



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní



**MULTIFUNKČNÍ SVÁŘECÍ PŘÍPRAVEK
PRO ROBOTIZOVANÉ PRACOVÍŠTĚ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Liberec 2015

Boris Ha

Technická univerzita v Liberci
Fakulta strojní

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojní inženýrství**

Multifunkční svářecí přípravek pro robotizované pracoviště

Autor: Boris Ha

Vedoucí práce: prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.
Konzultant práce: Ing. Jan Petřík, Ph.D.

Počet stran: 60

Počet příloh: 1

Datum odevzdání: 3. července 2015

Technická univerzita v Liberci
Fakulta strojní
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: **Boris Ha**
Osobní číslo: **S14000543**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojní inženýrství**
Název tématu: **Multifunkční svářecí přípravek pro robotizované pracoviště**
Zadávající katedra: **Katedra částí a mechanismů strojů**

Zásady pro vypracování:

Konstrukce universálního svářecího přípravku, skládajícího se z upínacího rámu, uloženého v otočném polohovadle robota a konstrukce dvou svářecích přípravků pro produkty T1 a T2, které je možné v tomto upínacím rámu rychle zaměňovat. Využití přesných upínacích systémů, již používaných ve výrobním závodě zadavatele. Kontrola navržené koncepce metodou konečných prvků co do průhybu a napětí nosných částí. Optimalizace komfortu zakládání materiálu do přípravků a jeho upínání. Ekonomika spojená s konstrukcí a provozem přípravku.

Obsah bakalářské práce

1. Představení úkolu
2. Průzkum potencionálních řešení / Dosavadní řešení
3. Vypracování 3D modelu, výkresové dokumentace
4. Výpočtová zpráva
5. Ekonomické zhodnocení
6. Závěrečné zhodnocení

Rozsah grafických prací: **přílohy dle potřeby**

Rozsah pracovní zprávy: **40**

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

Seznam odborné literatury:

[1] LEINVEBER, J. a VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Úvaly: Albra, 2005.

ISBN 80-736-01-6

Databáze knihovny TUL

Databáze KVK Liberec

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.**

Katedra částí a mechanismů strojů

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jan Petřík, Ph.D.**

Katedra částí a mechanismů strojů

L. S.

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld

děkan

prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.

vedoucí katedry

V Liberci dne 14. listopadu 2014

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 diplomové 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.

V Liberci dne 3. července 2015

Boris Ha

Anotace

Předmětem bakalářské práce je návrh univerzálního svařovacího přípravku. Ten bude umístěn na rámu otočného polohovadla na robotizovaném svařovacím pracovišti. Přípravek má primárně sloužit k zakládání a svařování dvou produktů T1 a T2 za pomoci robotického ramene a jeho konstrukce by měla být koncipovaná tak, aby umožnila rychlou změnu vyráběného produktu za druhý. Důraz je tedy kladen na univerzálnost a variabilitu přípravku. Základem práce je průzkum současných trendů upínání a zakládání polotovarů při svařování. Její součástí je také kontrola vybraných částí výpočtem i metodou konečných prvků a ekonomické zhodnocení návrhu.

Klíčová slova

ekonomika, MKP, přípravek, svařování, univerzálnost, upínání

Annotation

The object of this bachelor thesis is design of universal welding fixture. The fixture will be placed on frame of rotary positioner on robotized workplace. It will be used for fixing and welding of products T1 and T2 primarily and its construction should be conceived for easy and quick changing of production process. Welding will be performed by a robotic arm. Extra emphasis is placed on universality and variability. The work is founded on a survey of current trends in fixing of material during welding. A part of a bachelor thesis is strength check of chosen parts using analytical calculations and FEM and also economic evaluation.

Key Words

economy, FEM, fixing, fixture, universality, welding

Poděkování:

Velice rád bych poděkoval panu prof. Ing. Ladislavu Ševčíkovi, CSc. a panu Ing. Janu Petříkovi, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce a užitečné konzultace.

Dále děkuji panu Ing. Petru Voborníkovi ze společnosti Trumpf za cenné rady a slečně Ing. Evě Puhalové za pomoc s úpravou bakalářské práce. Zvláštní poděkování patří mé rodině a přátelům za trpělivost a duševní i finanční podporu nejen při psaní bakalářské práce, ale po celou dobu mého studia.

Obsah

Seznam zkratk a symbolů	10
Seznam tabulek.....	12
Seznam obrázků	13
1. Úvod.....	14
2. Představení svařovaných produktů	16
2.1 Tvar a rozměry svařenců	16
2.2 Kritická místa a požadavky na svařenec.....	17
3. Stávající řešení.....	19
3.1 Postup zakládání polotovaru.....	19
3.2 Nedostatky stávajícího řešení	19
4. Průzkum možností upínání polotovaru.....	21
4.1 Trendy v upínání materiálu při svařování.....	21
4.1.1 Univerzální stoly s T-drážkou	22
4.1.2 Univerzální dřevé stoly.....	22
4.1.3 Magnetické stoly	23
4.2 Patentový průzkum	24
4.2.1 Fixing Clamp – US6027279 A.....	24
4.2.2 Welding Clamp – US6349869 B1	25
5. Návrh řešení.....	26
5.1 Základní deska	26
5.2 Upnutí profilů	28
5.2.1 Koncept č. 1.....	29
5.2.2 Koncept č. 2.....	30
5.2.3 Koncept č. 3.....	30
5.2.4 Koncept č. 4.....	31
5.2.5 Zhodnocení a výběr z navržených konceptů	32
6. Konstrukce vybraných konceptů	34
6.1 Konstrukce upnutí podélných profilů	34
6.2 Konstrukce upnutí příčných profilů.....	36
7. Verifikace vybraných částí výpočtem a pomocí MKP.....	41
7.1 Ohybové napětí.....	41
7.1.1 Ohybový moment.....	41

7.1.2 Hledání modulu proměnlivého průřezu.....	43
7.1.3 Výpočet ohybového napětí.....	45
7.1.4 Ohybové napětí pomocí MKP.....	45
7.2 Průhyb nosníku.....	47
7.2.1 Určení celkového kvadratického momentu J	47
7.2.2 Výpočet průhybu.....	48
7.2.3 Průhyb pomocí MKP.....	50
7.2.4 Naznačení výpočtu staticky neurčitého nosníku.....	54
8. Ekonomické zhodnocení.....	55
9. Závěr.....	56
Seznam použité literatury.....	58
Seznam příloh.....	60
Příloha 1 Ohybové napětí získané pomocí MKP.....	I

Seznam zkratek a symbolů

TUL		Technická univerzita v Liberci
MKP		Metoda konečných prvků
FEM		Finite element method
3D		„Trojdimenzionální“
2D		„Dvojdimeznionální“
T1, T2		Produkt 1, Produkt 2
σ_o	[Pa]	Ohybové napětí
σ_{ODOV}	[Pa]	Dovolené ohybové napětí
M_o	[Nm]	Ohybový moment
M_{OMAX}	[Nm]	Maximální ohybový moment
W_o	[mm ³]	Modul průřezu v ohybu
J	[mm ⁴]	Kvadratický moment
e	[m]	Vzdálenost krajního vlákna od neutrální osy
F	[N]	Síla
R	[N]	Reakce
U	[J]	Deformační energie
E	[Pa]	Youngův modul pružnosti
N	[N]	Normálová síla
U	[J]	Deformační energie
M_K	[N]	Krouticí moment
J_p	[mm ⁴]	Polární moment
w'	[rad]	Sklon ohybové čáry

w	[m]	Průhyb
L	[m]	Délka nosníku
$C_1 \sim$	[m]	Integrační konstanty
M_P	[Nm]	Povolovací moment
M_U	[Nm]	Utahovací moment
M_{ZP}	[Nm]	Odporový moment v plochách závitu
M_{PP}	[Nm]	Odporový moment v plochách mezi přitlačným kotoučem a profilem
d_2	[m]	Střední průměr závitu
F_Q	[N]	Síla předpětí
γ	[°]	Úhel stoupání závitu
φ'_z	[°]	Třecí úhel
α	[°]	Vrcholový úhel profilu závitu
f_Z	[-]	Součinitel tření v plochách závitu
f_P	[-]	Součinitel tření v plochách mezi přitlačným kotoučem a profilem
D_P	[m]	Střední průměr stykové plochy
D_K	[m]	Vnější průměr stykové plochy
D_O	[m]	Vnitřní průměr stykové plochy

Seznam tabulek

Tabulka 1: Odhad ceny pneumatických upínacích prvků.....	26
Tabulka 2: Odhad ceny mechanických upínacích prvků.....	26
Tabulka 3: Porovnání hodnot průhybu.....	51

Seznam obrázků

Obrázek 1: Laser a podavač palet.....	16
Obrázek 2: Produkt T1 a T2.....	17
Obrázek 3: Paleta.....	17
Obrázek 4: Svar podélného a příčného profilu.....	17
Obrázek 5: Vzdálenost horních ploch profilů.....	18
Obrázek 6: Stůl s T-drážkami.....	22
Obrázek 7: Upínací stavebnice Siegmund.....	23
Obrázek 8: Magnetická deska.....	23
Obrázek 9: Fixing Clamp.....	24
Obrázek 10: Welding Clamp.....	25
Obrázek 11: Návrhy atypické základní desky.....	27
Obrázek 12: Možnosti sestavení základní desky.....	27
Obrázek 13: „Rozpad“ sestavy základní desky.....	28
Obrázek 14: Koncept č. 1.....	29
Obrázek 15: Koncept č. 2.....	30
Obrázek 16: Koncept č. 3.....	31
Obrázek 17: Koncept č. 4.....	32
Obrázek 18: Upnutí prvního podélníku.....	35
Obrázek 19: Upnutí druhého podélníku.....	35
Obrázek 20: Upnutí podélníků.....	36
Obrázek 21: Upnutí příčnicku.....	37
Obrázek 22: Šroubový spoj.....	39
Obrázek 23: Staticky určitý X neurčitý nosník.....	41
Obrázek 24: Zatížení nosníku.....	42
Obrázek 25: Rozvržení děr na pásu.....	43
Obrázek 26: Průřezy.....	44
Obrázek 27: Ohybové napětí – nosník se zjednodušenými dírami.....	46
Obrázek 28: Graf simulovaného průhybu ve středu nosníku.....	51
Obrázek 29: Graf simulovaného průhybu v místě zatížení.....	52
Obrázek 30: Porovnání průběhů průhybu.....	52
Obrázek 31: Podpěry.....	53
Obrázek 32: Celkový průhyb rámu se základní deskou.....	53

1. Úvod

Při obrábění, montáži, svařování a vůbec jakékoli práci s materiálem, ať už s polotovary či hotovými díly, se snažíme dosáhnout předepsaných hodnot. Dokázat to chceme pochopitelně co nejefektivněji a nejrychleji. Právě k tomuto účelu se používají přípravky a setkáme se s nimi téměř všude v technické praxi. V oblasti obrábění je můžeme vidět například jako nástroje pro upínání specifických obrobků kvůli jejich geometrické složitosti, nástroje při vrtání děr jako šablony, díky nimž se nemusí polohy děr před vrtáním označovat. V lakovnách se přípravky používají v podobě závěsných systému, a hojně se vyskytují jako pomocníci v oblasti montáže nebo při svařování. Promyšlené postupy zakládání materiálu do přípravků a jejich správná konstrukce se při svařování odráží na zjednodušení samotného svařování, zvýšení komfortu a bezpečnosti práce, zpřesnění dosahovaných hodnot, lepší výchozí pozici pro návazné operace v technologii výroby a v neposlední řadě zkrácení výrobních časů. Je zřejmé, že konstrukce přípravku vyplácí především ve velkosériové výrobě, kde jimi projdou stovky nebo tisíce produktů a náklady na jejich realizaci se rychle vrací. V takových případech jsou často tvořeny jako jednoúčelové stroje. V praxi však není výjimkou přípravek, navrhnutý s důrazem na univerzálnost, což umožňuje jeho využití pro více různých operací. Ty nebývají tak specifické, ale nabízejí širší možnost využití a často se používají v malosériové nebo kusové výrobě. Náklady, na ně vynaložené, se potom dají rozpočítat mezi všechny produkty, k jejichž výrobě přípravek pomohl.

Úkolem této práce je zkonstruovat univerzální svařovací přípravek. Ten bude umístěn na upínacím rámu, uloženém v otočném polohovadle, kde bude svařování zprostředkováno automatizovaným robotickým ramenem. Jde o návrh systému pro založení dílů budoucích svařenců produktů T1, T2, T3, T4, T5, T6 (kdy T3-T6 nejsou předmětem práce) a vyřešení upnutí celého polotovaru v přípravku. Velký důraz je tedy kladen na univerzálnost základní konstrukce. Zároveň je třeba zajistit komfortní, přesné a jednoduché zakládání polotovaru za co nejkratší čas a umožnit přístup svařovacího robota k co největšímu počtu svarů.

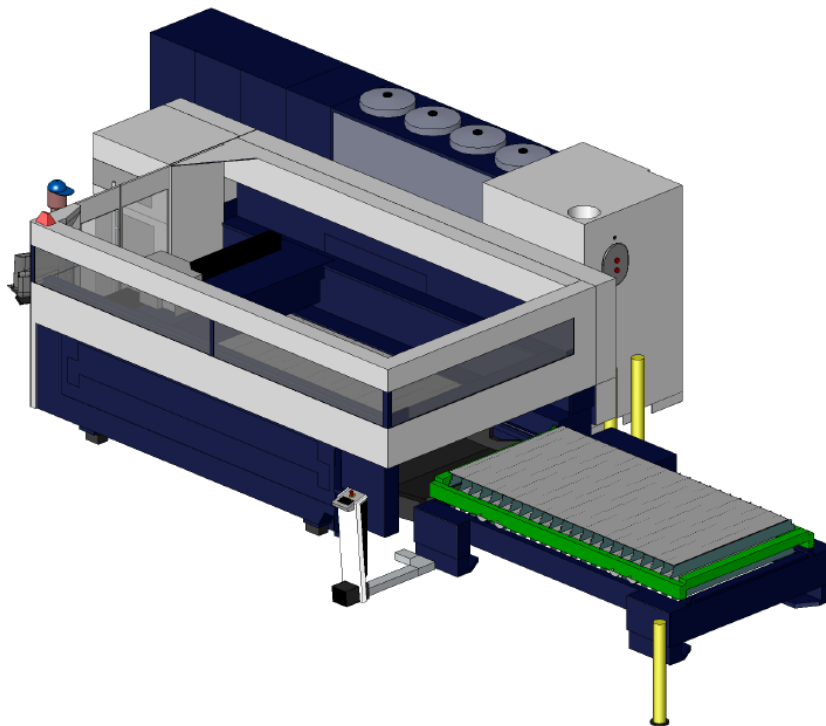
Práce se v první řadě zaměří na průzkum současného trendu způsobu upínání polotovarů při svařování. Dále bude jejím obsahem návrh základní desky, která bude výchozím členem pro upínací systémy konkrétních produktů a zároveň bude spojovacím členem mezi nimi

(upínacími systémy) a rámem polohovadla. Snaha bude najít co možná nejvíc univerzální řešení. Samotný způsob upnutí polotovarů bude dalším bodem, následovaným otázkou simulace zatížení navržené koncepce a jejích vybraných částí výpočtem s ověřením pomocí MKP. Nebude chybět ani ekonomické a závěrečné zhodnocení.

Svařovací přípravek bude navrhnout pro využití ve výrobním závodě firmy Trumpf s.r.o. v Liberci., která je zadavatelem práce. Společnost byla založena roku 1923 a dnes působí po celém světě. Jejím oborem je zpracování plechu, využití laseru ve výrobních procesech, elektronické aplikace či vybavení nemocnic. Produktem jsou potom obráběcí stroje, laserová technika, ruční nářadí a elektronika.

2. Představení svařovaných produktů

Svařovací přípravek, jehož konstrukce je úkolem práce, bude pomáhat při svařování dvou produktů. Jde o palety, které jsou součástí systému pro manipulaci materiálu (plechových tabulí) při vypalování laserem. Samotný laser i manipulační systém je produktem zadavatele. Materiálem jsou tabule plechu o velikosti až 3000x1500 mm a tloušťce až 20 mm a pomocí palet jsou dopravovány přímo do laseru a po vypálení z něj.



