

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: 2301R016/20 Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh kompletačního stroje pro přístrojovou desku Škoda

Autor: **Libor LEŠEK**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Ladislav Němec, CSc.**

Akademický rok 2015/2016

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Libor LEŠEK**
Osobní číslo: **S15B0018P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Kompletovací stroj pro přístrojovou desku ŠKODA**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

Zanalyzujte technologický proces montáže komponent palubní desky dle podkladů zadavatele. Provedte rešerši zařízení tohoto typu. Provedte konstrukční návrh dotyčného zařízení. Ověření konstrukce na prototypu.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Úvod
2. Konstrukční návrh předepsaného zařízení
3. Ověření navržené konstrukce na vyrobeném prototypu
4. Zhodnocení práce, závěr


Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojího inženýra 1. Brno: Computer Press, 1999


STAČEKOVÁ, D., MIČIETOVÁ, A. Jednoúčelové stroje a výrobné linky. Žilina: Žilina: EDIS-vydavateľstvo, 2001

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

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Ladislav Němec, CSc.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Pavel Kouba**
AUTOMA CZ, s.r.o.
Datum zadání bakalářské práce: **21. září 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2016**


Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan




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

V Plzni dne 21. září 2015

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce panu Doc. Ing. Ladislavovi Němcovi, CSc a dále panu Ing. Pavlovi Koubovi za cenné rady a konzultace při vytváření této práce.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Lešek	Jméno Libor	
STUDIJNÍ OBOR	2301R016/20 Dopravní a manipulační technika		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Němec,CSc.	Jméno Ladislav	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Kompletační stroj pro přístrojovou desku ŠKODA		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2016
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	47	TEXTOVÁ ČÁST	43	GRAFICKÁ ČÁST	4
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce pojednává o konstrukčním návrhu kompletačního stroje pro přístrojovou desku Škoda. Práce je zaměřena na návrh několika konstrukčních variant, jejich zhodnocení, vybrání nejvhodnější varianty a samotnou konstrukci stroje s podklady pro jeho výrobu.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	kompletační stroj, přístrojová deska, jednoučelový stroj, konstrukce, modelování, počítačová simulace

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Lešek	Name Libor
FIELD OF STUDY	2301R016/20 Transport and handling machinery	
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Němec,CSc.	Name Ladislav
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS	
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Assembling machine for the dashboard ŠKODA	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2016
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	47	TEXT PART	43	GRAPHICAL PART	4
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis discusses the structural design of the picking machines for the dashboard Skoda. The work is focused on the design of several design options, their evaluation, selecting the most suitable options and the actual construction of machines with materials for its production.
KEY WORDS	assembling machine,dashboard, single-purpose machine, design nebo construction nebo structure, zalezi na konktextu, modeling, computer simulation

Obsah

1. Úvod.....	11
1.1 Zpřesnění a doplnění zadání.....	11
1.2 Představení zadávající organizace.....	11
1.3 Uvedení do řešené problematiky	11
2. Vyjasnění a rozpracování požadavků na navrhovaný technický produkt	12
2.1 Vyjasnění zadání	12
2.2 Stav techniky	12
2.3 Analýza problému	12
2.4 Analýza realizovatelnosti	13
2.5 Specifikace požadavků	13
2.6 Časový plán řešení.....	14
3. Návrh provozního transformačního procesu TS.....	14
3.1 Výchozí rozhodnutí	14
3.1.1 Návrh černé skříňky provozního transformačního procesu.....	14
3.1.2 Návrh technologie provozního transformačního procesu.....	15
3.2 Navržení koncepčních variant	15
3.3 Výchozí rozhodnutí	17
3.4 Hodnocení a výběr optimální orgánové struktury	17
4. Navržení hrubé stavební struktury	18
4.1 Návrh hrubé stavební struktury TS	18
4.1.1 Celková sestava - 000.....	18
4.1.2. Sestava rámu - 100	18
4.1.3. Sestava paletky - 200.....	19
4.1.4. Sestava stolu - 300.....	19
4.1.5. Sestava šroubováku - 400.....	20
4.2 Hrubé výpočtové hodnocení navržené stavební struktury TS	20
4.2.1 Kontrolní výpočet desky	20
4.2.2 Kontrolní výpočet desky šroubováku	22
5. Navržení a zhotovení úplné stavební struktury TS.....	24
5.1 Návrh konstrukčního řešení úplné TS	24
5.1.1 Celková sestava - 000.....	25
5.1.2. Sestava rámu - 100	25
5.1.3. Sestava paletky - 200.....	26
5.1.4. Sestava stolu - 300.....	26
5.1.5. Sestava šroubováku - 400.....	27

5.2 Zpřesněné výpočtové hodnocení navrženého konstrukčního řešení TS.....	27
5.2.1 Kontrolní výpočet desky	27
5.2.2 Kontrolní výpočet desky šroubováku.....	29
5.2.3 Kontrolní výpočet desky pod otočným stolem.....	30
5.2.4 Kontrolní výpočet příčky.....	32
5.2.5 Kontrolní výpočet podélníku.....	33
5.2.6 Kontrolní výpočet kostky vedení.....	35
5.3 Ukázky dokumentace navrženého TS	36
5.3.1. Výkres sestavy šroubováku	36
5.3.2. Výkres desky šroubováku.....	36
5.3.2. Výkres čepu.....	36
5.4 Ukázka objednávky	37
5.5 Zhotovení stroje.....	38
6. Hodnocení kvality a konkurenceschopnosti navrženého TS.....	40
7. Závěr.....	41
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	42
SEZNAM PŘÍLOH	43

Přehled použitých zkratk a symbolů

Bezpečnost	k	1
Délka	l, a, b	m
Dovolená hodnota pro normálové napětí	σ_D	Pa
Mez kluzu v tahu	Re	Pa
Modul průřezu v ohybu	W _o	mm ³
Moment síly	M, q	N·m
Normálové napětí	σ	Pa
Síla	F, T, R _A , R _B	N

1. Úvod

Úkolem této bakalářské práce je návrh kompletačního stroje pro přístrojovou desku Škoda, který bude sloužit k zefektivnění budoucí montáže. Tento jednoúčelový stroj bude moci obsluhovat pouze jeden pracovník při navýšení denní výroby přístrojových desek. Bakalářská práce je zaměřena jak na samotnou konstrukci jednoúčelového stroje v programu Autodesk Inventor 2014, tak na zhodnocení nejvhodnějších variant a kontrolu nejvíce namáhaných součástí stroje.

1.1 Zpřesnění a doplnění zadání

Zadání bakalářské práce bylo srozumitelné a velmi přesně specifikováno od zadávající organizace.

1.2 Představení zadávající organizace

Společnost AUTOMA CZ byla založena 6. září 1995 ve Strakonících. Firma se zabývá průmyslovou automatizací v oborech měřicí a kontrolní stroje, montážní jednoúčelové stroje, jednoúčelové obráběcí stroje, řízení strojů a technologických procesů a dodávka rozvaděčů pro jednoúčelové stroje. Firma provádí zákaznické služby jako zpracování technického řešení problémů s konzultací se zákazníkem dle požadavků jednotlivých firem, specifikaci použitých komponent mechanických i elektrických částí jednoúčelových strojů, předložení návrhů ve formě technické, termínové a cenové nabídky a zpracování technické dokumentace mechaniky, návrhu řídicího systému a ovládání zařízení.



Obrázek 1 - Letecký pohled na sídlo zadávající organizace [3]

Firma provádí samotnou výrobu zařízení, zprovoznění softwarového vybavení řídicích systémů, zkoušky funkčnosti jednoúčelových strojů a jejich instalaci u zákazníka. V rámci předání stroje firma dodává návod k obsluze a údržbě. Na stroje je poskytnut záruční a pozáruční servis. Krom výroby zařízení se firma zabývá výrobou součástek na míru zákazníka.

Firma je vlastníkem haly určené pro montáž strojů a zařízení a haly s dvěma 3-osými frézkami, skladem materiálu a zařízeními zajišťující plynulost výroby. Jsou vlastníkem certifikátu ISO 9001:2008.

1.3 Uvedení do řešené problematiky

Motivací k řešení problému je zefektivnění výroby přístrojových desek. Obsluha stroje, vzhledem k maximálnímu taktu jednoho kusu za 35 sekund, zvládne vyrobít 822 kusů, což by při ruční montáži nebyla schopna. Stroj bude umístěn v montážní hale, kde nehrozí poškození leptavými ani jinak degradujícími látkami. Je zde zaručeno sucho, čisto a stejná teplota.

V hale je možnost připojení elektrického proudu, stlačeného vzduchu, odsávacího zařízení a odpadního potrubí.

2. Vyjasnění a rozpracování požadavků na navrhovaný technický produkt

2.1 Vyjasnění zadání

Vzhledem k nutnosti splnění ergonomických požadavků musí stroj obsahovat zářivku, která musí být pro ideální rozptýlení světla umístěna 1200 mm nad pracovní desku. Dalším ergonomickým požadavkem je výška pracovního stolu 960 mm, která zaručí optimální polohu pracovníka při manipulaci s přístrojovými deskami. Pro vyrovnání stroje musí stroj obsahovat šroubovatelné nohy s kolečky, které požadované vyrovnání umožní, přičemž musí být umožněna snadná manipulace se strojem. Maximální šířka stroje musí být vzhledem k vyhrazeným prostorám společnosti maximálně 900 mm. Takt stroje nesmí překročit 35 sekund.

Mechanika stroje musí být chráněna pomocí bezpečnostních zařízení, které znemožní obsluze zasahovat do chodu stroje a předejdou zraněním. Zároveň ale musí umožňovat servisní přístup. Veškerá připojení (elektrická, pneumatická,...) musí být realizována ze zadní nebo svrchní části stroje. Musí se předcházet vlivu obsluhy na proces, jako např. krytem zabraňujícím manipulaci s redukčními ventily, optickými a indukčními snímači a scannery. Stroj musí být osazen šroubovákem WEBER. Cena stroje nehraje pro zadavatele velkou roli, což bylo dokázáno odmítnutím doporučení umístit do stroje šroubovák od jiného dodavatele s menší konstrukční složitostí. Šroubovák by plně splnil požadavky na šroubování při zhruba poloviční pořizovací ceně. Zadavatel i přes to trval na šroubováku WEBER, jehož pořizovací cena značně navýšila konečnou cenu stroje.



Obrázek 2 - Šroubovák Weber

2.2 Stav techniky

Pro zefektivnění konstrukce stroje byla provedena rešerše strojů s podobným principem fungování. Vzhledem k tomu, že se zadavatel výrobou jednoúčelových strojů pro automatizaci zabývá již 21 let, inspirovat se šlo z letitých zkušeností a mnoha návrhů předešlých strojů. Rám většiny strojů byl z hliníkových profilů značky Alutec K&K, Item nebo Bosch. Pneumatické pohony a rozvody byly od firem SMC či Festo. Nejčastěji používané osvětlení bylo od firmy Bosch a různé nakupované strojínské součásti byly nejčastěji od MISUMI, Eles+Ganter, KIPP, Hiwin či dalších.

Dle zvyklostí a požadavků zadavatele měl být stroj osazen osvětlením od firmy Bosch a šroubovákem od firmy WEBER. Ostatní nakupované komponenty byly ponechány na konstruktérovi jednoúčelového stroje.

2.3 Analýza problému

Dle předpokladu, že stroj bude v provozu pět let při dvousměnném provozu, počet cyklů stroje převyší za jeho životnost 3 milióny cyklů. S tímto zásadním předpokladem bylo nutno počítat a přizpůsobit konstrukci takovéto zátěži. Na stroji budou pracovat dělníci s žádnou, či minimální kvalifikací, takže složitost stroje na ovládání musí být minimální, přičemž musí být zajištěna maximální bezpečnost proti poranění, či jinému neopatrnému zacházení. Stroj

bude umístěn v kryté hale, kde nehrozí srážky, povětrnostní vlivy a prostředí je relativně čisté bez používání chemikálií, či jiných látek, které by mohli poškodit konstrukci stroje nebo jeho funkční části.

2.4 Analýza realizovatelnosti

Zadávací firma vlastní kryté prostory pro montáž s potřebnými elektrickými rozvody a rozvody stlačeného vzduchu. Dále vlastní dvě tříosé CNC frézky značky HURCO, na kterých probíhá výroba většiny součástí, a konvenční soustruh pro drobné úpravy. Zadavatelská firma je na trhu již více než 20 let a z toho důvodu má již plně vybavenou halu potřebným nářadím pro montáž i vyvinutý systém nákupu potřebných komponent. Náročnější rotační součásti s přesnějšími tolerancemi a povrchové úpravy zadává firma externím dodavatelům. Vzhledem k tomu, že na návrh konstrukce stroje, výrobu, montáž i odzkoušení funkčnosti bylo 45 dní, byl kladen vyšší nárok na rychlost konstrukce, aby byl stroj hotov do termínu dodání. Vzhledem k meznímu termínu a časové náročnosti výroby rotačních součástí, bylo vodné se externí výrobě těchto součástí vyvarovat a preferovat výrobu na vlastních tříosých CNC frézkách, jejichž hodinová sazba, ve které byl zahrnut plat obsluhy, údržba, opotřebení nástrojů a provozní kapaliny, byla navíc ohodnocena nižší částkou, než za kterou by se součásti vyráběly externě. Většina používaných materiálů na konstrukci stroje je běžně dostupná. Jedná se o slitinu hliníku EN AW 6060, TECAFORM AH (Acetal Copolymer) a oceli třídy 11-17 a 19. Vzhledem ke krátké době dodání bylo nutno, již po hrubém návrhu konstrukce, objednat potřebné nakupované komponenty, aby byly dodány včas a nebylo nutno improvizovat.



