

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N0715A270017 - Konstruování strojů a
technických zařízení

Studijní specializace: Konstruování vozidel a manipulačních
zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Konstrukční návrh zařízení pro demontáž plastového výrobku
sloužícího ke kontrole těsnosti palivového systému**

Autor: Bc. Filip SCHNEIDER

Vedoucí práce: Doc. Ing. Josef FORMÁNEK, Ph. D.

Akademický rok 2021/2022

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Filip SCHNEIDER**
Osobní číslo: **S20N0061P**
Studijní program: **N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení**
Specializace: **Konstruování vozidel a manipulačních zařízení**
Téma práce: **Konstrukční návrh zařízení pro demontáž plastového výrobku sloužícího ke kontrole těsnosti palivového systému**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh zařízení určeného pro rozdělení plastového svařence a demontáž vnitřních komponent výrobku bez jejich poškození. Dále provést specifikaci požadavků s ohledem na správnou funkčnost, bezpečnost práce při obsluhování zařízení, kompaktních rozměrů zařízení a možnost výměny komponent, u kterých se očekává opotřebení. Konstrukční návrh systému by měl obsahovat rozbor technických možností jednotlivých řešení, splňovat požadavky technické jednoduchosti a respektovat bezpečnostní požadavky. U výsledného řešení provést komplexní hodnocení

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Vypracování rešerše včetně systematického popisu funkce.
2. Vypracování rozboru technických parametrů.
3. Vypracování vybrané varianty řešení včetně výpočtového hodnocení.
4. Zhodnocení vybraného konstrukčního návrhu.

Konzultant: Ing. Radek Jánský, Robert Bosch, spol. s r.o., České Budějovice

Rozsah diplomové práce: **40-60 stran**
Rozsah grafických prací: **podle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] MM Průmyslové spektrum: Konstrukce CNC obráběcích strojů. Praha, 2006
 - [2] PROKEŠ, J., VOSTROVSKÝ, J.: Hydraulické a pneumatické mechanismy. SNTL, Praha, 1988
 - [3] ŘAŠA, J., ŠVERCL, J.: Strojnické tabulky. Scientia, Praha, 2004
 - [4] SHIGLLEY, J., E., MISCHKE, C., R., BUDYNAS, R., G. Konstruování strojních součástí. VUT v Brně, Brno, 2010
- Podkladový materiál, výkresy, prospekty, katalogy apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2022**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 16. října 2021

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

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Schneider	Jméno Filip	
STUDIJNÍ PROGRAM	N0715A270017 - Konstruování strojů a technických zařízení		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Formánek, Ph. D.	Jméno Josef	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Konstrukční návrh zařízení pro demontáž plastového výrobku sloužícího ke kontrole těsnosti palivového systému		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2022
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	144	TEXTOVÁ ČÁST	120	GRAFICKÁ ČÁST	24
---------------	-----	---------------------	-----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Diplomová práce obsahuje konstrukční návrh zařízení určeného pro demontáž výrobku z polymerního materiálu určeného pro aplikaci v automobilovém průmyslu ke kontrole těsnosti palivového systému. Koncepční návrhy byly srovnány dle váženého hodnocení zvolených kritérií a nejlepší z návrhů byl dopracován po dodatečné optimalizaci do finální konstrukční podoby. Výsledkem této práce je finální návrh ověřený několika analytickými výpočty a dále několika zjednodušenými simulacemi statického zatížení volených komponent pomocí software Siemens NX Nastran.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	výrobek sloužící ke kontrole těsnosti palivového systému, demontážní zařízení, plastový svařenec, dělení polybutylentereftalátu vyztuženého sklěněnými vlákny, design, CAD model, počítačová simulace, metoda konečných prvků

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Schneider	Name Filip	
STUDY PROGRAMME	N0715A270017 - Design engineering of machines and technical devices		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Formánek, Ph. D.	Name Josef	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Engineering Design of a disassembly tool for a plastic product used to check the tightness of the fuel system		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2022
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	144	TEXT PART	120	GRAPHICAL PART	24
----------------	-----	------------------	-----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This diploma thesis contains a design of disassembly tool for a product made of polymeric material intended for application in the automotive industry to check the tightness of the fuel system. The conceptual designs were compared according to the weighted evaluation of the selected criteria and the best of the designs was completed after additional optimization into the final design. The result of this work is the final design verified by several analytical calculations and several simplified simulations of static loading of selected components using NX Nastran software.
KEY WORDS	plastic product used to check the tightness of the fuel system, disassembly tool, plastic weldment, polybutylene terephthalate with glass fibre cutting, design, CAD model, computer simulation, Finite Element Method

Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	8
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	12
1. Úvod	13
2. Vypracování rešerše včetně systematického popisu funkce	14
2.1 Rešerše stávajícího řešení	14
2.2 Operace dělení výrobku	15
2.3 Operace vylisování vnitřní komponenty.....	17
2.4 Další požadavky na návrh zařízení	19
3. Vypracování rozboru technických parametrů	21
3.1 Návrh první koncepční varianty	21
3.2 Návrh druhé koncepční varianty.....	25
3.3 Návrh třetí koncepční varianty	29
3.4 Srovnání navržených koncepčních variant	33
4. Vypracování vybrané varianty řešení včetně výpočtového hodnocení.....	35
4.1 Úprava zásadních parametrů koncepčního návrhu	35
4.2 Ergonomie zařízení.....	36
4.3 Stanovení dodatečných požadavků a jejich vliv na konstrukční řešení.....	40
4.3.1 První koncepční změna	41
4.3.2 Druhá koncepční změna	42
4.3.3 Třetí koncepční změna	43
4.4 Výpočetní ověření finálního konstrukčního návrhu	46
4.4.1 Základní deska.....	47
4.4.2 Výsuvný podstavec	48
4.4.3 Horní posuvná část a nástroje.....	56
4.4.4 Ostatní specifikace zařízení.....	62
5. Zhodnocení vybraného konstrukčního návrhu.....	66
Seznam použitých zdrojů	67
Internetové zdroje.....	67
Literatura	68
Použitý software	68
Přílohy	68
Přílohy zavázané	68
Přílohy volně vložené.....	68

Přehled použitých zkratk a symbolů

Značka	Název	Rozměr
L_x, l_x	Délka	mm
D_x, d_x	Průměr	mm
pos_x	Posunutí	mm
F_x	Síla	N
C_x	Dynamická únosnost	N
C_{0x}	Statická únosnost	N
C_{xp}	Požadovaná únosnost	N
M_x	Celkový utahovací moment	N*m
s_x	Součinitel bezpečnosti	-
n_z	Počet nosných závitů	-
S_z	Plocha závitu	mm ²
p_x	Tlak	Pa
σ_x	Osové napětí	Pa
τ_x	Smykové napětí	Pa
σ_{Red_x}	Redukované napětí	Pa
Re_x	Mez kluzu	Pa
k	Tuhost	N/mm
W_k	Modul průřezu v krutu	mm ³

Pozn. znak x reprezentuje proměnné označení dle konkrétně použité situace viz. popis jednotlivých konkrétních zkratk při jejich výskytu dále v této kvalifikační práci.

Seznam obrázků

Obrázek 1 - stávající řešení ve dvou variantách včetně základního popisu; zleva – dělicí operace, vylisovací operace	14
Obrázek 2– výrobek ve výchozím stavu (plastový svařenec)	15
Obrázek 3- rozpad klíčových komponent se zjednodušenými geometriemi včetně jejich popisu	15
Obrázek 4 - řez výrobkem se znázorněním roviny vhodné pro rozdělení výrobku	17
Obrázek 5 - znázornění vylisovací operace	18
Obrázek 6 - detail vylisování ocelové klece	18
Obrázek 7 - problém vtažení výrobku do zakrytované části zařízení při vylisovací operaci stávajícího řešení	19
Obrázek 8 - ruční lis včetně základního popisu	20
Obrázek 9 - zástavbové prostory s jednotlivými výškami požadovanými pro návrh zařízení. 20	
Obrázek 10 - návrh první koncepční varianty pro dělicí operaci	21
Obrázek 11 - návrh první koncepční varianty pro vylisovací operaci	22
Obrázek 12 - částečně zjednodušené dosedové plochy bloků pro výrobek spodní části dělicího zařízení první koncepční varianty	22
Obrázek 13 - řez bloky a nožem s nastavitelnou vůlí pomocí šroubů první koncepční varianty	23
Obrázek 14 - řez bloky a nožem s nastavitelnými vůlemi pomocí šroubů první koncepční varianty	23
Obrázek 15 - rozpad komponent prvního koncepčního návrhu (otočeno o 90°)	24
Obrázek 16 - vkládání a vyndávání výrobku do první koncepční varianty	24
Obrázek 17 - návrh druhé koncepční varianty	25
Obrázek 18 - zakládání výrobku a řez zařízením pro znázornění zajištění výrobku u druhé koncepční varianty	26
Obrázek 19 - zadní zaklopená poloha u druhé koncepční varianty se základním popisem a znázorněním trajektorie výrobku	26
Obrázek 20 - sejmutí krytu výrobku v druhém koncepčním návrhu	27
Obrázek 21 - svislá poloha druhé koncepční varianty pro vylisovací operaci	27
Obrázek 22 - rozpad komponent druhého koncepčního návrhu	28
Obrázek 23 - návrh třetí koncepční varianty pro dělicí operaci	29
Obrázek 24 - zakládání výrobku do třetí koncepční varianty v případě neposuvné spodní části	30
Obrázek 25 - výměnné nástroje třetí koncepční varianty; zleva - dělicí nástroj, vylisovací nástroj	30
Obrázek 26 - orientace výrobku s delší stranou rovnoběžnou s rovinou posuvu; zleva: dělicí, vylisovací operace	31

Obrázek 27 - pohled seshora na podstavec při orientaci výrobku s delší stranou rovnoběžnou s rovinou posuvu se zjednodušenou geometrií dělicích nožů a se znázorněním rovin nástrojů... 31	31
Obrázek 28 - orientace výrobku s delší stranou kolmou na rovinu posuvu; zleva - dělicí, vylisovací operace 32	32
Obrázek 29 - pohled seshora na podstavec při orientaci výrobku s delší stranou kolmou na rovinu posuvu se zjednodušenou geometrií dělicích nožů a se znázorněním rovin nástrojů... 32	32
Obrázek 30 - graf srovnání koncepčních variant a jejich váženého hodnocení 34	34
Obrázek 31 - nosný rám se svislým vedením a základním popisem..... 35	35
Obrázek 32 – aretační systém výrobku s původně navrženým madlem s aretačními západkami ve vysunutém (odaretovaném) stavu..... 36	36
Obrázek 33 - aretační systém výrobku s upraveným rozšířeným madlem a ostatní ovládací prvky či prvky aretující polohu ve vysunutém (odaretovaném) stavu 36	36
Obrázek 34 - znázornění aretačních předepnutých kuliček, jejich umístění v zařízení, aretačního zařízení výrobku a ostatních vybraných komponent..... 37	37
Obrázek 35 - řez podstavcem a aretačním systémem pro popis a znázornění jeho komponent 38	38
Obrázek 36 - aretační západka polohy nástroje se znázorněním madla nástroje 39	39
Obrázek 37 - uložení kolejnic a lineárních vozíků..... 39	39
Obrázek 38 - základní deska s kolejnicemi, kuličkovými lineárními vozíky a výsuvným podstavcem se svěrnou deskou 40	40
Obrázek 39 - dodatečný požadavek – další pouzdro výrobku..... 40	40
Obrázek 40 - první koncepční změna konstrukčního návrhu a rozpad jejích komponent 41	41
Obrázek 41 - první koncepční změna konstrukčního návrhu z pohledu seshora na sestavu pojízdného podstavce 41	41
Obrázek 42 - druhá koncepční změna konstrukčního návrhu a rozpad jejích komponent..... 42	42
Obrázek 43 - druhá koncepční změna konstrukčního návrhu v krajních polohách; zleva - odklopená, zaklopená 42	42
Obrázek 44 - třetí koncepční změna konstrukčního návrhu a rozpad jejích komponent 43	43
Obrázek 45 - třetí koncepční změna konstrukčního návrhu v krajních polohách; zleva - vysunutá, zasunutá 43	43
Obrázek 46 - graf srovnání koncepčních změn konstrukčního návrhu a jejich váženého hodnocení 44	44
Obrázek 47 - aretace dodatečného pouzdra výrobku v podstavci pomocí prodlouženého aretačního čepu a jeho úpravy 45	45
Obrázek 48 - dojezdový doplňující aretační čep dodatečného pouzdra výrobku umístěného na základní desce 45	45
Obrázek 49 - rozdělení do bloků – včetně popisu pro rozdělení do následujících kapitol..... 46	46
Obrázek 50 - svislé vedení na základní desce 47	47

Obrázek 51 - zobrazení redukovaného napětí von Mises pro horizontálního vedení o průměru 12 mm se zvětšeným měřítkem deformace; zleva – vysunutá krajní (koncová) poloha; zasunutá krajní (koncová) poloha; hodnoty uvedeny v MPa	49
Obrázek 52 - zobrazení redukovaného napětí von Mises horizontálního vedení o průměru 16 mm se zvětšeným měřítkem deformace; zleva – vysunutá krajní (koncová) poloha; zasunutá krajní (koncová) poloha; hodnoty uvedeny v MPa	49
Obrázek 53 - zobrazení celkového posunutí při zatížení horizontálního vedení o průměru 12 mm se zvětšeným měřítkem deformace; zleva – vysunutá krajní (koncová) poloha; zasunutá krajní (koncová) poloha; hodnoty uvedeny v mm	50
Obrázek 54 - zobrazení celkového posunutí při zatížení horizontálního vedení o průměru 16 mm se zvětšeným měřítkem deformace; zleva – vysunutá krajní (koncová) poloha; zasunutá krajní (koncová) poloha; hodnoty uvedeny v mm	50
Obrázek 55 - horizontální vedení konstrukčního návrhu	51
Obrázek 56 - původní jezdec (nahore) a upravený jezdec (dole) s řezem a zobrazením upravených geometrií komponent	52
Obrázek 57 - komponenta nakloněné desky a zakomponování do podstavy podstavce s horizontálním vedením	52
Obrázek 58 - definování parametrů závitu šroubu a matice (závitové díry), [12]	53
Obrázek 59 - zobrazení redukovaného napětí von Mises pro upravenou komponentu jezdece při použití předepínacích sil v místech šroubů, hodnoty uvedeny v MPa	55
Obrázek 60 - spojovací komponenty horní pojezdové části a nástrojů; zleva – koncepční návrh, optimalizovaný konstrukční návrh	56
Obrázek 61 - zobrazení redukovaného napětí von Mises pro spojovací komponenty v koncepčním návrhu se zvětšeným měřítkem deformace, hodnoty uvedeny v MPa	57
Obrázek 62 - zobrazení redukovaného napětí von Mises pro spojovací komponenty v optimalizovaném konstrukčním návrhu se zvětšeným měřítkem deformace, hodnoty uvedeny v MPa	57
Obrázek 63 - řez sestavou vybraných komponent horní posuvné části pro ověření připojovacího dílu nástroje a navrhnutého nakupovaného profilu, hodnoty uvedeny v MPa	58
Obrázek 64 - zobrazení redukovaného napětí von Mises pro dělicí nástroj ve fázi koncepčního návrhu, hodnoty uvedeny v MPa	59
Obrázek 65 - zobrazení redukovaného napětí von Mises pro dělicí nástroj ve fázi optimalizovaného (konstrukčního) návrhu, hodnoty uvedeny v MPa	60
Obrázek 66 - zobrazení bezpečnostního krytu dělicího nástroje a aretace výrobku pro obsluhu ručního lisu před potencionálně odletujícími oddělenými kusy výrobku	62
Obrázek 67 - zobrazení bezpečnostního krytu vylisovacího nástroje a aretace výrobku pro obsluhu ručního lisu před potencionálně odletujícími oddělenými kusy výrobku	62
Obrázek 68 - řez nástroji a výrobkem v zařízení (v krajní zmáčknuté poloze); zleva - dělicí nástroj, vylisovací nástroj	63
Obrázek 69 - pohled zespoda na výměnné nástroje pro znázornění připojení nárazového tlumiče, [9]	63

Obrázek 70 – 3D model finálního návrhu konstrukčního řešení včetně barevného znázornění použitých materiálů	64
Obrázek 71 - render (fotorealistické zobrazení) finálního konstrukčního návrhu technického řešení	65
Obrázek 72 - finální sestavené konstrukční řešení po jeho realizaci a jeho umístění v ručním lisu	65

Seznam tabulek

Tabulka 1 - srovnání technologií dělení plastového svařence.....	16
Tabulka 2 - srovnání váženého hodnocení navržených koncepčních variant	33
Tabulka 3 - základní parametry aretační kuličky pro aretaci poloh a geometrie některých protilehlých dílů, [7].....	38
Tabulka 4 - srovnání koncepčních změn konstrukčního návrhu po stanovení dodatečných požadavků.....	44
Tabulka 5 - základní parametry ručního lisu a vybrané vypočtené hodnoty	46
Tabulka 6 - základní parametry pružin svislého vedení Hennlich 62/6/3 - 1.1200, [8].....	47
Tabulka 7 - základní parametry vodících tyčí / pouzder zn. Hiwin o průměrech 12 a 16 mm, [10]	48
Tabulka 8 - výsledné hodnoty zjednodušených MKP analýz horizontálního vedení	50
Tabulka 9 - Tabulka parametrů závitové díry k výpočetnímu ověření, [12], [13].....	53
Tabulka 10 - hodnoty některých parametrů, vypočtených hodnot a součinitelů bezpečnosti navrhnutých šroubů v jezdcí výsuvného podstavce při jejich montáži	55
Tabulka 11 - základní parametry pružin horizontálního vedení Hennlich 47/15/4 – 1.1200, [8]	56
Tabulka 12 - hodnoty některých parametrů, vypočtených hodnot a součinitelů bezpečnosti navrhnutých šroubů ve vylisovávacím nástroji při jejich montáži.....	59
Tabulka 13 - hodnoty některých parametrů, vypočtených hodnot a součinitelů bezpečnosti navrhnutých šroubů v dělicím nástroji při jejich montáži	61
Tabulka 14 - základní parametry volených kuličkových ložisek SKF 608, [2].....	61
Tabulka 15 - popis použitých materiálů včetně zjednodušeného popisu použití a povrchové úpravy.....	64

1. Úvod

Cílem této diplomové práce je návrh zařízení pro demontáž plastového výrobku z oblasti automobilového průmyslu sloužícího ke kontrole těsnosti palivového systému u vozů se spalovacími motory. Kromě demontáže výrobku je cílem i demontáž vnitřní komponenty bez jejího poškození. Koncepční návrh zařízení má být proveden v několika variantách. Práce je rozdělena do teoretické a praktické části.

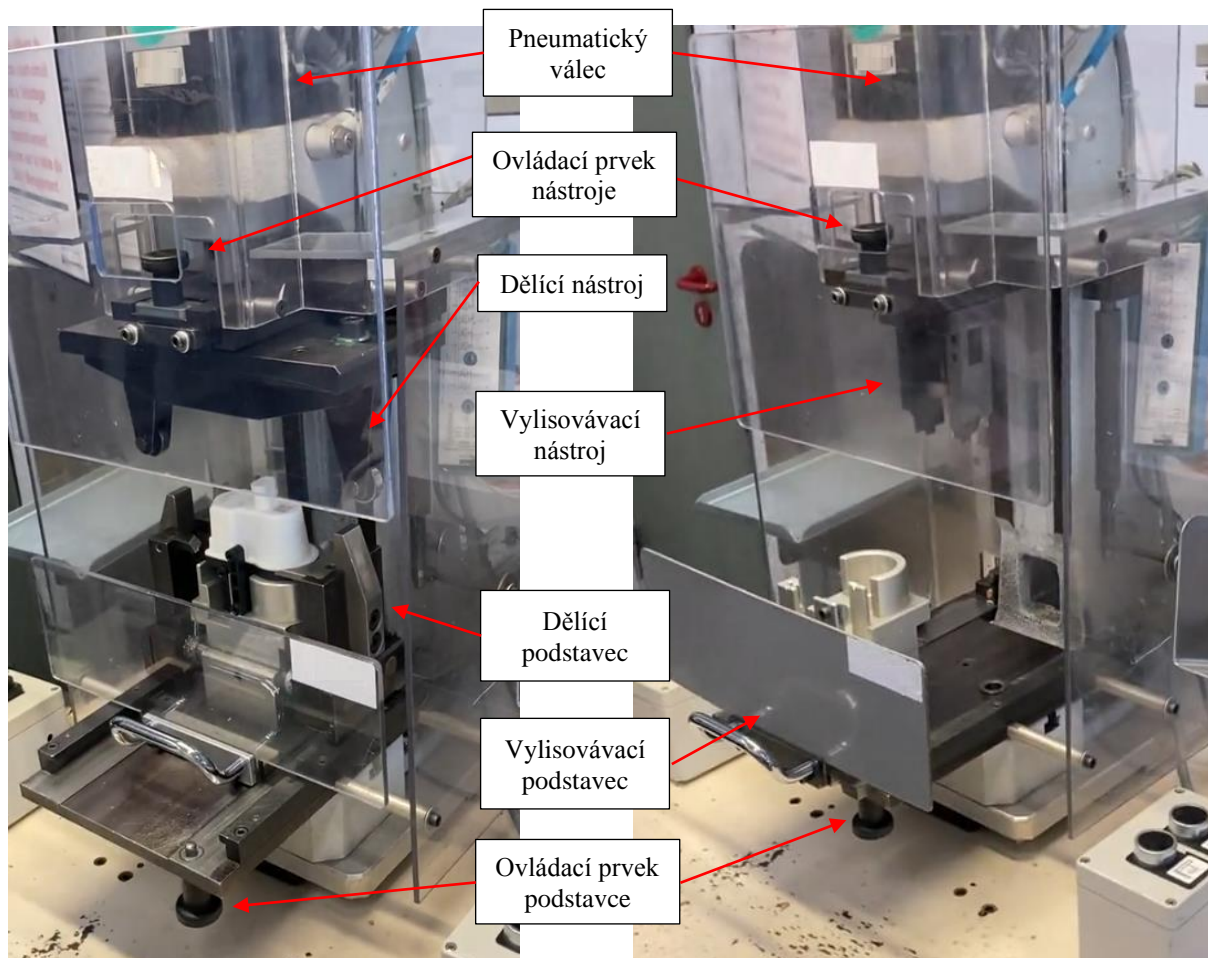
Teoretická část práce se zaměřuje na rozbor stávajícího řešení včetně jeho částečné analýzy z hlediska bezpečnosti práce či ergonomie pro obsluhu. Dále se teoretická část zaměřuje na obecné i konkrétní požadavky relevantní pro návrh zařízení a obsahuje seznámení se samotným výrobkem, pro který má být zařízení navrženo. Součástí je i podrobnější popis uvedených operací, které má zařízení vykonávat.

Praktická část pojednává v první řadě o hrubých koncepčních návrzích zařízení. Následně tyto návrhy porovnává a hodnotí dle volených kritérií s rozdílnou důležitostí (váhou kritérií). Na základě váženého hodnocení je vybrán nejvhodnější z uvedených návrhů. Vybraný návrh je dále v následujících kapitolách dovypracován do finální podoby a výpočetně ověřen pomocí analytických výpočtů případně pomocí několika simulací statického zatížení metodou konečných prvků vybraných dílčích uzlů zařízení.

2. Vypracování rešerše včetně systematického popisu funkce

2.1 Rešerše stávajícího řešení

Z hlediska dokumentace stávajícího řešení byla dostupná pouze obrazová dokumentace spočívající ve čtyřech snímcích stávajícího řešení a jednoho videozáznamu provozu zařízení. Parametry samotného zařízení stejně tak jako veškeré parametry obslužného zařízení – pneumatického válce (rozměry, síly, materiály atp.) nebyly známy, ani se nepodařilo je nějakým způsobem dohledat či zmapovat. Z tohoto důvodu je stávající řešení spíše použitelné z hlediska jedné z koncepcí budoucího návrhu zařízení, jenž je podstatou této kvalifikační práce.

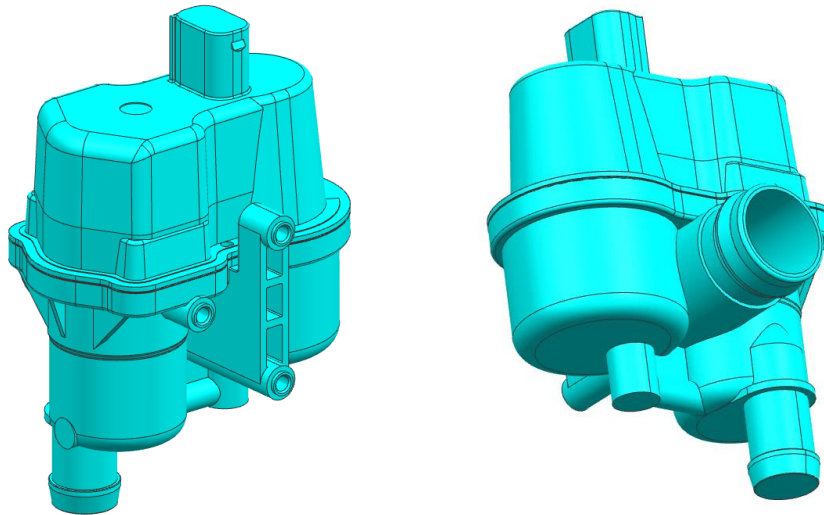


Obrázek 1 - stávající řešení ve dvou variantách včetně základního popisu; zleva – dělicí operace, vylisovávací operace

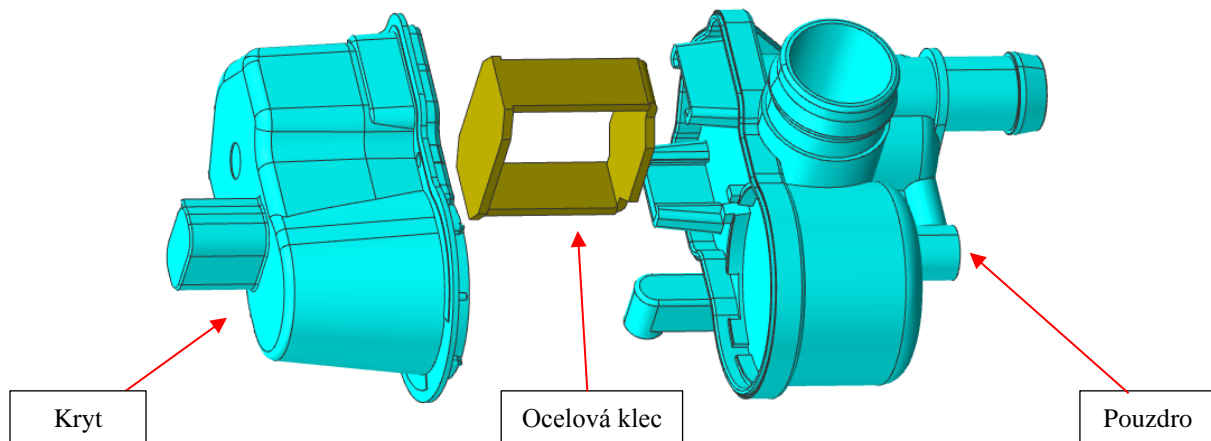
Při podrobnějším prozkoumání dostupné dokumentace stávajícího zařízení je patrné, že stávající řešení disponuje rozdílnými spodními částmi (podstavci) pro jednotlivé požadované operace s výrobkem. Poloha těchto podstavců je zajištěna ovládacím prvkem (aretační západkou) umístěnou zespoda zařízení, jak lze vidět na obrázku 1. Dále disponuje výměnnými nástroji v horní části zařízení, a to také dle požadované operace. Zakládání výrobku do zařízení probíhá u obou operací před samotným zařízením mimo pneumatický válec.

2.2 Operace dělení výrobku

První operací, kterou musí zařízení provádět je rozdělení plastového svařence – pouzdra a krytu. Výrobek je tvořen několika komponentami, z nichž v této práci budou zmíněny pouze komponenty relevantní pro tuto kvalifikační práci s poněkud zjednodušenými vnitřními geometriemi z důvodu zachování know-how zadavatele kvalifikační práce. Základní zjednodušené komponenty jsou uvedeny na následujícím obrázku.



Obrázek 2– výrobek ve výchozím stavu (plastový svařence)



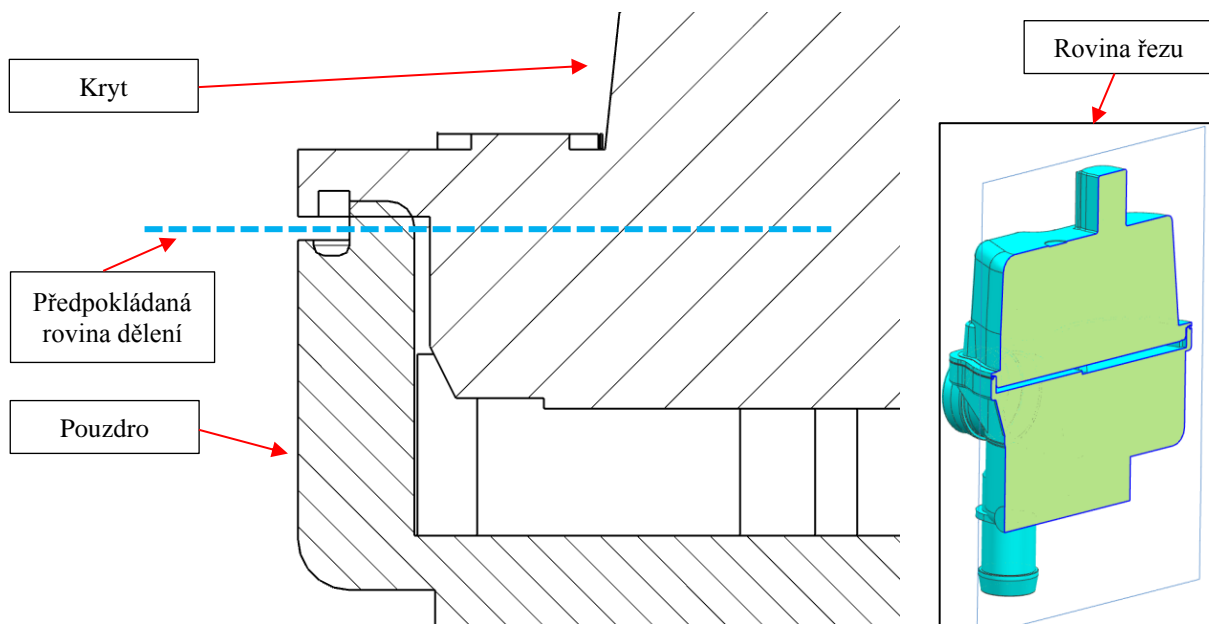
Obrázek 3- rozpad klíčových komponent se zjednodušenými geometriemi včetně jejich popisu

Z hlediska technologie rozdělení plastového svařence, a to konkrétně z materiálu PBT-GF20 (Polybutylentereftalát s výztuží tvořenou skleněnými vlákny) se nabízí několik řešení, která disponují různými klady a zápory. Srovnání několika základních zvolených technologií pro možné rozdělení výrobku uvádí následující tabulka.

Tabulka 1 - srovnání technologií dělení plastového svařence

Technologie	Klady	Zápory	Hodnocení (0-1)
Pilový list (plátek)	<ul style="list-style-type: none"> nízká cena jednoduchá výměna v případě listu na kov bezproblémové dělení vyztuženého plastu 	<ul style="list-style-type: none"> nečistoty postupným odebíráním materiálu nutnost složitých pohybů nástroje, či výrobu 	0,6
Řezný drát	<ul style="list-style-type: none"> přijatelná (nižší) cena 	<ul style="list-style-type: none"> nečistoty postupným odebíráním materiálu obtížné vedení 	0,5
Rovný nůž (nakupovaná komponenta)	<ul style="list-style-type: none"> přijatelná (nižší) cena čistý řez (s možnými úlomky materiálu) vytlačování materiálu bez jeho odebírání při vhodné konstrukci zařízení možnost ostření nástroje - zvýšení životnosti před jeho výměnou 	<ul style="list-style-type: none"> prořezávání materiálu bez vygenerování napětí ve svaru (pro lepší odtržení po jeho celé ploše) možnost uštípnutí materiálu (úlomků) a jejich následné vystřelení do okolí 	0,75
Tvarový nůž (přizpůsoben geometrii výrobku)	<ul style="list-style-type: none"> tvar nože lze přizpůsobit konkrétní geometrii - lepší opěra nože pro generování napětí ve svaru čistý řez (s možnými úlomky materiálu) vytlačování materiálu bez jeho odebírání při vhodné konstrukci zařízení možnost ostření nástroje - zvýšení životnosti před jeho výměnou 	<ul style="list-style-type: none"> nutná výroba konkrétní komponenty včetně potencionálního tepelného zpracování (vyšší cena a časová náročnost - dle konkrétní geometrie) možnost uštípnutí materiálu (úlomků) a jejich následné vystřelení do okolí 	0,8
Kruhový nůž	<ul style="list-style-type: none"> přijatelná (nižší) cena vytlačování materiálu bez jeho odebírání 	<ul style="list-style-type: none"> prořezávání materiálu bez vygenerování napětí ve svaru s rostoucím průměrem nože větší nestabilita v místě ostří (ohnutí/zlomení) složitá geometrie pohybu (dráhy) nože kolem výrobku časově náročnější proces 	0,5
Laser (systém)	<ul style="list-style-type: none"> absence potřebné dělicí síly (ručního lisu) při správné konstrukci jednoduchost procesu 	<ul style="list-style-type: none"> vysoká cena natahování materiálu (zápach, kouř) - nutná ventilace potřeba elektrické energie nutná odborná způsobilost 	0,1
Tavný (odporový) drát (systém)	<ul style="list-style-type: none"> absence potřebné dělicí síly (ručního lisu) při správné konstrukci jednoduchost procesu 	<ul style="list-style-type: none"> vysoká cena natahování materiálu (zápach, kouř) - nutná ventilace určené spíše na polystyreny (obecně napěňný materiál), nevhodné pro plasty s vyztužujícími skleněnými vlákny potřeba elektrické energie nutná odborná způsobilost 	0,1

Z uvedené tabulky vyplývá, že již dříve použitá technologie tvarových nožů částečně přizpůsobených geometrii výrobku u stávajícího řešení je nejvhodnější z uvedených technologií. Místo vhodné pro rozdělení výrobku je také zachováno z původního řešení, a to na stykové ploše pouzdra a krytu, kde jsou tyto komponenty místně laserově nataveny a přitlačeny (tedy svařeny). Po konzultacích se zadavatelem kvalifikační práce byla zadavatelem tato technologie velmi preferována a byl zde i požadavek na zachování této technologie z důvodu ověřené funkčnosti. Místo dělení je znázorněno v řezu sestavy komponent na následujícím obrázku.