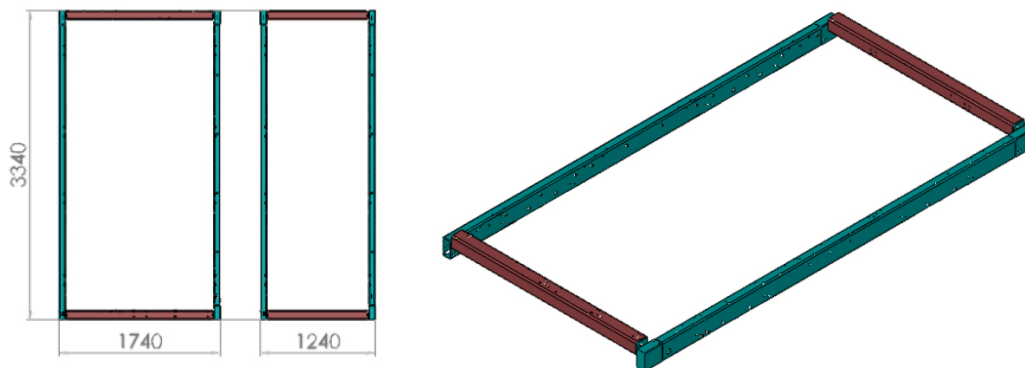
Obrázek 1: Laser a podavač palet

Zdroj: Trumpf s.r.o. – zjednodušený model

2.1 Tvar a rozměry svařenců

Tvar i díly obou svařenců, pro které bude primárně přípravek navrhnutý, jsou velice podobné. Oba se skládají ze čtyř kusů, podsestav. Dva delší podélné profily jsou předem zhotovené svařence, tvořené obrobeným profilem a navařenou kostkou. Tvar kostky, navažené na profilu, je navržen tak, aby umožnil jednodušší a přesnější spojení podélných a příčných částí hlavní svařovací sestavy. Tyto podélné profily jsou v pravém a levém provedení a jejich dvojice je pro obě palety stejná. Druhou část tvoří dva příčné profily. Opět jsou na jedné

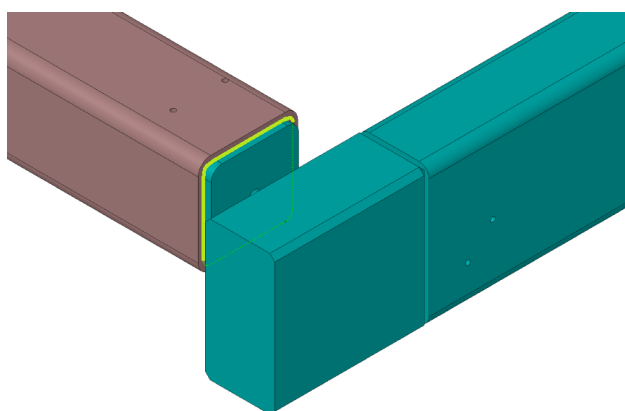
paletě ve dvou verzích (pravý a levý), pro oba produkty však, na rozdíl od podélníků, nejsou stejné. U svařence číslo T1 je příčník o 500 mm delší než u svařence T2. To je ovšem jediný zásadní rozdíl mezi jednotlivými produkty a zdá se tedy, že postup svařování může být stejný.



Obrázek 2, 3: Produkt T1 a T2, Paleta

Zdroj: vlastní

Svary, potřebné ke spojení všech čtyř částí, tedy svary, které budou provedeny robotem na přípravku, jsou umístěny po obvodu spojovací čtvercové desky. Ta je součástí podélného a částečně vsunuta do příčného profilu.



Obrázek 4: Svar podélného a příčného profilu

Zdroj: vlastní

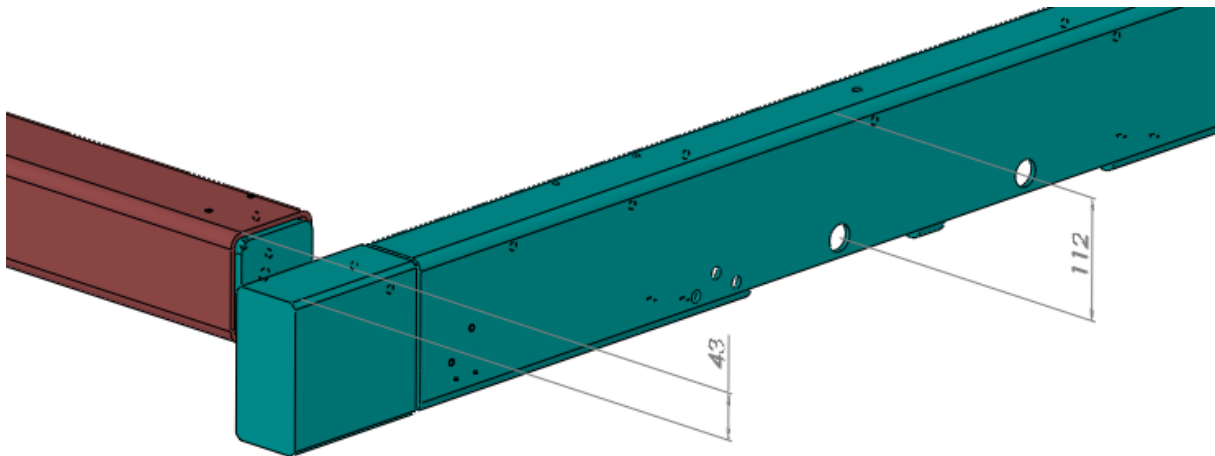
2.2 Kritická místa a požadavky na svařenec

Po zavaření procházejí svařence kontrolou vybraných rozměrů, které jsou důležité pro jejich další využití. Ať už jde o bezproblémovou montáž do nadřazené montážní sestavy nebo

správný chod výsledné palety, k dosažení požadovaných hodnot je nutné myslet na části a to nejen při svařování, ale už při konstrukci a návrhu přípravku.

První rozměr, na který je třeba upřít pozornost je celková vnitřní šířka palety. Vzdálenost mezi oběma podélníky musí být, v případě T1 1600 mm, v případě T2 1100 mm a to s přesností ± 1 mm. Na tento rozměr bude mít nepochybně dopad případné smrštění při provedení svarů a jejich chladnutí nebo rovinnost profilů. Při návrhu je tedy nutné brát tyto vlivy v potaz.

Dalším rozměrem, důležitým pro funkci palety, je vertikální vzdálenost mezi středem díry pro čep kola a horní plochou příčného profilu. Tento rozměr je ale velmi obtížné měřit. Proto kontrole podléhá zvláště kontrola umístění díry na profilu vzhledem k jeho horní ploše a rozměr mezi horními plochami příčného a podélného profilu. Mezi plochami profilů musí být 43 ± 1 mm.



Obrázek 5: Vzdálenost horních ploch profilů

Zdroj: vlastní

Jako další se kontrola zaměřuje na rozdíl úhlopříček svařence. Maximální dovolená odchylka je 3 mm. Navržený upínací systém tedy musí být tuhý a dostatečně přesný.

3. Stávající řešení

Obě palety se již v současnosti ve firmě zadavatele vyrábějí a v obou případech jde o totožný princip upínání. Svařování probíhá na otočném polohovadle, kde je pro lepší dostupnost svarů možné rámem otáčet, obdobně jako u budoucího robotizovaného pracoviště. Oproti tomu jsou však všechny svary prováděny ručně. Upínacími prvky jsou mechanické upínky v kombinaci s pevnými dorazy v podobě dorazových šroubů, pevně připevněných k rámu.

3.1 Postup zakládání polotovaru

Pro stávající způsob svařování jednotlivých dílů již existuje přípravek a postup jeho použití je následující. Jako první se do něj zakládá „pravý“ podélník. Ten se na rám pokládá vyfrézovanými částmi, tzv. kapsami, které jsou vidět na *obrázku 5* pod dírami pro kola. Z vnitřní strany se profil doráží na dorazové šrouby, které jsou po jeho délce na dvou místech. Poloha v podélném směru je zajištěna pevným dorazem na čele profilu. Na protějších stranách se proti pevným dorazům vysunou upínače, čímž se zajistí poloha prvního podélníku. Druhý se položí na své místo na rámu a následuje založení obou příčných profilů. Ty se nasunou na čtvercové desky podélníků a tím je, s jistou vůlí, určena jejich poloha. Levý podélník se poté upínači na vnější straně dorazí přes příčníky k pravému. Důležitý rozměr vnitřní šířky mezi podélníky je zajištěn rozpěrnou tyčí. Její délka se dá měnit pomocí závitů a pro tento účel se, se závislostí na rovinnosti profilů, nastavuje až o pět milimetrů delší než je požadovaný rozměr.

3.2 Nedostatky stávajícího řešení

Stávající systém sice funguje a výsledky práce na něm pravidelně procházejí kontrolou kvality, přesto se v něm objevují nedostatky. Ty se návrh nové konstrukce bude snažit eliminovat.

Jedním z hlavních nedostatků je přílišná benevolence v zajištění přesné polohy polotovaru, zejména příčných profilů. Nejen že není možné s přesností zajistit výsledné rozměry, ale pro budoucí svařování na robotizovaném pracovišti je to nevhodné i z hlediska bezpečnosti. Počítá se s tím, že polohovadlo bude, v závislosti na pohybu svářecího robota, s rámem a polotovarem otáčet se značnou rychlostí. I tím se bude zkracovat čas procesu. Proto je nutné pevné zajištění všech částí. Příčné profily jsou zapolohovány pouze tak, že jsou vsazeny mezi podélné. Takové usazení však, kvůli vůlím mezi nosnými částmi (spojovací deska a vnitřek profilu – obrázek 4), nezaručí bezpečnost ani spolehlivé a přesné rozměry svařence.

Ani rozpěrná tyč, která zajišťuje šířku palety, se nedá považovat za spolehlivé řešení. Jejím hlavním problémem je to, že je opřena pouze na jednom místě na celé délce profilu (cca 3 metry). Není tak možné zaručit požadovanou vzdálenost mezi podélníky po celé délce a tedy jejich rovnoběžnost.

Přípravek postrádá jakoukoli univerzálnost. Upínací prvky jsou umístěny přímo na rámu polohovadla. Spojení upínačů a dorazů s rámem je zprostředkováno velkým množstvím šroubů a to dovoluje jen obtížnou a komplikovanou demontáž. Celý rám se tedy používá jen pro jediný druh výroby.

4. Průzkum možností upínání polotovaru

Upnutí polotovaru a nadeřinování jeho přesné polohy je problematikou, které je třeba věnovat pozornost ve všech odvětvích výroby. Ať jde, jako v našem případě, o svaření, nebo o jakýkoli druh obrábění či montáž, vždy je nutné vycházet z přesně upnutého výchozího materiálu. Tím spíše pokud se jedná o automatizovanou výrobu

Požadavky na upínací prvky a systémy [4]:

- Přesnost upnutí
- Tuhost upnutí
- Jednoduchost a rychlost upnutí - efektivita
- Bezpečnost upnutí
- Životnost upínacích prvků
- Malý zástavbový prostor

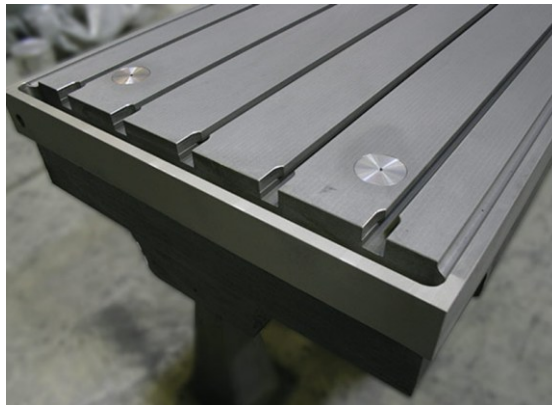
4.1 Trendy v upínání materiálu při svařování

Nejen při svařování se v praxi nejčastěji objevují upínací systémy založené na schématu základní stůl – upínací prvky – polotovar. Základní stůl bývá realizován jako univerzální prvek, často deska, s různými možnostmi připevnění upínek a podobných upínacích částí. Ty se potom nakupují jako hotové díly a jejich uspořádání odpovídá požadavkům na upnutí konkrétního polotovaru. Především v malosériové výrobě je trendem, nejen v oblasti svařování, podobné kusy nevyrábět na míru, ale nakupovat univerzální - takové, které bude možné využít i při jiné práci, například při svařování jiných typů svařenců. V oblasti upínání a přípravy svařování fungují firmy, specializující se přímo na tuto problematiku. Často nabízejí kompletní servis od návrhu upínacího systému včetně všech potřebných komponent až po samotné svařovací aparáty nebo čisticí prostředky na celé pracoviště.

„Pracovní stůl na svařování je základem pro rychlé a přesné zpracování svářených částí. Používá se pro nastavení jednotlivých částí a zajišťuje rovinnost a pravouhlost; kromě toho minimalizuje zkroucení svařence a tím výrazně snižuje náklady. Je zcela nezbytný pro výrobu jednotlivých částí a funkcí, jako je systém flexibilní fixace v sériové výrobě.“ [7]

4.1.1 Univerzální stoly s T-drážkou

Autorem předchozího úryvku je německá firma Förster GmbH. Zabývá se především výrobou flexibilních pracovních stolů pro sváření a specifických komponentů pro manipulaci a svařovací přípravky. Jejich stoly jsou vyrobeny s „T-drážkami“ a umožňují tak „*Precizní plynulé nastavení všech upínacích prvků a sestavení v kterékoli části stolu.*“ [7] Další upínací části jsou tedy opatřené standardní maticí pro T-drážky, odpovídající normě DIN 508, a před utažením se s nimi dá drážkami plynule posouvat. Vlastní princip upínačů je klasický a srovnatelný s běžnými upínkami či svorkami. Nevýhodou je snadné zanesení drážek nečistotami.



Obrázek 6: Stůl s T-drážkami

Zdroj: www.stolle-plates.cz

4.1.2 Univerzální dřevé stoly

Na podobném principu jsou postavené i svářecí stoly firmy Demmeler nebo Siegmund. Spojovacím prostředkem však nejsou normalizované T-drážky, nýbrž upínací čepy, zasazované do dřevého stolu. Ve stole jsou totiž pravidelně rozmístěny otvory se zaručenou přesností a roztečí. U základního rastru jsou od sebe, v pomyslném 2D poli, díry vzájemně

vzdálené 100 mm. Výrobci ovšem nabízí širokou škálu možností jak rastr přizpůsobit. Stejně tak je k dostání velké množství spojovacích čepů a samotných upínacích a dorazových prvků. Jde doslova o stavebnici, z jejíchž částí se postaví přípravek na míru a pomocí redukci či mezikusů se dá kombinovat i s běžnými upínači.



Obrázek 7: Upínací stavebnice Siegmund

Zdroj: www.jcmetal.cz

4.1.3 Magnetické stoly

Další možností je upínání pomocí magnetů. V praxi se vyskytují jako hotové magnetické stoly nebo desky, které se umístí na pracovní stůl a jako mezikus zprostředkovávají spojení se svařovaným materiálem. K dispozici jsou potom další pomůcky jako speciální úhelníky a podobně. Výhodou magnetického upínání je, vedle rychlosti, bezkonkurenční přístup k materiálu díky absenci upínek a svorek, které mohou při práci překážet. Upínací síly na materiál, na rozdíl od klasických upínacích prvků, působí rovnoměrně po celé upínací ploše a tím se dá vyhnout případné deformaci materiálu vlivem lokálního zatížení. Nevýhoda magnetických systémů je poměrně vysoká hmotnost a cena.



Obrázek 8: Magnetická upínací deska

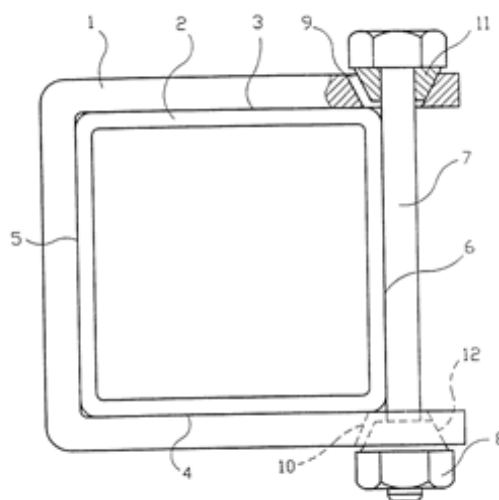
Zdroj: www.tkb.cz

4.2 Patentový průzkum

K prozkoumání patentových databází se používají nástroje jako Google patents nebo patentinspiration.com a s jejich pomocí je možné získat inspiraci pro vlastní práce. Předmětem žádosti o patenty nebývají celkové sestavy upínačů pro konkrétní obrobky nebo svařence, je však možné tu najít různé principy a specifické nebo nové způsoby fixace materiálu. Během patentové rešerše se zaměřím na upínání jeklů a podobných tažených profilů.

