Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní Katedra částí a mechanismů strojů

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Obor: 3909T010 Inovační inženýrství
Zaměření: Inovace výrobků

Inovace lisovacího nástroje na kovové výlisky

Innovation of Press Tool for Metal Parts

Petr Brož

Vedoucí práce: Prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.
Konzultant: Ing. Tomáš Linka, Laird s.r.o., Liberec

Počet stran: 74
Počet příloh: 15
Počet obrázků: 44
Počet tabulek: 1
Počet modelů nebo jiných příloh: 1

Datum: 25.5.2015

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní
Akademický rok: **2014/2015**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Petr Brož**
Osobní číslo:	**S13000456**
Studijní program:	**N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor:	**Inovační inženýrství**
Název tématu:	**Inovace lisovacího nástroje na kovové výlisky**
Zadávající katedra:	**Katedra částí a mechanismů strojů**

Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce je zpracovat konstrukční řešení inovace lisovacího nástroje na kovové výlisky

1. Seznámení s cílem práce, firmou a nástrojem
2. Provedení analýzy současného řešení lisovacího nástroje
3. Návrh tří možných řešení, zhodnocení jednotlivých variant
4. Určení vhodných kritérií a k nim přiřazených váhových faktorů, detailnější rozhodnutí o výběru konečné varianty určené k realizaci ve výrobě prototypů
5. Rozpracování vybrané varianty a vytvoření úplného konstrukčního návrhu včetně výrobně technické dokumentace
6. Zhodnocení inovace vůči původnímu řešení výroby prototypových dílů
7. Závěr práce

Rozsah grafických prací: **přílohy dle potřeby**

Rozsah pracovní zprávy: **50**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] **MAŠÍN, I.** *Inovační inženýrství - Plánování a návrh inovovaného výrobku.* **1. vydání. Liberec: TUL, 2012. 168s. ISBN 978-80-7372-852-6.**
[2] **LENFELD, P.** *Technologie II 1. Část, (tváření kovů).* **2. vydání. Liberec: TUL, 2009. 111s. ISBN 978-80-7372-466-5.**
[3] **LEPŠÍK, P.a VODIČKA, J.** *Plánování a řízení společných projektů.* **1. vydání. Liberec: TUL, 2012. 124s. ISBN 978-80-7372-920-2.**
[4] **LEPŠÍK, P.a MAŠÍN, I.** *Nástroje řízení projektů.* **1. vydání. Liberec: TUL, 2012. 202s. ISBN 978-80-7372-854-0.**
[5] **MAŠÍN, I.a MAŠÍN, J.** *Analýza procesů.* **1. vydání. Liberec: TUL, 2012. 132s. ISBN 978-80-7372-865-6.**
[6] **PUSTKA, Z.** *Základy konstruování (tvorba výkresové dokumentace).* **1. vydání. Liberec: TUL, 2009. 218s. ISBN978-80-7372-456-6.**
[7] **PEŠÍK, L.** *Části strojů - stručný přehled 1.* **4. vydání, doplněné. Liberec: TUL, 2010. 226s. ISBN 978-80-7372-573-0.**
[8] **PEŠÍK, L.** *Části strojů - stručný přehled 2.* **4. vydání, doplněné. Liberec: TUL, 2010. 236s. ISBN 978-80-7372-574-7.**
[9] **MAŠÍN, I.a Vytlačil, M.** *Nové cesty k vyšší produktivitě.* **1. vydání. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 2000. 311s. ISBN 80-90-22356-7.**

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.**
Katedra částí a mechanismů strojů

Konzultant diplomové práce: **Ing. Tomáš Linka**
Laird Technologies, s.r.o.)

Datum zadání diplomové práce: **14. listopadu 2014**

Termín odevzdání diplomové práce: **25. května 2015**

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

Technická univerzita v Liberci - 7a -
L.S.

prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 14. listopadu 2014

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., o právu autorském zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí vloženou do IS STAG.

Datum: 25.5.2015

Poděkování:

Úvodem bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, panu Prof. Ing. Ladislavovi Ševčíkovi, CSc., za vedení této diplomové práce, jeho časté podnětné rady, pevné vedení, početné diskuze a připomínky při jejím vypracování, díky kterým se mi podařilo dosáhnout zadaných cílů.

Děkuji rovněž konzultantovi práce, panu Ing. Tomáši Linkovi i všem dalším zaměstnancům a spolupracovníkům firmy Laird, s.r.o., za umožnění zpracování diplomové práce, vstřícné jednání, poskytnutí základních informací, rad a zkušeností, řady hodnotných připomínek a za to, že si našli čas na diskuzi k řešené problematice. Snažili se mi pomoci a odpověděli na většinu mých dotazů týkajících se diplomové práce.

Dále děkuji rodině, zejména rodičům, za umožnění studia na vysoké škole, stálou podporu a zázemí při studiích.

Inovace lisovacího nástroje na kovové výlisky

ANOTACE:

Obsahem této diplomové práce je inovace lisovacího nástroje na kovové výlisky ve firmě Laird, s.r.o. Práce analyzuje a popisuje současné řešení nástroje. Na základě požadovaných specifikací na inovovaný lisovací nástroj předkládá tři varianty řešení. Tyto varianty jsou popsány a detailně zhodnoceny pomocí vhodně zvolených charakteristik. V rámci práce je vytvořen úplný konstrukční návrh vybrané varianty, včetně výrobní dokumentace a návrhu pružin k jednotlivým technologiím lisování. Při konstrukčním návrhu bylo využito některých principů detailního konstruování.

KLÍČOVÁ SLOVA: Inovace, inovační inženýrství, ohýbání, stříhání, konstrukce lisovacího nástroje, výpočet pružin, DFX metody

Innovation of Press Tool for Metal Parts

ANNOTATION:

This diploma thesis focuses on the innovation of the press tool for metal parts at the company LAIRD s.r.o. Study analyses and describes current tool solution. Based on required specifications on the innovated press tool, three different drafts are being presented. These have been described and evaluated in detail by using appropriate characteristics. Complete design of the selected solution has been created in the framework of this study, including production documentation and design of springs for individual pressing technologies. Some principles of DFX methods have been used for this design study.

KEY WORDS: Innovation, innovation engineering, bending, cutting, press tool design, springs calculation, DFX methods

Počet stran: 74

Počet příloh: 15

Počet obrázků: 44

Počet tabulek: 1

Počet modelů nebo jiných příloh: 1

Obsah

Úvod 11

1. Cíl práce 12

2. Seznámení s firmou Laird s.r.o. 14

3. Analýza současného řešení lisovacího nástroje 16

3.1 Popis lisovacího nástroje 16

3.2 Model lisovacího nástroje – 3D 20

4. Návrh možných řešení 22

4.1 Koncept A – horní sestava 25

4.2 Koncept A – dolní sestava 27

4.3 Koncept B – horní sestava 28

4.4 Koncept B – dolní sestava 29

4.5 Koncept C – horní sestava 30

4.6 Koncept C – dolní sestava 31

5. Zhodnocení jednotlivých variant 32

5.1 Porovnávací charakteristiky 33

5.2 Popis charakteristik matice 35

6. Vytvoření úplného konstrukčního návrhu 38

6.1 Výpočtová část konstrukčního návrhu 44

6.2 FEM analýza pružiny 61

7. Principy detailního konstruování 65

7.1 DFA – Design for Assembly 66

7.2 DFM – Design for Manufacturing 67

7.3 DFMT – Design for Maintainability 69

Závěr 70

Seznam použitých zdrojů 72

Seznam obrázků a tabulek 73

Seznam příloh 74

Seznam použitých zkratek

1HT – One Hit Tool

AISI – American Iron and Steel Institut

apod. – a podobně

atd. – a tak dále

b. – barva

BLS – Board Level Shielding

CAM – Computer Aided Manufacturing

CNC – Computer Numeric Control

ČSN – Česká technická norma

DFA – Design for Assembly

DFD – Design for Disassembly

DFE – Design for Environment

DFM – Design for Manufacturing

DFMT – Design for Maintainability

DFP – Design for Packaging

EEO – Elektroerozivní obrábění

EMI – Electromagnetic Interference

EN – Evropská norma

ENG – Engineering

FEM - Finite Elements Metods

ISO – International Organization for Standardization

MKP – Metoda konečných prvků

obr. – obrázek

NS77 – NickelSilver 77

SR – Short Run

Seznam použitých symbolů

A_S	[J]	střižná práce
A_O	[J]	ohybová práce
b	[mm]	šířka pružinového profile
B	[mm]	součet všech šířek ohybů
c	[mm.N^{-1}]	poddajnost pružiny
C	[N.mm^{-1}]	tuhost system
d	[mm]	průměr drátu pružiny
D	[mm]	střední průměr vinutí
D_{emax}	[mm]	maximální vnější rozměr pružiny
F_i	[N]	obecná síla
F_{max}	[N]	maximální síla
F_O	[N]	ohýbací síla
$F_{Oskut.}$	[N]	skutečná ohýbací síla
$F_{přid.}$	[N]	přidržovací síla
F_P	[N]	síla v pružiny
F_S	[N]	střižná síla
$F_{Sskut.}$	[N]	skutečná střižná síla
G	[MPa]	modul pružnosti ve smyku
h	[mm]	výška pružinového profilu
h_u	[mm]	pracovní zdvih
k_1	[-]	koeficient závislý na druhu a tloušťce materiálu
k_2	[-]	koeficient poměru sil
k_B	[-]	Bergsträsserův součinitel
k_k	[-]	součinitel bezpečnosti
k_m	[-]	plošný koeficient
k_S	[N.mm^{-2}]	střižný odpor
k_W	[-]	Wahlův součinitel
k_x	[-]	opravný koeficient zahrnující vnější vlivy
l	[mm]	střižný obvod
l_m	[mm]	rameno působiště síly ohybu
L_0	[mm]	délka pružiny v nezatíženém stavu
L_{0max}	[mm]	maximální délka pružiny v nezatíženém stavu

L_S	[mm]	délka pružiny v mezním stavu
m	[-]	součinitel respektující průběh síly
M_t	[N.mm]	kroutící moment
M_o	[N.mm]	ohybový moment
N	[F]	normálná síla
n_a	[-]	počet činných závitů
n_e	[-]	počet koncových závitů
n_t	[-]	celkový počet závitů
p	[mm]	rozteč činných závitů
R	[$N.mm^{-1}$]	tuhost pružiny
r_m	[mm]	poloměr ohybu ohybového bloku
R_m	[MPa]	napětí na mezi pevnosti v tahu
r_p	[mm]	poloměr ohybu před odpružením
R_{se}	[MPa]	dovolené smykové napětí pro pružinovou ocel
S	[mm^2]	plocha
t	[mm]	tloušťka material
T	[F]	smyková síla
w	[-]	poměr vinutí pružiny
W_k	[mm^3]	modul průřezu v krutu
y	[mm]	zdvih pružiny
y_i	[mm]	obecný zdvih
y_{min}	[mm]	minimální zdvih pružiny
y_{max}	[mm]	maximální zdvih pružiny
η_1	[-]	součinitel pro krut obdélníkových průřezů
ξ	[-]	součinitel přetížení
π	[-]	matematická konstanta
τ_s	[MPa]	smykové napětí

Úvod

Diplomová práce se zabývá inovací speciálního lisovacího nástroje na kovové výlisky. Současné lisovací nástroje jsou používány v liberecké firmě Laird, s.r.o. pro výrobu prototypových dílů elektromagnetického stínění nebo pro malosériovou výrobu. Jedná se o ohýbání tenkých plechových dílů. Hlavním motivem zadání diplomové práce pro tuto společnost je inovace lisovacího nástroje za účelem rozšíření výrobního portfolia prototypových a malosériových dílů. Toho by se mělo dosáhnout přidáním technologie stříhání a nastřihávání k současné technologii lisování ohýbáním a současně zvětšením možných rozměrů výrobku oproti stávajícímu stavu nástroje.

Při tvorbě diplomové je nezbytné se seznámit s technologií ohýbání a stříhání relativně malých plechových výlisků. Práce by se měla zabývat zejména problematikou výroby, výměny a přetypování nástroje pro různé druhy výrobků. Aby bylo dosaženo přidání technologie stříhání a nastřižení, musí být u nového nástroje navržena odpružená stírací deska, která při střihu a zpětném vrácení přidrží materiál, aby nedošlo k jeho posunu v nástroji. Při změně výroby lisovaného dílu v nástroji by se měl vyrábět co nejmenší počet součástí pro snížení nákladů na přetypování sestavy. Inovovaný lisovací nástroj musí jít upnout do lisu Komatsu 35T, je nutné dbát na možnosti zdvihu beranu lisu a na možnost upnutí nástroje. Konstrukční návrh by měl obsahovat využití dostupných normalizovaných dílů v sestavě.

Výstupem pro společnost Laird, s.r.o. by měla být kompletní výrobně technická dokumentace sloužící pro výrobu nového lisovacího nástroje. Ten bude vyroben v nástrojárně dle konstrukčního návrhu a používán ve výrobě prototypových dílů.

Diplomová práce vychází z české i zahraniční literatury, internetových zdrojů a katalogů normalizovaných součástí. Využívány byly rovněž neveřejné zdroje společnosti, pokud to bylo možné.

1. Cíl práce

Cílem diplomové práce je inovovat lisovací nástroj na kovové výlisky ve společnosti Laird, s.r.o., sloužící k výrobě prototypových a malosériových dílů. Důvodem inovace je možnost novým způsobem uspokojit potřeby zákazníků společnosti a využít existujících zdrojů k získání nových podnikatelských příležitostí, sloužících ke zvýšení výnosů. Toho se dá dosáhnout pokrokovou kvalitativní změnou v podobě nové kombinace faktorů při výrobě lisovacích nástrojů.

K úspěšnému splnění cílů diplomové práce je potřeba využít znalostí z oblasti inovačního inženýrství, technologie tváření kovů, zejména ohýbání a stříhání na lisovacích nástrojích. Dále je nutné seznámit se s firemním výrobním procesem prototypových a malosériových výrobků. S aktuálním stavem současného řešení, s technologickými možnostmi výroby nástrojů v nástrojárně a s vnitřními firemními procesy.

V práci by měla být provedena detailní analýza současného stavu řešení lisovacího nástroje. K tomu je potřeba využít znalostí tváření kovů, zejména ohýbání a stříhání. Analýza by měla zahrnovat popis sestavy lisovacího zařízení, funkčnost, hlavní princip. Déle by měla obsahovat jednoduchý zdokumentovaný model současného nástroje, včetně vysvětlení funkce a spojení jednotlivých dílců sestavy. V analýze by měl být vysvětlen současný probíhající proces při výrobě prototypových dílů.

V návaznosti na pochopení principu lisovacího nástroje a analýzu stávajícího řešení by měly být navrženy tři varianty nového řešení. V návrzích by mělo být zajištěno ohýbání, nastřihávání i prostřihávání finálního výlisku. Cílem návrhů řešení je zjednodušení a standardizace výroby lisovacích sestav pro rozměrově větší výlisky. Pro splnění požadavku na prostřihávání a nastřihávání musí být navržena odpružená stírací deska, sloužící především jako přidržovač stříhaného materiálu v nástroji. Inovovaný nástroj by se měl být dimenzován na možnost ohýbat a prostřihávat plech o maximální funkční obvodové délce výlisku 300mm do tloušťky plechu 0,5mm. Dílčím cílem návrhů řešení by měla být standardizace a zvětšení rozměrů nástroje, využití dostupných normalizovaných dílů za účelem zvětšit možnou velikost výrobku.

Jednotlivé navržené varianty řešení by měly být detailně zhodnoceny. Hodnocení by mělo proběhnout určením vhodných kritérií a přiřazením váhových faktorů. Nad přiřazením těchto faktorů by měla vedena odborná diskuse s vedením společnosti.

V rámci zhodnocení jednotlivých návrhů musí dojít k detailnějšímu rozhodnutí o výběru konečné varianty určené k realizaci ve výrobě prototypových a malosériových dílů elektromagnetického stínění.

Po vyhodnocení návrhů by mělo dojít k rozpracování vybrané varianty. Cílem diplomové práce je vytvoření úplného konstrukčního návrhu pomocí parametrického modeláře SolidWorks. Přičemž se musí dbát na skutečnost, že inovovaný lisovací nástroj musí jít upnout do lisu Komatsu 35T. Je nutné konstrukční návrh provést s ohledem na možnosti zdvihu beranu lisu a na možnost upnutí inovovaného nástroje přímo v lisu. Konstrukční návrh by měl obsahovat využití dostupných normalizovaných dílů v sestavě.

Pro úspěšné řešení diplomové práce je nutné vytvořit kompletní výrobně technickou dokumentaci, která bude sloužit k výrobě inovovaného lisovacího nástroje. Technická dokumentace musí být srozumitelná pro výrobní složky závodu, případně pro externí výrobní kooperace.

Dalším cílem práce je zhodnocení provedené inovace vůči původnímu řešení výroby prototypových dílů a shrnutí hodnotících poznatků do závěru diplomové práce.

Cílové specifikace na lisovací nástroj:

- Maximální funkční obvodová délka výlisku – 300 mm
- Maximální tloušťka plechu – 0,5 mm
- Tvářený materiál – NickelSilver NS77
- Upnutí do lisu Komatsu 35T
- Maximální rozměr nástroje – 400 x 400 mm
- Maximální výška nástroje v horní poloze – 216,5 mm
- Maximální pracovní zdvih nástroje – 40 mm
- Maximální pracovní rozměr razníku – 100 x 100 mm

Inovační záměr

Konstrukční návrh univerzálního lisovacího nástroje, který umožní ohýbání a stříhání výlisků pomocí odpružené stírací desky. S rozměry výlisku, tvářeným materiálem, rozměry nástroje, pracovním zdvihem a rozměry razníku dle cílových specifikací. Nástroj je určen na lis Komatsu 35T.

2. Seznámení s firmou Laird, s.r.o.

zdroj: www.lairdtech.com
obr.: 2.1 – logo společnosti

Mezinárodní společnost Laird je největším světovým výrobcem prvků odstínění elektromagnetického záření (EMI) pro širokou škálu oborů, jako jsou například informační technologie, telekomunikace a přenos dat, zbrojení, letecký a automobilový průmysl či zdravotnictví. Předchůdce společnosti Laird byl založena již v roce 1864 a od té doby podnikal v různých oborech průmyslu. Nyní se specializuje na prvky zabývající se EMI stíněním. V současné době zaměstnává zhruba 10000 osob po celém světě.

zdroj: www.lairdtech.com
obr.: 2.2 – přehled výrobků

Skupina Laird má své zastoupení i v České republice. Výrobní závod, společně s inženýrským a finančním centrem sídlí v liberecké průmyslové zóně – Jih. Liberecký výrobní závod je hlavním výrobním a vývojovým závodem v Evropě, má přes 350 zaměstnanců.

Výrobní program libereckého závodu zahrnuje kompletní nabídku stínících materiálů a výrobků, včetně splétaného stínění z beryliové mědi, elektricky vodivých textilií a elastomerů, stínění na úrovni desek plošných spojů, elastomerů tvarovaných přímo na místě instalace a mikrovlnných absorbérů a stínění ventilátorů. Závod Liberec dále nabízí zákazníkům úplný před a po prodejní servis, kompletní vývoj výrobků, jakož i prototypové zpracování navržených řešení.

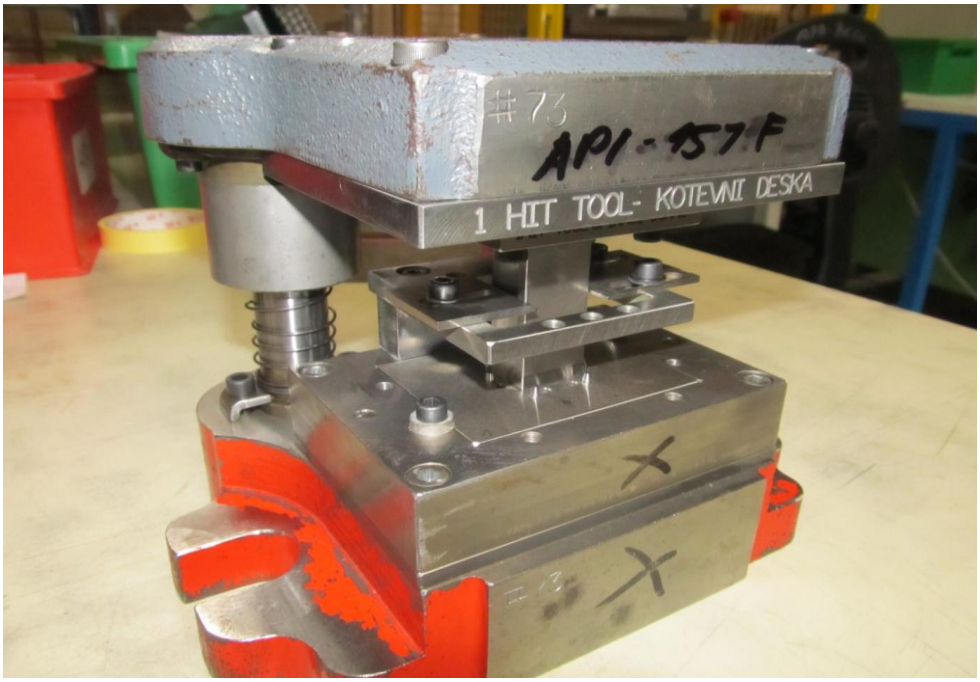
zdroj: www.lairdtech.com
obr.: 2.3 – LT - Liberec

Diplomová práce je zaměřena na spolupráci s oddělením ENG – Engiineeringu Precision Metals a s výrobním oddělením BLS – Board Level Shielding. Na výrobním oddělení jsou k dispozici hydraulické i výstředníkové lisy sloužící k tváření materiálu, konkrétně zmíněných elektromagnetických stínění. Mezi hlavní spolupracující oddělení patří ještě oddělení SR – Short Run, kde dochází k výrobě všech prototypových dílů a k malosériovým zakázkám.