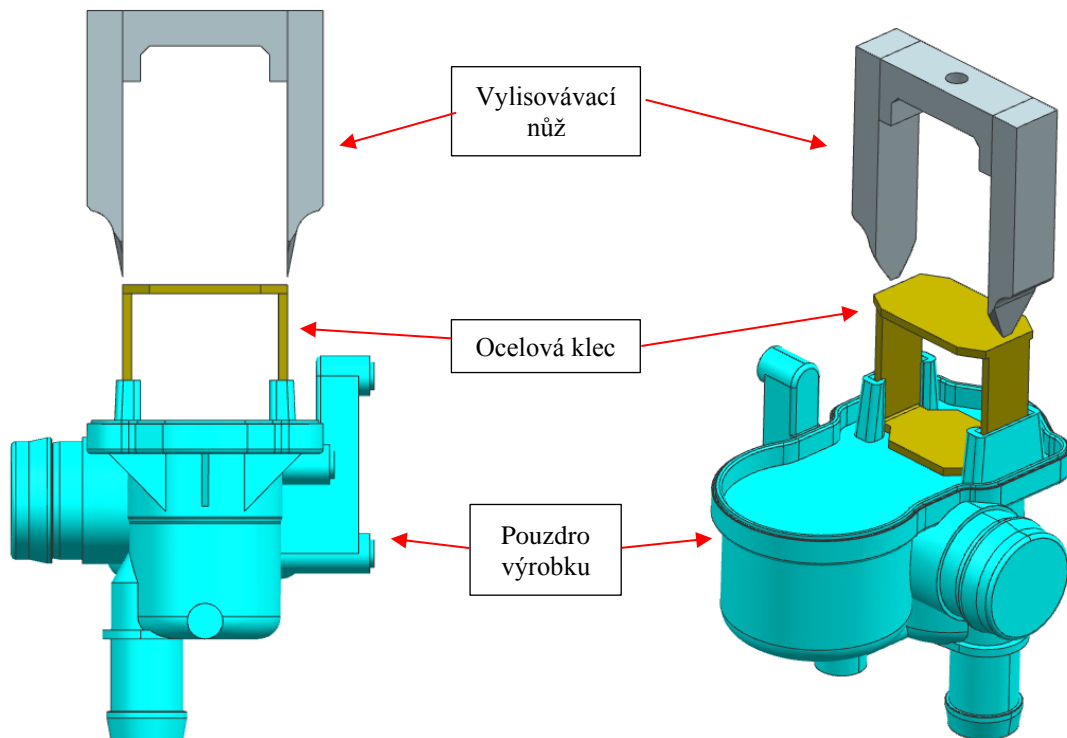


Obrázek 4 - řez výrobkem se znázorněním roviny vhodné pro rozdělení výrobku

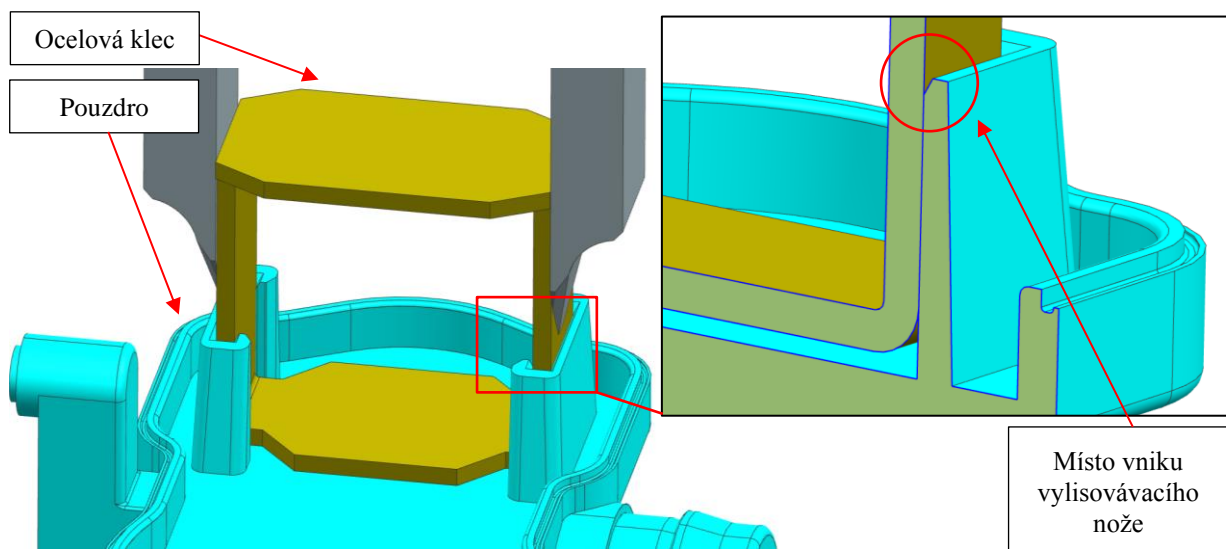
U této dělicí operace se počítá s nenávratným poškozením výrobku – konkrétně pouzdra a krytu v jejich spojovaných částech (rovině dělení).

2.3 Operace vylisování vnitřní komponenty

Druhou operací, pro kterou má být zařízení navrženo je vylisování vnitřní komponenty – ocelové klece, jenž je do pouzdra zalisována a zajištěna pomocí výstupků na samotné ocelové kleci (ve spodní části ocelové klece, kde je klec umístěna v pouzdra). Z hlediska návrhu bude zachován princip vylisování této komponenty pro její vyjmutí, nicméně díky absenci jakékoliv technické či výkresové dokumentace bude geometrie vylisovávacích nožů experimentálně stanovena a dále dle potřeby dopravena. Pro operaci vylisování vnitřní komponenty je zásadním požadavkem, provést tuto operaci bez destrukce některé z vnitřních komponent, které mají být touto operací z pouzdra výrobku uvolněny, aby bylo možné jejich vyjmutí. U této operace se počítá s nenávratným poškozením pouzdra výrobku.



Obrázek 5 - znázornění vylisovací operace



Obrázek 6 - detail vylisování ocelové klece

V případě operace vylisování byl výrobek ve stávajícím řešení po provedení operace zachycen vylisovacími noži a byl vtažen nahoru do pohyblivé části zařízení (jež je zakrytována). Docházelo tedy k potenciálně nebezpečnému pohybu, kdy byla obsluha zařízení nucena vkládat ruce do zakrytované části a obtížně výrobek z vylisovacích nožů sundávat silou.



Obrázek 7 - problém vtažení výrobku do zakrytované části zařízení při vylisovací operaci stávajícího řešení

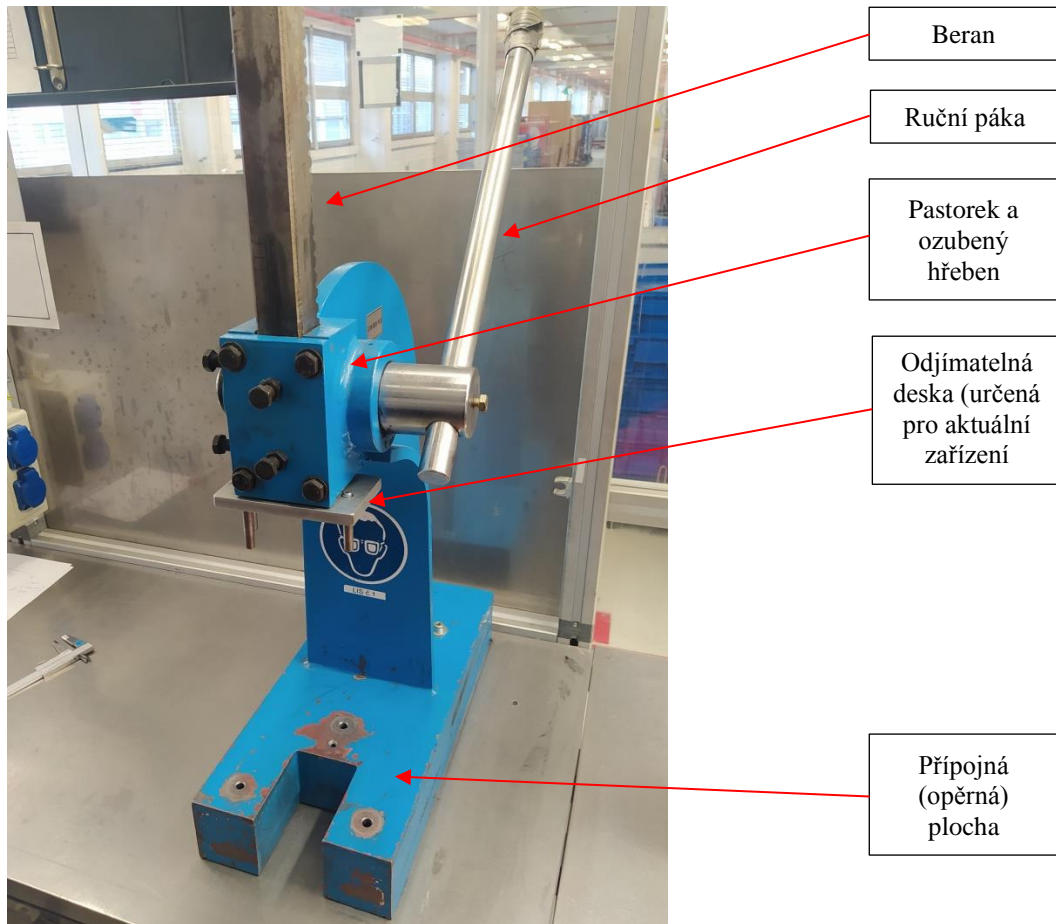
Z tohoto důvodu by bylo vhodné při návrhu toto riziko zohlednit a vybavit zařízení systémem, který byl tuto nebezpečnou činnost eliminoval.

2.4 Další požadavky na návrh zařízení

Prvním důležitým požadavkem je použití navrženého zařízení v ručním lisu. Pro obsluhu ručního lisu platí nařízení vydané zadavatelem z hlediska možné působící síly na ruční páku. Dále lis udává zástavbové rozměry a geometrie, jimž musí navržené zařízení disponovat, aby bylo možné zařízení k lisu připojit a bezpečně silově lisem na zařízení působit. Některé z těchto parametrů budou dále specifikovány v této kapitole. Zařízení má být navrhováno s potencionálním budoucím užitím v automatizované stanici.

Dalšími důležitými aspekty pro návrh jsou preferovaní vyšší robustnosti (případně životnosti) zařízení za cenu vyšší hmotnosti, dále použití v co největší možné míře nakupovaných komponent pro zjednodušení zařízení jako celku a potencionální výměny či výroby jednotlivých komponent. V neposlední řadě je také vhodné zařízení navrhnout tak, aby komponenty, u kterých se očekává opotřebení (zejména nože), byly bez problému vyjmutelné a bylo možné provést jejich údržbu či výměnu.

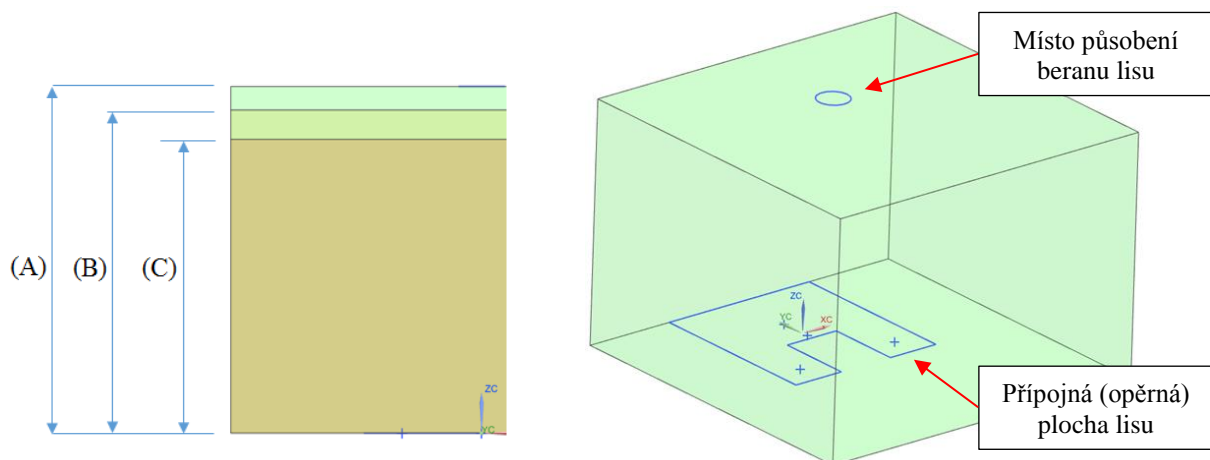
Zobrazení ručního lisu včetně základního popisu (pro seznámení s terminologií použitou dále v této kvalifikační práci) znázorňuje následující obrázek.



Obrázek 8 - ruční lis včetně základního popisu

Bezpečné silové působení na ruční páku lisu znázorňuje následující obrázek, kde nejzásadnějšími parametry jsou následující orientační hodnoty:

- (A) otevřená poloha včetně vůle (maximální otevření lisu) 295 mm
- (B) vymezení všech vůlí navrženého zařízení (silové působení lisu) 275 mm
- (C) uzavřená poloha (minimální otevření lisu) 250 mm



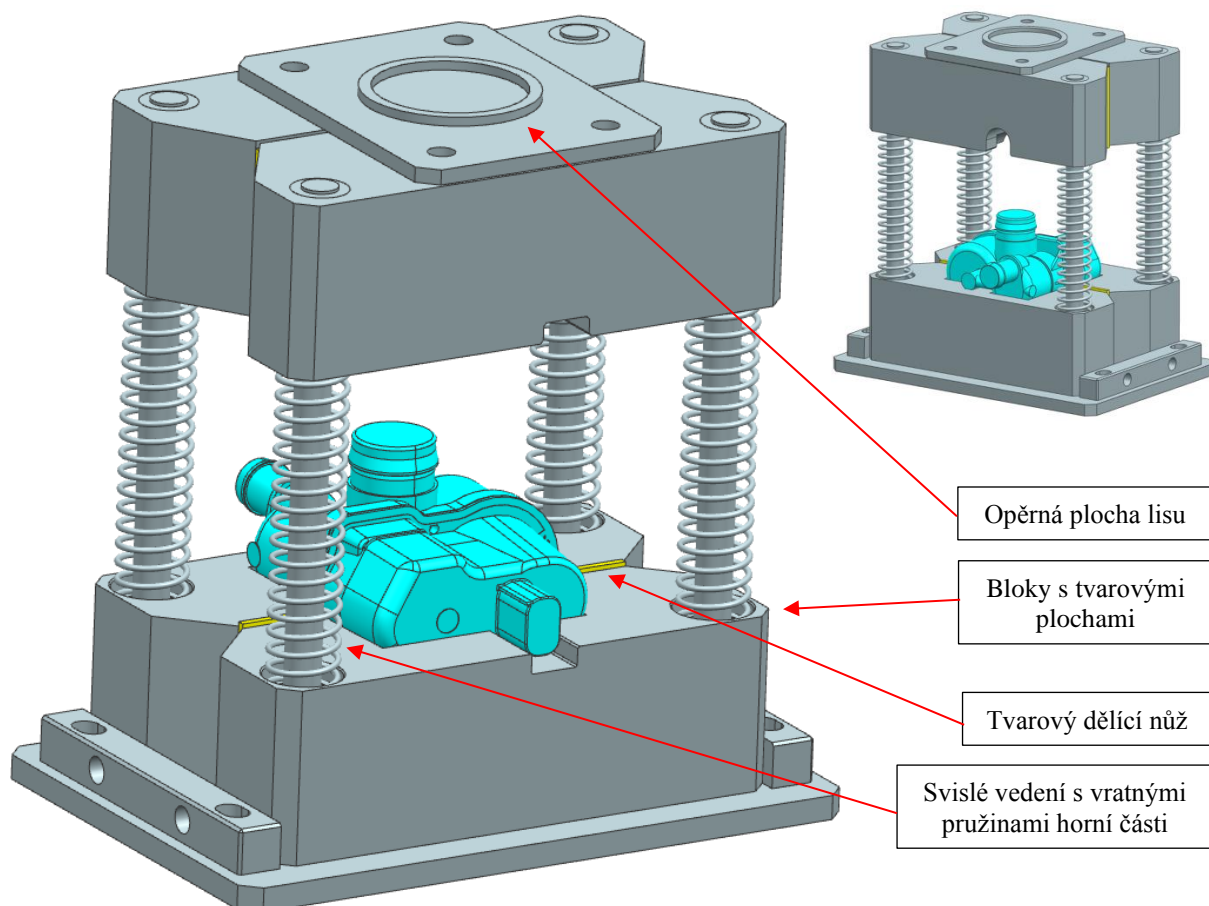
Obrázek 9 - zástavbové prostory s jednotlivými výškami požadovanými pro návrh zařízení

3. Vypracování rozboru technických parametrů

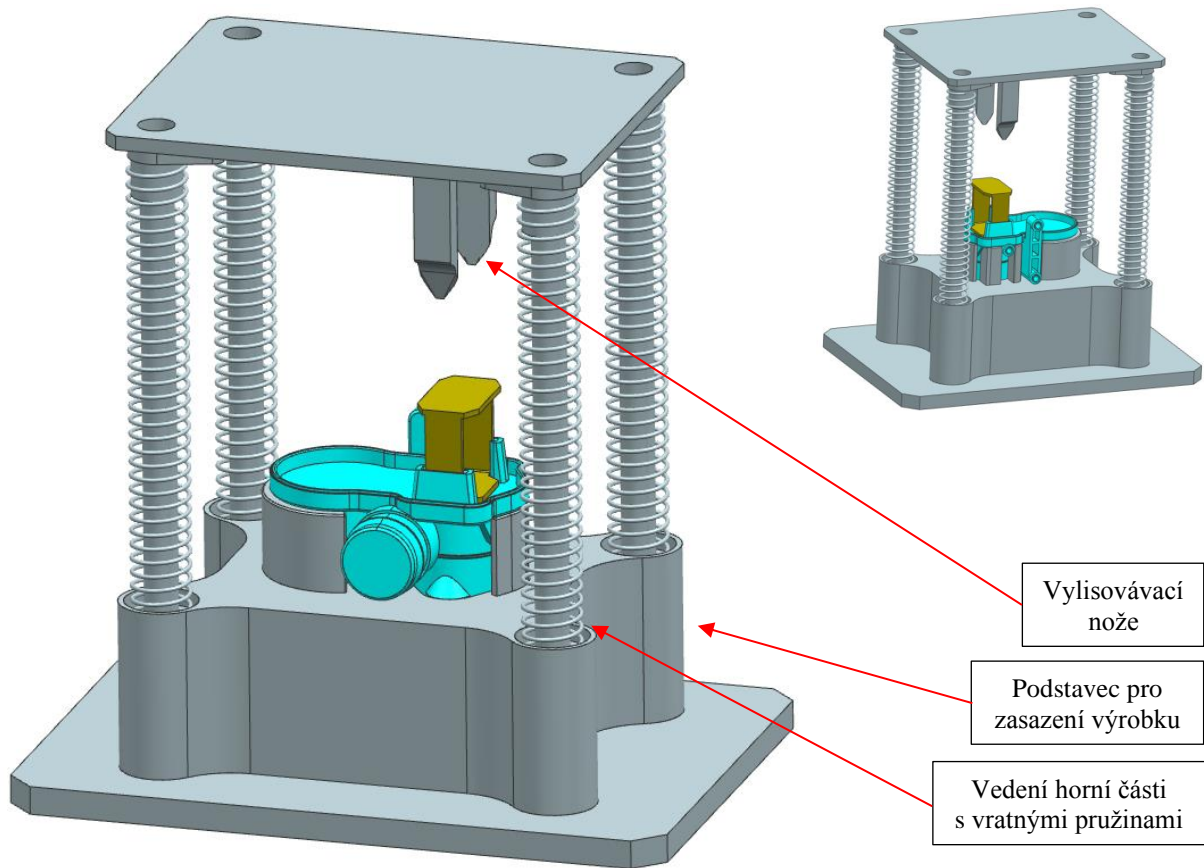
Z hlediska vypracování rozboru je jedním z důležitých parametrů počet zařízení nebo nástrojů či výměnných částí pro splnění obou požadovaných operací zařízení. Tento parametr zásadně ovlivňuje náklady spojené s výrobou jednoho či více zařízení, stejně tak jako čas na změnu z jedné operace na operaci druhou. Díky skutečnosti umístění zařízení v ručním lisu zásadně roste potenciální mezioperační čas při výměně zařízení, stejně tak jako náročnost pro obsluhu spočívající v samotné výměně zařízení pro změnu prováděné operace.

3.1 Návrh první koncepční varianty

První koncepční varianta je tvořena dvěma zařízeními. Požadovanou konkrétní operaci s výrobkem lze tedy provádět pouze na účelně navrženém zařízení a pro změnu operace je nutné vyměnit zařízení v ručním lisu. Obě zařízení jsou navrženy jako bloky opatřené tvarovými plochami a částečně zjednodušenými dosedovými plochami, které jsou opačné, než kterými disponuje samotný výrobek.

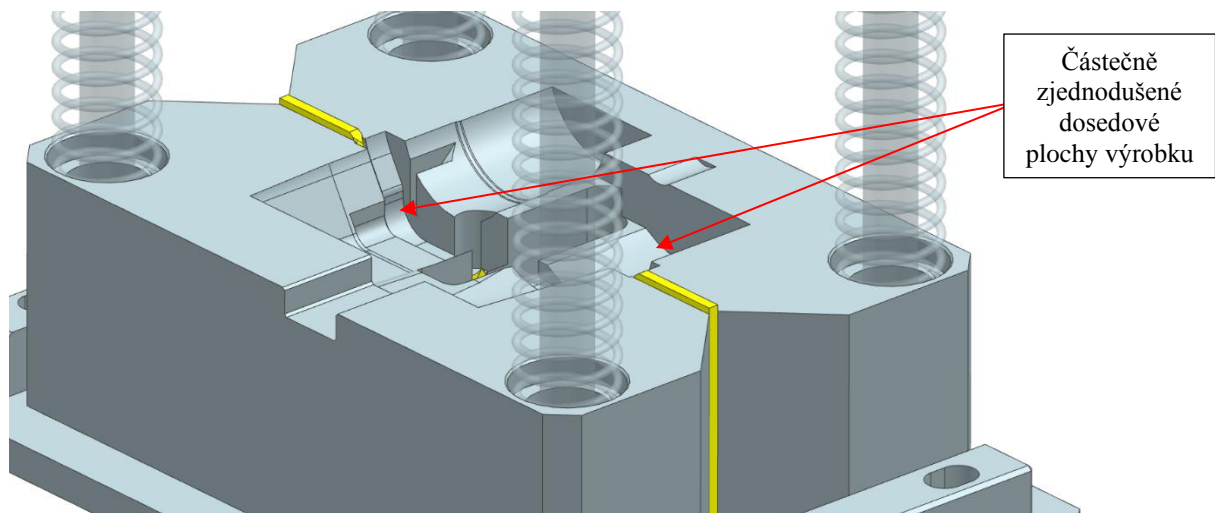


Obrázek 10 - návrh první koncepční varianty pro dělicí operaci



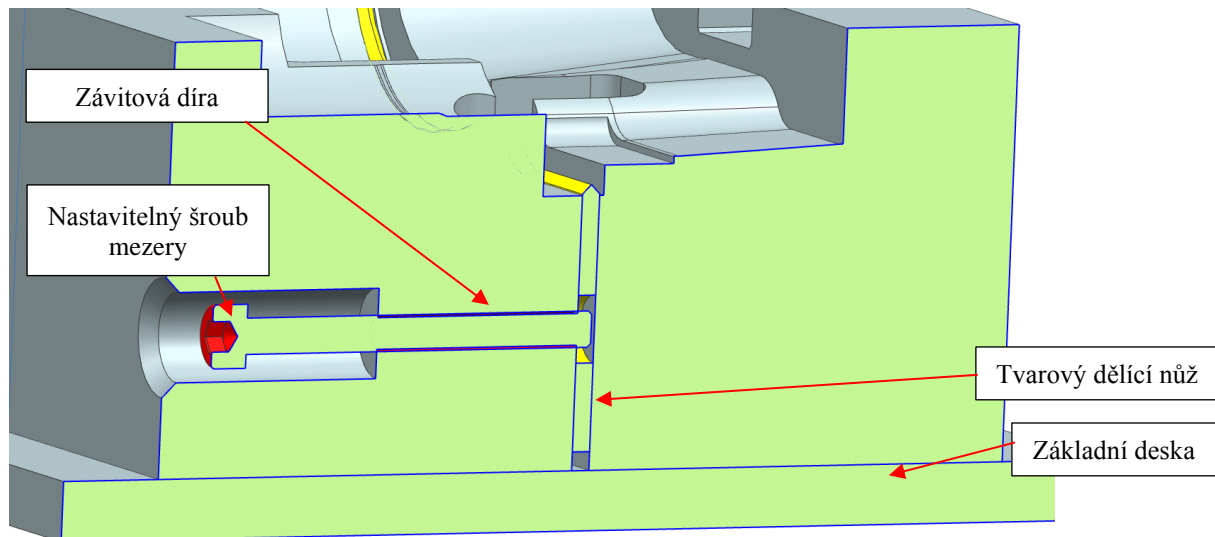
Obrázek 11 - návrh první koncepční varianty pro vylisovávací operaci

Důležitým parametrem u dělicího zařízení této varianty je mezera mezi jednotlivými bloky, které tvoří horní či spodní část zařízení. Tato mezera je v rámci koncepčního návrhu navržena jako konstantní s předpokládaným nastavením pomocí podložek mezi bloky a tvarovým nožem. Spojení bloků je uvažováno pomocí šroubového spojení.



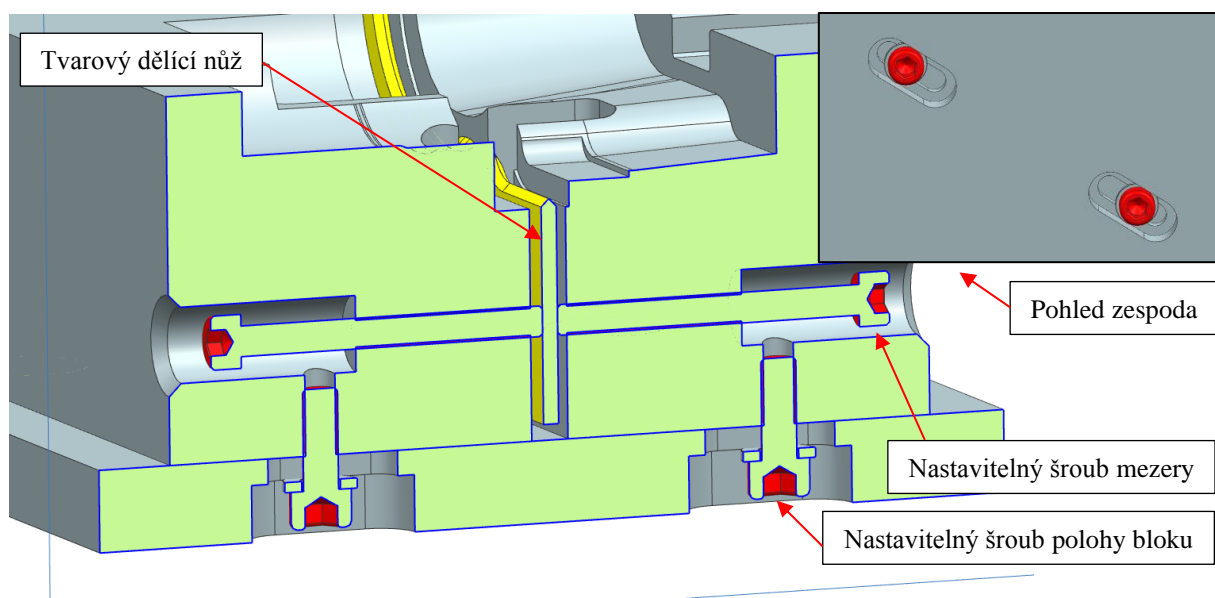
Obrázek 12 - částečně zjednodušené dosedové plochy bloků pro výrobek spodní části dělicího zařízení první koncepční varianty

Tento parametr je z hlediska návrhu a správné funkčnosti zařízení stěžejní a velmi důležitý. Při nedostatečné mezeře mezi bloky a tvarovým nožem by mohlo dojít k zaseknutí oddělovaných částí výrobku mezi tvarový nůž a samotný blok, přičemž by tímto mohlo dojít k zablokování výrobku uvnitř v zařízení. Pokud by byla mezera příliš velká, mohl by výrobek být umístěn do zařízení nekorektně. Vůli by bylo možné nastavit například i šrouby v jednom z bloků.



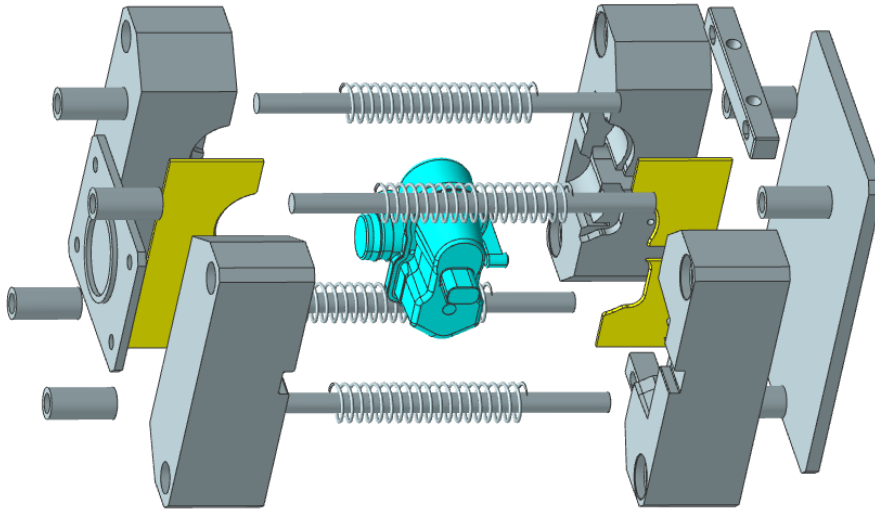
Obrázek 13 - řez bloky a nožem s nastavitelnou vůlí pomocí šroubů první koncepční varianty

Tento systém nastavitelné vůle je však použitelný pouze pro nastavení mezery mezi blokem, ve které je umístěn tento šroub a dále tvarovým dělicím nožem při uvažování pevného spojení tvarového nože s blokem druhým. Teoreticky by bylo tedy možné plynule nastavovat pouze jednu z vůlí, což z hlediska návrhu a potencionálního nastavení zařízení není žádoucí. Při použití dvou nastavitelných šroubů by bylo možné nastavovat vůli z obou stran.