4.2.1 Fixing Clamp – US6027279 A

Patent norské „University of Stavanger“ z roku 2000 se zabývá upevněním obdélníkových nebo čtvercových profilů. Skládá se hlavního těla (1) ve tvaru písmene U, jehož vnitřní tři strany (3,4,5), s jistou vůlí, odpovídají tvaru upínaného profilu. Čtvrtá strana (6) vynálezu je zastoupena šroubem (7), který je zajištěn maticí (8) a přes kuželové podložky (11,12) vsazen do kuželových děr (9,10) ve volných stranách hlavního těla. Kuželové podložky se při utahování matice opírají o vzdálenější stěny kuželových děr vzhledem k profilu a šroub je tedy umístěn excentricky od jejich os. Dvojice matice-šroub tedy svírá horní a dolní stranu hlavního těla a šroub díky kuželovým díram a podložkám působí na profil ze strany a doráží ho na třetí stěnu U-profilu. Poloha materiálu je tedy zajištěna ze všech čtyř stran. [14]

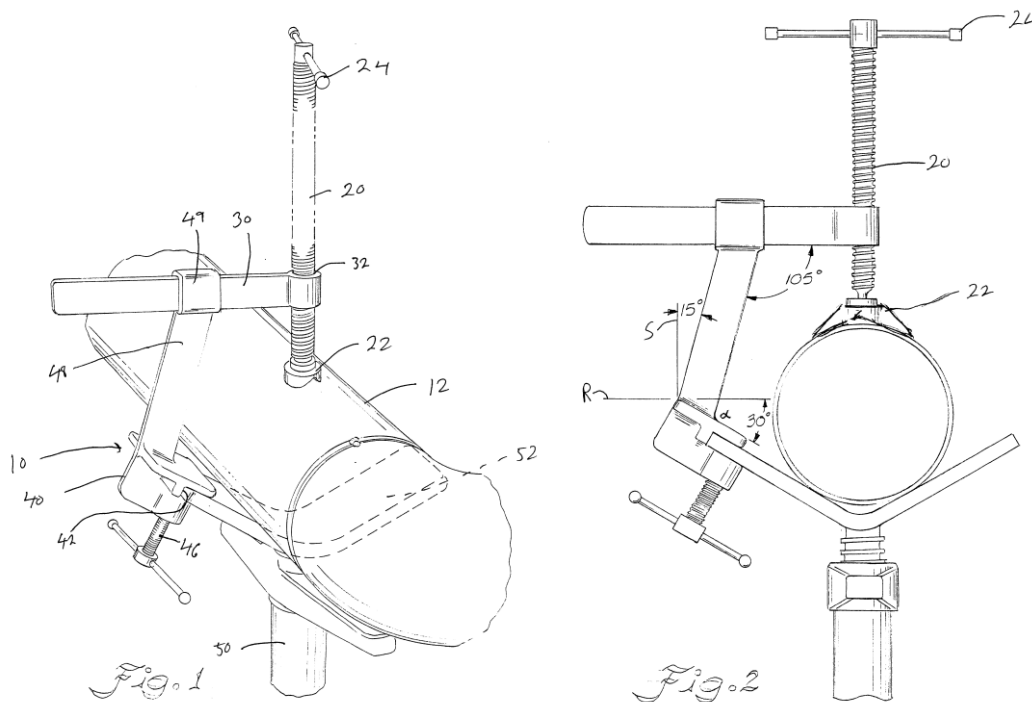


Obrázek 9: Fixing Clamp

Zdroj: Google patents

4.2.2 Welding Clamp – US6349869 B1

V roce 2002 byl publikován patent Davida McBee, který se týká vynálezu pro upínání kruhové trubky při jejím svařování s dalšími členy potrubí. Princip spočívá v tom, že se trubka položí do základního prismatického podstavce tvaru V, který je výškově nastavitelný. Tím je volně určena její poloha. K jejímu úplnému určení je shora ve svislém směru veden další prismatický doraz – protikus podstavce – který se pohybuje prostřednictvím závitu a pevně sevře trubku mezi dvě „čelisti“. K podstavci je kličkou, připevněna konzola s posuvným ramenem, které zajišťuje polohu závitové tyče s horním prismatickým dorazem. Tento posuvný prvek umožňuje po nastehování nebo svaření potrubí a povolení svislého členu jeho zasunutí nebo vysunutí tak, aby bylo možné svařenec snadno vyjmout pohybem vzhůru, což je jeho hlavním kladem. [13]



Obrázek 10: Welding Clamp

Zdroj: Google patents

5. Návrh řešení

Konstrukce přípravku bude inspirována současnými trendy a bude se skládat ze základní univerzální desky, na které budou umístěny další skupiny upínacích prvků pro konkrétní polotovary. Řešení bude tedy rozděleno do několika kroků: návrh základní desky, upnutí podélníků, upnutí příčníků.

Požadavkem zadavatele bylo zvážení možnosti využití pneumatických prvků. Po krátkém průzkumu se kvůli ceně od pneumatiky upustilo. Základem pro toto rozhodnutí byl odhad a porovnání katalogových cen základních potřebných částí:

Tabulka 1: Odhad ceny pneumatických upínacích prvků

PNEUMATIKA	ks	Dodavatel 1	Dodavatel 2
horizontální upínka	6	240 €	220 €
vertikální upínka	8	330 €	290 €
Celková cena		4 800 €	3 640 €

nejsou započítány rozvody, zdroj stlačeného vzduch apod.

Tabulka 2: Odhad ceny mechanických upínacích prvků

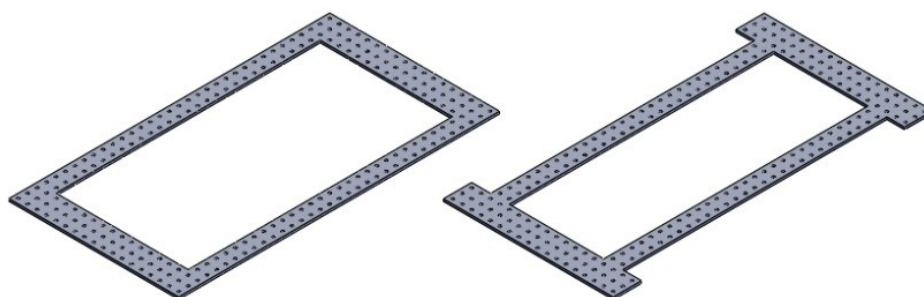
MECHANIKA	ks	Dodavatel 1	Dodavatel 2	Dodavatel 3
horizontální upínka	6	20 €	17 €	32 €
vertikální upínka	8	30 €	14 €	34 €
Celková cena		360 €	214 €	464 €

5.1 Základní deska

Základní deska bude pevně přichycena ke stávajícímu rámu polohovadla a bude výchozí plochou pro všechny druhy práce, které na pracovišti budou probíhat. Požadavky na ní jsou následující:

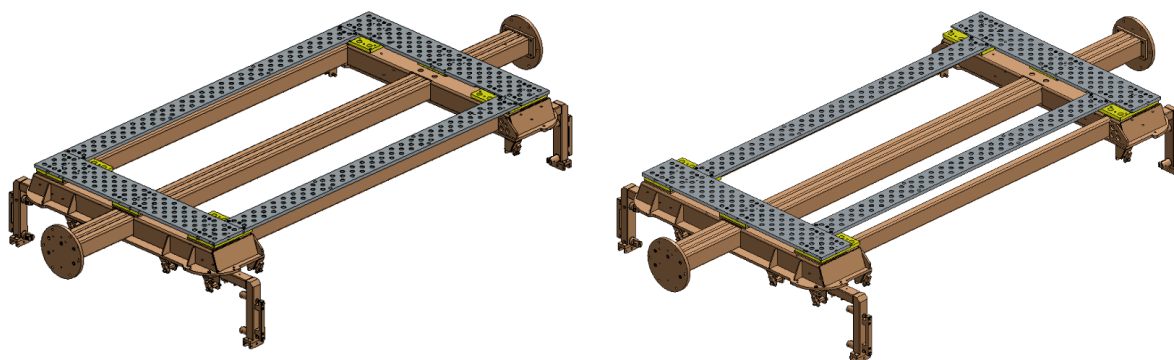
- Univerzálnost
- Tuhost
- Rovinnost
- Životnost
- Nízká hmotnost

Těmto požadavkům vyhovuje systém děrovaných stolů (pro svou flexibilitu a přijatelnou hmotnost za současné dostatečné tuhosti a rovinnosti). Ten je výhodnější koupit u zkušených výrobců, protože při vlastní nebo kooperační výrobě by při stejné jakosti bylo zhotovení mnohem dražší. Výrobce zaručená rovinnost plochy, tuhost a přesnost děr je v nesespecializovaných výrobních těžko dosažitelná. Vzhledem k charakteru svařenců, tvořených na pracovišti, je však zbytečná deska přes celou plochu rámu. Z úvahy o atypických tvarech desky jako na obrázku (Obrázek 11) vzešel návrh „představitelných pásů“ (Obrázek 12 a 13). Mezideska, sloužící také ke spojení základní desky s rámem, je opatřena závitovými dírami a vedením, které umožní posunutí podélného pásu o celou jeho šířku, tj. 200 mm. Tím se stává základní konstrukce univerzálnější a umožní i práci s menšími svařenci za současného snížení její hmotnosti a potřebného zastaveného prostoru a tedy zlepšení dostupnosti k polotovaru. Dvě kratší části desky jsou, stejně jako delší, k mezikusu přišroubovány přes zahlubené díry ve svém těle a závity v mezikusu. Ten je stejným principem připevněn přímo k rámu do, závitových děr.



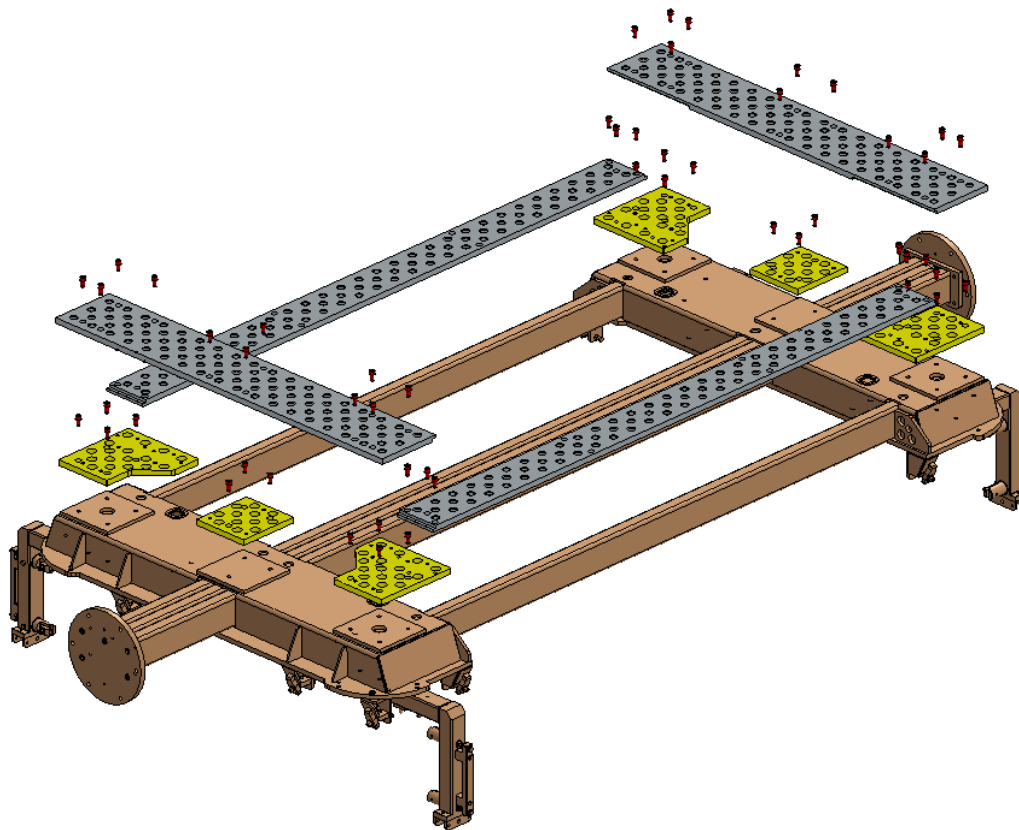
Obrázek 11: Návrhy atypické základní desky

Zdroj: vlastní



Obrázek 12: Možnosti sestavení základní desky

Zdroj: vlastní



Obrázek 13: „Rozpad“ sestavy základní desky

Zdroj: vlastní

5.2 Upnutí profilů

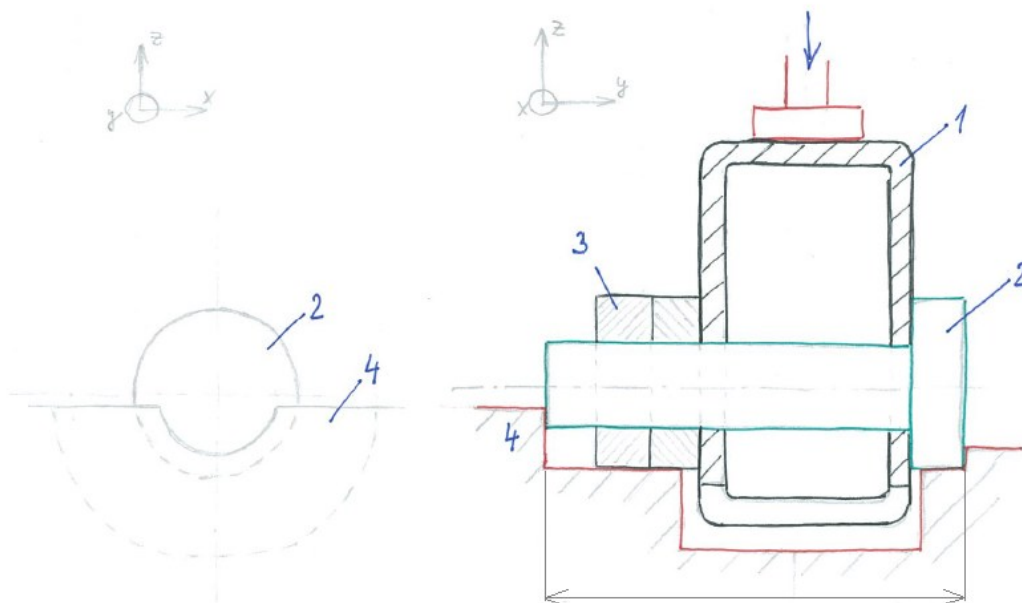
Problémem při upínání podélných profilů je skutečnost, že při svařování a chladnutí dochází vlivem působení tepla ke smrštění svařence. S tím se samozřejmě musí počítat při určování polohy vnitřních dorazů, zajišťujících požadovaný rozměr mezi profily. Minimálně jeden z těchto dorazů tedy nesmí být pevný. V opačném případě hrozí, že by po svaření a smrštění nebylo možné svařenec, bez jeho poškození, z přípravku vyjmout. V návrhu bude tedy první podélník na vnitřní straně doražen k pevnému dorazu, stejný doraz na druhém podélníku bude řešen pohyblivě.

Po vzoru současného přípravku i z logiky věci vyplývá, že je potřeba profily upínat na dvou místech. Upnutí v jednom místě by nemohlo zaručit dostatečnou přesnost a tuhost, a upnutí ve třech místech by už sestavu zbytečně přeurčilo.

Pohybu ve směru osy profilu bylo pro podélníky u stávajícího přípravku zabráněno dorazem na jednom čele profilu a upínkou na protějším. Pro tento účel bych v novém návrhu rád využil díry (Obrázek 5) pro kola budoucí palety. Vzhledem k tomu, že samotné díry procházejí kontrolou rozměrů, souososti a kolmosti na stěny profilu již v předchozích krocích výroby, dostáváme kvalitní a pevný – ideální – výchozí bod.