Obrázek 3 - CNC obráběcí centrum HURCO [4]

2.5 Specifikace požadavků

Tabulka 1 - Tabulka požadavků na konstrukci

Požadavkový list	
Požadovaná vlastnost	Důležitost
Jednoduchost	Vhodná
Účelnost	Požadovaná
Spolehlivost	Požadovaná
Bezpečnost	Požadovaná
Bezporuchovost	Požadovaná
Vyrobitelnost	Požadovaná
Běžnost materiálů	Požadovaná
Snadný servis	Vhodná
Snadná údržba	Vhodná
Stabilita	Požadovaná
Snadná likvidace	Vhodná
Recyklovatelnost	Vhodná

2.6 Časový plán řešení

Z hlediska studijního a zkušebního řádu pro vypracování bakalářské práce byl stanoven tento harmonogram.

3.10. - 19.10. - Proniknutí do problematiky zadané zakázky

20.10. - 15.11. - Zpracování zadání, vyhledání vhodné literatury

16.11. - 10.2. - Vytvoření konstrukčního návrhu pro předpřejímku u zadavatele

11.2. - 10.3. - Úpravy konstrukce vyplývající z předpřejímky, dohled na montáž, psaní samotného textu bakalářské práce

11.3. - 9.4. - Psaní samotného textu bakalářské práce

10.4. - 25.4. - Formální úprava bakalářské práce

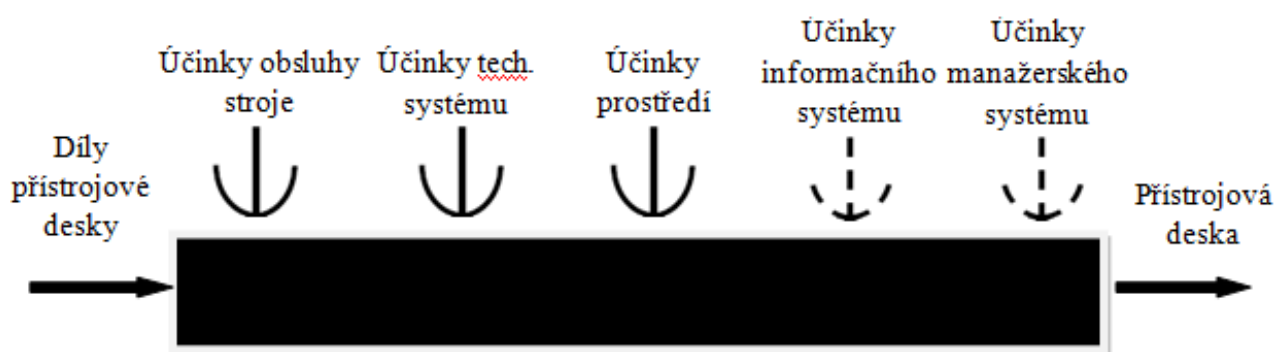
26.4. - 20.5. - Dokončení a tisk bakalářské práce

3. Návrh provozního transformačního procesu TS

3.1 Výchozí rozhodnutí

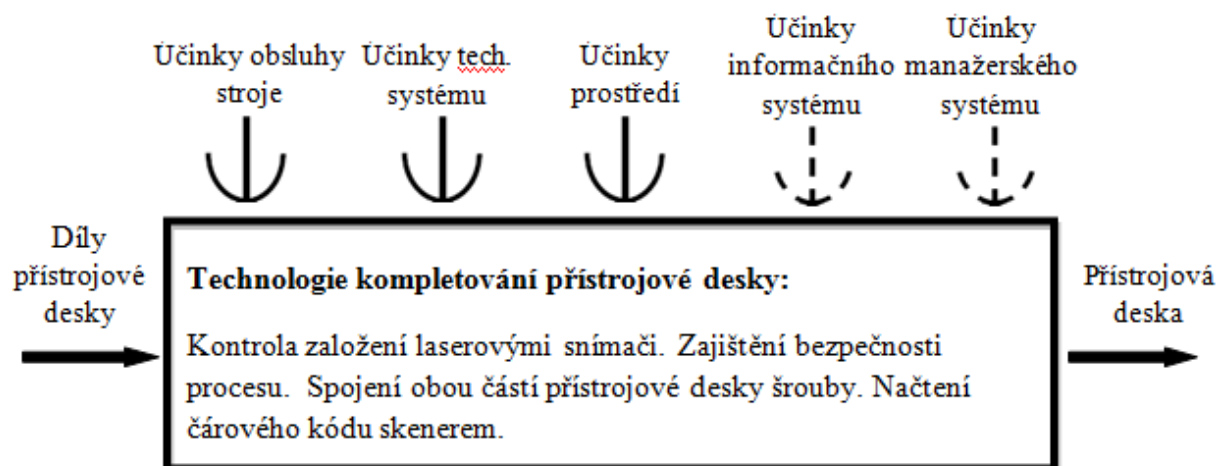
Vstupním materiálem do kompletačního stroje byla vrchní část přístrojové desky s čelním sklem a dolní část přístrojové desky, která je jednoduše a funkce stroje musela probíhat automaticky bez angažovanosti pracovníka, aby se nemusely zvýšit nároky na jeho kvalifikaci. Stroj musel správně a jednoznačně určit přítomnost založeného dílu, aby nedocházelo k špatné kompletaci přístrojové desky, případně obcházení normy obsluhou stroje. V případě špatného založení dílu přístrojové desky musel stroj zabránit kompletaci. Dalším úkolem kompletačního stroje bylo skenování čárového kódu přístrojové desky, čímž došlo k přiřazení kódu do databáze zadávající firmy, aby mohla, při reklamaci součásti, dohledat stroj a pracovníka, který prováděl kompletaci. Vzhledem k poměrně krátkému taktu, pod 35 sekund, musel stroj umožňovat paralelní činnost, při které by obsluha stroje vyjímala zkompleťovanou přístrojovou desku a následně zakládala části další přístrojové desky, přičemž by kompletační stroj využíval tento volný čas ke kompletování přístrojové desky, která byla založena během minulého cyklu. Pro splnění požadovaných rozměrů kompletačního stroje a umožnění této paralelní činnosti byl umístěn do stroje otočný stůl.

3.1.1 Návrh černé skříňky provozního transformačního procesu



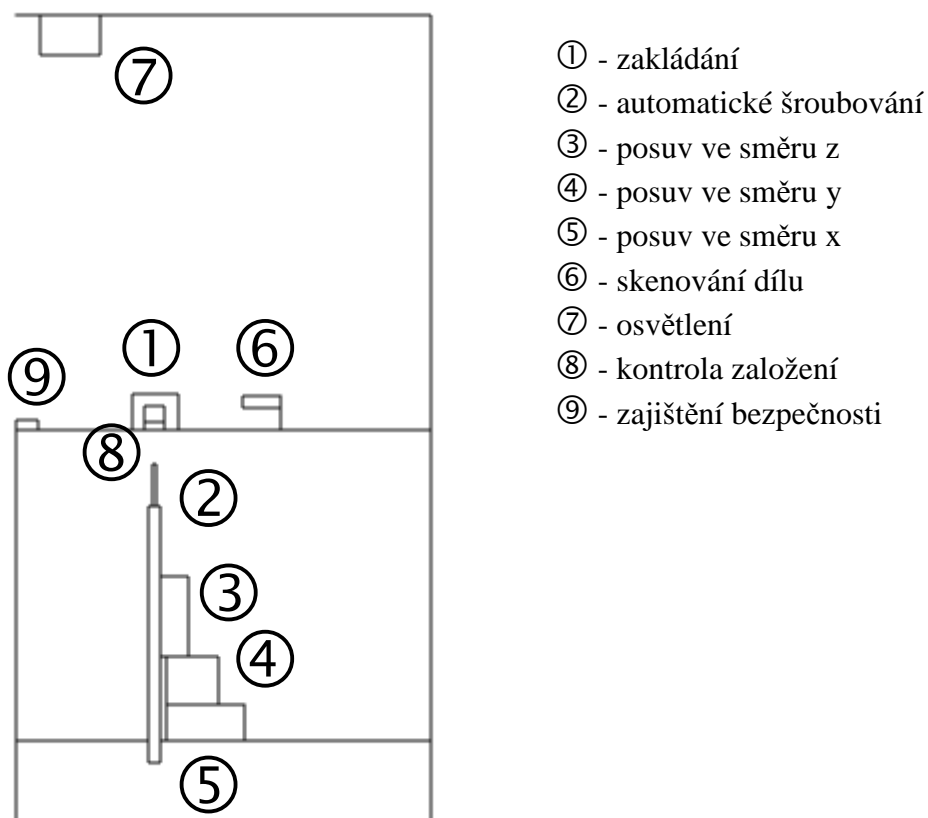
Obrázek 4 - Návrh černé skříňky

3.1.2 Návrh technologie provozního transformačního procesu

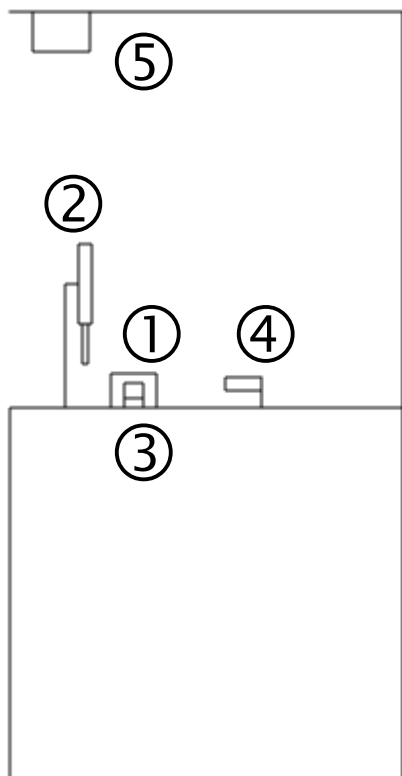


Obrázek 5 - Návrh technologie provozního transformačního procesu

3.2 Navržení koncepčních variant

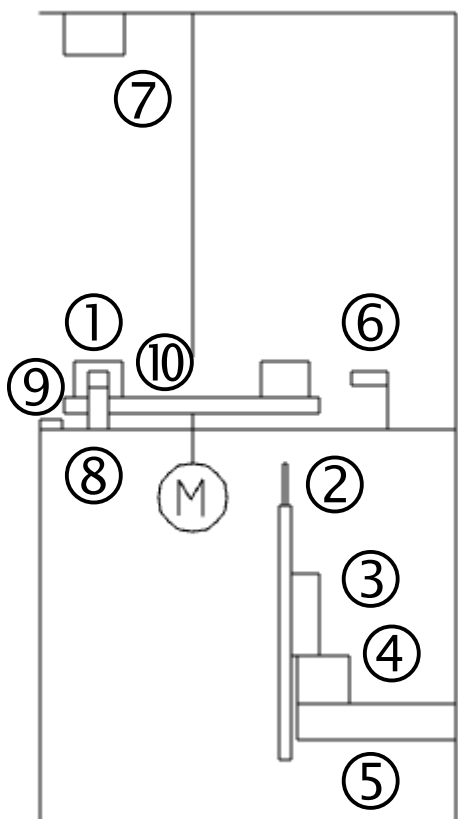


Obrázek 6 - Návrh koncepční varianty A



- ① - zakládání
- ② - ruční šroubování
- ③ - kontrola založení
- ④ - skenování dílu
- ⑤ - osvětlení

Obrázek 7 - Návrh koncepční varianty B



- ① - zakládání
- ② - šroubování
- ③ - posuv ve směru z
- ④ - posuv ve směru y
- ⑤ - posuv ve směru x
- ⑥ - skenování dílu
- ⑦ - osvětlení
- ⑧ - kontrola založení
- ⑨ - zajištění bezpečnosti
- ⑩ - otáčení