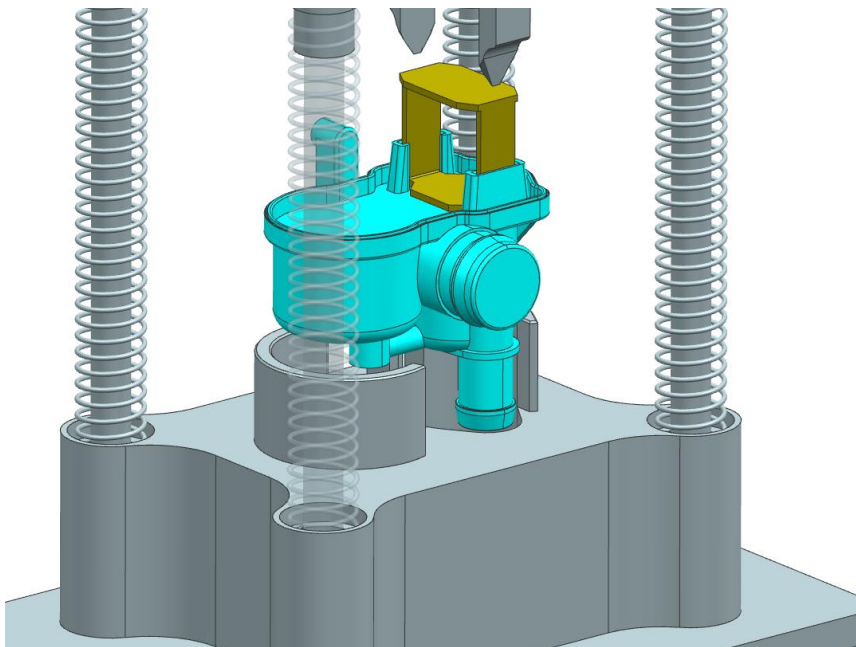
Obrázek 14 - řez bloky a nožem s nastavitelnými vůlemi pomocí šroubů první koncepční varianty

Z hlediska symetrie by bylo nutné většího počtu stejně nastavených šroubů, či jiného dodatečného vedení pro zachování konstantní vůle a zajištění pozice tvarového nože na celé délce bloků. Po nastavení vůle by byly bloky dotaženy šrouby vůči základní desce a tím by byla fixována jejich poloha.



Obrázek 15 - rozpad komponent prvního koncepčního návrhu (otočeno o 90°)

Značnou nevýhodou této koncepční varianty je jeho vysoká výška. Ta je nutná z důvodu možného založení výrobku do zařízení. Mezi spodní zakládací částí a horní výsuvnou částí dělicího zařízení musí být mezera alespoň o velikosti výšky výrobku s přidanou vůlí pro možné vložení a vyndání. Analogickým problémem disponuje zařízení pro vylisování komponenty.

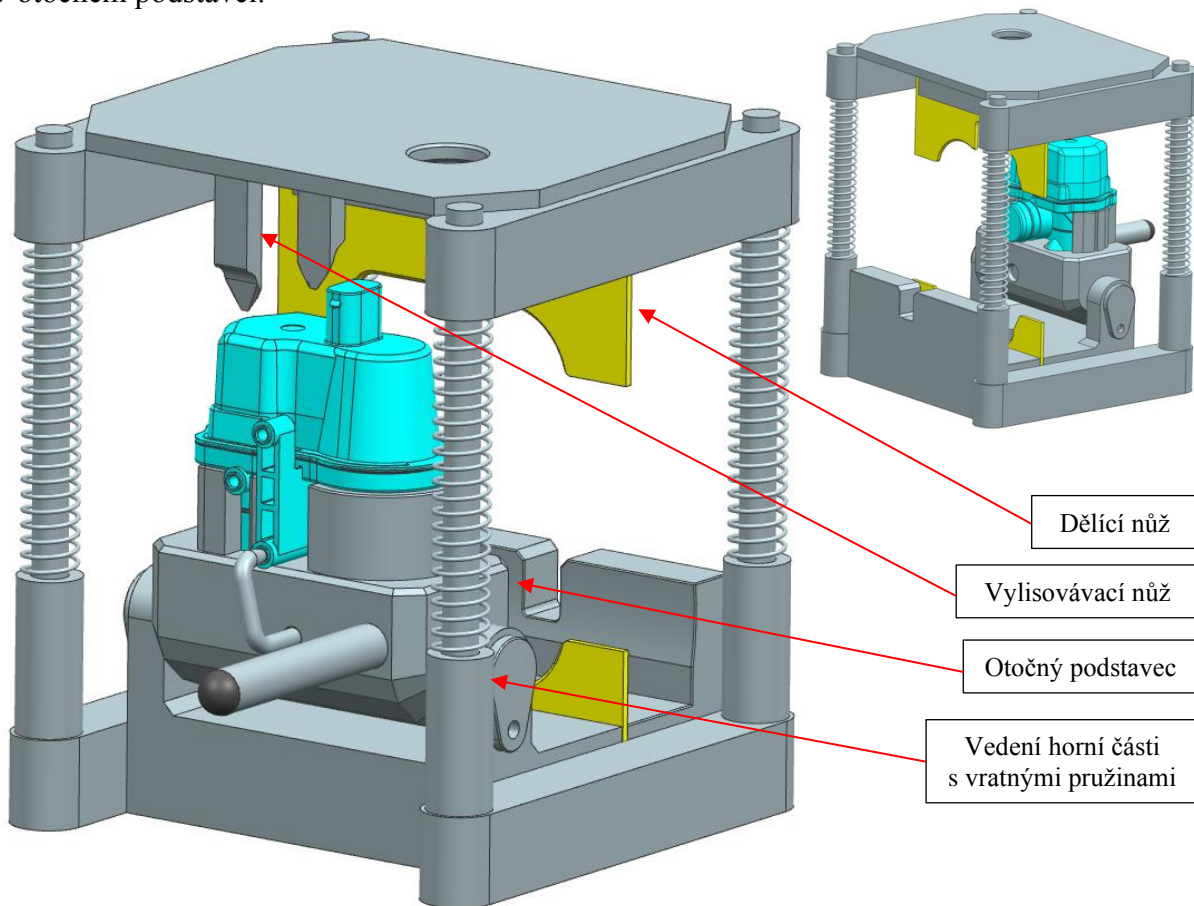


Obrázek 16 - vkládání a vyndávání výrobku do první koncepční varianty

Vracení horní části do horní (otevřené) polohy obou zařízení zajišťují tlačné šroubovitě pružiny umístěné na svislých vodících tyčích, a to u obou koncepčních zařízení.

3.2 Návrh druhé koncepční varianty

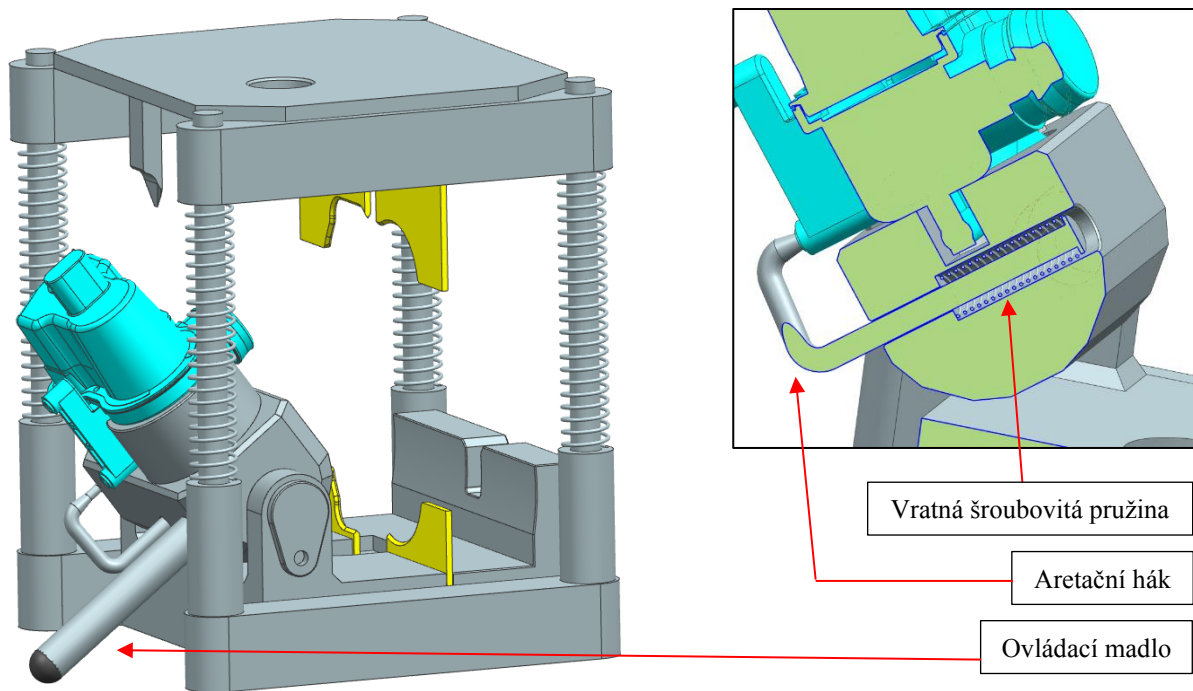
Druhá koncepční varianta je navržena jako varianta kompaktní, kde je možné obě operace provádět v jednom zařízení bez výměny nástrojů či podstavců. Toto zařízení disponuje otočným podstavcem, do kterého se zakládá výrobek a proti vypadnutí je výrobek zajištěn pojistným hákem. Pojistný hák je předeprnutý šroubovitou tlačnou pružinou umístěnou v otočném podstavci.



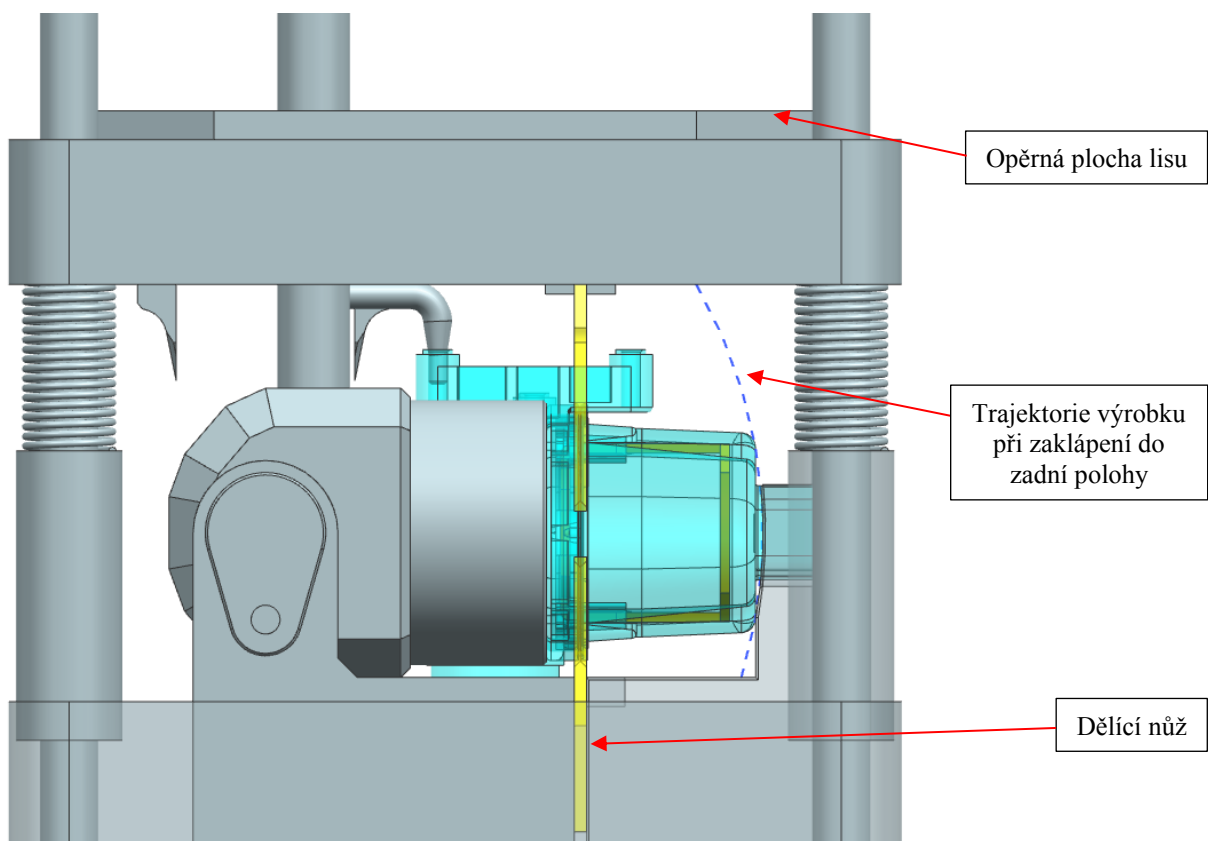
Obrázek 17 - návrh druhé koncepční varianty

Výklopný podstavec disponuje třemi polohami. První polohou je poloha zakládací, která slouží k vložení či vyjmutí výrobku nebo jeho části do podstavce, a to z jeho přední strany. Součástí vkládání či vyndávání je zajištění aretačním hákem v této poloze. Díky naklonění vně zařízení obsluha neumíšíje ani nijak nezasahuje rukami mezi dolní pevnou část a horní pojezdovou část zařízení.

Po vložení a zajištění výrobku do podstavce je otočný podstavec zaklopen do zadní koncové polohy, kde dosedne na jednu polovinu dělicího tvarového nože. Zde je navíc vytvořena podpěra pro kryt výrobku, která kopíruje pohyb výrobku při jeho otáčení v podstavci. Pozice této opěry určuje vůli, jenž umožňuje výrobku oddělení jednotlivých polovin od sebe (vzdálení krytu od pouzdra výrobku). Pro možné nastavení vůle je opět možné mezi segmenty umístit podložky, či nastavit vůli jiným řešením, jako je nastavitelný šroub s matkou. Po umístění podstavce do koncové polohy sjede horní pojezdová část s druhou částí tvarového nože a výrobek po silovém působení rozdělí. Horní část zařízení se poté vrátí do horní polohy pomocí šroubovitých tlačných pružin.

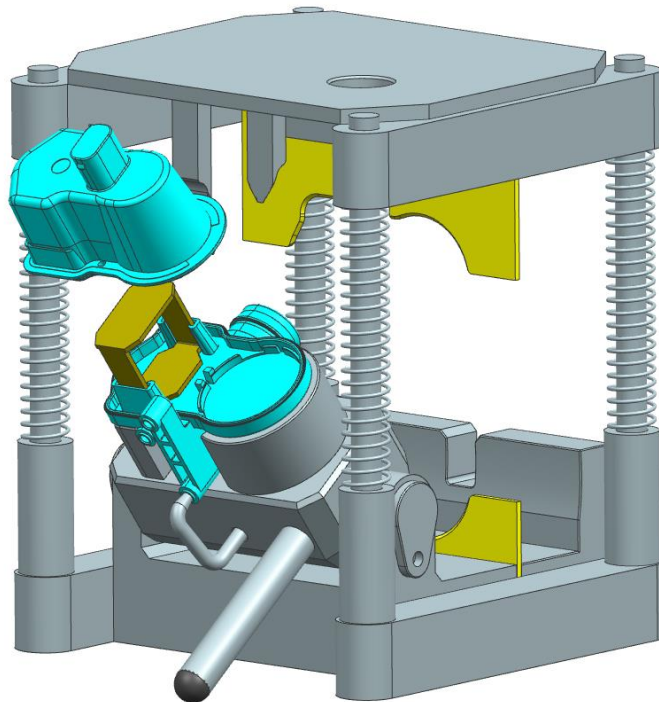


Obrázek 18 - zakládání výrobku a řez zařízením pro znázornění zajištění výrobku u druhé koncepční varianty



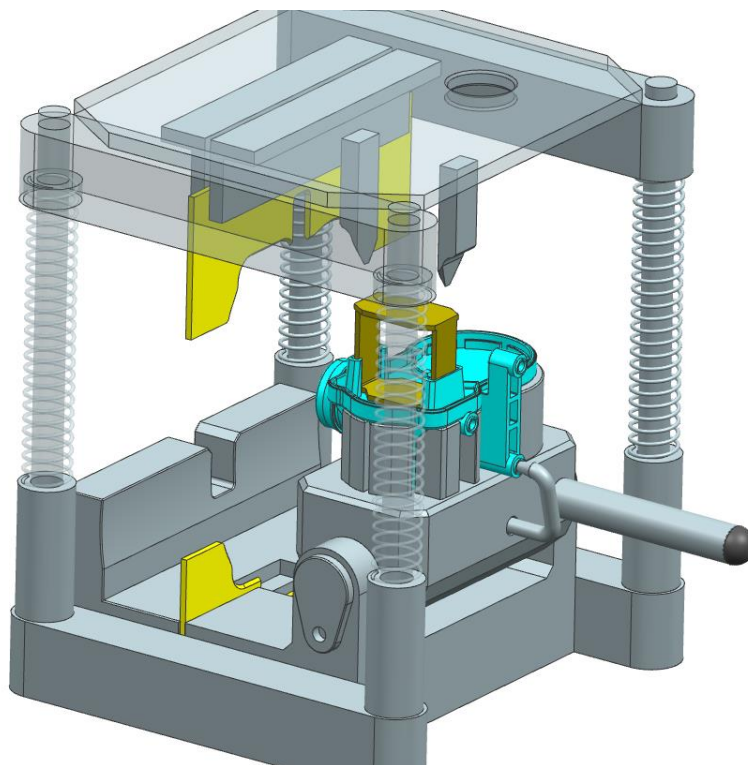
Obrázek 19 - zadní zaklopená poloha u druhé koncepční varianty se základním popisem a znázorněním trajektorie výrobku

Po rozdělení výrobku následuje přesun do první zakládací polohy, kde je z výrobku sejmут kryt.



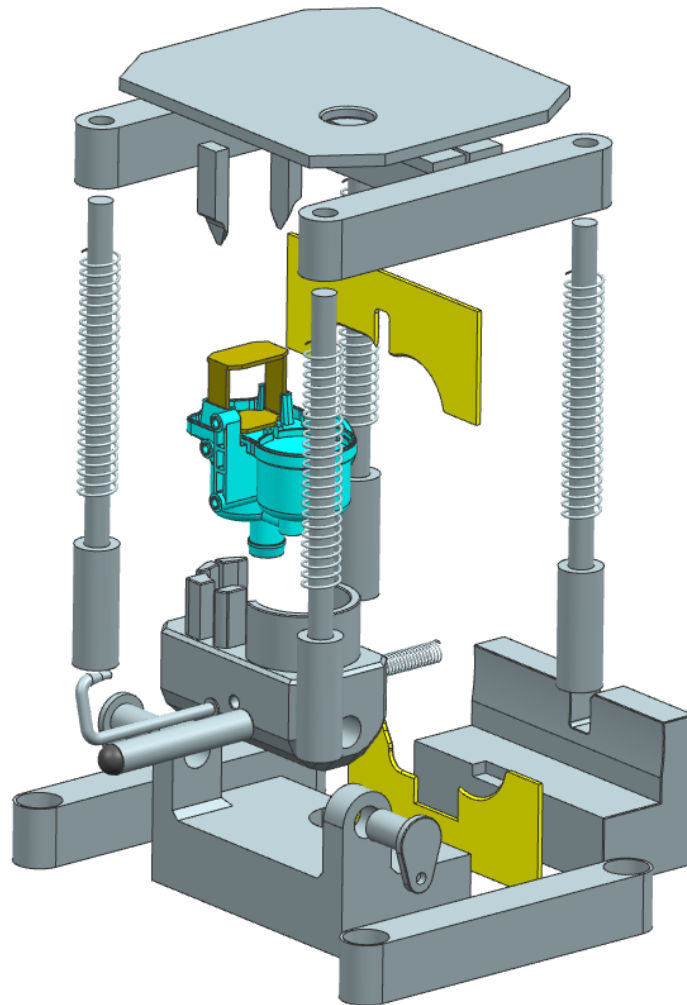
Obrázek 20 - sejmутí krytu výrobku v druhém koncepčním návrhu

Dále se přesune podstavec (ve kterém se nachází pouzdro s ocelovou klecí) do poslední polohy, a to polohy svislé. V této poloze je možné opět stlačit horní část zařízení, na které jsou umístěny vylisovávací nože a ocelovou klec tak vylisovat.



Obrázek 21 - svislá poloha druhé koncepční varianty pro vylisovávací operaci

Posledním krokem je opět překlopení do základací pozice a vyjmutí výrobku po odejmutí pojistného háku ze zařízení (obrázek č. 18 a 20).



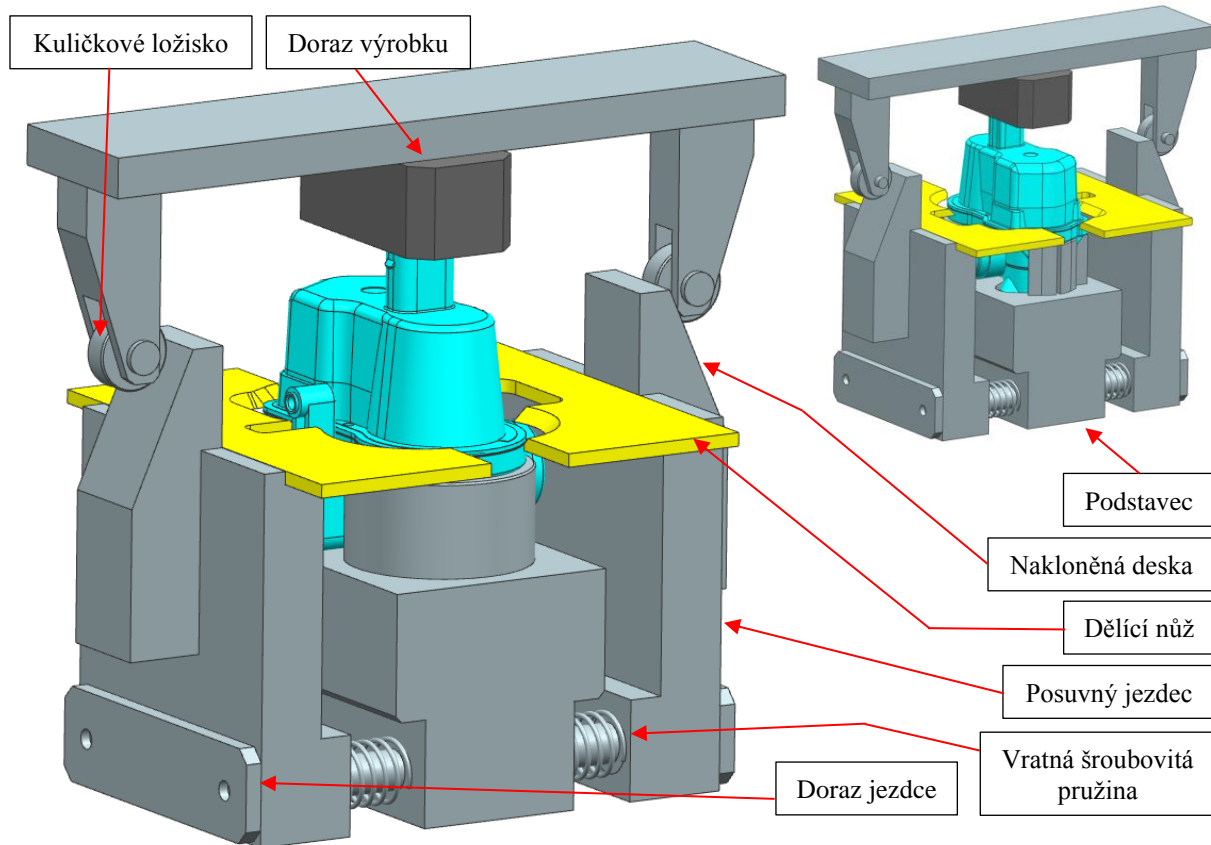
Obrázek 22 - rozpad komponent druhého koncepčního návrhu

Výhodou této koncepční varianty je komplexita zařízení, kdy je pro obě operace potřebné pouze jedno zařízení. U zařízení není navíc nutné vyměňovat žádné nástroje. Horní pojezdová část má opět vlastní vedení ukotvené ve spodní pevné části jako tomu bylo u zařízení první koncepční varianty. Vracení horní části do horní (otevřené) polohy zajišťují opět tlačné šroubovitě pružiny umístěné na vodících tyčích.

Při dopracování vhodného robustního aretačního řešení je potencionálně zajištěna i poloha výrobku v podstavci při vyndávání vylisovávacích nožů.

3.3 Návrh třetí koncepční varianty

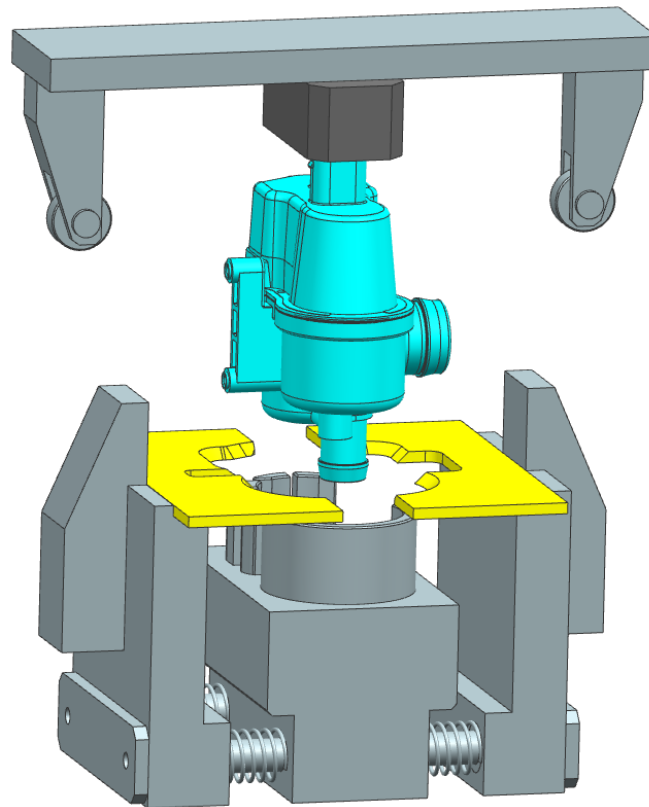
Návrh třetí koncepční varianty vychází částečně z koncepce stávajícího řešení. Je zde zachována transformace svislého pohybu beranu lisu na vodorovný pohyb jezdců pomocí nakloněných desek, ložisek a horizontálního vedení. Změna oproti stávajícímu řešení spočívá ve spodní pojízdné části takovým způsobem, aby v jedné pojízdné části bylo možné provádět obě požadované operace.



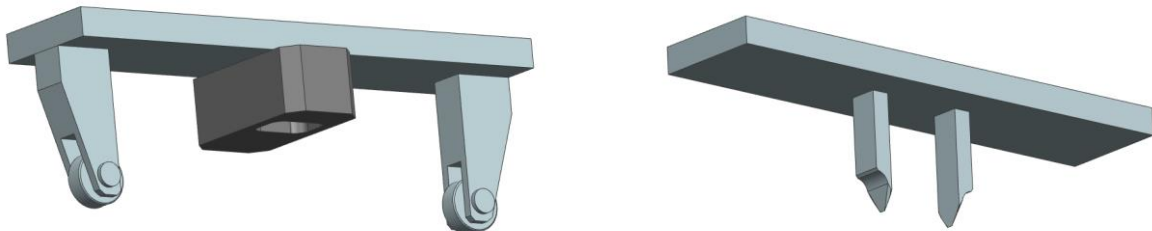
Obrázek 23 - návrh třetí koncepční varianty pro dělicí operaci

V případě stacionární spodní části je nutná opět vysoká výška zařízení, jako tomu bylo v první koncepční variantě. Pro úsporu výšky zařízení by bylo možné udělat spodní část výsuvnou, analogicky jako u stávající varianty a tím ušetřit nemalý prostor nad výrobkem.

Dle požadované operace je v této koncepční variantě potřebná výměna nástroje podle požadované operace. Zároveň je v této koncepční variantě navrženo vedení horní části (tedy nástroje) pomocí samotného ručního lisu. Tím je zjednodušena konstrukce zařízení, avšak díky připojovací geometrii není zajištěna robustnost polohy nástroje do směrů kam by se mohl nástroj potenciálně vychýlit vůči spodní části zařízení.

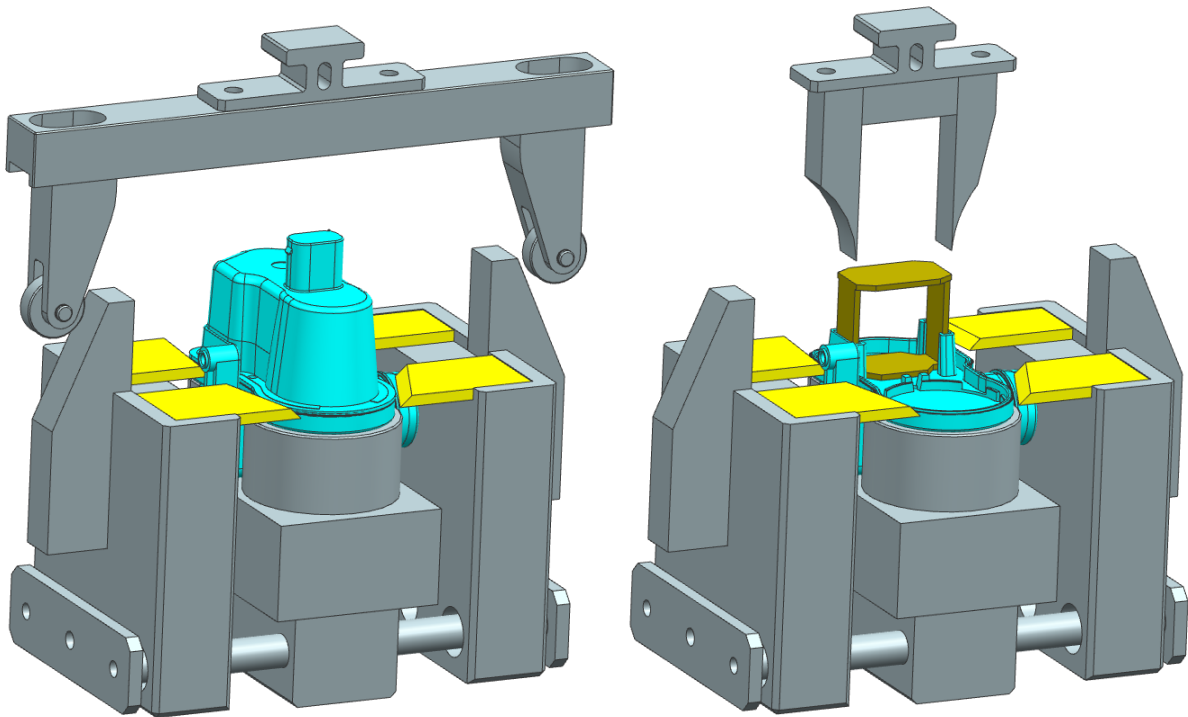


Obrázek 24 - zakládání výrobku do třetí koncepční varianty v případě neposuvné spodní části

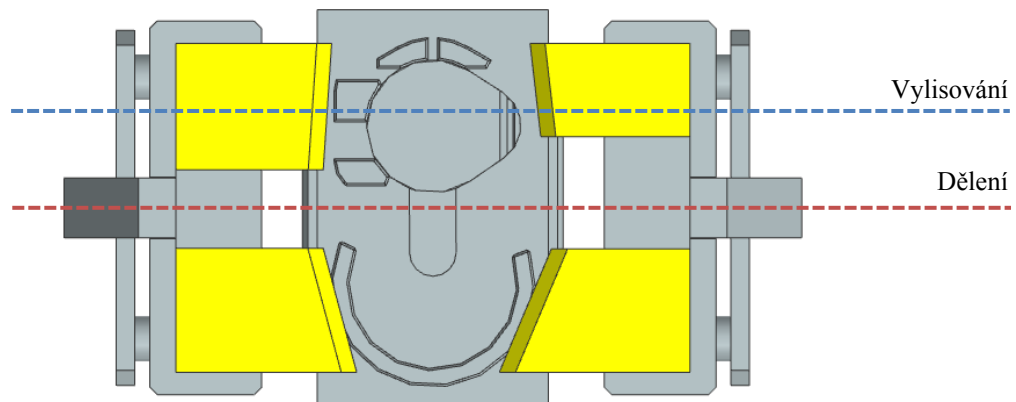


Obrázek 25 - výměnné nástroje třetí koncepční varianty; zleva - dělicí nástroj, vylisovávácí nástroj

Důležitá je v tomto koncepčním návrhu orientace výrobku. V případě, kdy je delší rozměr rovnoběžný s rovinou posuvu spodní části je potřebné vytvořit dvě koncové polohy z důvodu rozmístění jednotlivých komponent pro požadovanou operaci. Výhodou je však souměrné silové působení nástrojů na výrobek symetricky dle poloviny zařízení (výrobku) ve směru pohybu. Z hlediska obsluhy zařízení je však tato orientace náročnější, protože by mohlo dojít k založení do špatné polohy a k nežádoucímu poškození zařízení či výrobku. Zároveň lze vytvořit delší tvarové nože (ostří) rozdělující výrobek, což má za následek vyšší náklady a složitost potencionální údržby či ostření nožů a také větší sílu pro průnik nože výrobkem.