5.2.1 Koncept č. 1

Princip spočívá v přesném zapolohování čepu (2) s hlavou a závitem na druhém konci. Ten prochází dírami v profilu (1) a styk hlavy čepu s profilem zajišťuje válcová kontramatice (3) na straně závitu. Taková sestava je hlavou čepu a maticí usazena v sedle (4), odstupňovaném pro tvar sestavy. Pohyb v podélném směru x je zajištěn kruhovým tvarem sedla, který vychází z rozměrů hlavy čepu a matice a v ose z k určení pomůže upínka působící na profil shora. Hlavní rozměry (kóta) sedla a čepu musí být velice přesné. Tolerovány a vyrobeny musí být tak, aby byla zasazením do sedla určena poloha ve směru y , ale zároveň s takovou vůlí, aby bylo možné profil vyjmout. Problém vyjmutí svařence by se dal také řešit rozdělením sedla na pevnou a pohyblivou část. Ta by se v krátkém vedení mohla, například pomocí pohyblivého šroubového spoje, vysouvat a zasouvat a uvolnit tak hotový svařenec.

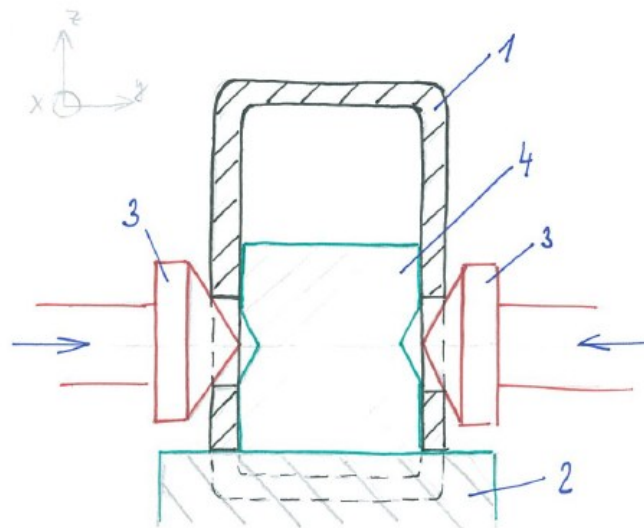


Obrázek 14: Koncept č. 1

Zdroj: vlastní

5.2.2 Koncept č. 2

Druhý koncept je opět založen na zapozicování přes díry. Při zakládání se profil (1) vyfrézovanou kapsou posadí na připravenou dosedací plochu (2). Ta je v takové výšce, která zajistí, že osa děr je jen o málo níž než osy pístů (3) s kuželovým zakončením. Současným vysunutím pístů proti sobě se oba zasunou do děr profilu a díky kuželovým plochám dojde k vystředění os děr a pístů. Profil se mírně nadzvedne a v momentu vysunutých pístů drží pouze na nich. Je tedy nezbytné zajištění souososti pístů. Pro pevné udržení jsou nutné značné upínací síly a to by mohlo vést k deformaci profilu. Z toho důvodu je zevnitř opěrný člen (4), o který se vnitřní stěny mohou opřít a zamezí se tak jejich deformaci.



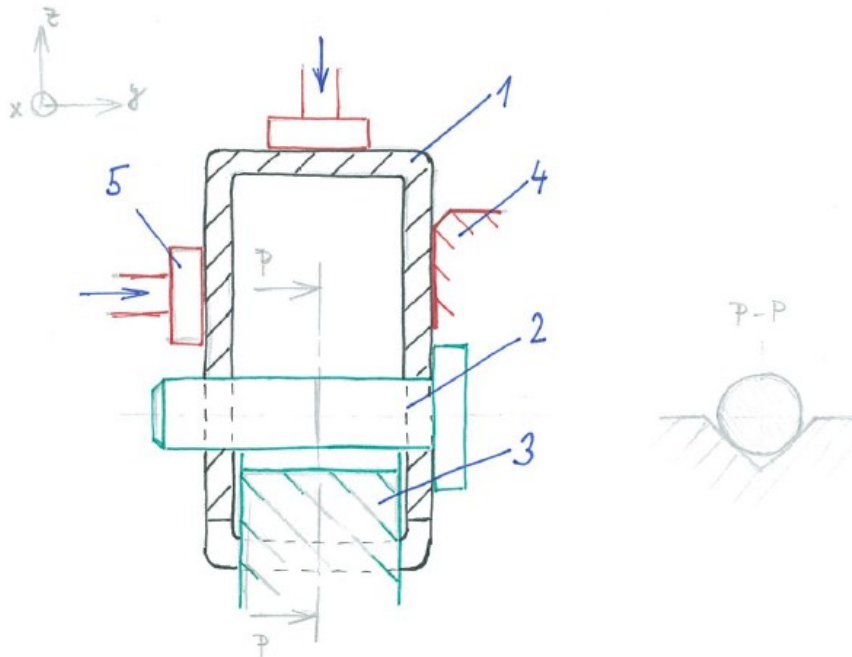
Obrázek 15: Koncept č. 2

Zdroj: vlastní

5.2.3 Koncept č. 3

Ve třetím konceptu je založení opět postaveno na čepu (2), procházejícím dírami profilu (1). Čep v profilu se, spolu s ním, posadí do prismata (3), které svým tvarem určí polohu jak ve směru x , tak ve svislém směru z . Ta se později zajistí upínací silou, působící svisle na vrchní plochu profilu. O správné zapolohování v ose y se u prvního profilu postará z jedné strany pevný doraz (4) a proti němu působící upínka (5). U druhého profilu to bude dvojice pohyblivých dorazů, kde doraz na vnitřní straně bude při zakládání zafixován v otevřené poloze a bude určovat rozměr mezi oběma profily. Proti němu se vysune doraz

druhý. Po svaření se na druhém podélníku uvolní oba dorazy a umožní tak bezproblémové vyjmutí svařence.

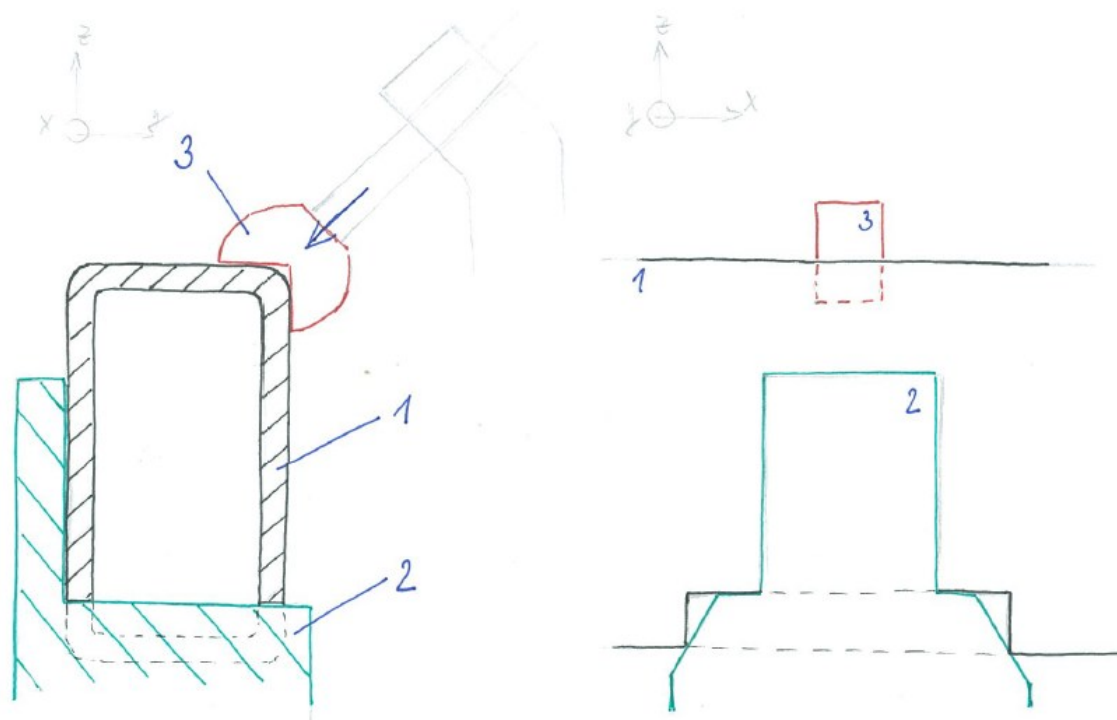


Obrázek 16: Koncept č. 3

Zdroj: vlastní

5.2.4 Koncept č. 4

Čtvrtý návrh, na rozdíl od předchozích, nepracuje s dírami pro kola palety, ale pouze s vyfrézovanou kapsou profilu. Tou se profil (1) posadí na plochu podstavce (2). Rozměry podstavce vycházejí z rozměrů kapsy a jeho geometrie je uzpůsobená tak, aby pomocí zkosených náběžných hran došlo k navedení profilu a určení jeho polohy ve směru x . Navíc, jak je vidět na obrázku, z vnější strany zamezuje pohyb ve směru y . Člen 3 je pohyblivý a ve znázorněném směru zajistí pohyb v osách y a z a pevně upne profil. Pro takové účely se dají použít běžně prodejné upínky nebo využít pohyblivého šroubového spojení jako je znázorněno na obrázku.



Obrázek 17: Koncept 4

Zdroj: vlastní

5.2.5 Zhodnocení a výběr z navržených konceptů

Koncept č. 1 je náročný z hlediska výroby a zejména požadavku na přesnost sedla. U některých částí, jako jsou hrany dosedacích ploch, navíc hrozí brzké opotřebení a to by mohlo snadno vést ke zhoršení funkčnosti. Zajištění pohybu profilu po čepu kontramaticí se zdá být zbytečně složité a v praxi časově náročné. Válcový tvar kontramatice se také obtížně utahuje a matice by tudíž vyžadovaly další úpravy.

U druhého konceptu je obtížné zajistit tolik potřebnou souosost upínacích pístů. V případě, že by se to nepodařilo, by vyvozené upínací síly, místo pevného a přesného upnutí, způsobily spíše deformaci děr, profilu i samotných upínačů. Dalším problémem řešení je deformace profilu upínacími silami i v případě souosých přitlačných pístů. Přítomnost opěrného členu sice teoreticky eliminuje prohnutí stěn v oblasti děr dovnitř, je však zapotřebí najít kompromis mezi dovolenou deformací a dostatečnou vůlí, která umožní profil na opěrný člen zasunout. Výhodou řešení je však jednoduchost a rychlost upnutí.

Úskalí třetího návrhu se skrývá především v prismatech, do kterých se vsazuje čep s profilem. Jeho povrch bude často namáhán tlakem od čepů. Vzhledem k tomu, že v našem případě je prisma prvkem určujícím polohu, bylo by nutné jejich povrch vhodně tepelně zpracovat kvůli dostatečné tvrdosti. Ani tak se, po nějaké době, nedá vyhnout jejich opotřebením, proto by musel být tento prvek vyměnitelný. Mínusem je i to, že čep, který je základem principu, je samostatná součást a při nepozorné manipulaci s ním hrozí jeho ztráta.

Čtvrtý návrh je jednoduchý jak principem, tak prvky použitými pro jeho realizaci. Kvalita a přesné rozměry vyfrézovaných míst („kapes“), na kterých princip stojí, však nejsou pro funkci budoucí palety nezbytně důležité. Při jejich výrobě se proto (v porovnání s výrobou děr pro kola) nevěnuje přílišná pozornost přesnosti jejich rozměrů a jsou vyráběny s širokým tolerančním polem.

Po předešlém zhodnocení jednotlivých konceptů a po konzultaci ve firmě zadavatele bylo zvoleno, že pro upnutí podélníků bude použit princip konceptu č. 3. Pro založení příčných profilů se s úpravami použije návrh z konceptu č. 4.

6. Konstrukce vybraných konceptů

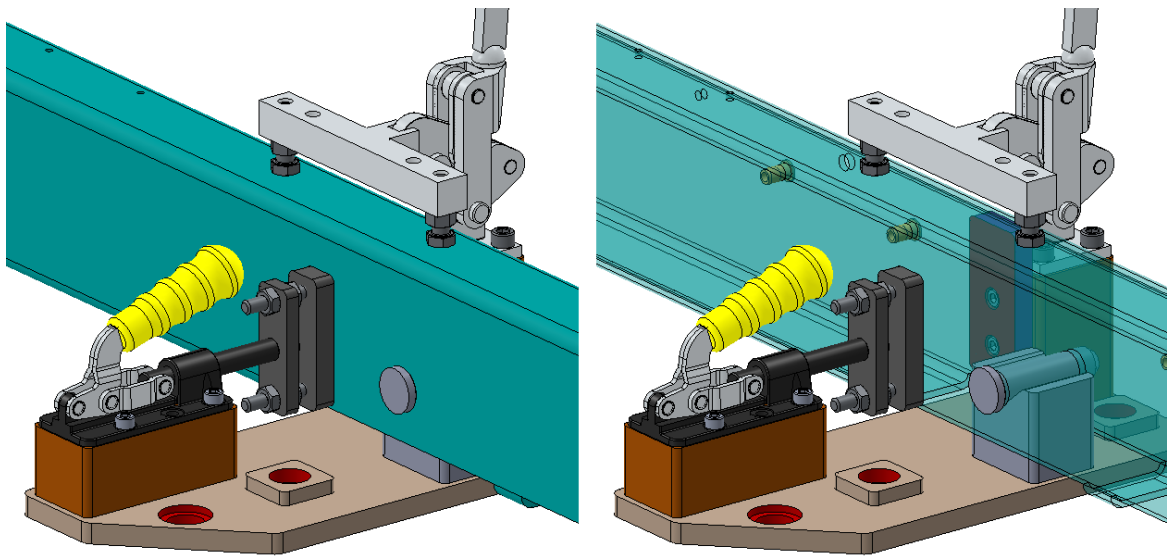
Nároky na upnutí podélných a příčných profilů se liší. Proto byly pro jednotlivé případy zvoleny dva odlišné principy. V následujících podkapitolách bude přiblížena konstrukce obou.

6.1 Konstrukce upnutí podélných profilů

Nosnou částí návrhu je čep, který bude uložen na prismatické podložce. Jeho zasazením do podložky se totiž určí poloha zakládaného profilu v podélném a svislém směru. Mimo to je tím také profil zajištěn proti naklápění okolo jeho podélné osy. Průměr čepu není třeba vyrobit nijak přesný vzhledem k průměru díry. Naopak je nutné zajistit dostatečnou vůli a zkosením čelní hrany bezproblémové zasunutí do obou stěn profilu. Mezi zasunutím čepu a jeho opřením o stěny prismata dochází k manipulaci s profilem. Aby čep nevypadl, bude jeho hlava opatřena magnetem, který přilne ke vnější straně profilu. Přítlačná síla nemusí být velká, jen taková aby čep nevypadl a zároveň byl lehce vyjmutelný rukou. Stykem mezi čepem a plochami prismata bude přenášena tíha profilu a navíc upínací síla svislé upínky, zajišťující svislý pohyb. Povrch nosných částí tedy musí být dostatečně pevný a tvrdý aby nápor dlouhodobě vydržel. Toho lze docílit vhodným tepelným zpracováním. Tím může být kombinace cementování a kalení nebo levnější způsob povrchového kalení. Jeden profil bude takto zajištěn na dvou místech. Tvar prismata ale nemůže být v obou případech se stejnou geometrií. V případě sebemenší nepřesnosti v poloze děr nebo čepů, kdy by došlo ke změně rozteče mezi čepy, by to znamenalo naklopení celého profilu a ztrátu rovnoběžnosti horní plochy s výchozí plochou základního rámu. Druhá prismatická podložka tedy nebude mít tvar „V“, ale bude do ní vyfrézovaná vodorovná plocha tak, aby se čep opřel pouze na spodní straně a případné nepřesnosti se neprojevíly nakloněním profilu.

