2D, 3D prvků, konstrukčních geometrií, apod.), pokud je nahrán model, ze kterého se prvky načítají. Výsledná 3D data jsou uložena v sestavě, která při otevírání načte všechna data potřebná k aktualizaci hodnot.

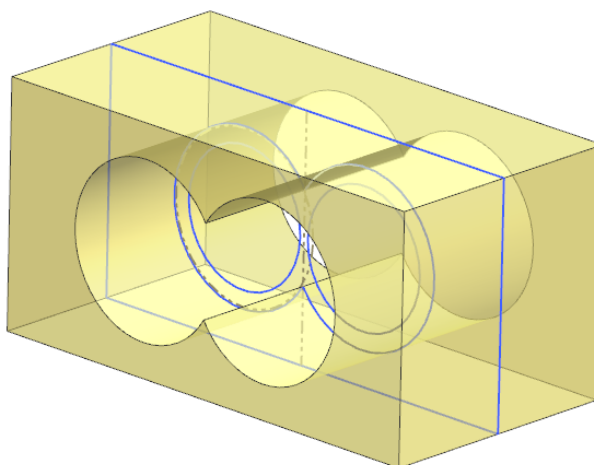
Je třeba si uvědomit, že výsledný model komory není určen k výrobě, ale pouze jako zdroj geometrií pro další CAD modelování.

8.4.1 Konstrukce komory

Komora vzniká jednoduchým vytažením objemu ze skici. Na obrázku 91 lze tuto skicu vidět zakreslenou zjednodušeně. Vnější rozměry (A , B) nejsou v tomto případě vůbec důležité, proto jejich rozměr lze vztáhnout k průměru, či délce komory tak, aby vznikl objem.



Obrázek 91 zjednodušená skica komory



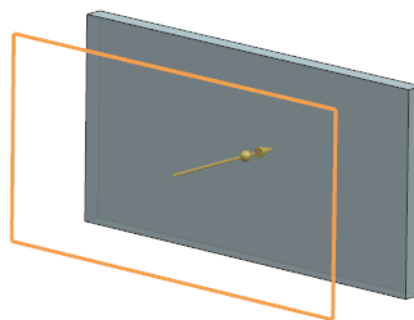
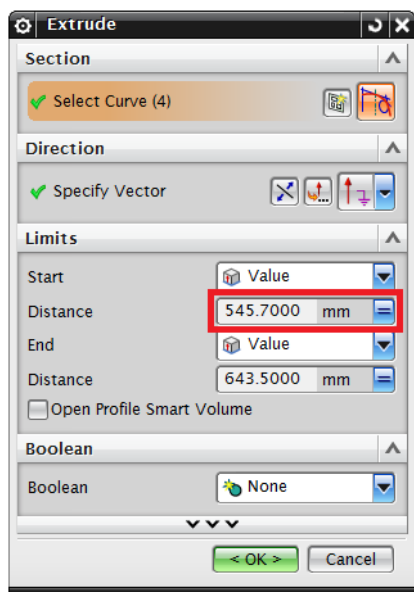
Obrázek 92 znázornění konstrukce komory

8.4.2 Konstrukce bočnic

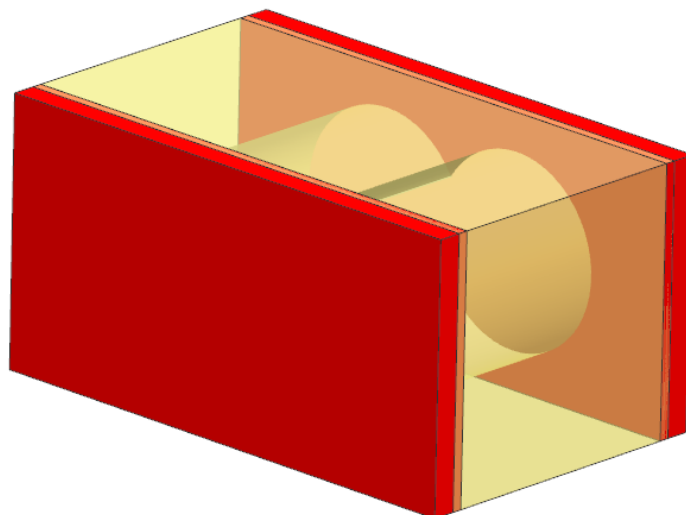
Bočnice definují délkový rozměr komory. Na jejich tvorbu jsem použil vnější strany obdélníku z předešlé skici. V tomto případě je důležité určit hloubku vytažení bočnice. Na obrázku 93 je červeně označen parametr, který definuje vnitřní plochu bočnice komory. Tato hodnota je určena výrazem:

$$\frac{SKUTEČNA_DELKA_SNEKU}{2} + a_x$$

Hodnota a_x je podmínková funkce z kapitoly 8.3.4, která určuje velikost axiálního přesazení.

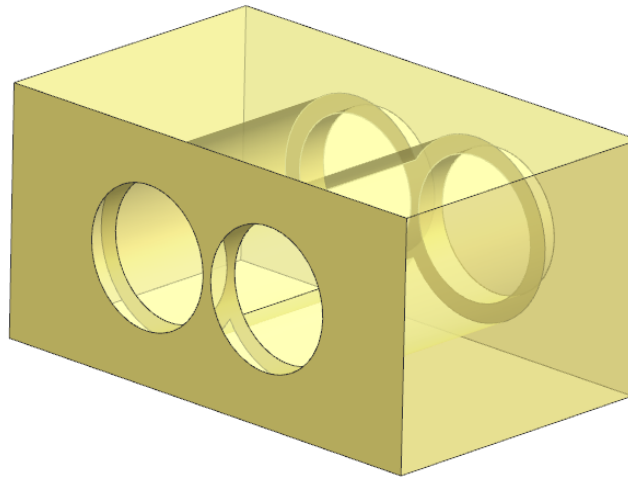


Obrázek 93 definice parametrů bočnic



Obrázek 94 znázornění konstrukce bočnic komory

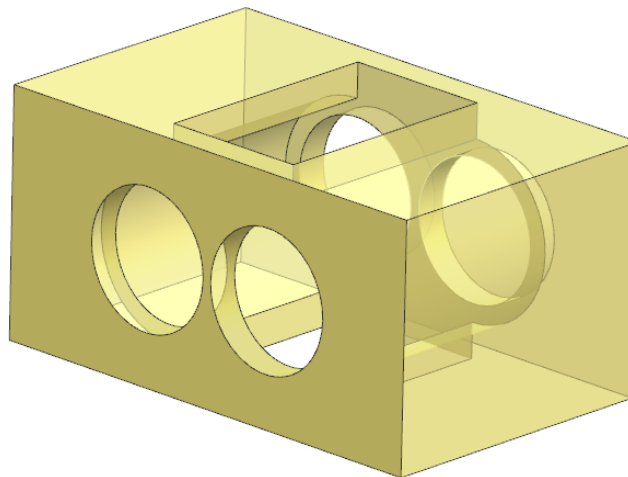
Otvory komory není nutné konstruovat. Zde jsem je vytvořil pouze z důvodu vyšší transparentnosti a orientace v modelu.



Obrázek 95 znázornění konstrukce otvorů pro rotory

8.4.3 Konstrukce prostoru klátů

Horní i spodní otvor pro klát je rozměrově identický. Provozní vůle jsem v modelu neuvažoval. Rozměry otvoru jsou identické s rozměry klátu. Velikost výřezu nemá na zbylou konstrukci ani dopočet objemu vliv a v případě potřeby jej lze libovolně upravit. Aby se ale velikost výřezu měnila kontinuálně s velikostí modelu, použil jsem pro obdélníkový výřez hodnoty rozteče šneků a hloubku bočnic (výřez je přes celou vnitřní délku komory).



Obrázek 96 konstrukce prostoru pro klátu

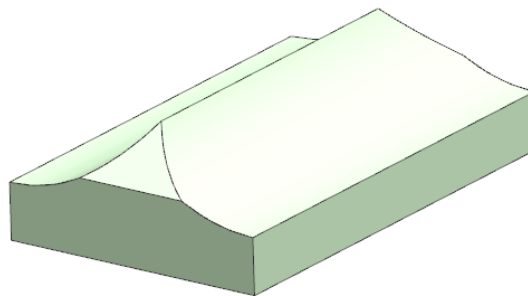
8.5 Konstrukce klátů komory

Konstrukce klátů je z celé konstrukce nejjednodušší. Jejich výpočtová náročnost je oproti tomu největší. Kláty komory jsou jedinou částí komory, kde je možné korigovat čistý výsledný objem. Proto se jimi řídí zpětně celý návrh šneku i komory. Zjednodušeně řečeno,

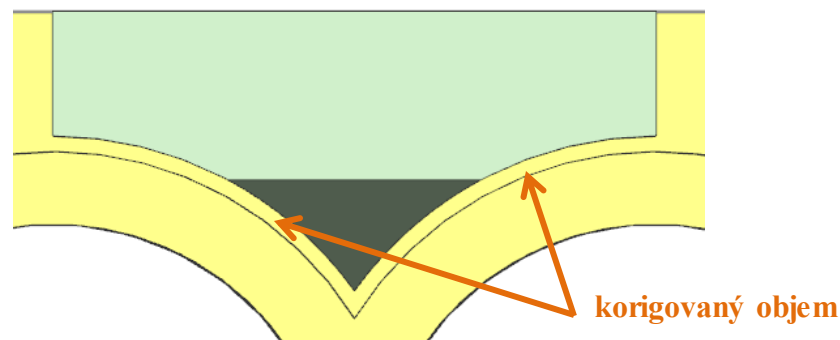
konstrukce komory a šneku bez výpočtu klátů je možná, ale s odlišným výsledným objemem. Z tohoto důvodu jsou rozměrové hodnoty dopočítávány po návrhu šneku a komory, přičemž návrh komory a šneku je ovlivněn volbou typu objemových korekcí na jednotlivých klátech.

8.5.1 Konstrukce horního klátu komory

Konstrukce horního klátu obsahuje závislé parametry z modelu šneku a použity jsou také externí reference pro poloměr a polohu korekční kružnice. Tyto hodnoty model získává z řídicí tabulky, obsahující algoritmus. Tuto tabulku je nutné před samotným generováním sestavy vyplnit.



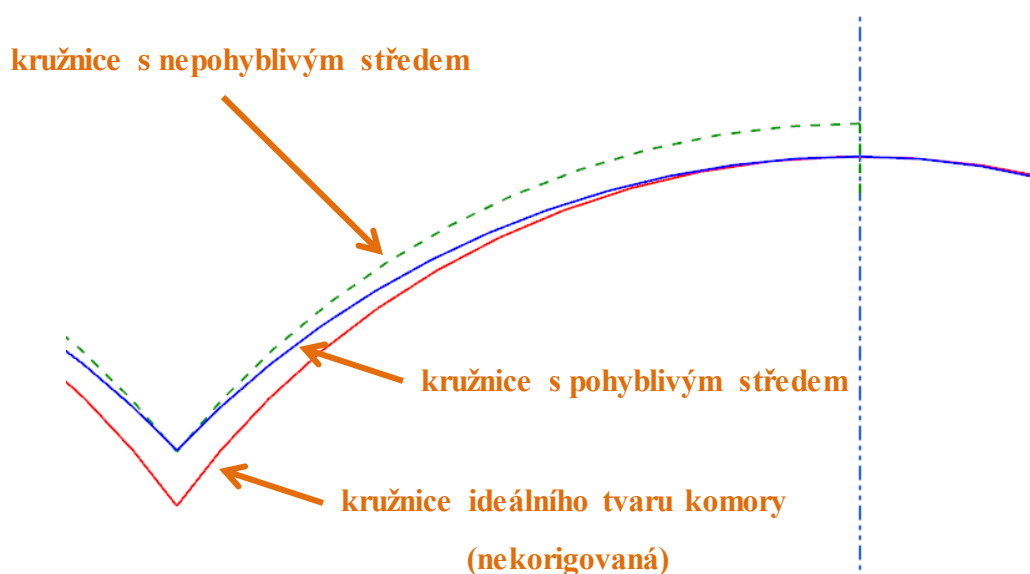
Obrázek 97 horní klát komory



Obrázek 98 znázornění změny objemu horního klátu

Tvar horního klátu je možné korigovat mnoha způsoby. Způsob, který se v současné době využívá ve společnosti Buzuluk, je korekce korekční kružnicí, jejíž střed se neposouvá, pouze se zvětšuje její poloměr. Vzniká tak v přechodu mezi tvarem komory a tvarem klátu výrazný schod.

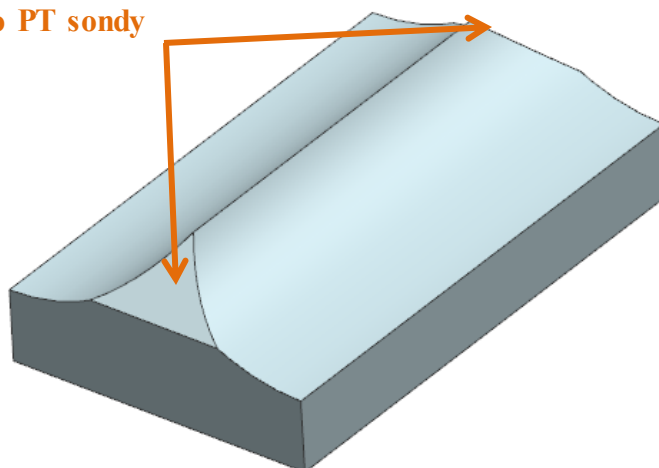
Dalším způsobem, jak změnit objem komory, je korekce kružnicí s pohyblivým středem. Tato kružnice se v hranici přechodu mezi klátem a komorou plynule napojuje na tvar komory. V místě přechodu tedy nevzniká schod.



Obrázek 99 variace korigování horního klátu

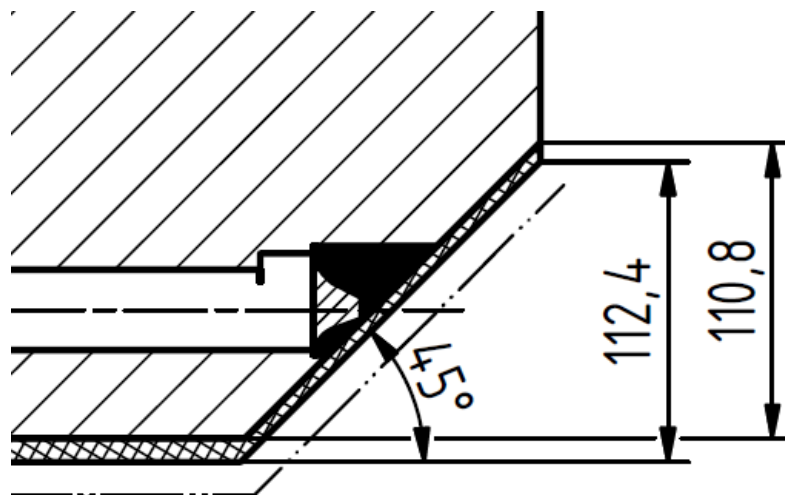
V krajních místech horního klátu jsou vytvořeny úkosy pro umístění PT sond, které se šroubují do bočnic. Tyto úkosy je nutné definovat v závislosti na délce šneku.

45° úkosy pro PT sondy



Obrázek 100 úkosy pro umístění PT sond

Jako vstupní data pro tvorbu úkosů horního klátu byla společností Buzuluk poskytnuta výkresová dokumentace horních klátů variant hnětiče 03737, 03888 a 03889.

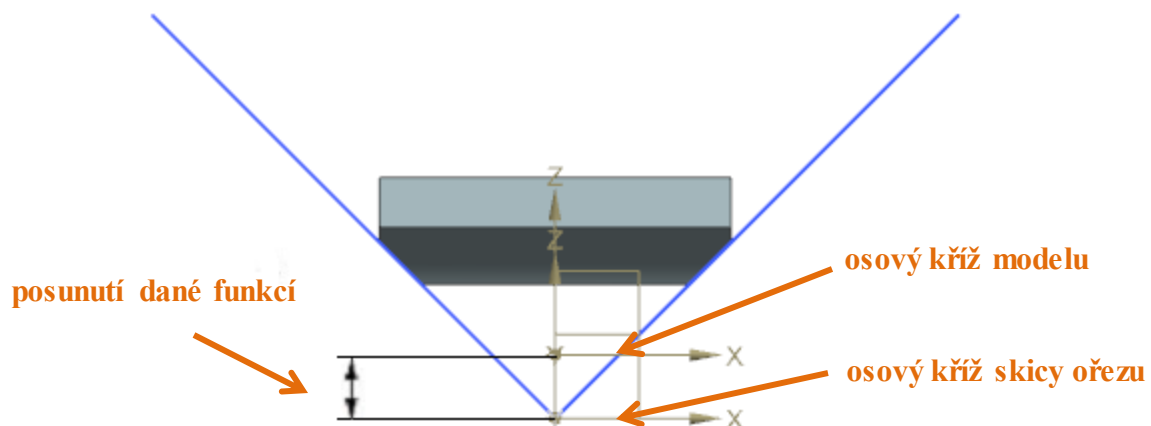


Obrázek 101 výřez výkresu horního klátu - rozměry úkosu [41]

Konstrukci úkosů jsem vytvořil pomocí ořezové skici, jejíž pozici osového kříže jsem definoval lineární funkcí:

$$y = -0.2941 * x + 97.647$$

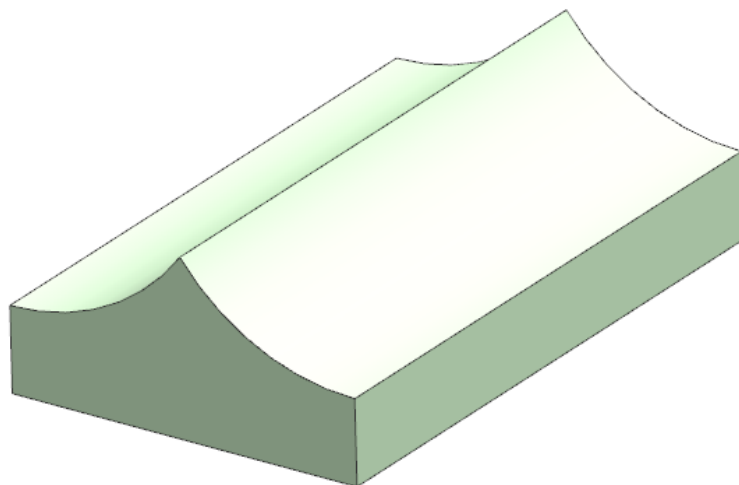
Kde y je velikost posunutí podle obrázku 102 a x představuje délku šneku. Tato funkce byla získána vynesemím získaných dat do grafu v programu MS Excel a proložením přímkou.



Obrázek 102 princip parametrického ořezu úkosů horního klátu

8.5.2 Konstrukce spodního klátu komory

Konstrukce spodního klátu komory je u obou variant korekcí horního klátu shodná. V obou případech jsem spodní klát korigoval kružnicí s pohyblivým středem. PT sonda je na rozdíl od horního klátu umístěna ve špičce, proto není nutné klát korigovat bočními ořezy, jako v případě horního klátu. Pro vytvoření dostatečného prostoru pro PT sondu je potřeba korigovat spodní klát vždy minimálně o vzdálenost, o kterou má tato sonda přecházet, navýšenou o nutný odstup od obou šneků při rotaci.



Obrázek 103 spodní klát

9 Dopočet objemu komory

9.1 Princip dopočtu objemu

Dopočet objemu komory slouží k ideální volbě rozměru celé komory tak, aby se vypočtená hodnota čistého objemu komory co nejvíce přiblížila hodnotě reálné. Vždy je potřeba počítat s tím, že teoretická hodnota vykazuje určité odchylky od skutečnosti. V rámci potřeb provozu těchto zařízení, je tato odchylka ale zcela zanedbatelná. Dopočtem objemu komory, který se provádí také z důvodu vytvoření funkčních ploch pro různé sondy umístěné v komoře, se snažím dosáhnout co možná nejmenší odchylky od požadovaného objemu.

9.2 Výpočet obsahu obecného průřezu komory

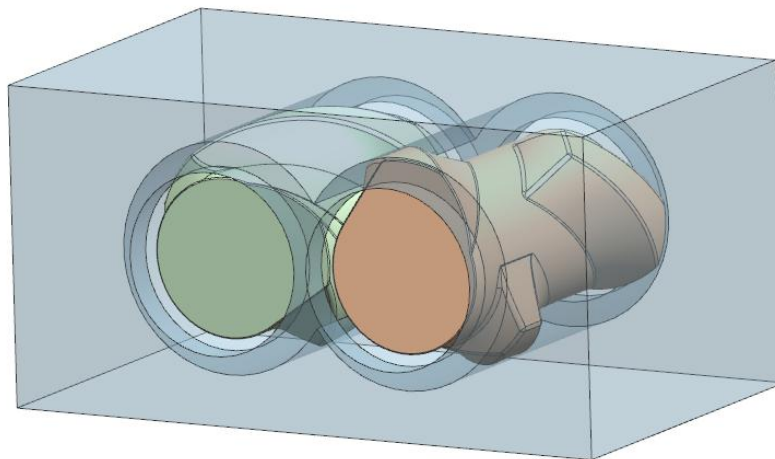
Princip dopočtu objemu v oblasti klátů vychází z obecného výpočtu obsahu průřezu komory a výpočtu obsahu ideálního tvaru komory, který je jen speciální případ výpočtu obecného.