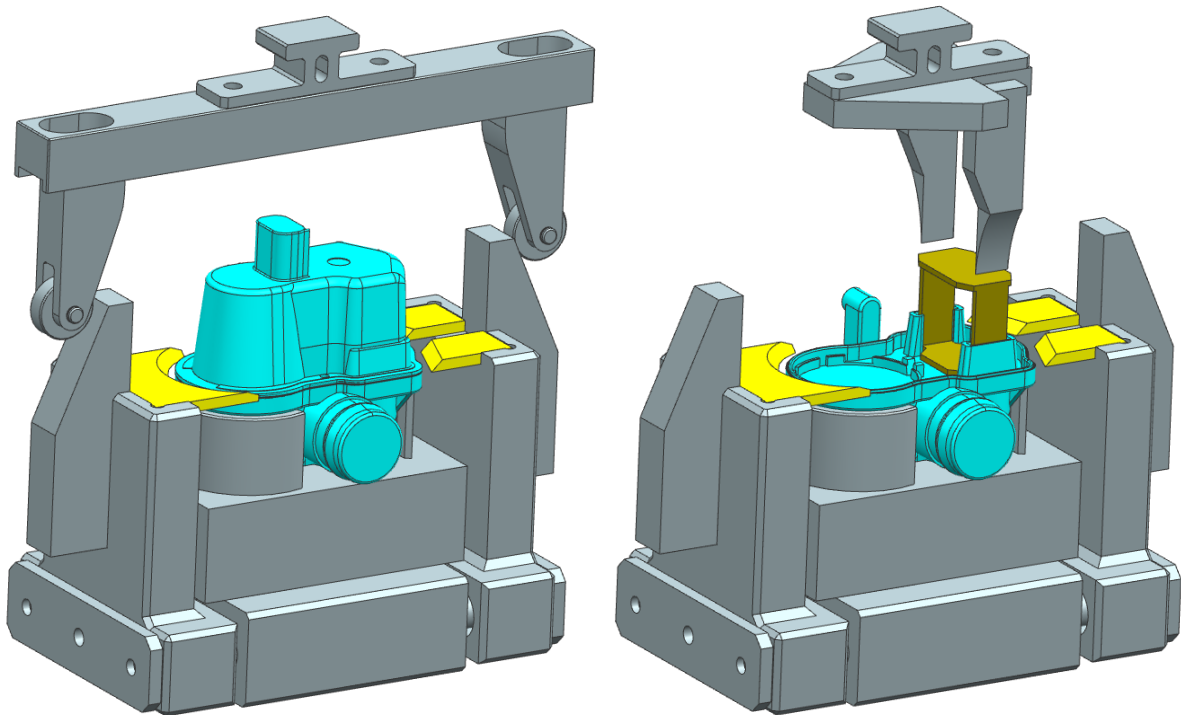


Obrázek 26 - orientace výrobku s delší stranou rovnoběžnou s rovinou posuvu; zleva: dělicí, vylisovací operace

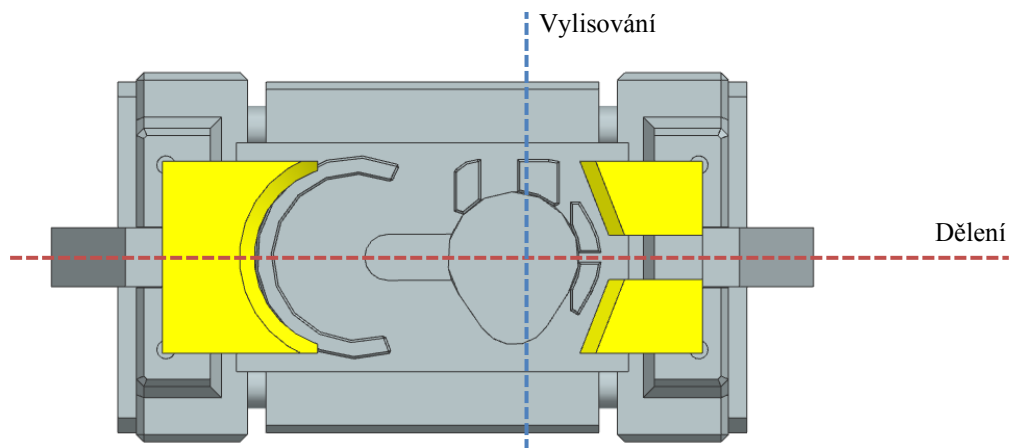


Obrázek 27 - pohled seshora na podstavec při orientaci výrobku s delší stranou rovnoběžnou s rovinou posuvu se zjednodušenou geometrií dělicích nožů a se znázorněním rovin nástrojů

Pokud by byla orientace jiná, konkrétně delší rozměr výrobku kolmý na potenciální rovinu výsuvného pohybu spodní části, pak je možné zachovat jednu koncovou (založenou) polohu výrobku v zařízení. V této jedné zasunuté poloze je možné při dělicí operaci působit symetrickými silami podle středu beranu lisu i celé konstrukce. V tomto případě se nabízí konstrukce kratších a jednodušších tvarových nožů (ostří) pro rozdělení výrobku, což má za následek jednodušší výrobu, údržbu a v neposlední řadě i nižší působící sílu pro průnik výrobkem. Zároveň při volbě korektního úhlu ostří je možné po proniknutí části ostří výrobkem kryt od pouzdra odtlačit a tím od sebe požadované poloviny výrobku na zbyvajících (neproříznutých) plochách odtrhnout. V případě vylisovací operace je ale nutné vylisovacími noži silově působit mimo rovinu symetrie zařízení a dochází tedy tak ke zvýšenému namáhání konstrukce.



Obrázek 28 - orientace výrobku s delší stranou kolmo na rovinu posuvu; zleva - dělicí, vylisovací operace



Obrázek 29 - pohled seshora na podstavec při orientaci výrobku s delší stranou kolmo na rovinu posuvu se zjednodušenou geometrií dělicích nožů a se znázorněním rovin nástrojů

Výhodou této koncepční varianty je kombinace výměnných nástrojů se zachováním jednoho základního podstavce s ostatními komponentami, který není potřeba pro změnu operace vyměňovat, což vede k jednodušší a levnější výrobě a snížení časové náročnosti na změnu operace.

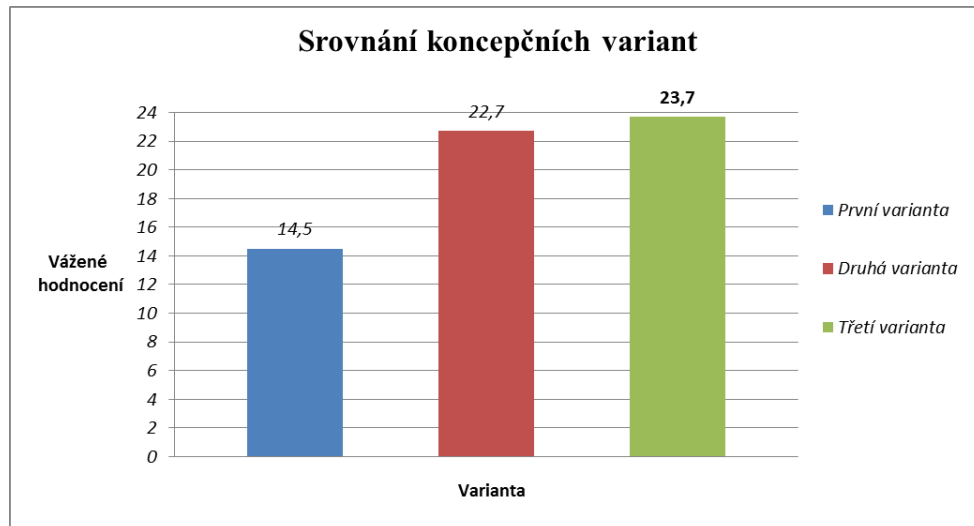
Nevýhodou této koncepční varianty je nesamostatné vedení horní části, které je v rámci koncepční varianty uvažováno pomocí beranu lisu. Poloha nástroje a spodní části je vymezena pouze ustavením spodní části a přesností vedení beranu lisu.

3.4 Srovnání navržených koncepčních variant

Na základě navržených koncepčních variant a jejich popisu byla vytvořena tabulka váženého hodnocení dle stanovených kritérií a různé váhy (důležitosti) těchto uvedených kritérií (4 = nejdůležitější, 1 = nejméně důležité).

Tabulka 2 - srovnání váženého hodnocení navržených koncepčních variant

Kritérium	Hodnota / popis			Hodnocení (0-1)			Váha kritéria	Vážené hodnocení		
	Varianta			Varianta				Varianta		
	1	2	3	1	2	3		1	2	3
Počet zařízení nebo nástrojů pro splnění obou zadaných operací	2 zařízení	1 zařízení	1 zařízení, 2x nástroj	0,4	1,0	0,8	3	1,2	3,0	2,4
Seřízení klíčových či opotřebitelných komponent	nastavitelná vůle pro výrobek, výměna tvarového děličího nože, vylisovací nože nastavitelné	nastavitelná vůle pro výrobek, výměna tvarového děličího nože, vylisovací nože nastavitelné	nastavitelné dorazy jezdců s noži, nastavitelná poloha ložisek - výška zařízení	0,4	0,4	0,9	4	1,6	1,6	3,6
Síla působící na výrobek - děličí operace	nenastavitelná - přímá od vstupní síly lisu		nastavitelná - pomocí úhlu nakloněné desky na jezdcí (výměna komponenty)	0,3	0,3	0,7	3	0,9	0,9	2,1
Síla působící na výrobek - vylisovací operace	nenastavitelná - přímá od vstupní síly lisu			0,5	0,5	0,5	3	1,5	1,5	1,5
Zakládání výrobku do zařízení (z hlediska bezpečnosti u automatické linky důležité)	obtížnější a nebezpečné - nutné umístění dovnitř mezi tvarové dosedové plochy a nože; při aretaci horní desky bezpečné	snažší, méně nebezpečné - umístění z předního prostoru před zařízením dovnitř zařízení (mezi posuvné desky), mimo nože; při aretaci horní desky bezpečné	v případě posuvu dolní vůči horní části (kvůli rozdílné děličí a lisovací rovině) - snažší a bezpečné; ve stacionárním případě - obtížnější a nebezpečné	0,2	0,8	0,6	4	0,8	3,2	2,4
Vedení horní části	Integrované		nutné zajistit připojeným lisem	0,9	0,9	0,5	3	2,7	2,7	1,5
Vůle výrobku v zařízení (pro jeho pohyb krytu při oddělení)	nastavitelná, během pracovního cyklu pevná		nastavitelná, vymezená pružným elementem	0,7	0,7	1,0	4	2,8	2,8	4,0
Odhadovaná složitost a cena výroby	relativně málo komponent na jedno zařízení (nutné 2 zařízení), složitě dosedové plochy výrobku u děličího zařízení	relativně málo komponent na jedno zařízení (nutné 1 zařízení), jednodušší tvary	relativně málo komponent na jedno zařízení (nutné 1 zařízení, ale 2 nástroje), jednodušší konstrukce v případě absence vedení horní části	0,5	0,9	0,9	2	1,0	1,8	1,8
Pracovní výška horní části (splnění požadavku dle ergonomických požadavků plynoucích od zadavatele)	vysoká (nutná z hlediska založení a vyjmutí výrobku)	nižší (založení a vyjmutí je možné z přední strany zařízení, ale stále zde musí být dostatečná vůle aby bylo možné výrobek založit do zadní [děličí] pozice)	v případě posuvu dolní vůči horní části (kvůli rozdílné děličí a lisovací rovině) velmi malá - stanovená vůle a úhlem nakloněných desek; ve stacionárním případě spodní části vysoká	0,4	0,8	0,8	4	1,6	3,2	3,2
Čas na změnu operace	dlouhý - nutné vyměnit zařízení na ručním lisu včetně jeho připojení (např. pomocí šroubů)	žádný - operaci lze provést na zařízení bez jeho změny	krátký - výměna nástroje v horní části zařízení; při absenci vedení horní části očekávaná složitější montáž nástroje	0,2	1,0	0,6	2	0,4	2,0	1,2
Suma								14,5	22,7	23,7



Obrázek 30 - graf srovnání koncepčních variant a jejich váženého hodnocení

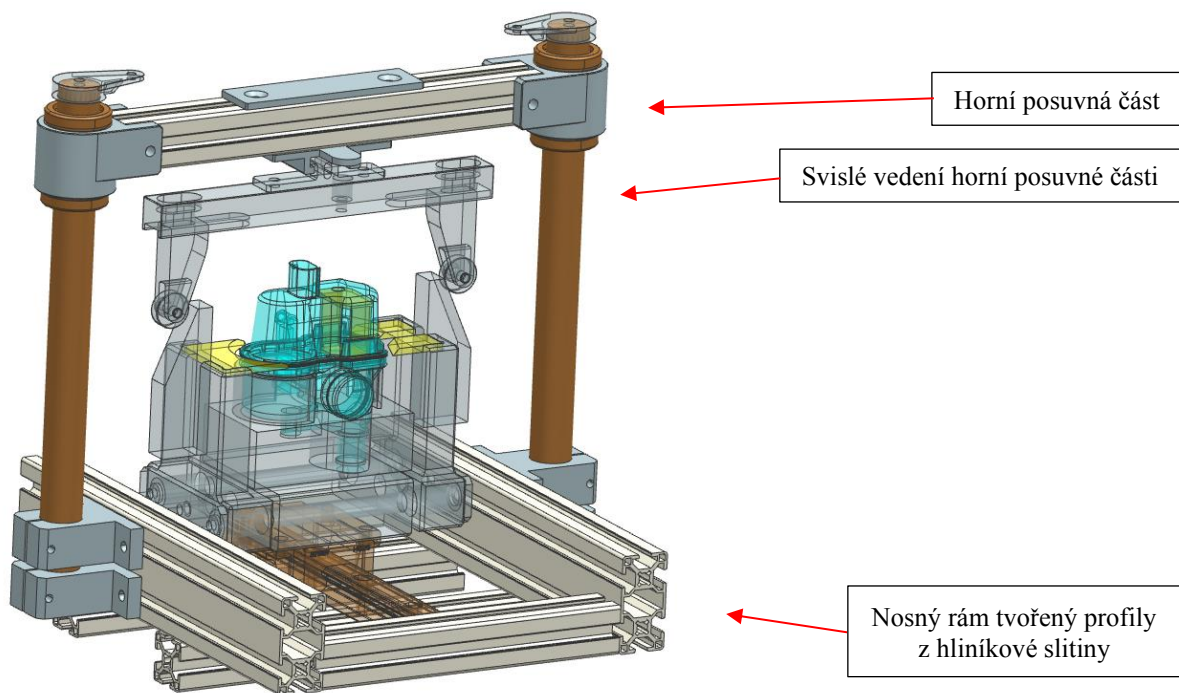
Jak z uvedené tabulky a srovnávacího grafu vyplývá, nejlepšího váženého hodnocení dosáhla koncepční varianta třetí. Díky velmi úzké spolupráci se zadavatelem byla tato koncepční varianta také nejvíce podporována, a proto byla vybrána pro dopracování do finálního konstrukčního návrhu zařízení s několika zásadními úpravami, které jsou dále popsány v následující kapitole.

4. Vypracování vybrané varianty řešení včetně výpočtového hodnocení.

Z hlediska koncepční varianty bylo na návrhu změněno několik zásadních parametrů pro výsledný konstrukční návrh.

4.1 Úprava zásadních parametrů koncepčního návrhu

Prvním zásadním parametrem bylo vedení horní části zařízení. Tato koncepční varianta byla jako jediná navržena bez samostatného vedení horní části, což by snížilo hmotnost, velikost celého zařízení pro jeho skladování a v neposlední řadě i cenu a složitost konstrukce zařízení. Avšak nevýhoda nepřesného vedení pomocí vedení beranu by mohla způsobovat kolize při stlačení horní části na část spodní (vlivem vychýlení). V případě vylisovávacích nožů je přesná trajektorie nože zásadní pro správné provedení operace. Z tohoto důvodu bylo tedy nutné dopracovat vlastní vedení horní části pevně spojené s částí spodní. Aby bylo toto možné, byl v první řadě navrhnut nosný rám z modulárních profilů z hliníkové slitiny několika velikostí.



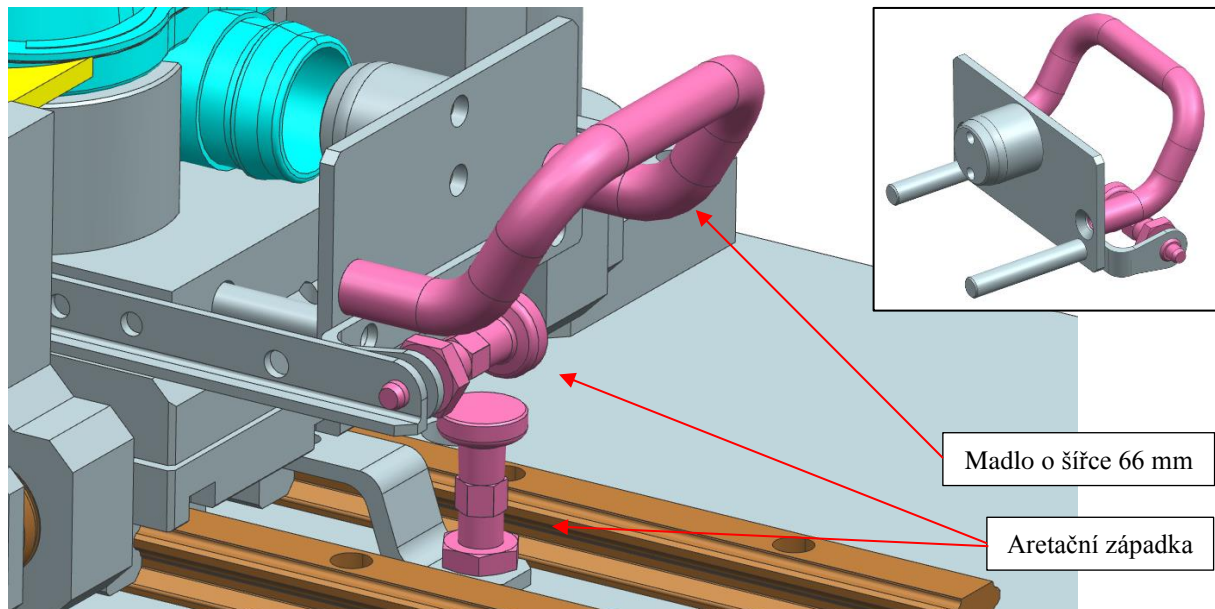
Obrázek 31 - nosný rám se svislým vedením a základním popisem

Tento rám nebyl však z hlediska zástavbových rozměrů uspokojivý, protože velikost pracovního prostoru lisu je z hlediska výšky značně omezená. Z tohoto důvodu byl nosný rám vyměněn za nosnou desku a dále bylo rozhodnuto o zachování výsuvu základního podstavce pro úsporu výšky zařízení.

Dalším velmi důležitým parametrem byla volba polohy výrobku uvnitř zařízení. Po rozsáhlých konzultacích byla se zadavatelem dohodnuta poloha výrobku kolmá, stejná, která byla ve stávajícím řešení dělicí operace pro její jednoduchost použitých nožů (výměna, ostření, náklady) a ověřenou funkčnost. Výsledkem volby polohy výrobku byla i dále ovlivněna spodní pojezdová část ve smyslu volby zadavatele pro dvě menší lineární vedení namísto jednoho – kvůli lepšímu zachycení nesymetrického silového působení vylisovávacího nástroje.

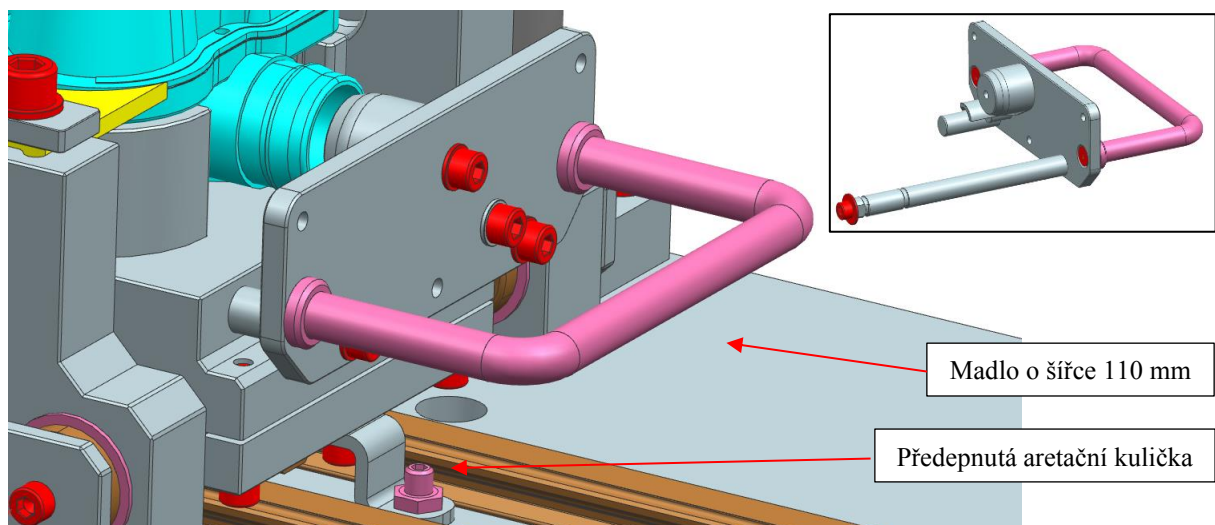
4.2 Ergonomie zařízení

V rámci koncepčních návrhů bylo nejprve uvažováno k ovládání zařízení tvarové madlo o šířce 66 mm a dále několika aretačních západek pro volbu polohy aretace výrobku, aretaci polohy výsuvného podstavce a fixaci polohy výměnného nástroje. Uvedené madlo slouží k posunu aretační desky i výsuvného podstavce.



Obrázek 32 – aretační systém výrobku s původně navrženým madlem s aretačními západkami ve vysunutém (odaretovaném) stavu

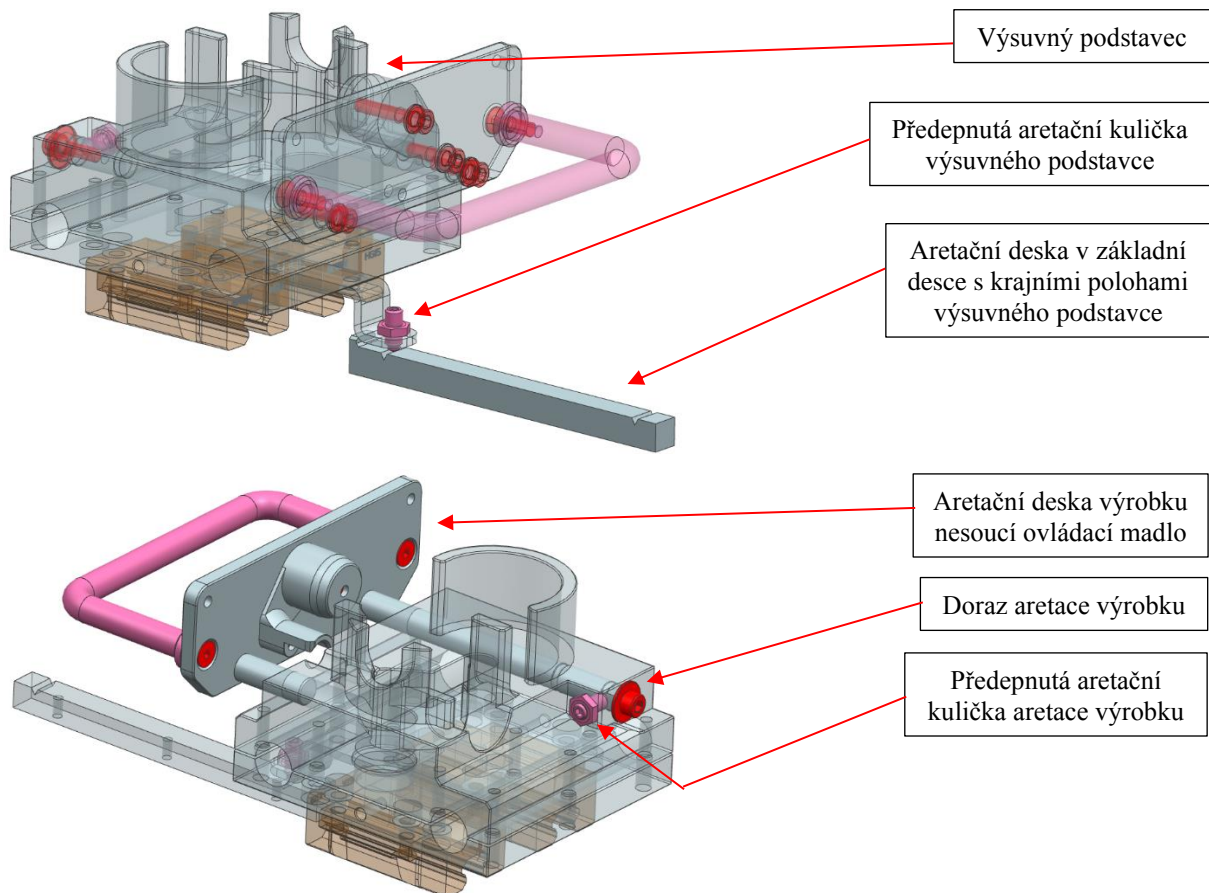
Nicméně tyto parametry a řešení nebyla dle zadavatele této kvalifikační práce uspokojivá a z tohoto důvodu došlo ke změně velikosti ovládacího madla na 110 mm. Změněny byly také aretační západky, kdy jediná aretační západka byla ponechána pro aretaci nástroje na horní posuvné části. Ve spodní části byly aretační západky nahrazeny automatickými předepnutými aretačními kuličkami.



Obrázek 33 - aretační systém výrobku s upraveným rozšířeným madlem a ostatní ovládací prvky či prvky aretující polohu ve vysunutém (odaretovaném) stavu

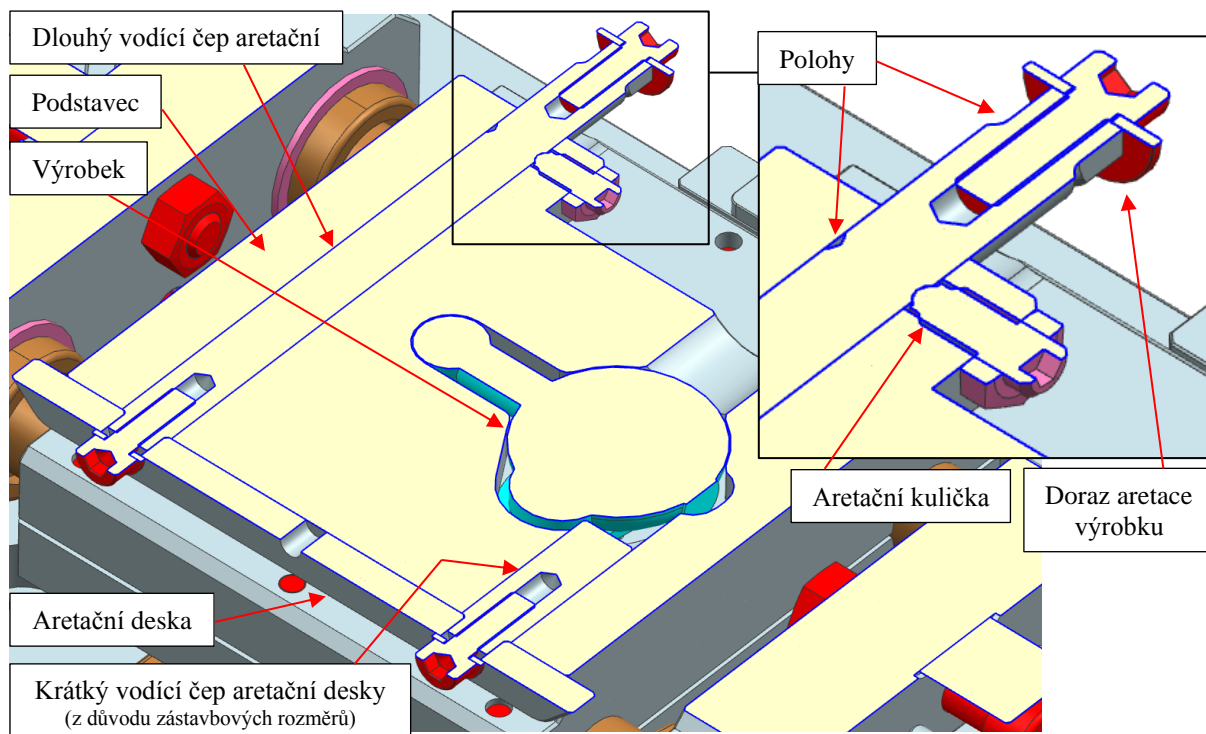
Aretace výrobku v navrženém zařízení je docílena prostřednictvím aretačního čepu pevně spojeného s aretační deskou vedenou v podstavci. Zasunutím aretačního čepu do výrobku dojde k aretaci výrobku do podstavce. Tím je docíleno vytažení vylišovávacích nožů bez vytažení výrobku nad podstavec jako tomu bylo v minulosti.

Aretace polohy výsuvného podstavce funguje v kooperaci s aretací výrobku, která využívá taktéž předepnuté aretační kuličky pro za aretování polohy.



Obrázek 34 - znázornění aretačních předepnutých kuliček, jejich umístění v zařízení, aretačního zařízení výrobku a ostatních vybraných komponent

Výchozí poloha aretačního systému je v odaretované poloze, kdy je podstavec umístěn před horní posuvnou částí a je možné do zařízení vložit výrobek. Po vložení výrobku je madlo zasunuto do podstavce, čímž dojde v první řadě k aretaci výrobku. Po dalším silovém působení na madlo je odaretována vysunutá pozice podstavce a výsuvný podstavec je zasunut do zadní, zaaretované polohy. Obě z navržených aretací mají dorazy, aby nebylo možné od sebe konkrétní části zařízení oddělit.



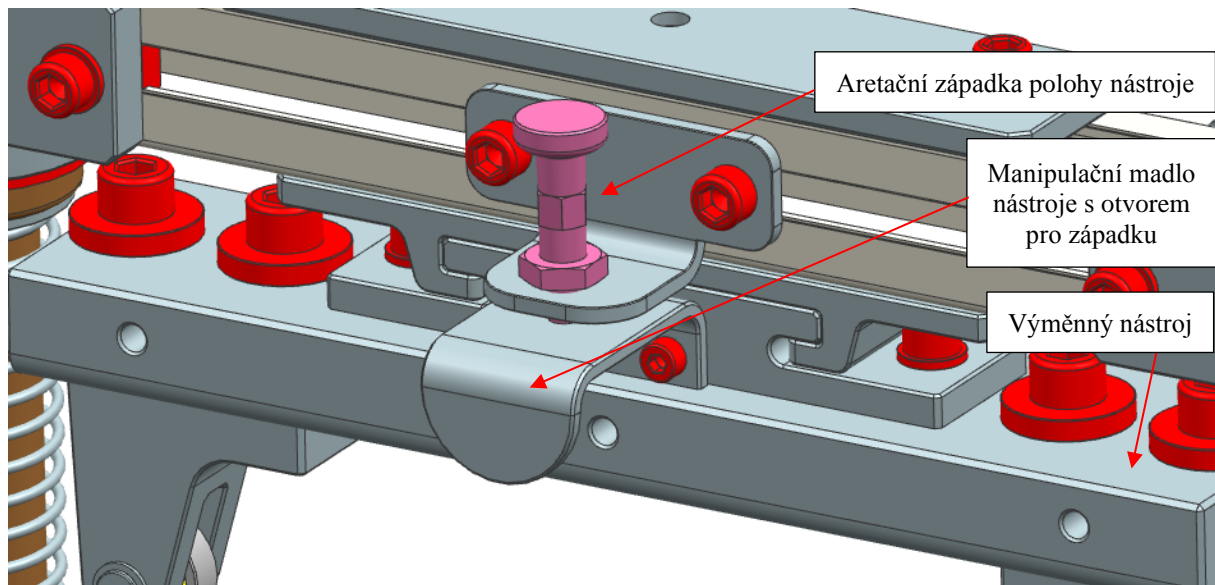
Obrázek 35 - řez podstavcem a aretačním systémem pro popis a znázornění jeho komponent

Zmíněný postup odaretování jednotlivých částí (první aretace výrobku a dále posuv podstavce při zasunutí do zařízení) je možný díky jinak voleným geometriím opěrných ploch aretačních kuliček v aretační desce umístěné v základní desce a v dlouhém vodícím čepu aretační desky výrobku. Díky těmto upraveným geometriím je potřebná síla pro odaretování kuličky rozdílná, jak udává dodavatel nakupovaných komponent (aretačních kuliček). Kompletní specifikace aretační kuličky lze nalézt v příloze č. 3 této kvalifikační práce. Shrnutí důležitých parametrů uvádí následující tabulka.