Ve chvíli, kdy je profil usazen v primatech, je třeba upevnit tuto polohu a zajistit jeho příčný pohyb. Sílu, působící svisle na profil lze realizovat svislou upínkou. Ta však v oblasti nad profilem nesmí překážet při zakládání nebo vyjímání dílů. Její konstrukce tedy musí při otevírání zavést upínací člen mimo tento prostor. Pro zamezení příčného směru pohybu bude vyroben pevný doraz. K němu se profil přiloží jednou stranou a následně bude k dorazu

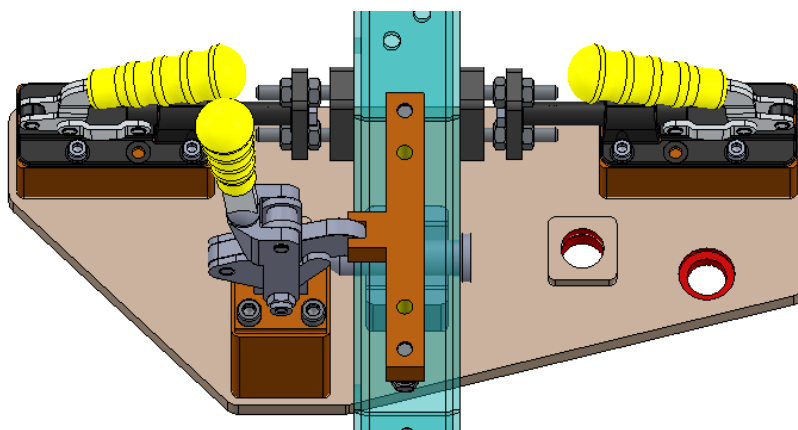
přítlačen vodorovnou upínkou ze strany druhé. Přítlačná část upínky je upravená tak, aby svou zvětšenou plochou příliš nedeformovala profil lokálně a upínací síla byla rozložena.



Obrázek 18: Upnutí prvního podélníku

Zdroj: vlastní

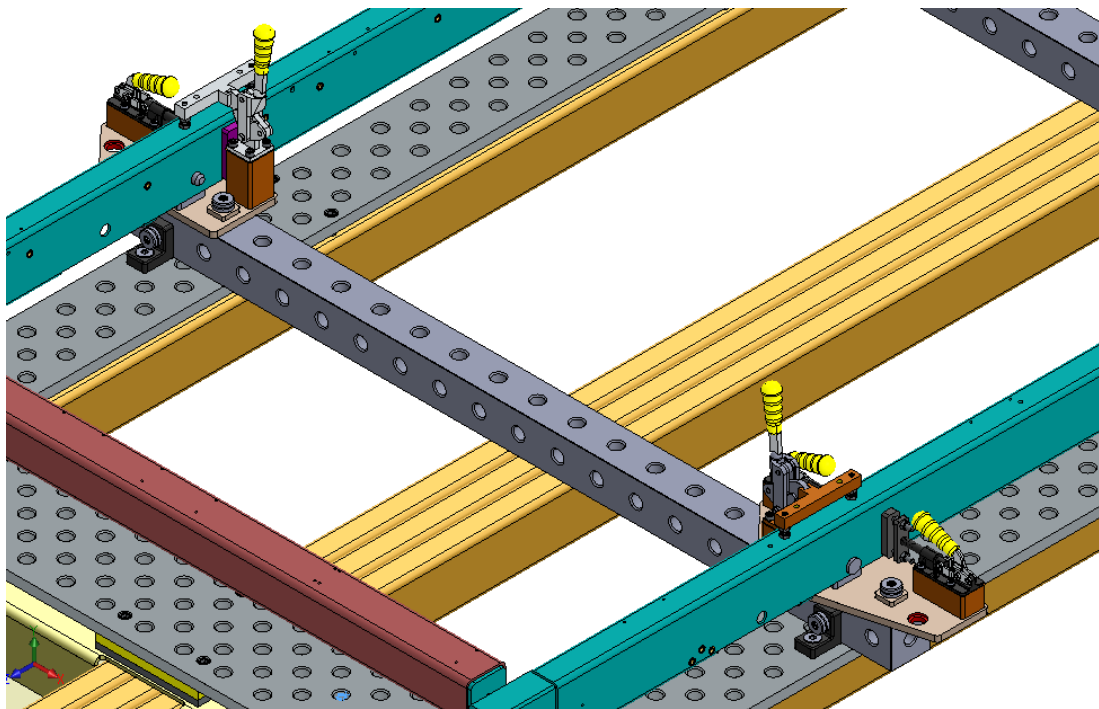
Stejnými prvky, s výjimkou pevného dorazu, se zajistí poloha druhého profilu. Dvojice „pevný doraz + upínka“ se nahradí dvěma vodorovnými upínkami = dva pohyblivé členy. Jedna z nich (ta z vnitřní strany přípravku) má při zakládání fungovat jako pevný doraz. Proto je potřeba použít prvek s takovou konstrukcí, která při vysunuté poloze zajistí samosvornost. To znamená, že síla působící na styčnou plochu nemůže píst sama zasunout. Po svaření se naopak obě upínky povolí a umožní tak vyjmutí svařence i v případě smrštění, ke kterému dojde působením tepla při svaření.



Obrázek 19: Upnutí druhého podélníku

Zdroj: vlastní

Bylo by velice neefektivní, kdyby se všechny tyto upínací prvky na základní desku, před nebo po svařování každé série palet, umísťovaly zvlášť jeden po druhém. Pro jednotlivé skupiny upínačů tedy budou vytvořeny „palety“, na kterých budou upínače pevně zapoložovány. Pro ještě větší urychlení přípravy pracoviště nebudou tyto palety připevněny rovnou k základní desce. Mezi nimi bude prvek v podobě upínacího hranolu, který spojí vždy dvě protilehlé sestavy upínačů a teprve ten bude připevněn k základní desce. Před započítím sváření se tedy, pro podélníky, zapoložují pouze dvě sestavy upínačů. Při změně výroby z produktu T1 na T2 se palety na hranolu jen přemístí o požadovanou vzdálenost. Vedle urychlení přípravy je dalším důvodem k použití spojovacích hranolů také výhodné spojení upínacích sestav obou podélníků z důvodu přesnosti a dále zvednutí konstrukce pro lepší dostupnost svářecí hlavy robota.



Obrázek 20: Upnutí podélníků

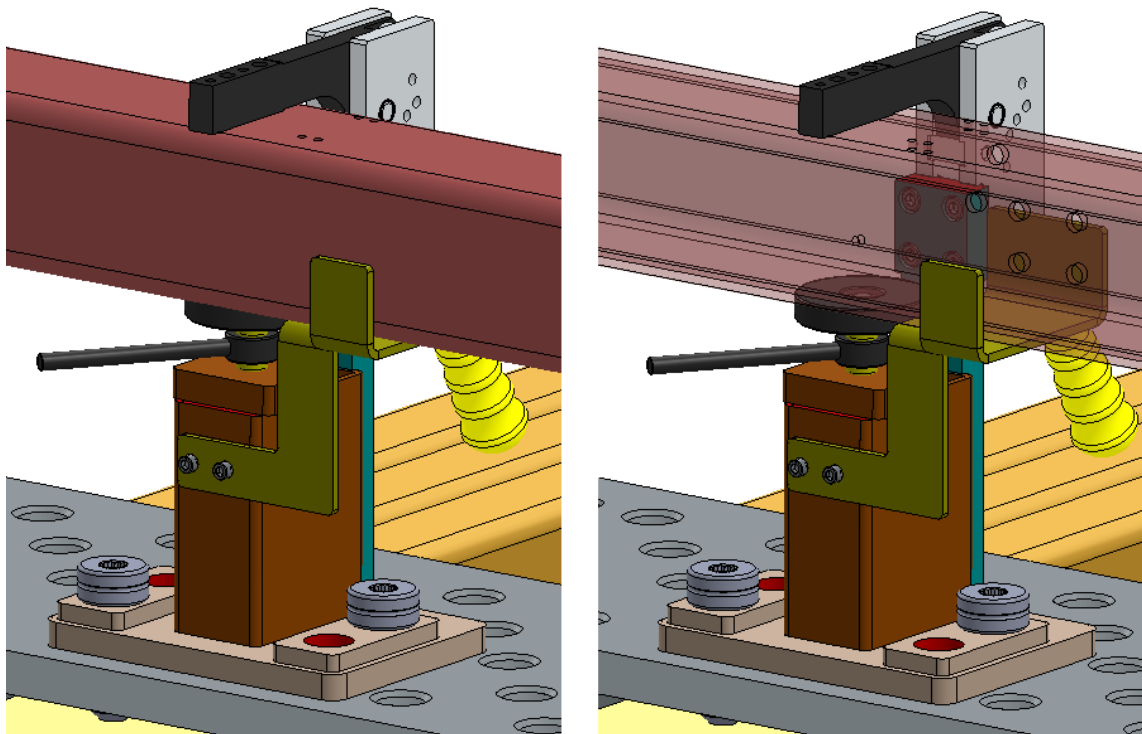
Zdroj: vlastní

6.2 Konstrukce upnutí příčných profilů

Způsob zapoložování příčných profilů byl inspirován konceptem č. 4. Požadavky na jejich upnutí jsou však trochu odlišné od těch, se kterými byl vypracován koncept. Realizace návrhu bude tedy přizpůsobena konkrétním podmínkám: U příčniců není třeba striktně zajišťovat

polohu na přesný rozměr, respektive, přípustné tolerance usazení jsou dost široké. Jediným důležitým rozměrem, na který je nutné se blíže soustředit, je vzdálenost horních ploch příčných a podélných profilů. Ostatní rozměry stačí udržet v mírách, které jsou zajištěny nasunutím příčníku na spojovací desky podélníků. Úprava konceptu č. 4 spočívá v tom, že se vypustí upínání ze stran a doraz, který bude určovat polohu, nebude pod profilem, ale z vrchu. K němu se bude dorážet profil pomocí šroubového spoje.

Základ sestavy pro upnutí příčníku bude tvořit svařenec, který se upne přímo k základní desce. Je tvořen jeklem, navařeným na desce s otvory pro uchycení k základní desce přípravku a k nim přivařenému obrobku pro svislý upínač. Součástí svařence bude i vnitřní trapézový závit. Ten slouží pro pohyb zdvihací tyče, mající na svém konci uložený podpěrný kotouč. Otočením obrobenej závitové tyče pomocí zdvihací páky dojde ke zvednutí/spouštění kotouče, na který se při zakládání položí polotovar (příčník). Doraz, ke kterému se bude příčník zvedat, bude rameno svislé upínky, která díky samosvorné konstrukci zajistí pevný doraz v požadované výšce a po uvolnění umožní zdvih hotového svařence vyklopením upínacího ramene. I ona bude umístěna na základním svařenci.



Obrázek 21: Upnutí příčníku

Zdroj: vlastní

Samosvornost závitového spoje, utahovací a povolovací moment [2]

Povolovací moment:

Pokud je šroubový spoj samosvorný, znamená to, že se neuvolní při působení osově síly. Pro jeho uvolnění je nutné působit povolovacím momentem M_p :

$$M_p = M_{ZP} + M_{PP}$$

kde:

M_{ZP} – odporový moment v plochách závitu

M_{PP} – odporový moment tření mezi styčnými plochami mezi profilem a plochou kotouče

M_{ZP} lze spočítat jako:

$$M_{ZP} = \frac{1}{2} \cdot d_2 \cdot F_Q \cdot \operatorname{tg}(\varphi'_z + \gamma)$$

kde:

d_2 – střední průměr závitu

F_Q – síla předpětí

φ'_z - třecí úhel v tečné rovině

$$\varphi'_z = \operatorname{arctg} \left(\frac{f_z}{\cos \frac{\alpha'}{2}} \right)$$

f_z – součinitel tření mezi plochami vnitřního a vnějšího závitu

$\alpha' \approx \alpha$ - vrcholový úhel profilu závitu

γ - úhel stoupání závitu

M_{PP} se počítá jako:

$$M_{PP} = f_p \cdot F_Q \cdot \frac{D_p}{2}$$

kde:

f_p – součinitel tření mezi přitlačným kotoučem a profilem

D_p – střední průměr stykové plochy

$$D_p = \frac{D_k + D_o}{2}$$

D_k – vnější průměr styčné plochy

D_o – vnitřní průměr styčné plochy

Pro šroubový spoj platí:

$$d_2 = 16 \text{ mm}$$

$$F_Q = 300 \text{ N}$$

$$f_z = 0,18$$

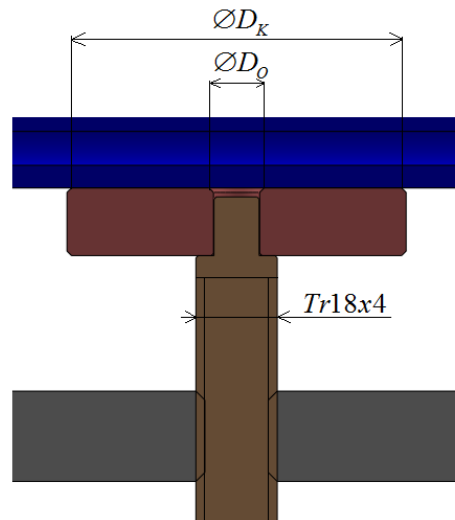
$$\alpha' = 30^\circ$$

$$\gamma = 4,55^\circ$$

$$f_p = 0,18$$

$$D_k = 73 \text{ mm}$$

$$D_o = 12,2 \text{ mm}$$



Obrázek 22: Šroubový spoj

Zdroj: vlastní

$$\phi'_z = \arctg \left(\frac{f_z}{\cos \frac{\alpha'}{2}} \right) = \arctg \left(\frac{0,18}{\cos \frac{30}{2}} \right) = 10,56^\circ$$

$$D_p = \frac{D_k + D_o}{2} = \frac{73\text{mm} + 12,2\text{mm}}{2} = 42,6\text{mm}$$

$$M_{zP} = \frac{1}{2} \cdot 0,016\text{m} \cdot 300\text{N} \cdot \text{tg}(10,56^\circ - 4,55^\circ) = 0,25\text{Nm}$$

$$M_{pP} = 0,18 \cdot 300\text{N} \cdot \frac{0,0426\text{m}}{2} = 1,15\text{Nm}$$

$$\underline{M_p = 0,25\text{Nm} + 1,15\text{Nm} = 1,4\text{Nm}}$$

Šroubový spoj je samosvorný pokud $\varphi'_z - \gamma > 0$. V našem případě: $10,56^\circ - 4,55^\circ > 0$.

Spoj je samosvorný.

Utahovací moment:

Utahovací moment je moment, který je při utahování nutné vynaložit pro překonání odporového tření v závitu a mezi styčnými plochami. Pro jeho výpočet platí:

$$M_U = \frac{F_Q}{2} [d_2 \cdot \operatorname{tg}(\varphi'_z + \gamma) + f_p \cdot D_p]$$

$$M_U = \frac{300N}{2} [0,016m \cdot \operatorname{tg}(10,56^\circ + 4,55^\circ) + 0,18 \cdot 0,0426m] = 1,8Nm$$

7. Verifikace vybraných částí výpočtem a pomocí MKP

Verifikace se bude týkat základní desky. Ověřeno bude, zda napětí v ohybu podélných pásu, způsobené tíhou upínacích prvků a založeného polotovaru, nepřekročí dovolenou mez. Dále bude výpočtem i pomocí MKP hledán průhyb pásu základní desky.

7.1 Ohybové napětí

Namáhání ohybem vzniká působením silové dvojice (ohybovým momentem) v rovině kolmé k rovině řezu. Při takovém namáhání dochází k deformaci tělesa – průhybu.[6][11]

Ohybové napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o}$$

kde:

M_o – Ohybový moment

W_o – modul průřezu v ohybu

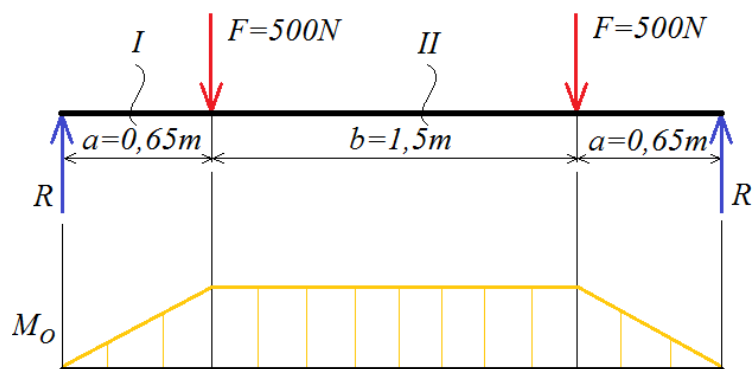
7.1.1 Ohybový moment

Pro zjištění ohybového momentu zatížíme pás (nosník) a budeme řešit úlohu VSÚ [3]. Řešení reálné situace by vedlo k výpočtu nosníku vetknutého z obou stran – staticky neurčitá úloha. Pro zjednodušení a zrychlení analytického výpočtu budeme uvažovat nosník jako „prostě podepřený“ – staticky určitá úloha. První vazba odebírá dva stupně volnosti (dovoluje otáčení) a druhá jeden (dovoluje otáčení a pohyb ve vodorovném směru). [8] Nosník je zatížen pouze svisle, takže vodorovná složka reakce je nulová. (postup řešení staticky neurčitého nosníku je naznačen v kapitole 7.2.4)



Obrázek 23: Staticky určitý X neurčitý nosník

Zdroj: vlastní

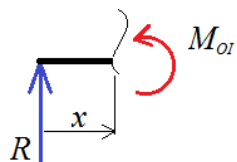


Obrázek 24: Zatížení nosníku

Zdroj: vlastní

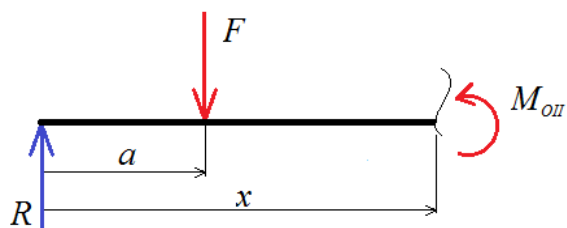
Ze symetrie plyne, že stačí řešit řez ve dvou oblastech a z rovnic rovnováhy víme, že $F = R$.