Při stanovené hodnotě délky šneku, která určuje ostatní rozměry šneku i komory lze objem komory navyšovat pouze v oblasti klátů, jejichž tvar lze korigovat pouze ubíráním materiálu. Pokud jsem znal hodnotu čistého objemu komory, musel jsem stanovit, o kolik lze objem komory navýšit tak, abych dosáhl objemu požadovaného. Velikost objemu, který v komoře zaujmají oba šneky, se nemění. Korigovat lze jen objem samotné komory:

$$V_{komora} = S_{komora} * l_{komora}$$

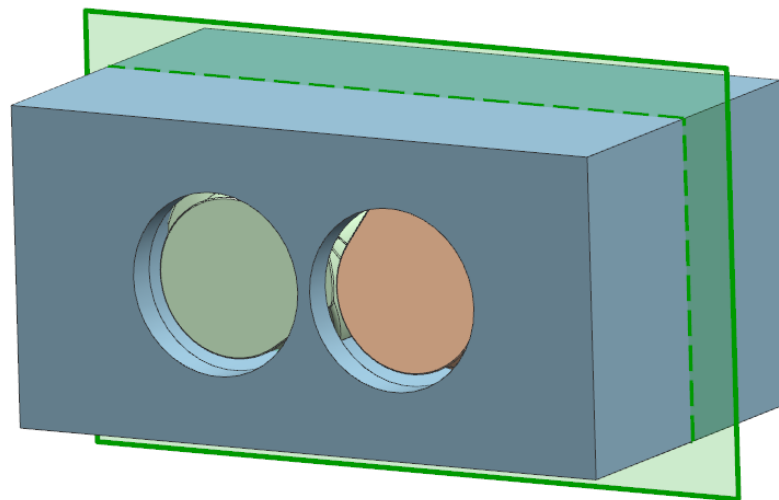
Délka komory je vztažena k dané délce šneku. Dále jsem se věnoval hledání vhodného obsahu průřezu komory.

Uvažoval jsem komoru se šneky podle obrázku 104.



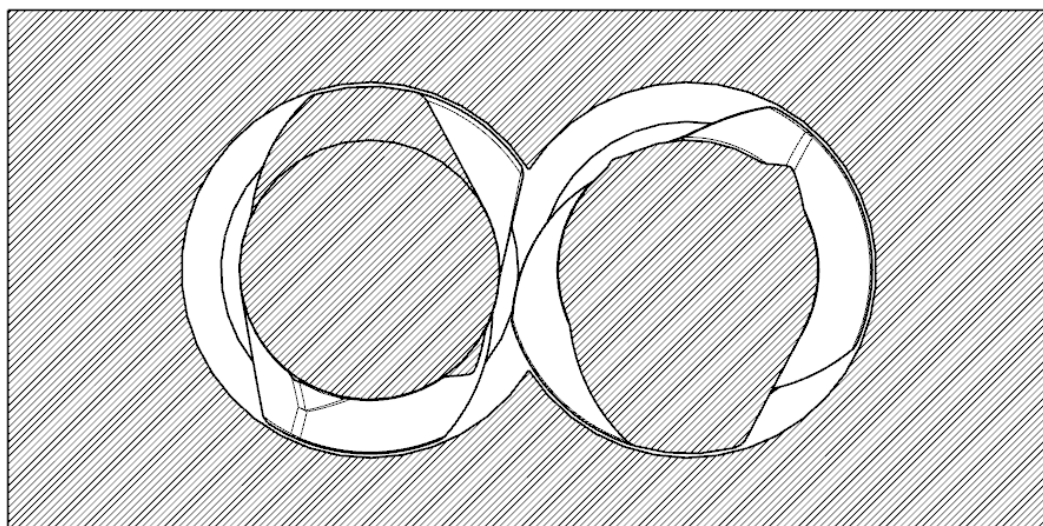
Obrázek 104 pohled na komoru se šneky

Komoru jsem rozřízl středovou rovinou podle obrázku 105.



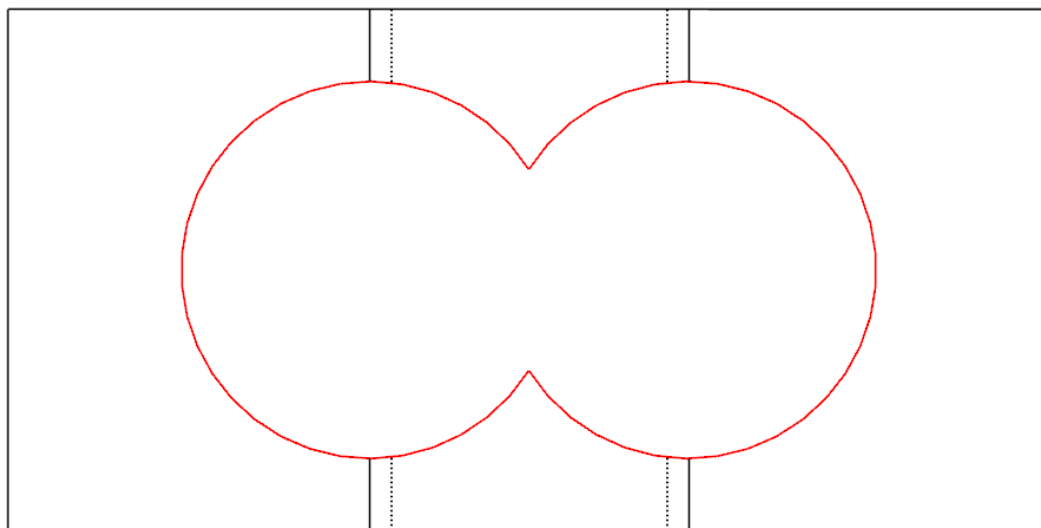
Obrázek 105 rovina řezu komory

Po rozříznutí komory se šneky jsem dostal tuto plochu řezu.



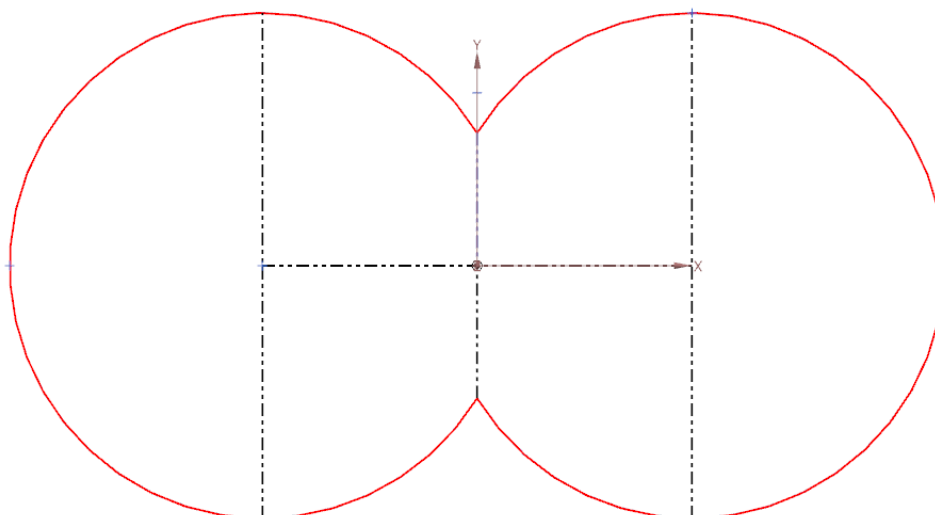
Obrázek 106 řez komorou

Postupným zjednodušováním jsem dostal geometrii vnitřní plochy komory v řezu (viz obrázek 107). V horní a spodní části jsem označil umístění klátu pro vstup a výstup surovin.



Obrázek 107 znázornění pozice klátů

Červeně naznačenou plochu jsem rozdělil podle obrázku 108 na 6 částí, z toho 4 a 2 jsou obsahově shodné.

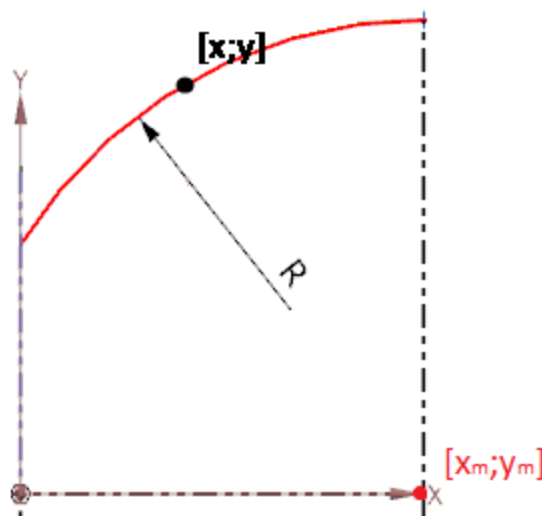


Obrázek 108 rozdělení plochy komory do podoblastí

Krajní shodné plochy tvoří dohromady kruh, jehož obsah jsem vyjádřil podle rovnice:

$$S_{kruh} = \pi * R^2$$

Při výpočtu obsahu čtyř shodných ploch jsem uvažoval pouze plochu I. kvadrantu. K dalšímu postupu jsem si zavedl dvoudimenzionální kartézský souřadný systém s počátkem v průsečíku os symetrie vnitřní plochy komory a vytkl jednu část ze zbylých čtyř ploch.

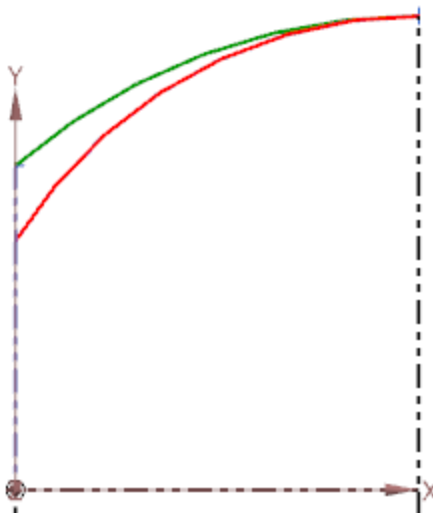


Obrázek 109 plocha pod polovinou jednoho klátu

Plocha je shora ohraničená kružnicí, jejíž rovnici lze zapsat jako:

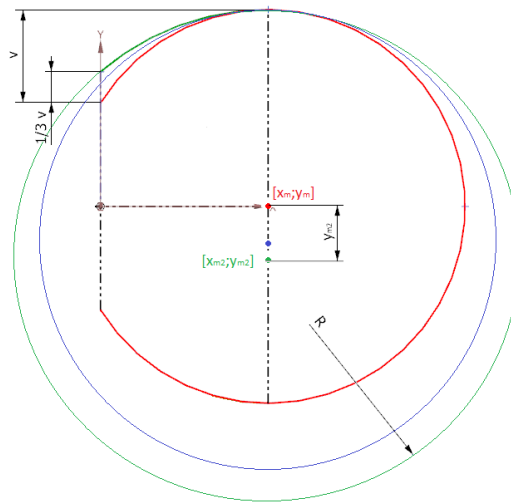
$$R^2 = (x - x_m)^2 + (y - y_m)^2$$

Dále jsem zakreslil do náčrtu maximální korekci tvaru klátu (zelené barvy). Plocha je po korekci omezená zelenou křivkou, která je tvořena také kružnicí s odlišným poloměrem a odlišnou polohou středu.



Obrázek 110 porovnání korekčních kružnicí ideální a maximálně korigované komory

Pro tento případ je potřeba stanovit okrajové podmínky pro velikost poloměru a posunutí této kružnice. Průsečík korekční kružnice a osy y se v oblasti klátů posouvá směrem od počátku až do bodu, který je stanoven jako $\frac{1}{3}$ vzdálenosti v podle obrázku 111.



Obrázek 111 ideální (červená kružnice), obecný (modrá kružnice) a maximální (zelená kružnice) tvar komory

Tuto hodnotu jsem stanovil jako okrajovou podmínku tak, aby nedošlo ke vzniku příliš velkého prostoru pod horním klátem. Pokud by klát zasahoval málo do komory, mohl by v tomto místě zůstat materiál, který by se pouze otáčel, ale již dále nepromíchával.

Na obrázku 111 je dále zakreslen ideální tvar klátu (červeně), obecný tvar klátu (modře) a maximální tvar klátu (zeleně). Pro tyto stavy budeme dále používat následující indexaci:

- (bez indexu)ideální tvar komory

1obecný tvar komory (korigovaný)

2maximální tvar komory (korigovaný)

Obsah obecné plochy S_{pv1} (pv - prostor víka) pod touto čarou lze potom spočítat pomocí integrálního počtu. Nejdříve jsem pro tento účel vyjádřil, z rovnice ze strany 68, závislou hodnotu y_1 jako funkci. Obsah plochy jsem spočítal jako integrál funkce y_1 podle dx_1 .

$$y_1 = \sqrt{R_1^2 - (x_1 - x_{m1})^2} + y_{m1}$$

$$S_{pv1} = \int_0^{\frac{p}{2}} \left(\sqrt{R_1^2 - (x_1 - x_{m1})^2} + y_{m1} \right) dx_1$$

V tomto případě mi byl znám pouze výraz x_m . Neznámými hodnotami potom byly výrazy R_1 a y_m – hledaná hodnota posunutí. Výraz R_1 lze vyjádřit součtem velikosti posunutí a poloměru kružnice ideálního tvaru komory.

$$R_1 = R + |y_{m1}|$$

Jelikož hodnota y_{m1} nabývá pouze záporných hodnot, lze zapsat výraz rovnicí:

$$R_1 = R - y_{m1}$$

Tuto rovnici jsem dosadil do integrálu,

$$S_{pv1} = \int_0^{\frac{p}{2}} \left(\sqrt{(R - y_{m1})^2 - (x_1 - x_{m1})^2} + y_{m1} \right) dx_1$$

a integrál rozdělil na dva:

$$S_{pv1} = \int_0^{\frac{p}{2}} \sqrt{(R - y_{m1})^2 - (x_1 - x_{m1})^2} dx_1 + \int_0^{\frac{p}{2}} y_{m1} dx_1$$

Y – ová souřadnice středu kružnice se posouvá po přímce v konstantní vzdálenosti od počátku. Do rovnice jsem mohl dosadit x – ovou souřadnici polohy středu $x_{m1} = \frac{p}{2}$.

$$S_{pv1} = \int_0^{\frac{p}{2}} \sqrt{(R - y_{m1})^2 - \left(x_1 - \frac{p}{2}\right)^2} dx_1 + \int_0^{\frac{p}{2}} y_{m1} dx_1$$

Integrál s odmocninou jsem řešil pomocí nepřímé substituce. Zavedl jsem substituci podle předpisu $\sqrt{(R - y_{m1})^2 - \left(x_1 - \frac{p}{2}\right)^2} = \sqrt{A^2 - B^2}$. Tento předpis předpokládá, že výraz $A > 0 \Rightarrow (R - y_{m1}) > 0$. Hodnota výrazu y_{m1} je vždy záporná, takže podmínka je splněna.

$$\left(x_1 - \frac{p}{2}\right) = (R - y_{m1}) * \sin(t)$$

$$x_1 = [(R - y_{m1}) * \sin(t)] + \frac{p}{2}$$

$$dx_1 = (R - y_{m1}) * \cos(t) dt$$

Pro definování mezí jsem vyjádřil z rovnice $\left(x_1 - \frac{p}{2}\right) = (R - y_{m1}) * \sin(t)$ výraz t , do kterého jsem dosadil původní meze intervalu – horní mez $\frac{p}{2}$ a dolní mez 0:

$$t = \arcsin \frac{\left(x_1 - \frac{p}{2}\right)}{(R - y_{m1})}$$

Pro horní mez platí: $t = 0$

Pro dolní mez platí: $t = \arcsin \frac{\left(-\frac{p}{2}\right)}{(R - y_{m1})}$

Dále jsem dosadil do integrálu:

$$S_{pv1} = \int_{\arcsin \frac{\left(-\frac{p}{2}\right)}{(R - y_{m1})}}^0 \sqrt{(R - y_{m1})^2 - \left((R - y_{m1}) * \sin(t)\right)^2} * (R - y_{m1}) * \cos(t) dt +$$

$$\int_0^{\frac{p}{2}} y_{m1} dx_1 = \int_{\arcsin \frac{\left(-\frac{p}{2}\right)}{(R - y_{m1})}}^0 \sqrt{(R - y_{m1})^2 - (R - y_{m1})^2 * \sin^2(t)} * (R - y_{m1}) *$$

$$\cos(t) dt + \int_0^{\frac{p}{2}} y_{m1} dx_1 = \int_{\arcsin \frac{\left(-\frac{p}{2}\right)}{(R - y_{m1})}}^0 \sqrt{(R - y_{m1})^2 * (1 - \sin^2(t))} * (R - y_{m1}) *$$

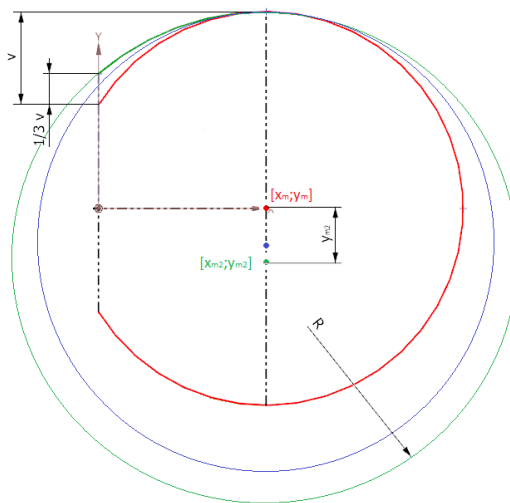
$$\cos(t) dt + \int_0^{\frac{p}{2}} y_{m1} dx_1 = \int_{\arcsin \frac{\left(-\frac{p}{2}\right)}{(R - y_{m1})}}^0 \sqrt{(R - y_{m1})^2 * \cos^2(t)} * (R - y_{m1}) * \cos(t) dt +$$

$$\int_0^{\frac{p}{2}} y_{m1} dx_1 = \int_{\arcsin\left(\frac{(-\frac{p}{2})}{(R-y_{m1})}\right)}^0 (R-y_{m1})^2 * \cos^2(t) dt + \int_0^{\frac{p}{2}} y_{m1} dx_1 = (R-y_{m1})^2 * \int_{\arcsin\left(\frac{(-\frac{p}{2})}{(R-y_{m1})}\right)}^0 \cos^2(t) dt + \int_0^{\frac{p}{2}} y_{m1} dx_1 = (R-y_{m1})^2 * \left[\frac{\cos(t)*\sin(t)}{2} + \frac{1}{2} * t \right]_{\arcsin\left(\frac{(-\frac{p}{2})}{(R-y_{m1})}\right)}^0 + [y_{m1} * x_1]_0^{\frac{p}{2}} = -(R-y_{m1})^2 * \frac{\cos\left(\arcsin\left(\frac{(-\frac{p}{2})}{(R-y_{m1})}\right)\right) * \sin\left(\arcsin\left(\frac{(-\frac{p}{2})}{(R-y_{m1})}\right)\right)}{2} + \frac{1}{2} * \arcsin\left(\frac{(-\frac{p}{2})}{(R-y_{m1})}\right) + y_{m1} * \frac{p}{2}$$

Obecná rovnice plochy pod křivkou má tvar:

$$S_{pv1} = -(R-y_{m1})^2 * \frac{\cos\left(\arcsin\left(\frac{(-\frac{p}{2})}{(R-y_{m1})}\right)\right) * \sin\left(\arcsin\left(\frac{(-\frac{p}{2})}{(R-y_{m1})}\right)\right)}{2} + \frac{1}{2} * \arcsin\left(\frac{(-\frac{p}{2})}{(R-y_{m1})}\right) + y_{m1} * \frac{p}{2}$$

Tato obecná rovnice je použitelná pro dopočet jakéhokoliv kružnicového tvaru klátů, jehož x – ová souřadnice středu kružnice se pohybuje v konstantní vzdálenosti od počátku souřadnicového systému.

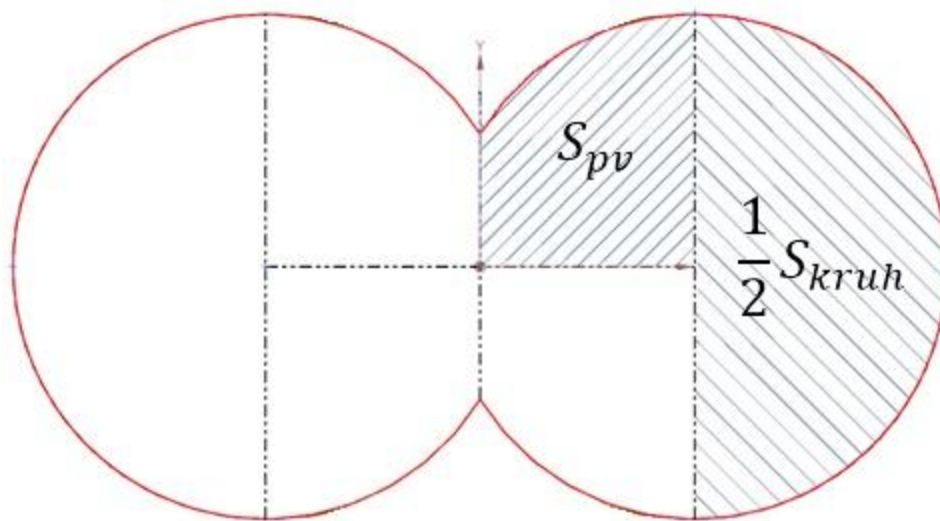


Obrázek 112 ideální (červená kružnice), obecný (modrá kružnice) a maximální (zelená kružnice) tvar komory

V této rovnici neznáme pouze hledanou hodnotu y_{m1} . Hodnota výrazu y_{m1} nabývá hodnot z intervalu $\langle 0; y_{m2} \rangle$.

