

# Návrh stabilizačního přípravku pro stojany karuselu

Vít Balcárek

---

Bakalářská práce  
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Vít Balcárek
Osobní číslo:	T21660
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Návrh stabilizačního přípravku pro stojany karuselu

## Zásady pro vypracování

- Teoretická studie k tématu práce
- Návrh univerzálního stabilizačního přípravku pro skladování a manipulaci se stojany karuselu vyráběných firmou TOSHULIN
- Dimenzování přípravku pro optimální rozložení váhy stojanu a zajištění jeho stability
- Zhodnocení koncepce stabilizačního přípravku a diskuze o praktičnosti řešení

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

Seznam doporučené literatury:

- SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Základy konstruování*. Vydání deváté, přepracované a doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2022, 264 s. ISBN 978-80-7623-089-7.
- RAO, R. Venkata a Vimal J. SAVSANI. *Mechanical design optimization using advanced optimization techniques*. London: Springer, 2012, xii, 320 s. Springer series in advanced manufacturing. ISBN 9781447127475.
- ČSN EN ISO 12100 (83 3001) *Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 105 s.
- GOETSCH, David L. a Raymond L. RICKMAN. *Technical drawing for engineering communication*. Seventh edition. Australia: Cengage learning, [2016], XV, 877 s. ISBN 978-1-285-17301-6.
- SVOBODA, Václav. *Metodický návod k odhadu, hodnocení a snižování rizik u strojů a zařízení*. Praha: VÚBP, 2003, 28 s. Bezpečný podnik. ISBN 8023907468.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2024**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2024**

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.**  
děkan

L.S.

**doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 4. března 2024

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Předmětem téhle bakalářské práce je návrh stabilizačního přípravku pro stojan dvou stojanových karuselů a vytvoření výkresové dokumentace.

Teoretická část se zabývá především problematikou návrhu součástí jejich optimalizace s přihlédnutím na jejich bezpečnost. V praktické části je uveden celý průběh návrhu přípravku včetně pevnostních analýz a ověření účinnosti finálního přípravku.

Klíčová slova: přípravek, karusel, návrh, stojan

## **ABSTRACT**

The subject of this bachelor thesis is a design of stabilizing fixture for stands of two-stand vertical lathe and creation of drawing documentation.

Theoretical part deals mainly with problematics of engineering design it's optimization and considering safety. The Practical part deals with the whole process of designing the fixture along with its strength analysis and effectivity check of the final fixture design.

Keywords: fixture, vertical lathe, design, stand

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Ondřeji Bílkovi Ph.D za vedení a užitečné odborné připomínky a rady během tvorby této práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Petru Střítezkému, jeho odborné pomoci během návrhu přípravku a za poskytnutí podkladů z firmy TOSHULIN, a.s. Veliké poděkování také patří rodině za neustálou podporu při studiu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 NÁVRH SOUČÁSTÍ</b> .....	<b>11</b>
1.1 POSTUP NÁVRHU .....	11
1.2 STANDARDIZACE .....	12
1.2.1 Normalizované součásti .....	12
1.2.2 Polotovary .....	12
1.2.3 Materiály .....	14
1.3 NEJISTOTY PŘI NÁVRHU.....	14
1.4 BEZPEČNOST NÁVRHU .....	14
1.4.1 Odhad rizika .....	15
1.4.2 Odstranění rizika .....	15
<b>2 TVÁŘENÍ</b> .....	<b>16</b>
2.1 ROZDĚLENÍ PODLE TEPLoty .....	16
2.1.1 Tváření za studena.....	16
2.1.2 Tváření za tepla .....	17
2.1.3 Tváření za částečného ohřevu .....	17
2.2 ROZDĚLENÍ PODLE GEOMETRICKÝCH CHARAKTERISTIK .....	17
2.2.1 Plošné tváření .....	17
2.2.2 Objemové tváření .....	18
2.3 ROZDĚLENÍ PODLE ÚČINKU TVÁŘECÍ SÍLY .....	19
2.3.1 Za působení statické síly .....	19
2.3.2 Za působení dynamické síly .....	19
<b>3 SVAŘOVÁNÍ</b> .....	<b>20</b>
3.1 SVAŘOVÁNÍ ZA PŮSOBENÍ TEPLA .....	20
3.1.1 Svařování plamenem .....	20
3.1.2 Svařování elektrickým obloukem .....	21
3.2 SVAŘOVÁNÍ ZA PŮSOBENÍ TEPLA A TLAKU .....	22
3.2.2 Svařování bodové .....	24
<b>4 FEM ANALÝZA</b> .....	<b>25</b>
<b>5 ROVNOVÁHA TĚLESA</b> .....	<b>27</b>
5.1 STABILITA .....	27
<b>6 KARUSELY</b> .....	<b>29</b>
6.1 POUŽITÍ .....	29
6.2 KONSTRUKCE .....	29
6.2.1 Jedno stojanové karusely.....	30