Oblast I) $x \in \langle 0, a \rangle$



$$M_{OI} = R \cdot x$$

Oblast II) $x \in \langle a, a+b \rangle$



$$M_{OII} = R \cdot x - F \cdot (x - a)$$

$$\text{Pro } R = F: \quad M_{OII} = R \cdot (x - x + a) = R \cdot a$$

Maximální ohybový moment je konstantní v oblasti mezi působícími silami:

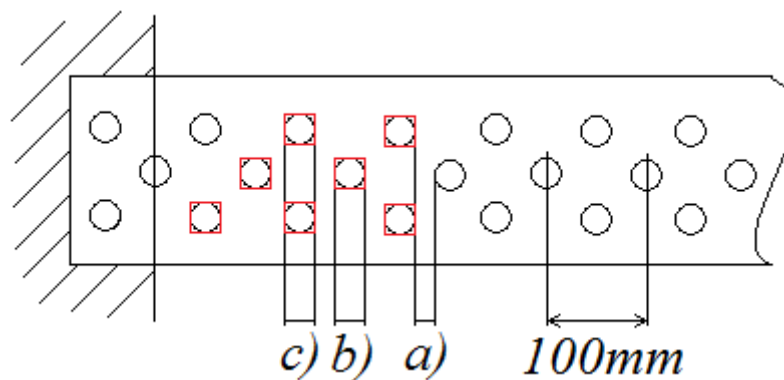
$$\underline{M_{OMAX} = R \cdot a}$$

7.1.2 Hledání modulu proměnlivého průřezu

Pro výpočet ohybového napětí je, vedle ohybového momentu, nutné znát modul průřezu v ohybu W_o . Ten vychází z kvadratického průřezu J , který je charakteristickou průřezovou veličinou pro dané těleso. Průřezový modul se vypočítá jako podíl kvadratického průřezu (J) a poloviny vzdálenosti krajního vlákna od neutrální osy (e).

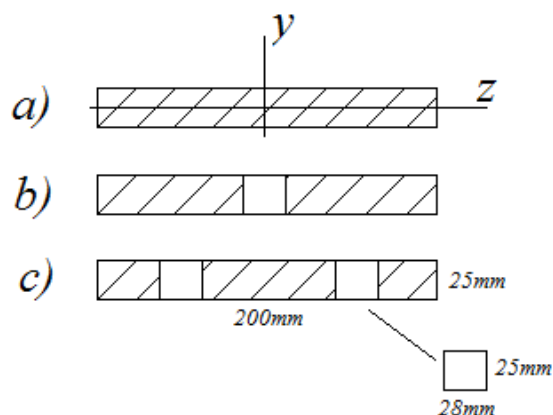
$$W_o = \frac{J}{e}$$

V případě vyšetřované části základní desky je však průřez proměnlivý, kvůli pravidelně se opakujícímu rastu děr. Metodika řešení této situace bude spočívat ve zjednodušení děr. Jejich tvar bude uvažován místo kruhového čtvercový o délce strany rovné průměru kruhové díry. Tím pádem je možné „nosník“ rozdělit na tři části podle průřezu (část bez díry, s jednou dírou, se dvěma dírami). Pro každý průřez zvlášť se získá modul průřezu a podle procentuálního výskytu jednotlivých oblastí na zkoumané délce nosníku se spočítá průměrná hodnota pro celý nosník. Tato hodnota průřezového modulu bude použita k výpočtu ohybového napětí na zvoleném elementu.



Obrázek 25: Rozvržení děr na pásu

Zdroj: vlastní



Obrázek 26: Průřezy

Zdroje: vlastní

$$J_z = \int_{(S)} y^2 dS = \int_{dz} \int_{dy} y^2 dy dz = \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} y^2 dy dz = \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \left[\frac{y^3}{3} \right]_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} dz = \frac{h^3}{12} \left[z \right]_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} = \frac{bh^3}{12}$$

$$W_{Oz} = \frac{J_z}{\frac{h}{2}} \quad W_{Oz} = \frac{bh^2}{6}$$

$$a) \quad J_{za} = \frac{200mm \cdot 25^3 mm}{12} = 260416,67mm^4$$

$$W_{Oza} = \frac{260416,67mm^4}{12,5mm} = 20833,3mm^3$$

$$b) \quad J_{zb} = \frac{(200mm - 28mm) \cdot 25^3 mm}{12} = 223958,3mm^4$$

$$W_{Ozb} = \frac{223958,3mm^4}{12,5mm} = 17916,64mm^3$$

$$c) \quad J_{zc} = \frac{(200mm - 2 \cdot 28mm) \cdot 25^3 mm}{12} = 187500mm^4$$

$$W_{Ozc} = \frac{187500mm^4}{12,5mm} = 15000mm^3$$

Procentuálně vyjádřený poměr výskytu průřezů na 100 mm elementu nosníku:

- a) 44 mm 44 %
- b) 28 mm 28 %
- c) 28 mm 28 %

Celková hodnota W_{oz} na elementu o délce 100 mm:

$$W_{oz} = \frac{1}{100} (20833,3mm^3 \cdot 44 + 17916,7mm^3 \cdot 28 + 15000mm^3 \cdot 28) = 18383,3mm^3$$

Tato hodnota W_o platí i pro celou délku nosníku.

7.1.3 Výpočet ohybového napětí

Maximální ohybové napětí je podíl maximálního ohybového momentu (M_{OMAX}) a celkového průřezového modulu (W_{oz}). [10]

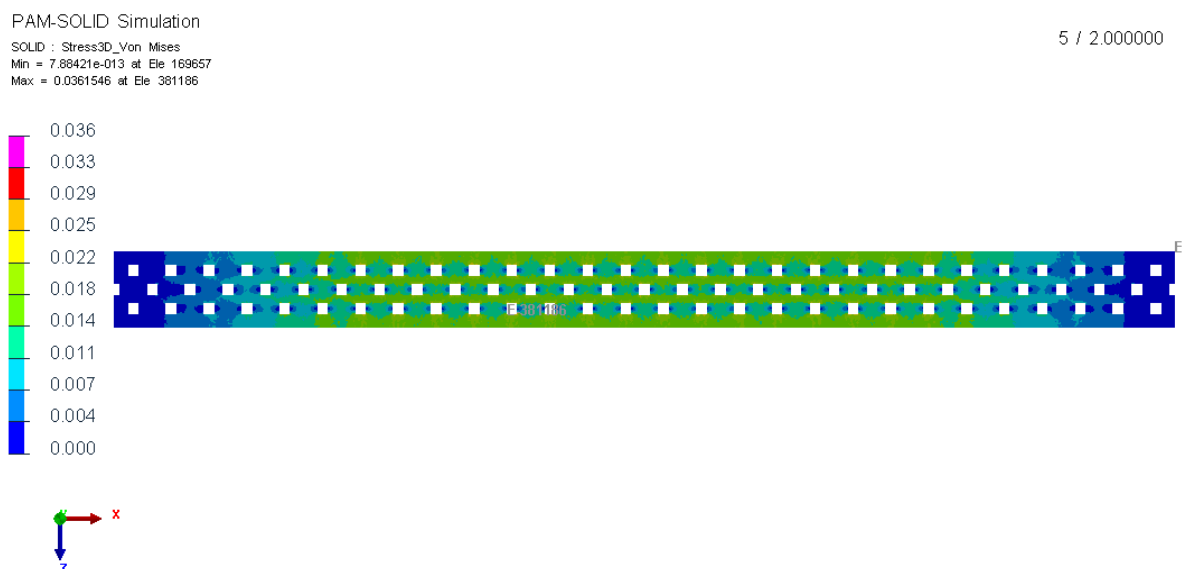
Pro Redukovaný průřezový modul je to:

$$\sigma_o = \frac{M_{OMAX}}{W_{oz}} = \frac{R \cdot a}{W_{oz}} = \frac{500N \cdot 0,65m}{0,0000183833m^3} = 17,7MPa$$

7.1.4 Ohybové napětí pomocí MKP

Výpočet za stejných okrajových podmínek bude proveden metodou konečných prvků. Pomocí systému PamCrash byla tato situace simulována na modelu se zjednodušenými čtvercovými dírami, i s reálnými kruhovými (Příloha 1). Simulace byla provedena na výpočtovém software VPS (Virtual Performance Solution) pomocí implicitního řešiče. Výpočet byl uskutečněn na 8 iteračních kroků. Model nosníku byl proveden pomocí solidových TETRA elementů. K výpočtu byl použit materiálový model oceli s parametry $E=210GPa$, $\rho=7850 kg/m^3$, $\mu=0,3$.

Napětí zatíženého nosníku se zjednodušenými dírami – situace odpovídající analytickému výpočtu s redukovaným průřezovým modulem W_{OZ} :



Obrázek 27: Ohybové napětí – nosník se zjednodušenými dírami

Zdroj: vlastní

Výstupem simulace je maximální hodnota ohybového napětí přibližně 36MPa. Takové napětí bylo nalezeno na okrajích děr ve střední části nosníku a logicky poukazuje na kritická místa v oblasti děr. Použitá metoda analytického výpočtu však nepracuje s konkrétní geometrií nosníku a neuvažuje díry v jeho průřezu. Zelená barva na obrázku v oblasti mezi zatěžujícími silami - v oblasti maximálního ohybového momentu - naznačuje napětí okolo 18MPa, což odpovídá výsledku analytického výpočtu. Porovnáním s přibližným dovoleným napětím v ohybu $\sigma_{DOV} \doteq \tau$ pro materiál nosníku S355J2 zjistíme, že ani maximální získané napětí 36MPa však nosník neohrožuje ve smyslu trvalých deformací.

Podobný výsledek dostaneme i simulací, provedenou na nosníku s kruhovými dírami. Výsledek simulace je k nahlédnutí v Příloze 1. Z porovnání těchto výstupů se dá říct, že zvolená metodika určení průřezového modulu (W_O) je použitelná a výpočty, provedené s takto získaným průřezovým modulem, se uspokojivě blíží skutečnosti.

Reálná situace, kdy jsou oba konce nosníku vetknuty, se však od provedených výpočtů liší. Vrcholy napětí jsou nalezeny v oblasti děr, ovšem ne ve střední části, ale naopak na krajích nosníku, nedaleko vetknutí. Obrázek výstupu simulace je v Příloze 1.

7.2 Průhyb nosníku

Pro výpočet průhybu nosníku bude opět použit zjednodušený model – „prostě podepřený nosník“.

Průhyb budeme hledat pomocí diferenciální rovnice ohybové čáry. [9] Řešení spočívá v nalezení reakcí a vnitřních statických účinků (ohybový moment z kapitoly 7.1.1) z podmínek rovnováhy a metodou řezu. Dosazením ohybového momentu do rovnice ohybové čáry a jejím dvojnásobným integrováním dostaneme rovnice pro ohyb v obecném místě. Po vyřešení integračních konstant z okrajových a přechodových podmínek a dosazení požadované souřadnice získáme průhyb v požadovaném místě. [12]

$$\text{Rovnice ohybové čáry: } w'' = -\frac{M_O}{EJ}$$

kde:

M_O – zatěžující moment

E – Youngův modul pružnosti (modul pružnosti v tahu)

J – kvadratický moment tělesa

7.2.1 Určení celkového kvadratického momentu J

Pro určení kvadratického momentu J se bude postupovat stejně jako při určování W_O v kapitole 7.1.2. Po nalezení dílčích kvadratických momentů (pro varianty bez děr, s jednou dírou, se dvěma dírami) se určí celková hodnota kvadratického momentu podle poměrného rozložení jednotlivých úseků na nosníku.

$$\text{a) } J_{Za} = \frac{200\text{mm} \cdot 25^3 \text{mm}}{12} = 260416,67\text{mm}^4$$

$$\text{b) } J_{Za} = \frac{(200\text{mm} - 28\text{mm}) \cdot 25^3 \text{mm}}{12} = 223958,3\text{mm}^4$$

$$\text{c) } J_{Za} = \frac{(200\text{mm} - 2 \cdot 28\text{mm}) \cdot 25^3 \text{mm}}{12} = 187500\text{mm}^4$$

Celková délka nosníku $L = 2800$ mm

- a) 56x22 mm 44 %
- b) 28x28 mm 28 %
- c) 28x28 mm 28 %

Celková hodnota J_z na délce nosíku L :

$$J_z = \frac{1}{100} (260416,67 \text{mm}^4 \cdot 44 + 223958,3 \text{mm}^4 \cdot 28 + 187500 \text{mm}^4 \cdot 28) = 229791,67 \text{mm}^4$$

7.2.2 Výpočet průhybu

Oblast I) $x \in \langle 0, a \rangle$ $M_{OI} = R \cdot x$

$$w''_I = -\frac{R \cdot x}{EJ_z}$$

$$w'_I = -\int \frac{R \cdot x}{EJ_z} \cdot dx = -\frac{R}{EJ_z} \cdot \frac{x^2}{2} + C_1$$

$$w_I = \int \left(-\frac{R}{EJ_z} \cdot \frac{x^2}{2} + C_1 \right) \cdot dx = -\frac{R}{EJ_z} \cdot \frac{x^3}{6} + C_1 \cdot x + C_2$$

Oblast II) $x \in \langle a, a+b \rangle$ $M_{OII} = R \cdot a$

$$w''_{II} = -\frac{R \cdot a}{EJ_z}$$

$$w'_{II} = -\int \frac{R \cdot a}{EJ_z} \cdot dx = -\frac{R \cdot a}{EJ_z} \cdot x + C_3$$

$$w_{II} = \int \left(-\frac{R \cdot a}{EJ_z} \cdot x + C_3 \right) \cdot dx = -\frac{R \cdot a}{EJ_z} \cdot \frac{x^2}{2} + C_3 \cdot x + C_4$$

Konstanty C_1, C_2, C_3, C_4 se spočítají z okrajových a přechodových podmínek:

$$\begin{array}{ll} O.P.: & P.P.: \\ w_I(0) = 0 & w_I(a) = w_{II}(a) \\ w'_{II}\left(a + \frac{b}{2}\right) = 0 & w'_I(a) = w'_{II}(a) \end{array}$$

První okrajová podmínka plyne z předpokladu, že v místě $x = 0$ je nulový průhyb. Druhá říká, že sklon ohybové čáry je nulový na ose symetrie.

První přechodová podmínka pracuje s rovností průhybů pro obě oblasti v místě působení zatěžující síly, $x = a$. Stejně tak druhá přechodová podmínka s rovností sklonu ohybové čáry obou oblastí ve stejném místě ($x = a$).