Obrázek 8 - Návrh koncepční varianty C

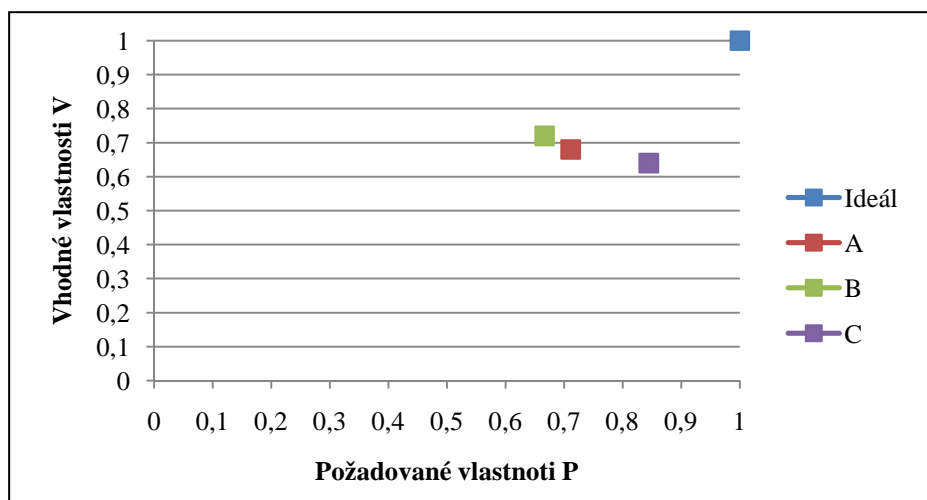
3.3 Výchozí rozhodnutí

Tabulka 2 - Tabulka výchozího rozhodnutí

Alternativa		A	B	C	Ideál
Symbol	Kritéria hodnocení	Hodnocení vhodnosti			
P	Požadované vlastnosti	2	1	5	5
	Účelnost	2	1	5	5
	Spolehlivost	4	5	3	5
	Bezpečnost	5	5	5	5
	Ovlivnitelnost procesu	4	2	5	5
	Bezporuchovost	3	4	3	5
	Vyrobitelnost	4	4	4	5
	Běžnost materiálů	3	3	3	5
	Stabilita	5	5	5	5
	Součet hodnocení	32	30	38	45
	Normované hodnocení	0,71111	0,66667	0,84444	1
V	Jednoduchost	3	4	3	5
	Snadný servis	3	4	2	5
	Snadná údržba	3	4	2	5
	Snadná likvidace	4	4	4	5
	Recyklovatelnost	3	3	3	5
	Součet hodnocení	16	19	14	25
	Normované hodnocení	0,64	0,76	0,56	1

3.4 Hodnocení a výběr optimální orgánové struktury

Dle výsledku výchozího rozhodnutí a vzhledem k vyšší váze požadovaných vlastností nad vhodnými, je jako optimální varianta zvolena varianta C.



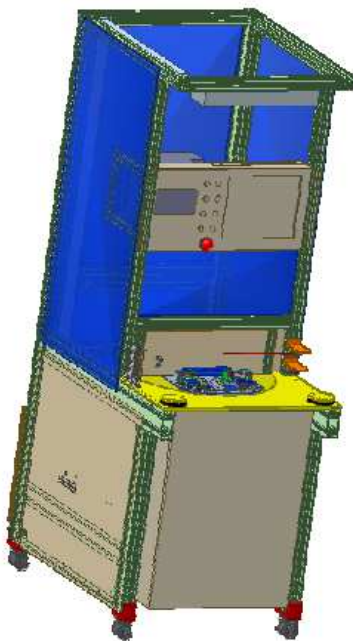
Obrázek 9 - Graf hodnocení variant

4. Navržení hrubé stavební struktury

4.1 Návrh hrubé stavební struktury TS

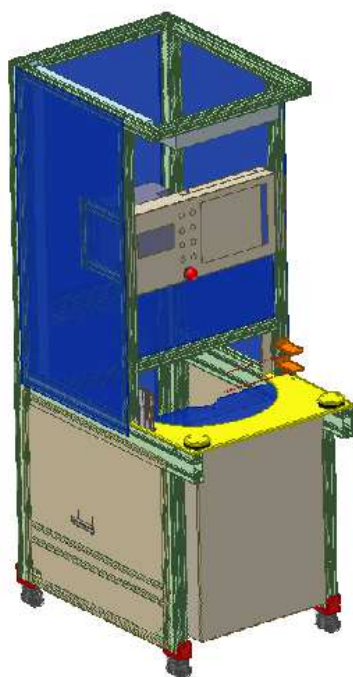
Pro přehlednější montáž a výrobu byla celková sestava rozčleněna do čtyř podsestav.