6.2.2	Dvou stojanové karusely .....	31
<b>7</b>	<b>SHRNUTÍ.....</b>	<b>32</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>33</b>
<b>8</b>	<b>CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>34</b>
8.1	TOSHULIN, A.S. ....	34
8.2	ZADÁNÍ .....	34
8.3	NÁVRH STABILIZAČNÍHO PŘÍPRAVKU .....	35
8.3.1	Průzkum stojanů.....	35
8.3.2	Prvotní návrhy .....	36
8.3.3	Analýza prvotních návrhů a výběr nejvhodnějšího.....	39
8.3.4	Volba materiálu .....	39
8.3.5	Vytvoření návrhu .....	39
8.4	OVĚŘENÍ EFEKTU NA STABILITU STOJANU .....	47
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>50</b>	
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>51</b>	
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>52</b>	
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>53</b>	
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>54</b>	



## ÚVOD

Bakalářská práce se věnuje kompletnímu návrhu stabilizačního přípravku pro stojan dvou stojanových karuselů. Přípravek je použit při skladování samostatně stojícího stojanu po lakování a před jeho samotnou instalací do strojního celku. Teoretická část se zabývá vybranými technologiemi výroby použitými při výrobě přípravku. Dále také metodami zkoušení únosnosti přípravku a jeho efektivity.

Cílem této bakalářské práce je vytvořit přípravek dle zadání z firmy TOSHULIN, a.s.. Zabývá se celým postupem návrhu přípravku od prvotního průzkumu, až po vytvoření finálního návrhu otestovaného pomocí FEM analýzy a vytvoření výrobních výkresů přípravku dle zvyklostí TOSHULIN, a.s.. Samotný přípravek by měl být co nejjednodušší a nejlevnější na výrobu. Zároveň ovšem musí být dostatečně pevný a odolný, aby vydržel zatížení, jemuž bude vystaven. Dále by měl být, pokud možno co nejskladnější.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 NÁVRH SOUČÁSTÍ

Návrh strojů a součástí se zabývá celkovým vymyšlením, postupem a optimalizací částí před jejich výrobou. Úlohou je vytvoření návrhu výrobku, včetně jeho kompletní dokumentace, dle požadavků zákazníka nebo firmy, a to na základě několika parametrů. Příkladem typických parametrů ovlivňujících návrh výrobku je jeho cena, váha, pevnost, spolehlivost, vzhled a mnoho dalších. Často se setkáme s nedosažitelnými nebo konfliktními požadavky, u kterých je nutná volba kompromisu například požadavek na nízkou váhu a vysokou pevnost. Není vždy možné odlehčit finální výrobek dle požadavků zadavatele, při zachování jeho pevnosti a spolehlivosti v provozu. Z toho důvodu má často návrh několik možných výsledků. [1]

## 1.1 Postup návrhu

Návrh strojů a součástí prochází dlouhým procesem jež se skládá z několika fází. Během celého procesu navrhování často dochází k přechodu „tam a zpět“ mezi jednotlivými fázemi. Nejčastěji proto, že se během procesu upřesňují požadavky, zjistí se nedostatky použitého materiálu, nebo součásti nevyhovují požadované pevnosti atd. Dalším důležitým faktorem je zpětná odezva od zákazníka, díky které lze odladit případné nedostatky odhalené až v přímém provozu.