Tabulka 3 - základní parametry aretační kuličky pro aretaci poloh a geometrie některých protilehlých dílů, [7]

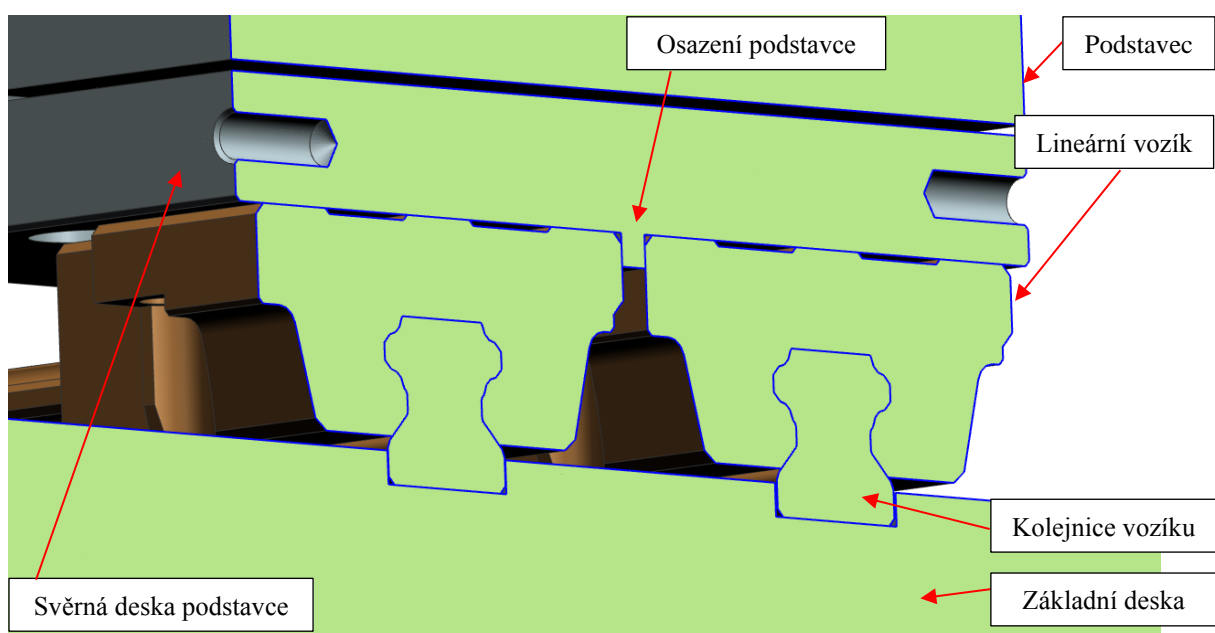
Pružná opěrka Norelem 03030-06			
Parametr	Označení	Hodnota	Jednotky
Připojovací závit	-	M6	[-]
Počáteční síla (krajní vysunutá poloha)	F_1	9	[N]
Koncová poloha (krajní zasunutá poloha)	F_2	13	
Zdvih kuličky	H	1	[mm]
Úhel otvoru v poziční desce základní desky	α_p	60	[°]
Úhel otvoru v táhlu aretační desky výrobku	α_A	90	
Síla pro uvolnění aretace výrobku v podstavci	F_A	13	[N]
Síla pro uvolnění výsuvného podstavce	F_p	22,5	

Pro manipulaci s výměnnými nástroji zařízení bylo navrženo jednoduché madlo, které disponuje otvorem pro aretační západku a slouží tedy i k fixaci výměnného nástroje uvnitř v zařízení.

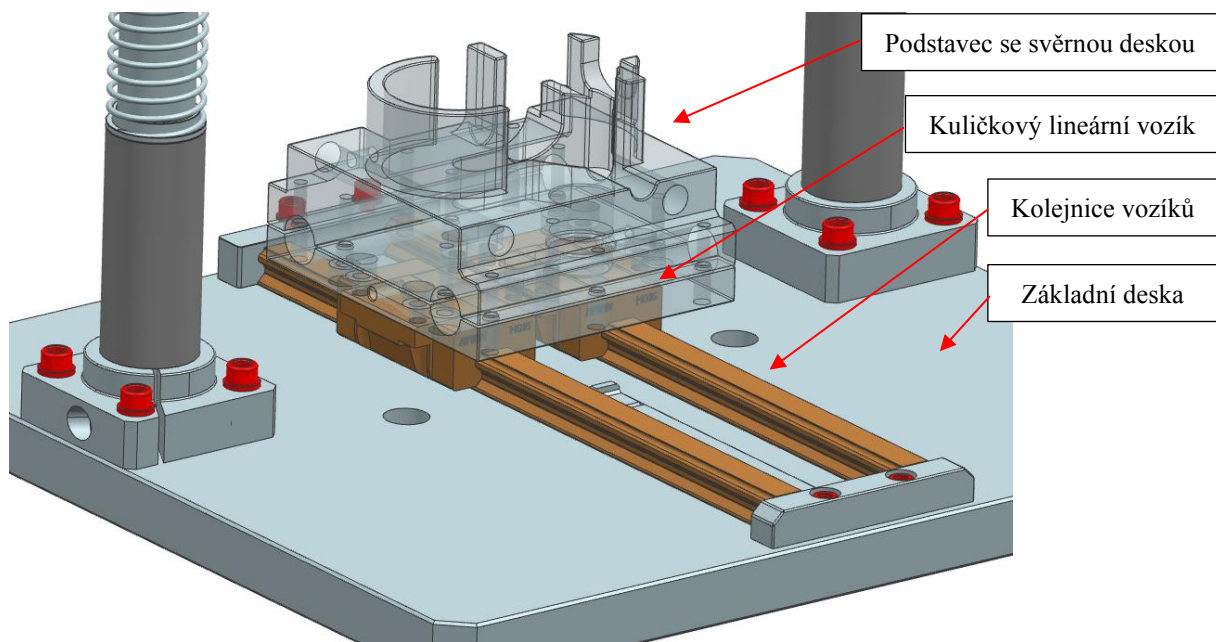


Obrázek 36 - aretační západka polohy nástroje se znázorněním madla nástroje

Posuv podstavce po základní desce zajišťují dva kuličkové lineární vozíky menších rozměrů pro jejich možné zakomponování na svěrnou desku podstavce. Dva vozíky zajistí lepší zachycení mimo osové působící síly vylišovacího nástavce než by tomu v případě vozíku jednoho umístěného ve středu. Z hlediska parametrů specifikovaných výrobcem jsou při zjednodušení silového působení oba z vozíků silově značně únosnější, než je únosnost jednoho samotného vozíku. Zjednodušený silový rozklad na uvedené vozíky i parametry nakupovaných vozíků lze nalézt v přílohách. Kolejnice vozíků jsou uloženy v desce pomocí vybrání a šroubů zespod desky, kdy jedna z kolejnic má navrženou velmi malou vůli ve vybrání pro její přesné ustavení. Druhá z kolejnic má vůli navrženou ve vybrání základní desky větší, pro možné nastavení a korektní provoz vedení. Lineární vozíky mají na svěrné desce podstavce osazení, které zajistí jejich přesnou polohu vůči podstavci.



Obrázek 37 - uložení kolejnic a lineárních vozíků

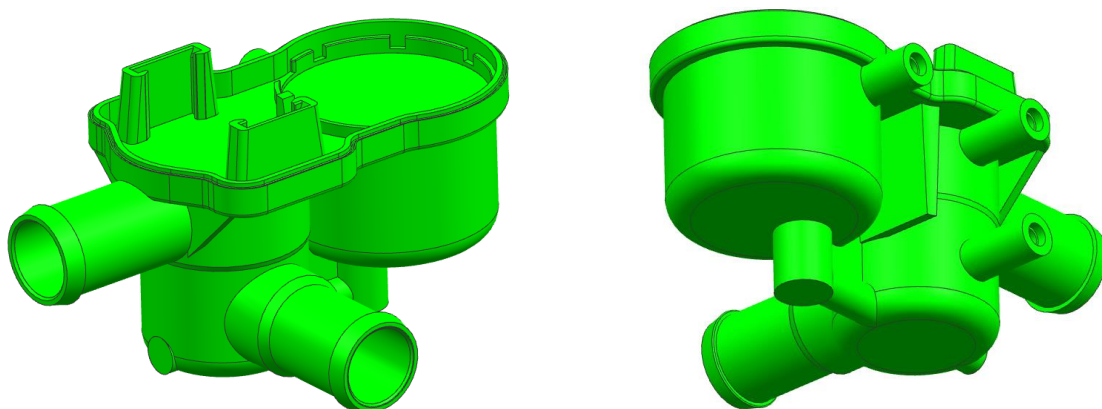


Obrázek 38 - základní deska s kolejnicemi, kuličkovými lineárními vozíky a výsuvným podstavcem se svěrnou deskou

Nedílnou součástí je i zakrytování nebezpečných hran a prostorů před obsluhou zařízení, nicméně tato problematika je podrobněji popsána až po výpočetním ověření a úpravách na finálním návrhu dále v této kvalifikační práci.

4.3 Stanovení dodatečných požadavků a jejich vliv na konstrukční řešení

Po částečném vypracování konstrukčního řešení zadané kvalifikační práce přišel od zadavatele požadavek na rozšíření zadání spočívající v přidání dalšího pouzdra výrobku s jinými připojovacími otvory. Na tomto základě bylo vymyšleno několik koncepčních změn konstrukčního návrhu, jak by bylo možné další pouzdro do již navrženého zařízení zakomponovat.



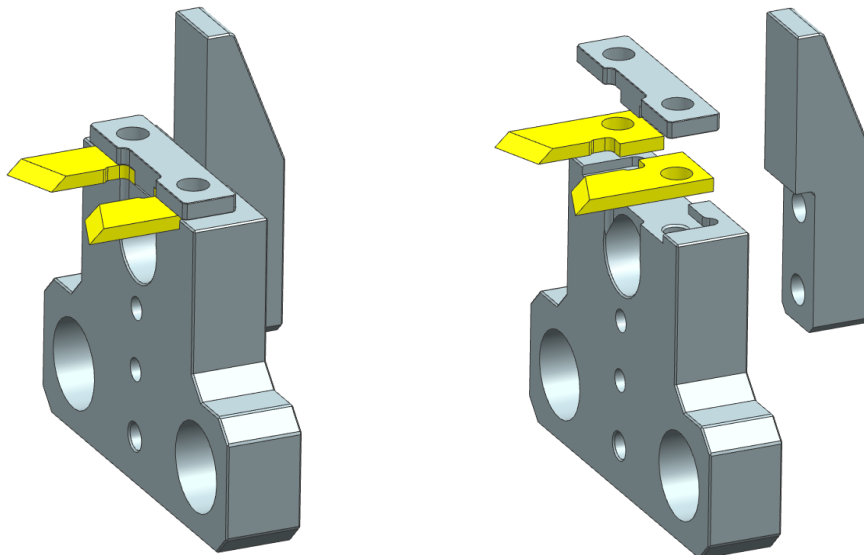
Obrázek 39 - dodatečný požadavek – další pouzdro výrobku

Dalšími dospecifikovanými parametry byly orientační síly vratných šroubovitých pružin pro jejich koncové stavy, a to v následujícím znění:

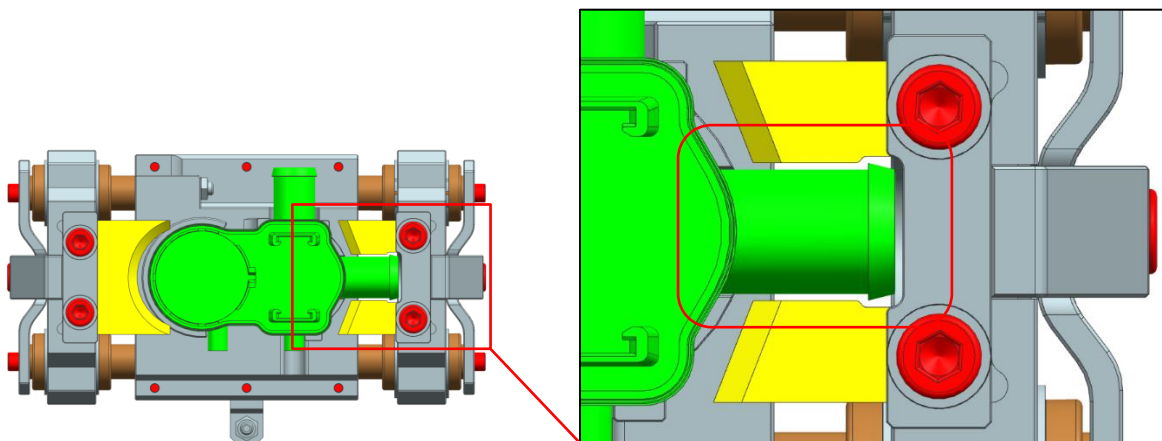
- Svislé pružiny vracející horní část s nástrojem připojenou k lisu 50 N
v otevřené / horní (výchozí) poloze; na výstupu zařízení (před dorazem)
- Vodorovné pružiny vytahující dělicí nože z výrobku 50 N
uzavřené (stlačené) poloze; na jeden nůž

4.3.1 První koncepční změna

První koncepční změnou konstrukčního návrhu bylo zachování v co největší možné míře stávajícího návrhu zařízení a zakomponování pouze nezbytně nutných změn spočívajících ve změně geometrií zasažených komponent, u kterých s jinak orientovanými připojovacími otvory výrobku (pouzdra) počítáno nebylo. Jedná se o změnu geometrie dvou jednodušších nožů nacházejících se na pravé straně zařízení, dále změnu geometrie jezdce s čímž se musela upravit i připojená nakloněná deska pro zachování co největší možné délky závitu uchycujícího šroubu a v neposlední řadě změna geometrie příložky nožů.



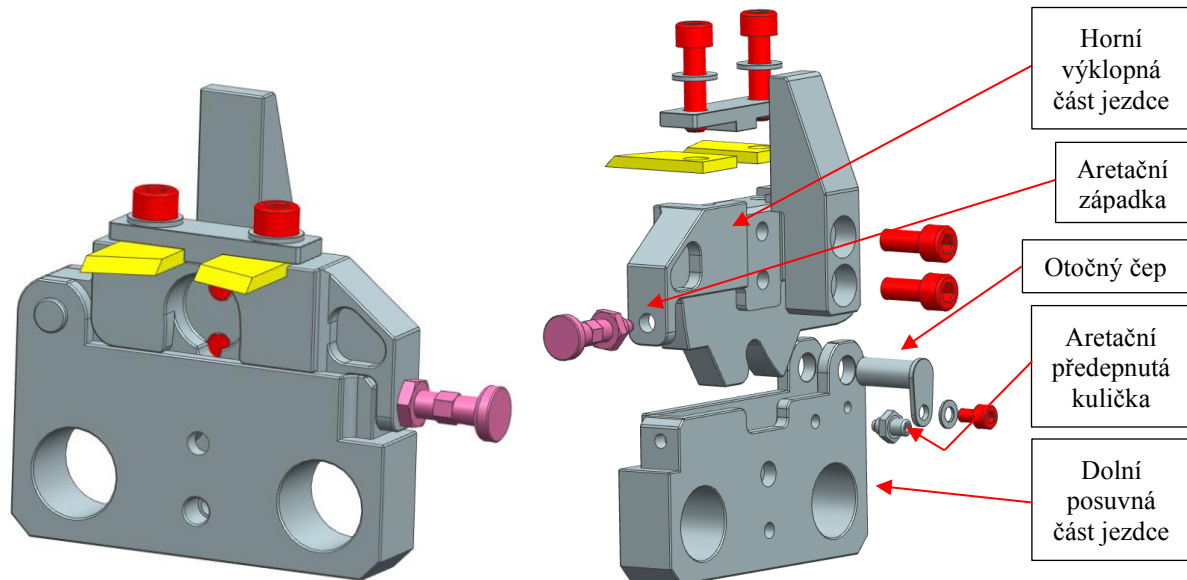
Obrázek 40 - první koncepční změna konstrukčního návrhu a rozpad jejích komponent



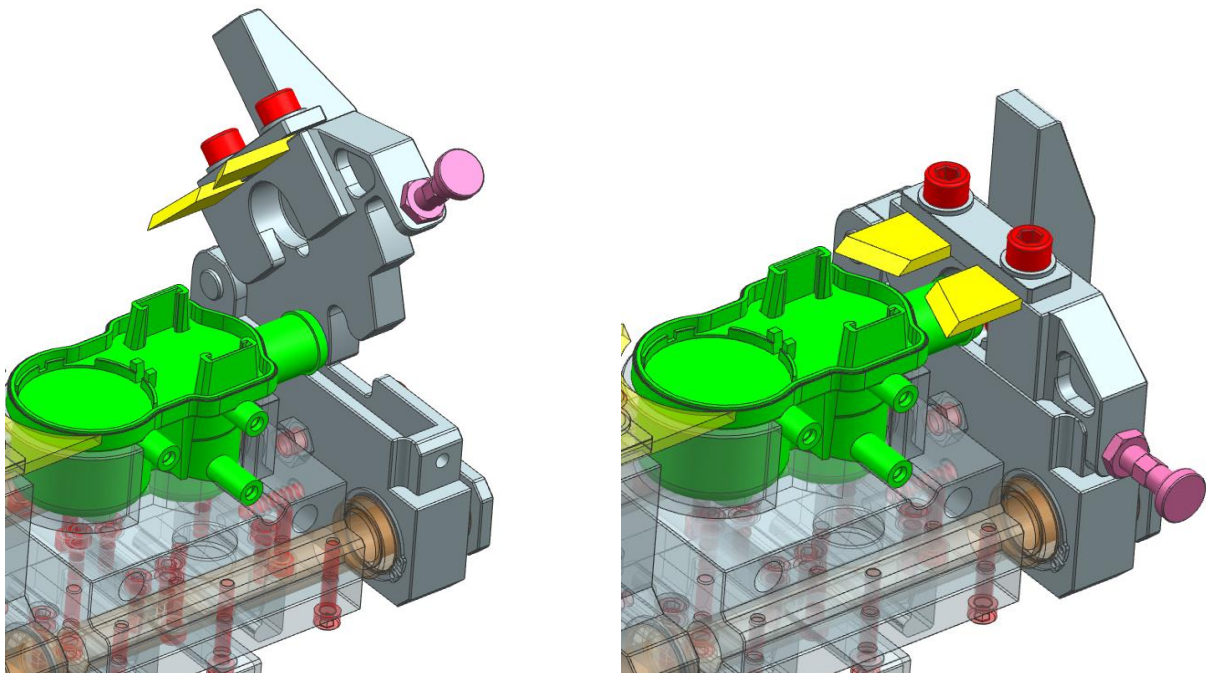
Obrázek 41 - první koncepční změna konstrukčního návrhu z pohledu seshora na sestavu pojížděného podstavce

4.3.2 Druhá koncepční změna

Druhá koncepční změna konstrukčního návrhu spočívá v rozdělení pravého jezdce na dvě poloviny, přičemž tyto poloviny jsou spojeny otočným čepem v zadní části. Pro vložení nebo vyndání výrobku je tedy nutné odjistit aretační západku na přední straně a odklopit horní část směrem dozadu. Vyklopenou polohu aretuje automatická předepnutá kulička. Po vložení výrobku do podstavce je potřebné horní polovinu zaklopit a zaaretovat aretační západku.



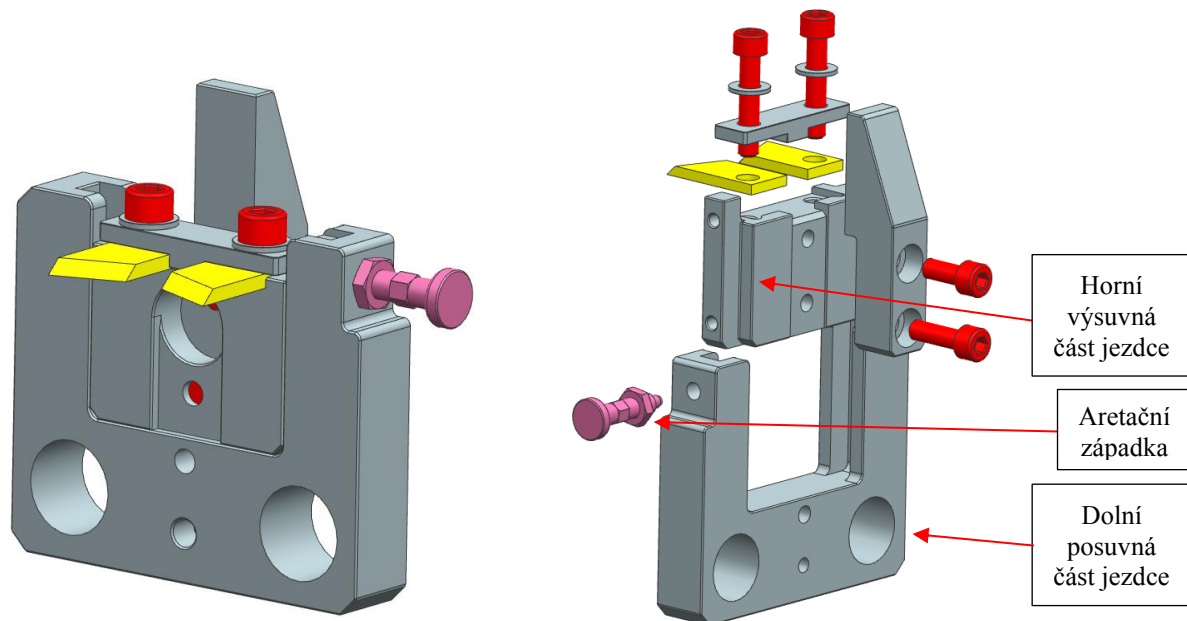
Obrázek 42 - druhá koncepční změna konstrukčního návrhu a rozpad jejích komponent



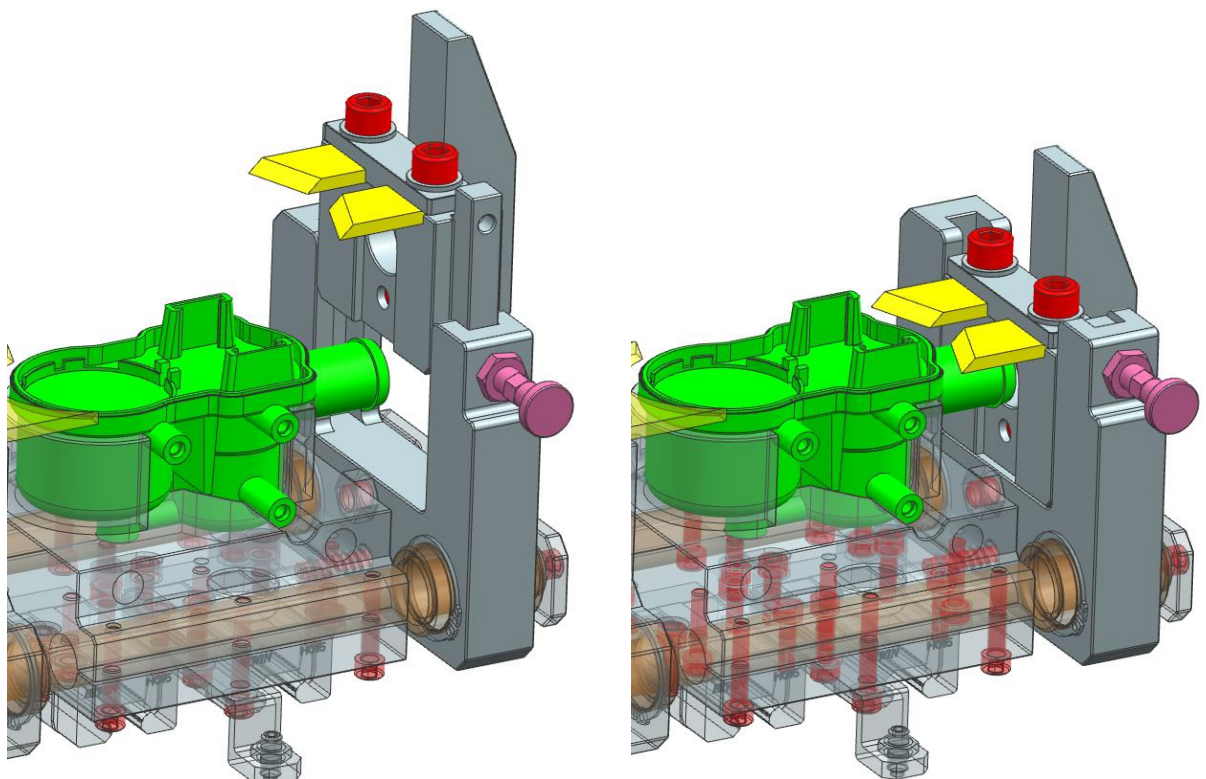
Obrázek 43 - druhá koncepční změna konstrukčního návrhu v krajních polohách; zleva - odklopená, zaklopená

4.3.3 Třetí koncepční změna

Třetí koncepční změna konstrukčního návrhu je obdobná změně druhé. Rozdílem je akorát pohyb polovin vůči sobě. Zatímco v druhé koncepční změně byly části odklopné, u třetí koncepční změny jsou navrženy výsuvně nad sebe. Jezdec je opět vybaven aretační západkou, která zajišťuje aretaci v koncových polohách. Nevýhodou této úpravy je nutnost zakládat výrobek částečně z boku, na rozdíl od druhé koncepční změny.



Obrázek 44 - třetí koncepční změna konstrukčního návrhu a rozpad jejích komponent

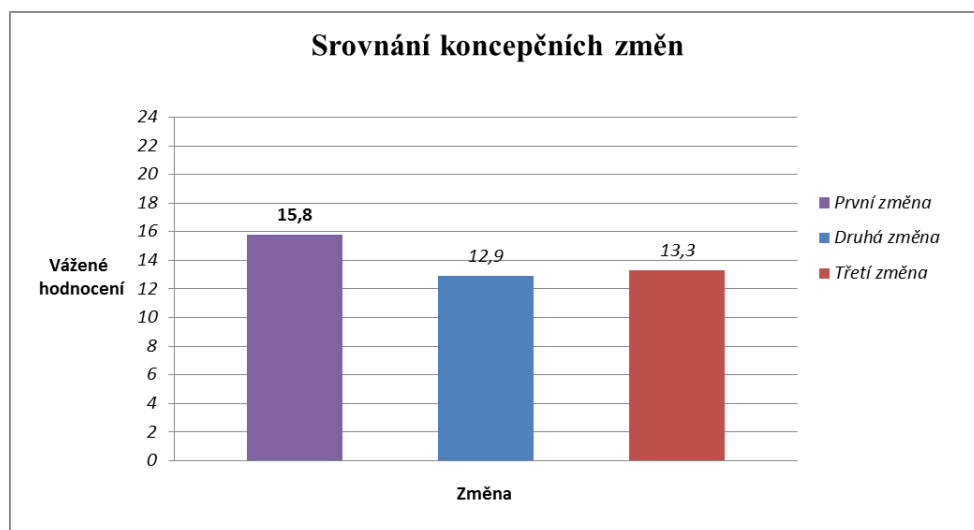


Obrázek 45 - třetí koncepční změna konstrukčního návrhu v krajních polohách; zleva - vysunutá, zprava - zasunutá

Dále byly tyto koncepční změny konstrukčního návrhu opět porovnány váženým hodnocením a intenzivně konzultovány se zadavatelem kvalifikační práce.

Tabulka 4 - srovnání koncepčních změn konstrukčního návrhu po stanovení dodatečných požadavků

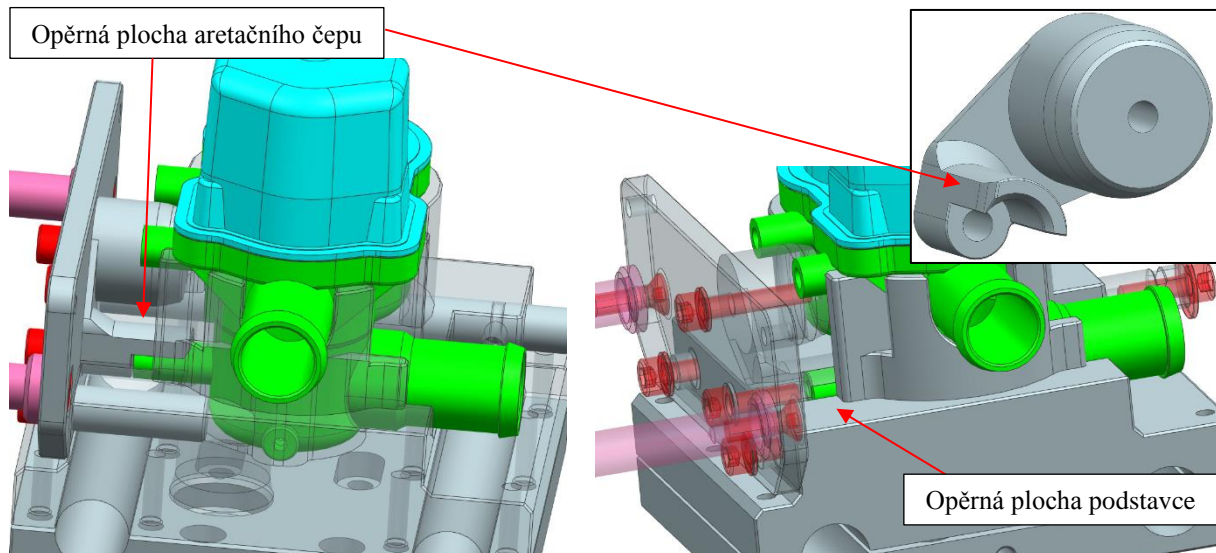
Kritérium	Hodnota / popis			Hodnocení (0-1)			Váha kritéria	Vážené hodnocení		
	Varianta			Varianta				Varianta		
	1	2	3	1	2	3		1	2	3
Obtížnost vložení / vyjmutí výrobku	jednoduché - vložení a vyjmutí seshora zařízení	složitější - pro vyjmutí nutný pohyb nahoru a dále do boku ve směru od zařízení; vložení opačně	složitější - pro vyjmutí nutný pohyb nahoru a dále do boku ve směru ke svislému vedení zařízení; vložení opačně	1,0	0,8	0,6	4	4	3,2	2,4
Nutné zakrytování nových střížných hran při zavírání součástí	bez nových střížných hran	stacionární kryt na hlavní desce v přední poloze posuvného podstavce	na potencionální novou střížnou hranu působí pouze vlastní váha výsuvné části jezdce, méně problematické než zaklápění (2); kryt kolem jezdce	1,0	0,6	0,7	2	2	1,2	1,4
Složitost konstrukce	úprava geometrie nožů, příložky na nože a jezdce	výroba děleného jezdce, nutná dobrá přesnost mezi díly pro minimální vůli - vychýlení nožů		0,7	0,3	0,5	2	1,4	0,6	1
		kratší opěrné plochy ve směru kolmém na působící sílu	delší opěrné plochy ve směru kolmém na působící sílu							
Velikost nožů	užší oproti koncepčnímu návrhu z důvodu geometrické zástavby	zachována širší z koncepčního návrhu (větší opěrná plocha)		0,6	1,0	1,0	4	2,4	4	4
Silové namáhání	zachováno z koncepčního návrhu - tuhá součást s pevně přišroubovanými noži a horizontálním vedením	kvůli kratším opěrným plochám možné větší vychýlení nožů z výchozí polohy	kvůli nutné vůli mezi díly možní vychýlení nožů z výchozí polohy	1,0	0,5	0,7	3	3	1,5	2,1
Polohování součástí	bez nutnosti polohování	dvě krajní polohy zajištěny v odklopené poloze automatickou předepnutou kuličkou; v uzavřené poloze aretační západka		1,0	0,8	0,8	3	3	2,4	2,4
Suma								15,8	12,9	13,3



Obrázek 46 - graf srovnání koncepčních změn konstrukčního návrhu a jejich váženého hodnocení

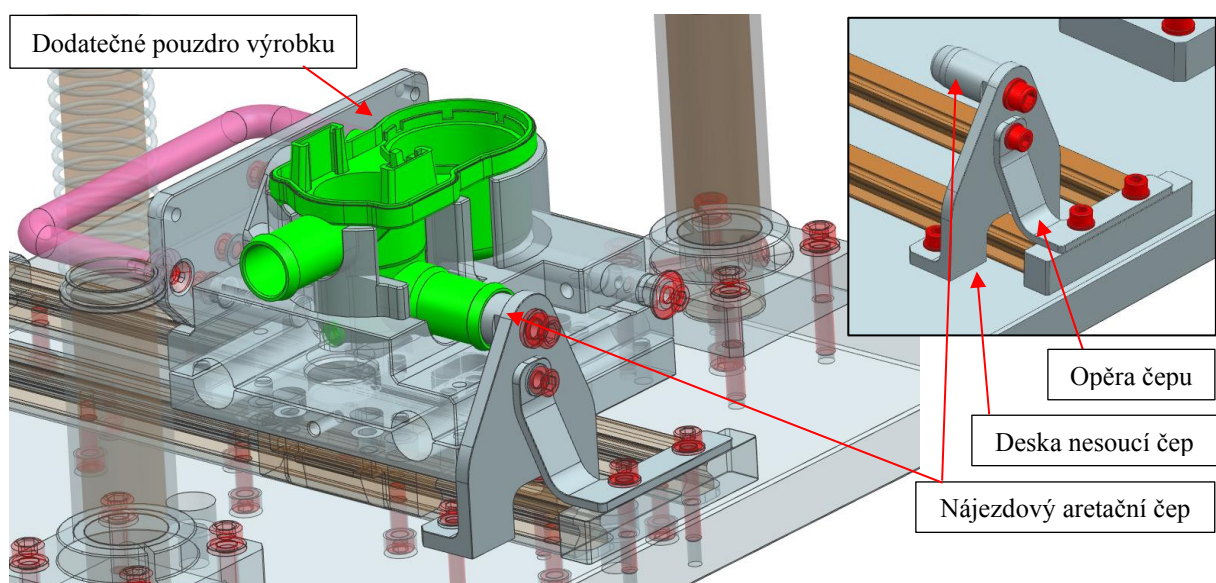
Po předvedení uvedených koncepčních změn a váženého hodnocení byla se zadavatelem volena první koncepční změna z důvodu jednoduchosti a bezpečnosti pro obsluhu při vkládání a vyndávání výrobku, tato změna disponuje také nejvyšším váženým hodnocením.