4.1.1 Celková sestava - 000



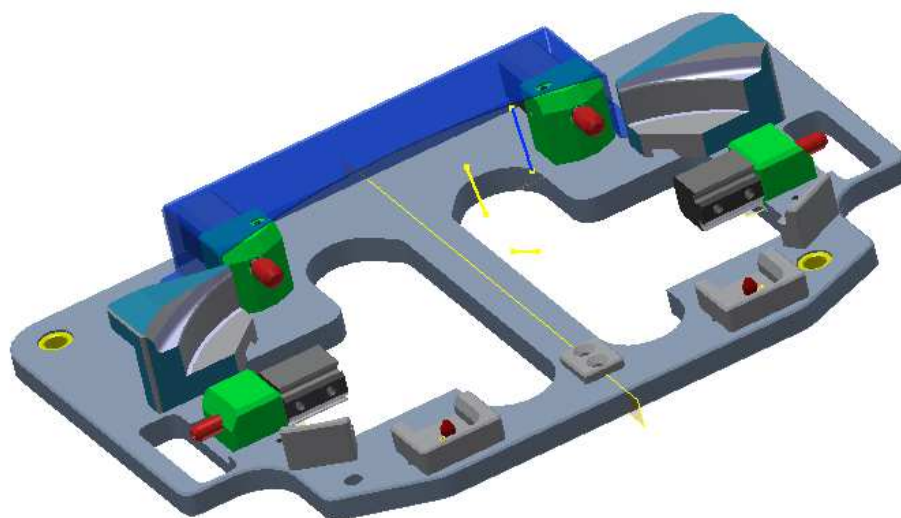
Obrázek 10 - Hrubá celková sestava

4.1.2. Sestava rámu - 100



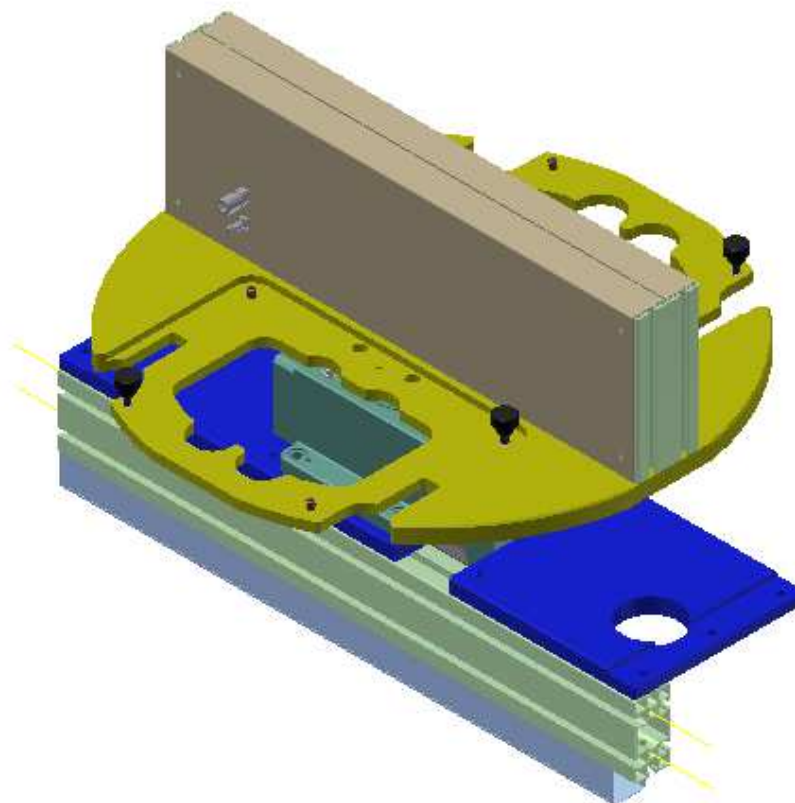
Obrázek 11 - Hrubá sestava rámu

4.1.3. Sestava paletky - 200



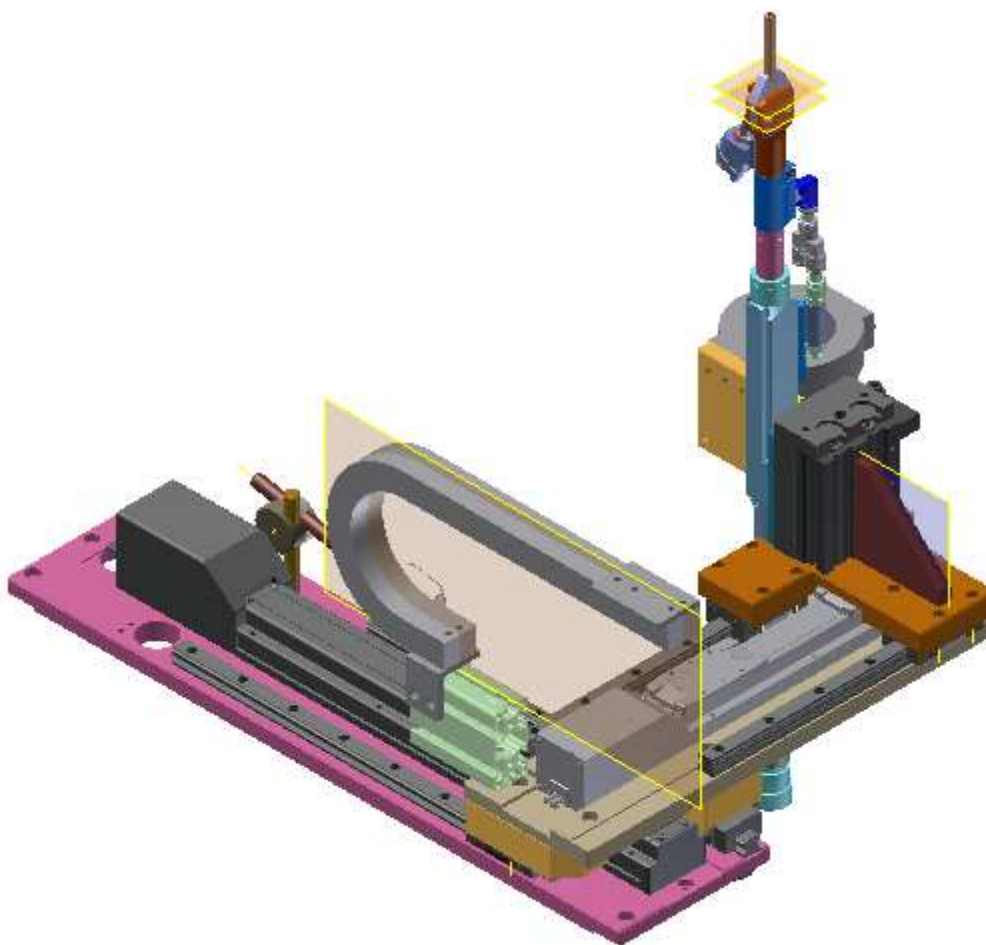
Obrázek 12 - Hrubá sestava paletky

4.1.4. Sestava stolu - 300



Obrázek 13 - Hrubá sestava stolu

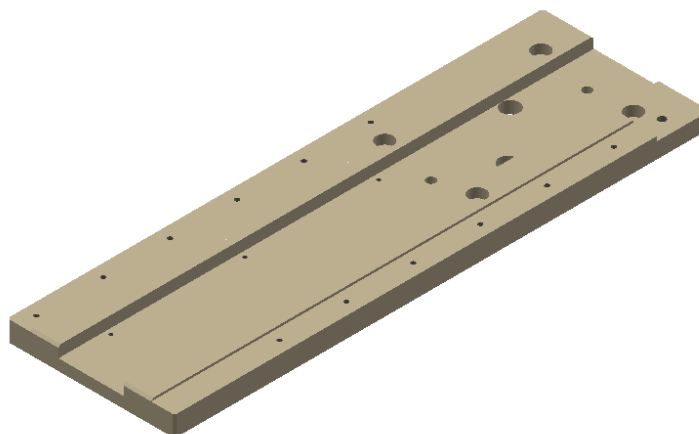
4.1.5. Sestava šroubováku - 400



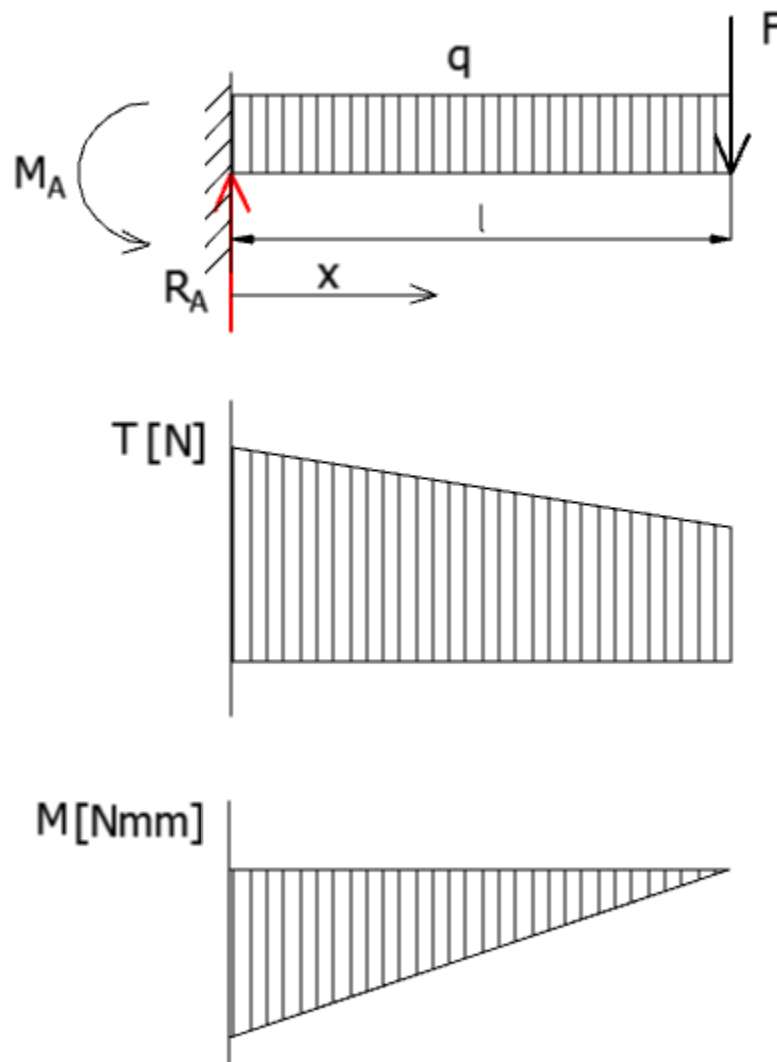
Obrázek 14 - Hrubá sestava šroubováku

4.2 Hrubé výpočtové hodnocení navržené stavební struktury TS

4.2.1 Kontrolní výpočet desky



Obrázek 15 - Kontrolovaná deska



Obrázek 16 - Schéma zatěžované součásti a průběh posouvající síly a ohybového momentu

$$F = 128,5 \text{ [N]}$$
$$q = 0,16 \text{ [Nmm]}$$
$$l = 479 \text{ [mm]}$$

$$\sum F_{i_x} = 0$$

$$\sum F_{i_y} = 0 : R_A - ql - F = 0 \Rightarrow R_A = F + ql$$

$$\sum M_i = 0 : M_A - Fl - ql \frac{l}{2} = 0 \Rightarrow M_A = Fl + q \frac{l^2}{2}$$

$$R_A = 128,5 + 0,16 \cdot 479 = 205,14 \text{ [N]}$$

$$M_A = 128,5 \cdot 479 + 0,16 \cdot \frac{479^2}{2} = 79906,78 \text{ [Nmm]}$$

$$x \in \langle 0, l \rangle$$

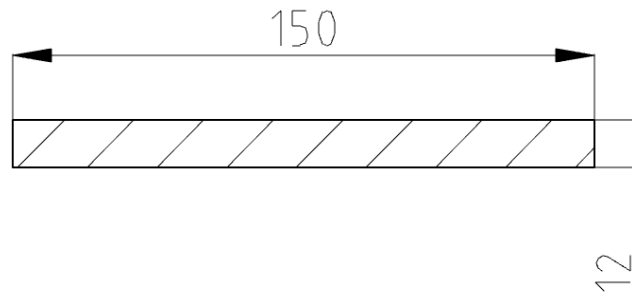
$$T_1(0) = R_A = 205,14 \text{ [N]}$$

$$T_1(l) = R_A - ql = 205,14 - 0,16 \cdot 479 = 128,5 \text{ [N]}$$

$$M_1(0) = -M_A = -79906,78 \text{ [Nmm]}$$

$$M_1(l) = -M_A + R_A l - q \frac{l^2}{2} = -79906,78 + 205,14 \cdot 479 - 0,16 \frac{479^2}{2} = 0 \text{ [Nmm]}$$

$$M_{\max} = |M_1(0)| = 79906,7 \text{ [Nmm]}$$



Obrázek 17 - Průřez kontrolované desky

Materiál: EN AW 6060

Re = 195 [MPa]

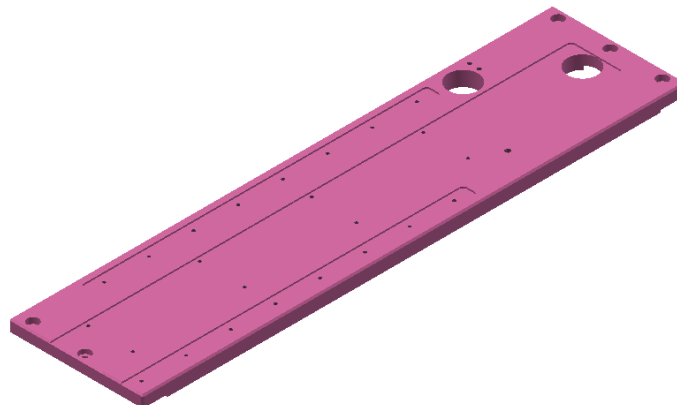
$$\sigma_D = \frac{Re}{k} = \frac{195}{2} = 97,5 \text{ [MPa]}$$

$$W_o = \frac{1}{6} BH^2 = \frac{1}{6} 150 \cdot 12^2 = 3600 \text{ [mm}^3\text{]}$$

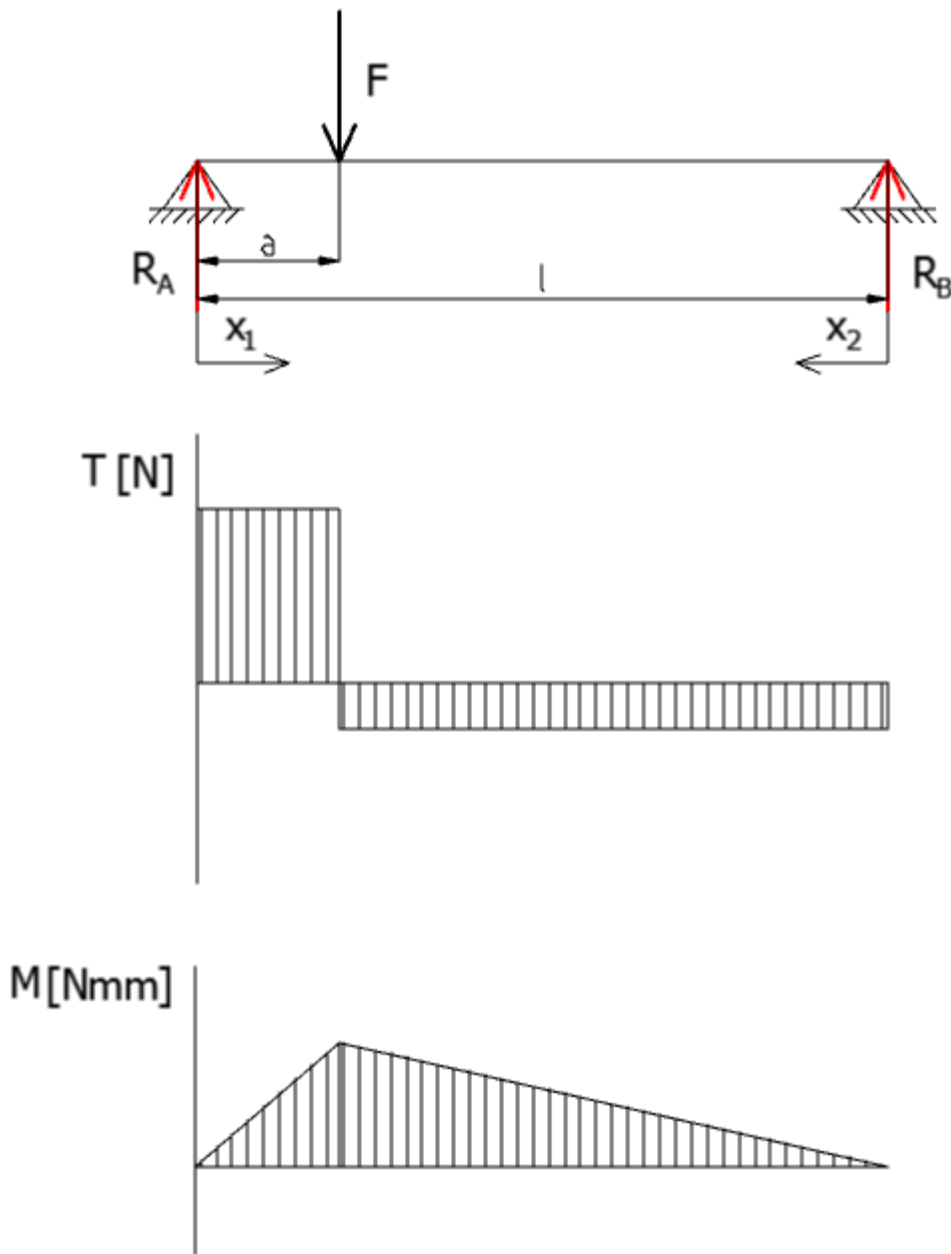
$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_o} = \frac{79906,7}{3600} = 22,196 \text{ [MPa]}$$

$\sigma < \sigma_D$ deska vyhovuje

4.2.2 Kontrolní výpočet desky šroubováku



Obrázek 18 - Kontrolovaná deska šroubováku



Obrázek 19 - Schéma zatěžované součásti a průběh posouvající síly a ohybového momentu

$$F = 551 \text{ [N]}$$
$$a = 142,25 \text{ [mm]}$$
$$l = 693 \text{ [mm]}$$

$$\sum F i_x = 0$$

$$\sum F i_y = 0 : R_A - F + R_B = 0 \Rightarrow R_A = F - R_B$$

$$\sum M_A = 0 : F \cdot a - R_B \cdot l = 0 \Rightarrow R_B = \frac{F \cdot a}{l}$$

$$R_A = 551 - 113,1 = 437,9 \text{ [N]}$$

$$R_B = \frac{551 \cdot 142,25}{693} = 113,1 [N]$$

$$x_1 \in \langle 0, a \rangle$$

$$T_1(0) = R_A = 437,9 [N]$$

$$T_1(a) = R_A = 437,9 [N]$$

$$M_1(0) = 0 [Nmm]$$

$$M_1(a) = R_A \cdot a = 437,9 \cdot 142,25 = 62291,3 [Nmm]$$

$$x_2 \in \langle 0, l - a \rangle$$

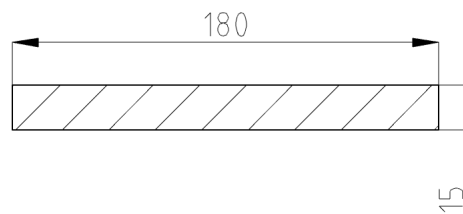
$$T_2(0) = -R_B = -113,1 [N]$$

$$T_2(l - a) = -R_B = -113,1 [N]$$

$$M_2(0) = 0 [Nmm]$$

$$M_2(l - a) = R_B \cdot (l - a) = 113,1 \cdot (693 - 142,25) = 62291,3 [Nmm]$$

$$M_{\max} = |M_1(a)| = 62291,3 [Nmm]$$



Obrázek 20 - Průřez kontrolované součásti

Materiál: EN AW 6060

Re = 195 [MPa]

$$\sigma_D = \frac{Re}{k} = \frac{195}{2} = 97,5 [MPa]$$

$$W_o = \frac{1}{6} BH^2 = \frac{1}{6} 180 \cdot 15^2 = 6750 [mm^3]$$

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_o} = \frac{62291,3}{6750} = 9,2 [MPa]$$

$\sigma < \sigma_D$ deska vyhovuje

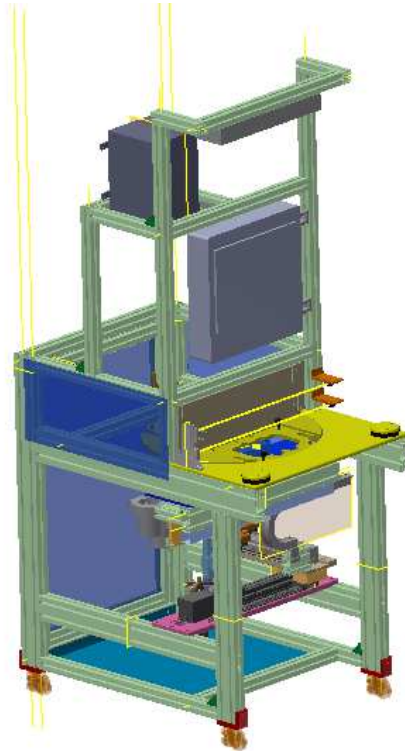
5. Navržení a zhotovení úplné stavební struktury TS

5.1 Návrh konstrukčního řešení úplné TS

Pro přehlednější montáž a výrobu byla celková sestava rozčleněna do čtyř podsestav. Po konstrukční předpřejímce požadované zadavatelskou firmou, byl předběžný konstrukční návrh přepracován z důvodu požadavku úpravy rámu stroje. Dále byly provedeny dvě úpravy nutné pro správnou funkci. Bylo doplněno zakládání o pneumatický válec, čímž došlo

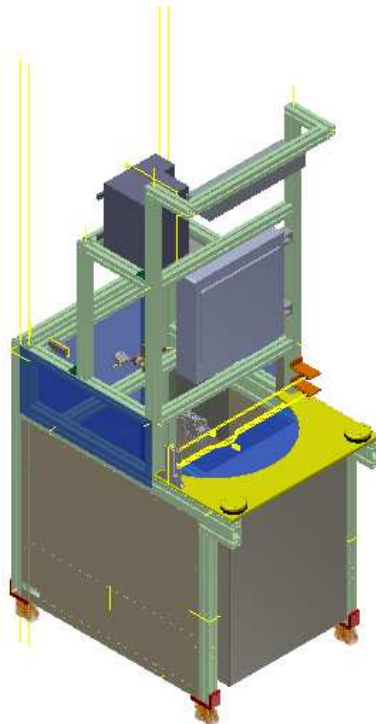
k zvýšení tuhosti a zabránilo se prohýbání přístrojové desky při šroubování. Druhou úpravou bylo přesunutí řetězu pro elektrické kabely šroubováku z důvodu nedostatečného prostoru pro jeho posuv.