9.3 Výpočet obsahu ideálního průřezu komory

Ideální tvar komory lze vidět na obrázku 113.. Obsah plochy průřezu komory jsem rozdělil na 4 stejné obsahy pod křivkou klátu a 2 stejné polokruhy, které dohromady tvoří kruh.



Obrázek 113 přehled celků obsahu průřezu komory

Pro výpočet obsahu ideálního průřezu komory jsem použil obecnou rovnici pro výpočet plochy pod křivkou v oblasti klátů. Celkový obsah plochy omezený červenou hranicí je dán součtem obsahů dílčích ploch.

$$S_{komora} = 4 * S_{pv} + S_{kruh}$$

Obsah krajních ploch komory jsem vypočetl pomocí vzorce pro výpočet obsahu kruhu.

$$S_{kruh} = \pi * R^2$$

Pro výpočet ploch pod klátý jsem použil obecný tvar rovnice odvozený výše:

$$S_{pv1} = -(R - y_{m1})^2 * \frac{\cos\left(\arcsin\frac{\left(-\frac{p}{2}\right)}{(R-y_{m1})}\right) * \sin\left(\arcsin\frac{\left(-\frac{p}{2}\right)}{(R-y_{m1})}\right)}{2} + \frac{1}{2} * \arcsin\frac{\left(-\frac{p}{2}\right)}{(R - y_{m1})} + y_{m1} * \frac{p}{2}$$

Jako vstupy rovnice jsem použil:

$$R = MEZERA + \frac{VNEJSI_PLOCHA_SNEKU}{2}$$

$$y_{m1} = y_m = 0$$

$$p = MEZERA + \frac{VNEJSI_PLOCHA_SNEKU}{2} + \frac{PRUMER_VALCE_SNEKU}{2}$$

Obsah plochy ideálního průřezu je po dosazení a zjednodušení roven vzorci:

$$S_{komora} = 4 * -(R^2) * \frac{\cos\left(\arcsin\frac{\left(-\frac{p}{2}\right)}{R}\right) * \sin\left(\arcsin\frac{\left(-\frac{p}{2}\right)}{R}\right)}{2} + \frac{1}{2} * \arcsin\frac{\left(-\frac{p}{2}\right)}{R} + \pi * R^2$$

9.4 Výpočet obsahu maximálního průřezu komory

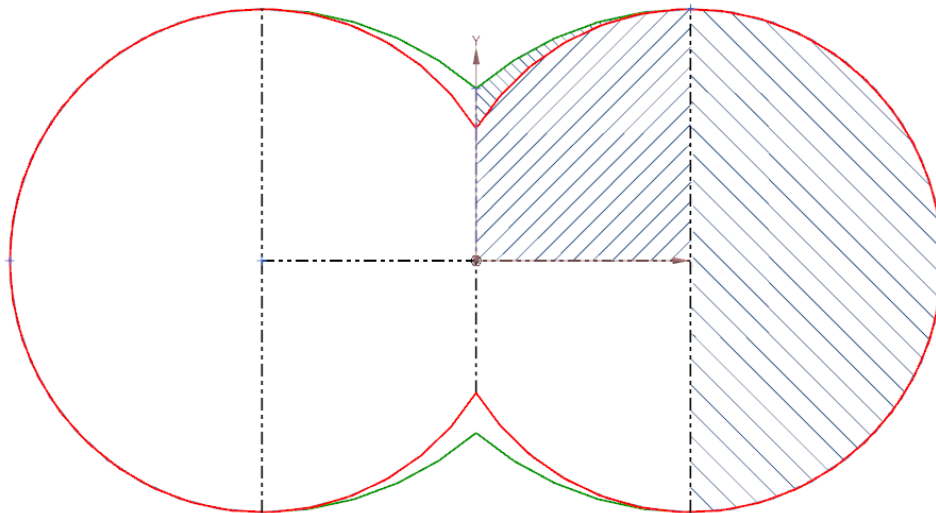
Výpočet maximálního průřezu komory je podobný s výpočtem obsahu průřezu ideálního tvaru komory. Výpočet vychází ze stejného vzorce jako v případě ideálního tvaru komory. Celkový obsah plochy je dán součtem obsahů dílčích ploch.

$$S_{komora2} = 4 * S_{pv2} + S_{kruh}$$

(Ve skutečnosti je dopočet horního i spodního klátu odlišný, proto lze tento výpočet považovat pouze za teoretický.)

Krajní plochy vypočteme vzorcem pro výpočet obsahu kruhu.

$$S_{kruh} = \pi * R^2$$



Obrázek 114 znázornění rozdílu korigované plochy

Pro výpočet ploch pod kláty jsem použil obecný tvar rovnice odvozený výše:

$$S_{pv2} = -(R_2 - y_{m2})^2 * \frac{\cos\left(\arcsin\frac{(-\frac{p}{2})}{(R_2 - y_{m2})}\right) * \sin\left(\arcsin\frac{(-\frac{p}{2})}{(R_2 - y_{m2})}\right)}{2} + \frac{1}{2} * \arcsin\frac{(-\frac{p}{2})}{(R_2 - y_{m2})} + y_{m2} * \frac{p}{2}$$

Jako vstupy rovnice jsem použil:

$R_2 = R + |y_{m2}| = R - y_{m2}$ (uvažovaná hodnota y_{m2} má ve výpočtu zápornou hodnotu)

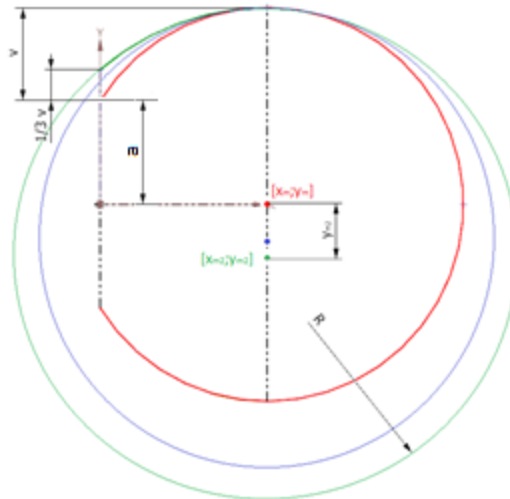
$$p = MEZERA + \frac{VNEJSI_PLOCHA_SNEKU}{2} + \frac{PRUMER_VALCE_SNEKU}{2}$$

Obsah plochy obecného průřezu je po dosazení a zjednodušení roven vzorci:

$$S_{pv2} = -(R - 2 * y_{m2})^2 * \frac{\cos\left(\arcsin\frac{(-\frac{p}{2})}{(R - 2 * y_{m2})}\right) * \sin\left(\arcsin\frac{(-\frac{p}{2})}{(R - 2 * y_{m2})}\right)}{2} + \frac{1}{2} * \arcsin\frac{(-\frac{p}{2})}{(R - 2 * y_{m2})} + y_{m2} * \frac{p}{2}$$

Jak lze vidět na obrázku 115., y – ová souřadnice středu kružnice (zelené barvy) se vždy posouvá na kolmici k horizontále osy x ve vzdálenosti $\frac{p}{2}$ od počátku. Poloměr kružnice je větší. Kružnice se dotýká ideální kružnice komory vždy v horním bodě. Touto podmínkou je zajištěn plynulý přechod mezi tvarem komory a klátem.

Velikost kružnice o maximálním poloměru R_2 je shora omezena maximální hodnotou průsečíku této kružnice s osou y , kterou jsem stanovil jako $\frac{1}{3}$ výrazu v (viz obrázek 115). Tato hodnota není pevně daná – hodnota je zvolena tak, aby se zamezilo posunutí klátu do takové vzdálenosti od obou šneků, že by mohlo dojít ke vzniku prostoru mezi klátem a šnekem. Tento prostor není příliš žádoucí, protože zde může docházet k protáčení směsi mimo prostor šneků – směs se tak v tomto místě nepromíchává, pouze se točí.



Obrázek 115 ideální (červená kružnice), obecný (modrá kružnice) a maximální (zelená kružnice) tvar komory

Výraz y_{m2} lze v případě určení obsahu maximální korigované plochy průřezu určit právě z této podmínky. Výraz y_{m2} jsem vyjádřil z obecné rovnice kružnice.

$$R_2^2 = (x_2 - x_{m2})^2 + (y_2 - y_{m2})^2$$

Kde:

$$R_2 = R + |y_{m2}| = R - y_{m2}$$

$$x_{m2} = \frac{p}{2}$$

Do rovnice jsem dosadil souřadnice bodu zelené kružnice, který popisuje polohu špičky klátu $[x_2; y_2]$.

$$x_2 = 0$$

$$y_2 = a + \frac{1}{3}(R - a) \quad \text{tento výraz lze odvodit z obrázku 115.}$$

Výraz a definuje vzdálenost špičky klátu ideálního tvaru komory od počátku a lze vyjádřit z rovnice kružnice ideálního tvaru klátu komory, který v zápisu odpovídá hodnotě y .

$$R^2 = (x - x_m)^2 + (y - y_m)^2$$

$$R^2 = \left(0 - \frac{p}{2}\right)^2 + (y - 0)^2$$

$$y = a = \sqrt{R^2 - \left(\frac{p}{2}\right)^2}$$

Nyní lze vyjádřit výraz:

$$y_2 = a + \frac{1}{3}(R - a) = \sqrt{R^2 - \left(\frac{p}{2}\right)^2} + \frac{1}{3}\left(R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{p}{2}\right)^2}\right) = \frac{1}{3}R + \frac{2}{3}\sqrt{R^2 - \left(\frac{p}{2}\right)^2}$$

Výraz y_2 s dalšími hodnotami jsem dosadil do obecné rovnice kružnice klátu maximálního obsahu průřezu komory:

$$R_2^2 = (x_2 - x_{m2})^2 + (y_2 - y_{m2})^2$$

$$(R - y_{m2})^2 = \left(0 - \frac{p}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{3}R + \frac{2}{3}\sqrt{R^2 - \left(\frac{p}{2}\right)^2} - y_{m2}\right)^2$$

Po úpravách jsem vyjádřil y_{m2} :

$$y_{m2} = \frac{-R^2 + \left(\frac{p}{2}\right)^2 + \left(\frac{2}{3}\sqrt{R^2 - \left(\frac{p}{2}\right)^2} + \frac{1}{3}R\right)^2}{2R + \frac{4}{3}\sqrt{R^2 - \left(\frac{p}{2}\right)^2} + \frac{2}{3}R}$$

V této chvíli znám všechny hodnoty potřebné k výpočtu maximálního obsahu plochy průřezu komory:

$$S_{pv2} = -(R - 2 * y_{m2})^2 * \frac{\cos\left(\arcsin\frac{\left(\frac{p}{2}\right)}{(R - 2 * y_{m2})}\right) * \sin\left(\arcsin\frac{\left(\frac{p}{2}\right)}{(R - 2 * y_{m2})}\right)}{2} + \frac{1}{2} * \arcsin\frac{\left(\frac{p}{2}\right)}{(R - 2 * y_{m2})} + y_{m2} * \frac{p}{2}$$

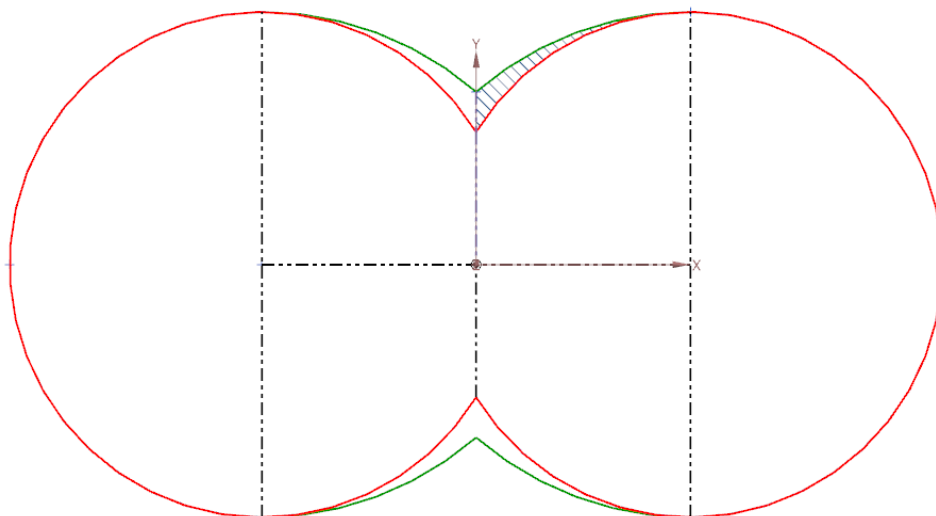
Konečná (nezjednodušená) podoba obecné rovnice pro stanovení maximálního obsahu průřezu komory podle stanovených okrajových podmínek má tvar:

S_{pv2}

$$\begin{aligned}
&= - \left(R - 2 * \frac{-R^2 + \left(\frac{p}{2}\right)^2 + \left(\frac{2}{3}\sqrt{R^2 - \left(\frac{p}{2}\right)^2} + \frac{1}{3}R\right)^2}{2R + \frac{4}{3}\sqrt{R^2 - \left(\frac{p}{2}\right)^2} + \frac{2}{3}R} \right)^2 \\
&\quad \cos \left(\arcsin \frac{\left(-\frac{p}{2}\right)}{\left(R - 2 * \frac{-R^2 + \left(\frac{p}{2}\right)^2 + \left(\frac{2}{3}\sqrt{R^2 - \left(\frac{p}{2}\right)^2} + \frac{1}{3}R\right)^2}{2R + \frac{4}{3}\sqrt{R^2 - \left(\frac{p}{2}\right)^2} + \frac{2}{3}R} \right)} \right) * \sin \left(\arcsin \frac{\left(-\frac{p}{2}\right)}{\left(R - 2 * \frac{-R^2 + \left(\frac{p}{2}\right)^2 + \left(\frac{2}{3}\sqrt{R^2 - \left(\frac{p}{2}\right)^2} + \frac{1}{3}R\right)^2}{2R + \frac{4}{3}\sqrt{R^2 - \left(\frac{p}{2}\right)^2} + \frac{2}{3}R} \right)} \right) \\
&\quad * \frac{1}{2} * \arcsin \frac{\left(-\frac{p}{2}\right)}{\left(R - 2 * \frac{-R^2 + \left(\frac{p}{2}\right)^2 + \left(\frac{2}{3}\sqrt{R^2 - \left(\frac{p}{2}\right)^2} + \frac{1}{3}R\right)^2}{2R + \frac{4}{3}\sqrt{R^2 - \left(\frac{p}{2}\right)^2} + \frac{2}{3}R} \right)} \\
&\quad + \frac{-R^2 + \left(\frac{p}{2}\right)^2 + \left(\frac{2}{3}\sqrt{R^2 - \left(\frac{p}{2}\right)^2} + \frac{1}{3}R\right)^2}{2R + \frac{4}{3}\sqrt{R^2 - \left(\frac{p}{2}\right)^2} + \frac{2}{3}R} * \frac{p}{2}
\end{aligned}$$

9.5 Stanovení obsahu korigované plochy

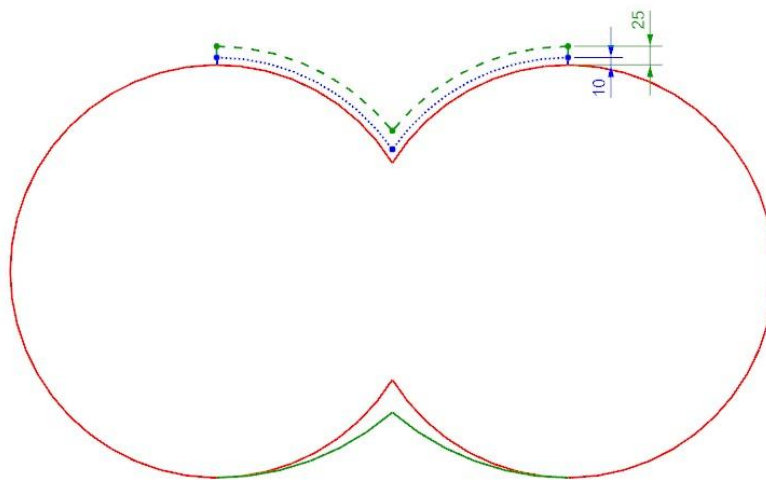
Pokud jsem znal maximální, ideální i obecný obsah průřezu komory vzhledem k jeho délce, mohl jsem odečtením obsahů ideálního a obecného průřezu komory stanovit obsah korigované plochy. Tímto postupem jsem se dostal na korigovaný obsah průřezu komory. Pokud jsem vynásobil tento rozdíl délkou komory, dostal jsem výsledný korigovaný objem. V algoritmu je tento postup využíván opačným způsobem, kdy pomocí hodnoty, o kterou jsem chtěl čistý objem komory navýšit, dopočítávám polohy korekčních kružnic spodního a horního klátu.



Obrázek 116 korigovaný objem

9.6 Variace korigování horního klátu

Horní klát lze také korigovat odlišným způsobem, než bylo doposud uvažováno. Tento přístup se momentálně uplatňuje při návrzích ve společnosti Buzuluk.

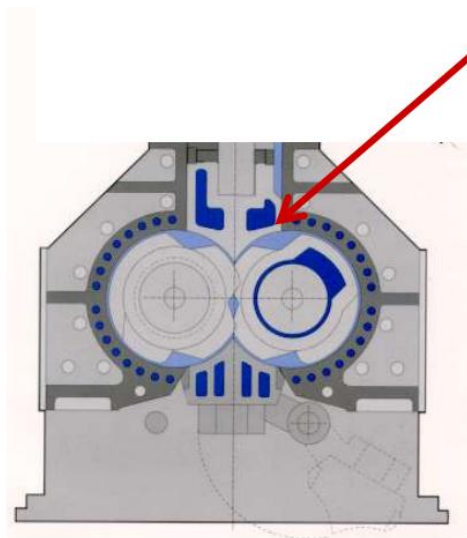


Obrázek 117 variace korekce horního klátu

Současný způsob zvyšování objemu komory se provádí změnou velikosti kružnice tvaru klátu, aniž by došlo k posunutí pozice středu této kružnice. V oblasti přechodu mezi klátem a komorou tak vzniká schod. Podle odměřených hodnot se mění velikost poloměru kružnice klátu v rozmezí 10 – 25 mm. Tento přístup také vykazuje minimální zvětšení kružnice klátu. Tato hodnota na jednotlivých velikostech kolísá a pohybuje se okolo hodnoty 10 mm. Po dohodě ve společnosti Buzuluk se bude uvažovat minimální hodnota tohoto posunutí 10 mm. Toto zvýšení zajišťuje lepší přesouvání materiálu v komoře a také zlepšuje odvětrání.

Přístupy ke korigování klátů komory jsou odlišné. Pro srovnání mohu uvést odlišný případ, kdy americká společnost Farrel-Pomini, uvádí korekci horního klátu pouze u varianty hnětiče s tangenciálními šneky (viz obrázek 118 a obrázek 119Obrázek 118).

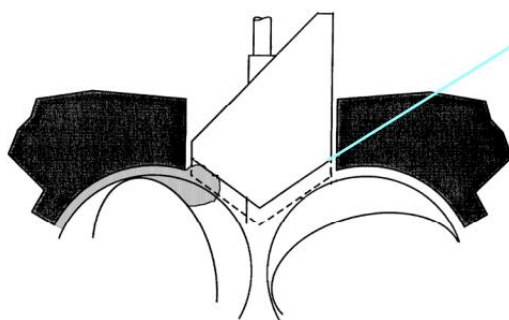
Varianta hnětiče typu intermix



The ram when full down is an extension of the body bore (the bottom becomes a working surface)

Obrázek 118 řešení hnětiče typu intermix společnosti Farrel Pomini [38]

Varianta hnětiče s tangenciálními šneky



The ram full down position is elevated. The Elevated Position is necessary for efficient venting and material flow within the mixing chamber

Obrázek 119 řešení hnětiče tangenciálního typu společnosti Farrel Pomini [38]

[75]; [54]

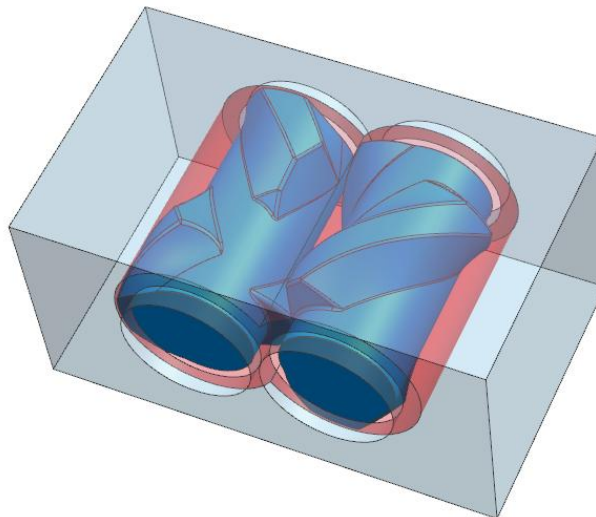
10 Čistý objem komory

10.1 Úvod

V předešlé kapitole jsem nastínil princip dopočtu objemu komory. Výsledným objemem, na který se hnětič konstruuje je čistý objemem komory, tzn. objem po odečtení klátů, rotorů a šneků.