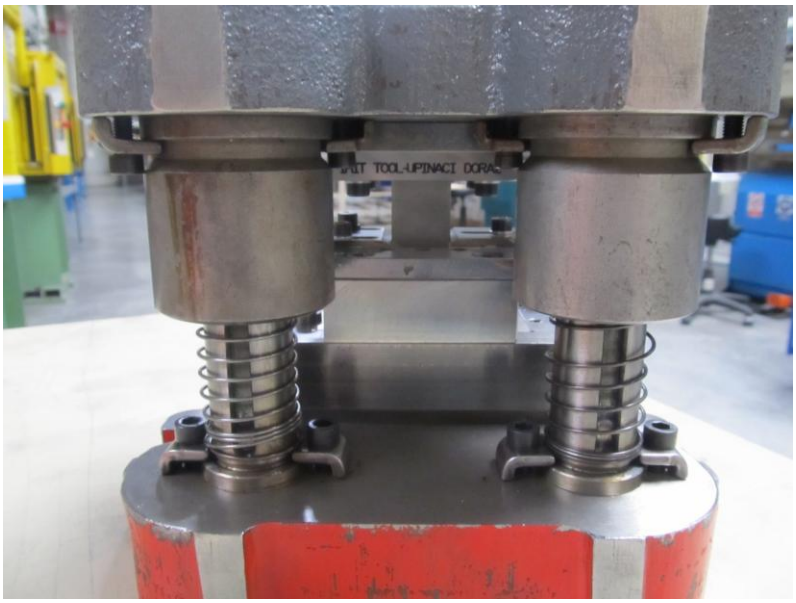
3. Analýza současného řešení lisovacího nástroje

3.1 Popis lisovacího nástroje

Na obrázcích (obr. 3.1 a 3.2) je vidět současné řešení sestavy univerzálního lisovacího nástroje. Lisovací nástroj se skládá ze stojanu, vodících sloupků, držáků a výměnných komponentů zajišťující vlastní lisování – především ohýbání výlisku z plechu do požadovaného tvaru a zároveň malou mírou i tažení v patentovaných rozích. Mezi výměnné komponenty, které se vyrábí speciálně na požadovaný rozměr dílu, patří: ohybový razník, ohybová matrice a přidržovací blok. Pevné stírací lišty jsou nastavitelné dle velikosti vyráběného výlisku. Při upnutí v lisu je ohybová matrice brána jako pevná čelist. Razník a přidržovací blok jsou pohyblivé součásti (čelisti). Razníkem je přes horní upínky upnut k horní kotevní desce, ta je spojena pomocí šroubového spoje s držákem, který je upnut do lisovacího beranu. Pohyblivý přidržovací blok je pomocí tvarového zámku umístěn v ohybové matrici, jeho pohyb zajišťují dvě šroubovité tlačné pružiny, které vyvolávají velmi důležitou sílu potřebnou k přidržení materiálu mezi přidržovacím blokem a razníkem.



zdroj: vlastní
obr.: 3.1 – lisovací nástroj 1

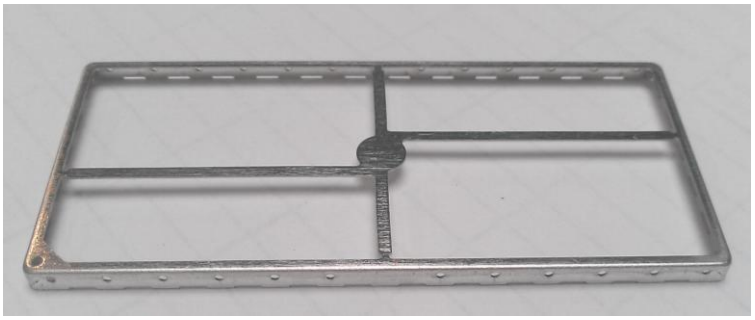


zdroj: vlastní
obr.: 3.2 – lisovací nástroj 2

Tato univerzální lisovací sestava slouží k ručním lisovacím pracím na hydraulických lisech APB (obr. 3.3). Konkrétně slouží k výrobě prototypových dílů a k maloobjemovým zakázkám.

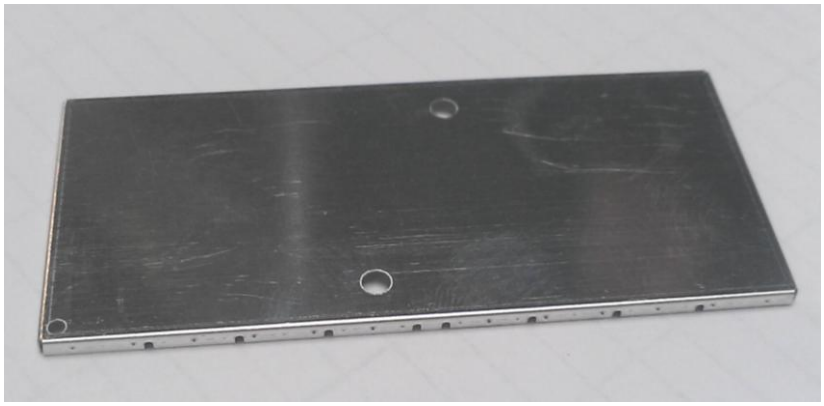
zdroj: vlastní
obr.: 3.3 – lis APB

V drtivé většině se jedná o výrobu rámečku (výlisek z plechu – obrázek 3.4) elektromagnetického těsnění, který je posléze u zákazníka připájen na základovou desku.

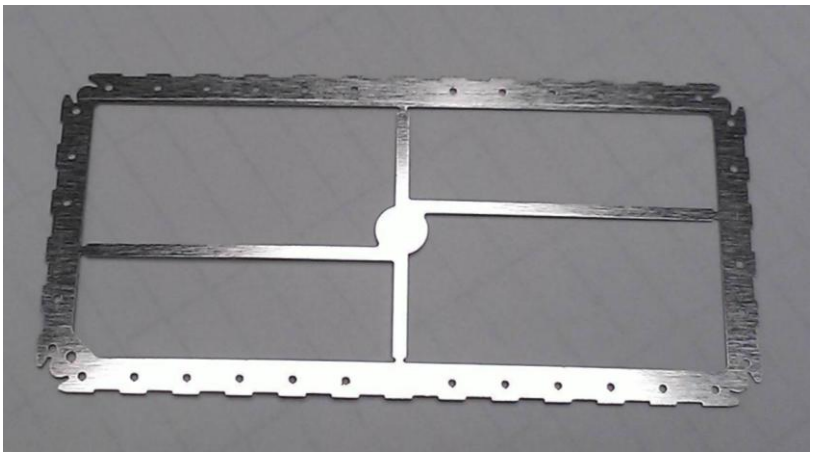


zdroj: vlastní
obr.: 3.4 – rámeček stínění

Ve výjimečných případech se v nástroji ohýbá i víčko (obr. 3.5) pro elektromagnetické stínění. Do proměnných částí univerzálního nástroje se mezi kolíky, jejichž umístění je do ohybové matrice velice přesně vytvořeno pomocí elektroerozivního obrábění (drátořez), vkládá předřezaný rozvinutý materiál (obr. 3.6). Rozvin materiálu provádí konstruktér s ohledem na posun neutrální osy u ohýbání. Materiál je jednotlivé dílce (Flatt blanky) řezán pomocí CAM technologie na laserovém pracovišti Trumpf, a to ze svitku plechu dle materiálové specifikace – rozměry, pokovení, mechanické vlastnosti atd. Objem výroby na tomto lisovacím nástroji není nikterak veliký. Většinou se jedná o několik desítek až stovek prototypových výlisků.



zdroj: vlastní
obr.: 3.5 – víčko stínění



zdroj: vlastní
obr.: 3.6 – rámeček stínění

Jak již bylo zmíněno, stojan a kotevní desky nástroje jsou předurčeny současným konstrukčním řešením. Další součásti se musí vyrábět na míru dle rozměru výlisku. Základem současného lisovacího nástroje je podkladová deska, která byla vyrobena jako odlitek a obráběna. Na podkladové desce je umístěna kalená podložka sloužící k vedení a dorazu kalených jezdců. Ty jsou uloženy v podkladové desce společně se šroubovitými tlačnými pružinami nekruhového průřezu (obr. v kapitole výpočtů). Tyto pružiny sloužící k vyvinutí dostatečného tlaku na vložený materiál při lisování. Přidržovací blok je, v horní úvrati, mírně nad úrovní (0,5 mm) ohybového bloku. Důvodem je aby nejdříve došlo k vyvinutí tlaku mezi ohýbaným materiálem, přidržovacím blokem a razníkem, než dojde k samotnému lisování. Poloha a předepnutí pružin je zajištěna pomocí zátky s šestihranným vybráním pro imbusový šroub. Na kalené podložce je hlavní konzola (deska) lisovacího nástroje. Konzola je zkolíkována pro zajištění přesného ohýbání a zajištěna zapuštěnými šrouby. V konzole je vložen ohybový blok s předřezanými kolíky a zajištěn šrouby s kalenou podložkou. V ohybovém bloku se pohybuje přidržovací blok, sloužící k přidržení materiálu před samotným ohybem. Jak je patrné, toto zařízení slouží k ručnímu vkládání rozvinutých výlisků. Nejedná se o sériový postupový nástroj – hard tool. Spodní část lisovacího nástroje je na pevno přidělána ke kotevní desce lisu šrouby a podložkami, nebo ve výjimečných případech speciálními podložkami.

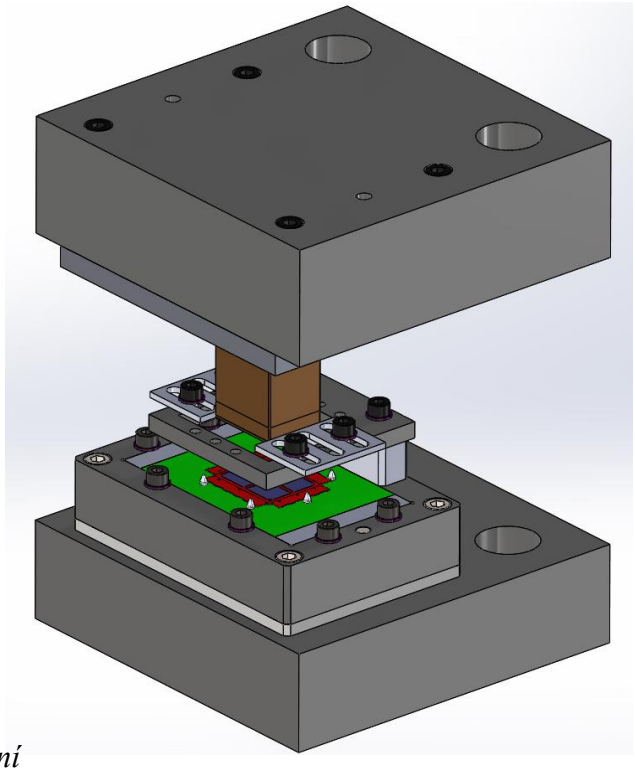
Ke konzole je pomocí šroubů připevněna podložka a společně s ní držák stíracích lišt. Stírací lišty v tomto případě neslouží k přidržení materiálu pouze k odejmutí natlačeného výlisku z ohybového bloku na razník.

V zadní části, myšleno z opačné části, než sedí operátor, jsou v sestavě dva vodící sloupky zajišťující vystředění desek. Na těchto sloupech je nasazena horní kotevní deska, která byla též vyrobena jako obrobený odlitek. Dolní kotevní deska, sloupky a horní kotevní deska tvoří dohromady pomyslný stojan lisovacího nástroje. V horní kotevní desce jsou závitové díry pro upnutí nástroje do lisů nebo k upnutí speciálního držáku beranu lisu. Ke kotevní desce je pomocí šroubů připevněna kalená podložka pod lisovací razník. Skrz podložku vedou díry, závitové pole, které umožňuje přichycení dorazů razníku dle požadovaných rozměrů. Dorazy jsou připevněny do závitového pole pomocí šroubů a drží lisovací razník ve správné poloze. Razník je uchycen díky odbroušeným částem profilu, do kterých zapadají dorazy.

Na tomto obrázku je vidět zadní pohled na stojánek lisovacího nástroje. Červená je spodní základová kotevní deska. Je vidět uložení kolíků i tlačné pružiny ložiskových klecí pohybujících se v pouzdrech. Šedý odlitek je již zmíněná horní kotevní deska.

3.2 Model lisovacího nástroje – 3D

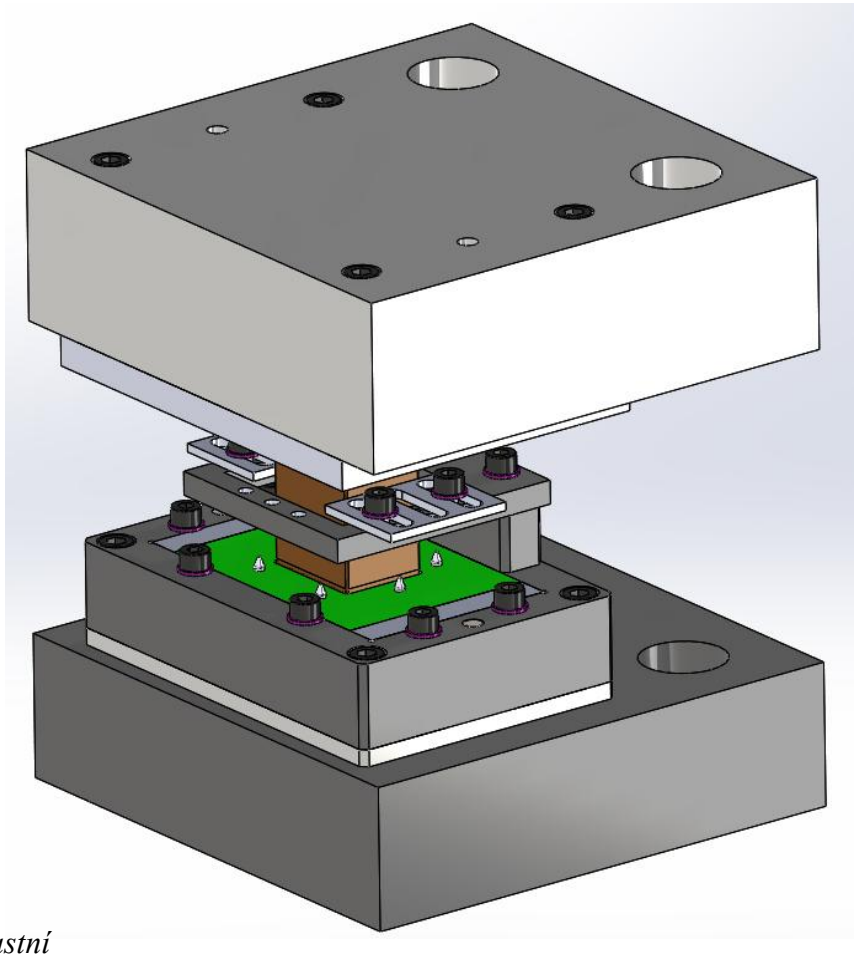
V parametrickém modeláři SolidWorks byl vytvořen schematický model sestavy současného stavu při používání lisovacího nástroje před inovací (obr 3.7).



zdroj: vlastní
obr.: 3.7 – lisovací nástroj 3D – otevřený stav

Na obrázcích 3.7 a 3.8 jsou zobrazeny všechny hlavní funkční součásti – horní a dolní sestavy, ovšem bez vodících sloupků. Je zobrazen lisovací nástroj v horní úvrati a zároveň v nastavitelné spodní úvrati, při které dochází k lisování výrobku.

Barevně jsou odlišeny komponenty, které se vždy při změně vyráběného dílu svým rozměrem nebo uložením středících kolíků mění. Konkrétně se jedná o ohýbací blok, středící kolíky, vyřezaný vkládaný materiál „Flatt-blank“, přidržovací blok a ohybový razník. V této sestavě není viditelná forma pružení přidržovacího bloku, tu obstarávají šroubovité pružiny. Pružení je uloženo ve spodní kotevní desce a zakryto víkem. Pružiny se nastavují pomocí zátek s šestihranným vybráním na šroub. V některých nástrojích jsou pružiny v páru a ve dvou lisovacích nástrojích pro menší díly je zabudována pouze jedna pružina, sloužící k vytvoření potřebného tlaku při ohybu materiálu. Přidržovací blok je v ohybovém bloku uložen pomocí vymezujícího zámku. Výška každého jednoho vyráběného dílu je rozdílná. V tomto schematickém modelu není zobrazen jezdec pružení, který se mění s výškou dle finálního ohýbaného výrobku. Na obrázku 3.8 je model lisovacího nástroje v zavřeném stavu jako při lisování výrobku.



zdroj: vlastní
obr.: 3.8 – lisovací nástroj 3D – zavřený stav

4. Návrh možných řešení

Inovace je obvykle komplexním procesem s mnoha riziky, že na základě špatného úsudku vybereme špatné řešení pro realizaci inovace. Vědecká a odborná komunita proto během let vyvinula a použila řadu přístupů a konceptů, které nám mohou zabránit tvorbě chyb při inovaci a vývoji průmyslového výrobku, tedy i lisovacího nástroje. [1]

Mezi tyto přístupy a koncepty patří například:

- Metoda „pokus-omyl“
- Metody pro kreativní řešení problémů
- Fázově orientované procedury při vývoji výrobků
- Axiomatický přístup
- Konstruování s ohledem na specifické cíle
- Stavebnicové konstrukce
- Simultánní inženýrství
- Kooperativní návrhy výrobků
- Metody pro modelování výrobků

Jedním z cílů diplomové práce je vypracování tří možných variant řešení inovace lisovacího nástroje na kovové výlisky. Návrh konceptů byl zaměřen na splnění jednotlivých nebo alespoň částečných dílčích požadavků ze strany zadavatele tématu diplomové práce. Návrh řešení by se měl zabývat zejména problematikou výroby, výměny a přetypování nástroje ve stojanu-sestavě pro různé druhy prototypových výrobků. Na nástroji by mělo být zajištěno ohýbání, nastřihávání i prostřihávání finálního výlisku. Cílem návrhů řešení je zjednodušení a standardizace výroby lisovacích sestav pro rozměrově větší výlisky. Pro splnění požadavku na prostřihávání a nastřihávání musí být navržena odpruženou stírací desku na pérech. Tato deska je potřebná k technologii stříhání a sloužící především jako přidržovač stříhaného materiálu v nástroji. Dílčím cílem bylo pokusit se standardizovat rozměry nástroje, využít dostupné normalizované díly a zvětšit tak možnou velikost výrobku. Inovovaný nástroj musí jít upnout především do beranu hydraulického lisu Komatsu-35T (obrázek 4.1). V návrhu se počítá s větší velikostí a s nevyužitím současně používaného lisu APB (obrázek 3.3).

zdroj: vlastní
obr.: 4.1 – lis Komatsu 35T

Při návrzích byla brána v potaz technologie stávajícího řešení. Přesné rozměrové parametry budou upřesněny až ve finálním technickém řešení v rámci výrobně technické dokumentace. Stojánek sestavy, uložení horní a spodní sestavy lisovacího nástroje, ložiska atd. budou rovněž řešeny ve finálním konstrukčním návrhu konceptu. Důvodem je možné využití normalizovaných součástek. V konceptech je zpracováno sestavení funkčních částí lisovacího nástroje, které nejsou normalizovány a budou vyráběny. Konkrétně tedy základových kotevní desky, kalené podložky pod razník, vložku razníku a střižný razník nebo ohýbací razník, kolíková spojení. Dále je řešena konzola stírací desky, stírací deska a její kryt, jezdce, trubičky a kalené podložky šroubů a prostor pro šroubovité tlačné pružiny a jejich zátky. Ve spodní části sestavy lisovacího nástroje je brán zřetel na spodní základovou desku, nástavbu této desky, vedení a uložení přidržovacího bloku v ohybové matrici a zároveň na ukotvení matrice k nástavbě základny. Na

spodní základně je většinou kalená podložka vodící pružinové jezdce, šroubové pružiny, vymezovací kolíky, dorazy a zátky děr.

Návrhy možných řešení by měly vycházet ze zásadních charakteristik inovovaných produktů, které si dnešní doba vyžaduje.

Současný trend při inovování/navrhování výrobků nebo i lisovacích nástrojů si žádá následujících zákonitostí z hlediska jakostních parametrů: [1]

- *Správná funkce* – bude lisovací nástroj fungovat tak, jak se od něj očekává?
- *Cenová dostupnost* – bude cena za výrobu a vývoj nástroje akceptovatelná?
- *Snadná obsluha* – bude operátor umět rychle a bezpečně výrobek používat?
- *Výhodnost* – poskytne prototypový lisovací nástroj společnosti nějaké výhody oproti jiným?
- *Snadná udržovatelnost* – bude lisař a nástrojař schopen nástroj snadno udržovat funkčním po dobu jeho životnosti?
- *Fyzická dostupnost* – bude nástroj dostupný v době, kdy ho bude třeba vyrábět požadované díly?
- *Dlouhá trvanlivost* – vydrží univerzální nástroj v provozuschopném stavu?

Zákonitosti inovačního návrhu z hlediska nízkých nákladů jsou: [1]

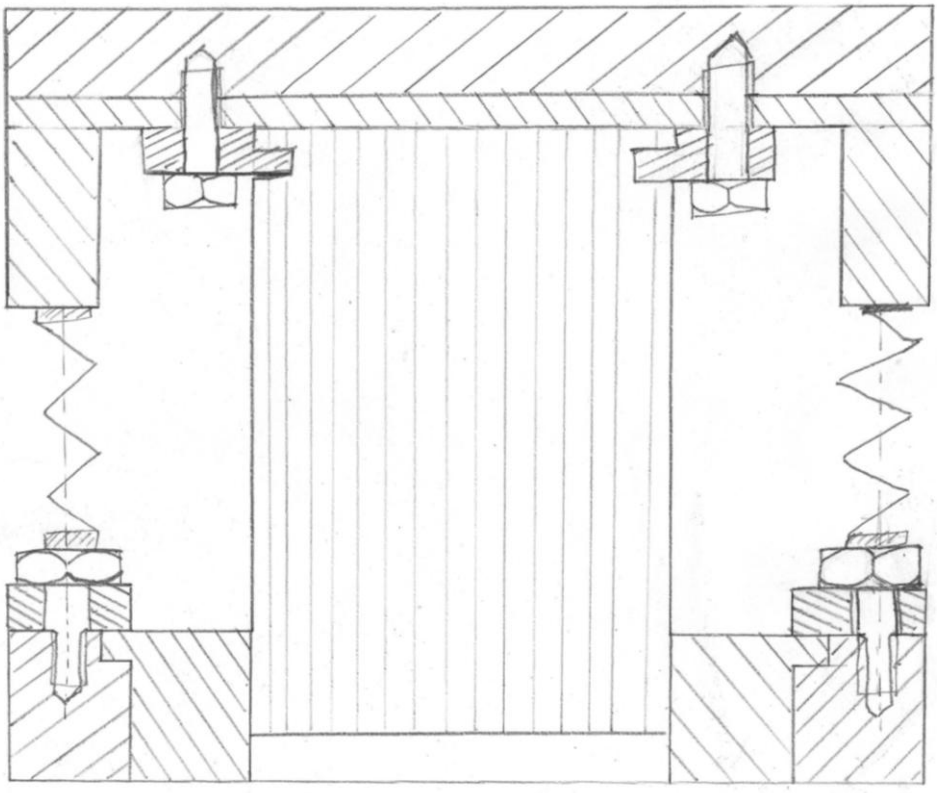
- Zjednodušení výrobního procesu
- Využití automatizace při výrobě prototypových dílů
- Snížení počtu vyráběných součástí lisovací sestavy při nově vyráběném dílu
- Využití levnějších nebo skladových polotovarových materiálů
- Snížení nároků na odpad
- Volba vhodné výrobní tolerance a tepelné zpracování dílů nástroje
- Opakované využití již existující konstrukce nástroje
- Využití velkosériových normalizovaných součástí při konstrukčním návrhu

V ideálním konceptu by se mělo vycházet z návrhu standardního stojanu lisovacího nástroje pro širokou škálu výlisků. Hlavní myšlenkou je co nejrychlejší, nejlevnější a nejefektivnější výroba co nejmenšího počtu součástí, ideálně pouze razníku, stírací desky, přidržovacího a ohybového bloku z kalené nástrojové oceli třídy 19.

Koncepty byly naskicovány a převedeny do elektronických dat. Z důvodu vhodnějšího a přehlednějšího popisu je u všech návrhů sestava lisovacího nástroje rozdělena na horní a spodní část. Koncepty jsou skicovány v řezu, aby byla pochopena hlavní myšlenka pro realizaci daných technologií lisování. Základové desky a normalizované vodící sloupky, pomocí nichž jsou sestavy spojeny, nejsou v návrzích zakomponovány. Upnutí do lisu bude řešeno pomocí závitového pole v horní základové desce a vybráním pro šroub a upínky ve spodní základové desce.