5.1.1 Celková sestava - 000



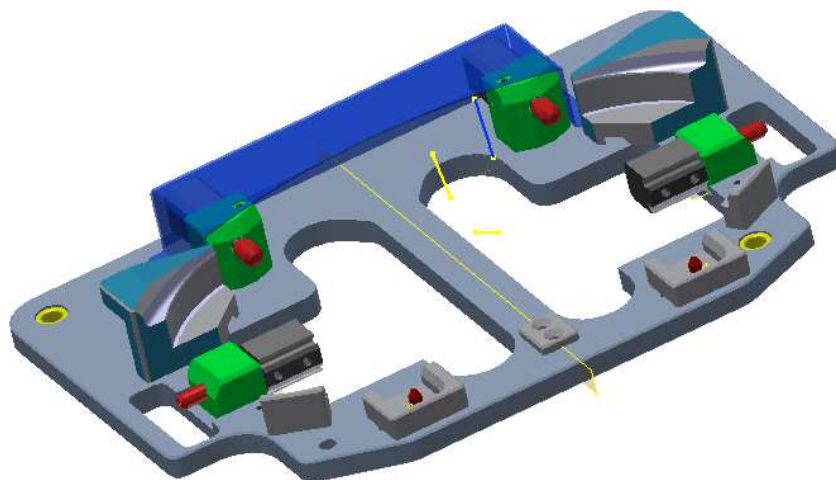
Obrázek 21 - Finální celková sestava

5.1.2. Sestava rámu - 100



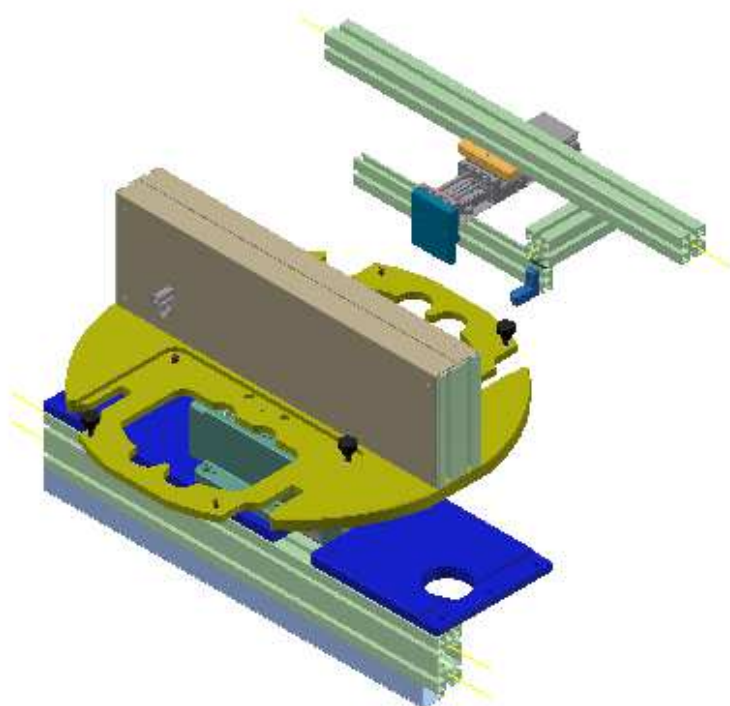
Obrázek 22 - Finální sestava rámu

5.1.3. Sestava paletky - 200



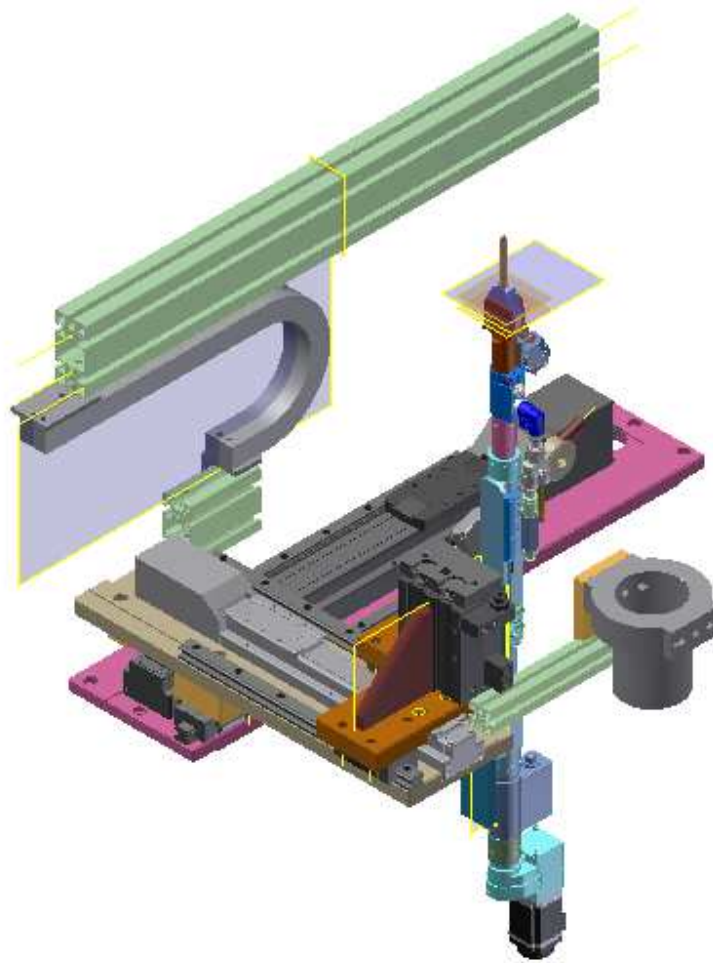
Obrázek 23 - Finální sestava paletky

5.1.4. Sestava stolu - 300



Obrázek 24 - Finální sestava stolu

5.1.5. Sestava šroubováku - 400



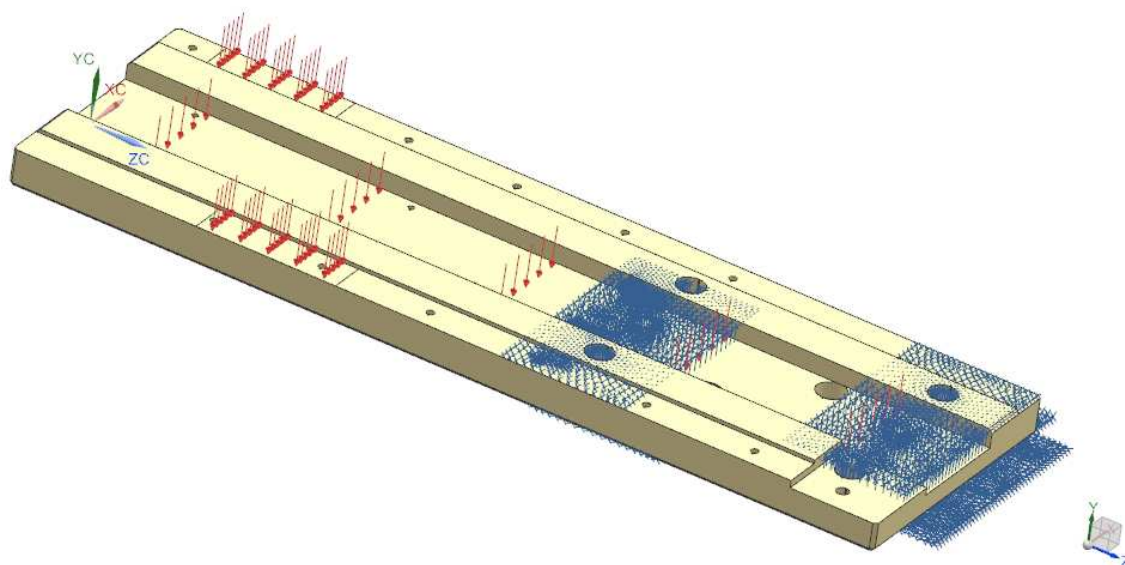
Obrázek 25 - Finální sestava šroubováku

5.2 Zpřesněné výpočtové hodnocení navrženého konstrukčního řešení TS

Pro zpřesnění výpočtů byla provedena simulace zatížení vybraných součástí v programu NX 10.

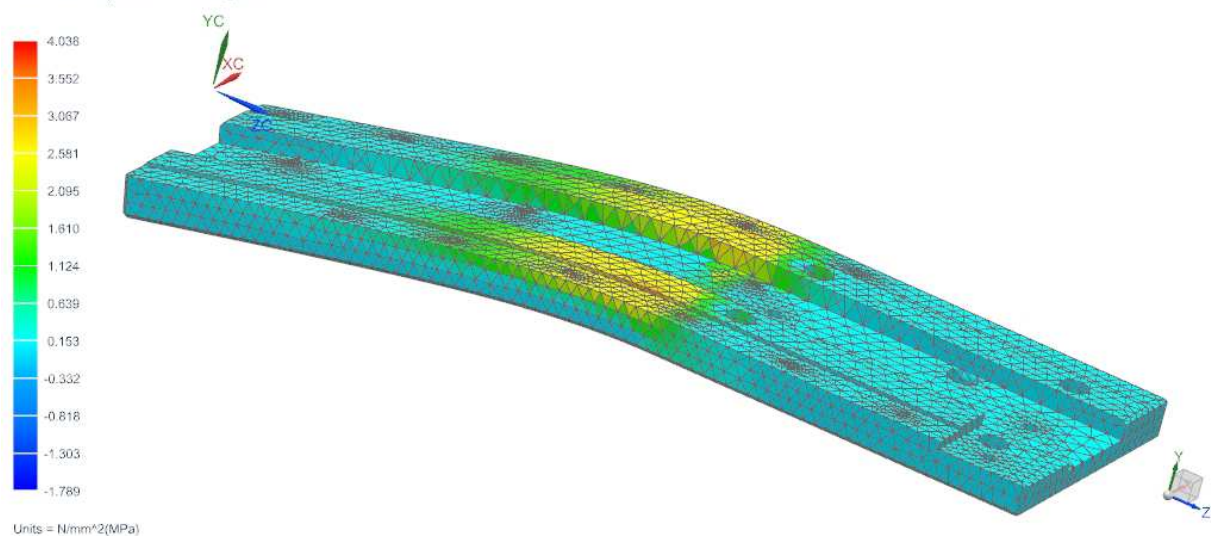
5.2.1 Kontrolní výpočet desky

Maximální napětí vyšlo 4,038 MPa a potvrdilo splnění podmínky $\sigma < \sigma_D$, která byla vypočítána v kapitole 4.2.1. Maximální průhyb byl vypočítán na 0,0978 mm, což bylo vzhledem k použití desky plně vyhovující.