10.2 Výpočet čistého objemu komory

Čistý vnitřní objem komory lze spočítat jako rozdíl objemu prázdné komory a objemů šneků s částí rotorů, zasahující do komory a objemu klátů. Na obrázku 120 je červeně naznačen čistý objem komory.



Obrázek 120 zobrazení čistého objemu komory

10.2.1 Výpočet objemu prázdné komory

Objem prázdné komory lze vypočítat jako součin obsahu ideálního průřezu komory a její délky, která je definována jako součet délky šneku a velikosti jednotlivých přesazení.

$$V_{komora} = S * (l_{šnek} + ax_1 + ax_2) \text{ [litr]}$$

V_{komora}	objem prázdné komory [litr]
S	obsah průřezu ideálního tvaru komory [mm^2]
$l_{šnek}$	délka šneku [mm]
ax_1	axiální posuv 1 [mm]
ax_2	axiální posuv 2 [mm]

10.2.2 Výpočet objemu šneků

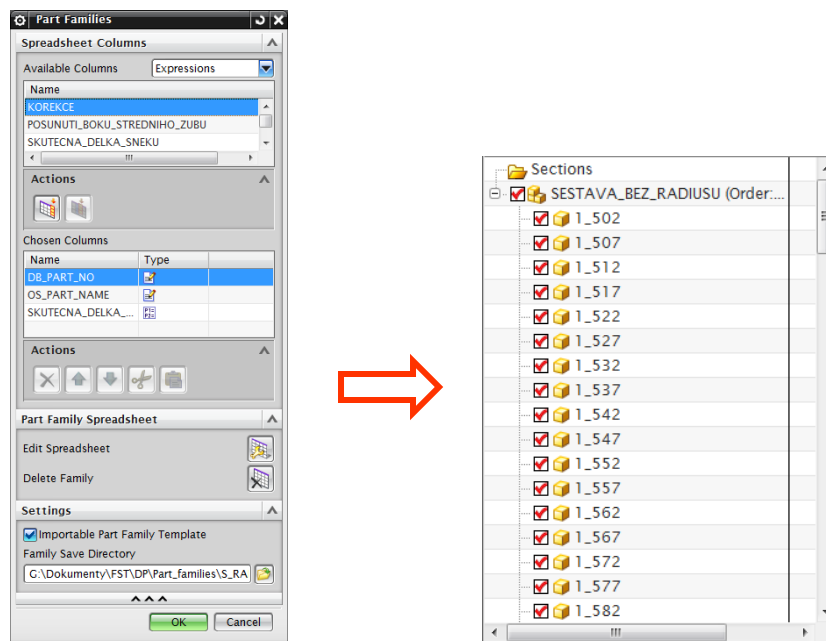
Zjistit objem šneků je o dost problematičtější. Vzhledem k tvaru ukončení zubů, nelze jednoduše stanovit předpis pro objem šneku.

Relativně dobrým řešením je aproximovat rovnici závislosti objemu na délce šneku změnou o její chybu.

Abych byl schopen takovou rovnici sestavit, bylo nutné vytvořit si určitou datovou základnu objemů šneků s určitým odstupňováním. V tomto případě jsem zvolil odstupňování po 25 mm délky šneku s prvním objemem pro délkový rozměr šneku 502 mm.

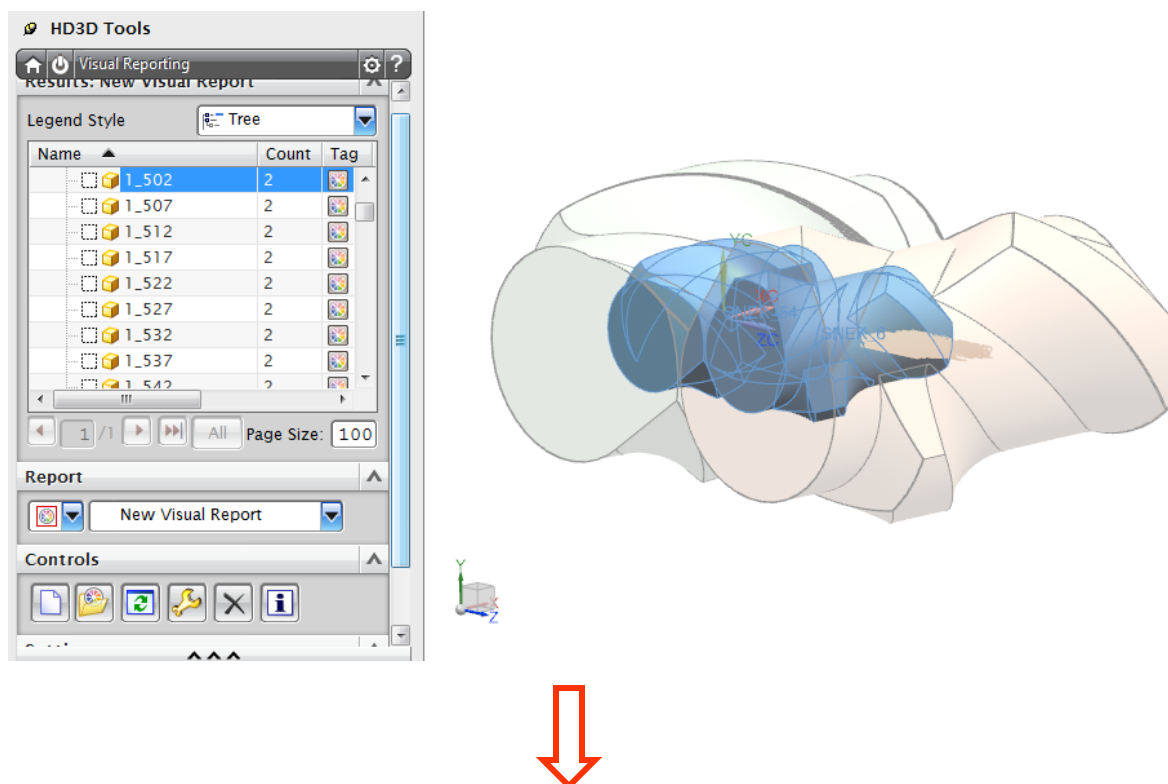
K měření je potřeba vygenerovat modely daných délek a změřit jim objem. Tento souhrn je možné získat v programu NX 9.0 kombinací několika vestavěných nástrojů.

Využil jsem modulu Part families, který umožňuje generovat více CAD modelů při změně vstupních parametrů, které lze navíc řídit tabulkovým procesorem (Spreadsheet). V tomto tabulkovém procesoru, který využívá program MS Excel 2010, jsem nastavil odstupňování délek šneku po 25 mm a vygeneroval všechny modely ve stanoveném rozsahu od 502 mm do 1102 mm.



Obrázek 121 použití funkce family table v CAD prostředí Siemens NX 9.0

Nyní je potřeba všechny CAD modely změřit. Vytvořil jsem sestavu všech vygenerovaných CAD modelů a využil další vestavěný modul programu NX 9.0 – HD3D, kde lze hromadně generovat objem se zápisem do tabulkového editoru (MS Excel 2010).



	A	B	C	D	E	F
1	Name	Count	Tag	Body Volume (Body Property)		
2	0% <= Bod	192				
3	1_1002	2		2.4716e+008 [mm^3]		
4	1_1012	2		2.5428e+008 [mm^3]		
5	1_1017	2		2.5789e+008 [mm^3]		
6	1_1022	2		2.6154e+008 [mm^3]		
7	1_1027	2		2.6522e+008 [mm^3]		
8	1_1032	2		2.6893e+008 [mm^3]		
9	1_502	2		3.4406e+007 [mm^3]		
10	1_507	2		3.5387e+007 [mm^3]		
11	1_512	2		3.6386e+007 [mm^3]		
12	1_517	2		3.7403e+007 [mm^3]		
13	1_522	2		3.8438e+007 [mm^3]		
14	1_527	2		3.9492e+007 [mm^3]		
15	1_532	2		4.0565e+007 [mm^3]		
16	1_537	2		4.1657e+007 [mm^3]		
17	1_542	2		4.2769e+007 [mm^3]		
18	1_547	2		4.3899e+007 [mm^3]		
19	1_552	2		4.5049e+007 [mm^3]		
20	1_557	2		4.6219e+007 [mm^3]		
21	1_562	2		4.7409e+007 [mm^3]		
22	1_567	2		4.8618e+007 [mm^3]		
23	1_572	2		4.9848e+007 [mm^3]		

Obrázek 122 hromadné měření objemu šneků

Tímto způsobem jsem relativně rychle získal souhrn všech objemů. K aproximaci závislosti objemu na délce jsem využil tabulkový editor MS Excel 2010, kde jsem vytvořil bodový graf závislosti objemu šneku na jeho délce. Pomocí MS Excel jsem těmito body proložil křivku a vygeneroval její rovnici. Tato rovnice vykazovala přesné hodnoty pro objemy šneků v rozsahu středních velikostí. Pro malé objemy šneků se odchylka zvětšovala směrem do kladných hodnot, naopak pro velké objemy zase do záporných. Z tohoto důvodu jsem se

rozhodl vygenerovat všechny velikosti šneku odstupňované po 5 mm délky šneku a vytvořit datovou databázi objemů všech velikostí od délky šneku 502 mm do délky 1102 mm.

10.2.3 Objem částí rotorů v komoře

Objem rotorů v komoře je definován jako dvojnásobný součin průměrů rotorů, na kterých jsou nalisovány šneky a součtem výrazů a_{x1} a a_{x2} , které definují vzdálenost mezi šneky a bočnicemi. Tato hodnota je vzhledem ke konečnému objemu zanedbatelná, proto jsem ji v algoritmu neuvažoval.

10.2.4 Objem komory úkosů horních klátů

Objem komory je vlivem úkosů (viz kapitola 8.5.1) na horním klátu navýšen. Rozměry úkosů se u jednotlivých rozměrových velikostí příliš neliší. Abych výpočet čistého objemu ještě více zpřesnil, vyšetřil jsem hodnoty objemů, o které se objem komory navýší, pro délky šneků od 502 mm do 1052 mm po 25 mm.

Tabulka 9

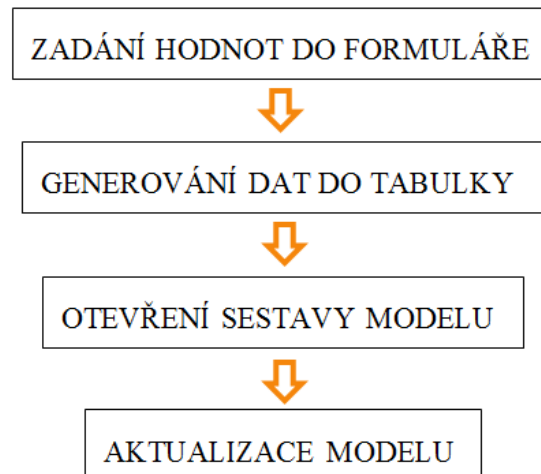
Délka šneku [mm]	Objem h. klátu bez úkosů [litr]	Objem h. klátu s úkosy [litr]	Odchylka [litr]
502	16,425	17,124	0,699
527	18,891	19,586	0,695
552	21,577	22,268	0,691
577	24,489	25,179	0,69
602	27,637	28,328	0,691
627	31,029	31,723	0,694
652	34,674	35,372	0,698
677	38,581	39,283	0,702
702	42,457	43,141	0,684
727	46,889	47,58	0,691
752	51,606	52,304	0,698
777	56,616	57,322	0,706
802	61,928	62,264	0,336
827	67,548	68,271	0,723
852	73,485	74,217	0,732
877	79,746	80,487	0,741
902	86,338	87,09	0,752
927	92,582	93,302	0,72
952	99,821	100,55	0,729
977	107,41	108,15	0,74
1002	115,4	116,16	0,76
1027	123,72	124,49	0,77
1052	132,41	133,19	0,78
		\bar{x}	0,70096

Aritmetický průměr těchto hodnot po zaokrouhlení je roven hodnotě 0,7 litru. O tento objem jsem navýšil hodnotu čistého objemu komory bez ohledu na její velikost.

11 Řízení modelu

11.1 Úvod

Generování modelů o konkrétních rozměrech lze shrnout do několika kroků.

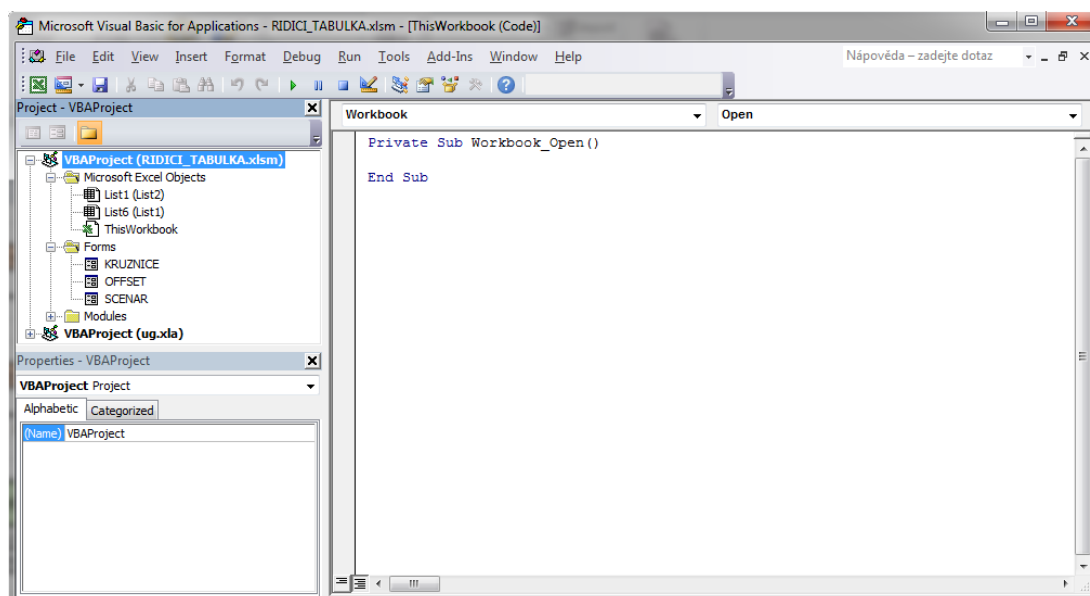


Obrázek 123 kroky uživatele při generování modelu

Generování modelu je plně řízeno tabulkovými hodnotami. V kapitole 9 jsem teoreticky definoval výpočty jednotlivých částí obsahu průřezu komory, jejíž konečný tvar je závislý na volbě typu korekce klátů. Obecná rovnice obsahu průřezu pod klátem je definována vzorcem:

$$S_{pv1} = 2 * \left[-(R - y_{m1})^2 * \frac{\cos\left(\arcsin\frac{(-\frac{p}{2})}{(R-y_{m1})}\right) * \sin\left(\arcsin\frac{(-\frac{p}{2})}{(R-y_{m1})}\right)}{2} + \frac{1}{2} * \arcsin\frac{(-\frac{p}{2})}{(R - y_{m1})} + y_{m1} * \frac{p}{2} \right]$$

Při zadávání hodnoty, o kolik je třeba objem komory zvětšit, je v této rovnici neznámou hodnotou velikost posunutí kružnice, kterou je nutné z rovnice vyjádřit. K vyjádření této hodnoty jsem použil iterační cyklus. V tomto případě je možné využít program *Visual Basic for Applications*, který je již implementován do programu MS Excel.

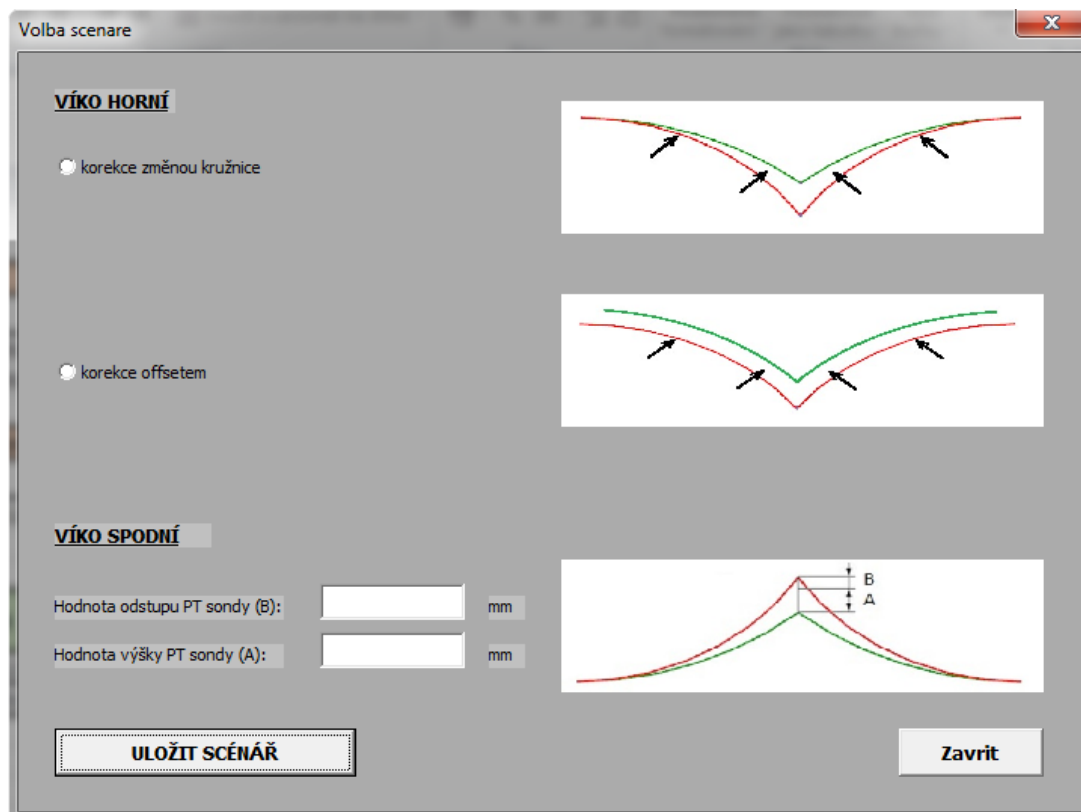


Obrázek 124 použití pracovního prostředí Visual Basic for Applications

Tabulka programu MS Excel obsahuje dva listy, z nichž první má funkci určité databáze dat a druhý plní funkci výběrovou a korekční. Na *List1* jsou uloženy rozměrové údaje pro jednotlivé velikosti šneků odstupňovaných od délky šneku 502 mm do 1102 mm po 5 mm. Databáze tak nabízí 121 různých velikostních typů. Odstupňování je voleno tak, aby nedocházelo k příliš velkým požadavkům na zvětšování komory.

11.2 Vstupní formulář

Vstupní formulář slouží k volbě typu korekce horního klátu a k zadání základních parametrů PT sondy. V horní části je možné volit mezi korekcí horního klátu pomocí kružnice s posuvným nebo neposuvným středem, v části dolní lze zadat požadovaný odstup PT sondy od trajektorie vnější plochy PT_B a hodnotu výšky sondy PT_A . V případě, že není vybrán scénář, podle kterého se bude korigovat horní klát nebo nejsou zadány základní parametry PT sondy, program na toto chybějící zadání upozorní.



Obrázek 125 formulář pro volbu scénáře

Po výběru scénáře a zadání rozměrů sondy se stiskne tlačítko *ULOŽIT SCÉNÁŘ*. Podle zvoleného výběru se automaticky otevře již konkrétní formulář s možností zadání požadavků na klát či konkrétní objem komory.

11.3 Formulář korekce kružnicí s posuvným středem

Pokud je zvolena ve vstupním formuláři možnost korekce změnou kružnice, dalším formulářem, který se po kliknutí na tlačítko *ULOŽIT SCÉNÁŘ* otevře, je formulář korekce kružnicí s posuvným středem. Tímto formulářem je korigován horní i spodní klát podobným principem – změnou velikosti kružnice a posunutím polohy jejího středu ve svislém směru. Posunutí středu a změna velikosti kružnice jsou závislé hodnoty. Tato závislost způsobí hladký přechod mezi klátem a komorou.

V tomto případě je třeba brát v úvahu již počáteční korekce spodního klátu z důvodu montáže PT sondy. Součet hodnot, zadaných ve vstupním formuláři je použit k posunutí špičky spodního klátu. Dojde tak k navýšení objemu již před samotným zadáním vstupního objemu. Hodnota navýšení objemu spodního klátu není konstantní, ale mění se podle velikosti objemu komory. Tento fakt je potřeba zohlednit při volbě návrhu rozměrů šneku.