Příklad postupu návrhu:

1. Zjistit co je potřeba navrhnout a vyrobit
2. Zjistit specifikace a požadavky
3. Ověřit proveditelnost
4. Výběr z předběžných návrhů
5. Vytvoření návrhu výrobku
6. Vytvoření detailního návrhu výrobku
7. Vytvoření prototypu výrobku
8. Vytvoření finálního návrhu a jeho kompletní dokumentace
9. Uvolnění do výroby [2]

## 1.2 Standardizace

Pro zjednodušení a urychlení návrhů a následných montáží, byly zavedeny různé normy neboli normalizované součásti, materiály, polotovary a další. Jedná se o souhrn předpisů sjednocujících vybrané součásti, jejich technická kritéria, výrobu a zkoušení. Jako názorný příklad může být šroub. Díky standardizaci je zaručeno, že všechny šrouby a matice, vyrobené pod danou normou, budou kompatibilní s dalšími šrouby a maticemi vyrobenými podle stejné normy, jsou-li stejné velikosti a stoupání. Dalším důvodem standardizace je snížení počtu možných variant součástí. Znamená to tedy že šroub od firmy „A“ bude kompatibilní s maticí od firmy „B“.

Existují normy mezinárodní (např. ISO, ANSI, ...), ale také národní (např. ČSN). Národní normy často přebírají stejné předpisy popsané v normách mezinárodních (např. ČSN ISO...) [3]

### 1.2.1 Normalizované součásti

Mezi normalizované součásti patří celá řada běžně používaných součástí. Jejich účelem je, jak již bylo zmíněno, usnadnit a urychlit návrh i montáž strojních celků. A to díky kompatibilitě součástí vyrobených pod stejnou normou a také díky jejich dostupnosti, neboť se většinou jedná o součásti vyráběné a používané ve velkém množství.

Mezi normalizované součásti patří například:

- Spojovací materiál (šrouby, matice, položky, apod)
- Součásti vstřikovacích forem (vodící čepy a pouzdra, vyhazovače, atd)
- Hřídelové součásti (ložiska, pojistné kroužky, těsnění, pera, atd)
- Části potrubí a chladících soustav (záslepky, spojky, atd)
- Elektronické konektory [3]

### 1.2.2 Polotovary

Polotovary se s výhodou používají pro urychlení výroby. Většinou se jedná o jednoduché před vyrobené části, které se dále zpracovávají dle požadavků konstrukce. Například jednoduchá konstrukce složená z několika profilů čtvercového průřezu, je díky normalizovaným polotovarům velice levná a snadno proveditelná záležitost. Je potřeba pouze nakoupit zvolený profil, ten nařezat na požadované délky a ty následně spojit třeba

svařováním. Opět stejně jako u normalizovaných součástí i u polotovarů platí, že jejich obrovskou výhodou je, že se vyrábí ve velkém množství, což vede ke značnému snížení ceny nejen polotovarů, ale také konstrukcí a celků z nich vyrobených. Příklady běžně vyráběných polotovarů můžeme vidět na obrázku 1.

Mezi normalizované polotovary patří například

- Uzavřené profily (čtvercové, obdélníkové)
- Otevřené profily (tvaru I, U, T, L)
- Tyče (kruhové, čtvercové, ploché, závitové, atd)
- Plechy
- Trubky [3]



Obrázek 1 tvary polotovarů

### 1.2.3 Materiály

Volba materiálu tvoří důležitou složku celkového návrhu částí. Musí vždy vyhovovat požadavkům na danou součást. Například nárokům na tepelnou odolnost, houževnatost, tvrdost a mnoho dalších. Výběr materiálu je jedním z prvních potřebných kroků k tomu, aby bylo možné vytvořit požadovaný návrh.

Základním dělením materiálu je

- Keramika
- Sklo
- Železné materiály
- Polymery
- Elastomery
- Kompozity [4]

### 1.3 Nejistoty při návrhu

Při návrhu musíme počítat s různými nejistotami. Zdrojem nejistot je fakt, že není vždy možné, zohlednit všechny okolnosti, jako například přesnou velikost a typ zatížení, přesné vlastnosti použitého materiálu a prostředí ve kterém bude stroj použit.

Můžeme je rozdělit do dvou základních kategorií:

- Nejistota zatížení – patří sem nejistoty spojené s intenzitou, distribucí nebo směrem reálně působícího zatížení
- Nejistota pevnosti elementu – zde patří nejistoty spojené s nesourodostí použitého materiálu, výrobními defekty ovlivňující pevnost výrobku, vlivy prostředí a efekt koroze a opotřebení. [3]

### 1.4 Bezpečnost návrhu

Jedním z důležitých faktorů při návrhu součástí je zajištění jejich bezpečnosti. Během jakéhokoliv návrhu je třeba identifikovat všechny, nebo alespoň většinu, potenciálních rizik, které jsou s ním spojeny. Nelze ovšem dosáhnout naprosté bezpečnosti vzhledem k případnému nevhodnému použití součástí.