V rámci koncepční změny bylo také nutné dopracovat aretaci nového, dodefinovaného pouzdra výrobku. V první řadě byla k původnímu aretačnímu čepu doplněna opěra pro montážní výstup dodatečného pouzdra.



Obrázek 47 - aretace dodatečného pouzdra výrobku v podstavci pomocí prodlouženého aretačního čepu a jeho úpravy

Avšak z důvodu malého montážního výstupu výrobku a potencionální destrukce tohoto montážního místa byl pro toto pouzdro výrobku doplněn ještě další nájezdový aretační čep umístěný přímo na základní desce zařízení, který pro zajištění využívá jednoho z výstupů (připojovacího otvoru) dodatečného pouzdra.



Obrázek 48 - dojezdový doplňující aretační čep dodatečného pouzdra výrobku umístěného na základní desce

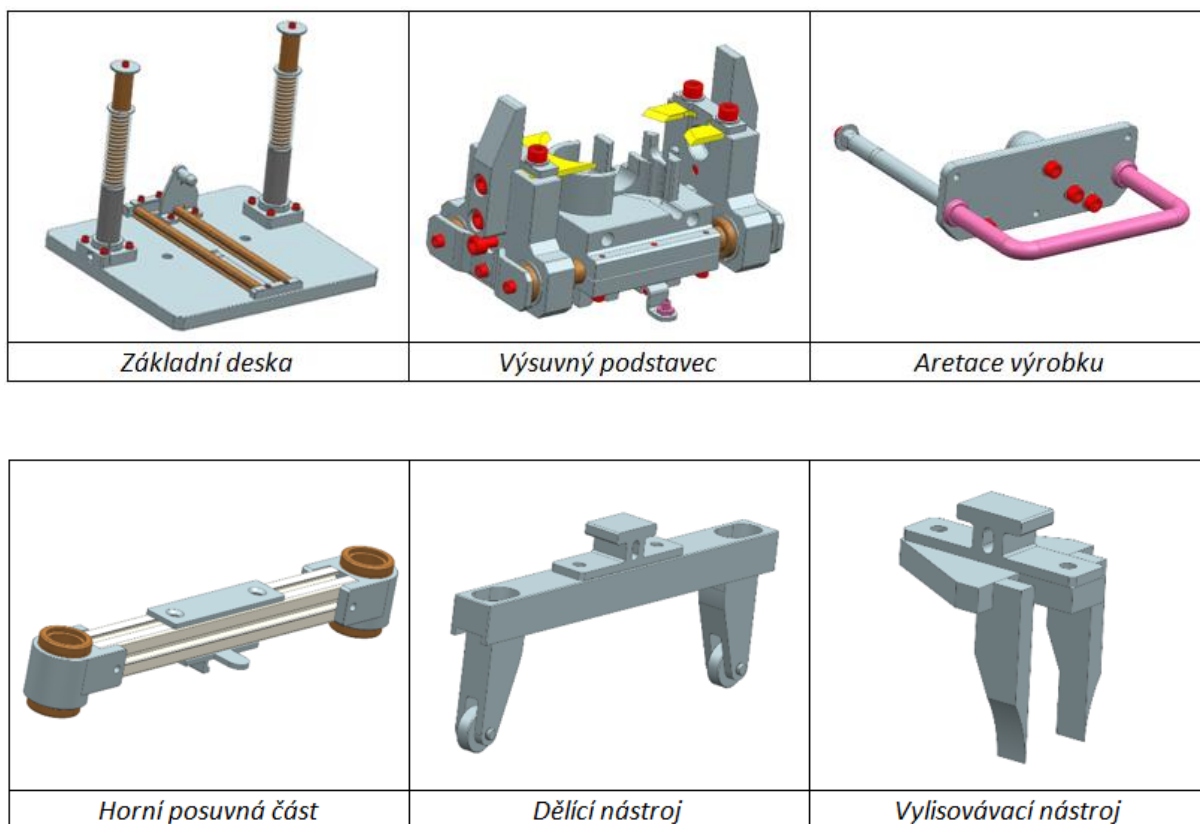
4.4 Výpočetní ověření finálního konstrukčního návrhu

Nejdůležitějším vstupním parametrem je stanovení největší možné zatěžující síly na vstupu zařízení. Ke stanovení tohoto parametru slouží silový rozbor ručního lisu a dovolená síla obsluhy stanovená z ergonomických předpisů zadavatele této kvalifikační práce. Základní parametry a vypočtené hodnoty plynoucí ze silového rozkladu uvádí následující tabulka. Samotný silový rozklad společně s výpočty lze nalézt v příloze č. 1.

Tabulka 5 - základní parametry ručního lisu a vybrané vypočtené hodnoty

Parametr	Hodnota	Jednotky	
Dovolená síla obsluhy na ruční páku lisu	216	[N]	
Výstupní síla lisu	3456		
Kolmá síla působící na nakloněnou rovinu jezdce	642		
Orientační	síla působící na výrobek (nůž)		596
	síla působící na jedno posuvné uložení (horizontální)		129

Práce bude dále rozdělena do jednotlivých bloků, kde budou řešeny a případně výpočetně ověřovány vybrané klíčové komponenty, které se v daných blocích nacházejí. Rozdělení do uvedených bloků (podsestav navrženého modelu) lze vidět na následujícím obrázku. Mimo uvedené bloky budou v rámci této kapitoly zmíněny i dodatečné parametry zařízení.



Obrázek 49 - rozdělení do bloků – včetně popisu pro rozdělení do následujících kapitol

4.4.1 Základní deska

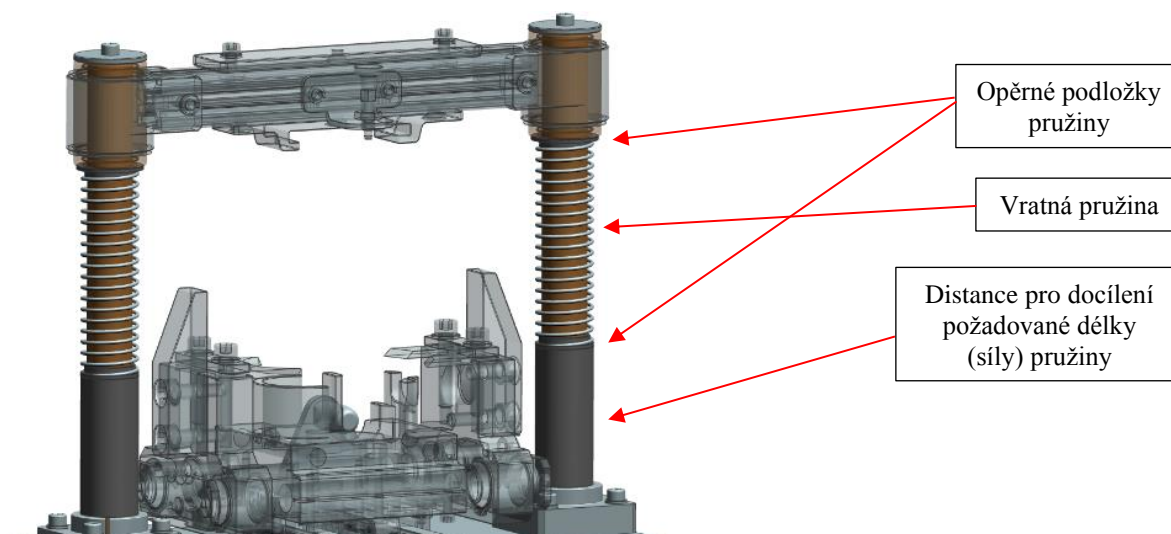
Základní deska je důležitou komponentou, která slouží k upevnění zařízení k opěrné desce lisu a nese všechny důležité navazující bloky z nichž je jich několik přímo k základní desce připojeno. Jednou z upevňovaných komponent je svislé vedení, které bylo po konzultaci se zadavatelem kvalifikační práce zvoleno o průměru 25 mm (průměr vodící tyče). Vedení o takovém průměru by mělo bezproblémově zajistit vedení horní části s dostatečnou tuhostí (i stabilitou před vychýlením do stran). Ukotvení vodících tyčí je realizováno pomocí jednoho šroubu zespona desky do závitové díry ve vodící tyči a dále pomocí nakupované komponenty stejného dodavatele, která je k ukotvení této tyče určena.

Na svislém vedení jsou umístěny vratné šroubovitě pružiny, které mají za úkol návrat horní posuvné části do koncové (otevřené) polohy. Zároveň je k této horní posuvné části připojen ruční lis, který nedisponuje žádnou vlastní pružinou a musí být tedy zvednut také pomocí těchto svislých vratných pružin navrhnutého zařízení. Jak již bylo zmíněno na začátku kapitoly 4.3 potřebná síla v horní poloze byla orientačně volena o velikosti 50 N na opěrné desce lisu před opřením o dorazy svislého vedení. Základní parametry a vypočtené hodnoty volených svislých pružin zn. Hennlich uvádí následující tabulka.

Tabulka 6 - základní parametry pružin svislého vedení Hennlich 62/6/3 - 1.1200, [8]

Pružina 1 (Hennlich tlačná pružina 62/6/3 - 1.1200)			
Parametr	Označení	Hodnota	Jednotky
Volná délka	L_0	147	[mm]
Nejmenší délka pružiny	L_n	22,7	
Délka při koncové poloze - nejdelší (otevřené zařízení)	L_{11}	111,8	
Délka při koncové poloze - nejkratší (plně stlačené zařízení)	L_{12}	70,8	
Síla při volné délce	F_0	0	[N]
Síla při nejmenší délce	F_n	86,7	
Síla při koncové poloze - nejdelší	F_{11}	24,6	
Síla při koncové poloze - nejkratší	F_{12}	53,1	
Tuhost pružiny	k_1	0,70	[N/mm]

Jelikož obě pružiny fungují v kooperaci a jsou řazeny paralelně (vedle sebe) jejich sílu lze v koncové poloze sečíst. Vratná síla tedy před dolehnutím na dorazy svislého vedení je 49,2 N.



Obrázek 50 - svislé vedení na základní desce

4.4.2 Výsuvný podstavec

Dalším klíčovým požadavkem na návrh zařízení (po zjednodušeném silovém rozkladu a zanedbání několika faktorů) je dynamická únosnost na horizontální vodící pouzdra a tyče alespoň 129 N / pouzdro (tyč) umístěné ve výsuvném podstavci, která nesou jezdce a nakloněné desky. Dynamická únosnost je klíčová z důvodu uvažovaného pohybu jezdců, které nesou kuličková pouzdra a dochází tedy k jejich zatížení při pohybu. Z hlediska ověření je zde uveden i případ, kdy dojde k zablokování pohybu vlivem odporu výrobku, či jiné situace a silové působení se změní na statické (bez pohybu).

Tabulka 7 - základní parametry vodících tyčí / pouzder zn. Hiwin o průměrech 12 a 16 mm, [10]

Parametr	Označení	W12 / UBM-	W16 / UBM-	Jednotky
		12AWW	16AWW	
		Hodnota		
Průměr vodící tyče / vnitřní pouzdra	d_v	12	16	[mm]
Vnější průměr vodícího pouzdra	D_p	22	26	
Statická únosnost	C_{0v}	1310	1480	[N]
Dynamická únosnost	C_{dyn}	660	800	

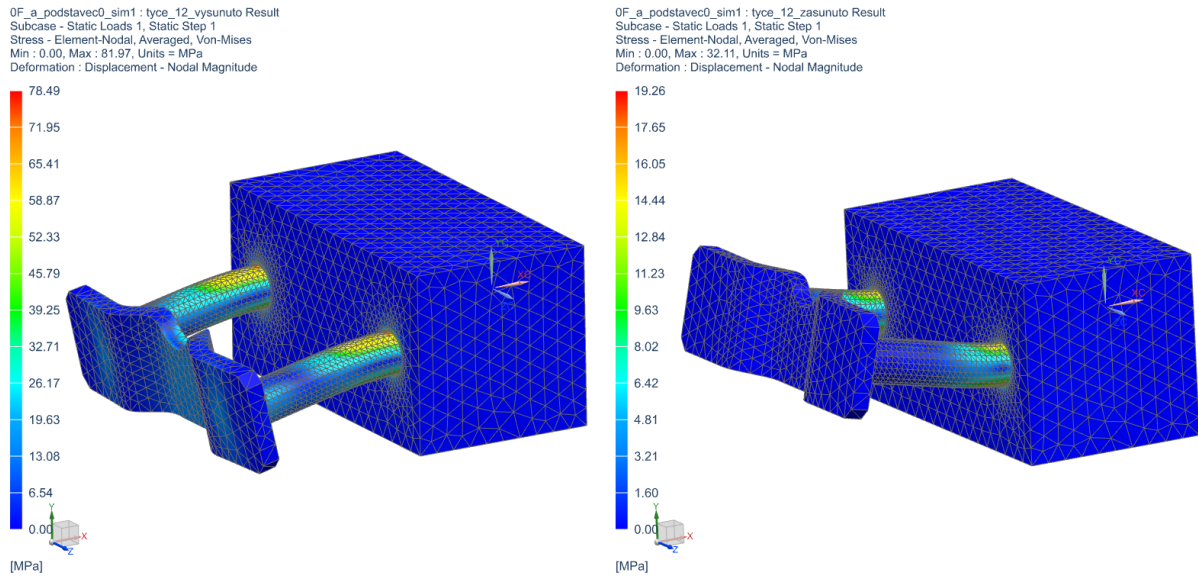
Výpočet součinitelů bezpečnosti horizontálního vedení (pouzder) při použití orientační zatěžující síly plynoucí ze silového rozkladu je následující:

$$s_{V12} = \frac{C_{dyn}^{12}}{C_{vp}} = \frac{660}{129} \doteq 5,12 \qquad s_{V12_0} = \frac{C_{0v}^{12}}{C_{vp}} = \frac{1310}{129} \doteq 10,16$$

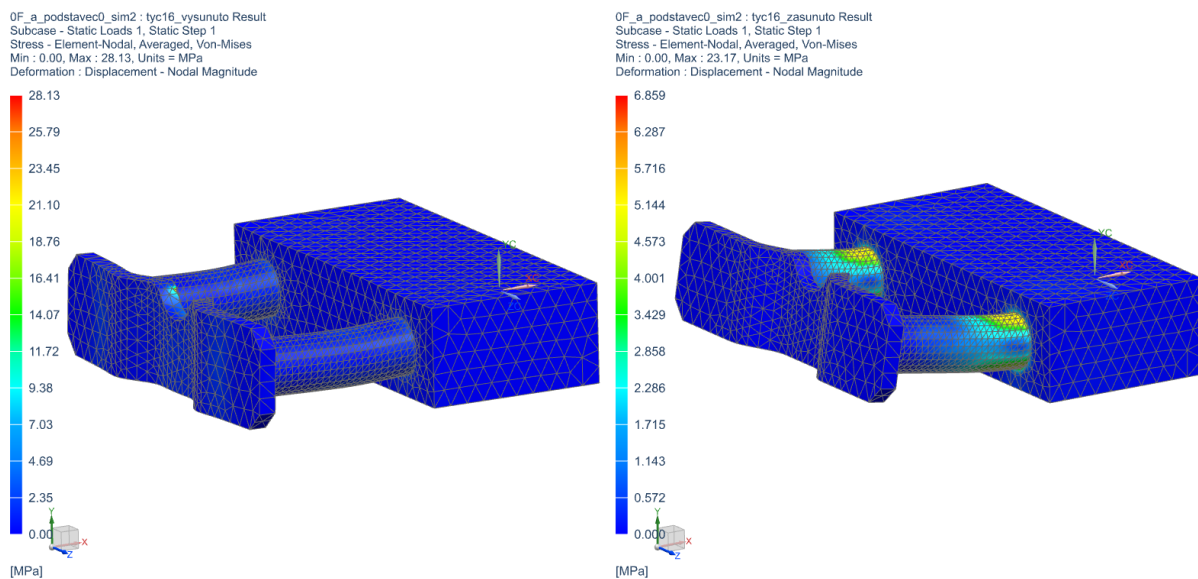
$$s_{V16} = \frac{C_{dyn}^{16}}{C_{vp}} = \frac{800}{129} \doteq 6,2 \qquad s_{V16_0} = \frac{C_{0v}^{16}}{C_{vp}} = \frac{1480}{129} \doteq 11,47$$

Kde: s_{V12} (s_{V16}) – součinitel bezpečnosti horizontálního vedení o průměru 12 (16) mm vůči dynamické únosnosti; s_{V12_0} (s_{V16_0}) – součinitel bezpečnosti horizontálního vedení o průměru 12 (16) mm vůči statické únosnosti, C_{vp} – požadovaná únosnost horizontálního vedení plynoucí ze silového rozkladu

Statické zatížení uvedeného horizontálního vedení v obou variantách (velikosti tyčí a pouzder) bylo dále ověřeno pomocí zjednodušených MKP analýz ve dvou polohách (krajní vysunutá poloha a krajní zasunutá poloha), jejichž výsledky lze vidět na následujících obrázcích. Důležitou změnou z hlediska analýzy zatížení byla změna rozteče tyčí ze 70 mm (pro tyče o průměru 12 mm) na 77 mm (pro tyče o průměru 16 mm) z důvodu zástavbových rozměrů. Podrobný popis těchto zjednodušených analýz včetně kompletních výsledků lze najít v příloze č. 2.

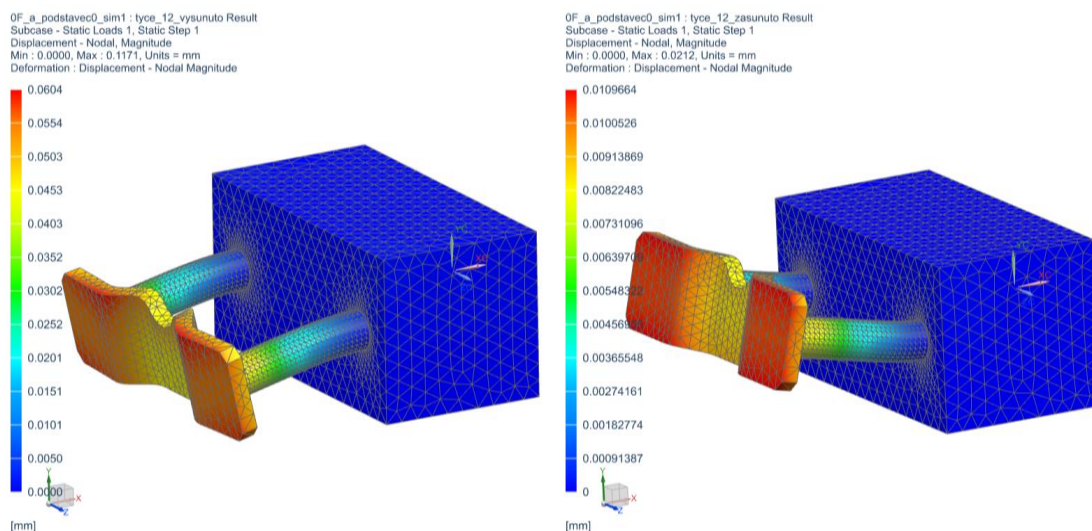


Obrázek 51 - zobrazení redukovaného napětí von Mises pro horizontálního vedení o průměru 12 mm se zvětšeným měřítkem deformace; zleva – vysunutá krajní (koncová) poloha; zasunutá krajní (koncová) poloha; hodnoty uvedeny v MPa

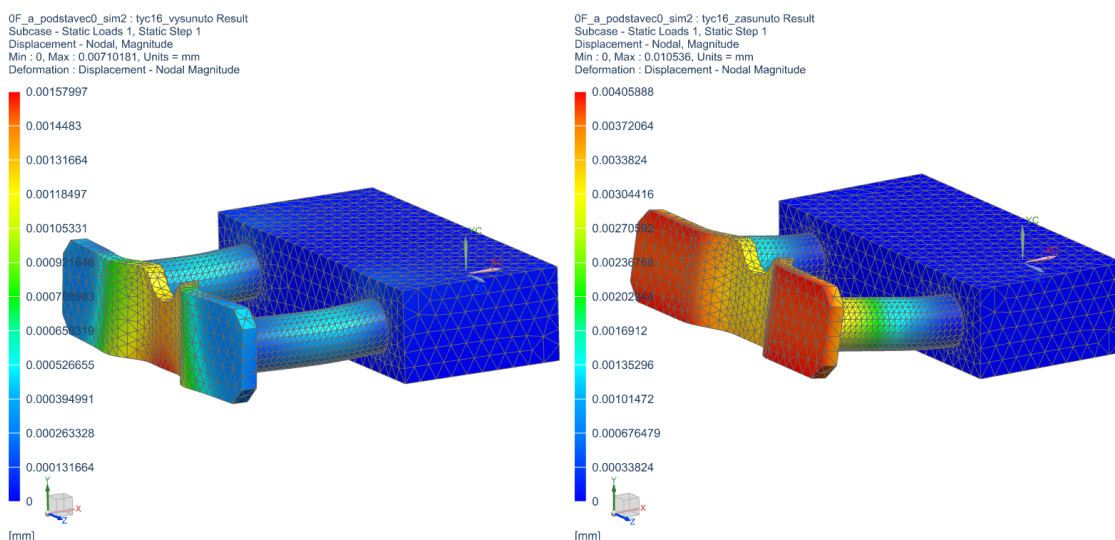


Obrázek 52 - zobrazení redukovaného napětí von Mises horizontálního vedení o průměru 16 mm se zvětšeným měřítkem deformace; zleva – vysunutá krajní (koncová) poloha; zasunutá krajní (koncová) poloha; hodnoty uvedeny v MPa

Maximální zjištěné redukované napětí analýzy zobrazených komponent v případě vysunutého stavu tyčí o průměru 16 mm bylo 28,13 MPa, nicméně toto napětí je nerelevantní z hlediska analýzy vodících tyčí. Na vodících tyčích bylo zjištěno v uvedeném stavu maximální redukované napětí o velikosti 3,33 MPa (výsledek uvedeného případu lze nalézt v přílohách).



Obrázek 53 - zobrazení celkového posunutí při zatížení horizontálního vedení o průměru 12 mm se zvětšeným měřítkem deformace; zleva – vysunutá krajní (koncová) poloha; zasunutá krajní (koncová) poloha; hodnoty uvedeny v mm



Obrázek 54 - zobrazení celkového posunutí při zatížení horizontálního vedení o průměru 16 mm se zvětšeným měřítkem deformace; zleva – vysunutá krajní (koncová) poloha; zasunutá krajní (koncová) poloha; hodnoty uvedeny v mm

Tabulka 8 - výsledné hodnoty zjednodušených MKP analýz horizontálního vedení

Průměr horizontálního vedení	Parametr	Označení	Hodnota	Jednotky
12	Maximální redukované napětí dle HMM	$\sigma_{Red(Max)HMH}^{12}$	78,49	[MPa]
	Celkové posunutí	pos_{celk}^{12}	0,0604	[mm]
	Posunutí ve svislém směru (Y)	pos_{svisle}^{12}	-0,0553	
16	Maximální redukované napětí dle HMM	$\sigma_{Red(Max)HMH}^{16}$	6,86	[MPa]
	Celkové posunutí	pos_{celk}^{16}	0,004	[mm]
	Posunutí ve svislém směru (Y)	pos_{svisle}^{16}	0,004	

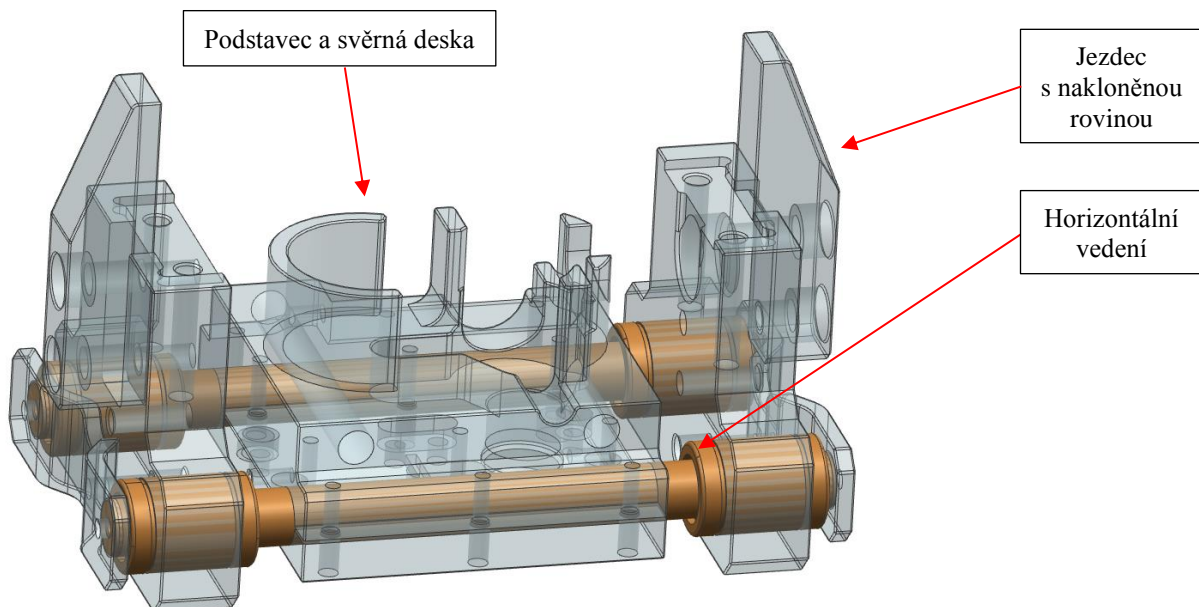
Výpočet součinitelů bezpečnosti horizontálního vedení (tyčí) plynoucího ze zjednodušené MKP analýzy, [5]:

$$s_{V12_{MKP}} = \frac{Re_{Cf53}}{\sigma_{Red(Max)_{HMH}}^{12}} = \frac{360}{78,49} \doteq 4,59 \quad s_{V16_{MKP}} = \frac{Re_{Cf53}}{\sigma_{Red(Max)_{HMH}}^{16}} = \frac{360}{6,86} \doteq 52,48$$

Kde: $s_{V12_{MKP}}$ ($s_{V16_{MKP}}$) - součinitel bezpečnosti horizontálního vedení o průměru 12 (16) mm vůči mezi kluzu materiálu vodičích tyčí;

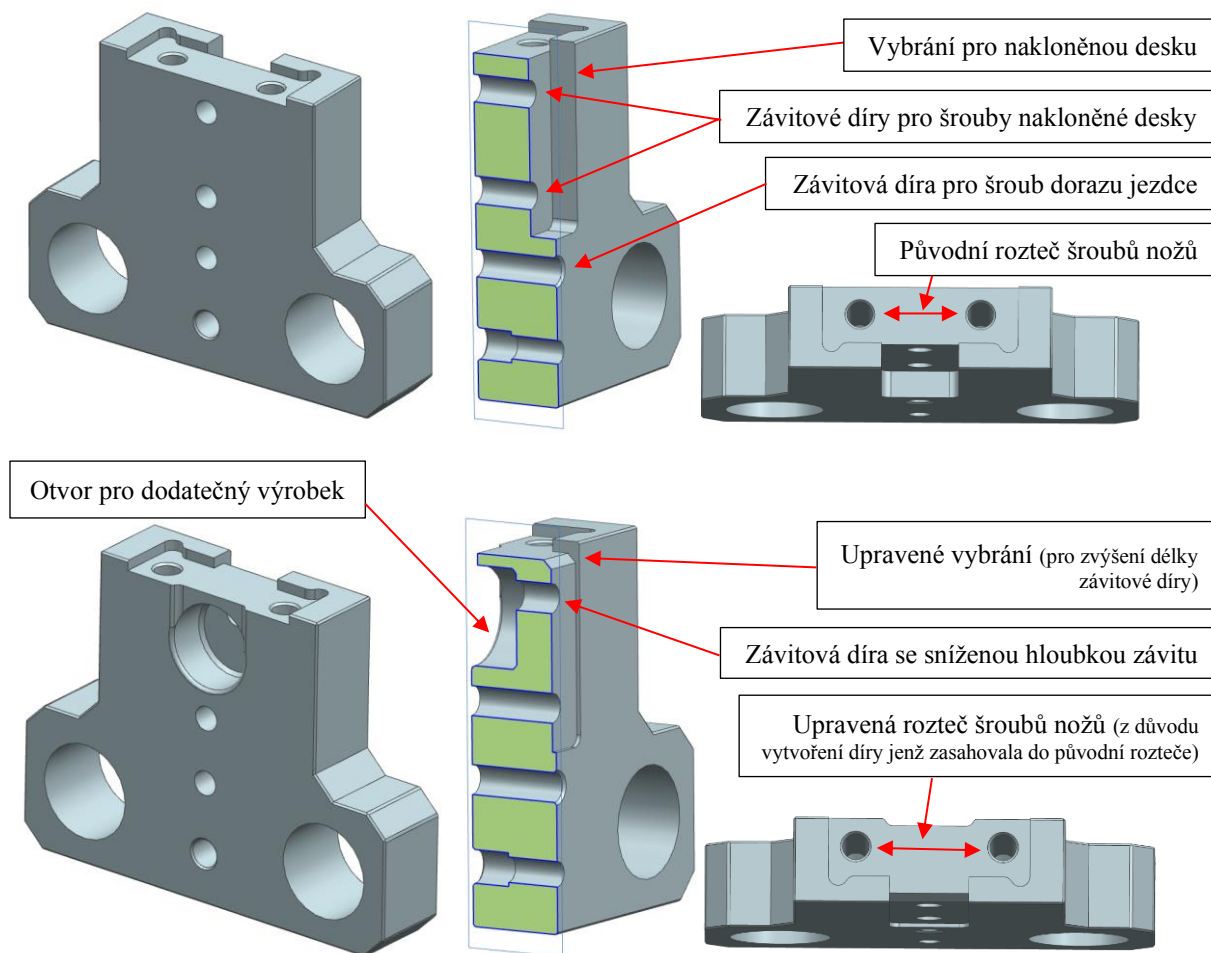
Hodnoty všech uvedených součinitelů bezpečnosti jsou zdatelně větší než 1. Z pevnostního hlediska tedy vyhovuje již návrh vedení o průměru 12 mm. Pro tyto tyče bylo zjištěno maximální redukovaného napětí dle hypotézy HMH (von Mises) o hodnotě 78,49 MPa, které je menší, než mez kluzu materiálu tyčí DIN Cf53 (1.1213) 360 MPa. Zároveň statická i dynamická únosnost pouzder je značně větší než silové namáhání vedení.

Po konzultacích se zadavatelem kvalifikační práce a předložení těchto výsledků i zjednodušených MKP analýz bylo zadavatelem zvoleno vedení pomocí tyčí a pouzder o průměru 16 mm z důvodu větší životnosti vedení a vyšší tuhosti konstrukce i za cenu vyšší hmotnosti a nákladů.



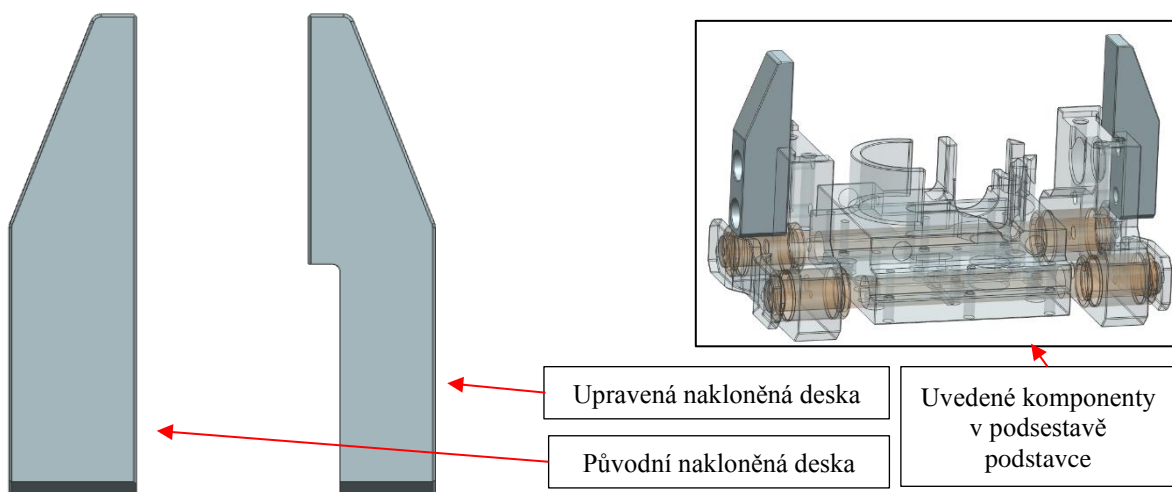
Obrázek 55 - horizontální vedení konstrukčního návrhu

Zvolená koncepční změna původního návrhu pro druhé pouzdro výrobku měla za důsledek zdatelnou redukci délky závitu šroubů M8 spojujících nakloněnou desku a jezdece i po geometrických úpravách uvedených komponent.