Do textového pole *Požadovaný objem*: se vepíše požadovaná hodnota na čistý objem komory a stiskne se tlačítko *SPOČTI*. Algoritmus začne v databázi dat *Listu1* přiřazovat nejvhodnější hodnotu tabulkového čistého objemu tak, aby byla splněna podmínka na minimální korekční objem spodního klátu. Pokud tato podmínka není splněna, algoritmus pokračuje dál v přiřazování nižších hodnot čistého objemu. Na začátku do cyklu vstupuje hodnota požadovaného objemu, kterou algoritmus porovnává s nejbližší nižší hodnotou čistého

objemu *Listu1*. Pokud není rozdíl hodnot přiřazeného a požadovaného objemu dostatečný (větší než objem, o který byl zvětšen spodní klát), přiřadí se v dalším kole hodnota objemu menší o 1 litr a celý postup se opakuje. Tímto způsobem algoritmus najde nejvhodnější rozměry šneku i komory.

Obrázek 126 formulář korekce horního klátu pomocí kružnice s pohyblivým středem

Pokud jsou známy rozměry šneku i komory, lze korigovat tvar horního klátu. Algoritmus automaticky spočte, o jaký objem je potřeba horní klát zkorigovat a tuto hodnotu doporučí v textovém poli *Doporučená korekce*. Tuto hodnotu zároveň zapíše také do textového pole *Hodnota korekce*, protože se předpokládá, že nebudeme chtít objem dále navyšovat. Mezi těmito dvěma poli se nachází pole se spočítanou maximální možnou korekcí *Maximální korekce objemu o*. Pokud budeme objem komory navyšovat, informuje nás tato hodnota o kolik můžeme maximálně navýšit objem, abychom splnili podmínku posunutí špičky klátu maximálně o $\frac{1}{3}$ hodnoty v uvedenou v kapitole 9.

Další částí výpočtu je stanovení hodnoty posunutí polohy středu kružnice ve svislém směru a poloměr, který z této hodnoty vychází. Algoritmus iteruje od dvojnásobné hodnoty velikosti maximálního posunutí daného hodnotou maximálního korekčního objemu pro danou velikost a v každém cyklu tuto hodnotu navyšuje o 0,001 mm (hodnota posunutí má zápornou hodnotu). Cyklus se přeruší, pokud je nalezena taková hodnota korekčního objemu, která po odečtení hledaného objemu vykazuje odchytku menší než 0,01 litru. Výsledné hodnoty

posunutí a velikosti poloměrů jsou zapsány do konkrétních buněk specifikovaných v CAD modelech horního a dolního klátu.

11.4 Formulář korekce kružnicí s neposuvným středem

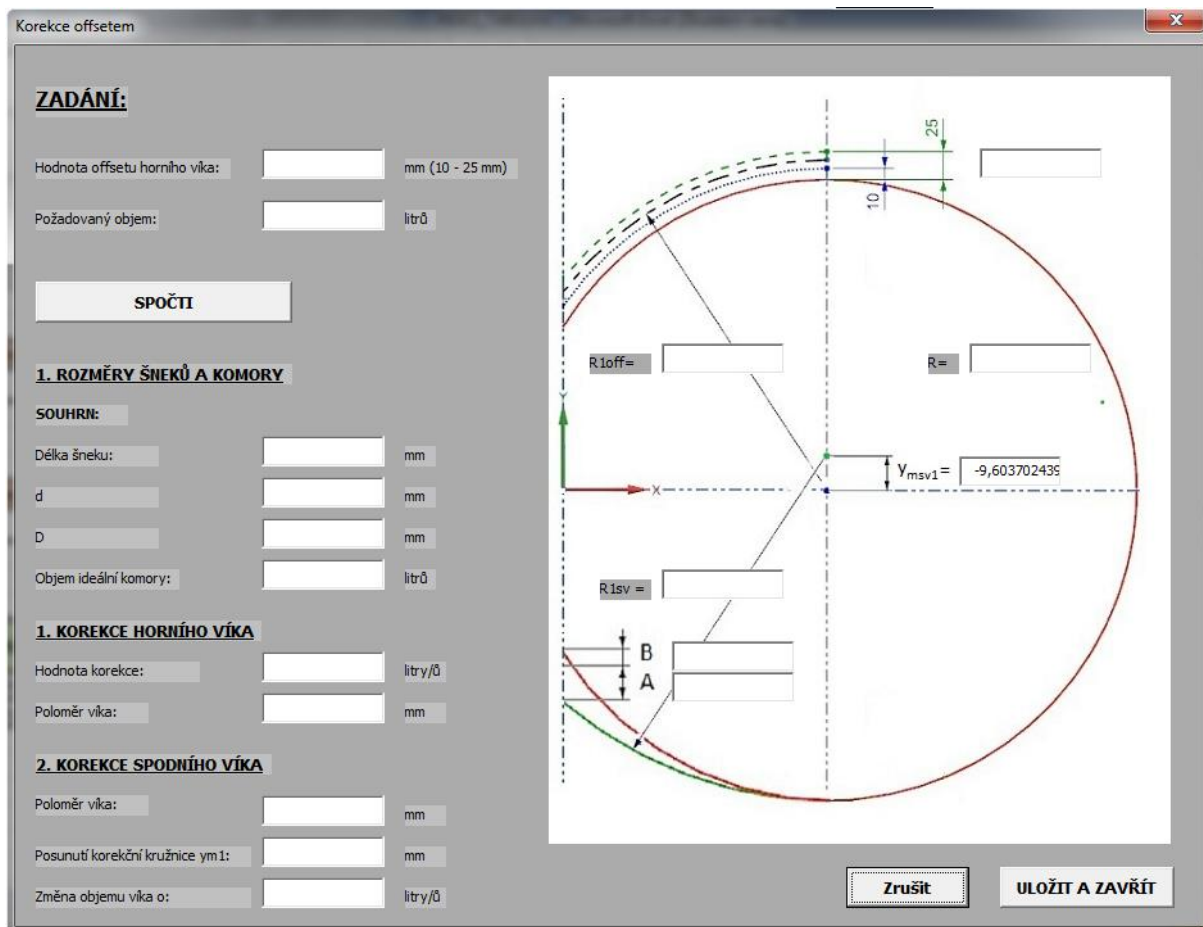
Zvolíme-li ve vstupním formuláři druhou možnost - korekce horního klátu offsetem, dalším formulářem, který se po kliknutí na tlačítko *ULOŽIT SCÉNÁŘ* otevře, je formulář korekce kružnicí s neposuvným středem. Tímto formulářem je korigován horní a spodní klát odlišným principem. Horní klát je v tomto případě korigován korekční kružnicí s neposuvným středem. Kružnice se zvětšuje, ale její poloha se nemění. Spodní klát se naopak koriguje kružnicí s posuvným středem, stejným principem jako v předcházející metodě.

Stejně tak jako v případě první metody je nutné brát v úvahu již počáteční korekce spodního klátu z důvodu montáže PT sondy. Součet hodnot, zadaných ve vstupním formuláři je použit k posunutí špičky spodního klátu. Dojde tak k navýšení objemu již před samotným zadáním vstupního objemu. Hodnota navýšení objemu spodního klátu není konstantní, ale mění se podle velikosti objemu komory.

Horní klát má velikost korekce definovanou také před zadáním požadovaného objemu. Zde dochází k navýšení hodnoty poloměru v rozmezí 10-25 mm. Tato hodnota je pevně daná, proto není možné klát dalším způsobem upravovat. Tato skutečnost nás nutí korigovat zpětně dolní klát tak, abychom splnili požadavky na čistý objem komory.

Do textového pole *Hodnota offsetu horního klátu*: se vepíše hodnota, o kterou bude navýšen poloměr komory v oblasti horního klátu. Do textového pole *Požadovaný objem*: se vepíše požadovaná hodnota na čistý objem komory a stiskneme tlačítko *SPOČTI*. Algoritmus začne v databázi dat *Listu1* přiřazovat nejvhodnější hodnotu tabulkového čistého objemu tak, aby byla splněna podmínka na minimální korekční objem spodního i horního klátu. V tomto bodě je důležité, aby program reflektoval aktuální hodnoty korekcí horního i spodního klátu, které se mění v závislosti na rozměrech šneku a komory. Pokud podmínka pro minimální nutný objem vyhrazený pro korekci klátů není splněna, algoritmus pokračuje dál v přiřazování nižších hodnot čistého objemu.

Na počátku do cyklu vstupuje hodnota požadovaného objemu, kterou algoritmus porovnává s nejbližší hodnotou čistého objemu *Listu1*. Pokud není rozdíl hodnot přiřazeného a požadovaného objemu dostatečný (větší než objem, o který byly zvětšeny oba kláty), přiřadí se v dalším kole hodnota objemu menší o 1 litr a celý postup se opakuje. Tímto způsobem algoritmus najde nejvhodnější rozměry šneku i komory.



Obrázek 127 formulář korekce horního klátu pomocí kružnice s nepohyblivým středem

Pokud jsou známy rozměry šneku i komory, je možné zpětně korigovat spodní klát. Algoritmus automaticky spočte, o jaký objem je potřeba spodní klát zkorigovat a stanoví hodnoty posunutí polohy středu kružnice ve svislém směru a poloměr, který z této hodnoty vychází. Algoritmus iteruje až do koncové hodnoty 200 mm, která reprezentuje maximální posunutí odstupů PT sondy od trajektorie vnější plochy šneků. Při této hodnotě lze s jistotou říci, že k hodnotě takového posuvu nemůže dojít (algoritmus by v takovém případě přiřadil jiné rozměrové hodnoty šneku a komory a korekce objemu spodního klátu by se tak snížila). Program navyšuje v každém cyklu tuto hodnotu o 0,0005 mm. Cyklus se přeruší, pokud je nalezena taková hodnota korekčního objemu, která po odečtení hledaného objemu vykazuje odchylku menší než 0,01 litru.

Výsledné hodnoty posunutí a velikosti poloměrů jsou zapsány do konkrétních buněk specifikovaných v CAD modelech horního a dolního klátu.

11.5 Propojení tabulky a modelu

Sestava modelu získává některé hodnoty parametrů z tabulky MS Excelu, která obsahuje také program na jejich generování. Jedná se o tyto parametry:

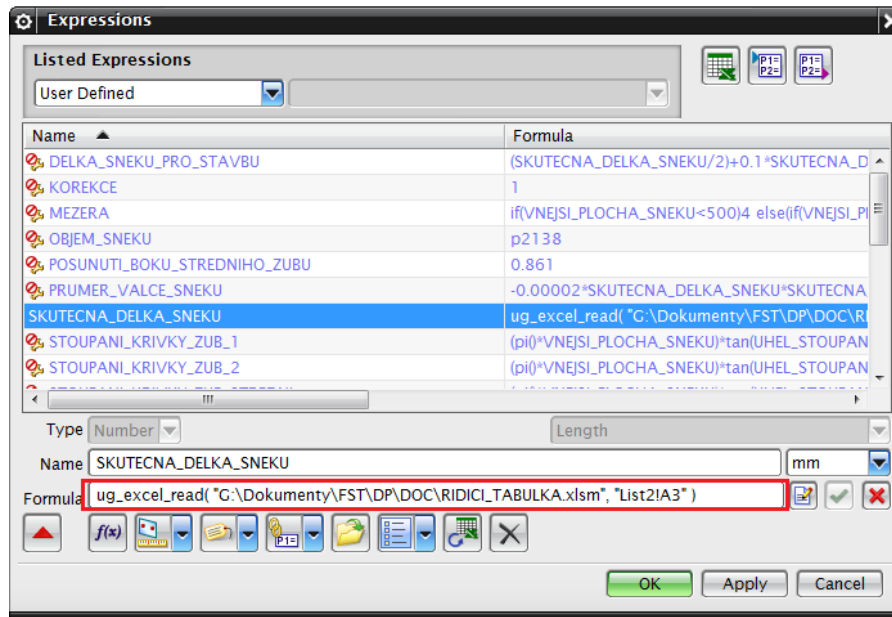
R_{1sv}	[mm] (poloměr korekční kružnice spodního klátu)
y_{m1sv}	[mm] (posunutí korekční kružnice spodního klátu)

R_{1hv} [mm] (poloměr korekční kružnice horního klátu)

y_{m1hv} [mm] (posunutí korekční kružnice horního klátu)

SKUTECNA_DELKA_SNEKU [mm] (délka šneku)

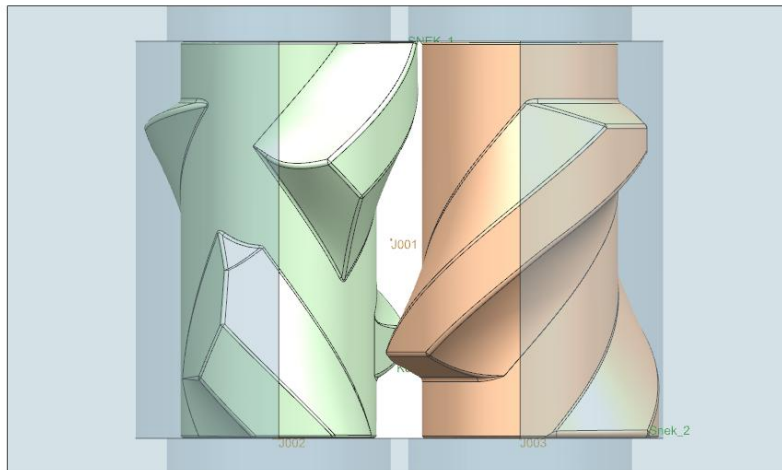
Parametr délky šneku je obsažen v modelu šneku, zbylé čtyři potom podle příslušných indexů v dolním a horním klátu. Na obrázku 128 lze vidět příklad zadání parametru délky šneku, jehož parametr se načítá z konkrétní buňky Řídící tabulky. Parametry jsou zadány pomocí odkazové cesty, proto je důležité, aby byla tabulka uložena ve správné složce.



Obrázek 128 odkazování programu do tabulky

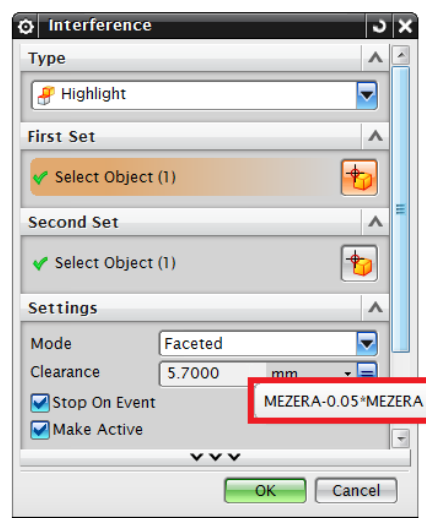
12 Kontrola kolizí

Potencionální kolize, které mohou vzniknout při rotaci šneků, je třeba definovat. Velikost mezery mezi válcem šneku a vnější plochou šneku stanovuje výše popsany podmínkový parametr MEZERA (viz Hlavní celky konstrukce šneku na str. 37). Tuto hodnotu lze považovat za minimální odstup mezi šneky i za rotace.



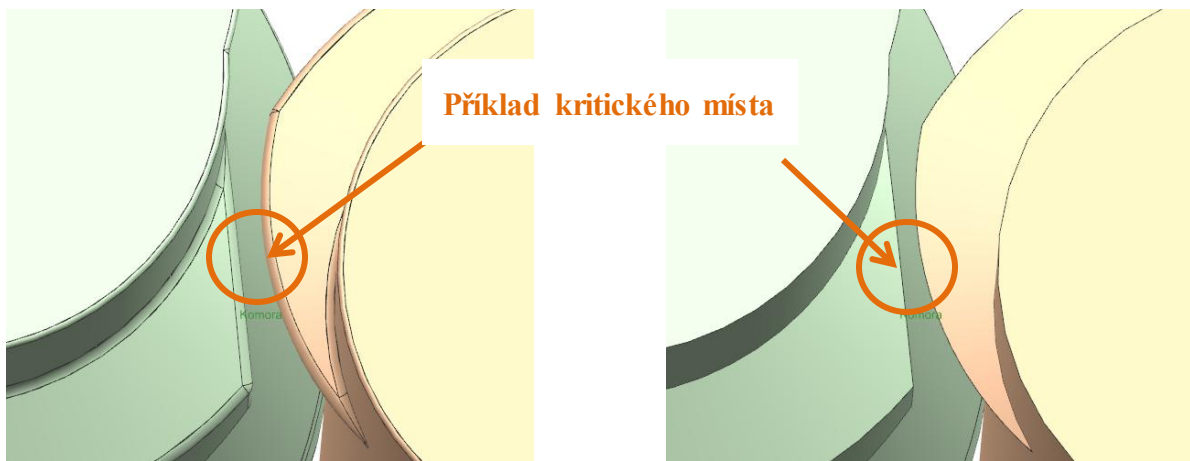
Obrázek 129 generovaná sestava pro analýzu kolizí

V CAD programu Siemens NX 9.0 jsem vytvořil simulaci rotace těchto šneků. Při této rotaci je možné zadat zastavení simulace při porušení tolerančního pole. Tímto tolerančním polem jsem definoval minimální vzdálenost mezi šneky za rotace jako aktuální hodnotu parametru MEZERA zmenšenou o 5% (připouštíme tím 5% chybu vůči stanovené minimální vzdálenosti mezi šneky za rotace). Nastavení tolerančního pole je tedy závislé na rozměrech šneku.



Obrázek 130 nastavení funkce zastavení rotace při porušení tolerančního pole

Tímto způsobem jsem úspěšně provedl simulaci na náhodně zvolených velikostech šneků. Důležité je kolizi provádět na šneku se zaoblenými nogy



Obrázek 131 příklad kritického míst - šnek s rádiusy

Obrázek 132 příklad kritického míst - šnek bez rádiusů

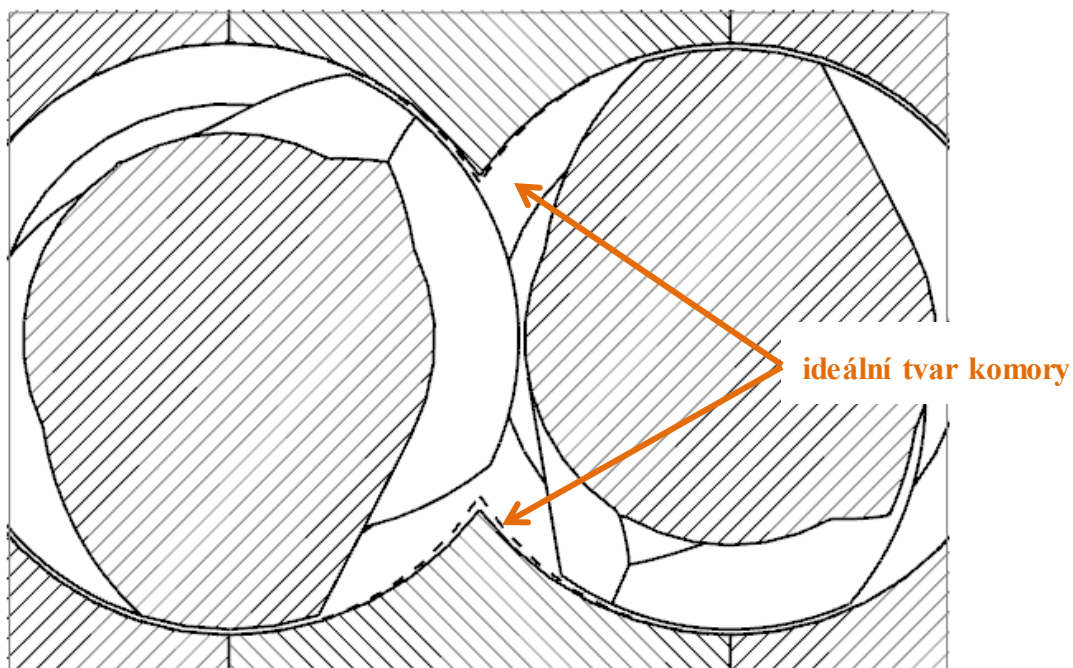
13 Srovnání variant modelu pro objem 200 l

Pro porovnání rozdílů mezi jednotlivými variantami korigování klátů komory jsem provedl srovnání 200 litrové varianty komory se šneky s korekcí klátů pomocí pohyblivé i nepohyblivé korekční kružnice.