Samotnou bezpečnost strojních zařízení popisuje norma ČSN EN ISO 12100 (83 3001) Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika. [3]

#### 1.4.1 Odhad rizika

Norma popisuje řadu logických kroků v systematickém pořadí, jimiž se tvůrce návrhu má řídit.

- a) Zjistit limity stroje nebo součásti, v rámci jeho plánovaného i neplánovaného využití.
- b) Identifikovat nebezpečí a příslušné nebezpečné situace.
- c) Odhadnout rizika spojená s odhaleným nebezpečím nebo nebezpečnou situací
- d) Vyhodnotit rizika a rozhodnout o krocích potřebných k jejich redukci.
- e) Odstranit nebezpečí nebo redukovat rizika s nimi spojenými, pomocí ochranných opatření.

Kroky a) až d) zkoumají samotnou bezpečnost stroje (součásti), na jejímž základě se určuje, zda je potřeba implementace bezpečnostních prvků, úprav nebo operací. Krok e) se zabývá způsobem jejich odstraněním. [5]

#### 1.4.2 Odstranění rizika

K odstranění rizik přispívá konstruktér i uživatel. Preferují se, ale opatření aplikované již při návrhu konstruktérem, neboť jsou nejefektivnější. V případě uživatelských opatření je hlavním problémem možnost jejich nedodržení, např. pracovník nepoužije předepsané ochranné pomůcky.

Mezinárodní Rada Bezpečnosti publikovala tzv. „bezpečnostní hierarchii“ popisující několik kroků pro zvýšení bezpečnosti návrhů,

- a) Úprava návrhu pro zvýšení bezpečnosti (nejefektivnější)
- b) Implementace bezpečnostních prvků (štíty, kryty)
- c) Poskytnout pracovníkovi varování na rizika (výstražné světlo, zvuk, cedule)
- d) Vytvořit a implementovat bezpečné provozní postupy a dostatečné proškolení pracovníka (informovanost pracovníka o potenciálním riziku a jak mu předcházet)
- e) Použít osobní ochranné pomůcky (rukavice, brýle apod.) [3]

## 2 TVÁŘENÍ

Tváření je technologický proces, při kterém se působením vnějších sil mění tvar předmětu, aniž by došlo k narušení celistvosti materiálu. Základem tohoto procesu je vznik plastických deformací. Těchto plastických deformací se dosáhne při působení napětí na mezi kluzu specifického materiálu.

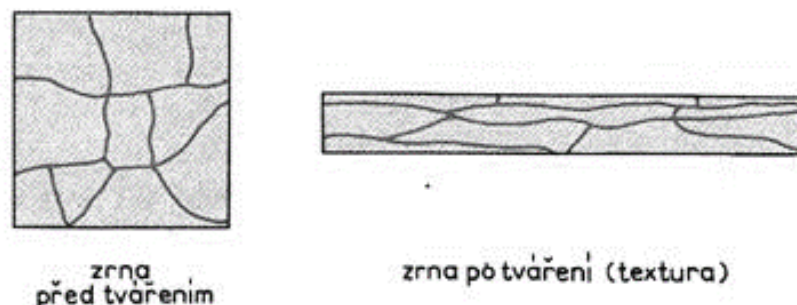
Přínosy tváření zahrnují vysokou pracovní produktivitu, efektivní využití materiálu a velmi dobrou rozměrovou přesnost tvářených výrobků. Mezi nevýhody patří vysoké náklady na stroje a nástroje a omezení možností velikosti konečného výrobku. [6]

### 2.1 Rozdělení podle teploty

Při tváření materiálu vnějšími silami dochází k vytváření odporu vůči tváření. Zvyšováním teploty se tento odpor snižuje, což vede ke zlepšení plastických vlastností materiálu. Rozsah této změny závisí na teplotě rekrystalizace daného materiálu (která se obvykle pohybuje kolem 0,4 násobku teploty tání materiálu). Překročení rekrystalizační teploty má za následek přeformování materiálové struktury, což vede ke zlepšení formovatelnosti materiálu. [6]