Obrázek 56 - původní jezdec (nahore) a upravený jezdec (dole) s řezem a zobrazením upravených geometrií komponent

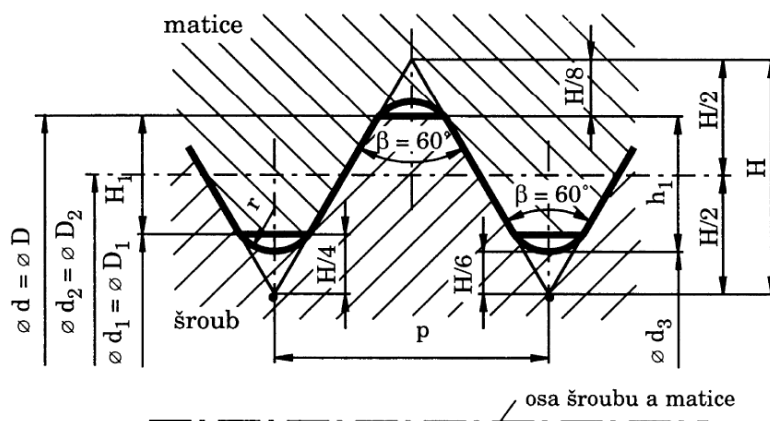
Společně s komponenty jezdcí, byly upraveny i navazující komponenty nakloněných desek.



Obrázek 57 - komponenta nakloněné desky a zakomponování do podstavě podstavce s horizontálním vedením

Vzhledem k upravené geometrii komponent jezdce a nakloněné desky byla zvolena předepínací síla šroubů nakloněné desky a jezdců pro výpočetní ověření pomocí MKP analýzy pro zjištění místních dotyků mezi nakloněnou deskou a jezdcem po provozním zatížení a tím nárůstu místního napětí a vzniku potenciálních pevnostních problémů.

I přes to že je u zmenšené závitové díry splněna podmínka minimální hloubky závitů (hloubka alespoň jedenkrát vnější průměr závitů - pro ocel), byl pro zvolené osové síly šroubu zkontrolován měrný tlak v závitech a redukované napětí uvedených šroubů při jejich montáži. Dále je uveden příklad výpočtu jednoho ze šroubů:



Obrázek 58 - definování parametrů závitů šroubu a matice (závitové díry), [12]

Tabulka 9 - Tabulka parametrů závitové díry k výpočetnímu ověření, [12], [13]

Metrický závit M8 x 1,25			
Parametr	Označení	Hodnota	Jednotka
Velký průměr závitů	$\varnothing d$	8	[mm]
Střední průměr závitů	$\varnothing d_2$	7,188	
Malý průměr závitů díry	$\varnothing d_1$	6,647	
Malý průměr závitů šroubu	$\varnothing d_3$	6,466	
Délka závitů	l_z	9,3	
Stoupání závitů	p_h	1,25	[-]
Koeficient tření v závitech	f_z	0,2	
Koeficient rozložení tlaku v závitech (vlivem nepřesnosti závitů)	k_z	0,8	
Mez kluzu materiálu šroubu (1200*0,9)	$Re_{12.9}$	1080	[MPa]
Mez kluzu materiálu závitové díry (ČSN 14 220)	$Re_{\text{ČSN 14 220}}$	590	
Volená osová síla zkráceného šroubu	$F_{\text{š1}}$	2500	[N]
Volená osová síla standardního šroubu / šroubu příložky dělicích dozů	$F_{\text{š2,3,4}}$	3500	

Dovolený tlak v závitech p_{zD} :

$$p_{zD} = 0,2 * Re_{\min(\text{šroub}, \text{mat})} = 0,2 * 590 = 118 \text{ MPa}$$

Měrný tlak v závitech pro případ mělkých závitů p_z :

$$p_z = \frac{F_{\text{š1}}}{n_z * S_z} = \frac{F_{\text{š1}}}{\left(\frac{l_z}{p_h} * k_z\right) * \frac{\pi * (d^2 - d_1^2)}{4}} \doteq 26,97 \text{ MPa}$$

Součinitel bezpečnosti měrného tlaku v závitech vůči mezi kluzu materiálu méně pevného materiálu šroubového spojení s_{pZ} :

$$s_{pZ} = \frac{p_{zD}}{p_z} \doteq 4,37$$

Zároveň je u šroubu ověřeno redukované napětí při montáži (utahování), které je způsobeno napětím v tahu od předepínací (osové) síly šroubu a smykového napětí vyvolaného kroutícím momentem.

Osové napětí (napětí v tahu) σ_{ξ} :

$$\sigma_{\xi} = \frac{F_{\xi 1}}{\frac{\pi * d_3^2}{4}} \doteq 76,13 \text{ MPa}$$

Smykové napětí (napětí v krutu) τ_{ξ} :

$$\tau_{\xi} = \frac{M_Z}{W_k} = \frac{F_{\xi 1} * \frac{d_2}{2} * \left(\frac{p_h}{\pi * d_2} + \frac{f_z}{\cos(30^\circ)} \right)}{\frac{\pi * d_3^3}{16}} \doteq 228,84 \text{ MPa}$$

Redukované napětí ve šroubu dle hypotézy HMM (von Mises) $\sigma_{Red_{HMM}}$:

$$\sigma_{Red_{HMM}} = \sqrt{\sigma_{\xi}^2 + 3 * \tau_{\xi}^2} \doteq 403,61 \text{ MPa}$$

Součinitel bezpečnosti redukovaného napětí šroubu vůči mezi kluzu materiálu s_{Red} :

$$s_{Red} = \frac{Re_{12.9}}{\sigma_{Red_{HMM}}} \doteq 2,68$$

Oba uvedené součinitele (pro měrný tlak v závitu i redukované napětí šroubu) jsou větší než jedna, tudíž z pevnostního hlediska návrh vyhovuje.

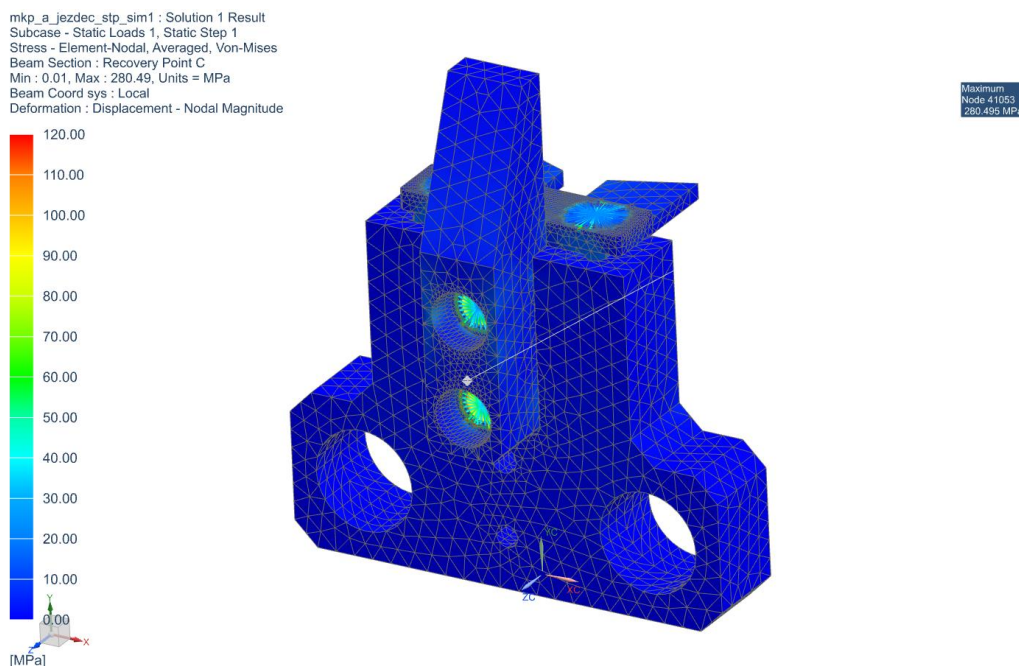
Dle uvedených vztahů byly ověřeny i další předepnuté šroubové spojení, jenž jsou v tomto bloku (výsuvného podstavce) použita. Výsledky uvedených šroubových spojení uvádí následující tabulka. Kompletní výpočty včetně utahovacích momentů šroubů a všech potřebných parametrů lze nalézt v přílohách.

Tabulka 10 - hodnoty některých parametrů, vypočtených hodnot a součinitelů bezpečnosti navržených šroubů v jezdcí výsuvného podstavce při jejich montáži

Umístění	Parametr	Délka závitové díry	Osová síla	Měrný tlak v závitech	Dovolený tlak v závitech	Napětí v tahu	Napětí v krutu	Redukované napětí	Součinitel bezpečnosti vůči mezi kluzu	
									měrný tlak v závitech	redukované napětí
									S_z	S_{Red}
Označení	l_z	F_ξ	p_z	p_{zD}	σ_ξ	τ_ξ	σ_{RedHMH}	S_z	S_{Red}	
Jednotky	[mm]	[N]	[MPa]				[-]			
Šroub spojující nakloněnou desku a jezdec	M8x30 - 12.9	9,3	2500	26,97	118	76,13	228,84	403,61	4,37	2,68
	M8x18,5 - 12.9	20,8		16,89		106,59	320,38	565,06	6,99	1,91
Šroub spojující příložku nože a jezdec	M8x40 - 12.9	29,4	3500	11,95		106,59	320,38	565,06	9,87	1,91

Hodnota všech součinitelů bezpečnosti vůči mezi kluzu relevantních materiálů jsou větší než jedna, tudíž z pevnostního hlediska volené parametry vůči šroubům a závitovým dírám z pevnostního hlediska vyhovují.

Po pevnostním ověření byly uvedené parametry zapracovány do zjednodušené MKP analýzy maximálního statického zatížení vyvolaného ručním lisem s jednotlivými předepnutými šrouby pro případ upraveného jezdce a nakloněné desky, které lze vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 59 - zobrazení redukovaného napětí von Mises pro upravenou komponentu jezdce při použití předepínacích sil v místech šroubů, hodnoty uvedeny v MPa

Pro tuto předepínací sílu byly zjištěny nárůsty bodových napětí na plochách, kde se opírají hlavy předepnutých šroubů, nicméně tato napětí nejsou nijak razantní (po zprůměrování s okolními hodnotami po částečném rozložení lokálních bodových extrémů napětí) a jsou v předpokládaných hodnotách vůči předchozím analytickým výpočtům pevnosti navržených šroubů. Hlavním bodem ověření byly napětí na stykových plochách mezi komponentou jezdce

a nakloněnou deskou kde nedošlo k žádné výrazné deformaci (odlehnutí) ani významnému nárůstu redukovaného napětí.

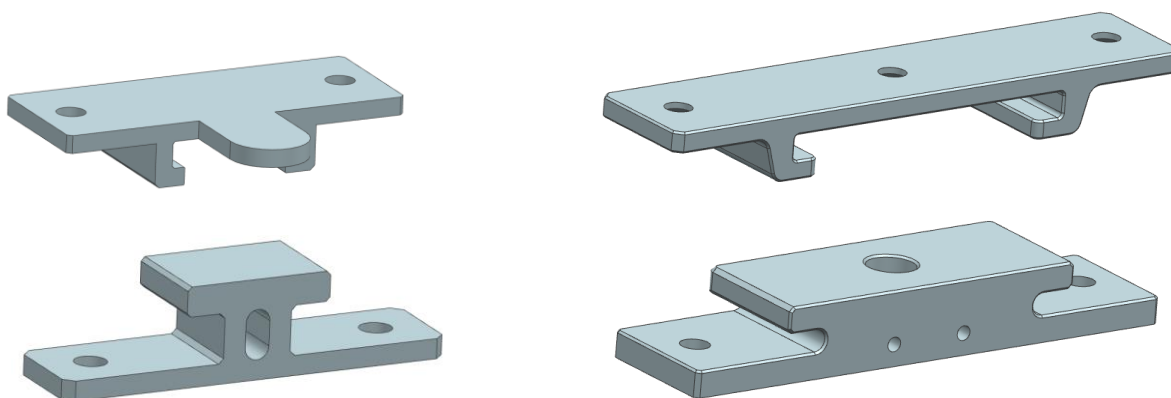
Výsuvný podstavec disponuje také horizontálními vratnými pružinami, které mají v první řadě za úkol vrácení komponent jezdců do jejich výchozí (roztažené – otevřené) polohy. Pokud na nakloněné desky doléhá i dělicí nástavec, působí tyto pružiny i na něj a pomáhají tak svislým vratným pružinám zdvihát horní pojízdnou část a páku ručního lisu.

Tabulka 11 - základní parametry pružin horizontálního vedení Hennlich 47/15/4 – 1.1200, [8]

Pružina 2 (Hennlich tlačná pružina 47/15/4 - 1.1200)			
Parametr	Označení	Hodnota	Jednotky
Volná délka	L_0	28,3	[mm]
Nejmenší délka pružiny	L_n	14,9	
Délka při koncové poloze - nejdelší	L_{21}	27,25	
Délka při koncové poloze - nejkratší	L_{22}	16,9	
Síla při volné délce	F_0	0	[N]
Síla při nejmenší délce	F_n	74,7	
Síla při koncové poloze - nejdelší	F_{21}	5,9	
Síla při koncové poloze - nejkratší	F_{22}	63,6	
Tuhost pružiny	k_1	5,57	[N/mm]

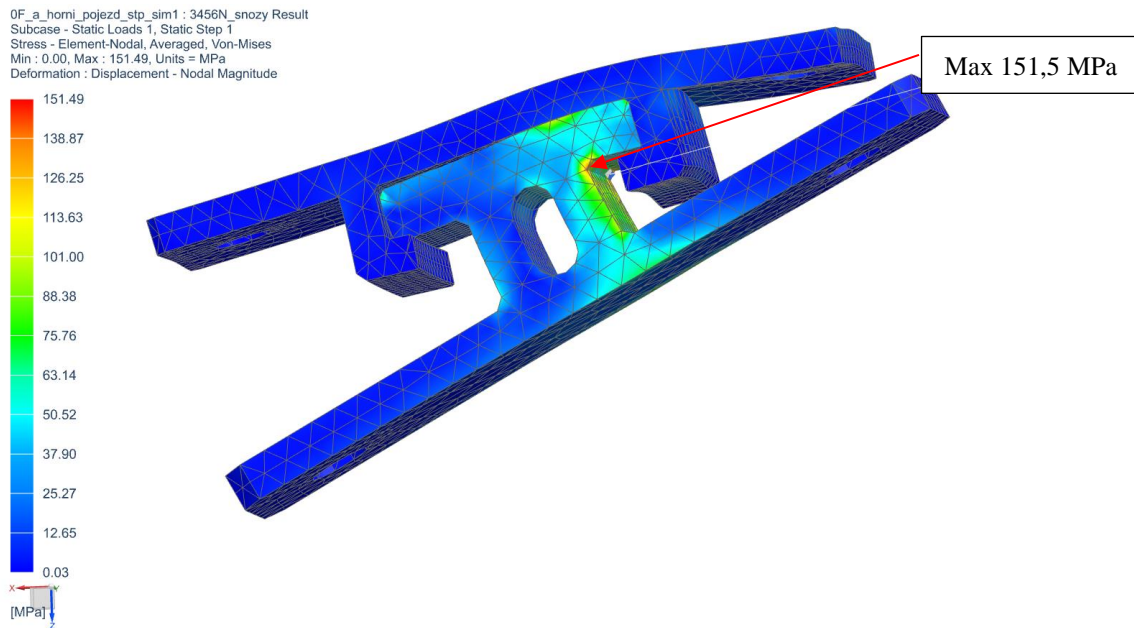
4.4.3 Horní posuvná část a nástroje

Další neméně důležitou součástí je komponenta spojující horní pojízdnou část s nástrojem. Kvůli rozhodnutí o orientaci výrobku uvnitř zařízení je nutné zachytit nesymetrické silové působení vylisovávacích nožů na výrobek. Tuto asymetrii musí silově zachycovat právě spojovací součást a přenášet zatížení spolehlivě na součásti další. Z hlediska snížení namáhání spojovacích součástí je žádoucí využít co nejvíce prostoru, který určují okolní navazující komponenty.

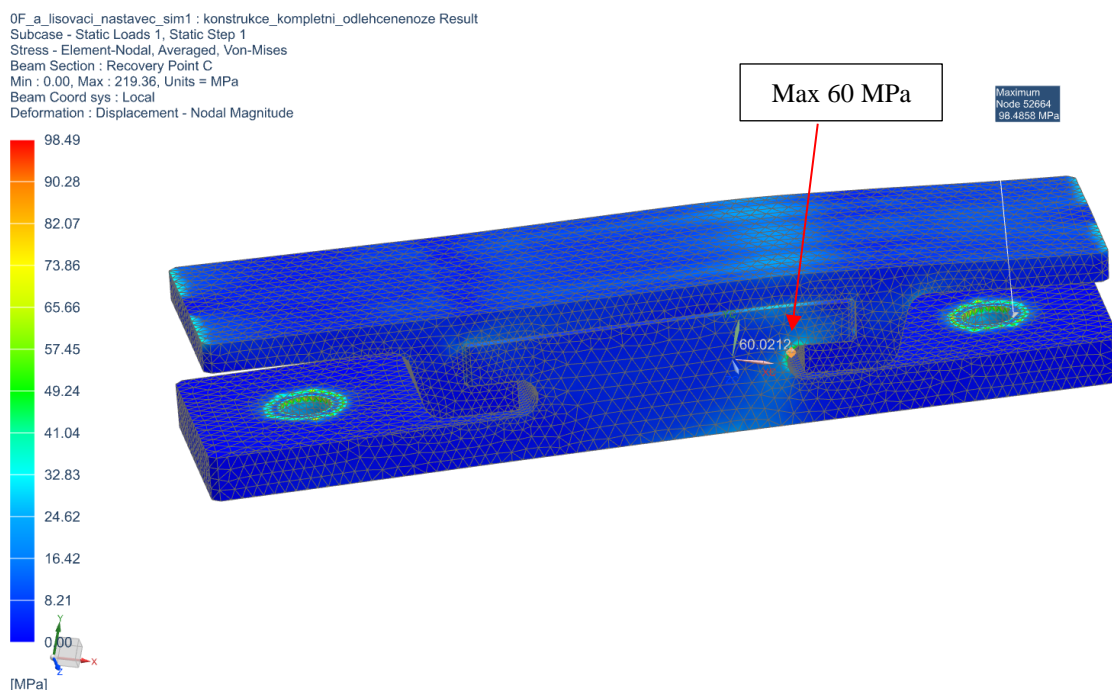


Obrázek 60 - spojení horní pojízdné části a nástroje; zleva – konceptní návrh, optimalizovaný konstrukční návrh

Oba návrhy (konceptní i optimalizovaný konstrukční) byly analyzovány pomocí MKP analýzy, na jejichž výsledcích lze vidět zásadní snížení maximálního redukovaného napětí v kritickém, cyklicky namáhaném místě komponenty. Detailní popis lze nalézt v příloze č. 2.



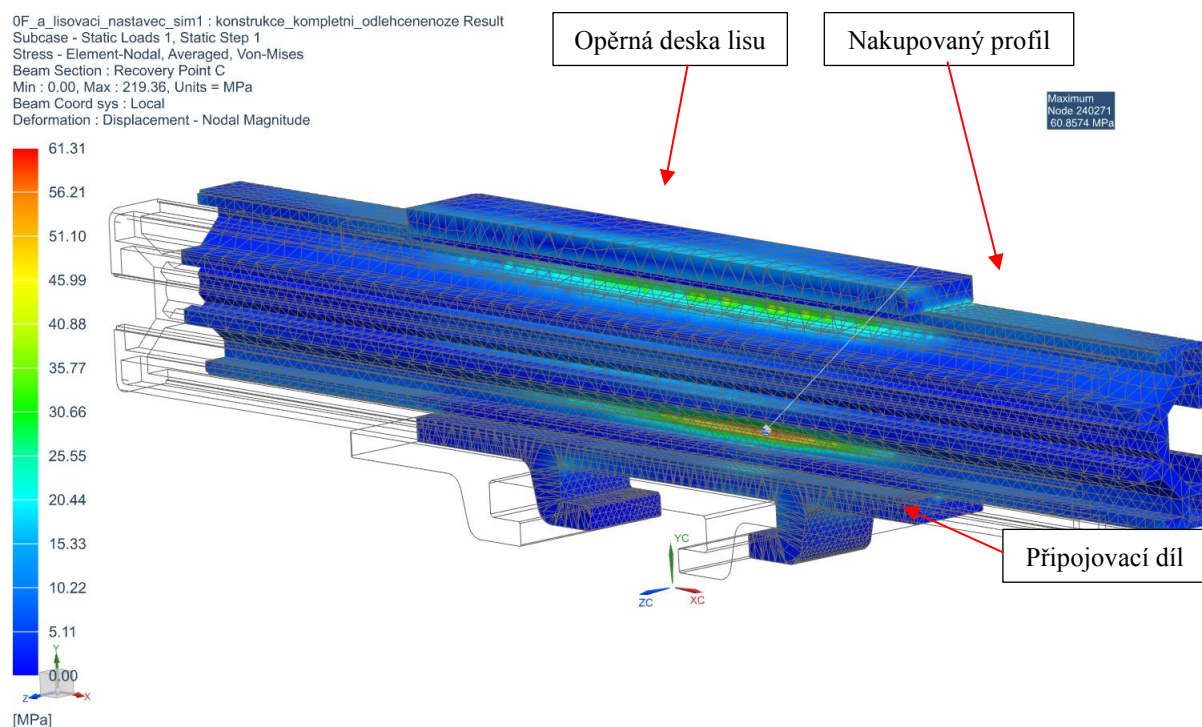
Obrázek 61 - zobrazení redukovaného napětí von Mises pro spojovací komponenty v koncepčním návrhu se zvětšeným měřítkem deformace, hodnoty uvedeny v MPa



Obrázek 62 - zobrazení redukovaného napětí von Mises pro spojovací komponenty v optimalizovaném konstrukčním návrhu se zvětšeným měřítkem deformace, hodnoty uvedeny v MPa

V rámci analýzy s optimalizovanými spojovacími komponentami konstrukčního návrhu byly dopracovány i vylisovací nože společně s dílem nesoucím vylisovací nože. Z hlediska zadání přesnější a podrobnější MKP analýzy (namáhání a provozu zařízení) byly tyto komponenty klíčové v jejich finální podobě. K větší přesnosti byly dodány do simulace i svislé vodící tyče jak lze vidět podrobně opět v příloze č. 2.

Pro výpočet součinitele bezpečnosti vůči mezi kluzu materiálu spojovacích komponent bylo uvažováno napětí, které se nachází v rádiu komponenty, kde se objevuje značně zvýšené napětí po jejím zatížení od ručního lisu. Nicméně tato spodní spojovací komponenta byla ověřena i v dále uvedené simulaci zatížení dělicího nástroje, kde bylo zjištěné větší napětí v kritickém místě než v uvedené simulaci vylišovacího nástroje. Proto z hlediska bezpečnosti bude relevantní vyšší ze zjištěných napětí (u komponenty optimalizované). V rámci uvedené analýzy byl ověřen i použitý nakupovaný profil tvořící hlavní část horní posuvné podstavy.



Obrázek 63 - řez sestavou vybraných komponent horní posuvné části pro ověření připojovacího dílu nástroje a navrhnutého nakupovaného profilu, hodnoty uvedeny v MPa

Z uvedeného obrázku vyplývá, že redukované napětí von Mises dosahuje velikostí kolem 55 MPa zejména uvnitř profilu na spodních diagonálách. Toto zjištěné napětí je značně menší, než mez kluzu o velikosti 195 MPa materiálu EN AW 6060 profilu udávaného ve specifikaci dodavatele.

Hodnoty součinitelů bezpečnosti vůči mezem kluzů použitých materiálů spojovacích komponent (nástroje s horním pojezdem) s_{spoj} a nakupovaného profilu s_{prof} jsou následující [6], [13]:

$$s_{spoj} = \frac{Re(\check{C}SN\ 14\ 220)}{\sigma_{Red(Max)_{HMH}}} = \frac{590}{267,51} \doteq 2,2 \qquad s_{prof} = \frac{Re(EN\ AW\ 6060)}{\sigma_{Red(Max)_{HMH}}} = \frac{195}{55} \doteq 3,55$$

Pro spojovací komponenty horní pojízdné části s nástrojem i pro navrhnutý profil platí, že hodnota koeficientů bezpečnosti je větší než jedna a z hlediska pevnosti tedy vyhovují. Ostatní specifikace navrhnutého profilu lze nalézt v příloze č. 3 a podrobnosti zjednodušené

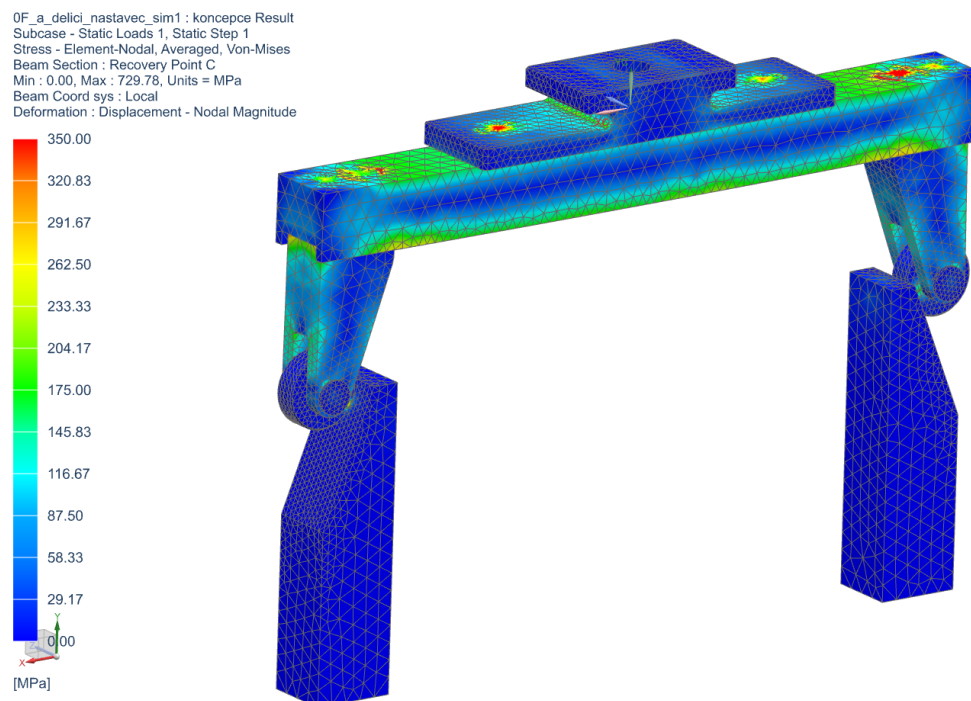
MKP analýzy v příloze č. 2. Ostatní díly jsou k tomuto profilu přichyceny pomocí šroubů a matic, které lze zakoupit přímo od dodavatele profilu.

Parametry použitých šroubů v návrhu včetně jejich vypočtených hodnot vylisovávacího nástroje uvádí následující tabulka:

Tabulka 12 - hodnoty některých parametrů, vypočtených hodnot a součinitelů bezpečnosti navrhnutých šroubů ve vylisovávacím nástroji při jejich montáži

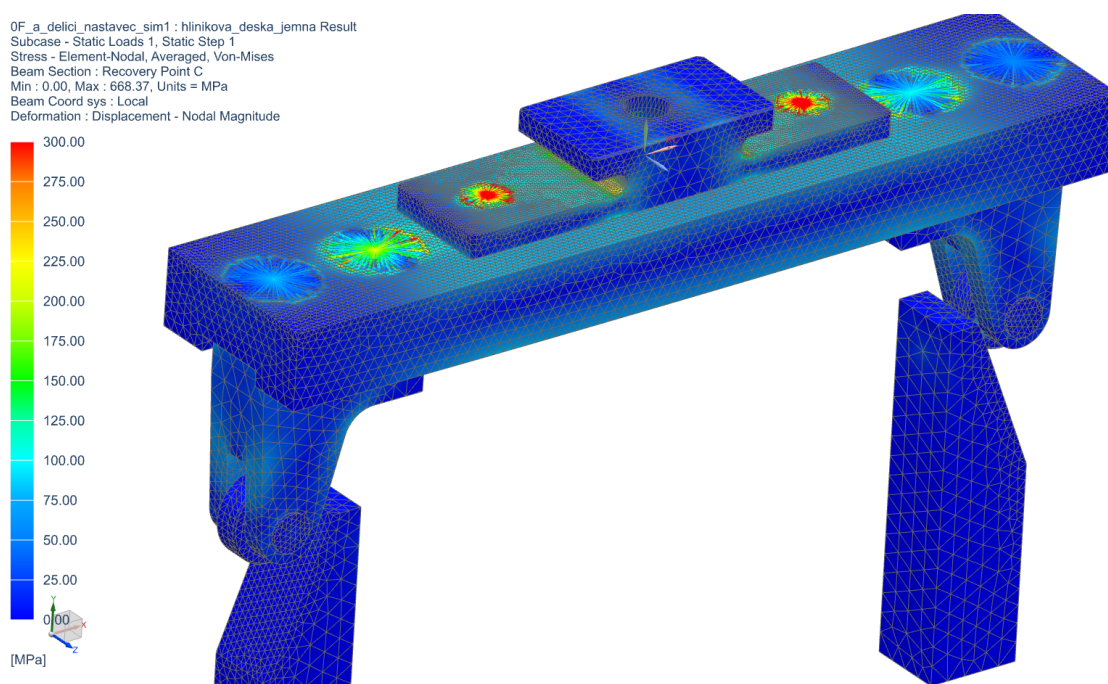
Umístění	Parametr	Délka závitové díry	Osová síla	Měrný tlak v závitech	Dovolený tlak v závitech	Napětí v tahu	Napětí v krutu	Redukované napětí	Součinitel bezpečnosti		
	Označení	l_z	F_ξ	p_z	p_{zD}	σ_ξ	τ_ξ	σ_{RedHMH}	měrný tlak v závitech	redukované napětí	
	Jednotky	[mm]	[N]	[MPa]			[-]				
Šroub vylisovávacího nože a nosné desky	DIN 912	M8x50 - 12.9	24	3500	14,64	118	106,59	320,38	565,06	8,06	1,91
		M6x25 12.9	17,4	1500	11,61		83,83	254,86	449,32	10,17	2,40
		M6x30 - 12.9	19,8		10,2		83,83	254,86	449,32	11,57	2,40

Po ověření spojovacích částí nástrojů a vylisovávacího nástroje je možné se zaměřit na druhý nástroj a to nástroj dělicí. V koncepčním návrhu byla deska nástroje navržena relativně úsporně z hlediska zatěžující síly a geometrických rozměrů. Koncepční varianta byla tedy otestována opět zjednodušenou MKP analýzou, jejichž výsledek lze vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 64 - zobrazení redukovaného napětí von Mises pro dělicí nástroj ve fázi koncepčního návrhu, hodnoty uvedeny v MPa

Z důvodu nepříznivých (vysokých) hodnot - na nosné desce v kritických místech až 425,81 MPa (viz přílohy) z hlediska dlouhodobého opakovaného zatěžování, byla geometrie dělicího nástroje několikrát změněna, jejíž výsledkem je optimalizovaný konstrukční návrh dělicího nástroje. Pro analýzu výsledků zjednodušené simulace zatížení byly zanedbány lokální extrémy redukovaných napětí nadefinovaných předepnutých šroubů pomocí zjednodušujících 1D elementů z důvodu koncentrování napětí do opěrných bodů 1D elementů. V reálném stavu dojde k rozložení napětí do opěrné plochy hlavy šroubu po jeho nepatrné deformaci. Dalším důvodem k zanedbání lokálních extrémů je analytické výpočetní ověření navržených šroubů (deformace konstrukce v jejich okolí je zanedbatelná a komponenty jsou bez změny polohy mezi sebou), jež z pevnostního hlediska vyhovuje.



Obrázek 65 - zobrazení redukovaného napětí von Mises pro dělicí nástroj ve fázi optimalizovaného (konstrukčního) návrhu, hodnoty uvedeny v MPa

Součástí zjednodušené analýzy bylo i otestování čepů nesoucí ložiska. Pro zjednodušení a zlevnění výroby byla ložiska navrhována jako nakupovaná komponenta zn. Misumi a to konkrétně s označením BGPM8-11-L30. Z hlediska analýzy byly čepy zjednodušeny jak se lze dočíst v příloze popisující podrobně kompletní analýzu.

Součinitel bezpečnosti vůči mezi kluzu materiálu dělicího nástroje s_{nD} a součinitel nakupovaných čepů ložisek $s_{Lč}$, [3], [4]:

$$s_{nD} = \frac{Re_{(UNIDAL)}}{\sigma_{Red(Max)_{HMH}}} = \frac{350}{176} \doteq 1,99$$

$$s_{Lč} = \frac{Re_{(C45E)}}{\sigma_{Red(Max)_{HMH}}} = \frac{340}{115} \doteq 2,96$$

Hodnota součinitelů je větší než jedna, tudíž uvedené komponenty z pevnostního hlediska vyhovují.