Tabulka 10 srovnání hodnot rozměrů při korigování klátů komory podle obou variant – typ intermix (200l)

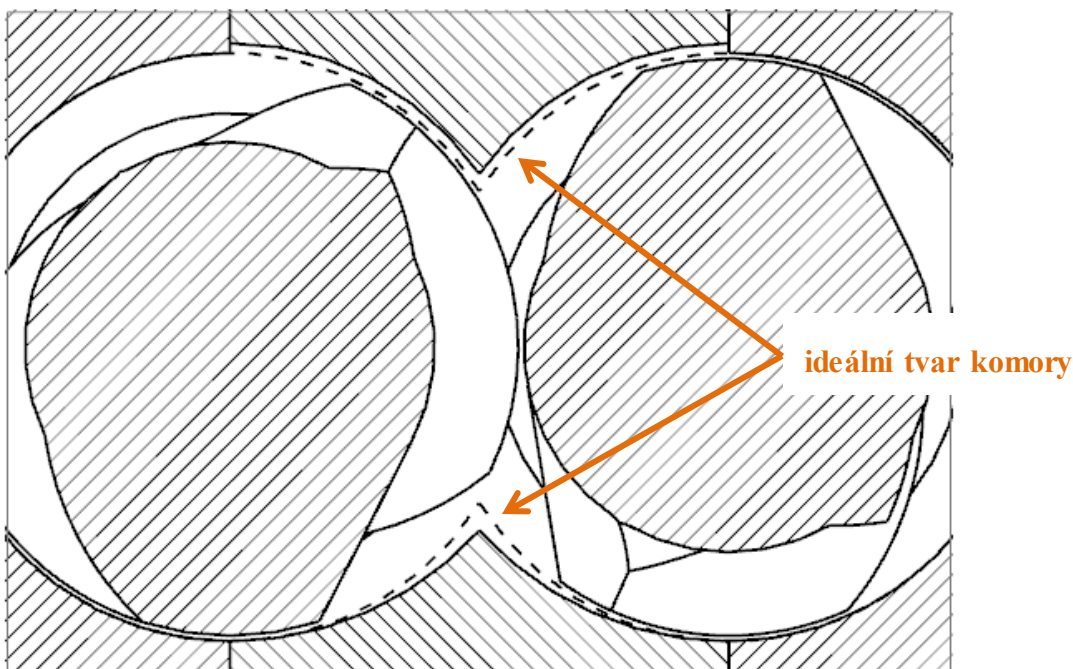
	korekce kružnicí	korekce offsetem
délka šneku [mm]	867,00	857,00
$\varnothing d$ [mm]	438,96	434,35
$\varnothing D$ [mm]	618,32	611,65
požadovaný objem V_{poz} [litr]	200,00	200,00
přiřazený objem $V_{přir}$ [litr]	197,68	191,44
posunutí $y_{m_{1SV}}$ [mm]	19,64	44,70
R_{sv1} [mm]	334,80	356,52
posunutí $y_{m_{1HV}}$ [mm]	-8,50	0,00
R_{1HVOFF} [mm]	323,66	321,82
PT_A [mm]	3,00	3,00
PT_B [mm]	12,00	17,21
offset	-	10,00

Jak lze vidět v tabulce, pro stejné hodnoty konečných objemů vybral program dva rozměrově odlišné šneky. Na obrázku 133 a obrázku 134 jsou patrné rozdíly v korekcích jednotlivých variant. V případě varianty, která je uvedena na obrázku 133, je celkový korekční objem komory 2,32 litru. Korekce horního klátu jsou tedy minimální.



Obrázek 133 srovnání korigované komory pomocí korekční kružnice s pohyblivým středem a ideálního tvaru komory

V případě varianty druhé na obrázku 133, je nutné uvažovat také odebraný objem na horním klátu. Přiřazovaný objem je tak nižší a je nutné zpětně korigovat spodní klát. Tento typ je patrný větším odebraným objemem na víkách.



Obrázek 134 srovnání korigované komory pomocí korekční kružnice s nepohyblivým středem a ideálního tvaru komory

14 Závěr

Diplomová práce se zabývá tvorbou parametrického modelu komory, šneků a uzavíracích klátů vysokotlakého hnětiče na zpracování surovin a přípravu gumárenských směsí. Jejím zadavatelem je společnost Buzuluk a.s. sídlící v obci Komárov v České republice, zabývající se výrobou strojů pro gumárenský průmysl.

Zadavatel si je vědom časové náročnosti vývoje nového typu zařízení a oblast šneků a komory patří mezi jednu z časově nejnáročnějších oblastí vývoje celého hnětiče. Dalším důvodem zadání této diplomové práce je snaha o unifikaci modelové řady tak, aby jednotlivé velikosti vyráběných vysokotlakých hnětičů disponovaly určitou parametrickou provázaností. Mezi další důvody mohou zmínit například odstranění náhodných úprav modelů nebo alespoň snaha o jejich minimalizaci. Hnětič je, co se rozměrových veličin týká, prezentován zákazníkovi hlavně jako zařízení o určitém pracovním objemu. Zjišťování této hodnoty není v CAD prostředí příliš těžké, ale při neznalosti počátečních vnitřních rozměrů zařízení vede konstrukce pouze k nepřesným výsledkům a nutným dodatečným úpravám, které tvar komory a klátů pouze odsouvají dále od ideálního tvaru.

Výsledkem práce je parametrický model šneku, komory a klátů, který je možné řídit pomocí tabulkových hodnot v rozsahu čistého objemu komory od 25 litrů do 400 litrů. Tabulka disponuje datovou databází a je řízena formuláři. Čistý objem komory je korigován algoritmem, který stanovuje rozměrové hodnoty určující tvar horního a dolního klátu komory a vybírá nejvhodnější rozměry zařízení. Koncovému uživateli tak pouze stačí vygenerovat formulářem data do tabulky, uložit, načíst do CAD prostředí sestavu modelu 3D dat a sestavu aktualizovat. 3D modely sestavy jsou konstruovány tak, aby nebylo nutné dodatečných úprav na geometriích a modely se vygenerovaly v požadované rozměrové variantě. Formulář nabízí dvě možné provedení úprav horního klátu.

V závěru práce jsou srovnány vygenerované modely s čistým objemem 200 litrů s oběma variantami horních klátů.

Nad rámec této diplomové práce byla zpracována statická lineární analýza rotoru se šnekem uvedená v příloze 1.

Seznam literatury a informačních zdrojů

Obrázky:

- [1] Laf-sozluk. <http://www.lafsozluk.com>. Laf-sozluk. [Online] 17. 5 2017. <http://www.lafsozluk.com/2014/03/kaucuk-nedir-ne-demektir-anlami.html>.
- [2] Blake-Coleman, Barrie. Inventricity. [Online] 17. 5 2017. <http://www.inventricity.com/charles-goodyear-the-rubber-man>.
- [3] Indiamart. [Online] 17. 5 2017. <https://www.indiamart.com/proddetail/carbon-nanoparticle-7573370648.html>.
- [4] NS rubberaccelerator. [Online] 17. 5 2017. <http://www.nsrubberaccelerator.com/rubber-auxiliary-agent/43839858.html>.
- [5] Krusta shop. [Online] 17. 5 2017. <http://www.krustashop.cz/www-krustashop-cz/eshop/19-1-Zlato-stribo-pokovovani/0/5/387-Kalafuna-cinska>.
- [6] Komenského66. Síra - S. Komenského 66. [Online] 17. 5 2017. <http://www.komenskeho66.cz/materialy/chemie/WEB-CHEMIE8/sira.html>.
- [7] Chemicals, World of. Chemicals. World of chemicals. [Online] 17. 5 2017. <https://www.worldofchemicals.com/chemicals/chemical-properties/vulkacit-mozlg.html>.
- [8] Farrel-Pomini. FCM™. [Online] 17. 2 2017. <http://www.farrel-pomini.com/products/fcmtm/>.
- [9] HOT FEED EXTRUDERS. [Online] 17. 5 2017. <http://www.farrel-pomini.com/products/hot-feed-extruders/>.
- [10] Machines, Bainite. Intermesching mixer. [Online] 17. 5 2017. <http://www.bainitemachines.in/products.htm#verticalTab3>.
- [11] Mixing Mills. [Online] 17. 5 2017. <http://www.bainitemachines.in/products.htm#verticalTab6>.
- [12] Troester. Extrusion equipment. Troester. [Online] 17. 5 2017. http://www.troester.de/fileadmin/user_upload/2016-01_EquipmentTireRubber_web.pdf.
- [13] Press releases. Krauss Maffei Berstorff. [Online] 17. 5 2017. http://www.kraussmaffeiberstorff.com/en/press-releases/d/Steckerfertige_Compoundieranlage.html.
- [14] Polymerové linky. Buko-S s.r.o. Otrokovice. [Online] 17. 5 2017. <http://www.buko-s.cz/fotogalerie/polymerove-linky/#cimg0965-jpg>.
- [15] Polymerové linky. Buko-S s.r.o. Otrokovice. [Online] 17. 5 2017. <http://www.buko-s.cz/fotogalerie/polymerove-linky/#a2011-10-19-07-48-36-jpg>.
- [16] Vulkanizační lisy. Sum-Odry. [Online] <http://www.sum-odry.cz/cz/kategorie/vulkanizacni-lisy.aspx>.
- [17] Vývoj a konstrukce. Sum-odry. [Online] 17. 5 2017. <http://www.sum-odry.cz/cz/kategorie/vyvoj-a-konstrukce.aspx>.

- [18] Produkty. Invera. [Online] 17. 5 2017. <https://invera.cz/produkty/jednoucelove-stroje/inspec-12v-veloplaste/inspec-12v>.
- [19] Vulkanizační lisy. Rotas-strojírny. [Online] <https://www.rotas-strojirny.cz/cs/vulkanizacni-lisy/vl-100/#&gid=1&pid=1>.
- [20] Vulkanizační lisy. Rotas-strojírny. [Online] 7. 5 2017. <https://www.rotas-strojirny.cz/cs/vulkanizacni-lisy/vl-63-5-65/#&gid=2&pid=1>.
- [21] Divize gumárenské stroje - Reference. Buzuluk. [Online] <http://www.buzuluk.com/cz/divize-gumarenske-stroje/reference>.
- [22] Buzuluk. [Online] 17. 5 2017. <http://www.buzuluk.com/cz/divize-gumarenske-stroje/o-divizi-gumarenske-stroje/dokumenty-ke-stazeni>.
- [23] BATCH OFF CUCHILLAS CORTE DE MATERIAL. Youtube. [Online] <https://www.youtube.com/watch?v=gbU1GefFhlg>.
- [24] Buzuluk. Míchací linky-chladničky. Buzuluk. [Online] 17. 5 2017. <http://www.buzuluk.com/cz/divize-gumarenske-stroje/vyrobni-program/michaci-linky/chladicky>.
- [25] Míchací linky-hnětiče. Buzuluk. [Online] 17. 5 2017. <http://www.buzuluk.com/cz/divize-gumarenske-stroje/vyrobni-program/michaci-linky/vysokotlake-hnetice/fotografie>.
- [26] Stock-blender. [Online] 17. 5 2017. <https://www.youtube.com/watch?v=BxpP2la-iBI>.
- [27] Maláč, Jiří. Gumárenská technologie - 5.Procesy. 2017.
- [28] Buzuluk. Míchací linky-kalandry. [Online] 17. 5 2017. <http://www.buzuluk.com/cz/divize-gumarenske-stroje/vyrobni-program/kalandry/5-valcove-kalandry>.
- [29] KAV, IDNES.: Diagonální vs radiální pneumatika. <http://sdeleni.idnes.cz>. [Online] 17. 5 2017. http://sdeleni.idnes.cz/diagonalni-vs-radialni-pneumatika-dr4-/zpr_sdeleni.aspx?c=A130925_171348_zpr_sdeleni_ahr.
- [30] Buzuluk. Zkušební stroje-Bubnové zkušebny pneumatik. Buzuluk. [Online] 17. 5 2017. <http://www.buzuluk.com/cz/divize-gumarenske-stroje/vyrobni-program/zkusebni-stroje/bubnove-zkusebny-pneumatik>.
- [31] Zkušební stroje - testory radiální házivosti. Buzuluk. [Online] 17. 5 2017. <http://www.buzuluk.com/cz/divize-gumarenske-stroje/vyrobni-program/zkusebni-stroje/testory-radialni-hazivosti>.
- [32] Linky na balení syntetického kaučuku. Buzuluk. [Online] 17. 5 2017. <http://www.buzuluk.com/cz/divize-gumarenske-stroje/vyrobni-program/linky-na-baleni-syntetického-kaucuku>.
- [33] Válce Buzuluk. [Online] 17. 5 2017. <http://www.buzuluk.com/cz/divize-gumarenske-stroje/vyrobni-program/valce>.
- [34] Did Hancock Invent a Pickle. Readesl. [Online] 17. 5 2017. <http://www.readesl.com/Article/D/855/Did-Hancock-Invent-a-Pickle>.
- [35] Goodwin, Nathaniel. Improvement in quartz-mills US 50115 A. Google - patenty. [Online] 17. 5 2017. <https://www.google.com/patents/US50115>.

- [36] HISTORY OF WERNER & PFLEIDERER (LONDON) LTD. Baker Perkins. [Online] 17. 5 2017. <http://www.bphs.net/groupfacilities/W/WernerPfeidererLondon.htm>.
- [37] Hába, Jan. Bakalářská práce - "Možnosti sdružování reworků kaučukových směsí". 2013.
- [38] Dickstein, Robert. TECHNICAL RUBBER COURSE Mixing Technology Mixing Technology. Chicago rubber group. [Online] 17. 5 2017. http://www.chicagorubbergroup.org/farrel_mixing_presentation_051110.pdf.
- [39] Deguma. Maschinen. Deguma. [Online] 17. 5 2017. <https://www.deguma.com/de/maschinen/mischer/innenmischer/details/id-3-983-gk-60-n.html>.
- [40] RPM (Rubber plastic. RPMmach rubber intermesh intermix rotor. Youtube. [Online] 17. 5 2017. <https://www.youtube.com/watch?v=3Jp11tu8QDM>.
- [41] Buzuluk. Výkresová dokumentace Buzuluk.
- [42] Sensit, Produktový katalog teplotních senzorů pro gumárenský a plastařský průmysl. Verze 02/17

Text:

- [43] Historie kaučuku.HESE [Online] 27.5. 2017. <http://www.hese.eu/technicke-informace-clanky/historie-kaucuku>
- [44] Kaučuk.Wikipedia [Online] 27.5. 2017. <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kau%C4%8Duk>
- [45] Historie kaučuku a pryže. Tyma [Online] 27.5 .2017. <https://www.tyma.cz/technicke-informace/materialy/historie-kaucuk-pryz/>
- [46] Když klobouk, tak z kaučuku, razil vynálezce vulkanizace Charles Goodyear. Novinky.cz - ČTK [Online] 27.5. 2017. <https://www.novinky.cz/veda-skoly/204667-kdyz-klobouk-tak-z-kaucuku-razil-vynalezce-vulkanizace-charles-goodyear.html>
- [47] Historie kaučuku a pryže. Tyma [Online] 27.5.2017. <https://www.tyma.cz/technicke-informace/materialy/historie-kaucuk-pryz/>
- [48] Historie vývoje pneumatik. Axa-pneu [Online] 27.5.2017. <http://www.axa-pneu.cz/clanky/ze-sveta-pneumatik/historie-vyvoje-pneumatik>
- [49] Pryžová vlákna. Wikipedia [Online] 27.5.2017. https://cs.wikipedia.org/wiki/Pry%C5%BEov%C3%A1_vl%C3%A1kna
- [50] Latex. Studentka [Online] 27.5. 2017 <http://studentka.sms.cz/referat/latex>
- [51] Pryž. OPI-ZCU [Online] 27.5. 2017 <https://www.opi.zcu.cz/download/pryz.pdf>
- [52] Dědič, K., Zpracování EPDM odpadu a jeho následné využití. Bakalářská práce 2012. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
- [53] Slabý, J., Analýza a následná optimalizace vybraných podnikových procesů, Diplomová práce 2014. ZCU v Plzni
- [54] Maláč, Jiří. Gumárenská technologie - 5.Procesy. <http://www.home.karneval.cz/0323339201/text/procesy.pdf>

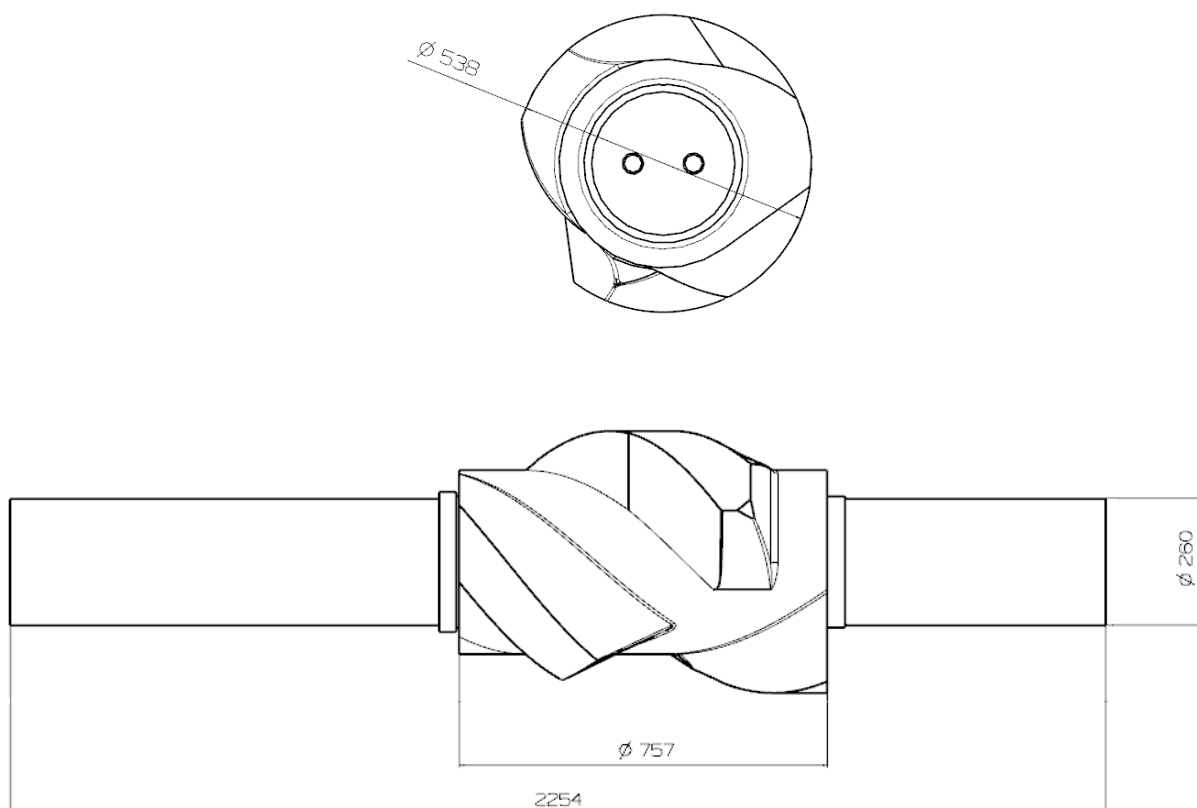
- [55] Výrobní program. Buzuluk. [Online] 17.5. 2017 <http://www.buzuluk.com/cz/divize-gumarenske-stroje/o-divizi-gumarenske-stroje/dokumenty-ke-stazeni>.
- [56] KAV, IDNES.: Diagonální vs radiální pneumatika. <http://sdeleni.idnes.cz>. [Online] 17. 5 2017. http://sdeleni.idnes.cz/diagonalni-vs-radialni-pneumatika-dr4-/zpr_sdeleni.aspx?c=A130925_171348_zpr_sdeleni_ahr.
- [57] Buzuluk. [Online] 17.5. 2017 <http://www.buzuluk.com>
- [58] Farrel-Pomini. [Online] 17.5. 2017 <http://www.farrel-pomini.com>
- [59] Machines, Bainite. [Online] 17.5. 2017 <http://www.bainitemachines.in>
- [60] Troester. [Online] 17.5. 2017 <http://www.troester.de>
- [61] Krauss Maffei Berstorff. [Online] 17.5. 2017 <http://www.kraussmaffeiberstorff.com>
- [62] Buko-S s.r.o. Otrokovice. [Online] 17.5. 2017 <http://www.buko-s.cz>
- [63] Sum-Odry. [Online] 17.5. 2017 <http://www.sum-odry.cz>
- [64] Invera. [Online] 17.5. 2017. <https://invera.cz>
- [65] Rotas-strojírny. [Online] 17.5. 2017 <https://www.rotas-strojirny.cz>
- [66] Chodos-Chodov. [Online] 17.5. 2017 <https://www.chodos.cz>
- [67] Comerio Ercole. [Online] 17.5. 2017 <http://www.comercole.it/>
- [68] Maláč, Jiří. Gumárenská technologie – 2. Kaučuky [Online] 17.5. 2017 <http://www.home.karneval.cz/0323339201/text/kaucuky.pdf>
- [69] Warnicki, T., Návrh nové struktury stojanů čtyřválcových kalandrů pro oboustranné pogumování kordů, Diplomová práce 2016. ZČU v Plzni
- [70] History of Rubber mixing, TireNews [Online] 17.5. 2017. <https://tirenews4u.wordpress.com/2010/08/20/history-of-rubber-mixing/>
- [71] Hancock's Pickle. Polymer science learning center - PSLC [Online] 17.5. 2017. <http://www.pslc.ws/macro/exp/rubber/bepisode/pickle.htm>
- [72] HF mixing group [Online] 27.5. 2017. <http://www.hf-mixinggroup.com/en/products/mixers/universal-mixers/>
- [73] Gumárenský ČGS prodal strojírenský podnik BUZULUK čínským firmám. FINANCE [Online] 17.5. 2017. <https://www.finance.cz/zpravy/finance/342139-gumarensky-cgs-prodal-strojirensky-podnik-buzuluk-cinskym-firmam/>
- [74] Historie Železáren. Městys Komárov [Online] 17.5. 2017. <http://www.hf-mixinggroup.com/en/products/mixers/universal-mixers/>
- [75] Dickstein, Robert. TECHNICAL RUBBER COURSE Mixing Technology Mixing Technology. Chicago rubber group. [Online] 17. 5 2017. http://www.chicagorubbergroup.org/farrel_mixing_presentation_051110.pdf.