#### 2.1.1 Tváření za studena

Jedná se o oblast tváření, kde je tvářecí teplota pod rekrystalizační teplotou. Během tváření dochází k procesu zpevňování materiálu, což vede k zvýšení jeho pevnosti a odporu proti dalšímu formování. Zrna materiálu se deformují ve směru formování, což vytváří texturu a způsobuje anizotropii v mechanických vlastnostech (viz obrázek 2). Zpevněním se zvyšuje mez pevnosti a mez kluzu, ale naopak klesá tažnost. Pomocí rekrystalizačního žíhání lze obnovit jeho schopnost plastické deformace. Výhodou tohoto procesu je vysoká přesnost rozměrů, kvalitní povrch bez vzniku defektů a zlepšení vlastností zpevněním. Mezi nevýhody patří nutnost použití velkých formovacích sil, nepravidelné zpevňování a omezená schopnost materiálu být formován. [6]



Obrázek 2 znázornění protažení zrn [6]



### 2.1.2 Tváření za tepla

Provádí se nad rekrystalizační teplotou, dochází ke ztrátě zpevnění způsobeného tvářením, buď během samotného procesu nebo ihned po něm. Teplota tváření přesahuje 70 % teploty tání konkrétního materiálu. Materiál se nezpevňuje a k formování je potřeba síly, až desetkrát menší než při tváření za studena. Výsledný povrch bývá nekvalitní kvůli okujení. Kromě toho dochází ke hrubnutí zrna, což představuje problém při dalších technologických operacích, zejména z hlediska kvality. Celý proces je poměrně zdlouhavý a nákladný. [6]

### 2.1.3 Tváření za částečného ohřevu

Tváření za částečného ohřevu je kompromis mezi tvářením za studena a tvářením za tepla. Tímto procesem dochází k redukci odporu při formování. Nižší odpor znamená, že je potřeba menší síla k formování. Volba teploty, na kterou materiál zahříváme, závisí na jeho specifických vlastnostech. [6]

## 2.2 Rozdělení podle geometrických charakteristik

Dělení dle geometrických charakteristik spočívá v dělení tváření na základě působení deformací během tváření. Dělí se na plošné tváření a tváření objemové. [7]

### 2.2.1 Plošné tváření

Jedná se o metodu výroby převážně tenkostěnných a méně namáhaných dílů. Jako plošné tváření se často označuje řada metod tváření. Podstatou této metody je změna tvaru polotovaru, nejčastěji v podobě plechu, do požadovaného tvaru bez výrazné změny tloušťky. Některé metody plošného tváření lze vidět na obrázku 3.

Mezi druhy plošného tváření patří:

- Stříhání (prosté stříhání, vystřihování, prostřihování, nastřihování, děrování atd.)
- Ohýbání (prosté ohýbání, lemování, zakružování, ohraňování, rovnání atd.)
- Tažení (prosté tažení bez ztenčení stěny, rozšiřování, protahování, zužování atd.)
- Kalibrování
- Tváření nepevnými nástroji (hydroforming) [7]



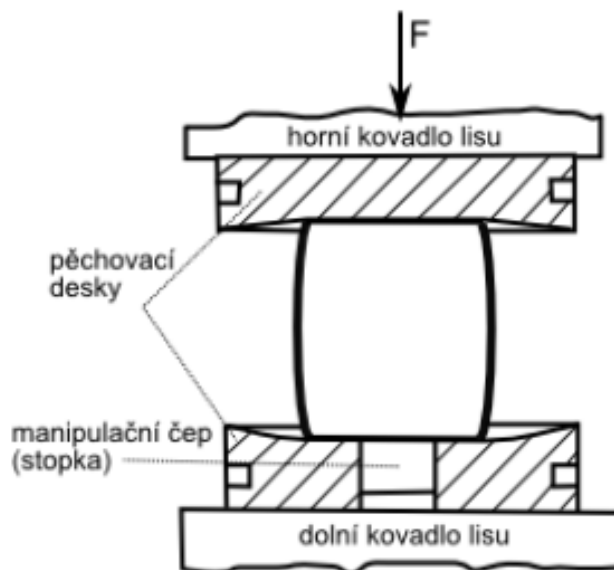
Obrázek 3 vybrané metody plošného tváření [8]