4.1 Koncept A – horní sestava

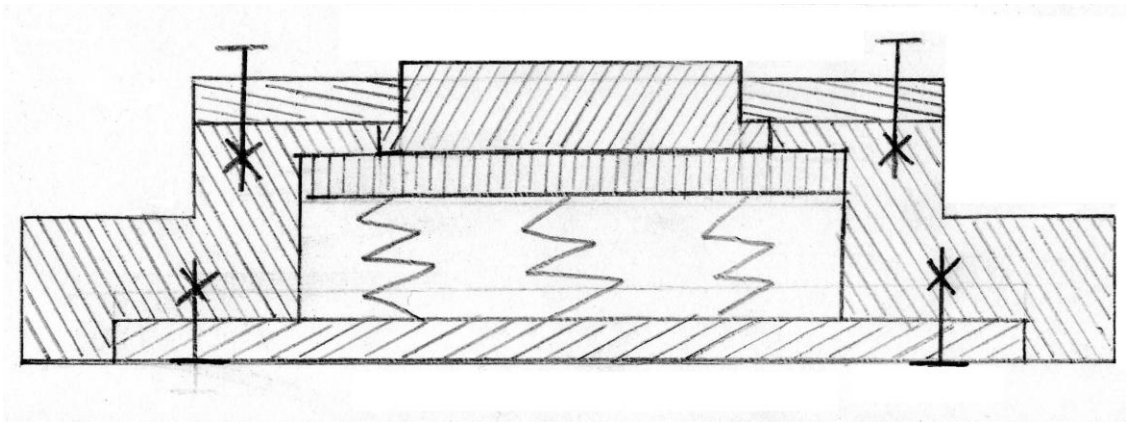
Horní část konceptu A je složena z kotevní desky, ve které je závitové pole. Ke kotevní desce je připevněna kalená podložka pod razník. Skrz podložku vedou otvory pro šrouby dorazových desek na razník. Dorazové desky se dají polohovat podle velikosti razníku a to díky závitovému poli. Dorazové desky jsou staženy šrouby ke kotevní desce a tím udržují razník ve své poloze. V razníku je drážka – vybrání pro dosednutí kotvících ploch. Ke kotevní desce je dále na pružinách připevněna konzola stírací desky. Ta je vedena na kolících, které jsou též lícovány do kotevní desky. V základové desce a podložce je vybrání pro pojezd kolíků. Konzola stírací desky a kotevní deska je spojena pomocí normalizovaného sloupku. Tato konzola má vybrání, do kterého se vkládá stírací deska, kterou prochází razník. Stírací deska má tvarový zámek a je ustavena pomocí kalených podložek spojených šroubovým spojem s konzolou. Při lisování nejdříve dosedá stírací deska na výlisek, až po té se tlačí razník do ohybového bloku spodní sestavy.



zdroj: vlastní
obr.: 4.2 – koncept A, horní sestava

4.2 Koncept A – dolní sestava

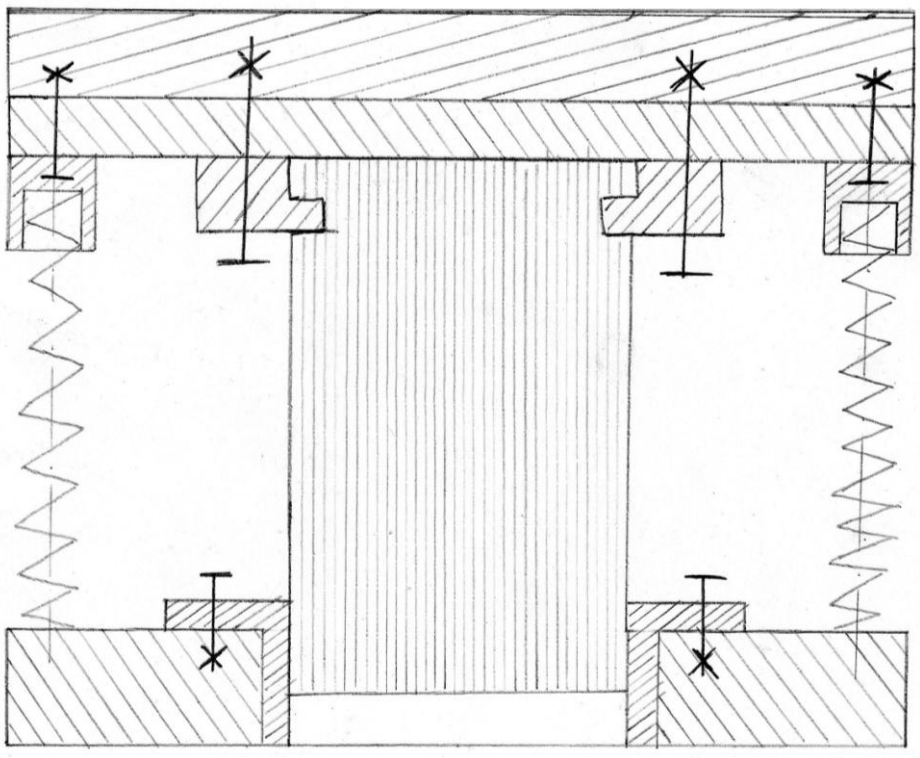
Dolní sestava konceptu A je tvořena základovou deskou z nástrojové oceli. Do této nástavby je vyfrézován profil pro vložení kalené podložky přidržovacího bloku. A dále profil pro víko dolní sestavy. Mezi víko a vložku se vkládají tlačné pružiny pro vyvození síly. Pružiny se volí dle používané technologie lisování a jejich počet není pevně stanoven. Víko je uloženo ze spod základové desky a s ní spojeno pomocí šroubů. Vložka přidržovacího bloku je kalená a z nástrojové oceli, zaráží se o tvarový zámek v základové desce. Přidržovací blok je ustaven na kalené podložce pomocí ohybového bloku. Ten je uložen na základové desce a s ní spojen šrouby. Ohybový blok je také z nástrojové kalené oceli. Zdvih přidržovacího bloku tedy zajišťují pružiny o potřebné tuhosti. Přidržovací blok má tvarový zámek, zajišťující jeho vymezenou polohu.



zdroj: vlastní
obr.: 4.3 – koncept A, dolní sestava

4.3 Koncept B – horní sestava

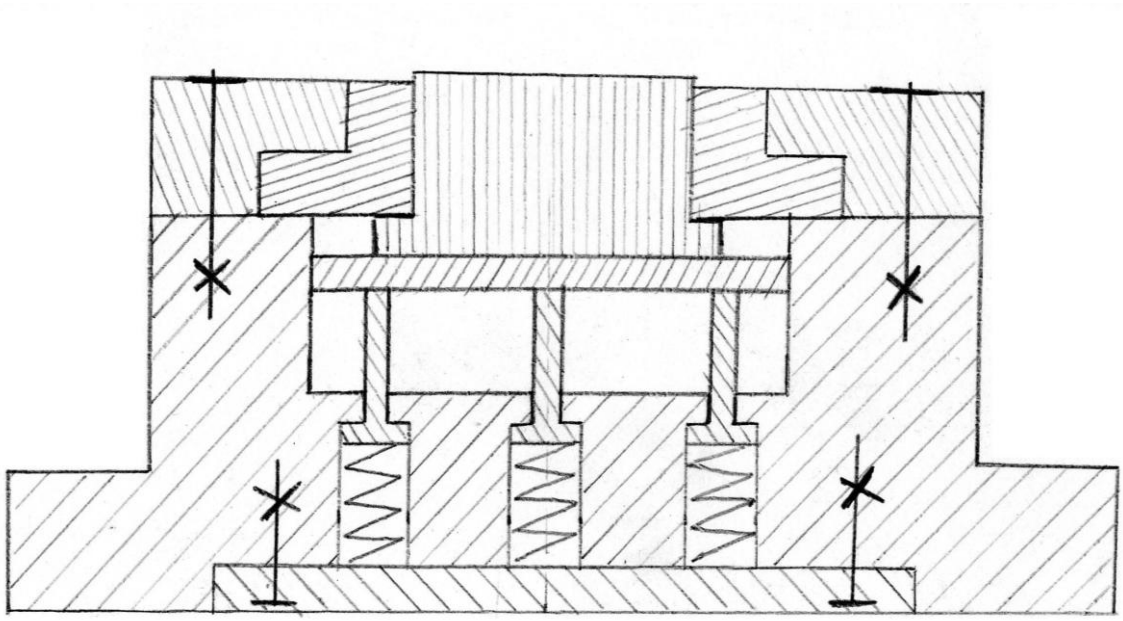
Horní sestava konceptu B je složena z kotevní desky, která je z nástrojové oceli. Ke kotevní desce je připevněna kalená podložka, ve které je závitové pole sloužící pro upnutí dorazů pro razník. Skrz podložku vedou otvory pro šrouby sloužící k upnutí pouzder na pružiny. Pouzdra na pružiny ustavují pružiny do požadované polohy. Pružiny jsou válcové tlačné a jsou vedeny na kolících, které zabezpečují jejich polohu. V podložce a pouzdrech je vybrání pro polohování kolíků. K podložce jsou upnuty dorazové desky, ty se dají polohovat podle velikosti razníku a to díky závitovému poli. Dorazové desky jsou upnuty šrouby k podložce a tím udržují razník ve své poloze. V razníku je drážka – vybrání pro dosednutí kotvících ploch. Ke kotevní desce je na zmiňovaných kolících a pružinách připevněna konzola stírací desky. Kolíky jsou lícovány do pouzder. Celé spojení je navíc zajištěno šroubovým dorazem. Konzola je poměrně veliká ale velice jednoduchá na výrobu. Stírací deska se ustavuje do konzoly a připevňuje šrouby. Stírací deskou prochází razník. Při lisování nejdříve dosedá stírací deska na výlisek, až po té se tlačí razník do ohybového bloku spodní sestavy.



zdroj: vlastní
obr.: 4.4 – koncept B, horní sestava

4.4 Koncept B – dolní sestava

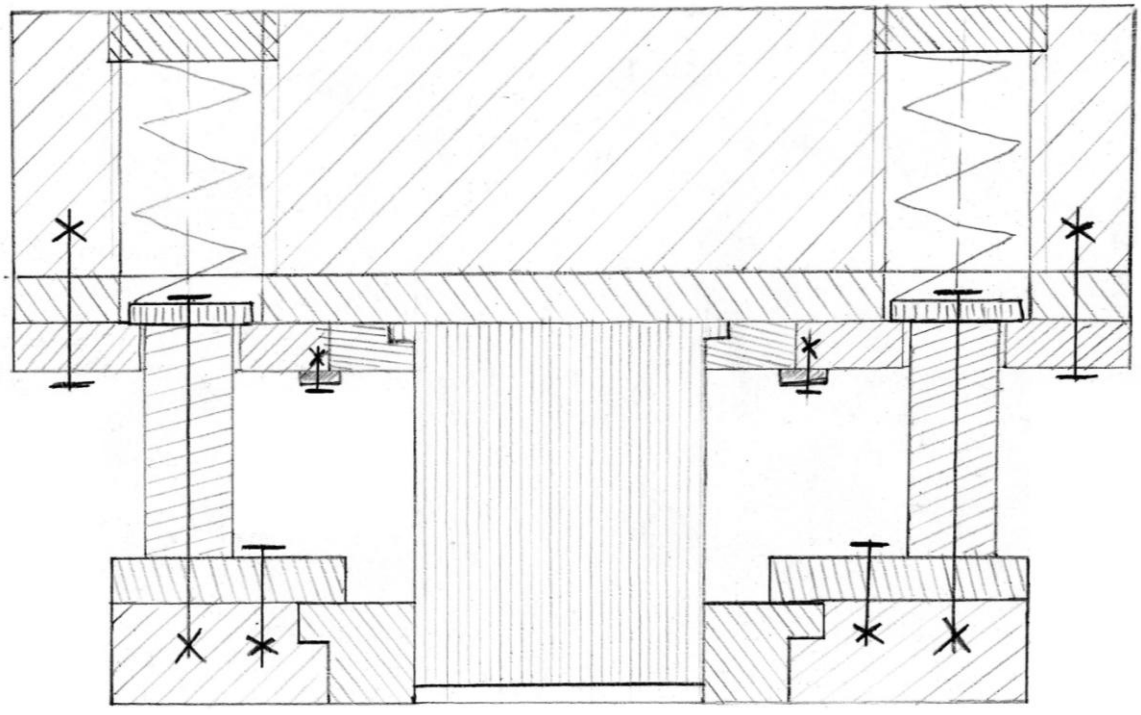
Dolní sestavu tvoří základová deska z nástrojové oceli. V desce jsou navrženy otvory pro tlačné pružiny, sloužící k vyvození potřebné síly. V otvorech jsou lícovány pohyblivé jezdce pružení, které se polohují při dosednutí ploch jezdce a základové desky. Na jezdce tlačí pružiny, které jsou ustaveny velikostí otvorů a víkem. Víko je připevněno k otvoru v základové descky pomocí šroubového spojení. Na základové desce je konzola přidržovacího bloku, která je spojena s deskou pomocí šroubů. Konzola ustavuje polohu ohybového bloku, který je vložen pomocí tvarového zámku. Ohybový blok ustavuje přidržovací razník v poloze. K pohybu přidržovacího bloku dochází pomocí 4÷6 vložených pružin. Ty vyvozují sílu na jezdce, které tlačí na kalenou podložku přidržovacího bloku. Podložka přidržovacího bloku je uložena v tvarovém vybrání základové desky. Přidržovací blok je v horní poloze zajištěn tvarovým zámkem, aby nedošlo k jeho vypadnutí.



zdroj: vlastní
obr.: 4.5 – koncept B, dolní sestava

4.5 Koncept C – horní sestava

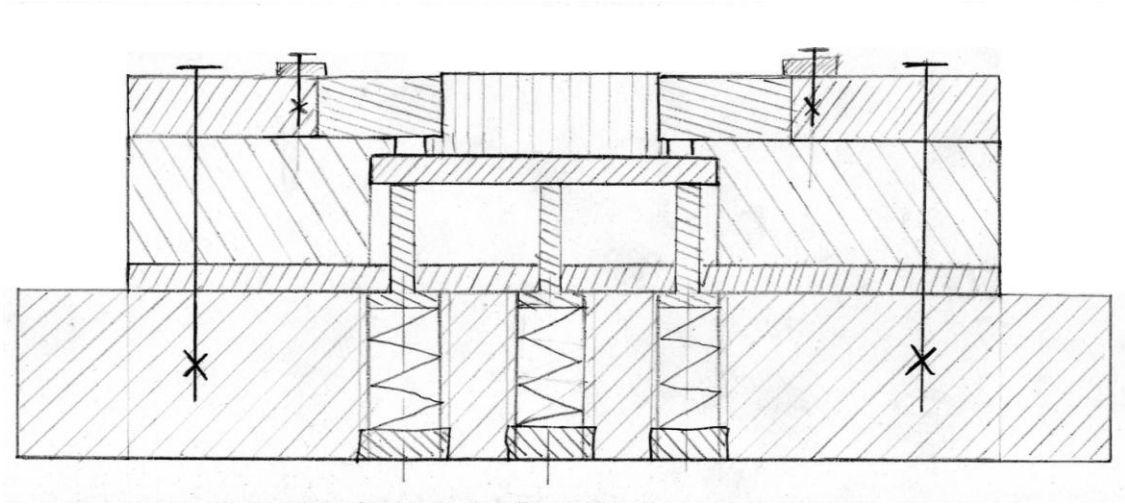
Horní sestava konceptu A se skládá z hliníkové základové desky, ve které jsou závitové otvory pro tlačné pružiny a závitové pole pro upnutí k beranu lisu. K základové desce je připevněna kalená podložka pod razník z nástrojové oceli. Podložka je ustavena pomocí kolíků. Na podložce je kotevní deska razníku. Ta je spojena se základovou deskou pomocí šroubů. Razník je navržen tak, aby dosedal na kalenou podložku, jeho poloha je určena kotevní vložkou. Spojení kotevní vložky a razníku je realizováno pomocí tvarových zámků. Kotevní vložka je přitom upnuta pomocí šroubů s kalenými vyosenými podložkami. Šrouby se šroubují pouze do kotevní desky, která je následně spojena se základovou deskou jiným šroubem. Konzola stírací desky je uložena na vodících sloupcích. Pružení je zajištěno pomocí spojení s distančními prvky – trubička, podložka. Distanční trubička je uložena v kotevní desce a k ní je pomocí šroubu připevněna podložka. Šroub je dlouhý a šroubuje se až do konzoly stírací desky. Tento šroub a trubičky tedy zajišťují uložení konzoly stírací desky. Ta se pohybuje díky pružinám v otvorech základové desky, pružiny jsou zajištěny polohovatelnými stavěcími šrouby. V konzole stírací desky je pomocí tvarového zámku uložena samotná stírací deska. Na stírací desce je z vrchu kryt, který je spojen pomocí šroubů s konzolou.



zdroj: vlastní
obr.: 4.6 – koncept C, horní sestava

4.6 Koncept C – dolní sestava

Dolní sestavu konceptu C tvoří základová hliníková deska, ve které jsou závitové otvory pro tlačné pružiny. Na základové desce je pomocí kolíků ustavena kalená podložka z nástrojové oceli. Podložka má v sobě otvory pro pružné jezdce zajišťující přenos síly z pružin. Poloha jezdců je zajištěna při dosednutí jejich ploch na plochu podložky. Jezdce jsou navrženy do otvorů základové hliníkové desky. Na jezdce působí válcovité tlačné pružiny v otvorech. Pružiny jsou zajištěny polohovatelnými stavěcími šrouby. Nástavba základny je umístěna na podložce a ustavena pomocí kolíků, které prochází skrz součásti. V nástavbě je tvarový profil sloužící k posunu vložky pod přidržovacím blokem. Vložka se zaráží o tvarový zámek na nástavbě. Na vložce je volně uložen přidržovací blok. Tento blok je ustaven díky ohybovému bloku, protože přidržovací blok lícuje do ohybového. Na nástavbě je pomocí kolíků uložena konzola přidržovacího bloku. Konzola je spojena pomocí šroubového spoje se základovou deskou a šroub spojuje všechny desky k sobě. Do konzoly se vkládá ohybový blok, ten je připevněn pomocí šroubů s kalenými vyosenými podložkami. Závity pro šroub jsou přímo v konzole přidržovacího bloku.



zdroj: vlastní
obr.: 4.7 – koncept C, dolní sestava

5. Zhodnocení jednotlivých variant

Výběr konečného konceptu inovovaného výrobku je iterativní proces, při kterém se zabýváme zhodnocením vygenerovaných dílčích konceptů pro další vývoj, porovnáním jednotlivých konceptů a výběrem jednoho a několika konceptů pro další vývoj, zlepšení testování. [1]

Volba vhodného konceptu je obecně velice důležitý proces, který je nutno velmi pečlivě sledovat a řídit. Důvodem je provést správný výběr funkční a použitelné varianty, která splní zadané parametry, potažmo cíle inovace. Jednoduše řečeno – nesmí se stát případ, aby byl zvolen nesprávný návrh.

V této části práce se jednotlivé koncepty mezi sebou porovnávají, srovnávají se jednotlivé parametry, charakteristiky atd. Porovnávání jednotlivých konceptů a výběr jednoho, několika nebo tvorba zlepšení probíhá nejčastěji těmito metodami:

- Intuitivní výběr na základě pocitů zadavatele inovace
- Rozhodovací matice – v níž inovační tým oceňuje každý koncept na základě předem stanovených kritérií, která mají různé váhy
- Osobní preference
- Seskupení myšlenek konceptů do výsledného konstrukčního návrhu
- Externí posouzení – koncepty jsou rozebrány s experty a odborníky, v neposlední řadě i s klíčovým koncovým zákazníkem
- Volba členů inovačního týmu – kdy každý člen týmu má možnost volit jeden nebo více konceptů, vítězí koncept s největším počtem obdržených hlasů
- Testování prototypů – testují a hodnotí se připravené koncepční prototypové modely, které vznikly na základě jednotlivých konceptů. Výběr je založen na reálných či simulovaných výsledcích z testování.
- Analýza silných a slabých stránek – na základě hodnocení a sestavení seznamů silných a slabých stránek jednotlivých konceptů

V diplomové práci bude využito hned několik výběrových metod – intuitivní výběr, analýza silných a slabých stránek, volba členů inovačního týmu. Tyto metody budou pomocí porovnávacích charakteristik zavedeny do rozhodovací matice.

Posouzení v rámci diplomové práce proběhlo, jak již bylo zmíněno, v týmové režii, nikoliv pouze osobní preferencí zpracovatele diplomové práce. Koncepty byly posuzovány čtyřmi osobami. Procesním inženýrem, designérem nástrojů, vedoucím nástrojárny a návrhářem konceptu.

5.1 Porovnávací charakteristiky

Před samotným hodnocením konceptů došlo ke společnému určení základních charakteristik nutných k správnému posouzení jednotlivých konceptu, těmito charakteristikami jsou:

- *Náročnost výroby* – posouzení výrobní náročnosti v nástrojárně pro jednotlivé díly a výrobu sestavy lisovacího nástroje
- *Čas výroby* – časová náročnost výrobních operací pro vznik sestavy
- *Přesnost ohybu* – posouzení vlivu návrhu na přesnost výlisku
- *Univerzálnost* – splnění cíle univerzálnosti nástroje pro širokou škálu výrobků
- *Přetypování* – náročnost výměny razníků, přidržovacích, ohybových bloků, šroubových spojů, stírací desky atd.
- *Stabilita* – zejména posouzení uložení razníku a funkčních částí v sestavě
- *Standardní polotovary* – možnost využití již předpřipravených polotovarů při výrobě nástroje za účelem snížení časové náročnosti zavedení do výroby
- *Obsluha* – náročnost obsluhování operátory – seřizování i pracovní cyklus
- *Short run* – posouzení vhodnosti využití pro prototypovou ruční výrobu
- *Komatsu, Hare* – posouzení vhodnosti návrhu pro velké lisy Hare a Komatsu

Posuzující osoby společně přiřadili váhy jednotlivým charakteristikám. A sestavili detailní (jemnou) matici určenou k posouzení konceptů.

Každý dle svého intuitivního uvážení ohodnotil jednotlivou charakteristiku konceptu. A to bodovým ohodnocením 1 až 5. Přičemž nejvhodnější návrh pro danou charakteristiku měl hodnotu 5 a nejnevhodnější číslo1. Z těchto tří hodnot se udělal aritmetický průměr. Následně došlo k přepočtení bodového zisku a váhy na vážený průměr. Ten byl zapsán do tabulky detailní rozhodovací matice (tab. 5.1)

DETAILNÍ ROZHODOVACÍ MATICE

Tab. 5.1 – detailní rozhodovací matice

Charakteristika	Koncepty	**A**	**B**	**C**
	Váha	Vážená hodnota		
Náročnost výroby	25%	1	0,5	1,25
Čas výroby	15%	0,45	0,45	0,6
Přesnost ohybu	5%	0,2	0,1	0,2
Univerzálnost	10%	0,4	0,2	0,5
Přetypování	10%	0,5	0,2	0,5
Stabilita	5%	0,15	0,05	0,2
Standardní polotovary	5%	0,20	0,05	0,1
Obsluha	5%	0,20	0,2	0,20
Short Run	15%	0,75	0,3	0,75
Komatsu 35T + Hare	5%	0,15	0,1	0,2
Skóre	100%	4,0	2,15	4,4
Pořadí		**2**	**3**	**1**

Z detailní rozhodovací matice vyplývá po vyhodnocení jako nejvhodnější návrh **koncept C**, to je závislé především na nižší náročnosti výroby, nižní potřebě času na výrobu, využití na ručním lisu a univerzálností.

Jednotlivé váhy a bodové ohodnocení v matici je detailněji popsáno v následující podkapitole diplomové práce.