U tohoto nástroje byly opět v rámci simulace použity předepnuté šrouby, aby byla analýza co nejvíce přiblížena reálnému zatížení a bylo tak otestováno i případně odlehnutí komponent, či zjištěn nárůst lokálních napětí mezi komponenty na jejich doléhajících plochách. Parametry použitých šroubů uvádí následující tabulka.

Tabulka 13 - hodnoty některých parametrů, vypočtených hodnot a součinitelů bezpečnosti navrhnutých šroubů v dělicím nástroji při jejich montáži

Umístění	Parametr	Délka závitové díry	Osová síla	Měrný tlak v závitech	Dovolený tlak v závitech	Napětí v tahu	Napětí v krutu	Redukované napětí	Součinitel bezpečnosti		
	Označení	l_z	F_ξ	p_z	p_{zD}	σ_ξ	τ_ξ	σ_{RedHMH}	měrný tlak v závitech	redukované napětí	
	Jednotky	[mm]	[N]	[MPa]				[-]			
Šroub držáku ložiska a nosné desky	DIN 912	M8x35 - 12.9	15	3000	20,08	118	91,36	274,61	484,34	5,88	2,23
Šroub spojovací komponenty nástroje a nosné desky		M6x25 12.9	17,4	1500	11,61	70	83,83	254,86	449,32	6,03	2,40
		M6x30 - 12.9	19,8		10,2		83,83	254,86	449,32	6,86	2,40

Dělicí nástroj dále disponuje nakupovanými komponentami – ložisky, které přenáší sílu na nakloněné desky jednotlivých jezdců. Požadavek na tyto ložiska je minimální dynamická únosnost 642 N (zatížení se děje zejména při pohybu) jak lze vidět na začátku této kapitoly. Nicméně z hlediska výpočetního ověření bude uveden i případ zatížení bez pohybu a to tedy pro statickou únosnost ložiska. Základní parametry volených ložisek uvádí následující tabulka. Kompletní specifikace lze nalézt v příloze č. 3.

Tabulka 14 - základní parametry volených kuličkových ložisek SKF 608, [2]

Parametr	Označení	Hodnota	Jednotky
Průměr díry	d	8	[mm]
Vnější průměr	D	22	
Šířka	B	7	
Základní dynamická únosnost	C	3,45	[kN]
Základní statická únosnost	C_0	1,37	

Součinitele bezpečnosti vůči statické a dynamické únosnosti ložiska jsou následující:

$$S_{LC} = \frac{C}{C_{Lp}} = \frac{3450}{642} \doteq 5,37 \qquad S_{LC_0} = \frac{C_0}{C_{Lp}} = \frac{1370}{642} \doteq 2,13$$

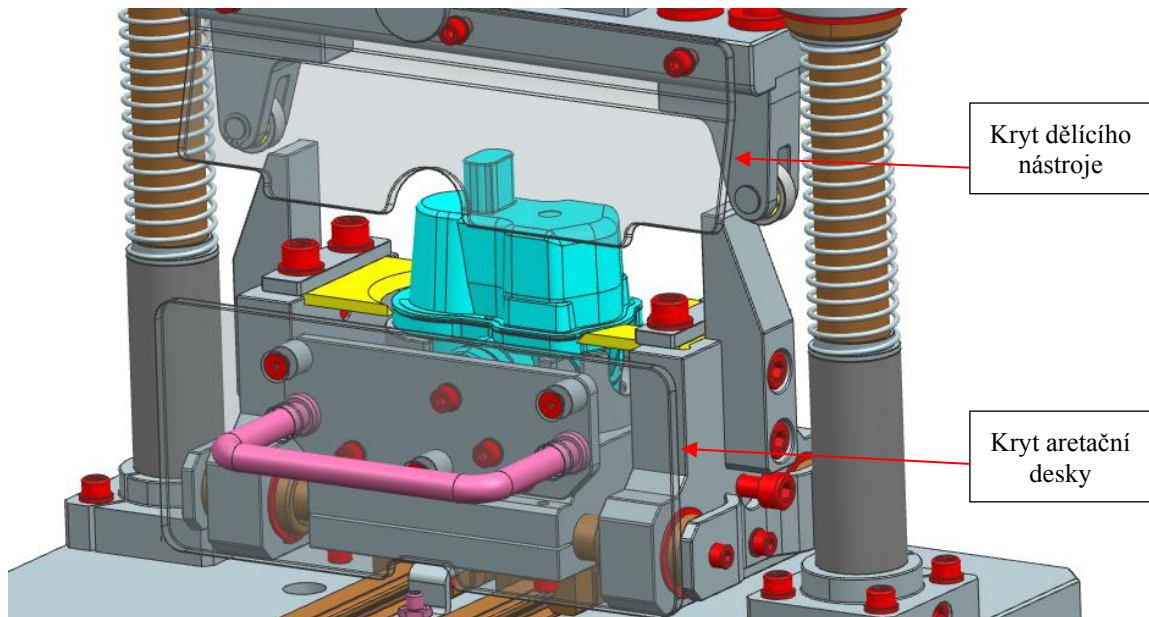
Kde: S_{LC} – součinitel bezpečnosti ložiska vůči dynamické únosnosti; S_{C_0} – součinitel bezpečnosti ložiska vůči statické únosnosti, C_{Lp} – požadovaná únosnost ložiska plynoucí ze silového rozkladu

Z výše uvedených dat jasně vyplývá, že volená ložiska několika násobně převyšují hodnoty požadované dynamické únosnosti a zatížení vůči statické únosnosti také vyhovuje.

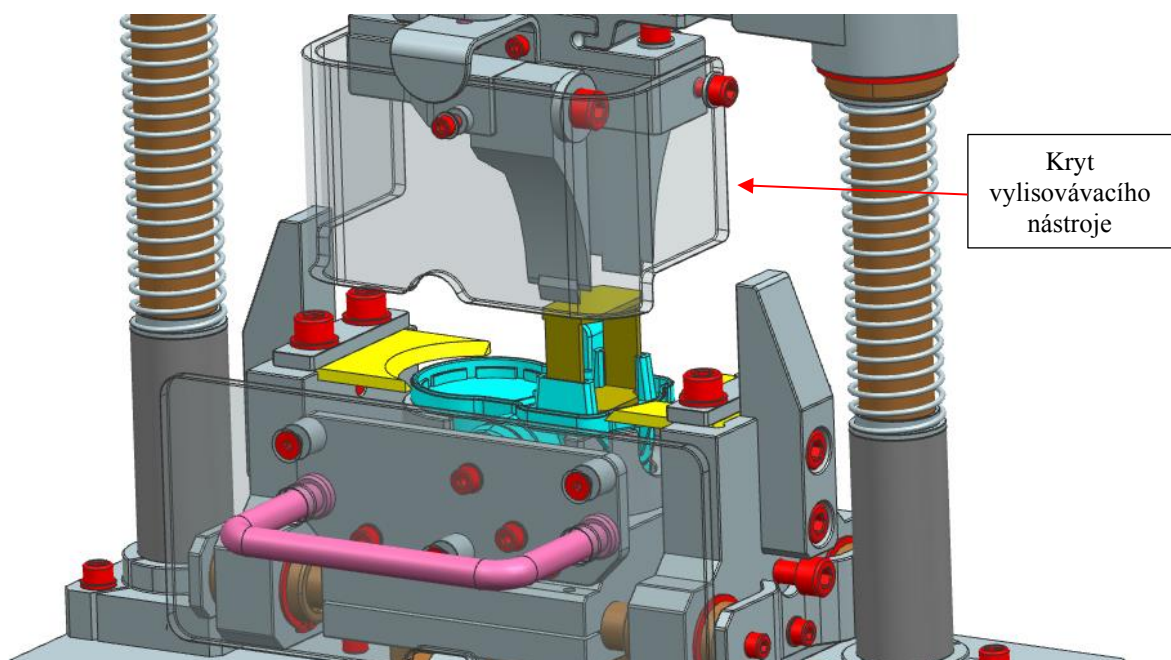
Vzhledem k velmi nízkým otáčkám a krátkému chodu zařízení není v této práci početně zjišťována teoretická životnost ložisek.

4.4.4 Ostatní specifikace zařízení

Velmi důležitou součástí návrhu z hlediska bezpečnosti obsluhy je zakrytí zařízení pro zajištění ochrany obsluhy před potencionálně odletujícími kusy výrobků. Pro tuto skutečnost byly navrženy celkem 3 kryty umístěny na aretační desce, dělicím a vylisovávacím nástroji. Kryty na výměnných nástrojích jsou určeny zejména proti odlétajícím částem výrobku, na rozdíl od krytu na aretační desce výrobku, kdy tento kryt slouží zejména pro zakrytí nebezpečných míst mezi pohybujícími se komponenty jezdcí a výsuvným podstavcem (v zasunuté poloze). Jsou navrženy dostatečně robustně, aby případně odletující kusy výrobku také zachytily.

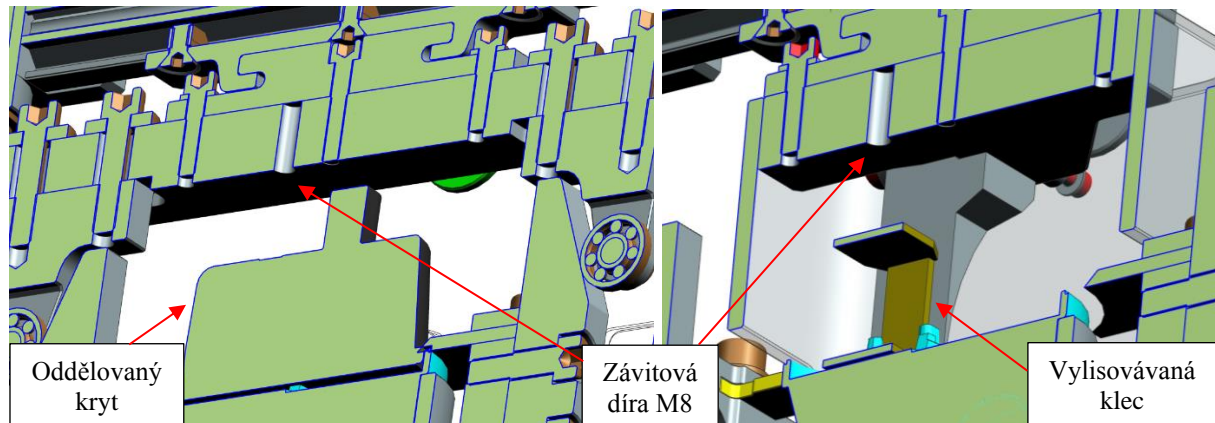


Obrázek 66 - zobrazení bezpečnostního krytu dělicího nástroje a aretace výrobku pro obsluhu ručního lisu před potencionálně odletujícími oddělenými kusy výrobku

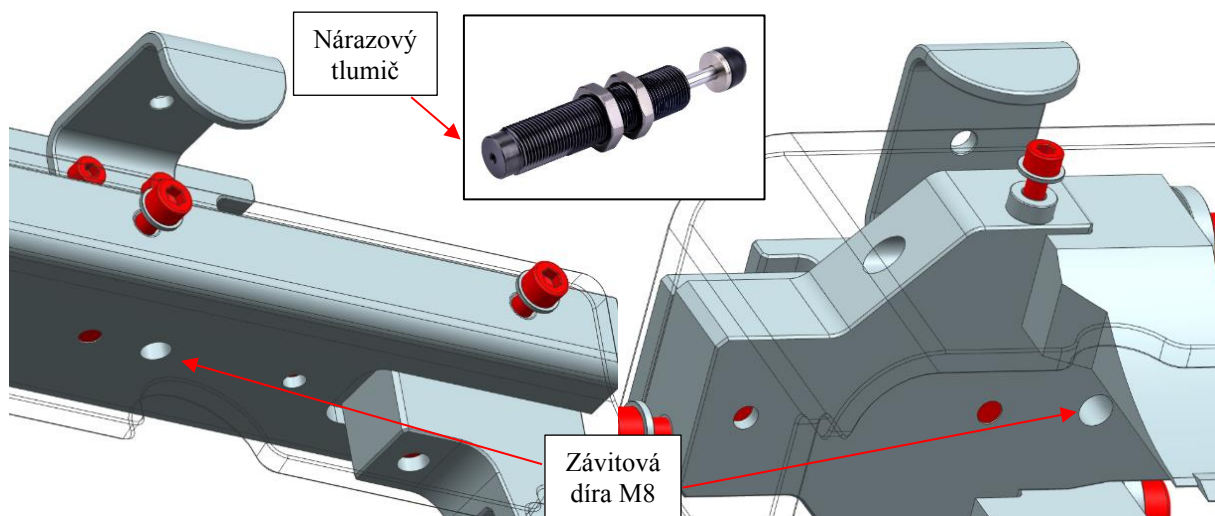


Obrázek 67 - zobrazení bezpečnostního krytu vylisovávacího nástroje a aretace výrobku pro obsluhu ručního lisu před potencionálně odletujícími oddělenými kusy výrobku

Dále jsou oba výměnné nástroje vybaveny připojovacím otvorem M8 pro možnou montáž nárazového tlumiče k zamezení volného pohybu oddělovaných částí výrobku při pracovním zdvihu zařízení. Tyto nakupované komponenty nejsou součástí návrhu, nicméně je možné jejich použití v zařízení při zástavbové kompatibilitě jednotlivých nástrojů a operací.



Obrázek 68 - řez nástroji a výrobkem v zařízení (v krajní zmáčknuté poloze); zleva - dělicí nástroj, vylisovací nástroj



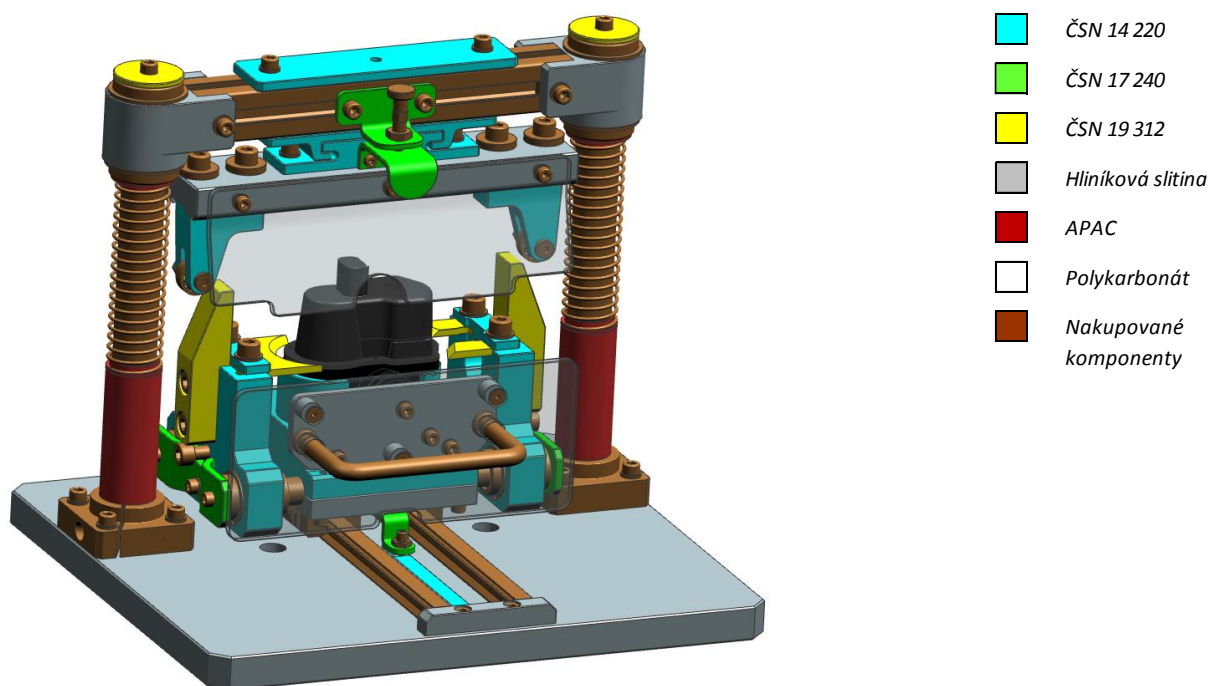
Obrázek 69 - pohled zespoda na výměnné nástroje pro znázornění připojení nárazového tlumiče, [9]

Z hlediska materiálů a jejich povrchových či tepelných úprav u vyráběných komponent zařízení jsou ve finálním konstrukčním návrhu použity následující materiály po detailním prokonzultování včetně jejich zpracování se zadavatelem kvalifikační práce s ohledem na výsledky simulací statického zatížení, které byly již dříve uvedeny v této kvalifikační práci:

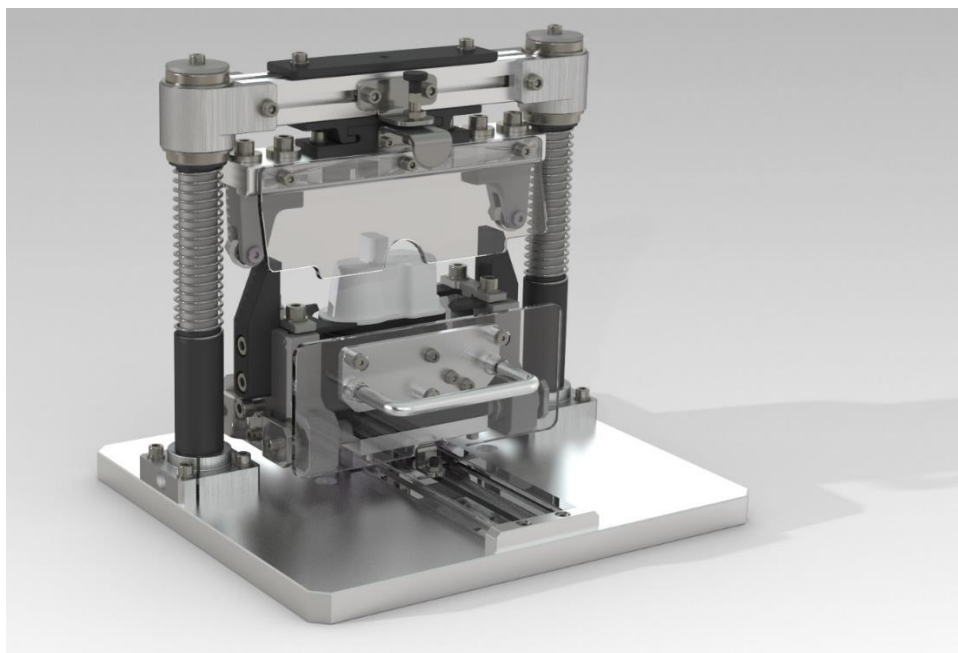
Tabulka 15 - popis použitých materiálů včetně zjednodušeného popisu použití a povrchové úpravy

Materiál	Komponenty	Povrchová úprava	Tepelné zpracování
ČSN 14 220	Aretační čep výrobku (v aretační desce / dojezdový)	-	Nitridovat 0,1
	Jezdec	Černěno	-
	Nosič ložisek dělicího nástroje	-	Zušlechtit na 800 MPa
	Nosná deska vylisovacího nástroje	Černěno	-
	Opěrná deska lisu	-	Zušlechtit na 800 MPa
	Podstavec výrobku	-	Nitridovat 0,1
	Poziční deska podstavce v základní desce	-	Nitridovat 0,1
	Příložka nože/nožů	Černěno	-
ČSN 17 240	Přípojná deska nástroje (horní/dolní)	-	Nitridovat 0,1
	Doraz jezdců	-	-
	Držák aretační západky nástroje	-	-
	Držák předepnuté aretační západky podstavce	-	-
	Madlo nástroje	-	-
	Opěra dojezdového čepu	-	-
ČSN 19 312	Vodící čepy aretační desky výrobku	-	-
	Dělicí nože	-	Kaleno a popuštěno na 60 HRC
	Doraz svislého vedení	Černěno	-
	Nakloněná deska jezdců	-	Kaleno a popuštěno na 60 HRC
EN AW 2024 (DURAL)	Vylisovací nože	-	Kaleno a popuštěno na 60 HRC
	Distanční válečky krytů	Eloxováno	-
EN AW 6060	Držák pouzdra svislého vedení	Eloxováno	-
	Držák dojezdového čepu	Eloxováno	-
EN AW 7019 (UNIDAL)	Rexroth profil 30x30	Nakupovaná komponenta	
	Nosná deska dělicího nástroje	Eloxováno	-
EN AW 5083 (G.AL C250)	Aretační deska výrobku	Eloxováno	-
	Dorazy kolejníc základní desky	Eloxováno	-
	Spodní (svěrná) deska podstavce výrobku	Eloxováno	-
	Základní deska zařízení	Eloxováno	-
EN 10270-1 SH (DIN 17 223; 1.1200)	Vratné pružiny	Nakupovaná komponenta	
DIN Cf53 (1.1213)	Vodící tyče	Nakupovaná komponenta	
APAC	Distanční trubky a osazení vratných pružin	-	
Polykarbonát	Okrytování zařízení	-	
DIN CK45 (1.1191)	Čep ložiska dělicího nástroje	Nakupovaná komponenta	

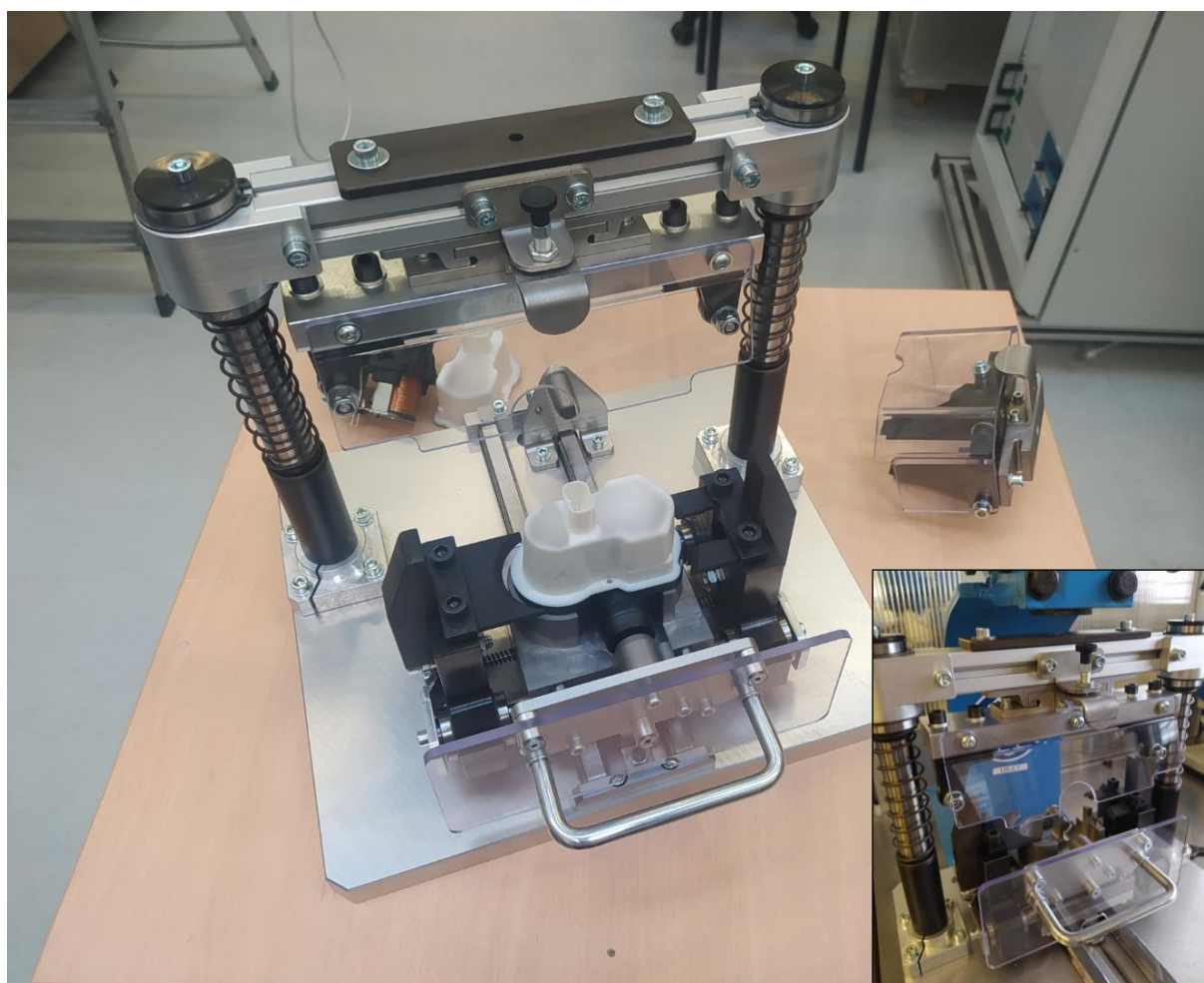
Pozn. Pro materiály ČSN je uvažován stav .1, realita se může dle aktuální situace dodavatele zadavatele KP měnit a to z důvodu časové tísně vzhledem k realizaci konstrukce zařízení



Obrázek 70 – 3D model finálního návrhu konstrukčního řešení včetně barevného znázornění použitých materiálů



Obrázek 71 - render (fotorealistické zobrazení) finálního konstrukčního návrhu technického řešení



Obrázek 72 - finální sestavené konstrukční řešení po jeho realizaci a jeho umístění v ručním lisu

5. Zhodnocení vybraného konstrukčního návrhu.

Cílem této diplomové práce byl návrh zařízení pro demontáž plastového výrobku z oblasti automobilového průmyslu pro kontrolu těsnosti palivového systému. V první řadě bylo popsáno stávající řešení na základě dostupné dokumentace, které disponovalo dvěma podstavci a dvěma výměnnými nástroji, vždy dle konkrétní požadované operace. Po uvedení stávajícího řešení byly specifikovány obecné i konkrétní požadavky relevantní pro návrh zařízení, které je předmětem této kvalifikační práce. Mezi nejzásadnější požadavky lze řadit schopnost zařízení dvou operací – rozdělení výrobku na rovině, kde je pouzdro svařeno s krytem a vylišování vnitřní komponenty z pouzdra výrobku bez poškození této komponenty určené k vylišování. Dále je u návrhu preferována vyšší robustnost a vyšší životnost na úkor vyšší hmotnosti a ceny.

S ohledem na geometrii výrobku pro jeho kompatibilitu a s ohledem na uvedené požadavky pro návrh zařízení byly vyhotoveny celkem tři koncepční návrhy, jenž byly na koncepční rovině zobrazeny a popsány.

První koncepční varianta je tvořena co nejméně komponenty s jednoduchými geometrickými tvary za účelem co nejjednodušší výroby. Výhodu jednoduché výroby převažuje nevýhoda dvou zařízení pro obě operace a neúsporné rozměry navržených zařízení. Druhá varianta je navržena jako komplexní, kde není potřeba více zařízení pro obě operace ani více výměnných nástrojů. Tato varianta disponuje všemi potřebnými prvky v jednom zařízení, kde dle zvolené polohy je možné provádět požadovanou operaci. Třetí varianta byla založena na koncepci původního řešení, kdy byl tento návrh optimalizován. Optimalizace návrhu spočívá v jednom podstavci místo původních dvou. V tomto koncepčním návrhu byla zachována poloha výrobku v zařízení, jako tomu bylo ve stávající variantě. Poloha byla zachována z důvodu ověřené funkčnosti. Po uvedení byly návrhy srovnány pomocí váženého hodnocení na základě kritérií, kterým byla přiřazena určitá důležitost (váha). Na základě tohoto srovnání byla zvolena nejlepší z navržených koncepčních variant.

Zvolenou variantou byla varianta třetí, avšak s úpravou zásadních parametrů koncepčního návrhu. Mezi upravené parametry lze řadit dopracované svislé vedení horní části, základní deska, aretace výrobku uvnitř pouzdra (zajištění proti vytažení), ovládací prvky, zakrytování a další. Operaci dělení zajišťuje dělicí nástavec umístěn v horní pojezdové části, ve které je zajištěn aretační západkou. Tento dělicí nástavec disponuje ložisky, které pomocí nakloněných rovin tlačí komponenty jezdců směrem k sobě. Na jezdcích jsou umístěny dělicí nože, mezi kterými je umístěn v podstavci výrobek, pro který je zařízení navrženo. Pro možné vylišování vnitřní komponenty je nutné v horní části vyměnit nástroj za vylišovací, který je vybaven přímými noži, se specifickou geometrií, která pro tuto operaci byla navržena společně se zadavatelem této kvalifikační práce. Zařízení dále disponuje předepnutými aretačními elementy, které zajišťují aretaci vybraných systémů v jejich koncových polohách.

Finální konstrukční návrh byl ověřen z výpočetního hlediska několika zjednodušenými analýzami metodou konečných prvků a také několika analytickými výpočty pro ověření pevnosti několika skupin navržených komponent. Na základě těchto výpočtů byl návrh buď pouze ověřen a nebo i v několika případech optimalizován, aby z pevnostního hlediska vyhovoval.

Výsledkem této práce je kompletní 3D dokumentace navrženého modelu, v rámci zpracování i kompletní výkresová dokumentace vyráběných komponent, nicméně pro potřeby této kvalifikační práce jsou výsledkem výkresy sestavy, podsestav a dvou volených výrobních výkresů zvolených komponent.

Seznam použitých zdrojů

Internetové zdroje

- [1] Čep ložiska Misumi BGPM8-11-L30 [online, cit. 2022-04-28], Dostupný z: <https://uk.misumi-ec.com/vona2/detail/110302644630/?Tab=codeList#>
- [2] Kuličkové ložisko SKF 608 [online, cit. 2022-04-28], Dostupný z: <https://www.skf.com/cz/productinfo/productid-608>
- [3] Mechanické vlastnosti materiálu čepu DIN C45E [online, cit. 2022-05-05], Dostupný z: http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=186
- [4] Mechanické vlastnosti materiálu UNIDAL [online, cit. 2022-05-05], Dostupný z: <https://gleich.de/cs/produkty/unidal/>
- [5] Mechanické vlastnosti materiálu vodících tyčí DIN CF53 [online, cit. 2022-05-06], Dostupný z: https://www.industrial.cz/documents/1mb1000101/cs/technicky%20list_vodici%20tyce.pdf
- [6] Mechanické vlastnosti profilu Rexroth (EN AW 6060) [online, cit. 2021-10-25], Dostupný z: https://www.boschrexroth.com/ics/cat/content/assets/Online/do/Technical_Data_MGE_EN_20170919_142138.pdf
- [7] Pružná opěrka Norelem 03030-06 [online, cit. 2022-03-20], Dostupný z: https://www.norelem.com/xs_db/DOKUMENT_DB/www/NORELEM/DataSheet/cz/03/03030_Datasheet_2416_Pruhnopruhnosvntnmemstihranemakulikouocelov--cs.pdf
- [8] Tlačná pružina Hennlich 47/15/4 a 62/6/3 - 1.1200 [online, cit. 2022-03-20], Dostupný z: <https://www.hennlich.cz/produkty/pruziny-tlacne-pruziny-162/tlacne-pruziny-z-pruzinove-oceli.html>
- [9] Tlumič nárazů M8 Pneumat System [online, cit. 2022-01-10], Dostupný z: <https://www.pneumatsystem.cz/tlumice-narazu-m8-6-mm-velka-rychlost-bez-vicka-detail>
- [10] Vodící pouzdro Hiwin průměr 12 a 16 mm [online, 2021-11-22], Dostupný z: https://www.hiwin.cz/cz/produkty/kul-pouzdra-a-vodici-tyce/kulickova-pouzdra/73_kompaktni-pouzdra-ubm-a-jbm-a

- [11] Vodící tyč Hiwin průměr 12 a 16 mm [online, cit. 2022-11-22], Dostupný z:
https://www.hiwin.cz/produkty/kul-pouzdra-a-vodici-tyce/vodici-tyce/72_kalene-a-brousene-vodici-tyce-w

Literatura

- [12] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra 1*. Brno: Computer Press 1999. ISBN 80-7226-055-3
- [13] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Praha: Scientia spol. s r.o. 1999. ISBN 80-7183-164-6

Použitý software

Siemens NX 12.0

Siemens NX Nastran

Mathcad

Přílohy

Přílohy zavázané

- Příloha č. 1 – Zjednodušený silový rozklad na horizontální vedení podstavce, zjednodušený silový rozklad na lineární vedení výsuvu podstavce, pevnostní ověření a výpočet utahovacího momentu pro zvolenou předepínací sílu vybraných šroubů použitých v navrženém zařízení
- Příloha č. 2 – Simulace statického zatížení pomocí metody konečných prvků (MKP) pro vybrané komponenty či bloky
- Příloha č. 3 – Specifikace nakupovaných komponent

Přílohy volně vložené

- Výkresová dokumentace
 - FS_DP_01 - Výkres sestavy
 - FS_DP_02 - Výkres podsestavy základní desky
 - FS_DP_03 - Výkres podsestavy horní posuvné části
 - FS_DP_04 - Výkres podsestavy výsuvného podstavce
 - FS_DP_05 - Výkres podsestavy dělicího nástroje
 - FS_DP_06 - Výkres podsestavy vylisovacího nástroje
 - FS_DP_07 - Výkres podsestavy aretace výrobku
 - FS_DP_08 - Výrobní výkres nosné (základní) desky
 - FS_DP_09 - Výrobní výkres levého jezdce