### 2.2.2 Objemové tváření

Během objemového tváření dochází k deformacím ve směru všech tří os souřadného systému. Dochází tím pádem k mnohem větším deformacím a přemístění materiálu oproti plošnému tváření. Příkladem může být kování při kterém dochází k přemístění velkého množství materiálu (viz obrázek 4) [8]

Patří sem:

- Válcování (válcování drátů, plechů profilů)
- Kování (volné nebo zápustkové kování)
- Protlačování
- Tažení (redukování, kalibrování, rozšiřování)



Obrázek 4 příklad objemového tváření [8]

## **2.3 Rozdělení podle účinku tvářecí síly**

Podle síly vykonávající plastické deformace polotovaru lze tváření rozdělit do dvou kategorií na tváření za působení statické síly a tváření za působení dynamické síly. [8]

### **2.3.1 Za působení statické síly**

Tváření pomocí statické síly je proces, při kterém je na polotovar vyvíjena statická síla neboli síla bez prudkých změn intenzity. Mezi operace, při nichž se používají statické síly na polotovar patří válcování, protlačování a tažení. [8]

### **2.3.2 Za působení dynamické síly**

Jedná se o typ tváření, při kterém na polotovar působí dynamická síla, nejčastěji rázy nebo kmity. Mezi operace využívající dynamické působení síly patří kování, stříhání, sekání a ohýbání. [8]

### 3 SVAŘOVÁNÍ

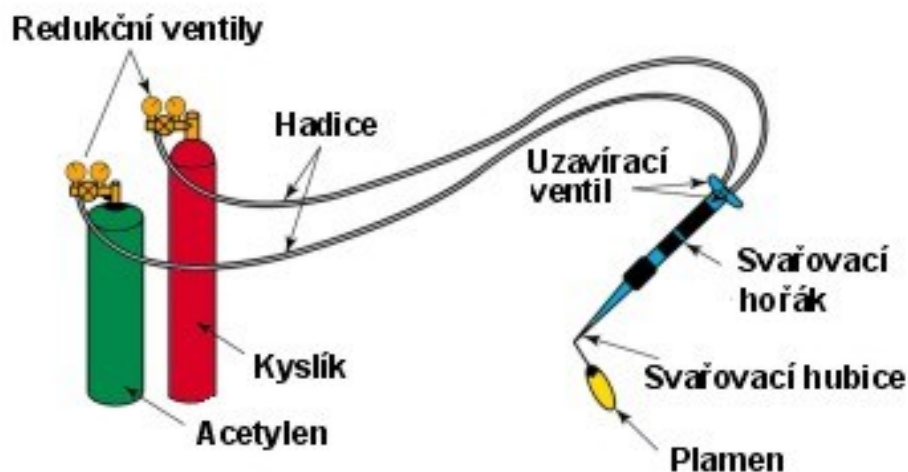
Svařování je způsob nerozebíratelného spojení strojních částí a konstrukcí ze součástí jednoduchých tvarů. Mezi výhody svařovaných spojů patří možnost vytvoření složité konstrukce pomocí jednoduchých částí, dlouhodobá trvanlivost, vysoká pevnost a těsnost spoje. Nevýhodou je pak například, vznik vnitřního prnutí v důsledku částečného natavení částí. Svařování je používáno v téměř každém výrobním odvětví. Uplatňuje se při kompletaci nových strojů nebo jejich částí (např. ocelové konstrukce, plechové krytování), při konstrukci velkých celků (tlakové nádoby, mosty, konstrukce a oplášťování lodí), ale také při opravách. [9]

#### 3.1 Svařování za působení tepla

V tomto případě dochází ke svaření částí natavením nebo úplným roztavením svařovaných ploch a přídavného spojovacího materiálu, a to pouze za působení tepla. Přídavný materiál by měl mít ideálně stejné složení jako svařované části. [10]

##### 3.1.1 Svařování plamenem

Jedná se o starší variantu svařování, dnes používanou především v opravárenství a v případě malých sérií nebo jednotkové výrobě. Metoda využívá vysokého žaru plamene, pro roztavení jak svařované části, tak i přídavného materiálu. Sestava pro svařování plamenem se skládá z dvou tlakových nádrží (kyslíková a palivový plyn), plynové hadice a hořák (viz. obrázek 5). Díky své jednoduchosti umožňuje dobrou portabilitu. Je tedy dost příhodná i pro operace v terénu. Sestava lze využít pro řezání, sváření a nahřátí před ohýbáním [10]