5.2 Popis charakteristik matice

Náročnost výroby – dostala váhu 25% díky vlivu výrobní náročnosti v nástrojárně pro jednotlivé díly a výrobu sestavy lisovacího nástroje. Jedná se o nejnáročnější část týkající se konceptu, proto obnáší čtvrtinu celkové váhy výsledného posouzení.

Koncept A byl vyhodnocen 4 body, protože jeho výroba není nikterak složitá. Koncept B je výrobně velmi náročný, proto obdržel jen 2 hodnotící body. Koncept C je ze všech tří konceptů nejméně výrobně složitý, dají se využívat předpřipravené polotovary, které jsou poměrně jednoduše vyrobitelné. Tento koncept dostal 5 bodů.

Čas výroby – časová náročnost výrobních operací pro vznik sestavy je dalším hodnotícím prvkem. Čas je z obchodního hlediska velmi důležitý. Firma se snaží dodat prototypové díly zákazníkovi co nejdříve. Proto byla určena váha 15%. S časem výroby není přímo spojena náročnost výroby, vzhledem k tomu, že se tento hodnotící parametr nezabývá použitými technologiemi (EEO, CNC, atd..)

Koncept A i koncept B obdržely po třech bodech. Časová náročnost je na střední hranici současného řešení. Koncept C byl ohodnocen 4 body, jelikož se dají využít již předpřipravené nebo kooperačně vyráběné polotovary k finální úpravě na rozměr dílu.

Přesnost ohybu – posouzení vlivu návrhu na přesnost výlisku dostalo pouze 5% váhu. Důvodem je zanedbatelné ovlivnění návrhem. Většinou se jedná o materiálové možnosti – tvárnost. Vliv přesnosti nemá až takový vliv na celkové hodnocení, jelikož se jedná o prototypovou výrobu nebo návrhy zásadním způsobem neovlivňují přesnost.

Koncepty A a C byly týmem ohodnocený celkově čtyřmi body. Důvodem je poměrně dobré vedení přítlačné stírací desky a také řešení uložení matrice, razníku a přidržovacího bloku. Koncept B byl posouzen na dva body, řešení stírací desky nebylo shledáno jako vhodné.

Univerzálnost – univerzálnost nástroje byl jedním z počátečních impulzů pro myšlenku inovace, proto dostala celkem deseti procentní váhu při posuzování konceptů. Univerzálnost je zajištěna pomocí výměny a výroby co nejmenšího počtu dílů potřebných k sestavení lisovacího nástroje.

Koncept A obdržel 4 body, koncept C ovšem nabídl podrobné a lepší řešení univerzálnosti svázané s výrobou proto obdržel bodů 5. Koncept B ve smyslu univerzálnosti nebyl hodnocen kladně a dostal pouze 2 body za nevhodný návrh výměny nástroje s nutností rozebrání velkého počtu dílů.

Přetypování – náročnost výměny razníků, přidržovacích, ohybových bloků, šroubových spojů, stírací desky atd. byla ohodnocena váhou 10% z důvodu počáteční myšlenky zamýšlené inovace. Je poměrně důležitým faktorem, neboť se vyrábí malý počet prototypových kusů a často se mění sestavy na univerzálních stojáncích.

Koncepty A a C jsou technicky stejného rázu. Výměna ve stojánku není nikterak složitá, jedná se o velmi dobré řešení, proto obdržely plný počet 5ti bodů. Koncept C je nevhodný díky špatnému řešení dolní sestavy, kde je složitá výměna funkčních dílů. Musí se vždy sundat ze stojánku vyměnit a zase nandat, sešroubovat. To u konceptů A a C není nutné.

Stabilita – zejména posouzení uložení razníku a funkčních částí v sestavě nemá zásadní vliv na hodnocení konceptů. Jedná se o lisovací nástroj v ose, nedochází k tlaku na šikmé plochy a k působení posuvových sil mimo zdvihovou osu zařízení. Proto stabilita sestavy dostala pouze malou váhu 5%. Pokud by se lisovaly osově nesymetrické díly, byla ba stabilita hodnocena vyšším váhovým koeficientem.

Koncept C měl nejlepší parametry pro stabilitu, jelikož je razník přímo držen matricí a kotevní podložkou, proto dostal 5 bodů. Koncept A je také poměrně výhodný díky dorazům na obou stranách razníku, ale proti konceptu C je horší. Proto dostal 4 body. Koncept B byl s ohledem na uložení razníku a stírací desky ohodnocen jako nejhorší a dostal pouze 2 body.

Standardní polotovary – možnost využití již předpřipravených polotovarů při výrobě nástroje za účelem snížení časové náročnosti zavedení do výroby a náročnosti výroby není až tak důležitou charakteristikou. Svým způsobem hodně závisí na náročnosti výroby a využití – předpřipravení těchto polotovarů pro zkrácení výrobních časů nástrojů. Využití polotovarů proto byla určena váha 5% bodů.

Koncept A při týmovém hodnocení obdržel 3 body, jelikož se částečné polotovarově podobá současnému řešení. Koncept C má určité polotovarové výhody v

předpřipravených obvodových matricích a pouhého dořezu tvaru na drátu. Koncept B nemá ideální řešení k využití standardních polotovarů a obsahuje jich velmi málo, proto hodnocen bodem 1.

Obsluha – náročnost obsluhování operátory – seřizování i pracovní cyklus není nikterak důležitým faktorem hodnocení. Od týmu obdržel pouze 5 procentních bodů ze sta. Po dlouhé debatě bylo usouzeno, že všechny tři koncepty se dají obsluhovat stejným způsobem. Hodnotit obsluhu je specifický parametr, jelikož nezáleží na vhodnosti návrhu, spíše na zručnosti a šikovnosti operátora.

Byla rozebrána řešení všech tří konceptů a jsou pro operátora prakticky totožná při namontování na lis. Všechny tři koncepty obdržely stejný počet bodů, jelikož se nedají odhadnout možné problémy vzniklé s obsluhou sestavy lisovacího nástroje.

Short run – posouzení vhodnosti využití pro prototypovou ruční výrobu byla udělena váha 15%. To z důvodu základního požadavku na inovaci, která má splňovat nejen zlepšené výrobní parametry ale zlepšit i využitelnost na ručních lisech. Většinou se totiž jedná o objem výroby v desítkách až stovkách prototypových dílů. Vhodnost užití u ručního ohýbání je více tedy poměrně důležitou charakteristikou.

Koncepty A a C byly vyhodnoceny jako velice vhodně inovované sestavy pro ruční lisy, jak z hlediska dalšího upnutí do lisů, tak výměny nástrojů, standardizace atd. Proto byly ohodnoceny plným počtem 5ti bodů. Koncept B byl oproti původním dvou méně vhodný a obdržel pouze 2 body.

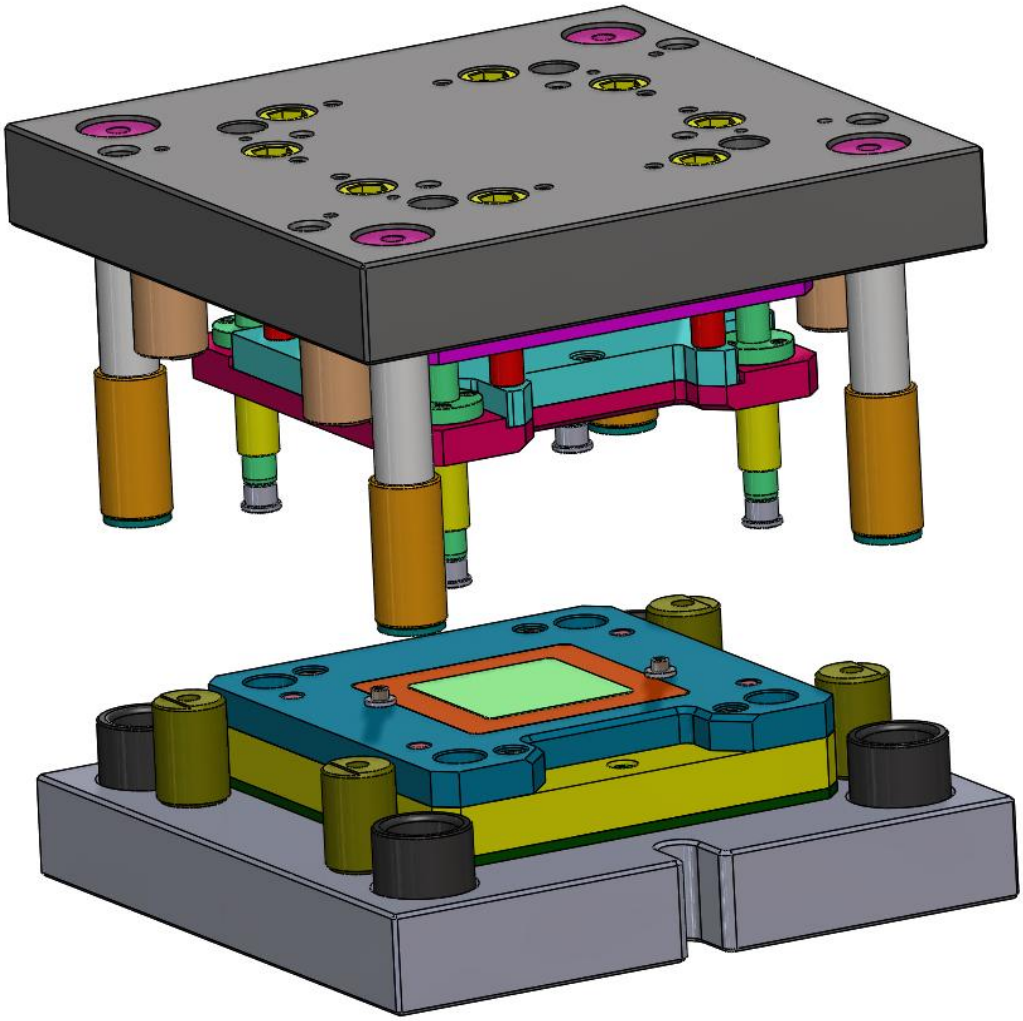
Komatsu, Hare – posouzení vhodnosti návrhu pro velké lisy Hare a Komatsu není zásadní hodnotící charakteristikou ani to není hlavní cíl inovace. Proto obdržela tato charakteristika pouze 5 %. Většina výroby je pouze prototypová a tento 1hit tool se využívá převážně u prototypů.

Nejlépe v hodnocení dopadl koncept A – díky vhodnější výměně razníku v sestavě připevněné k lisu. Není nutnost rozebírat horní matrici, proto obdržel 4 body. Koncept C se v hodnocení zařadil se třemi body na druhé místo. Jeho řešení horní sestavy je poněkud složitější než koncept A. Koncept B byl díky nevhodnosti uložení spodní sestavy – pružiny, přidržovací blok, ohybový blok; vyhodnocen jako nejnevhodnější z tří posuzovaných. Není ovšem zavrženíhodný, proto obdržel alespoň 2 body.

6. Vytvoření úplného konstrukčního návrhu

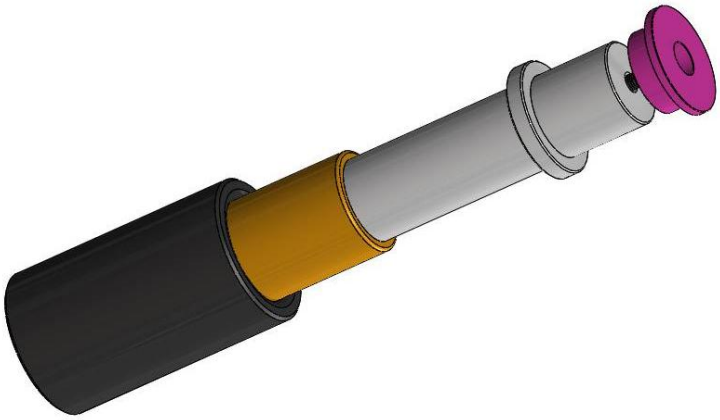
Na základě výběru finálního konceptu lisovacího nástroje byl vytvořen konstrukční návrh. Ten musí respektovat cílové specifikace na lisovací nástroj. Konkrétně:

- Maximální funkční obvodová délka výlisku – 300 mm
- Maximální tloušťka plechu – 0,5 mm
- Tvářený materiál – NickelSilver 77
- Upnutí do lisu Komatsu 35T
- Maximální rozměr nástroje – 400 x 400 mm
- Maximální výška nástroje v horní poloze – 216,5 mm
- Maximální pracovní zdvih nástroje – 40 mm
- Maximální pracovní rozměr razníku – 100 x 100 mm



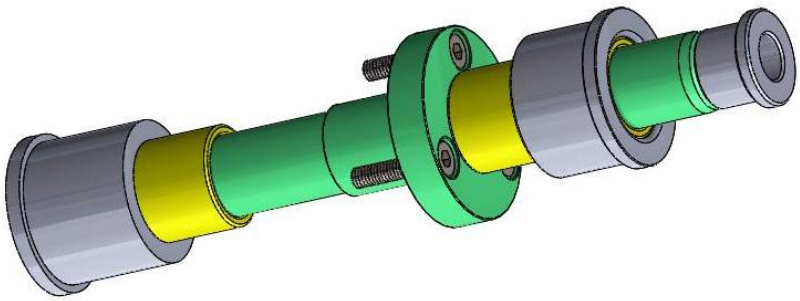
zdroj: vlastní - SolidWorks
obr.: 6.1 – konstrukce lisovacího nástroje

Konstrukční návrh vychází z vybraného konceptu spodní a horní části sestavy lisovacího nástroje. V návrhu je pomocí normalizovaných součástí realizováno spojení těchto dvou sestav. Jedná se o spojení pomocí vodících sloupků, s ložiskovými klecemi a pouzdry ložisek. Sestavy sloupků (obr. 6.2) jsou včetně pružin polohujících ložiskové klece, zátek, talířků a šroubů.



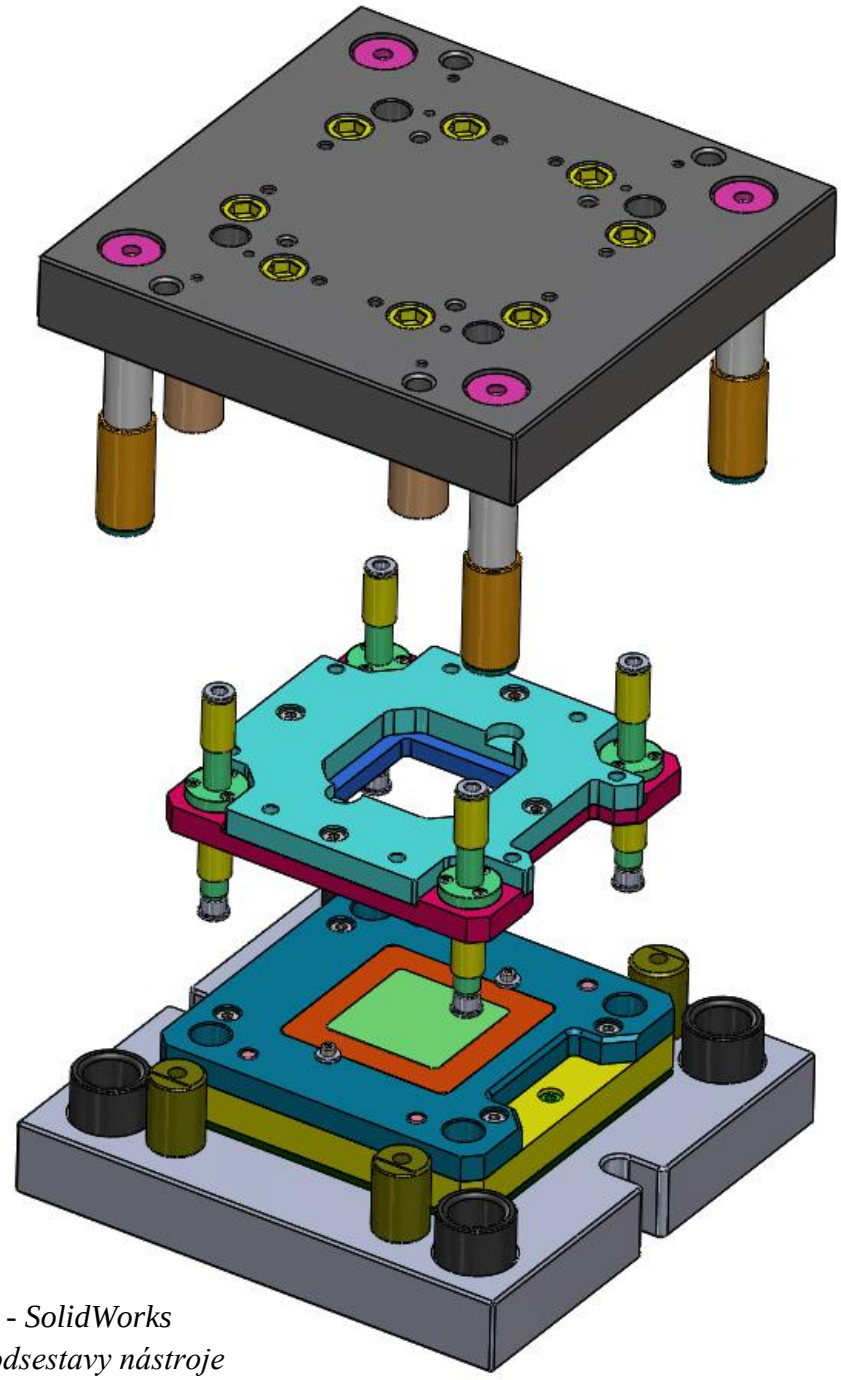
zdroj: vlastní - SolidWorks
obr.: 6.2 – velký sloupek

Obdobného spojení je využito i v horní sestavě nástroje mezi základovou deskou, kotevní deskou a konzolou stírací desky. Toto pohyblivé spojení je též realizováno pomocí menšího sloupku (obr. 6.3), který je ovšem oboustranný. Příruba tohoto sloupku je pevně spojena s konzolou stírací desky. V rámci ložiskových klecí a pouzder je vymezeno společné uložení do horní a zároveň spodní sestavy.



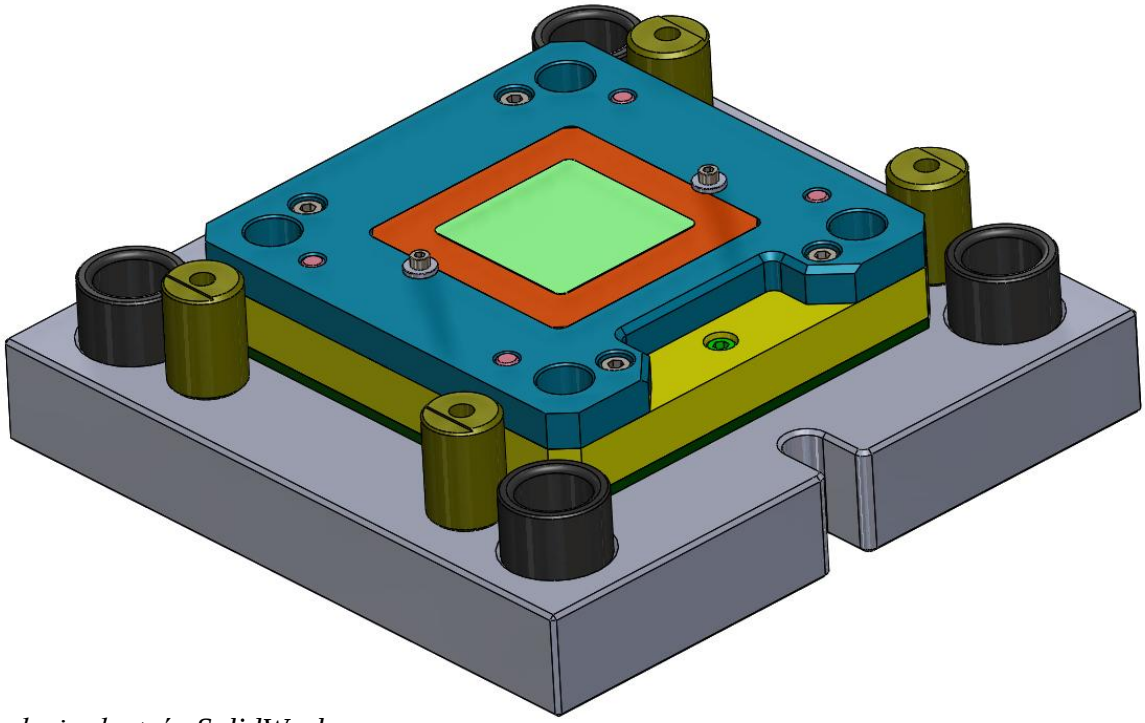
zdroj: vlastní - SolidWorks
obr.: 6.3 – malý sloupek

Lisovací nástroj je rozdělen do několika hlavních podsestav. Tato skutečnost je znázorněna na obrázku 6.5. Základ konstrukčního návrhu tvoří horní a dolní základové desky, k nimž jsou postupnou montáží přidávány další prvky sestavy. Dalšími hlavními částmi návrhu jsou konzola stírací desky a sloupky pro vedení součástí v sestavě. Konzola stírací desky je pomocí šroubového spojení a tlačných šroubovitých pružin uložena v horní podsestavě lisovacího nástroje a vedena pomocí sloupků s ložiskovými klecemi a pouzdry. Ve spodní základové desce je také pružná vazba směřovaná na uložení přidržovacího bloku. Jednotlivé podsestavy jsou podrobně popsány v následujícím textu.