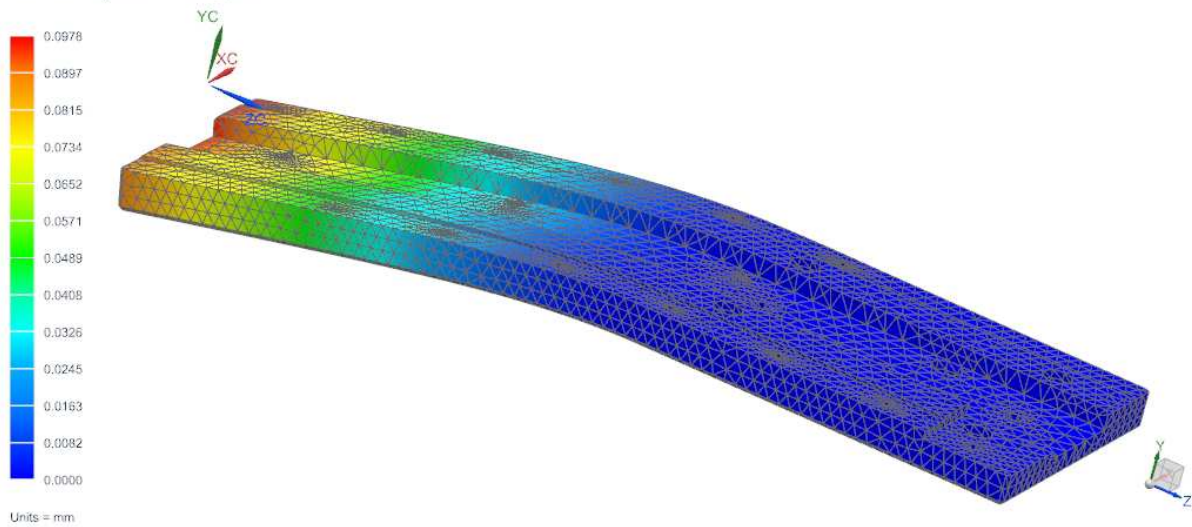
Obrázek 26 - Ukázka zatížení desky

deska_2 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Elemental, Max Principal
Min : -1.789, Max : 4.038, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 27 - Maximální napětí

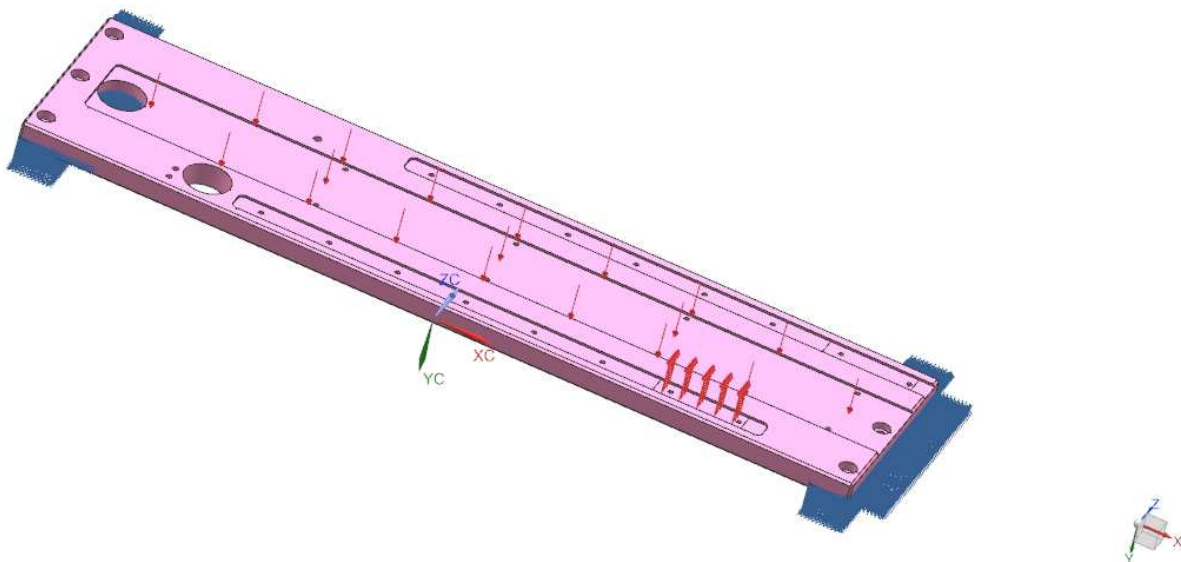
deska_2 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal Magnitude
Min : 0.0000, Max : 0.0978, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 28 - Maximální posunutí

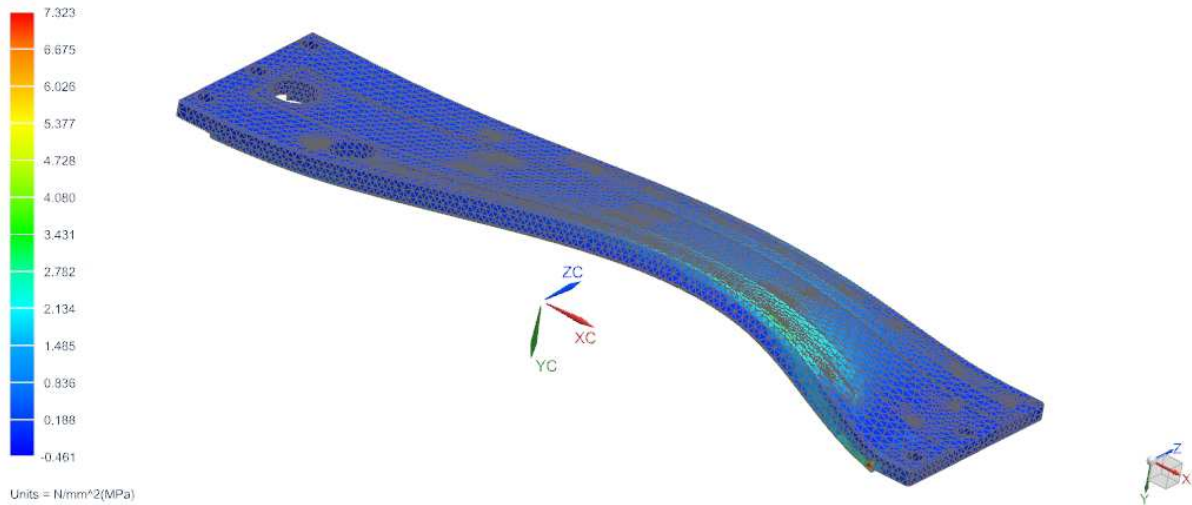
5.2.2 Kontrolní výpočet desky šroubováku

Maximální napětí vyšlo 7,323 MPa a potvrdilo splnění podmínky $\sigma < \sigma_D$, která byla vypočítána v kapitole 4.2.2. Maximální průhyb byl vypočítán na 0,0542 mm, což bylo vzhledem k použití desky plně vyhovující.



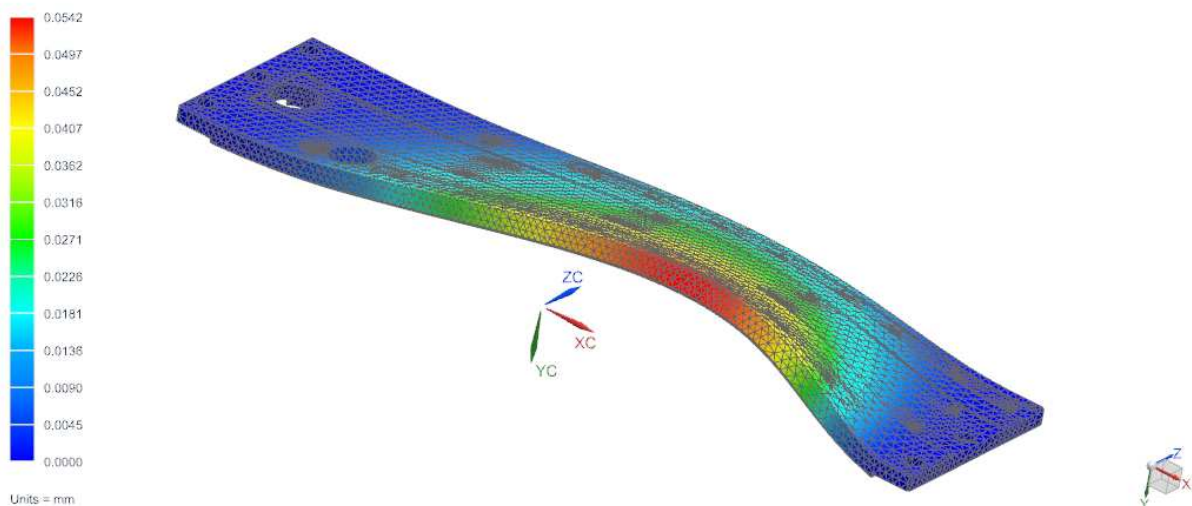
Obrázek 29 - Ukázka zatížení desky šroubováku

dees - Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Elemental, Max Principal
Min : -0.481, Max : 7.323, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 30 - Maximální napětí

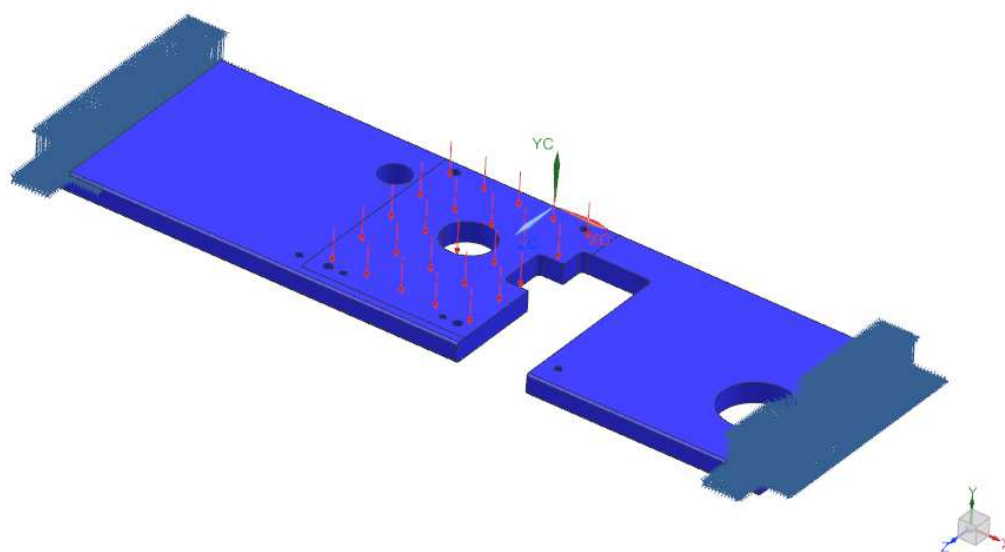
dees - Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.0000, Max : 0.0542, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 31 - Maximální posunutí

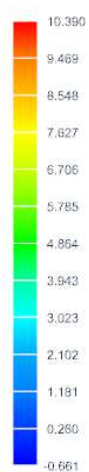
5.2.3 Kontrolní výpočet desky pod otočným stolem

Maximální napětí vyšlo 10,39 MPa a potvrdilo splnění podmínky $\sigma < \sigma_D$, která byla vypočítána v kapitole 4.2.2. Maximální průhyb byl vypočítán na 0,275 mm, což bylo vzhledem k použití desky plně vyhovující.