Pro vyjádření konstant tedy máme soustavu čtyř rovnic pro čtyři neznámé, ze které plynou vztahy:

$$C_1 = \frac{R \cdot a^2}{EJ_z} \cdot \left(\frac{1}{2} - 1\right) + C_3 = 0,00726m$$

$$C_2 = 0m$$

$$C_3 = \frac{R \cdot a}{EJ_z} \cdot \left(a + \frac{b}{2}\right) = 0,00946m$$

$$C_4 = \frac{R \cdot a^2}{EJ_z} \cdot \left(\frac{a}{2} - \left(a + \frac{b}{2}\right) - \frac{a}{6}\right) + C_1 \cdot a = -0,00048m$$

Je zřejmé, že největší průhyb bude uprostřed nosníku mezi působícími silami – na ose symetrie. Do rovnice pro průhyb ve druhé oblasti tedy dosadíme příslušnou souřadnici:

$$x = a + \frac{b}{2}$$

$$w_{II}\left(a + \frac{b}{2}\right) = -\frac{R \cdot a}{2EJ_z} \cdot \left(a + \frac{b}{2}\right)^2 + C_3 \cdot \left(a + \frac{b}{2}\right) + C_4 =$$

$$= -\frac{500N \cdot 0,65m}{2 \cdot 210GPa \cdot 0,000000229m^4} \cdot \left(0,65m + \frac{1,5m}{2}\right)^2 + 0,00946m \cdot \left(0,65m + \frac{1,5m}{2}\right) - 0,00048m$$

$$\underline{\underline{w_{II}\left(a + \frac{b}{2}\right) = 0,00614m = 6,14mm}}$$

Zajímavým údajem může být také průhyb v místě působící síly ($x = a$). Jeho výpočet vypadá, s použitím rovnice pro první oblast, takto:

$$w_I(a) = -\frac{R}{EJ_z} \cdot \frac{a^3}{6} + C_1 \cdot a + C_2 =$$

$$= -\frac{500N}{210GPa \cdot 0,000000229m^4} \cdot \frac{0,65^3m}{6} + 0,00726m \cdot 0,65 + 0$$

$$\underline{\underline{w_I(a) = 0,00424m = 4,24mm}}$$

Pro ověření je možné dosadit stejnou vzdálenost do rovnice pro průhyb ve druhém intervalu:

$$w_{II}(a) = -\frac{R \cdot a}{2EJ_z} \cdot a^2 + C_3 \cdot a + C_4 =$$

$$= -\frac{500N \cdot 0,65m}{2 \cdot 210GPa \cdot 0,000000229m^4} \cdot 0,65^2m + 0,00946m \cdot 0,65m - 0,00048m$$

$$\underline{\underline{w_{II}(a) = 0,00424m = 4,24mm}}$$

7.2.3 Průhyb pomocí MKP

Stejná situace byla opět simulována se stejnými okrajovými podmínkami jako při analytickém výpočtu a to jak pro zjednodušený model se čtvercovými dírami (zelený průběh v grafech), tak pro model s kruhovými dírami (modrý průběh). Červený průběh v grafu představuje průhyb reálné podoby nosníku s oboustranným vetknutím a kruhovými dírami.

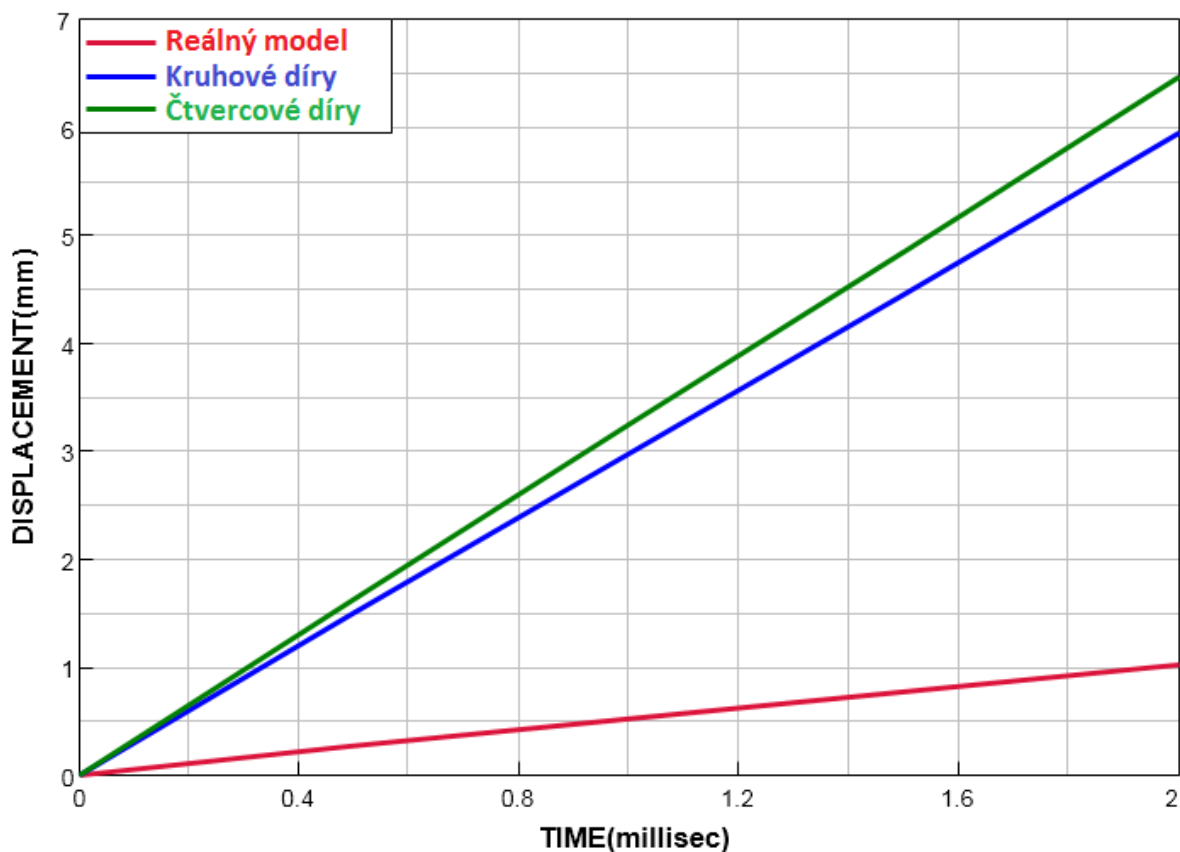
Simulací získané hodnoty průhybu se výsledkům analytického výpočtu blíží dostatečně na to, abychom ho mohli obě metody označit za spolehlivé a správně provedené.

Tabulka 3: Porovnání hodnot průhybu

PRŮHYB	Analyticky	výpočet pomocí MKP		
		Statically určitý nosník		Stat. Neurčitý n.
		čtvercové díry	kruhové díry	reálný model
střed nosníku	6,14	6,47	5,94	1,01
pod zatěžující silou	4,24	4,47	4,11	0,59

Uvedené hodnoty průhybu jsou v milimetrech [mm]

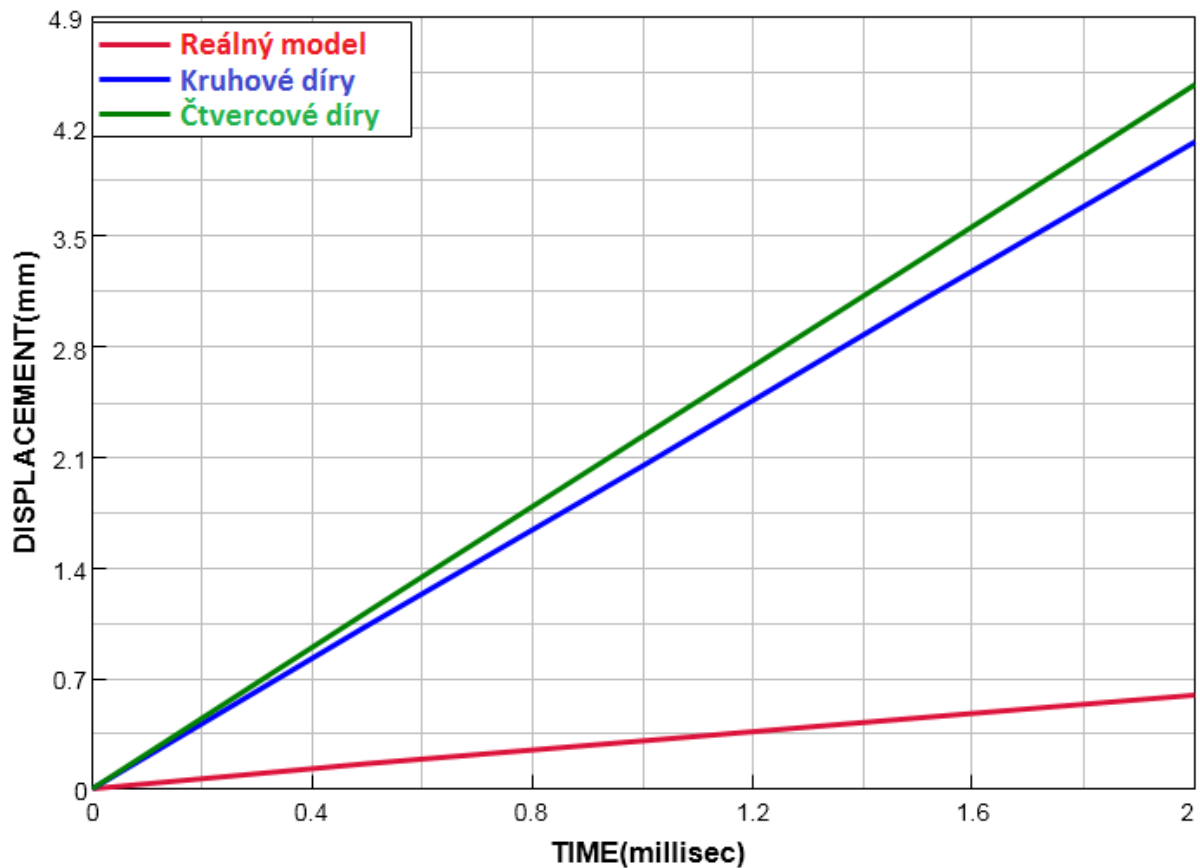
Graf závislosti průhybu na čase simulace ve středovém bodu nosníku:



Obrázek 28: Graf simulovaného průhybu ve středu nosníku

Zdroj: vlastní

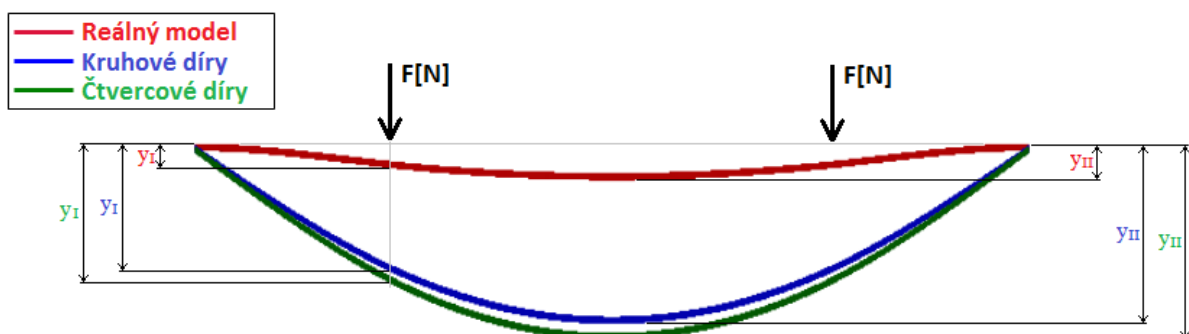
Graf závislosti průhybu na čase simulace v místě zatížení nosníku:



Obrázek 29: Graf simulovaného průhybu v místě zatížení

Zdroj: vlastní

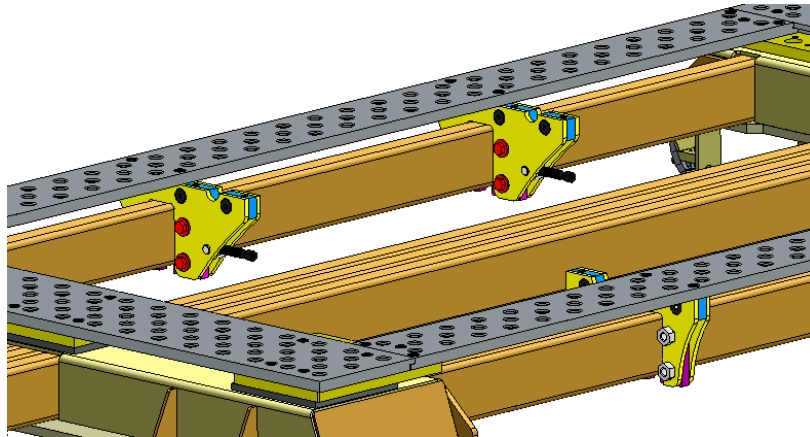
Na následujícím obrázku je možné porovnat průběhy průhybu zjednodušeného nosníku se čtvercovými (zelená) a kruhovými (modrá) dírami, a reálného (červená) nosníku.



Obrázek 30: Porovnání průběhů průhybu

Zdroj: vlastní

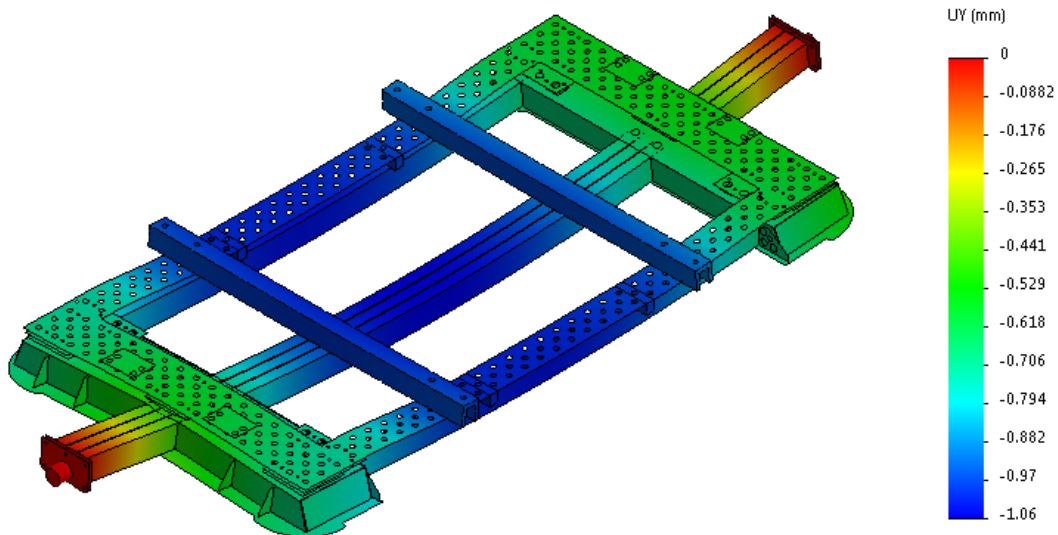
Zjištěné deformace by mohly vést ke zhoršení svařovacích podmínek a ohrozit přesnost výsledného svařence. Proti deformaci proto bude provedeno následující opatření. Pro nosník budou vyrobeny podpěry, které se připevní k základnímu rámu polohovadla a nosník podepřou ve dvou místech. Podpěra je zkonstruována s ohledem na možnost představení nosníků a jistou vůlí v upínací části se vypořádá i s případným mírným zkroucením profilu základního rámu.



Obrázek 31: Podpěry

Zdroj: vlastní

Celý rám se základní deskou byl nakonec orientačně zatížen předpokládanými silami, které na něj působí při založení všech svařovaných dílů, a byl zkontrolován jeho celkový průhyb.



Obrázek 32: Celkový průhyb rámu se základní deskou

Zdroj: vlastní

Maximální průhyb byl zjištěn 1,06 mm. Takovou hodnotu považujeme za přijatelnou.

7.2.4 Naznačení výpočtu staticky neurčitého nosníku

Reálná situace, kdy je nosník na obou svých stranách vetknutý, by se řešila pomocí **věty o minimu deformační energie**:

Staticky neurčité úlohy jsou řešitelné použitím věty o minimu deformační energie, tzv. „3. Castiglianovy věty“. V této metodě se, stejně jako při řešení staticky určitých nosníků, hledají reakce ve vazbách pomocí rovnic statické rovnováhy. Vzhledem k neurčitosti není možné je vyjádřit nezávisle na sobě. Následuje řešení vnitřních statických účinků, z nichž se počítá deformační energie (U). Ta se poté derivuje podle vybrané staticky neurčité veličiny (x_j) kvůli získání hodnot všech účinků. Pro získání průhybu se nakonec deformační energie derivuje podle zatěžující síly (F).