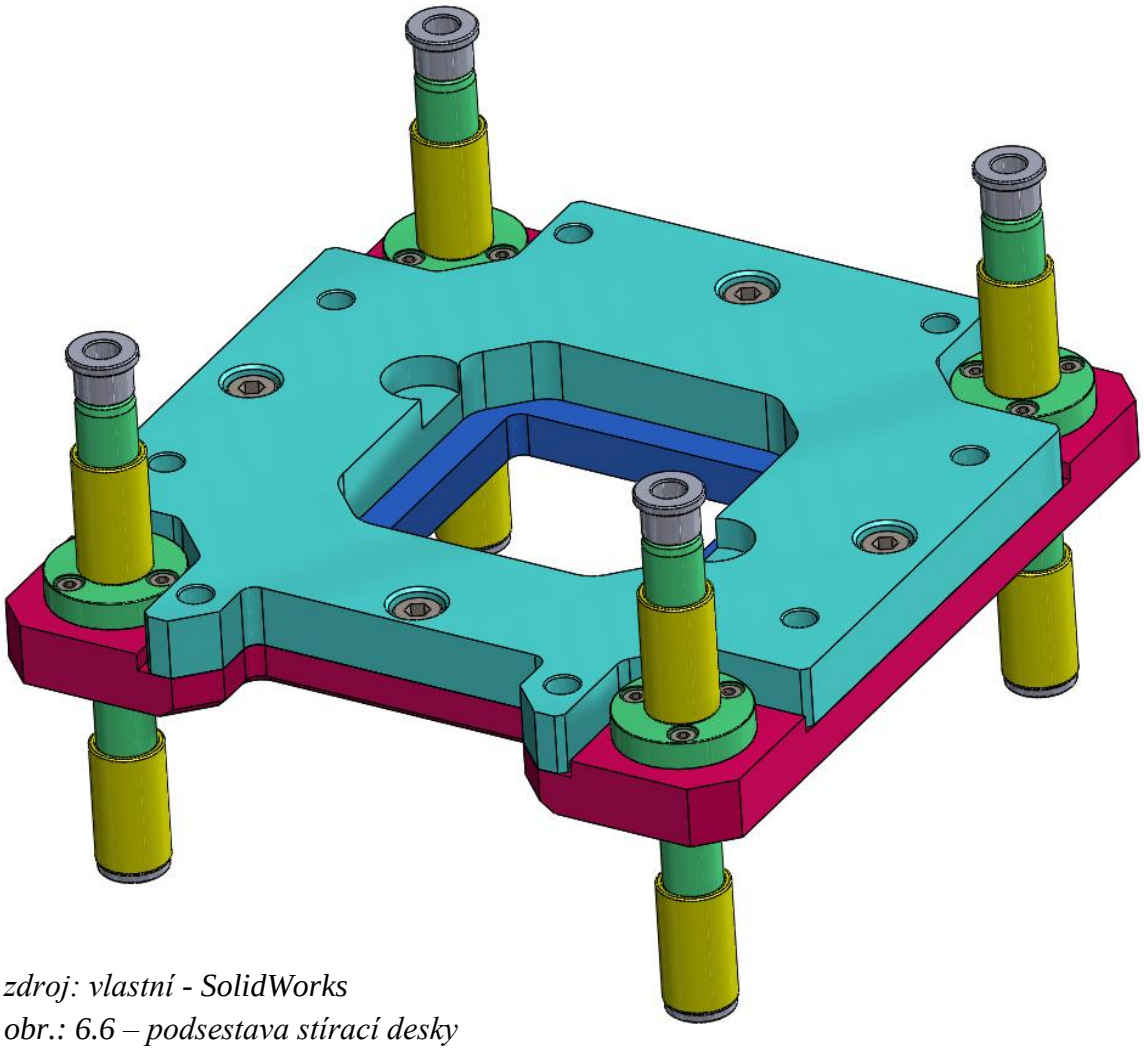
zdroj: vlastní - SolidWorks
obr.: 6.4 – podsestavy nástroje

Na obrázku 6.5 je spodní podsestava nástroje. Tu tvoří hliníková základová deska (šedá barva) s vybráním pro upnutí k lisu pomocí dvou šroubů a upínek. V desce jsou otvory pro nalisování vodících pouzder (černá barva) ze sestavy velkého vodícího sloupku (obr. 6.2). K desce jsou pomocí zapuštěného šroubu připevněny spodní dorazy (khaki b.) lisovacího nástroje. V hlavní základové desce jsou ze spodní části otvory pro pružiny, které se zajišťují zátkou. Na desce je pomocí kolíků (růžová b.) ustavena kalená podložka (zelená b.) s otvory pro jezdce obstarávající přenos síly z pružin. Na podložce je nástavba základny (žlutá b.) z nástrojové oceli, v níž je vložka, na kterou tlačí jezdce. Nástavba je kolíkově ustavena a spojena s hlavní deskou pomocí dvou šroubů. V nástavbě jsou čtyři otvory pro nalisování vodících pouzder menších sloupků (obr 6.3.) Na nástavbě je opět pomocí kolíků spojujících tyto součásti ustavena konzola ohybového bloku (modrá b.) a upnuta k hlavní hliníkové desce pomocí čtyř zapuštěných šroubů. Do konzoly se vkládá ohybový blok (červená b.) a zajišťuje se pomocí dvou šroubů s kalenými podložkami. V ohybovém bloku se volně pohybuje přidržovací blok (světlezelená b.), který dosedá na zmiňovanou vložku. Blok se pohybuje, pokud na něj tlačí materiál směrem do nitra sestavy až o zdvih 14 mm. To je zajištěno pomocí navrženého uložení a šroubovitých tlačných pružin nekruhového průřezu. Na konzole ohybového bloku je patrné vybrání pro větší prostor operátora při manipulaci s materiálem.



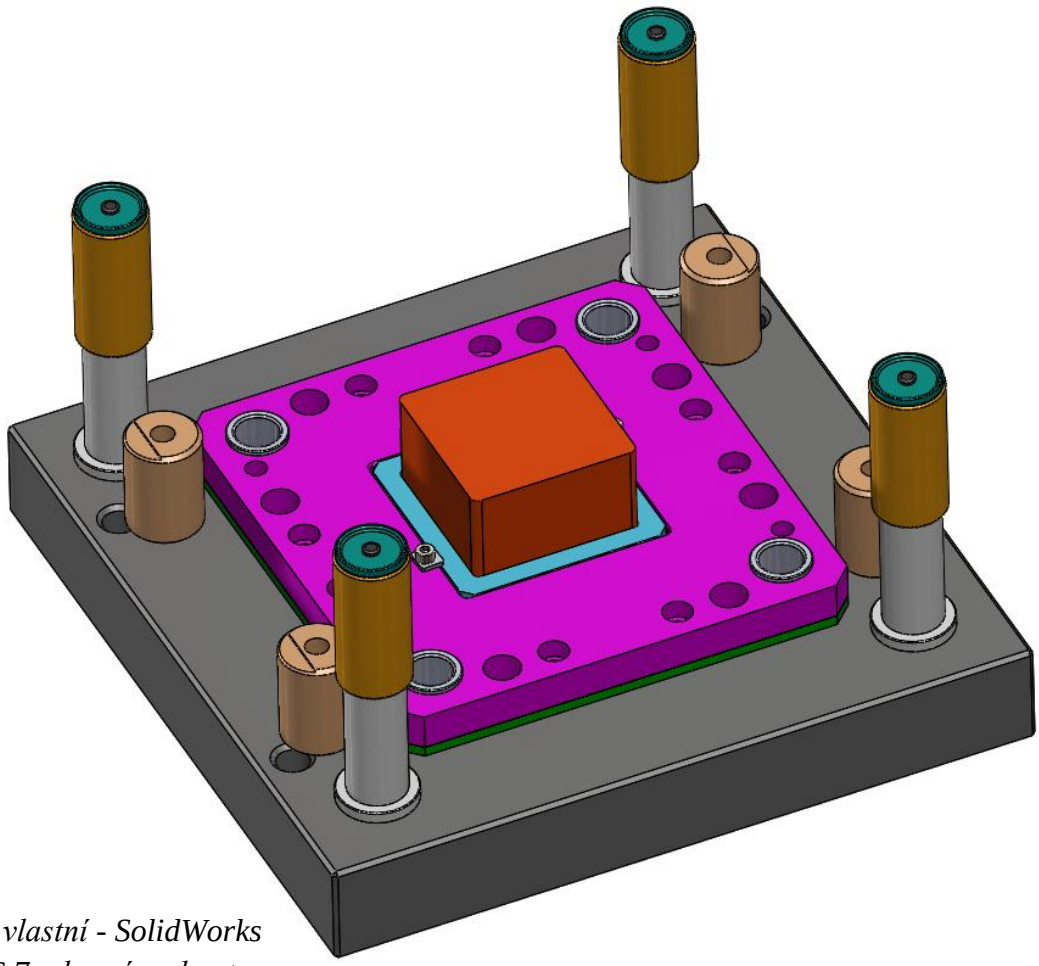
zdroj: vlastní - SolidWorks
obr.: 6.5 – spodní podsestava

Základem podsestavy stírací desky (obr. 6.6) je konzola (rubínová barva) z nástrojové oceli. Ke konzole jsou pomocí šroubů připevněny a uloženy malé vodící sloupky (obr. 6.3) popsané v předchozím textu. V konzole je otvor a vybrání, do něhož je pomocí konstrukčního zámku, který je popsán v kapitole zabývající se DFX metodami, uložena stírací deska (tmavě modrá b.) lisovacího nástroje. Ke konzole stírací desky je do materiálového vybrání připevněn kryt (světlomodrá b.) pomocí čtyř zahloubených šroubů. Kryt kotví stírací desku, jelikož její výška je záměrně navržena k umožnění tohoto spojení. V krytu je možno vidět otvor pro razník a odlehčení pro podložky a šrouby, které kotví razník k horní podsestavě. Na kryt při lisování materiálu dosedá kotevní deska razníku. Spojení podsestavy stírací desky a horní podsestavy je provedeno pomocí kalených prvků spojených s krytem pomocí šroubů. Závity pro 8 šroubů jsou patrné na horní straně krytu. Pružné spojení je navrženo na stejném principu jako ve spodní podsestavě. Tedy pomocí šroubovitých pružin a kalených prvků, které jsou k podsestavě stírací desky připevněny šrouby.



zdroj: vlastní - SolidWorks
obr.: 6.6 – podsestava stírací desky

Na obrázku 6.7 je horní podsestava lisovacího nástroje natočená obráceně z důvodu přehlednosti při popisu. Sestavu tvoří hliníková základová deska (šedá barva) s vybráním pro upnutí k lisu pomocí dvou šroubů a upínek. V desce jsou otvory pro nalisování hřídelí (bílo šedá barva) ze sestavy velkého vodícího sloupku (obr. 6.2). K desce jsou pomocí zapuštěného šroubu připevněny spodní dorazy (lososová b.) lisovacího nástroje. V hlavní základové desce jsou ze spodní části otvory pro pružiny, které se zajišťují zátkou. Na desce je pomocí kolíků ustavena kalená podložka (zelená b.) s otvory pro jezdce obstarávající přenos síly z pružin na podsestavu stírací desky. Pružné spojení je navrženo pomocí osmi tlačných pružin a kalených prvků, které jsou připevněny šrouby k podsestavě stírací desky. Na kalené podložce je konzola kotevní desky (fialová b.), která je ustavena kolíky a spojena pomocí osmi šroubů k hliníkové základové desce. V konzole jsou otvory pro uložení pouzder malých vodících sloupků (obr. 6.3). Do konzoly je navržena kotevní deska razníku (světle modrá b.), která se zajišťuje pomocí dvou šroubů s kalenými podložkami. V kotevní desce je pomocí tvarových zámků, popsaných v kapitole DFX metod uložen razník lisovacího nástroje (červená barva).



zdroj: vlastní - SolidWorks
obr.: 6.7 – horní podsestava

6.1 Výpočtová část konstrukčního návrhu

V rámci konstrukčního návrhu byly navrženy šroubovité tlačné pružiny, zajišťující dostatečný přidržovací výkon v sestavě lisovacího nástroje. Pružiny slouží k vyvození síly na přidržovací blok a zároveň na stírací desku. Tyto síly jsou potřebné k zajištění technologie stříhání, prostřihávání a ohýbání.

Při stříhání a nastřihávání materiálu je třeba vyvodit síly na stírací desce a zároveň na přidržovači. Na stírací desku působí 8 šroubovitých tlačných pružin. Na přidržovací desku 5 těchto pružin.

U technologie ohýbání se plechový polotovar vkládá mezi kolíky a stírací deska není žádoucí. Při ohýbání je nutný pouze přidržovací blok, který vyvine dostatečnou sílu k přidržení.

Střižné a ohybové síly, včetně konkrétního návrhu pružin jsou součástí výpočtové části konstrukčního návrhu lisovacího nástroje. Ve výpočtové části se počítá s cílovými hodnotami inovace jako s maximálními možnými. Proto jsou pružiny dimenzovány a navrhovány na maximální provozní hodnoty. Při změně parametrů je vhodné použít pružiny s menší tuhostí, ovšem volná délka a průměr díry určené pro pružinu zůstávají shodné.

Navržené pružiny jsou dimenzovány na plech tloušťky 0,5 mm, maximální střižný nebo ohybový obvod 300mm a na materiál NS77.

6.1.1 Výpočet střižné síly v nástroji dle ČSN 22 6015:

Střižná síla [11]

$$F_s = S \cdot k_s = l \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m = 300 \cdot 0,5 \cdot 0,8 \cdot 395 = 47400 \quad [N] \qquad (1)$$

S – plocha střihu [mm^2]
k_s – střižný odpor [$N.mm^{-2}$]
l – délka střihu [mm]
t – tloušťka stříhaného material [mm]
R_m – napětí na mezi pevnosti v tahu [$N.mm^{-2}$]

Skutečná střižná síla [11]

$$F_{skut.} = k_x \cdot F_s = 1{,}1 \cdot 47400 = 52140 \quad [N] \tag{2}$$

k_x = 1,1 – opravný koeficient zahrnující vnější vlivy střihu [11], jelikož se jedná o přesné stříhání tenkých plechů s využitím přítlačné stírací desky, byla zvolena velikost koeficientu na nižší mezi

Střižná práce [11]

$$A = \frac{k_1 \cdot F_{skut.} \cdot t}{1000} = \frac{0{,}65 \cdot 52140 \cdot 0{,}5}{1000} = 16{,}95 \quad [J] \tag{3}$$

k_1 = 0,65 koeficient závislý na druhu a tloušťce materiálu

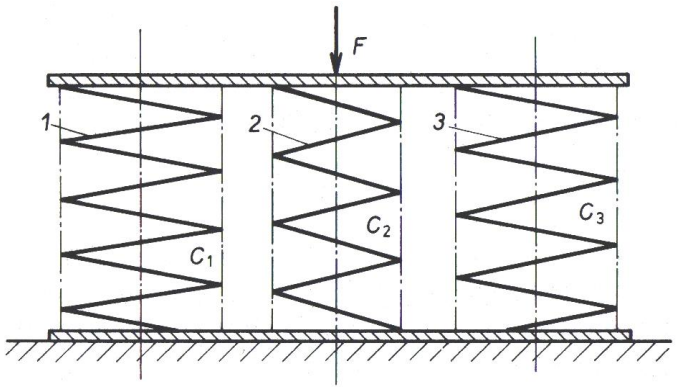
Síla nutná k přidržení materiálu [11]

$$F_{přid.} = k_2 \cdot F_{skut.} = 0{,}25 \cdot 52140 = 13035 \quad [N] \tag{4}$$

k_1 = 0,25 – koeficient poměru střižné síly a síly pro přidržení [11]
Koeficient byl stanoven záměrně vyšší, než uvádí daná norma z důvodu předpokládané větší potřebné síly na přidržení.

Výpočtem pružin se zabývá norma ČSN EN 13906-1

Výsledná tuhost systému paralelně spojených pružin [9]



zdroj: [9]
obr.: 6.8 – tuhost systému

$$C = \sum_{1}^{i} \frac{F_i}{y_i} \quad [N] \tag{5}$$

F_i = síla působící na pružinu „i“ [N]
y_i = pracovní zdvih pružiny „i“ [mm]

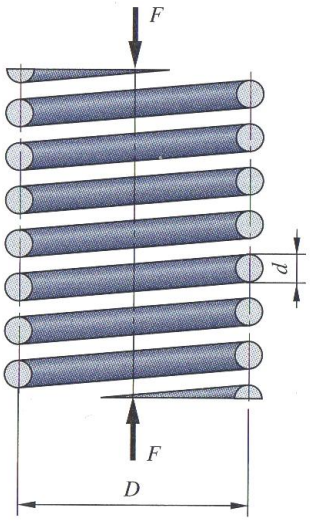
6.1.2 Výpočet tlačné šroubové pružiny v konzole stírací desky

Velikost síly působící na pružinu [9]

$$F_{přid.} = \sum_{1}^{i} F_i \quad [N] \tag{6}$$

$$\overset{i}{F}_{1} = F_1 = \frac{F_{přid.}}{8} = \frac{13035}{8} = 1629,375 \quad [N] \tag{7}$$

i = 8 – počet pružin působících na odpruženou stírací desku je dán konstrukčním návrhem



zdroj: [9]
obr.: 6.9 – síly na pružině

Potřebná síla vyvinutá pružinou [7]

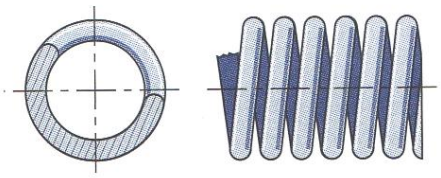
$$F_p = (1+\xi)\cdot F_1 = (1+0,20)\cdot 1629,375 = 1955,25 \quad [N] \tag{8}$$

$\xi \geq 0,15$ – součinitel přetížení volím: $\xi = 0,20$ [-]

Musíme vycházet z toho, že plně zatížený stav pružiny odpovídá bodu ležícímu v intervalu 0,125÷0,875 střižné síly. Pro sílu vyvinutou plně zatíženou pružinou musí být velikost maximální síly $F_{max} \leq 7/8$ střižné síly F_p.

Návrhované parametry válcové tlačné pružiny:

$D_{e\,max}$ = 26 mm; $L_{o\,max}$ = 44 mm; y_{min} = 10 mm, y_{max} = 14 mm; y = 12 mm d = 6 mm, D = 22.5 mm, konce otevřeny a obrobeny (obr. 6.10), pružinový drát třídy SH dle DIN EN 10270-1 (obr. 6.11)



zdroj: [7]
obr.: 6.10 – konce pružiny

Tuhost pružiny [7]

$$R = \frac{dF}{dy} = \frac{F_P}{y} = \frac{1873,78}{12} = 156,14 \quad \left[N \cdot mm^{-1}\right] \tag{9}$$

y = 4 – požadovaná velikost pracovního zdvihu [mm]

Poddajnost pružiny *[9]*

$$c = \frac{1}{R} = \frac{1}{156,14} = 6,40 \cdot 10^{-3} \quad \left[mm \cdot N^{-1}\right] \tag{10}$$

Určení parametrů pružinového materiálu [11]

Meze pevnosti a oblasti použití jednotlivých tříd drátů podle DIN EN 10270-1. (D. Muhs, H. Wittel, D. Jannasch, J. Voßiek, *Roloff/Matek Maschinenelemente, Tabellen*, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden, 2007, s. 113)

třída drátu	oblast použití	průměr drátu d (mm)	mez pevnosti R_m (MPa)
SL	tlačné, tažné nebo zkrutné pružiny, které jsou převážně vystaveny nízkému statickému zatížení.	1–10	$R_m \approx 1\,720 - 660 \lg d$
SM	tlačné, tažné nebo zkrutné pružiny, které jsou vystaveny střednímu statickému nebo ojedinělému dynamickému zatížení.	0,3–20	$R_m \approx 1\,980 - 740 \lg d$
DM	tlačné, tažné nebo zkrutné pružiny, které jsou vystaveny střednímu dynamickému zatížení; ostatní pružiny, které jsou vystaveny vysokému ohybovému namáhání.	0,3–20	$R_m \approx 1\,980 - 740 \lg d$
SH	tlačné, tažné nebo zkrutné pružiny, které jsou vystaveny vysokému statickému nebo nízkému dynamickému zatížení.	0,3–20	$R_m \approx 2\,330 - 900 \lg d$
DH	tlačné, tažné, zkrutné a ostatní pružiny, které jsou vystaveny vysokému statickému nebo střednímu dynamickému zatížení.	0,3–20	$R_m \approx 2\,330 - 900 \lg d$

zdroj: [7]
obr.: 6.11 – parametry drátu

Volba třídy – SH, oblast použití: tlačné, tažné, zkrutné pružiny, které jsou vystaveny vysokému statickému nebo nízkému dynamickému namáhání.

Napětí na mezi pevnosti v tahu pro pružinový drát [7]

$$R_m \approx 2330 - 900 \cdot \log d = 2330 - 900 \cdot \log 6 = 1629,66 \quad [MPa] \tag{11}$$

d = 6 – průměr pružinového drátu (mm)

Dovolené smykové napětí pro pružinovou ocel s vysokou mezí pevnosti v tahu [7]

$$R_{se} = 0,56 \cdot R_m = 0,56 \cdot 1629,66 = 912,61 \quad [MPa] \tag{12}$$

Poměr vinutí [7]

$$w = \frac{D}{d} = \frac{22,5}{6} = 3,75 \quad [-] \tag{13}$$

Vliv zakřivení závitů pružiny na smykové napětí společně s vlivem posouvající síly. Wahlův (K_W) a Bergsträsserův součinitel (K_B). [7]

$$K_W = \frac{4w-1}{4w-4} + \frac{0,615}{w} \quad [-] \tag{14}$$

$$K_B = \frac{4w+2}{4w-3} \quad [-] \tag{15}$$

Protože hodnoty součinitelů získané z těchto rovnic se liš méně než o 1%, je výhodnější používat Bergsträsserův součinitel K_B.

$$K_B = \frac{4w+2}{4w-3} = \frac{4 \cdot 3,75 + 2}{4 \cdot 3,75 - 3} = 1,42 \quad [-] \tag{16}$$

Počet činných závitů [7]

$$n_a = \frac{G \cdot d^4 \cdot y}{8 \cdot D^3 \cdot F_P} = \frac{81500 \cdot 6^4 \cdot 12}{8 \cdot 22,5^3 \cdot 1955,25} = 7,11 \quad [-] \tag{17}$$

G = 81500 – modul pružnosti ve smyku [MPa]
Dle výrobní zvyklosti upravíme počet činných závitů: $n_a = 7$

Celkový počet závitů [7]

$$n_t = n_a + n_e = 7 + 1 = 8 \quad [-] \tag{18}$$

$n_e = 1$, pružina má konce otevřené a obrobené

název veličiny	provedení konce pružiny			
	otevřený neobrobený	otevřený obrobený	uzavřený neobrobený	uzavřený obrobený
počet závěrných závitů n_e	0	1	2	2
celkový počet závitů n_t	n_a	$n_a + 1$	$n_a + 2$	$n_a + 2$
délka pružiny ve volném stavu L_0	$pn_a + d$	$p(n_a + 1)$	$pn_a + 3d$	$pn_a + 2d$
délka pružiny v mezním stavu L_s	$d(n_t + 1)$	dn_t	$d(n_t + 1)$	dn_t
rozteč činných závitů ve volném stavu p	$(L_0 - d)/n_a$	$L_0/(n_a + 1)$	$(L_0 - 3d)/n_a$	$(L_0 - 2d)/n_a$

zdroj: [7]
obr.: 6.12 – konce pružin

Délka pružiny v mezním stavu [7]

$$L_S = d \cdot n_t = 6 \cdot 8 = 48 \quad [mm] \tag{19}$$

Délka pružiny ve volném stavu [7]

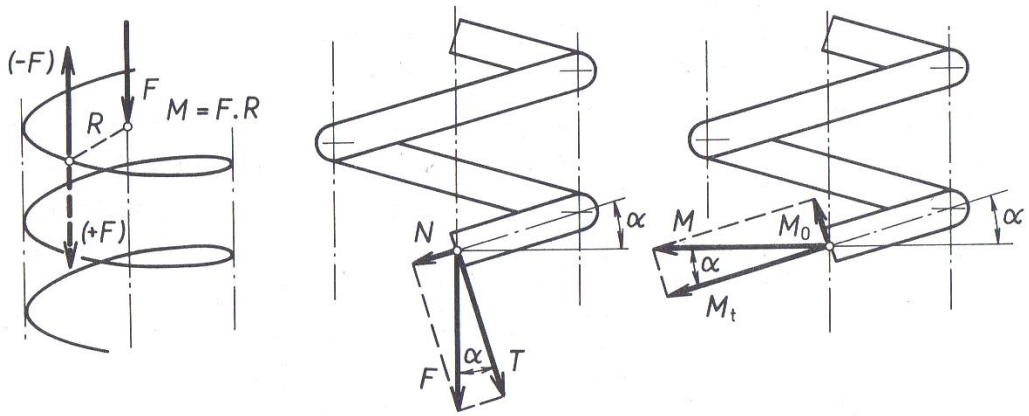
$$L_0 = y + L_S = 12 + 48 = 60 \quad [mm] \tag{20}$$

Rozteč činných závitů ve volném stavu [7]

$$p = \frac{L_o}{n_a + n_e} = \frac{60}{7+1} = 7{,}5 \quad [mm] \tag{21}$$

Namáhání pružin [7]

Závity šroubových pružin jsou obecně namáhány složeným namáháním. Společně kroutícím momentem, ohybovým momentem, smykovou silou a normálnou silou. [9]



zdroj: [9]
obr.: 6.13 – namáhání pružin

Kroutící moment : $Mt = M \cdot \cos\alpha = F \cdot R \cdot \cos\alpha \quad [N \cdot mm]$ (22)

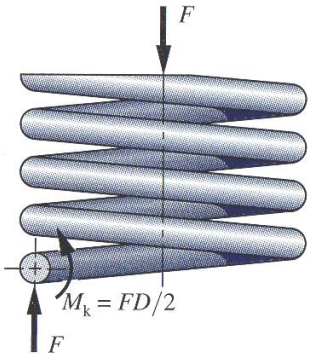
Ohybový moment: $Mo = M \cdot \sin\alpha = F \cdot R \cdot \sin\alpha \quad [N \cdot mm]$ (23)

Smyková síla: $T = F \cdot \cos\alpha \quad [N]$ (24)

Normálná síla $N = F \cdot \sin\alpha \quad [N]$ (25)

Při poměru vinutí $w \leq 10$, se kombinované namáhání nahrazuje pouze kroutícím momentem. [9]

Maximální smykové napětí v drátu pružiny [7]



zdroj: [7]
obr.: 6.14 – smykové napětí

$$\tau_S = \frac{K_B \cdot M_K}{W_K} \tag{26}$$

M_K – kroutící moment působící na drát pružiny [N.mm]

$$M_K = F_P \cdot \frac{D}{2} = 1955,25 \cdot \frac{22,5}{2} = 21996,56 \quad [N \cdot mm] \tag{27}$$

W_K – modul průřezu v krutu pro kruh [mm^3]

$$W_K = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{\pi \cdot 6^3}{16} = 42,41 \quad [mm^3] \tag{28}$$

Poté: $$\tau_S = \frac{K_B \cdot M_K}{W_K} = \frac{1,42 \cdot 21996,56}{42,41} = 736,50 \quad [MPa] \tag{29}$$

Součinitel bezpečnosti [7]

$$k_k = \frac{R_{se}}{\tau_S} = \frac{912,61}{736,50} = 1,24 \quad [-] \tag{30}$$

Navržená pružina s kruhovým průřezem vyhovuje bezpečnostními parametry $k_k \geq 1{,}2$, ale nerespektuje konstrukční doporučení $4 \leq w \leq 20$ pro pružiny vinuté za studena a $3 \leq w \leq 20$ pro pružiny vinuté za tepla. Jelikož poměr vinutí navržené pružiny w=3 je na spodní hranici, pružina se bude obtížněji tvarovat a hrozí nebezpečí vzniku trhlin na povrchu drátu. [7]

Maximální prostor pro pružinu dle konstrukčního návrhu je $L_{o\ max}$ = 44 mm. Pružina nevyhovuje, jelikož byla vypočtena její velikost v nezatíženém stavu L_o = 60 mm.