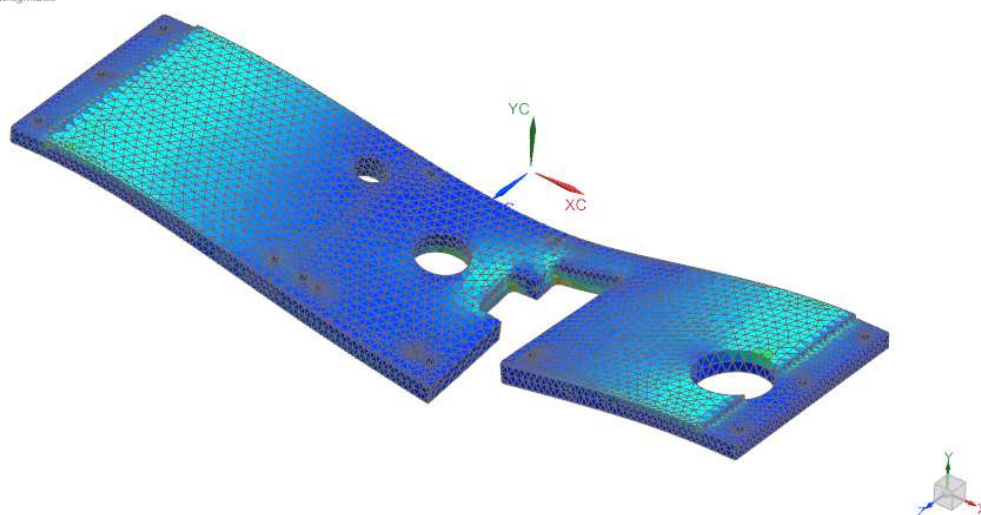


Obrázek 32 - Ukázka zatížení desky pod otočný stůl

deska_otoc_2 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Elemental, Max Principal
Min : -0.681, Max : 10.390, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

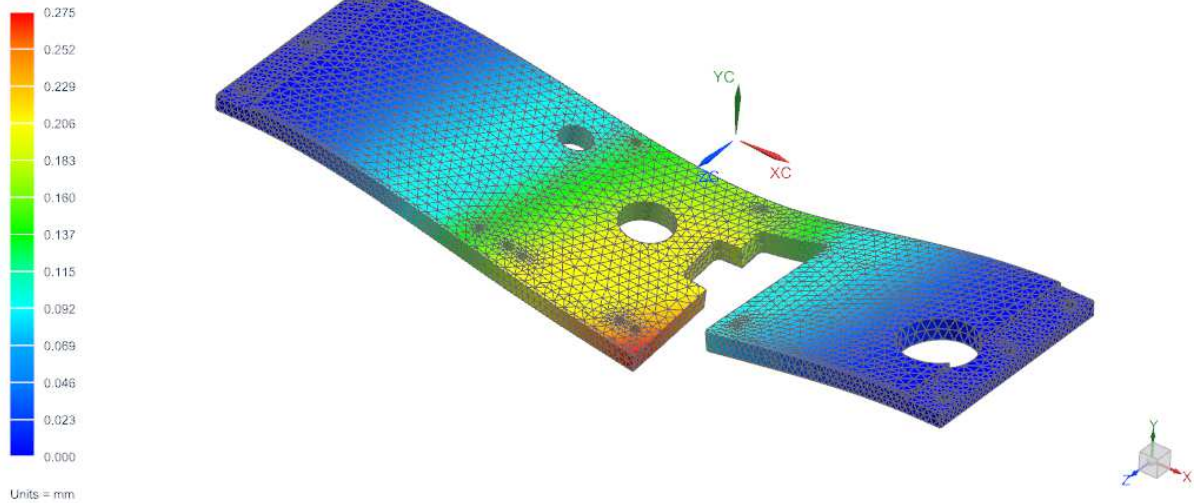


Units = N/mm²(MPa)



Obrázek 33 - Maximální napětí

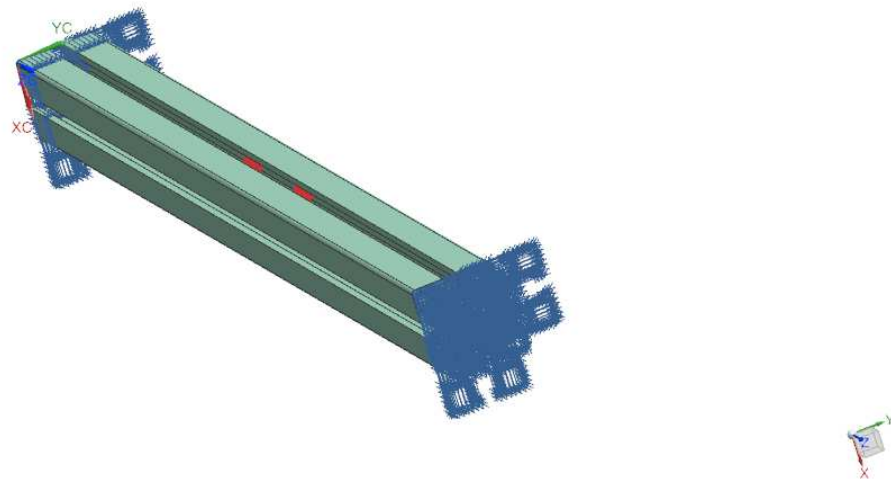
deska otoc_2 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.000, Max : 0.275, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 34 - Maximální posunutí

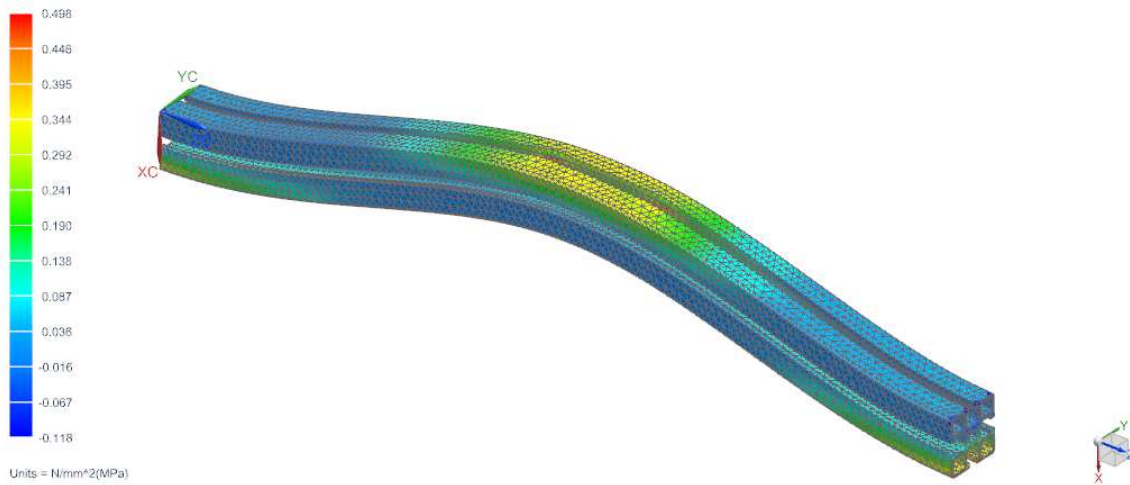
5.2.4 Kontrolní výpočet příčky

Maximální napětí vyšlo 0,498 MPa a potvrdilo splnění podmínky $\sigma < \sigma_D$, která byla vypočítána v kapitole 4.2.2. Maximální průhyb byl vypočítán na 5,187 μm , což bylo vzhledem k použití profilu plně vyhovující.



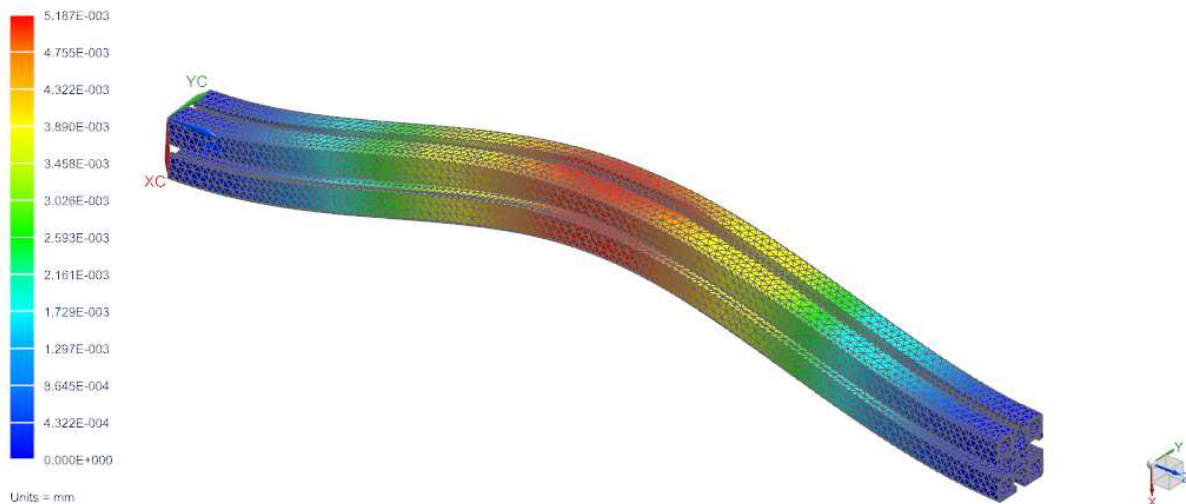
Obrázek 35 - Ukázka zatížení příčky

nosn : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Elemental, Max Principal
Min : -0.118, Max : 0.498, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 36 - Maximální napětí

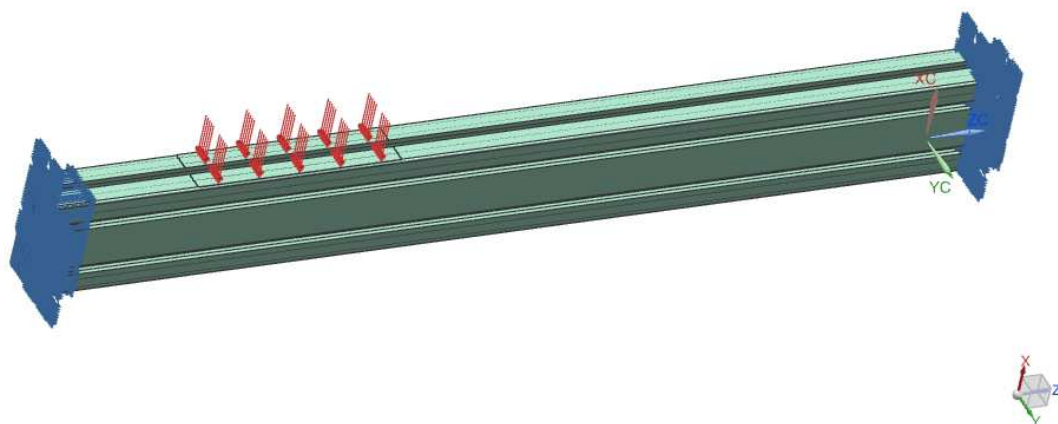
nosn : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.000E+000, Max : 5.187E-003, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 37 - Maximální posunutí

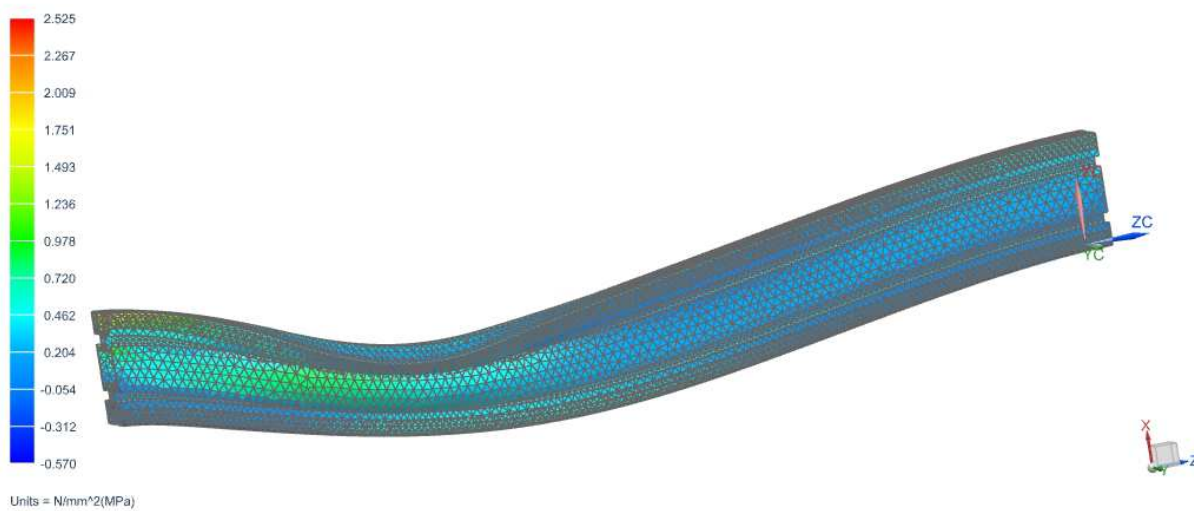
5.2.5 Kontrolní výpočet podélníku

Maximální napětí vyšlo 2,525 MPa a potvrdilo splnění podmínky $\sigma < \sigma_D$, která byla vypočítána v kapitole 4.2.1. Maximální průhyb byl vypočítán na 0,0152 mm, což bylo vzhledem k použití profilu plně vyhovující.