Příloha 1

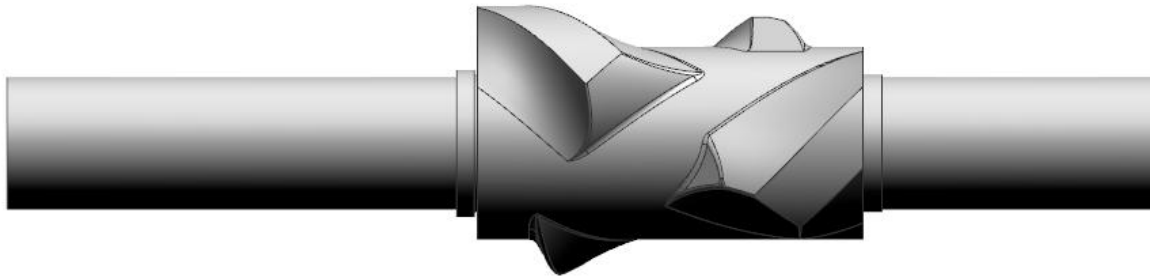
Statická analýza rotoru

Úvod

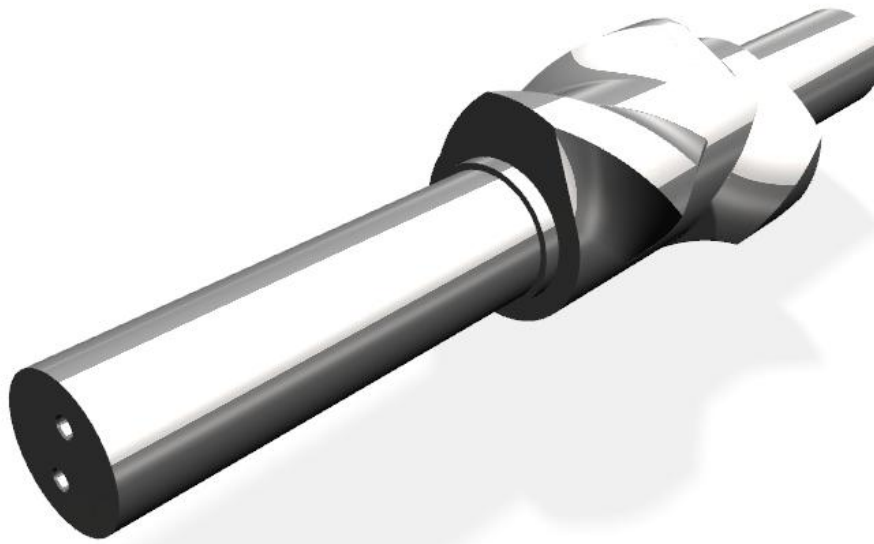
Statická analýza rotoru hnětiče byla zpracována zcela nad rámec požadavků na diplomovou práci zadanou společností Buzuluk. Cílem této práce je vytvořit lineární statickou analýzu rotoru hnětiče gumárenského stroje typu „Intermix.“ K tomuto účelu bude použit CAD software NX 9.0



Obr. 1 - hlavní rozměry modelu



Obr. 2 - model - pohled 1



Obr. 3 - model - pohled 2

Mechanické vlastnosti analyzovaného dílu

Materiál: ocel ČSN 11523

Mez kluzu: $R_{p0,2} = 355 \text{ MPa}$

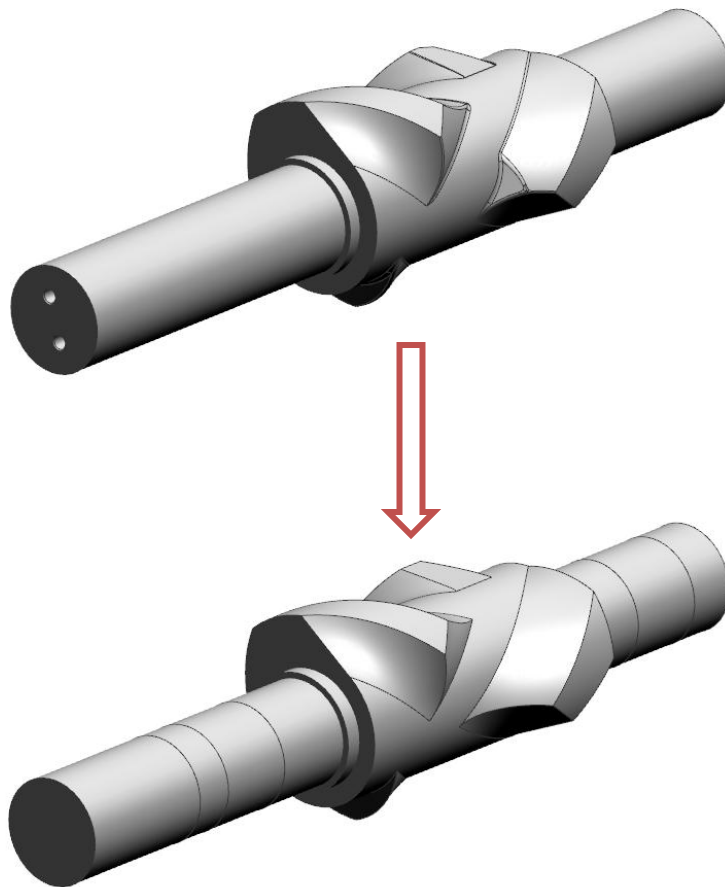
Youngův modul: $E = 206,94 \text{ GPa}$

Poissonova konstanta: $\mu = 0,288$

Příprava modelu

Před tvorbou sítě je potřeba model rozdělit tak, aby bylo možné zasítovat kontaktní plochy ložisek a připojení převodovky zvlášť. Plocha modelu je rozdělena na 6 částí – 1 přípojná plocha pro převodovku, 2 kontaktní plochy pro ložiska, 1 střed se šnekem, 2 zbylé.

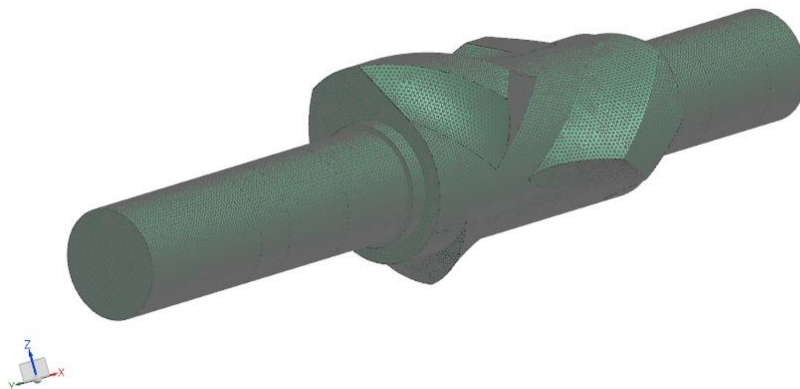
Model je dále zjednodušen. Odstraněny jsou závity v čele a zaoblení nohů.



Obr. 4 – zjednodušení modelu

Diskretizace modelu

K tvorbě sítě je použita funkce *3D Tetrahedral*. Jako element sítě je zvolen *CTETRA(4)* a jeho velikost 10 mm. U vytvořených přechodů pro přípojné plochy musí uzly sítě navazovat na sebe.



Obr. 5 - zasítovaný model

Lineární statická analýza

Hnětič rotuje v komoře spolu s druhým hnětičem. Ten rotuje opačně k prvnímu. Zuby hnětičů zapadají navzájem do sebe (typ „Intermix“). Při pohybu zubů (nogů) je směs v komoře složitě zpracována. Z tohoto důvodu je při zadávání vazeb a zatížení modelu rozdělena statická lineární analýza na dvě další. První analýza se věnuje maximálnímu napětí v patě nogu. Aby v patě nogu bylo napětí maximální, neuvažuje se deformace hřídele. Hřídel je uvažována jako nekonečně tuhá. Veškerá deformační energie se transformuje do paty nogu. Tento stav je pouze teoretický, protože se předpokládá deformace hřídele. Druhá část statické analýzy je zaměřena na stanovení maximálního napětí hřídele. V delší části hřídele je připojena převodovka.

V prvním kroku je potřeba nastavit řešič. K výpočtu zatížení nabízí software Siemens NX více možností ve volbě výpočtového softwaru a také ve volbě typů řešičů. V tomto případě je použit řešič Nastran, který nabízí, pro tento typ úlohy, následující možnosti variant řešičů:

SOL 101 Linear Statics – Global constraints

Základní typ řešiče umožňující rozdělení řešení na více variant s odlišným zatížením při stejných okrajových podmínkách.

SOL 101 Linear Statics – Subcase constraints

Tento typ řešiče umožňuje rozdělení úlohy na několik variant, kdy je možné použít různé okrajové podmínky při stejném nebo odlišném zatížení. Metoda tak umožňuje řešení více variant v jednom kroku.

SOL 101 Linear Statics – Superelement

Analýza nabízí rozdělení stejných částí dílů na celky (superelementy). Analýza se provádí jen na těchto celcích a poté je skládána dohromady. Analýza je tak výrazně kratší.

SOL 106 Nonlinear Statics – Global constraints

Obdoba typu řešiče SOL 101 Linear Statics – Global constraints s rozdílem aplikace analýzy mimo Hookův zákon, proto je nutná znalost tahového diagramu.

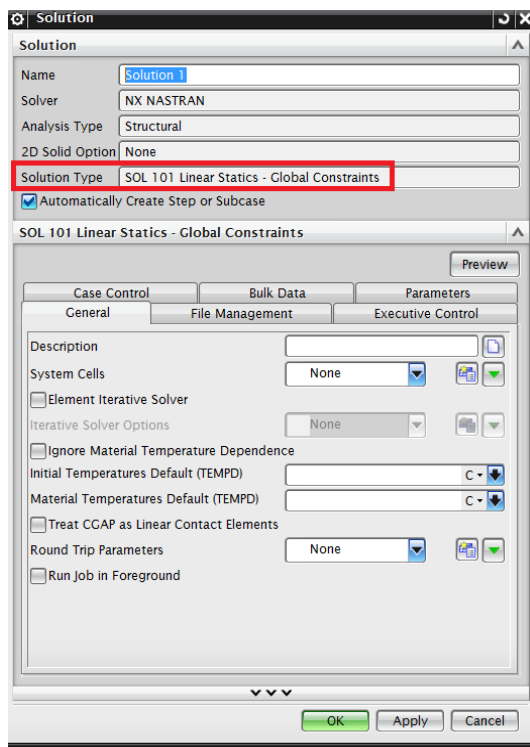
SOL 106 Nonlinear Statics – Subcase constraints

Obdoba typu SOL řešiče 101 Linear Statics – Subcase constraints s rozdílem aplikace analýzy mimo Hookův zákon, proto je nutná znalost tahového diagramu.

SOL 601, 106 Advanced nonlinear Statics

Rozšířené možnosti zadání nelineární statické analýzy.

Tahový diagram pro daný materiál není momentálně k dispozici, proto byl zvolen typ řešiče *SOL 101 Linear Statics*.



SOL 101 Linear Statics - Global Constraints

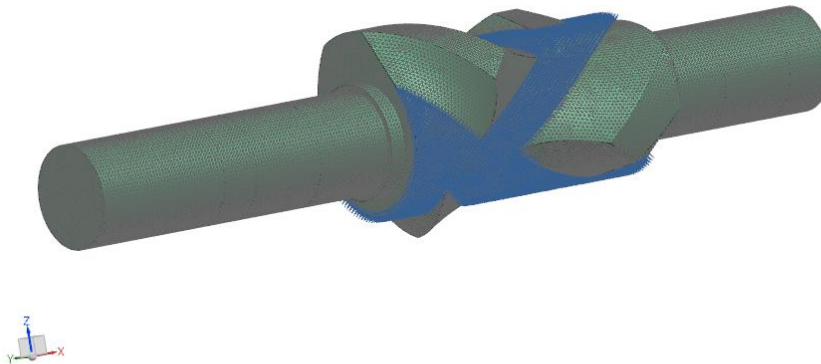
SOL 101 Linear Statics - Subcase Constraints
 SOL 101 Superelement
 SOL 103 Real Eigenvalues
 SOL 103 Flexible Body
 SOL 103 Response Simulation
 SOL 103 Superelement
 SOL 105 Linear Buckling
 SOL 106 Nonlinear Statics - Global Constraints
 SOL 106 Nonlinear Statics - Subcase Constraints
 SOL 107 Direct Complex Eigenvalues
 SOL 108 Direct Frequency Response
 SOL 109 Direct Transient Response
 SOL 110 Modal Complex Eigenvalues
 SOL 111 Modal Frequency Response
 SOL 112 Modal Transient Response
 SOL 129 Nonlinear Transient Response
 SOL 200 Design Optimization
 SOL 200 Model Update
 SOL 601,106 Advanced Nonlinear Statics
 SOL 601,129 Advanced Nonlinear Transient
 SOL 701 Explicit Advanced Nonlinear Analysis

Obr. 6 - zadání řešiče

Namáhání paty nogu

Vazby

Při zadávání okrajových podmínek modelu je odebráno válci, ke kterému jsou připojeny nogy všech 6 stupňů volnosti. K vytvoření vazby je použita funkce *User defined constrain*.



Obr. 7 – vazba – maximální namáhání paty nogu

Zatížení

Pro analýzu maximálního napětí v patě nogu je uvažován stav, kdy dojde k zastavení rotace šneku (např.: při přeplnění komory, mechanické závadě apod.). Energie rotace hřídele se mění v deformační energii. Při zastavení rotace je tato deformační energie maximální. V případě takové situace se uvažuje, že je jen jeden nog v záběru. Hřídel je uvažována jako nekonečně tuhá, proto se jako koncentrátor napětí předpokládá pata nogu.

Zatížení boku nogu je definováno tlakem, který je vypočten z výkonu pohonu. Pro následný výpočet jsou zanedbány ztráty na tření a v převodovce. Uvažovaný výkon jednoho rotoru je poloviční (2 rotory) k výkonu pohonu.

Výkon pohonu: 690 kW

Uvažovaný výkon na 1 hnětiči: 345 kW

Maximální otáčky: 60 ot/min

Moment:
$$M = \frac{P}{\omega} = 345 \cdot 10^3 \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot 60} = 54936,3 \approx 55\,000 \text{ Nm}$$

Dále je vypočtena síla, která vyvozuje točivý moment. Tato síla v případě boční plochy nogu bude maximální na patní kružnici.

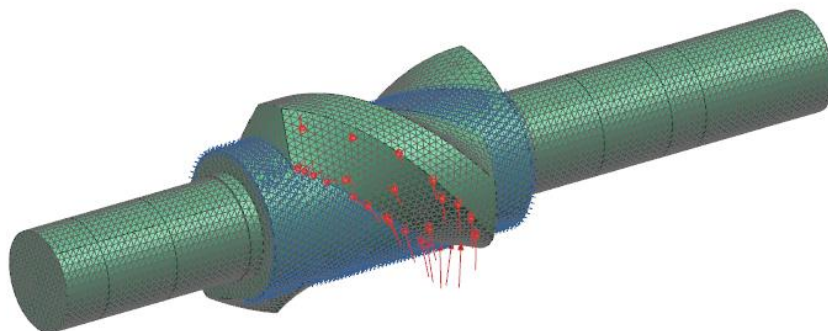
Patní poloměr:
$$R = \frac{269}{2} = 134,5 \text{ mm}$$

Síla na poloměru R:
$$F = \frac{M}{\sin 40^\circ \cdot R} = \frac{55\,000 \cdot 10^3}{\sin 40^\circ \cdot 134,5} = 636\,169,6 \text{ N}$$

Uvažovaná zatížená plocha nogu:
$$S = 106\,373,4 \text{ mm}^2 \text{ (změřeno v CAD)}$$

Tlak na plochu nogu:
$$P = \frac{F}{S} = \frac{636\,169,6}{106\,373,4} = 5,98 \text{ MPa}$$

K vytvoření zatížení je použita funkce *Pressure*.



Obr. 8 - model s vazbami a zatížením

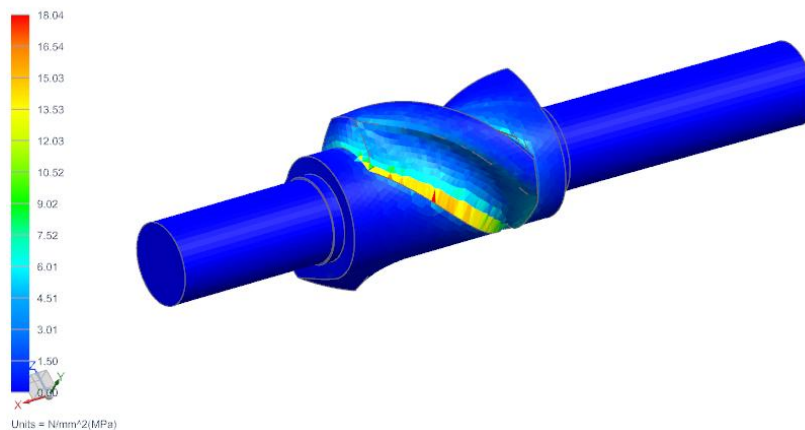
Na obrázku modelu lze vidět umístění zatížení na bok největšího nogu.

Výsledky

Maximální napětí modelu se nachází v patě nogu a jeho hodnota je 18,04 MPa. Minimální hodnota meze kluzu pro materiál ČSN 355 je 284 MPa. Výsledná bezpečnost má hodnotu:

$$k = \frac{284}{18,04} = 15,74$$

MECH3_ANALYZA - Solution 2 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises
 Min : 0.00, Max : 18.04, Units = N/mm^2(MPa)
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obr. 9 - maximální napětí v patě nogu

Namáhání hřídele

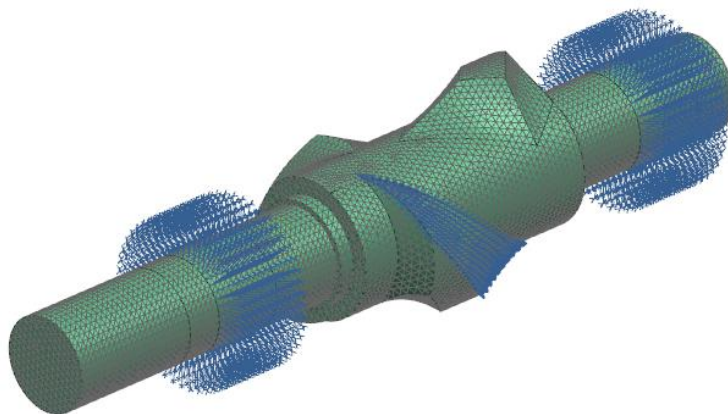
Rotor je v komoře uložen na dvojici dvouřadých soudečkových ložisek. Pro analýzu maximálního napětí je uvažován stav, kdy dojde k zastavení rotace šneku (např.: při přeplnění komory, mechanické závadě apod.). Energie rotace hřídele se mění v deformační energii. Při zastavení rotace je tato deformační energie maximální. V případě takové situace se uvažuje, že je jeden nog v záběru. Tento stav je nasimulován odebráním 6 stupňů volnosti boční ploše největšího nogu.

Vazby

Pro zadávání okrajových podmínek modelu byly při přípravě modelu připraveny kontaktní plochy pro ložiska a přípojnou část převodovky.

Kontaktní ploše prvního ložiska je odebráno 5 stupňů volnosti – ložisko zachycuje axiální sílu. K vytvoření vazby je použita funkce *Cylindrical constrain*, která umožňuje odebrat posuvy v normálovém směru ke kontaktní ploše (radiální směr), v axiálním směru a rotaci kolem osy válcové plochy. V tomto případě je odebrán posuv v radiálním a axiálním směru.

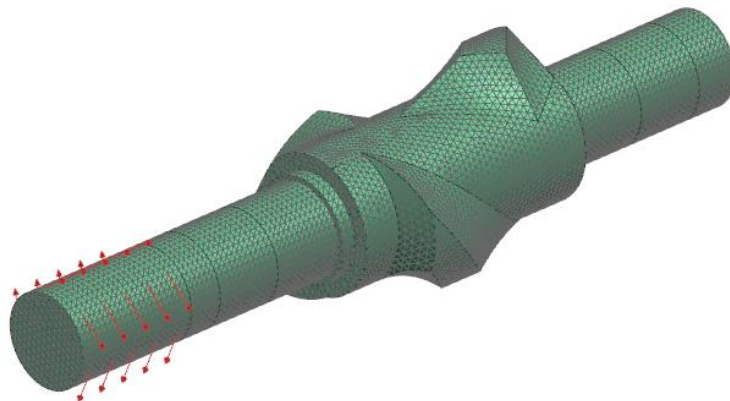
Kontaktní ploše druhého ložiska jsou odebrány 4 stupně volnosti – ložisko nezachycuje axiální sílu. K vytvoření vazby je použita také funkce *Cylindrical constrain*. Odebrán je pouze posuv v radiálním směru.