Proto bude proveden návrh a výpočet speciální nástrojové pružiny nekruhového průřezu vyráběné dle normy ISO 10263.

zdroj: bordignonsprings.com
obr.: 6.15 – pružiny ISO 10263

Konstrukční rozměrová volba pružiny – vstupní parametry zůstávají stejné jako u pružiny s kruhovým průřezem: D_{emax} = 26 mm; $L_{o\ max}$ = 44 mm;

Z katalogu italského výrobce Mollificio Bordignon volíme rozměry a parametry pružiny odpovídající normě ISO 10 243: [13]

Katalogové číslo: 3S6045

D_{max} = 25 mm; d_{min} = 12,5 mm; D_e = 18.75 mm;
y_{max} = 13,2 mm; F_{max} = 2468 N;
b = 5,6 mm; h= 4,1 mm, S= 22,96 mm^2; b/h = 1,366;
L_0= 44 mm, konce uzavřeny a obrobeny,
pružinový drát třídy DH dle DIN EN 10270-1

zdroj: Mollificio Bordignon
obr.: 6.16 – pružiny 3S

Tuhost pružiny [7]

$$R = \frac{dF}{dy} = \frac{F_P}{y} = \frac{2468}{13,2} = 187 \quad \left[N \cdot mm^{-1}\right] \tag{31}$$

y – velikost pracovního zdvihu [mm]

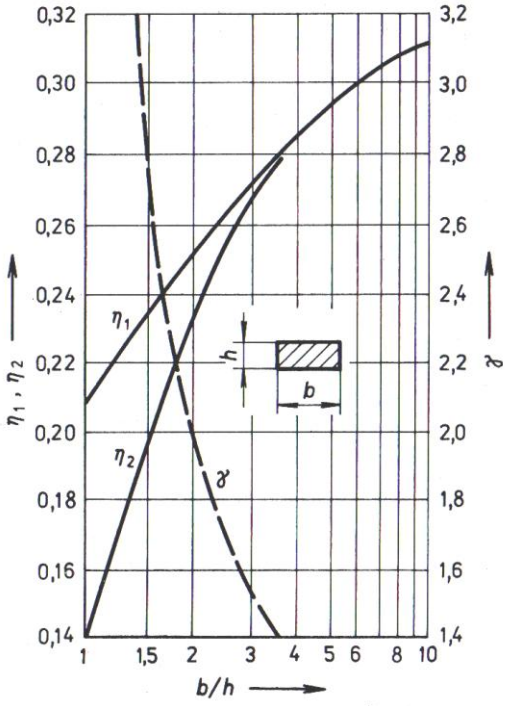
Poddajnost pružiny [7]

$$c = \frac{1}{R} = \frac{1}{157} = 6,37 \cdot 10^{-3} \quad \left[mm \cdot N^{-1}\right] \tag{32}$$

Modul průřezu v krutu [9]

$$W_k = \eta_1 \cdot h^2 \cdot b = 0,225 \cdot 4,1^2 \cdot 5,6 = 21,18 \quad \left[mm^3\right] \tag{33}$$

$\eta_1 = 0,225$ – součinitel pro krut obdélníkových průřezů [9]



zdroj: [9]
obr.: 6.17 – součinitel η_1

Délka pružiny v mezním stavu [7]

$$L_s = L_o - y_{\max} = 44 - 13,2 = 30,8 \quad \left[mm\right] \tag{34}$$

Celkový počet závitů [7]

$$n_t = \frac{L_s}{h} = \frac{30,8}{4,1} = 7,51 \quad \left[-\right] \tag{35}$$

Počet činných závitů [7]

$$n_a = n_t - n_e = 7,51 - 2 = 5,51 \quad [-] \tag{36}$$

Rozteč činných závitů ve volném stavu [7]

$$p = \frac{L_o - 2h}{n_a} = \frac{44 - 2 \cdot 4,1}{5,51} = 6,50 \quad [mm] \tag{37}$$

Určení parametrů pružinového materiálu [7]

Třída – DH, oblast použití: tlačné, tažné, zkrutné pružiny, které jsou vystaveny vysokému statickému nebo střednímu dynamickému namáhání

Napětí na mezi pevnosti v tahu [7]

$$R_m \approx 2330 - 900 \log k_M \quad [MPa] \tag{38}$$

$$k_M = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{22,96}{\pi}} = 2,97 \quad [-] \tag{39}$$

Poté: $R_m \approx 2330 - 900 \log k_M \approx 2330 - 900 \cdot \log 2,97 = 1904,52 \quad [MPa]$ (40)

Dovolené smykové napětí pro pružinovou ocel s vysokou mezí pevnosti v tahu [7]

$$R_{se} = 0,56 \cdot R_m = 0,56 \cdot 1904,52 = 1066,53 \quad [MPa] \tag{41}$$

Výsledné napětí v krutu pro nekruhový průřez pružiny [7]

$$\tau_S = \frac{Mk}{Wk} \leq R_{se} \quad [MPa] \tag{42}$$

$$\tau_S = \frac{M_k}{W_k} = \frac{F_P \cdot D}{2 \cdot W_k} = \frac{1955,25 \cdot 18,75}{2 \cdot 21,18} \doteq 865,46 \quad [MPa] \tag{43}$$

Součinitel bezpečnosti [7]

$$k_k = \frac{R_{se}}{\tau_S} = \frac{1066,53}{865,46} = 1,23 \quad [-] \tag{44}$$

6.1.3 Výpočet tlačné šroubovité pružiny v konzole přidržovacího bloku

Výpočet pro vytvoření potřebných přidržovacích sil při stříhání materiálu.

$$F_{přid.} = \sum_{1}^{i} F_i \quad [N] \tag{45}$$

$$\overset{i}{F}_1 = F_1 = \frac{F_{přid.}}{5} = \frac{13035}{5} = 2607 \quad [N] \tag{46}$$

i = 5 – počet pružin působících na přidržovač je dán konstrukčním návrhem

$$F_p = (1+\xi)\cdot F_1 = (1+0{,}15)\cdot 2607 = 2998.05 \doteq 3000 \quad [N] \tag{47}$$

$\xi \geq 0{,}15$ – součinitel přetížení [-]

Musíme vycházet z toho, že plně zatížený stav pružiny odpovídá bodu ležícímu v intervalu 0,125÷0,875 střižné síly. Pro sílu vyvinutou plně zatíženou pružinou musí být velikost maximální síly $F_{max} \leq 7/8$ střižné síly F_p. [7]

Navrhované parametry válcové tlačné pružiny:

$D_{e\,max}$ = 26 mm; $L_{o\,max}$ = 38 mm; y_{max} = 4 mm, d = 7 mm, D = 21 mm, konce otevřeny a obrobeny, pružinový drát třídy SH dle DIN EN 10270-1

$$R = \frac{dF}{dy} = \frac{F_P}{y} = \frac{3000}{4} = 750 \quad \left[N \cdot mm^{-1}\right] \tag{48}$$

y = 4 – požadovaná velikost pracovního zdvihu [mm]

$$c = \frac{1}{R} = \frac{1}{948} = 1{,}333\cdot 10^{-3} \quad \left[mm \cdot N^{-1}\right] \tag{49}$$

$$R_m \approx 2330 - 900\cdot \log d = 2330 - 900\cdot \log 7 = 1569{,}41 \quad [MPa] \tag{50}$$

$$R_{se} = 0{,}56\cdot R_m = 0{,}56\cdot 1569{,}41 = 878{,}87 \quad [MPa] \tag{51}$$

$$w = \frac{D}{d} = \frac{21}{7} = 3 \quad [-] \tag{52}$$

$$K_B = \frac{4w+2}{4w-3} = \frac{4\cdot 3+2}{4\cdot 3-3} = 1{,}55[-] \tag{53}$$

$$n_a = \frac{G \cdot d^4 \cdot y}{8 \cdot D^3 \cdot F_P} = \frac{81500 \cdot 7^4 \cdot 4}{8 \cdot 21^3 \cdot 3000} = 3,52 \quad [-] \tag{54}$$

Dle výrobní zvyklosti upravíme počet činných závitů: $n_a = 3,5$

$$n_t = n_a + n_e = 3,5 + 1 = 4,5 \quad [-] \tag{55}$$

$n_e = 1$, pružina má konce otevřené a obrobené

$$L_S = d \cdot n_t = 7 \cdot 4,5 = 31,5 \quad [mm] \tag{56}$$

$$p = \frac{L_o}{n_a + 1} = \frac{38}{3,5 + 1} = 8,44 \quad [mm] \tag{57}$$

$$M_K = F_P \cdot \frac{D}{2} = 3000 \cdot \frac{21}{2} = 31500 [N \cdot mm] \tag{58}$$

$$W_K = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{\pi \cdot 7^3}{16} = 67,35 \quad [mm^3] \tag{59}$$

$$\tau_S = \frac{K_B \cdot M_K}{W_K} = \frac{1,55 \cdot 31500}{67,35} = 724,94 \quad [MPa] \tag{60}$$

$$k_k = \frac{R_{se}}{\tau_S} = \frac{878,87}{724,94} = 1,21 \quad [-] \tag{61}$$

Navržená pružina s kruhovým průřezem vyhovuje bezpečnostními parametry $k_k \geq 1,2$. Ale nerespektuje konstrukční doporučení $4 \leq w \leq 20$ pro pružiny vinuté za studena a $3 \leq w \leq 20$ pro pružiny vinuté za tepla. Jelikož poměr vinutí navržené pružiny w=3 je na spodní hranici, pružina se bude obtížněji tvarovat a hrozí nebezpečí vzniku trhlin na povrchu drátu. [7]

Proto bude proveden návrh a výpočet speciální nástrojové pružiny nekruhového průřezu vyráběné dle normy ISO 10263.

Konstrukční rozměrová volba pružiny – vstupní parametry zůstávají stejné jako u pružiny s kruhovým průřezem: D_{emax} = 26 mm; $L_{o\,max}$ = 38 mm;
Z katalogu italského výrobce Mollificio Bordignon volíme rozměry a parametry pružiny odpovídající normě ISO 10 243: [13]

Katalogové číslo: 5S19044

D_{max} = 25 mm; d_{min} = 12,5 mm; D_e = 18.75 mm;
b = 5,7 mm; h= 7,4 mm, S= 42,18 mm^2; h/b = 1,3;
pružina upravena L_0= 38 mm,
první konec uzavřen a obroben, druhý otevřen a obroben
parametry přepočteny: $y_{max} \approx 5{,}5$ mm; $F_{max} \approx 7800$ N;
pružinový drát třídy DH dle DIN EN 10270-1

zdroj: bordignonsprings.com
obr.: 6.18 – pružiny 5S

$$R = \frac{dF}{dy} = \frac{F_P}{y} = \frac{7900}{5} = 1580 \quad \left[N \cdot mm^{-1}\right] \tag{62}$$

y = 5 – velikost pracovního zdvihu [mm]

$$c = \frac{1}{R} = \frac{1}{1580} = 6{,}33 \cdot 10^{-4} \quad \left[mm \cdot N^{-1}\right] \tag{63}$$

$$L_s = L_o - y_{\max} = 38 - 5 = 33 \quad \left[mm\right] \tag{64}$$

$$n_t = \frac{L_s}{h} = \frac{33}{7{,}4} = 4{,}46 \quad \left[-\right] \tag{65}$$

$$n_a = n_t - n_e = 4{,}24 - 2 = 2{,}46 \quad \left[-\right] \tag{66}$$

$$p = \frac{L_o - 2h}{n_a} = \frac{38 - 2 \cdot 7{,}4}{2{,}46} = 9{,}43 \quad \left[mm\right] \tag{67}$$

$$W_k = \beta \cdot h^2 \cdot b = 0{,}19 \cdot 7{,}4^2 \cdot 5{,}7 = 59{,}31 \quad \left[mm^3\right] \tag{68}$$

$$k_M = 1{,}1 \cdot \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 1{,}1 \cdot \sqrt{\frac{42{,}18}{\pi}} = 4{,}03 \quad \left[-\right] \tag{69}$$

$$R_m \approx 2330 - 900 \log k_M \approx 2330 - 900 \log 4,03 = 1785,225 \quad [MPa] \tag{70}$$

$$R_{se} = 0,56 \cdot R_m = 0,56 \cdot 1785,225 = 999,72 \quad [MPa] \tag{71}$$

$$R_{se} \doteq 1000 \quad [MPa] \tag{72}$$

$$\tau_S = \frac{M_k}{W_k} = \frac{F_P \cdot D}{2 \cdot W_k} = \frac{2600 \cdot 18,75}{2 \cdot 59,31} \doteq 411 \quad [MPa] \tag{73}$$

$$k_k = \frac{R_{se}}{\tau_S} = \frac{1000}{411} = 2,43 \quad [-] \tag{74}$$

6.1.4 Výpočet ohýbací síly v nástroji dle ČSN 22 7340

Ohýbací síla [12]

$$F_O = \frac{0,4 \cdot R_m \cdot t^2 \cdot B}{l_m} \quad [N] \tag{75}$$

l_m – rameno, na kterém působí síla ohybu [N.mm^{-2}]
B – součet všech šířek ohybů [mm]
t – tloušťka stříhaného material [mm]
R_m – napětí na mezi pevnosti v tahu [N.mm^{-2}]

$$l_m = r_m + t + r_p = 0,5 + 0,5 + 0,1 = 1,1 \quad [mm] \tag{76}$$

r_m – poloměr ohybu ohybového bloku [mm]
r_p – poloměr ohybu před odpružením [mm]

$$F_O = \frac{0,4 \cdot R_m \cdot t^2 \cdot b}{l_m} = \frac{0,4 \cdot 395 \cdot 0,5^2 \cdot 300}{1,1} = 10772,73 \quad [N] \tag{77}$$

Skutečná ohybová síla

$$F_{Oskut.} = k_X \cdot F_o = 1,3 \cdot 10772,73 = 14004,55 \quad [N] \tag{78}$$

k_x = 1,3 – opravný koeficient zahrnující vnější vlivy ohybu, jelikož se jedná o přesné ohýbání tenkých plechů s poměrně malým tažením v rozích

Ohybová práce [12]

$$A = \frac{m \cdot F_{Oskut.} \cdot h_u}{1000} = \frac{0{,}167 \cdot 14004{,}55 \cdot 12{,}5}{1000} = 29{,}23 \quad [J] \tag{79}$$

h_u = 12,5 – pracovní zdvih [mm]

m = 0,167 – součinitel respektující průběh síly [-]

Síla nutná k přidržení materiálu [12]

$$F_{Opřid.} = k_2 \cdot F_{skut.} = 0{,}25 \cdot 14004{,}55 = 3501{,}14 \quad [N] \tag{80}$$

k_2 = 0,25 – koeficient poměru ohýbací síly a síly pro přidržení [12]

6.1.5 Výpočet tlačné pružiny v konzole přidržovacího bloku

Výpočet pro vytvoření potřebných přidržovacích sil při stříhání materiálu.

Velikost síly působící na pružinu [9]

$$F_{Opřid.} = \sum_{1}^{i} F_i \quad [N] \tag{81}$$

$$\overset{i}{F}_1 = F_1 = \frac{F_{Opřid.}}{5} = \frac{3501{,}14}{5} = 700{,}23 \quad [N] \tag{82}$$

$$F_p = (1+\xi) \cdot F_1 = (1+0{,}17) \cdot 700{,}23 = 819{,}27 \doteq 820 \quad [N] \tag{83}$$

$\xi \geq 0{,}15$ – součinitel přetížení [-]

Navrhované parametry válcové tlačné pružiny:

$D_{e\,max}$ = 26 mm; $L_{o\,max}$ = 38 mm; y = 14,5 mm, d = 4,5 mm, D = 23 mm, konce otevřeny a obrobeny, pružinový drát třídy SH dle DIN EN 10270-1

$$R = \frac{dF}{dy} = \frac{F_P}{y} = \frac{820}{14{,}5} = 56{,}55 \quad [N \cdot mm^{-1}] \tag{84}$$

y = 14,5 – požadovaná velikost pracovního zdvihu [mm]

$$c = \frac{1}{R} = \frac{1}{948} = 1{,}77 \cdot 10^{-2} \quad [mm \cdot N^{-1}] \tag{85}$$

$$R_m \approx 2330 - 900 \cdot \log d = 2330 - 900 \cdot \log 4{,}5 = 1742{,}11 \quad [MPa] \tag{86}$$

d = 4,5 - průměr pružinového drátu [mm]

$$R_{se} = 0,56 \cdot R_m = 0,56 \cdot 1742,11 = 975,58 \quad [MPa] \tag{87}$$

$$w = \frac{D}{d} = \frac{23}{4,5} = 5,11 \quad [-] \tag{88}$$

$$K_B = \frac{4w+2}{4w-3} = \frac{4 \cdot 5,11+2}{4 \cdot 5,11-3} = 1,29 \quad [-] \tag{89}$$

$$n_a = \frac{G \cdot d^4 \cdot y}{8 \cdot D^3 \cdot F_P} = \frac{81500 \cdot 4,5^4 \cdot 14,5}{8 \cdot 23^3 \cdot 820} = 6,07 \quad [-] \tag{90}$$

Dle výrobní zvyklosti upravíme počet činných závitů: $n_a = 6$

$$n_t = n_a + n_e = 6+1 = 7 \quad [-] \tag{91}$$

$$L_S = d \cdot n_t = 4,5 \cdot 7 = 31,5 \quad [mm] \tag{92}$$

$$L_0 = y + L_S = 14,5 + 31,5 = 46 \quad [mm] \tag{93}$$

$$p = \frac{L_o}{n_a + n_e} = \frac{46}{6+1} = 6,57 \quad [mm] \tag{94}$$

$$M_K = F_P \cdot \frac{D}{2} = 820 \cdot \frac{23}{2} = 9430 \quad [N \cdot mm] \tag{95}$$

$$W_K = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{\pi \cdot 4,5^3}{16} = 17,89 \quad [mm^3] \tag{96}$$

$$\tau_S = \frac{K_B \cdot M_K}{W_K} = \frac{1,29 \cdot 9430}{17,89} = 679,97 \quad [MPa] \tag{97}$$

$$k_k = \frac{R_{se}}{\tau_S} = \frac{975,58}{679,97} = 1,43 \quad [-] \tag{98}$$

Navržená pružina s kruhovým průřezem vyhovuje bezpečnostními parametry $k_k \geq 1,2$. Ale nerespektuje konstrukční doporučení $4 \leq w \leq 20$ pro pružiny vinuté za studena a $3 \leq w \leq 20$ pro pružiny vinuté za tepla. Jelikož poměr vinutí navržené pružiny w=3 je na spodní hranici, pružina se bude obtížněji tvarovat a hrozí nebezpečí vzniku trhlin na povrchu drátu. [7]

Maximální prostor pro pružinu dle konstrukčního návrhu je L_{0max} = 44 mm. Pružina nevyhovuje, jelikož byla vypočtena její velikost v nezatíženém stavu L_0 = 66 mm.

Proto bude proveden návrh a výpočet speciální nástrojové pružiny nekruhového průřezu vyráběné dle normy ISO 10263.

Konstrukční rozměrová volba pružiny – vstupní parametry zůstávají stejné jako u pružiny s kruhovým průřezem: D_{emax} = 26 mm; $L_{o\,max}$ = 38 mm;

Z katalogu italského výrobce Mollificio Bordignon volíme rozměry a parametry pružiny odpovídající normě ISO 10 243: [13]

Katalogové číslo: 1L26038

D_{max} = 25 mm; d_{min} = 12,5 mm; D_e = 18.75 mm;
y_{max} = 15,2 mm; F_{max} = 942 N;
b = 5,3 mm; h= 2,7 mm, S= 14,31 mm^2; b/h = 1,96;
L_0= 44 mm, konce uzavřeny a obrobeny,
pružinový drát třídy DH dle DIN EN 10270-1

zdroj: bordignonsprings.com
obr.: 6.19 – pružiny 2S

$$R = \frac{dF}{dy} = \frac{F_P}{y} = \frac{942}{15,2} = 62 \quad \left[N \cdot mm^{-1}\right] \tag{99}$$

$$c = \frac{1}{R} = \frac{1}{157} = 1,613 \cdot 10^{-2} \quad \left[mm \cdot N^{-1}\right] \tag{100}$$

$$L_s = L_o - y_{\max} = 44 - 15,2 = 28,8 \quad \left[mm\right] \tag{101}$$

$$n_t = \frac{L_s}{h} = \frac{28,8}{2,7} = 10,66 \quad \left[-\right] \tag{102}$$

$$n_a = n_t - n_e = 7,51 - 2 = 8,66 \quad \left[-\right] \tag{103}$$

$$p = \frac{L_o - 2h}{n_a} = \frac{44 - 2 \cdot 2,7}{8,66} = 4,46 \quad \left[mm\right] \tag{104}$$

$$W_k = \eta_1 \cdot h^2 \cdot b = 0,25 \cdot 2,7^2 \cdot 5,3 = 9,66 \quad \left[mm^3\right] \tag{105}$$

$$R_m \approx 2330 - 900 \log k_M \quad \left[MPa\right] \tag{106}$$

$$k_M = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{14,31}{\pi}} = 2,35 \quad \left[-\right] \tag{107}$$

Poté: $R_m \approx 2330 - 900 \log k_M \approx 2330 - 900 \cdot \log 2,35 = 1996,04 \quad [MPa]$ (108)

$$R_{se} = 0,56 \cdot R_m = 0,56 \cdot 1996,04 = 1117,78 \quad [MPa] \tag{109}$$

$$\tau_S = \frac{Mk}{Wk} \leq R_{se} \quad [MPa] \tag{110}$$

$$\tau_S = \frac{M_k}{W_k} = \frac{F_P \cdot D}{2 \cdot W_k} = \frac{820 \cdot 18,75}{2 \cdot 9,66} \doteq 795,81 \quad [MPa] \tag{111}$$

$$k_k = \frac{R_{se}}{\tau_S} = \frac{1117,78}{759,81} = 1,47 \quad [-] \tag{112}$$

6.2 FEM analýza pružiny

V rámci diplomové práce byla provedena FEM (Finite Elements Metods) analýza jedné z navržených pružin v programu Autodesk Simulation Multiphysics. Český ekvivalent FEM je MKP neboli metoda konečných prvků. Jedná se o numerickou výpočetní část sloužící k řešení technických problémů, zejména k výpočtům napětí ve strojních součástech. Metoda se ovšem užívá i v matematických a fyzikálních problémech, při řešení dynamických zatěžování, proudění atd.