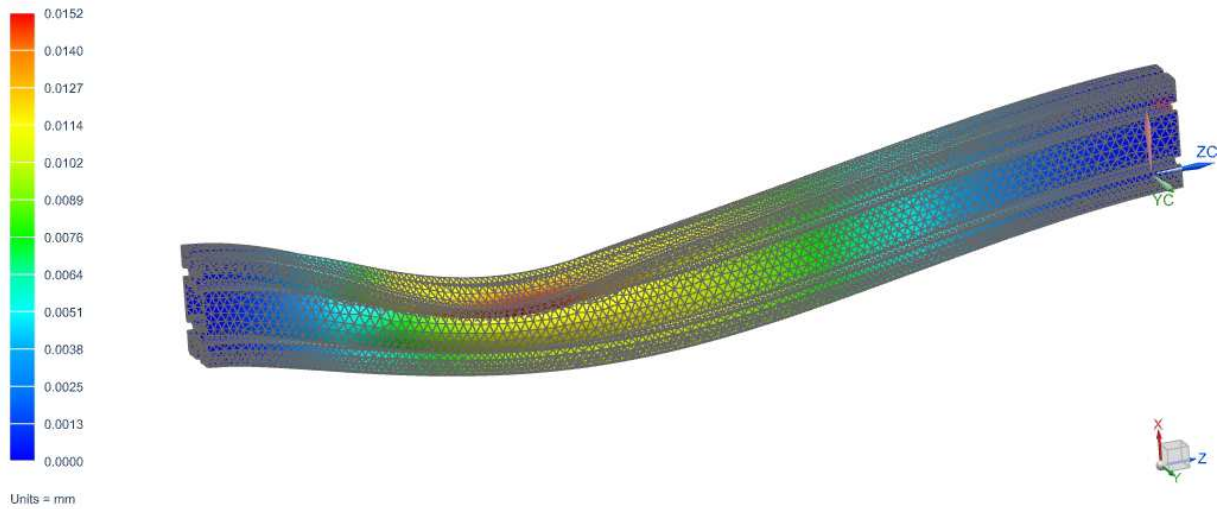
Obrázek 38 - Ukázka zatížení podélníku

sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Elemental, Max Principal
Min : -0.570, Max : 2.525, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 39 - Maximální napětí

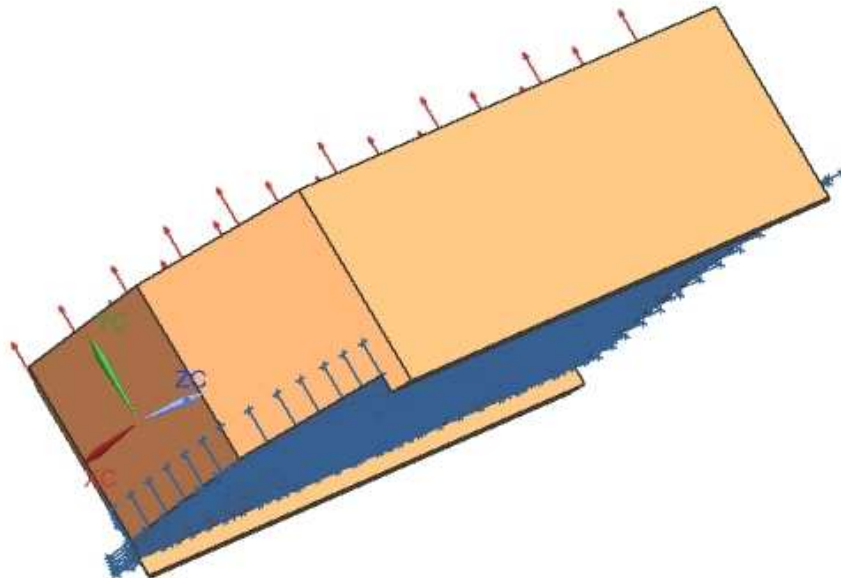
sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.0000, Max : 0.0152, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 40 - Maximální posunutí

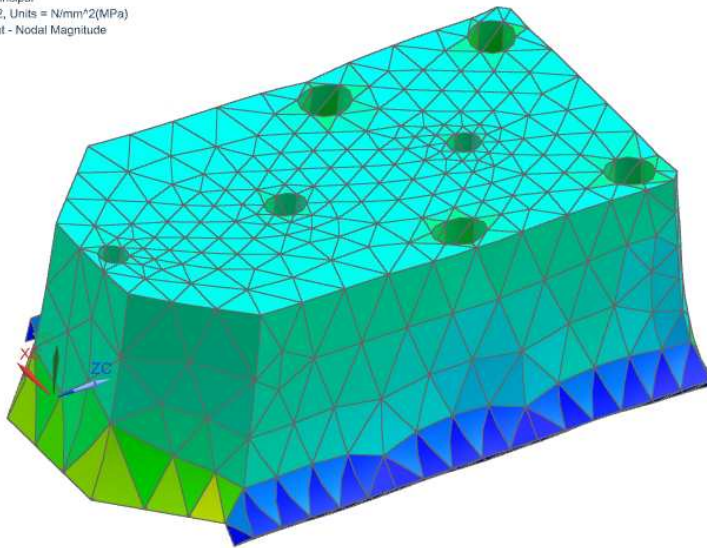
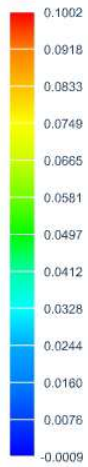
5.2.6 Kontrolní výpočet kostky vedení

Maximální napětí vyšlo 0,1002 MPa a potvrdilo splnění podmínky $\sigma < \sigma_D$, která byla vypočítána v kapitole 4.2.1. Maximální průhyb byl vypočítán na 0,02102 μm , což bylo vzhledem k použití plně vyhovující.



Obrázek 41 - Ukázka zatížení kostky vedení

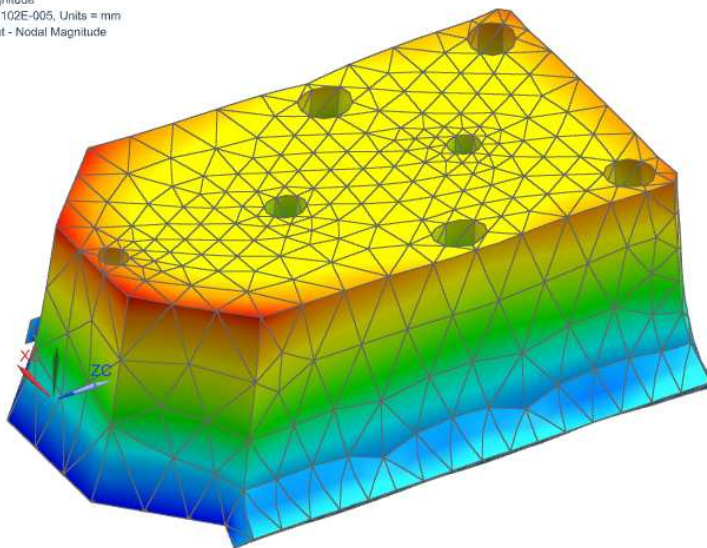
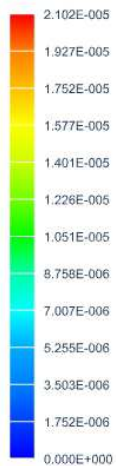
sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Elemental, Max Principal
Min : -0.0009, Max : 0.1002, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Units = N/mm²(MPa)

Obrázek 42 - Maximální napětí

sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.000E+000, Max : 2.102E-005, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Units = mm

Obrázek 43 - Maximální posunutí

5.3 Ukázky dokumentace navrženého TS

5.3.1. Výkres sestavy šroubováku

Viz. příloha 1

5.3.2. Výkres desky šroubováku

Viz. příloha 2

5.3.2. Výkres čepu

Viz. příloha 3


5.4 Ukázka objednávky



Nabídka - č.:
OFO061745

K poptávce č.:	Vyřizuje: Miroslav Tesař (Tel.:+420317701873) Code: mail 13.10.15
Odběratel: AUTOMA CZ s.r.o. p. Václav Straka nákup Nebřehovice 39 38601 Strakonice	Datum: 13.10.2015 11:37:37 Platnost do: 13.12.2015 Dodací lhůta (dnů): 45 Platba: do 14 dnů po dodání zboží a daňového dokladu

Nabízíme Vám:

Pozice	Množství ks/m	Typ Označení druhu zboží	Jednotková cena [Kč]	Vaše jednot. cena [Kč]	Celkem [Kč]
1.00	1	 TC 150 T - 2-h, 1C série TC; otočný stůl; průměr 150 [mm]; počet poloh 2; převod h; motor brzdový 3x400V/50Hz; brzda 24VDC; montážní poloha normální; umístění hnacího motoru dole, uvnitř; přesnost normální; barva RAL 7035	75 900,00	72 864,00	72 864,00 Kč
CELKEM: [Kč]					72 864,00 Kč

Naše nabídkové ceny jsou bez DPH.

Doufáme, že naše nabídka odpovídá Vaším představám a těšíme se na Vaši zakázku.

Na objednávkách prosím uvádějte číslo této nabídky.

Příslušná technická dokumentace je k dispozici na www.stasto.cz

S přátelským pozdravem

STASTO Automation s.r.o.
Ing. Tomáš Jahn
ředitel



Vytiskl (Tesař Miroslav): 13.10.2015 11:37:42

Strana 1/1

Partnership.

With Guarantee.

STASTO Automation s.r.o.
CZ-257 41 - Týnec nad Sázavou - K Náklí 512 - www.stasto.cz - stasto@stasto.cz - Tel. +420 317 701 871 - Fax +420 317 701 701
IČO 49684175 - DIČ (VAT-ID) CZ 49684175 - Reg.Kraj. obch. soud v Praze, odd. C, vl. 23316 - Jednatel: Christof Stocker, Prokurista: Ing. Tomáš Jahn
Všeobecné dodací podmínky na www.stasto.cz

Obrázek 44 - Ukázka objednávky kupovaného dílu

5.5 Zhotovení stroje

Po vytvoření konstrukční dokumentace došlo k vyrobení jednotlivých součástí a montáži stroje v dílně zadavatele. Dalším krokem bylo vytvoření softwaru stroje a vyzkoušení všech funkcí stroje na prototypu přístrojové desky. Po doladění funkcí stroje došlo k expedici stroje zákazníkovi.



Obrázek 45 - Pohled na zhotovený stroj



Obrázek 46 - Pohled z boku na zhotovený stroj



Obrázek 47 - Pohled do pracovního prostoru stroje

6. Hodnocení kvality a konkurenceschopnosti navrženého TS

Stroj byl navržen účelně, dle standardů zadávající firmy a při výrobě bylo dodrženo technologických postupů pro zajištění kvality materiálů a přesností rozměrů. Dále stroj

bez výhrad splňoval požadované parametry od zadavatele a vzhledem k analýze nejvhodnější varianty splňoval i praktičnost.

Konstrukce stroje byla inspirována konkurenčními stroji a stroji pocházejícími od samotného zadavatele. Tato inspirace byla přizpůsobena zadaným parametrům, čímž byla zachována konkurenceschopnost a v určitých aspektech i zvýšena.

7. Závěr

Předmětem bakalářské práce bylo navržení kompletačního stroje pro přístrojovou desku Škoda. Při návrhu tohoto stroje byly nejprve zhotoveny koncepční varianty, ve kterých byly tyto návrhy optimalizovány podle ceny, funkčnosti a kombinací obou těchto stěžejních bodů. Dle těchto návrhů byla vybrána pro zadavatele nejvhodnější varianta koncepčního návrhu, podle kterého byl následně vytvořen hrubý konstrukční návrh s následnými orientačními výpočty. Po zkontrolování zadavatelem a upřesnění finální formy konstrukce stroje došlo k následné úpravě a vytvoření finálního konstrukčního modelu. Poté byly vytvořeny kontrolní výpočty pro nejvíce zatěžované součásti.

Po vytvoření výrobní dokumentace a vyrobení jednotlivých dílů bylo dohlédnuto na montáž jednoúčelového stroje a jeho ozkoušení na prototypu poskytnutém pro tyto účely zadavatelem práce.

Při vytváření konstrukčního modelu jednoúčelového stroje došlo k nejasnosti v požadavcích zadavatele a po konstrukční předpřejímce došlo k rozsáhlé úpravě rámu stroje, který byl přizpůsoben představě zadavatele a značně odlehčen. Další problém nastal při montáži stroje, kde bylo špatně navrženo navádění dílu přístrojové desky a bylo špatně zvoleno upevnění řetězu na kabely. Navádění přesahovalo přes výměnný přípravek a ten nedoléhal na základovou desku. Tento problém byl vyřešen zkrácením naváděcího čepu a jeho zalepením v otvoru pro jeho ukotvení. Problém s řetězem byl vyřešen navržením nového ukotvení pomocí hliníkového profilu od dodavatele Alutec K&K.

Nakonec po všech výše uvedených úkonech byl stroj expedován zadavateli zakázky a ve výrobní hale znovu odzkoušen. Po ověření spolehlivosti a potencionálního poškození při převozu byl stroj nasazen do "ostrého" provozu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

KNIŽNÍ PUBLIKACE

[1] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J.: *Příručka strojního inženýra 1, Obecné strojní části*. Computer Press Praha, 1999. 356 s. ISBN 80-7226-055-3

[2] STAČEKOVÁ, D., MIČIETOVÁ, A.: *Jednoúčelové stroje a výrobné linky*. Žilina: EDIS-vydavateľstvo, 2001. 143 s. ISBN 80-7100-810-9

OBRÁZKY

[3] AUTOMA CZ s.r.o. [online]. [cit. 2016-03-11]. Dostupné z:
<http://www.automacz.cz/sites/all/themes/danland/images/slideshows/img3.jpg>

[4] Production, machines [online]. [cit. 2016-03-13]. Dostupné z:
http://www.porfem.hu/images/gepek/hurco_vmx50.jpg

Platnost všech odkazů ke dni 19.5.2016

SEZNAM PŘÍLOH

1. Výkres sestavy šroubováku
2. Výrobní výkres desky šroubováku
3. Výrobní výkres čepu