Věta o minimu deformační energie:
$$\frac{\partial U}{\partial x_j} = 0$$

Deformační energie pro ohyb:
$$U = \int_{(l)} \frac{M_o^2(x)}{2EJ} \cdot dx$$

tah/tlak:
$$U = \int_{(l)} \frac{N^2(x)}{2ES} \cdot dx$$

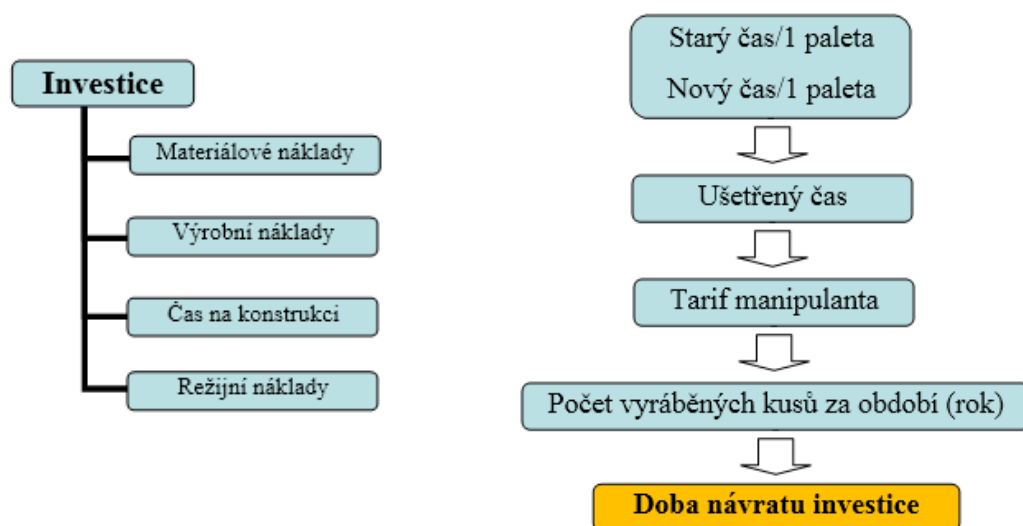
krut:
$$U = \int_{(l)} \frac{M_k^2(x)}{2EJ_p} \cdot dx$$

Průhyb nosíku:
$$w = \frac{\partial U}{\partial F}$$

8. Ekonomické zhodnocení

Ke konkrétním hodnotám nemáme přístup, proto bude ekonomické zhodnocení naznačeno teoretickým komentářem.

Důvodem investování peněz do výrobního procesu je většinou vidina snížení výrobních nákladů a ušetření finančních prostředků. Od okamžiku investice však zpravidla nějakou dobu trvá, než se peníze začnou vracet a investor se dostane z červených čísel. Taková doba se dá odhadnout. V našem konkrétním případě je hlavní investice vložena do koupě svařovacího robota, jehož využitím má dojít ke zkrácení výrobních časů. Předmětem práce byl však svařovací přípravek, jehož úkolem je především přizpůsobení zakládání a uchycení polotovaru při práci na robotu. Žádoucí je ovšem také zkrácení zakládacích a přípravných časů. Tomu je přizpůsobené schéma:



Schématy je naznačeno z jakých položek se skládá celková investice a postup při odhadu doby jejího návratu. V prvním kroku se porovnává čas, potřebný na založení všech dílů a přípravy pracoviště pro jednu paletu, starým a novým způsobem. Přibližnou částku, ušetřenou přípravou novým způsobem, dostaneme vynásobením ušetřeného času částkou zaplacenou obsluze a tuto hodnotu násobíme počtem vyráběných kusů za zkoumané období (např. rok). Tu konečně porovnáváme s celkovou investicí a můžeme stanovit, kolik kusů/času je potřeba k navrácení investice nebo zda se návrat investice uskutečnil.

9. Závěr

Tématem práce bylo zkonstruovat univerzální svařovací přípravek pro svařování na otočném polohovadle za pomoci automatizovaného robotického ramene. Šlo o optimalizaci stávajícího řešení a jeho přizpůsobení nové výrobní technologii.

V úvodu práce proběhlo seznámení s požadavky na navrhovaný přípravek, kterými byla především univerzálnost, flexibilita vzhledem k možnosti rychlé změny výrobního procesu a umožnění efektivního a rychlého zakládání polotovaru a přípravy pracoviště k samotnému svařování. Dále byl navržen plán a přibližný postup návrhu. Představení dosavadního způsobu upínání polotovaru při stávajícím způsobu ručního svařování a výčet jeho nedostatků, jako i představení samotných produktů, palet, na jejichž upínání se tato práce zaměřuje, utvořila základ pro první nápady a směr, kterým by se mohl návrh nového přípravku ubírat. Výhodná konstrukce přípravku bude taková, která umožní zakládání dílů svařence obou produktů s minimální nutnou přestavbou upínacích prvků. Vzhledem k výrazné podobnosti obou svařovaných produktů je taková podoba přípravku jistě možná.

Dalším zdrojem inspirace byl následný průzkum možností upínání polotovaru. Rešerší současných trendů v upínání dílů při svařování bylo odhaleno, že tato problematika není ničím vzácným a možností, jak se s touto otázkou vypořádat je mnoho. Rozšířenost tohoto tématu potvrzuje i fakt, že v dnešní době existuje i v Čechách několik společností, které se výhradně návrhy a výrobou upínacích systémů pro svařování zabývají. Stejně jako bylo zjištěno průzkumem, i tyto firmy své upínací systémy v drtivé většině zakládají na univerzálních základních stolech či deskách. Jejich konkrétní řešení jsou různá a mají své pro i proti. K rozšíření povědomí o různých způsobech fixování dílů pomohl patentový průzkum, ze kterého byly v práci uvedeny dva příklady.

Na základě požadavků a získaných informací byl zhotoven návrh základní desky s představitelnými podélnými pásy. Výhoda této volby byla spatřena především v univerzálnosti, která bude prospěšná při konstrukci dalších upínacích systémů pro další různé produkty, které je zamýšleno na tomto rámu vyrábět. Pro samotné upnutí profilů byly vytvořeny čtyři koncepty. Po jejich následném zhodnocení byl jeden z nich vybrán jako vhodné řešení pro upnutí podélných profilů. Byl to koncept č. 3, jehož podstata je v přesném

zapolohování pomocného čepu v dírách profilu a prismatické podložce. Pro příčné profily byl optimalizován koncept č. 4. Řešení spočívá v definování horního dorazu, ke kterému se celý profil doráží za pomoci šroubového spoje. Toto řešení vedlo k ověření samosvornosti šroubového spoje a zjištění nutného povolovacího a utahovacího momentu.

Další část práce se zabývala verifikací vybrané části návrhu analytickým výpočtem a jeho ověřením pomocí MKP. Vybranou částí byl podélný pás základní desky. Ověření spočívalo v určení ohybového napětí a jeho porovnání s dovoleným napětím a zjištěním průhybu nosníku po zatížení. Pro tyto výpočty byl uvažován zjednodušený model nosníku, jehož uložení umožnilo řešení staticky určité úlohy. Pro určení ohybového momentu bylo nutné určit modul průřezu W_o , který je u zkoumaného pásu, proměnlivý. Pro jeho nalezení byla použita metodika spočívající ve výpočtu procentuálního rozložení jednotlivých průřezů na délce nosníku a určení průměrné hodnoty, konstantní pro celou délku. Výpočet vedl k potvrzení, že zatížením nosníku nedojde k jeho deformaci takové, aby ohrozila pevnost konstrukce přípravku. To potvrdil i výpočet pomocí MKP. Dále byl vyřešen průhyb, k čemuž posloužila metoda, stojící na diferenciální rovnici průhybové čáry. Na základě výsledků potvrzených MKP simulací bylo navrženo opatření zmírňující průhyb v podobě podpěr na základním rámu.

Jako poslední byla popsána ekonomická stránka návrhu. Byl zde naznačen postup odhadu doby návratu investice, na jehož výsledku se dá založit rozhodnutí, zda, a do jaké míry, se nová konstrukce oproti staré vyplatí. V kompletní kalkulaci, zahrnující především nákup robota a přípravu na provoz robotizovaného svařovacího pracoviště, je to ovšem jen menší část investice.

Zadavatelem byl tento návrh přijat a došlo k jeho realizaci. V principu přípravek funguje podle představ. Při jeho realizaci však došlo k drobným chybám, které bylo nutné opravit. V době tvorby této práce však ještě stále nemáme dostatek informací k bližšímu zhodnocení a posouzení jeho spolehlivosti či trvanlivosti.

Seznam použité literatury

- [1] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 2., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2005, 907 s. ISBN 80-736-1011-6.
- [2] PEŠÍK, Lubomír. *Části strojů: stručný přehled*. Vyd. 4., dopl. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010, 2 sv. (226, 236 s.). ISBN 978-80-7372-573-0.
- [3] VRZALA, Rudolf a Iva PETRÍKOVÁ. *Mechanika I: (statika)*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010, 238 s. ISBN 978-80-7372-570-9.
- [4] KAMENICKÁ, P. *Způsoby upínání nástrojů a obrobků*. Brno, 2013. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [5] KULHAVÝ, P. *Inovace závěsu zadních dveří automobilu*. Liberec, 2013. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [6] DOLEŽÍ, V. a D. GALIS. *Mechanika II Výukový manuál* [online]. SŠPU Opava, 2009 [cit. 2015-06-18]. Dostupné z: http://www.sspu-opava.cz/UserFiles/File/Mechanika_II_vyukovy_manual_na_SSPU_Opava.pdf
- [7] FÖRSTER WELDING SYSTEMS GMBH. *Pracovní stoly na sváření - 3D systémy: Katalog 2012* [online]. Hohenstein-Ernstthal, 2012, 36 s. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: http://www.forster-welding-systems.com/pdf/katalog_cz.pdf
- [8] HAVLÁSEK, P. *Vliv okrajových podmínek na tvar ohybové čáry* [online]. ČVUT v Praze, 2013 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: <http://mech.fsv.cvut.cz/~phavlasek/mechlab/BC.pdf>
- [9] JÍRA, J. *Výpočet průhybu nosníku* [online]. ČVUT v Praze, 2011 [cit. 2015-06-15]. Dostupné z: http://mech.fd.cvut.cz/members/jira/studijni-podklady/tam/pruznost-a-pevnost-zaklady/PP_II_pruhyb.pdf
- [10] KRATOCHVÍL, J. *Namáhání ohybem* [online]. SPŠ Kolín, 2011 [cit. 2015-06-17]. Dostupné z: http://www.sps-ko.cz/documents/MEC_kratochvil/PRUŽNOST/14_PRUZNOST_A_PEVNOST_Namáhání_ohybem.pdf

- [11] KRATOCHVÍL, J. *Základní druhy namáhání* [online]. SPŠ Kolín, 2011 [cit. 2015-06-28]. Dostupné z: http://www.sps-ko.cz/documents/MEC_kratochvil/PRUŽNOST/02_PRUZNOST_A_PEVNOST_Základní_druhy_namáhání.pdf
- [12] KROUPA, T. *Ohyb přímých prutů - nosníků* [online]. ZCU v Plzni, 2009 [cit. 2015-06-28]. Dostupné z: http://www.kme.zcu.cz/kmet/ppe/teorie/15_o.pdf
- [13] MCBEE, D. *Welding Clamp*. Dostupné také z: <https://www.google.cz/patents/US6349869?dq=welding+clamp&hl=cs&sa=X&ved=0CCgQ6AEwAWoVChMIv4fFjtCPxgIVCxYsCh0vdgAh>
- [14] UNIVERSITY OF STAVANGER. *Fixing Clamp*. Dostupné také z: https://www.google.cz/patents/US6027279?dq=rectangular+profile+clamp&hl=cs&sa=X&ved=0CCAQ6wEwAGoVChMIq8Gjp9yPvgIVp_RyCh3SyQDA

Seznam příloh

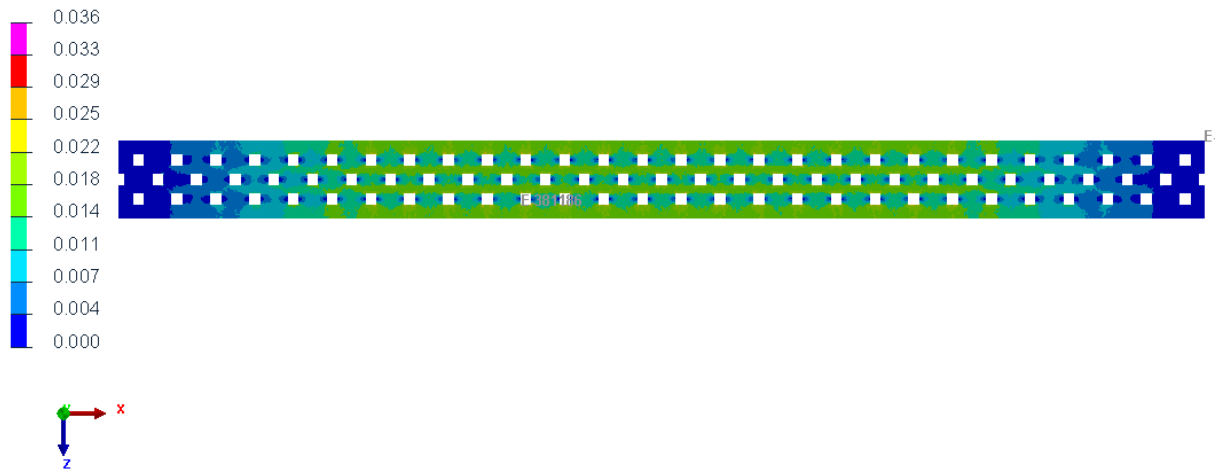
Příloha 1	Ohybové napětí získané pomocí MKP	I
------------------	--	----------

Příloha 1 Ohybové napětí získané pomocí MKP

Zjednodušený, prostě podepřený nosník se čtvercovými dírami:

PAM-SOLID Simulation
SOLID : Stress3D_Von Mises
Min = 7.88421e-013 at Ele 169657
Max = 0.0361546 at Ele 381186

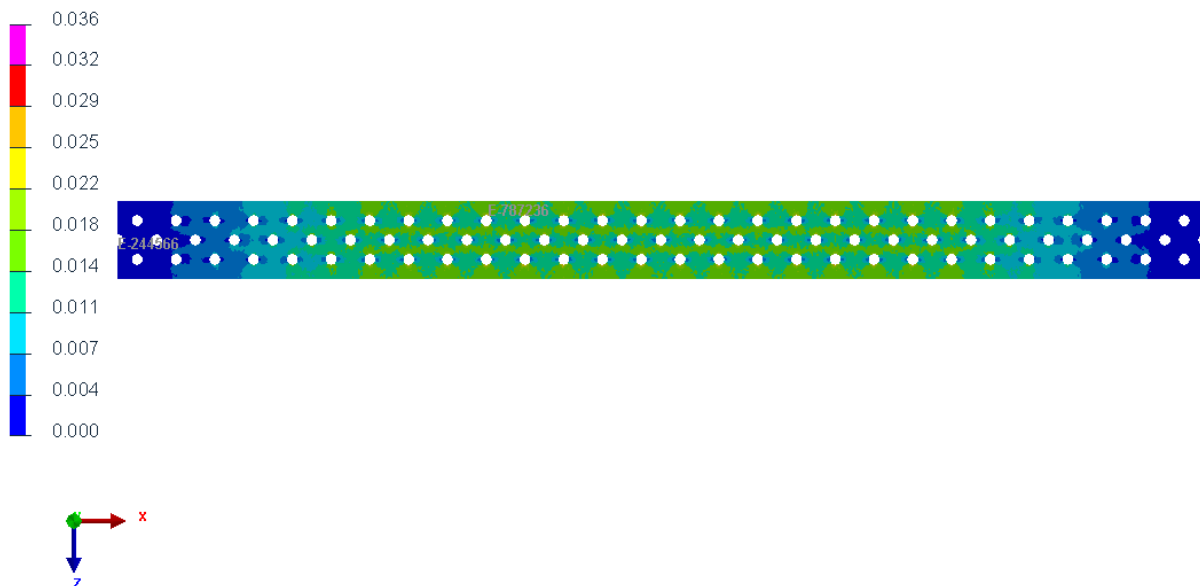
5 / 2.000000



Zjednodušený prostě podepřený nosník s kruhovými dírami:

PAM-SOLID Simulation
SOLID : Stress3D_Von Mises
Min = 6.4241e-013 at Ele 244566
Max = 0.0340236 at Ele 787236

5 / 2.000000



Oboustranně vetknutý nosník, odpovídající reálné situaci:

PAM-SOLID Simulation

SOLID : Stress3D_Von Mises
Min = 1.5532e-014 at Ele 244558
Max = 0.0223558 at Ele 243352

5 / 2.000000