Principem metody je rozložení 3D modelu (obr. 6.20) na velký počet malých entit popisujících tvar tělesa, neboli zesíťováním modelu. Tato funkce se nazývá Meshing. Takto popsanému tělesu se přiřadí dané materiálové charakteristiky modelu. V našem případě materiálové vlastnosti pružiny. Po přiřazení materiálu dochází ke stanovení způsobu zatížení součásti. Pružina bude zatížena tlačnou silou v ose. Každý geometrický útvar sítě je zatížený vnějšími silami a je v procesoru vypočítán přes soustavu rovnic popisujících pevnost a deformaci součástky. Tyto rovnice jsou vytvářeny v procesoru pro každou jednu entitu modelu.

zdroj: vlastní – SolidWorks
obr.: 6.20 – 3D model pružiny

Pomocí výpočtu vzniká deformačně-napjatostní analýza, která umožní přezkoušet nebo ověřit chování navržené konstrukce ještě ve stádiu vývoje. Může se jednat o pevnostní nebo modální analýzu. Touto metodou je možné dimenzovat součástky, minimalizovat náklady na materiál. Nebo snížit hmotnost systému u předimenzovaných součástek. Alternativně se dají porovnávat napětí a deformace při změně materiálu součásti a zvolit ten nejvhodnější.

Výsledkem FEM analýzy jsou numerická trojrozměrná napětí, které vznikají v mnoha směrech. Tato napětí se většinou vyjadřují pomocí shrnutí do ekvivalentního napětí, známého také jako Von Misesovo napětí. Třírozměrné těleso má šest složek napětí. Někdy se vlastnosti materiálu zjišťují pomocí jednoosého testu napětí. V tomto případě se k systému reálného napětí vztahuje kombinace šesti složek napětí do jediného ekvivalentního napětí.

Byla provedena analýza pružiny k určení výsledné deformace. Ke zjištění velikosti ekvivalentního - trojrozměrného napětí byla pružina zatížena silou v ose odpovídající vypočtené síle v předchozím textu.

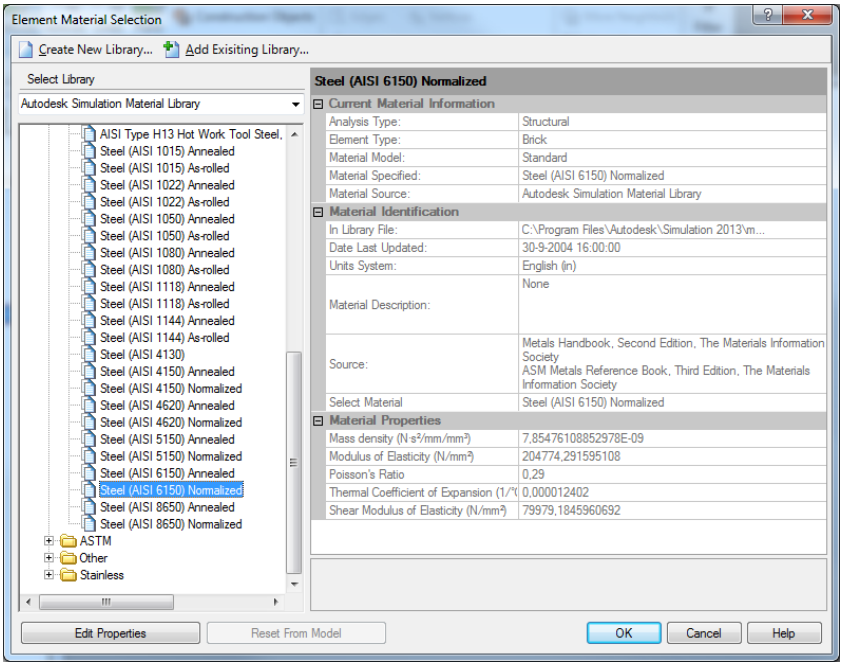
Pružina byla podrobena analýze v programu Autodesk Simulation Multiphysics. Nejdříve byl importován model pružiny (obr. 6.20). Následně se modelu přiřazují charakteristické vlastnosti materiálu (obr 6.22). Počítané nástrojové pružiny vyráběně dle normy ISO 10263, jsou vyrobeny z oceli na zušlechtěné pružiny – TDP, dle EN 10089 se jedná o materiál 51CrV4 (1.8159). Jelikož materiálová knihovna studentské verze programu neobsahuje normy ISO ani EN, byl pro určení materiálových charakteristik modelu použit vyhledaný ekvivalent normy ISO, a to konkrétně AISI 6150 normalized (obr. 6.21 a 6.22).

Equivalent grades of grade 51CrV4 (1.8159)

Warning! Only for reference

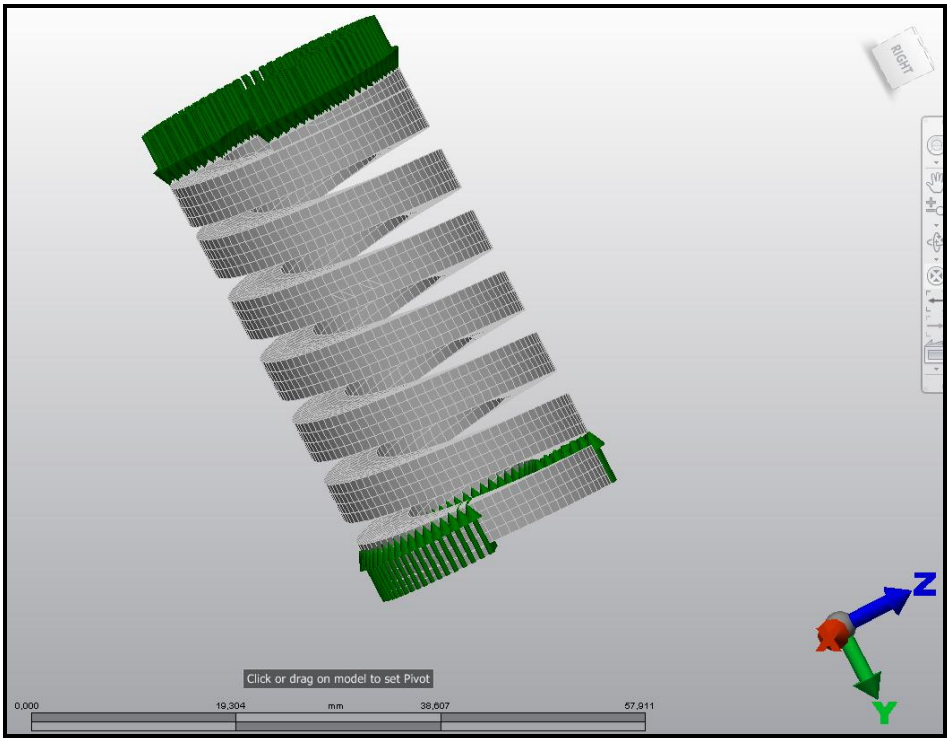
USA -	Germany DIN,WNr	Japan JIS	France AFNOR	England BS	Italy UNI	Spain UNE	China GB	Sweden SS	Poland PN	Czechia CSN	Russia GOST	Inter ISO
6150	50CrV4	SUP10	50CrV4 50CV4 51CrV4	735A50 735A51	50CrV4	51CrV4 F1430	50CrVA	2230	50HF	15260	50KHGFA	51CrV4

zdroj: steelnumber.com
obr.: 6.21 – materiálové ekvivalenty



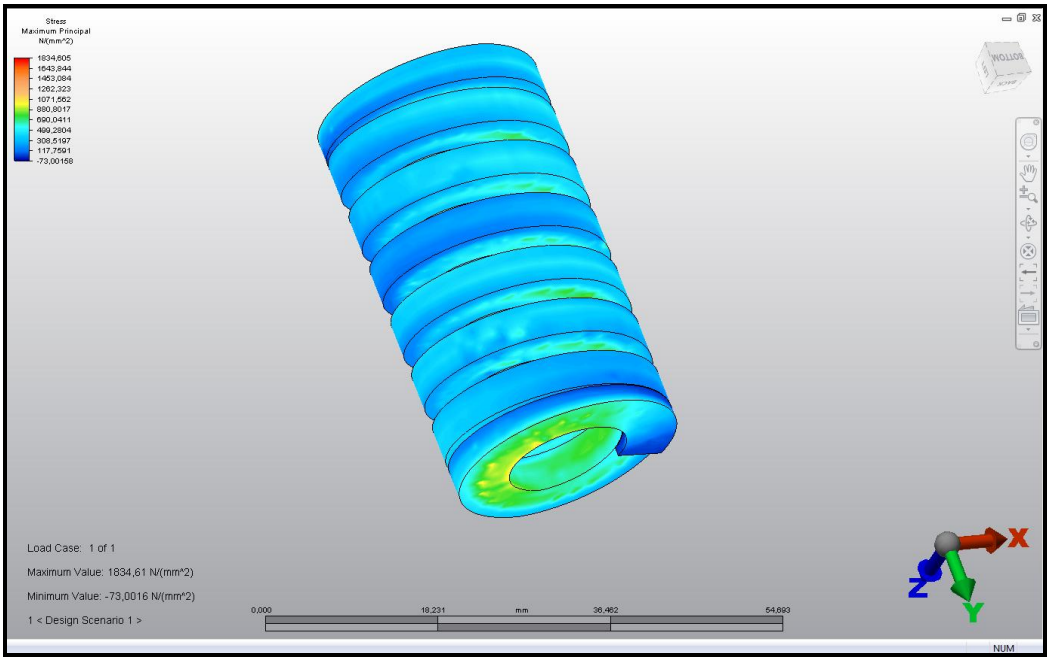
zdroj: vlastní – Autodesk Simulation Multiphysics
obr.: 6.22 – materiálová charakteristika

Další fází FEM analýzy bylo vytvořit na modelu síť – meshing a určit zatížení pružiny (obr. 6.23). Zatěžující síly byly nadefinovány jako spojité zatížení dosedacích obrobených ploch pružiny. Velikost zatěžujících sil byla volena dle výpočtové části diplomové práce.

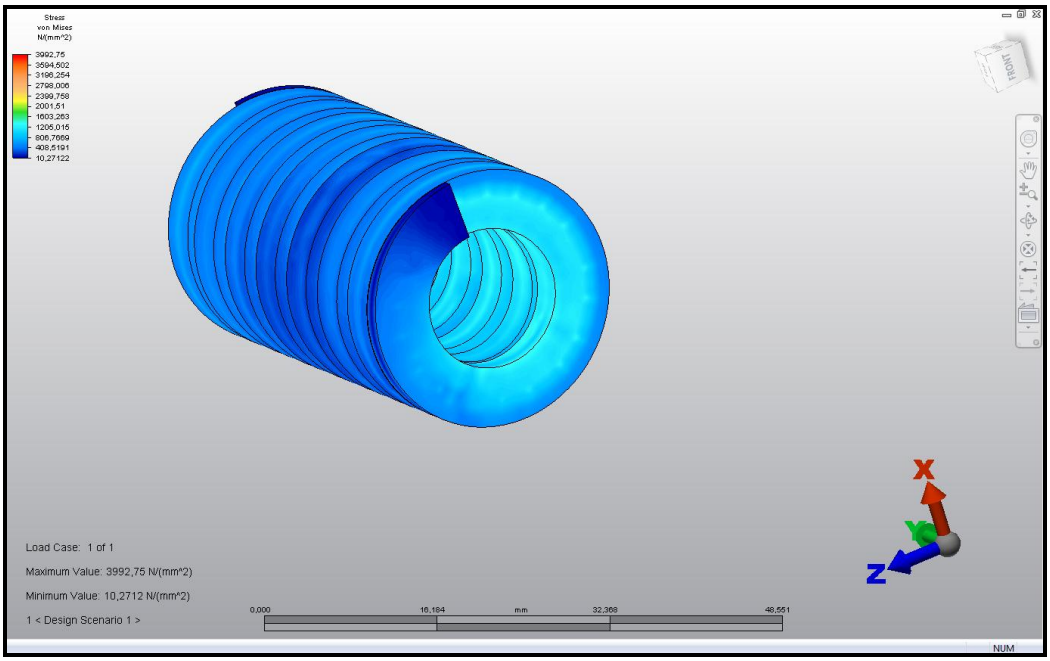


zdroj: vlastní – Autodesk Simulation Multiphysics
obr.: 6.23 – meshing a zatížení pružiny

Výsledkem analýzy je ekvivalentní trojrozměrné napětí, známé jako Von Missesovo. Z analýzy je patrná koncentrace napětí na vnitřních hranách závitů pružiny a na dosedacích plochách (obr. 6.24 a 6.25). Napětí je v těchto místech zvýšené oproti obvodu pružiny v důsledku větších napětí vyvolaných zatěžující silou v ose pružiny. Napětí na vnitřním průměru je především smykové, ale také například ohybové. Ohybové složky napětí se u početních výpočtů zanedbávají, pokud je poměr vinutí pružiny $w \leq 10$.



zdroj: vlastní – Autodesk Simulation Multiphysics
obr.: 6.24 – analýza napětí 1



zdroj: vlastní – Autodesk Simulation Multiphysics
obr.: 6.25 – analýza napětí 2

7. Principy detailního konstruování

Principy detailního konstruování se souhrnně označují jako metody DFX, přičemž písmeno X zastupuje oblast působení dané metody. Nejedná se o nové metody, které by již dříve nebyly používány, pouze byly označovány jako technologičnost konstruování. Ve 21. století se dílčí části dostávají do společného označení DFX (Design for X). Prvopočátkem byly DFX bylo označení DFMA. [1]

Skupina těchto metod se zaměřuje na dosažení specifických cílů při vývoji a konstruování výrobku. Tyto metody přispívají ke snížení námahy a pracnosti v různých fázích životního cyklu výrobku. V současné době se u principů detailního konstruování využívá těchto přístupů s metod ke splněním požadavků na strojní součásti z různých hledisek, například:

- Design for Manufacture (DFM) – konstruování s ohledem na výrobu
- Design for Assembly (DFA) – konstruování s ohledem na montáž výrobku
- Design for Disassembly (DFD) – konstruování na demontáž
- Design for Enviroment (DFE) – konstruování s ohledem na životní prostředí
- Design for Maintainability (DFMT) – konstruování s ohledem na snadnou údržbu
- Design for Packaging (DFP) – konstruování s ohledem na snadné balení

Tyto metody všeobecně zahrnují charakteristické požadavky na navrhované díly při detailním konstruování, jako jsou například:

- Zajištění nízkých výrobních nákladů při spolehlivosti a jakosti výrobku
- Vědomě předcházet výrobním vadám, simulovat funkčnost
- Maximální počet dílů je standardizován pro racionálnost montáže
- Součásti by měly být snadno smontovatelné a demontovatelné
- Konstrukce je s minimem spojů bez náročně vyrobitelných tolerancí
- Preference užití jednoho typu materiálu a vhodného tepelného opracování
- Snadné opravy a servis výrobku
- Součásti by měly být recyklovatelné, ekologicky nezávazné, atd.

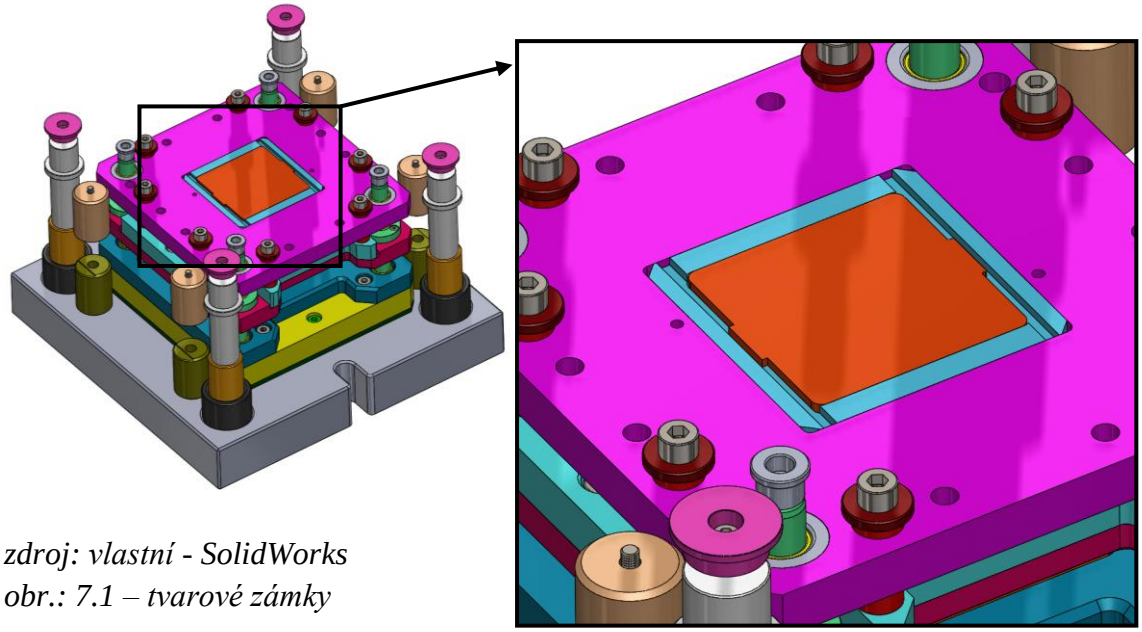
V dalších podkapitolách se diplomová práce bude zabývat metodami DFX aplikovanými při konstrukčním návrhu lisovacího nástroje.

7.1 DFA – Design for Assembly

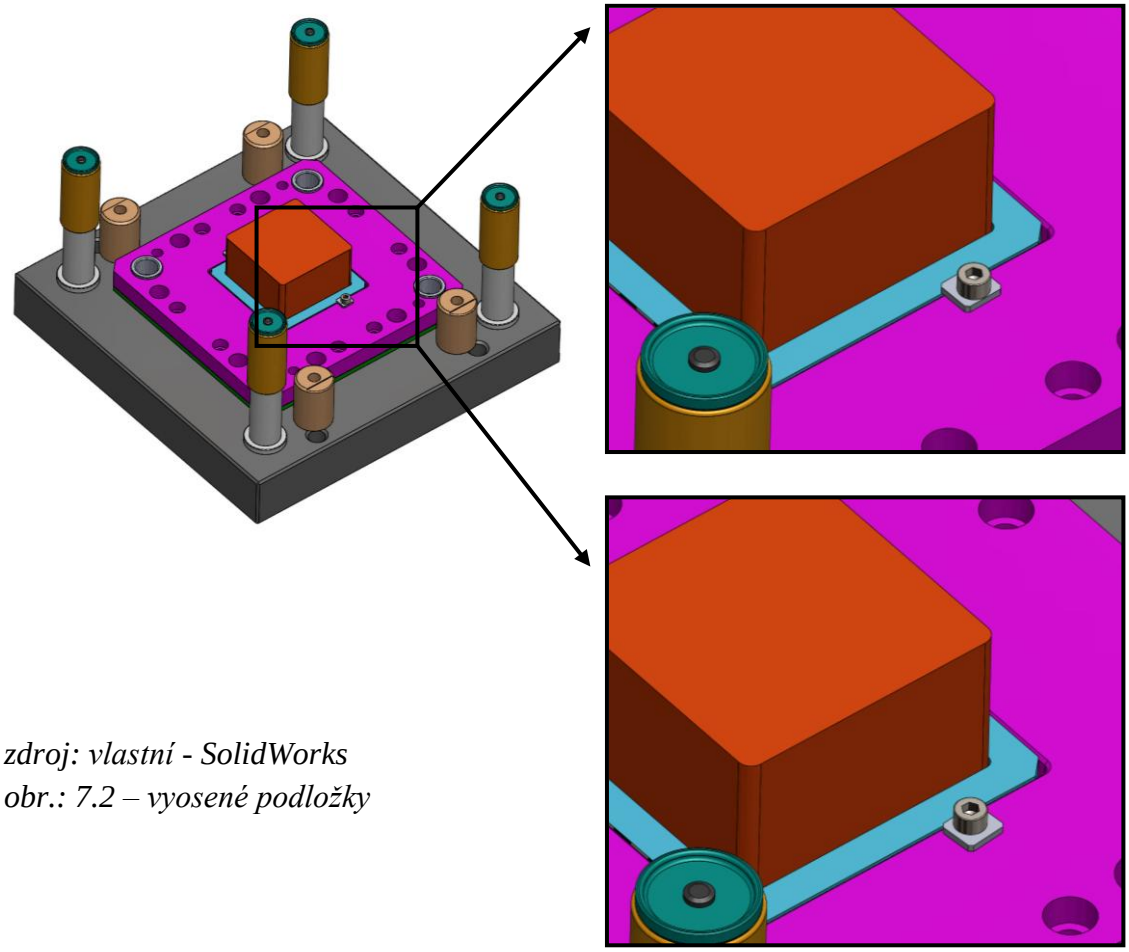
Řeší důsledky konstrukčního řešení na efektivnost montážních operací. Mezi hlavní cíle patří optimalizace počtu součástí – nízká rozpracovanost dílů a nízká komplexita. Dále redukce nákladů na montáž pomocí vhodné volby spojů. Podpora standardizace součástí. Metoda je nejefektivnější v počáteční fázi návrhu výrobku. Dělí se na tři skupiny:

- vodítka pro obecná pravidla efektivní montáže
- numerická zhodnocení konstrukčních variant
- specializovaný software nebo expertní systém

Systematickým používáním DFA lze dosáhnout zjednodušení a zlevnění montážních operací. Při návrhu lisovacího nástroje bylo dbáno na jiné parametry při montáži, jelikož se jedná o jednoúčelový nástroj. Hlavní důraz byl brán na vhodnou konstrukci z hlediska jednoduché výměny při přetypování nástroje. Tu obstarávají například konstrukční tvarové zámky (obr. 7.1). Nástroj se dá jednoduše rozebrat na spodní a horní část. Výměna nástroje je při připravených dílech plánována v řádu minut. Kromě konstrukčních zámků byly navrženy k jednoduššímu přetypování vyosené kalené podložky šroubů (obr. 7.2) K samotné přestavbě nástroje je nutná potřeba pouze tří šestihranných klíčů, jelikož byl u vyměnitelných částí užit totožný typ šroubového spojení.