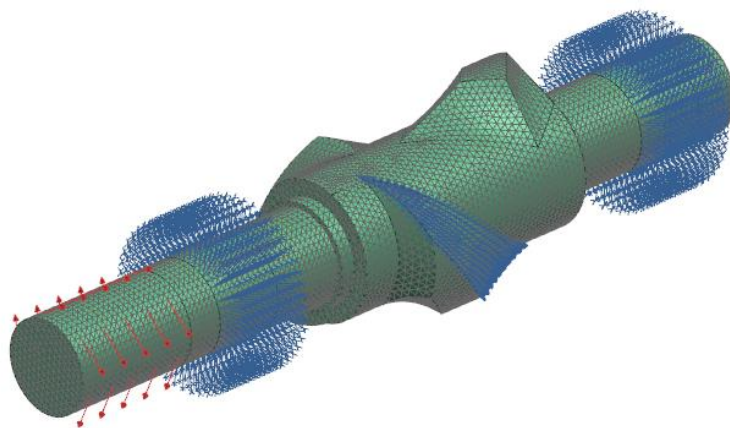
Obr. 10 - vazby ložisek hřídele

Zatížení

Přípojná plocha převodovky je zatížena točivým momentem $M = 55\,000\text{ Nm}$.



Obr. 11- zatížení modelu hřídele

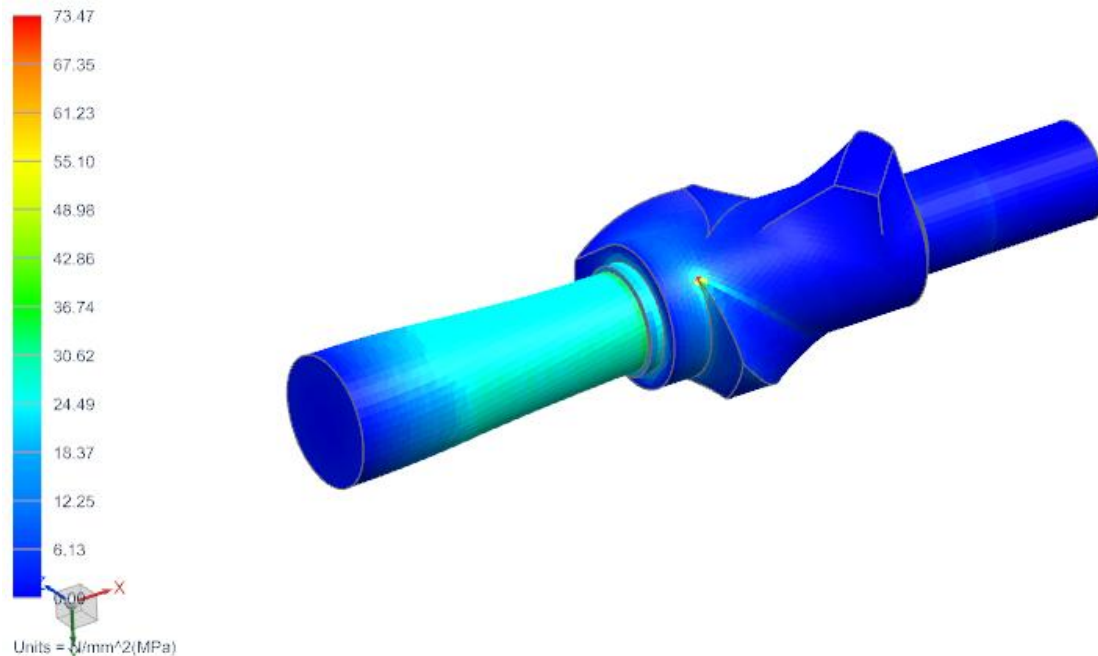


Obr. 127 – zatížený model s vazbami připravený k výpočtu

Výsledky

Maximální napětí 73,47 MPa je patrné v přechodu hrany nogu a válcové plochy šneku. Na reálném šneku je v tomto místě hrana zaoblena, proto bude skutečné napětí ještě nižší. Podle úvahy toto napětí vzniká při zastavení rotace hřídele. Míchaná směs je kaučuk, u kterého se očekává i při zastavení hřídele další pružení umožňující nepatrné natočení hřídele. Toto natočení může také dále snižovat špičky maximálního napětí.

MECH3_ANALYZA : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises
Min : 0.00, Max : 73.47, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



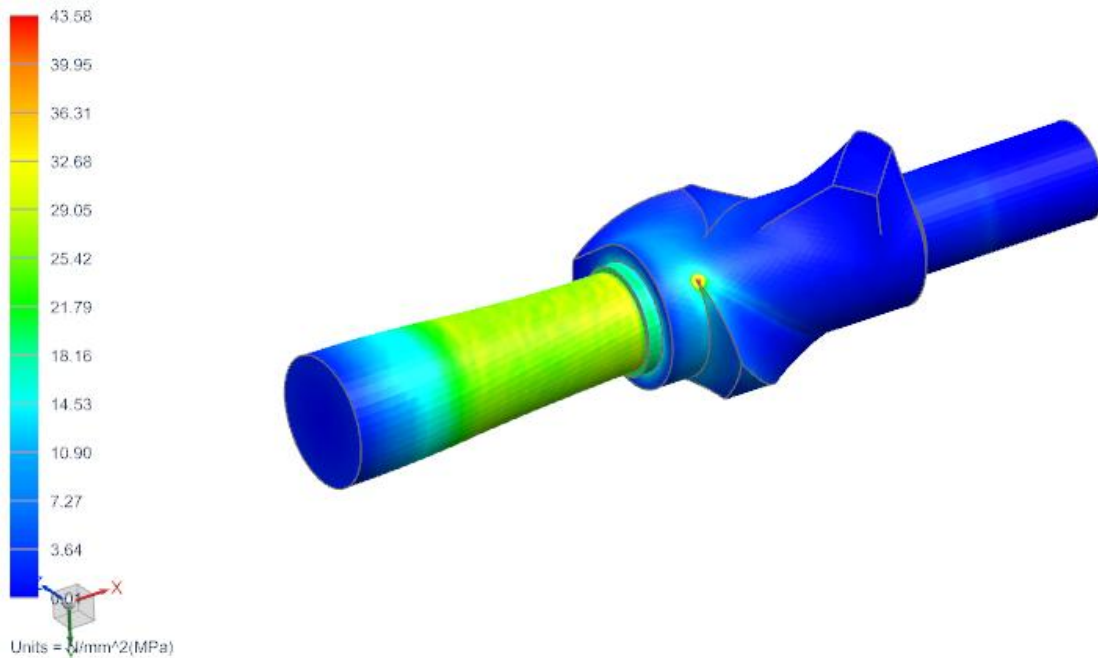
Obr. 13 - maximální napětí hřídele

Průměrné napětí hřídele je 43,58 MPa.

Šnek je opatřen tvrdonávarem a poté pochromován. Pro případ výpočtu bezpečnosti je uvažován šnek s rotorem bez tvrdonávaru a chromování, z materiálu ČSN 11 523 o mezi kluzu 284 MPa. Výsledná bezpečnost má hodnotu:

$$k = \frac{284}{73,47} = 3,86$$

MECH3_ANALYZA : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Averaged, Von-Mises
Min : 0.01, Max : 43.58, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obr. 14 – průměrné napětí

Shrnutí

Maximální možné teoretické napětí v patě nogu šneku je 18,04 MPa, v hřídeli 73,47 MPa. K těmto výsledkům analýzy byly vypočteny bezpečnosti vůči mezi kluzu $k=15,74$ pro patu nogu a $k=3,86$ pro hřídel.

Příloha 2

Seznam dat poskytnutý společností Buzuluk

CAD 3D data: sestava rotoru se šnekem typ 03737
 sestava rotoru se šnekem typ 03888
 sestava rotoru se šnekem typ 03889
 sestava rotoru se šnekem typ 03989
 komora typ 03737
 bočnice typ 03737
 komora typ 03888
 bočnice typ 03888
 komora typ 03889
 bočnice typ 03889
 komora typ 03989

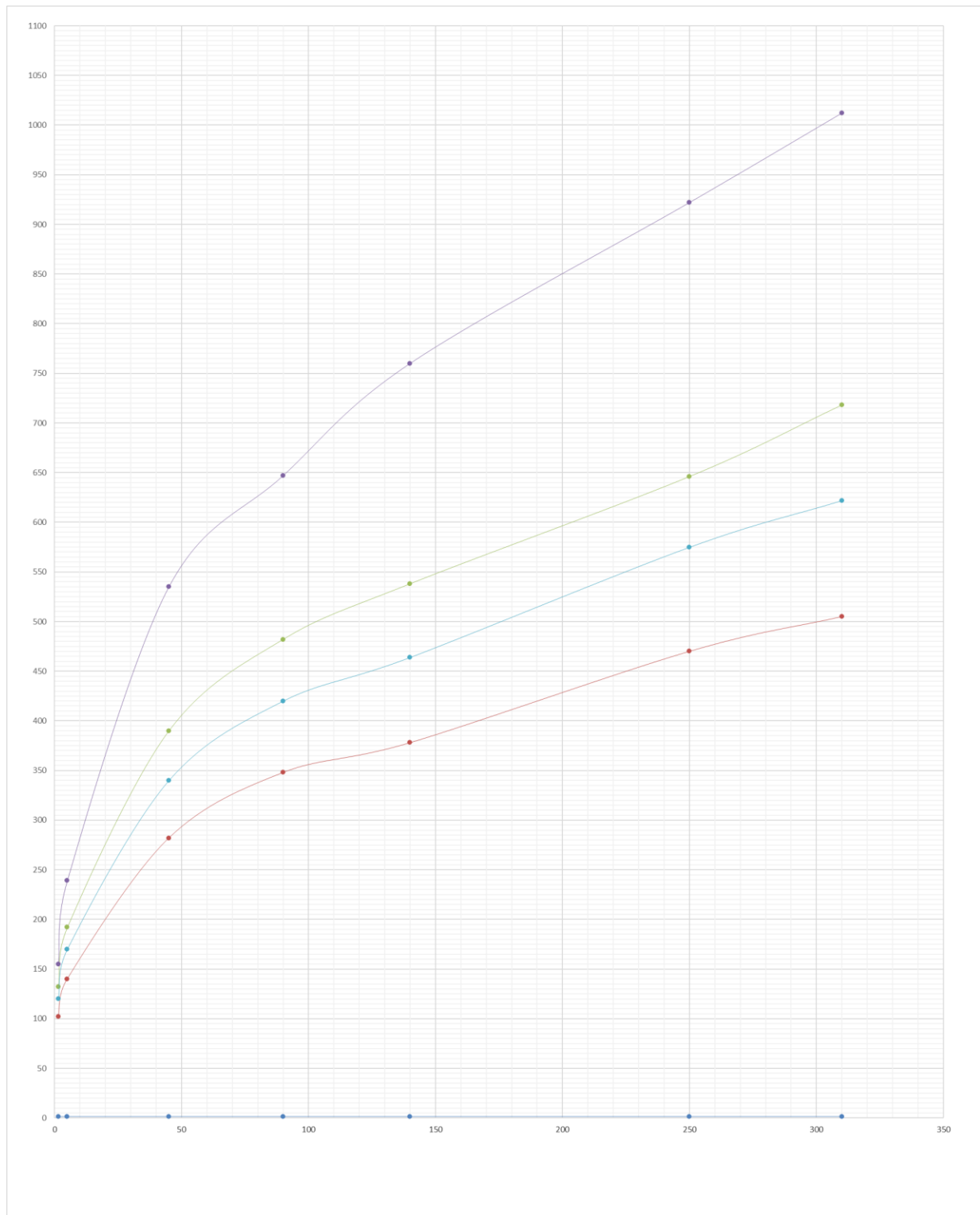
Výkresová dokumentace: výkres horního klátu typ 03737
 výkres dolního klátu typ 03737
 výkres horního klátu typ 03888
 výkres horního klátu typ 03889

Tabulky a grafy:

Parametr				310 L	140 L	Poměr	250L	Poměr	Parametr	3888	250L	Poměr	310 L	90L	Poměr
D/d				1,421782	1,424	1,00156			D/d				1,421782	1,385057	
d				505	375	0,742574	471	0,932673	d	378	470	1,243386	505	348	0,689109
D				718	534	0,743733	667	0,928969	D	538	646	1,200743	718	482	0,671309
L				1012	757	0,748024	922	0,911067	L	760	922	1,213158	1012	647	0,639328
Rozteč				622	464	0,745981	575	0,924437	Rozteč	464	575	1,239224	622	420	0,675241

Parametr	90L	45L	Poměr
D/d	1,385057	1,38297872	
d	348	282	0,810345
D	482	390	0,809129
L	647	535	0,826893
Rozteč	420	340	0,809524

Parametr	45L	1,5	Poměr
D/d	1,382979	1,294118	
d	282	102	0,361702
D	390	132	0,338462
L	535	155	0,28972
Rozteč	340	120	0,352941



Ostatní:

Katalog společnosti Sensit

Příloha 3

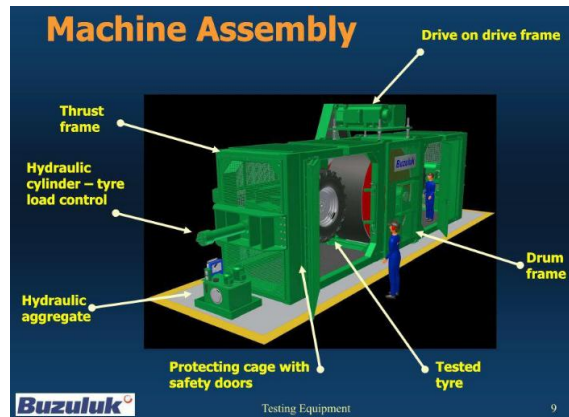
Zkušební stroje

Bubnové zkušebny pneumatik

Na bubnových zkušebnách lze měřit statické i dynamické vlastnosti pneumatik jako jsou tuhost, testování popílu a měření dezénu.



bubnová zkušebna pneumatik [30]



popis hlavních celků zkušebny [30]

Testory radiální házivosti

Stroj se skládá z rámu ze silnostěnných plechů s kluznými ložisky pro vodící tyče s přírubami, na které je možná montáž disků. Rám nese i další zařízení stroje. Součástí stroje je klecová zábrana znemožňující přístup obsluhy do prostoru stroje při testování. Stroj měří házivost pneumatiky a její umístění.



testor radiální házivosti [31]

Oba typy zkušebních strojů lze přizpůsobit požadovaným rozměrům pneumatik, na které se zákazník zaměřuje. Primárně jsou zkušebny určeny pro testování nákladních, offroadových, vysokozátěžových a agro pneumatik.

Rotační vulkanizační lisy

Zařízení slouží k vulkanizačnímu procesu produktu. Linka rotačního vulkanizačního lisu se skládá z odvíjecího zařízení, vulkanizačního lisu, chladičky, ořezávání okrajů a navíjení.



rotační vulkanizační lis [22]

Materiál je veden z odvíjecího válce přes spodní válec do lisovací mezery mezi tažný přítlačný buben a vyhřívací buben. Zde je materiál stlačen a vulkanizován. Zařízení disponuje možností nastavení odlišných podmínek při vulkanizaci

Ostatní stroje

Speciální kalandry

Dvouválec pro recyklaci gumy

Toto zařízení lze často vidět na začátku linky na recyklaci gumy. V případě recyklace pneumatik mu ještě předchází stroj na vytrhávání lanka z okraje dosedací hrany ráfku. Naopak za samotným drtičem se umísťuje magnetický separátor na kovové části pneumatiky.

Válce jsou protiběžné s jednoduchou nebo variabilní fricí. Je možné volit mezi plným nebo dutým válcem a ručním nebo hydraulickým stavěním.



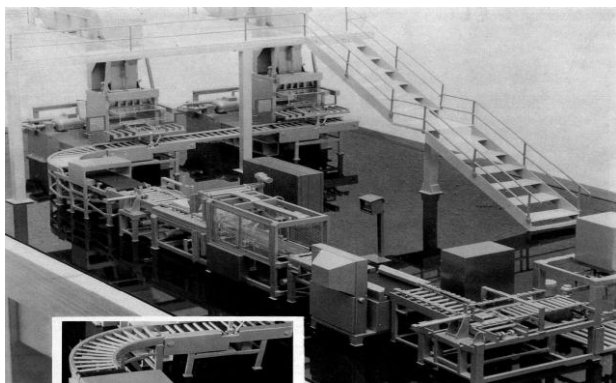
dvouválec pro recyklaci gumy [22]



dvouválec pro recyklaci gumy [22]

Linky na balení syntetického kaučuku

Linka na balení kaučuku vytváří z gumového extrudátu brikety s danými rozměry a ty dále ukládá na paletu. Proces je zcela automatizovaný včetně navažování směsi. Celá linka se skládá z vibračního navažovacího dopravníku, násypky, briketovacího lisu, detektoru kovů, odebíracího zařízení pro brikety obsahující kov, váhy se značícím zařízením a automatického paletovacího zařízení. Tato zařízení jsou propojena nejrůznějšími dopravníky.



linka na balení kaučuku [32]



slisovaný kaučuk do brikety [32]

Briketovací lis je v Buzuluku hydraulický, vertikální konstrukce s horní násypkou.

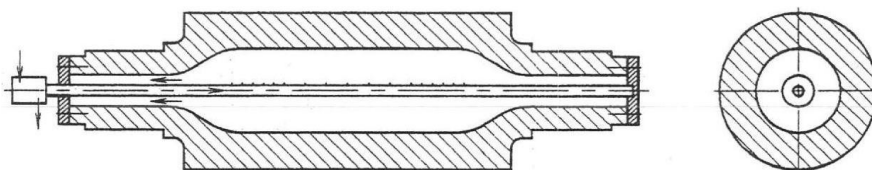
Válce

Výroba válců má v Buzuluku dlouholetou tradici. Společnost využívá vlastní slévárny a vlastní vyvinutou litinu. Válce se v Buzuluku vyrábí nejen pro gumárenský průmysl, ale také pro plastikařský, potravinářský a papírenský průmysl.

Válce jsou lité stacionárně s tangenciálním vtokem ve vlastní slévárně z vlastní litiny a lze je rozdělit na:

Válce s dutinou

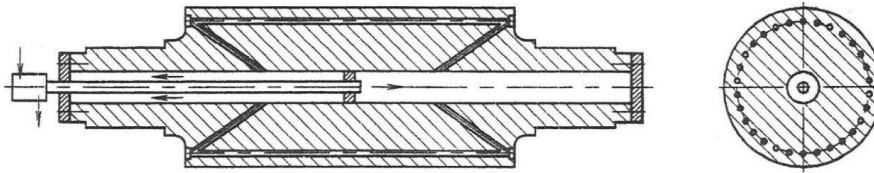
Válce slouží k snadnější regulaci teploty v gumárenském průmyslu.



válec s dutinou [33]

Vrtané válce

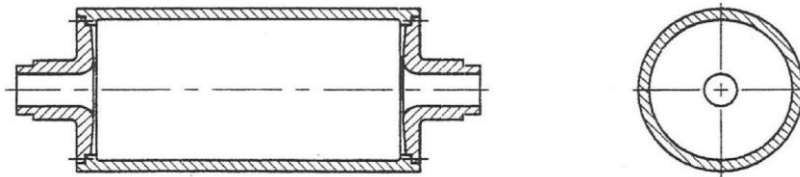
Válce slouží k efektivnější regulaci teploty v gumárenském a plastikařském průmyslu.



vrtaný válec [33]

Topné (chladicí) bubny

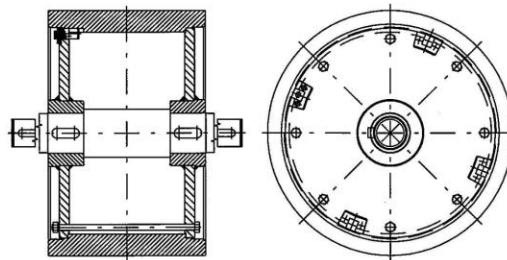
Válce slouží k sušení a chlazení (např. u vulkanizačního lisu).



topný (chladicí) bubny [33]

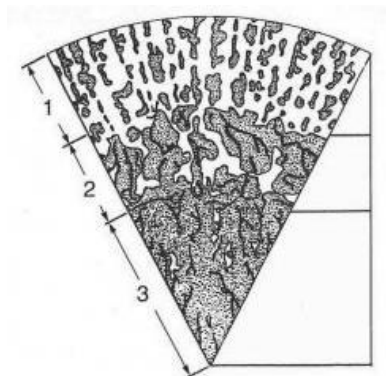
Cihlářské válce

Využívají se při zpracování hlíny a dalších cihlářských surovin.



cihlařský válec [33]

Válce se vyrábějí nejčastěji z tvrdé kokilové litiny s pracovní ledeburickou vrstvou vzniklou rychlým ochlazením taveniny, prostřední vrstvou, která je směsí ledeburitu, karbidu a perlitu a grafitickým jádrem.



znázornění jednotlivých vrstev materiálu válce [33]

Na přání zákazníka vyrábí Buzuluk také ocelové válce (kované nebo válcované), hlavně z důvodu vyšší požadované pevnosti. [55]; [57]