zdroj: vlastní - SolidWorks
obr.: 7.1 – tvarové zámky



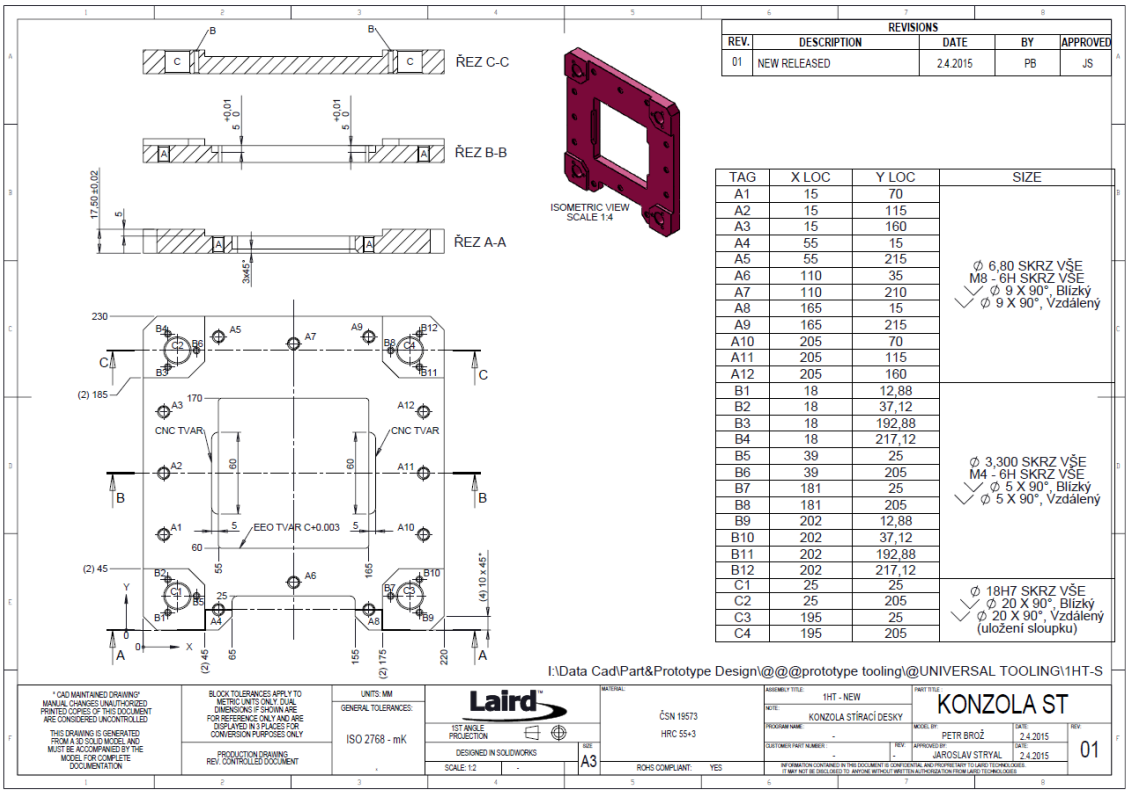
zdroj: vlastní - SolidWorks
obr.: 7.2 – vyosené podložky

7.2 DFM – Design for Manufacturing

Metoda sloužící k dosažení nízkých výrobních nákladů. Mezi hlavní myšlenky patří:

- jednoduchost výrobku, více malých jednodušších dílů, nežli jeden složitý
- využití standardních materiálů a normalizovaných komponentů
- standardizovaný návrh konstrukce výrobku
- volné tolerování s předepsáním přesnosti jen na opravdu nutných místech
- vhodné určení jakosti povrchu za účelem snížení výrobních nákladů
- tepelné zpracování jen nezbytně nutných dílů sestavy
- důraz na správný systém kotování
- používání univerzálních nástrojů
- zajištění co nejmenšího počtu upínání
- využívání především netřískových technologií, atd.

Při tvorbě výrobně technické dokumentace lisovacího nástroje byly tvořeny přímé technologické výkresy. Ty obsahují eliminaci všech obecných poznámek na výkrese, využití tabulky děr a konkrétní popsání požadovaných děr s definovanou funkcí. Bylo využito systému staničního kotování u nerotačních polotovarů (obr. 7.3).



REVISIONS

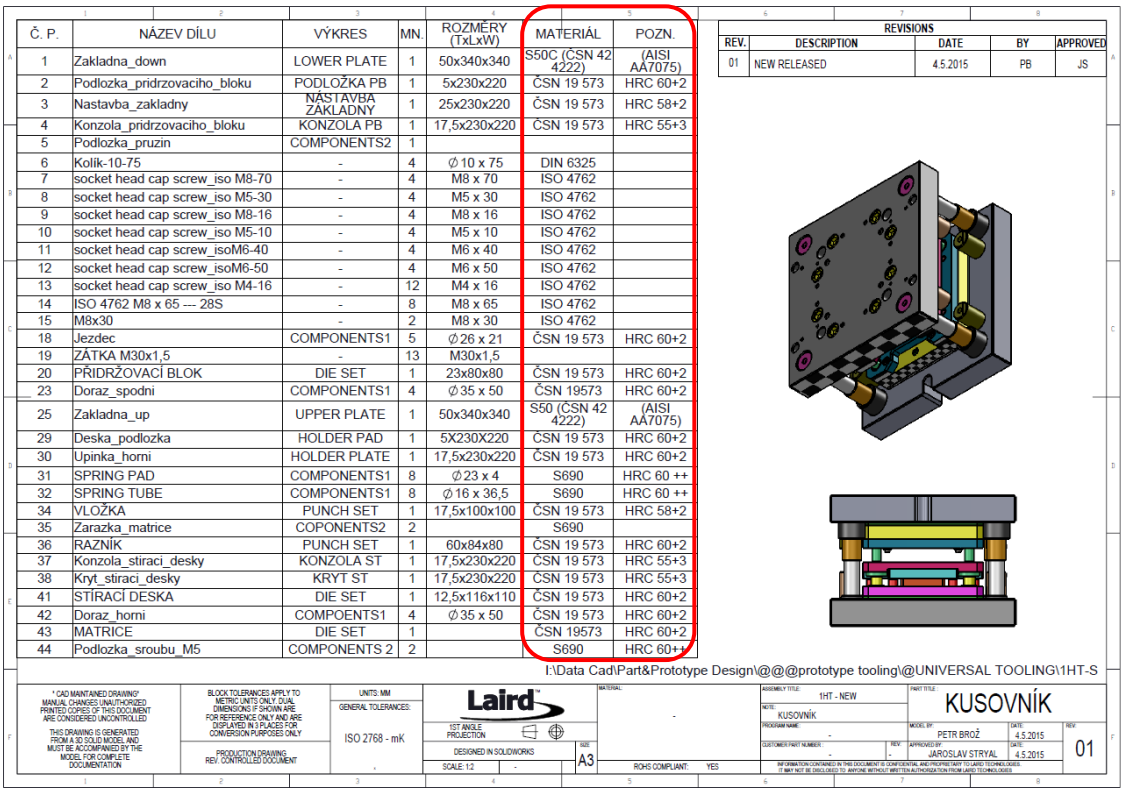
REV.	DESCRIPTION	DATE	BY	APPROVED
01	NEW RELEASED	2.4.2015	PB	JS

TAG	X LOC	Y LOC	SIZE
A1	15	70	Ø 6,80 SKRZ VŠE M8 - 6H SKRZ VŠE Ø 9 X 90°, Blízký Ø 9 X 90°, Vzdálený
A2	15	115	
A3	15	160	
A4	55	15	
A5	55	215	
A6	110	35	
A7	110	210	
A8	165	15	
A9	165	215	
A10	205	70	
A11	205	115	
A12	205	160	
B1	18	12,88	Ø 3,300 SKRZ VŠE M4 - 6H SKRZ VŠE Ø 5 X 90°, Blízký Ø 5 X 90°, Vzdálený
B2	18	37,12	
B3	18	192,88	
B4	18	217,12	
B5	39	25	
B6	39	205	
B7	181	25	
B8	181	205	
B9	202	12,88	
B10	202	37,12	
B11	202	192,88	
B12	202	217,12	
C1	25	25	Ø 18H7 SKRZ VŠE Ø 20 X 90°, Blízký Ø 20 X 90°, Vzdálený (uložení sloupku)
C2	25	205	
C3	195	25	
C4	195	205	

zdroj: vlastní - SolidWorks
obr.: 7.3 – využití staničních kót a tabulky děr

Jelikož se jedná o díly z nástrojové oceli, které procházejí tepelným zpracováním, musí se upravit výrobní výkresy. Nejdříve se díly obrábí na fréze, dělají se startovací otvory pro EEO obrábění. Poté dochází k tepelnému zpracování, po kterém se obrábí EEO a brousí, ve výjimečných případech frézuje speciální frézou na tvrdé kovy. Výrobní dokumentace obsahuje například startovací díry pro EEO, aby nemusely být následně vyjiskřovány. Je voleno vhodné tepelné zpracování dle druhu dílu a jeho funkce (obr. 7.4), atd.

Č. P.	NÁZEV DÍLU	VÝKRES	MN.	ROZMĚRY (TxLxW)	MATERIÁL	POZN.
1	Zakladna_down	LOWER PLATE	1	50x340x340	S50C (ČSN 42 4222)	(AISI AA7075)
2	Podlozka_pridrzovaciho_bloku	PODLOŽKA PB	1	5x230x220	ČSN 19 573	HRC 60+2
3	Nastavba_zakladny	NÁSTAVBA ZÁKLADNY	1	25x230x220	ČSN 19 573	HRC 58+2
4	Konzola_pridrzovaciho_bloku	KONZOLA PB	1	17,5x230x220	ČSN 19 573	HRC 55+3
5	Podlozka_pruzin	COMPONENTS2	1			
6	Kolík-10-75	-	4	⌀10 x 75	DIN 6325	
7	socket head cap screw_iso M8-70	-	4	M8 x 70	ISO 4762	
8	socket head cap screw_iso M5-30	-	4	M5 x 30	ISO 4762	
9	socket head cap screw_iso M8-16	-	4	M8 x 16	ISO 4762	
10	socket head cap screw_iso M5-10	-	4	M5 x 10	ISO 4762	
11	socket head cap screw_isoM6-40	-	4	M6 x 40	ISO 4762	
12	socket head cap screw_isoM6-50	-	4	M6 x 50	ISO 4762	
13	socket head cap screw_iso M4-16	-	12	M4 x 16	ISO 4762	
14	ISO 4762 M8 x 65 --- 28S	-	8	M8 x 65	ISO 4762	
15	M8x30	-	2	M8 x 30	ISO 4762	
18	Jezdec	COMPONENTS1	5	⌀26 x 21	ČSN 19 573	HRC 60+2
19	ZÁTKA M30x1,5	-	13	M30x1,5		
20	PŘIDRŽOVACÍ BLOK	DIE SET	1	23x80x80	ČSN 19 573	HRC 60+2
23	Doraz_spodni	COMPONENTS1	4	⌀35 x 50	ČSN 19573	HRC 60+2
25	Zakladna_up	UPPER PLATE	1	50x340x340	S50 (ČSN 42 4222)	(AISI AA7075)
29	Deska_podlozka	HOLDER PAD	1	5X230X220	ČSN 19 573	HRC 60+2
30	Upinka_horni	HOLDER PLATE	1	17,5x230x220	ČSN 19 573	HRC 60+2
31	SPRING PAD	COMPONENTS1	8	⌀23 x 4	S690	HRC 60 ++
32	SPRING TUBE	COMPONENTS1	8	⌀16 x 36,5	S690	HRC 60 ++
34	VLOŽKA	PUNCH SET	1	17,5x100x100	ČSN 19 573	HRC 58+2
35	Zarazka_matrice	COPONENTS2	2		S690	
36	RAZNÍK	PUNCH SET	1	60x84x80	ČSN 19 573	HRC 60+2
37	Konzola_stiraci_desky	KONZOLA ST	1	17,5x230x220	ČSN 19 573	HRC 55+3
38	Kryt_stiraci_desky	KRYT ST	1	17,5x230x220	ČSN 19 573	HRC 55+3
41	STÍRACÍ DESKA	DIE SET	1	12,5x116x110	ČSN 19 573	HRC 60+2
42	Doraz_horni	COMPOENTS1	4	⌀35 x 50	ČSN 19 573	HRC 60+2
43	MATRICE	DIE SET	1		ČSN 19573	HRC 60+2
44	Podlozka_sroubu_M5	COMPONENTS 2	2		S690	HRC 60++



zdroj: vlastní - SolidWorks

obr.: 7.4 – vhodná volba materiálů a tepelného zpracování

7.3 DFMT – Design for Maintainability

Jedná se o konstruování s ohledem na snadnou údržbu. Pracovník údržby, v tomto případě nástrojař byl přizván při tvorbě konstrukčního řešení. Obecnými principy této metody jsou:

- minimalizace míst údržby a servisních bodů
- snadný přístup k místům
- malý počet nástrojů k údržbě, efektivní čištění
- snadná vizuální kontrola
- jednoduše vyměnitelné a nahraditelné díly
- zakrytí těžko udržovatelných míst
- vysoká standardizace

V lisovacím nástroji byl položen důraz na vhodnou demontáž nástroje s ohledem na pravidelné přetypování při změně výroby prototypového dílu. Nástroj byl navržen, tak aby se desky nedaly otočit a aby byl zajištěn dobrý přístup k prostoru a k výměně kotevní vložky, razníku, stírací desky, přidržovacího bloku atd.

Závěr

Výsledkem diplomové práce je inovovaný lisovací nástroj na kovové výlisky sloužící k výrobě prototypových a malosériových dílů. K úspěšnému splnění diplomové práce bylo třeba využít znalostí z oblasti inovačního inženýrství a znalosti z technologie tváření kovů, zejména ohýbání a stříhání na lisovacích nástrojích. Dále bylo nutné seznámit se s firemním výrobním procesem, s technologickými možnostmi výroby nástrojů v nástrojárně a s vnitřními firemními procesy.

V diplomové práci byla provedena detailní analýza současného stavu řešení lisovacího nástroje, která zahrnuje popis sestavy lisovacího zařízení, funkčnost, hlavní princip. Současný nástroj byl pro názornost vymodelován. Ve druhé kapitole práce je vysvětlen současný probíhající proces při výrobě prototypových dílů.

V návaznosti na pochopení principu lisovacího nástroje a analýzu stávajícího stavu byly navrženy tři varianty řešení, které zajišťují ohýbání, nastřihávání i prostřihávání finálního výlisku. V návrzích je brán zřetel na zjednodušení a standardizaci výroby lisovacích sestav pro rozměrově větší výlisky. Pro splnění požadavku na prostřihávání a nastřihávání byla navržena odpružená stírací deska, sloužící zároveň jako přidržovač materiálu.

Jednotlivé navržené varianty řešení byly detailně zhodnoceny. Hodnocení proběhlo pomocí konzultací se zaměstnanci firmy a následného určení vhodných kritérií. Vybraným kritériím byly přiřazeny váhové faktory, nad kterými byla vedena odborná diskuze s vedením společnosti. V rámci zhodnocení jednotlivých návrhů došlo k jejich podrobnému popisu a k vytvoření detailní rozhodovací matice. Jako nejlepší varianta řešení byl zvolen koncept C, především díky nižší náročnosti výroby, menší spotřebě času potřebného na výrobu proměnných dílů a univerzálnosti návrhu.

Po vyhodnocení návrhů došlo k rozpracování vybrané varianty, k vytvoření úplného konstrukčního návrhu a k tvorbě kompletní výrobně technické dokumentace, která slouží k výrobě inovovaného lisovacího nástroje. V nástroji byly navrženy a spočítány tři druhy šroubovitých tlačných pružin pro jednotlivé technologie lisování. Ve spodní podsestavě nástroje se jedná o 5 pružin měnících se v závislosti na technologii. V horní podsestavě spojené s konzolou stírací desky bylo navrženo 8 tlačných pružin nekruhového průřezu sloužících k vyvození potřebné přidržovací síly. V návrhu je brán zřetel na možnost upnutí nástroje do lisu Komatsu 35T napřímo bez adaptéru. Konstrukční návrh

využívá dostupných normalizovaných dílů v sestavě. Nástroj byl navržen, tak aby se podsestavy nedaly otočit a aby byl zajištěn dobrý přístup k prostoru a k výměně kotevní vložky, razníku, stírací desky, přidržovacího bloku atd.

Konstrukční návrh byl za účelem splnění cílů diplomové práce proveden s ohledem na požadované cílové specifikace, kterými byly: zdvih beranu lisu, rozměry nástroje, tvářené materiály, rozměry dílů atd.

Výsledné parametry inovovaného nástroje:

- Pružiny navrženy na funkční obvodovou délku výlisku – 300 mm
- Návrh nástroje dimenzován na tloušťku plechu – 0,5 mm
- V nástroji se může tvářit materiál s mezí pevnosti pro NS77
- Nástroj lze upnou do lisu Komatsu 35T bez použití adaptéru
- Rozměry nástroje – 340 x 340 mm
- Výška nástroje v horní poloze – 215 mm
- Pracovní zdvih nástroje – 40 mm
- Možná výška tvářeného dílu – až 12 mm
- Rozměr razníku – až 140 x 140 mm při modifikaci

Požadované parametry na lisovací nástroj byly splněny a dodrženy. Po zhodnocení provedené inovace lisovacího nástroje vůči původnímu řešení výroby prototypových dílů a závěrečném shrnutí byly cíle diplomové práce splněny.

Seznam použitých zdrojů

[1] MAŠÍN, I., *Inovační inženýrství - Plánování a návrh inovovaného výrobku,* 1. vydání. Liberec: TUL, 2012, 168s., ISBN: 978-80-7372-852-6

[2] LENFELD, P., *Technologie II – 1. Část, (tváření kovů),* 2. vydání. Liberec: TUL, 2009, 111s., ISBN: 978-80-7372-466-5

[3] LEPŠÍK, P., VODIČKA, J., *Plánování a řízení společných projektů*, 1. vydání. Liberec: TUL, 2012, 124s., ISBN: 978-80-7372-920-2.

[4] PUSTKA, Z., *Základy konstruování (tvorba výkresové dokumentace),* 1. vydání. Liberec: TUL, 2009, 218s., ISBN:978-80-7372-456-6

[5] PEŠÍK, L., *Části strojů – stručný přehled 1*, 4. vydání, doplněné. Liberec: TUL, 2010, 226s., ISBN:978-80-7372-573-0

[6] PEŠÍK, L., *Části strojů – stručný přehled 2*, 4. vydání, doplněné. Liberec: TUL, 2010. 236s. ISBN:978-80-7372-574-7

[7] SHINGLEY, J., MISCHKE CH., BUDYNAS, R., *Konstruování strojních součástí*, 1. vydání., Brno: VUTIUM, 2010, 1159s., ISBN:978-80-214-2629-0

[8] LEINVEBER J., VÁVRA P., *Strojnické tabulky*, 3. vydání., Praha: ALBRA, 2006, 914s., ISBN:80-7361-033-7

[9] BOLEK A., KOCHMAN J., *Části strojů – 2. svazek*, 5. vydání, přepracované, Praha: SNTL, 1990, 712s., ISBN:978-80-7494-155-9

[10] SOLFRONK, P., *Nástroje pro plošné tváření – I.díl*, 1. vydání. Liberec: TUL, 2014, 109s., ISBN:978-80-7494-155-9

[11] ČSN 226015, *STŘIHADLA A STŘIŽNÉ VŮLE – Směrnice pro výpočet a konstrukce*, Český normalizační institut, Praha, účinnost od 1.12.1997, 28s.

[12] ČSN 227340, *OHÝBADLA – Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*, Český normalizační institut, Praha, účinnost od 1.1.1991, 15s.

[13] BORDIGNON SPRINGS, *Molle per stampi – Die Springs ISO 10243*, Bordignon springs, [online], 03/2015, dostupné z: http://www.bordignonsprings.com/eng/molle-per-stampi_detail.php

[14] SCHREIER J., *Pevnostní analýza*, [online], 04/2015, dostupné z: http://sst.opava.cz/schreier/pevnostni_analyza.htm

Seznam obrázků a tabulek

obr.: 2.1 – logo společnosti 14
obr.: 2.2 – přehled výrobků 14
obr.: 2.3 – LT - Liberec 15
obr.: 3.1 – lisovací nástroj 1 16
obr.: 3.2 – lisovací nástroj 2 17
obr.: 3.3 – lis APB 17
obr.: 3.4 – rámeček stínění 18
obr.: 3.5 – víčko stínění 18
obr.: 3.7 – lisovací nástroj 3D – otevřený stav 20
obr.: 3.8 – lisovací nástroj 3D – zavřený stav 21
obr.: 4.1 – lis Komatsu 35T 23
obr.: 4.2 – koncept A, horní sestava 26
obr.: 4.3 – koncept A, dolní sestava 27
obr.: 4.4 – koncept B, horní sestava 28
obr.: 4.5 – koncept B, dolní sestava 29
obr.: 4.6 – koncept C, horní sestava 30
obr.: 4.7 – koncept C, dolní sestava 31
obr.: 6.1 – konstrukce lisovacího nástroje 38
obr.: 6.2 – velký sloupek 39
obr.: 6.3 – malý sloupek 39
obr.: 6.4 – podsestavy nástroje 40
obr.: 6.5 – spodní podsestava 41
obr.: 6.6 – podsestava stírací desky 42
obr.: 6.7 – horní podsestava 43
obr.: 6.8 – tuhost systému 45
obr.: 6.9 – síly na pružině 46
obr.: 6.10 – konce pružiny 47
obr.: 6.11 – parametry drátu 47
obr.: 6.12 – konce pružin 49
obr.: 6.13 – namáhání pružin 49
obr.: 6.14 – smykové napětí 50
obr.: 6.15 – pružiny ISO 10263 51
obr.: 6.16 – pružiny 3S 51
obr.: 6.17 – součinitel η_1 52
obr.: 6.18 – pružiny 5S 56
obr.: 6.19 – pružiny 2S 60

obr.: 6.20 – 3D model pružiny 61
obr.: 6.21 – materiálové ekvivalenty 62
obr.: 6.22 – materiálová charakteristika 63
obr.: 6.23 – meshing a zatížení pružiny 63
obr.: 6.24 – analýza napětí 1 64
obr.: 6.25 – analýza napětí 2 64
obr.: 7.1 – tvarové zámky 66
obr.: 7.2 – vyosené podložky 67
obr.: 7.3 – využití staničních kót a tabulky děr 68

Tab. 5.1 – detailní rozhodovací matice 34

Seznam příloh

Příloha I. – KUSOVNÍK

Příloha II. – výkres ASSEMBLY1

Příloha III. – výkres COMPONENTS1

Příloha IV. – výkres COMPONENTS2

Příloha V. – výkres DIE SET

Příloha VI. – výkres PUNCH SET

Příloha VII. – výkres UPPER PLATE

Příloha VIII. – výkres HOLDER PAD

Příloha IX. – výkres HOLDER PLATE

Příloha X. – výkres KONZOLA ST

Příloha XI. – výkres KRYT ST

Příloha XII. – výkres KONZOLA PB

Příloha XIII. – výkres NÁSTAVBA ZÁKLADNY

Příloha XIV. – výkres PODLOŽKA PB

Příloha XV. – výkres LOWER PLATE

PŘÍLOHY