Obrázek 5 sestava pro svařování plamenem [11]

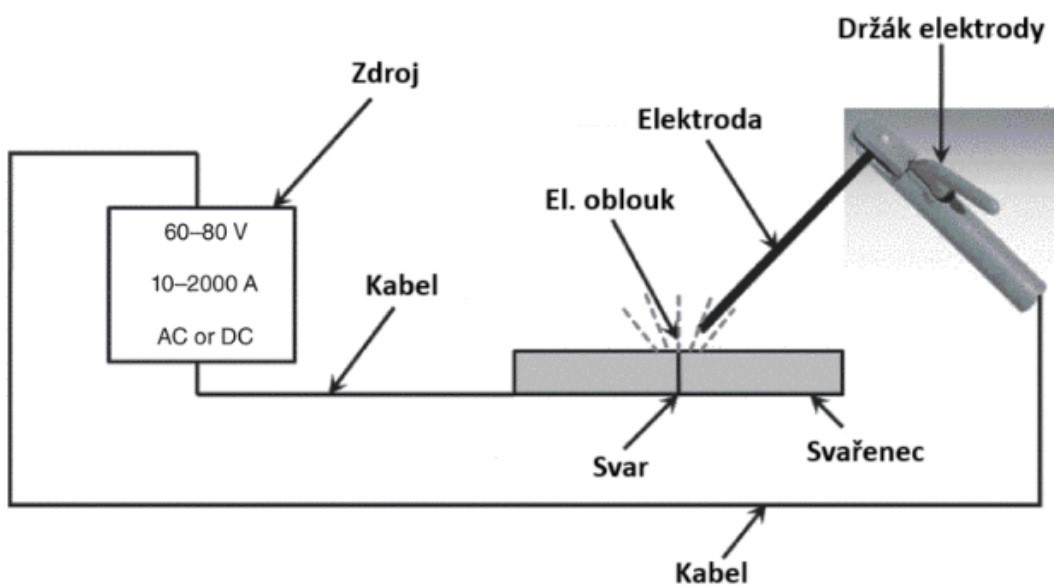
Jako palivo se nejčastěji používá acetylen, ale může se používat i propan nebo propylen. Hlavní důvod prioritizace acetylenu je jeho schopnost vytvořit plamen o nejvyšší teplotě (až 3300°C)

V současné době je díky nižší efektivitě a vyšší tepelné zátěži pro svařenec, nahrazena především svařováním elektrickým obloukem. [10]

### 3.1.2 Svařování elektrickým obloukem

Svařování elektrickým obloukem je metoda sváření, při níž je dosahováno vysokých teplot pro natavení svařence a přídavného materiálu pomocí elektrického oblouku. Ten vzniká dokončením (nebo také uzavřením) elektrického obvodu. Elektrický oblouk je typ elektrického výboje vznikající mezi elektrodami při dostatečném napětí v mezeře mezi nimi což způsobí zionizování přítomného plynu. Takhle zionizovaný plyn se změní z izolantu na vodič el. proudu a následně také el. oblouk produkující velké množství tepla, díky čemuž dochází k téměř okamžitému roztavení svařovaného materiálu včetně materiálu přídavného. Problém může nastat při svařování tenkostěnných součástí, u kterých hrozí provaření skrz jeho stěnu.

Svářecí sestava pro svařování el. obloukem obalenou tavnou elektrodou se může skládat například ze zdroje napájení, elektrody, kabelů (popř. vedení), držáku elektrody a svařovaného objektu a svorek přidělaných na svařovaném objektu (viz obr.6) [9]



Obrázek 6 sestava pro svařování obalenou tavnou elektrodou [10]

Sváření el. obloukem lze rozdělit do několika kategorií:

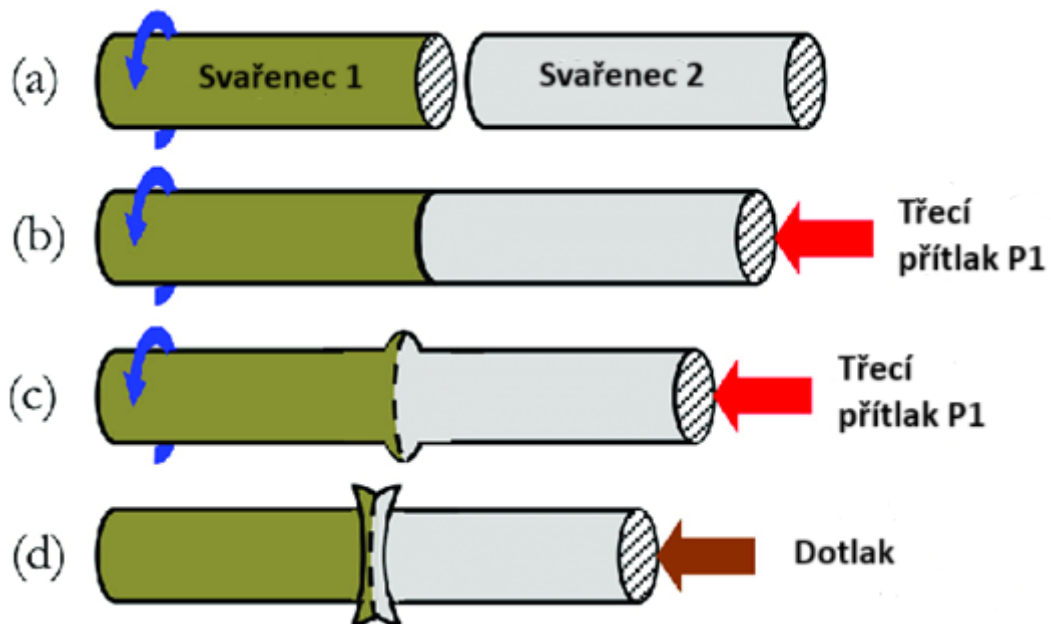
- SMAW – Shielded Metal Arc Welding, neboli sváření obalenou tavnou elektrodou,
- GTAW (WIG) – Gas Tungsten Arc Welding, sváření v ochranné atmosféře inertního plynu, nejčastěji argonu, netavnou elektrodou (tavna je svařovaná plocha a přídavný materiál),
- GMAW (MAG/MIG) – Gas Metal Arc Welding, sváření v ochranné atmosféře argonu (MIG – Metal Inert Gas) nebo CO<sub>2</sub> (MAG – Metal Active Gas), tavnou elektrodou,
- PAW – Plasma Arc Welding, sváření pomocí plazmy. [10]

## 3.2 Svařování za působení tepla a tlaku

Patří sem techniky, při nichž dochází k ohřátí stykových ploch a následnému přitlaku, který zajistí spojení dvou částí. Typ zdroje tepla je různý, určen především typem a požadavky praktické aplikace. Zdrojem tepla může být například tření nebo průchod elektrického proudu oblastí s vysokým odporem. [9]

### 3.2.1 Svařování třecí

Třecí svařování je typ svařování, při němž je jedna část statická, nepohyblivá, a druhá vykonává rotační nebo kmitavý pohyb. Při dosažení dostatečné rotační rychlosti (nebo frekvence kmitání) dojde k jejich styku a přitlačení. V důsledku silného tření se materiál na povrchu čel obou částí nataví. Díky přitlačné síle dojde k materiálovému spojení obou částí. Po prvotním přitlačení následuje ještě sekundární, které způsobí vytlačení změkklého zkorodovaného materiálu, který by mohl způsobovat mechanické vady svaru. [11]



Obrázek 7 ukázka průběhu třecího svařování [12]

Na obrázku 7 je možné vidět postup třecího sváření. Součást A vykonává rotační pohyb, zatím co součást B zůstává statická. V kroku b) dojde k doteku obou součástí. Důsledkem jejich doteku mezi nimi dojde ke tření a zvýšení tepla na povrchu. V kroku c) dojde díky neustálému tlaku a rotačnímu pohybu součásti A k natavení čel. Finálním krokem d) dojde k zastavení rotace a přitlačení finální silou což má za důsledek kvalitní spoj obou součástí a zároveň odvod zkorodovaného materiálu z čel.

Rotace nebo kmitání, jednoho z dílů končí ve chvíli, kdy uplyne stanovený svařovací čas, nebo dojde k maximálnímu povolenému zkrácení obou částí.

Výhodami této metody je:

- možnost sváření různých materiálů,
- pevnost svaru je velice podobná původní pevnosti materiálu.

Nevýhodami je

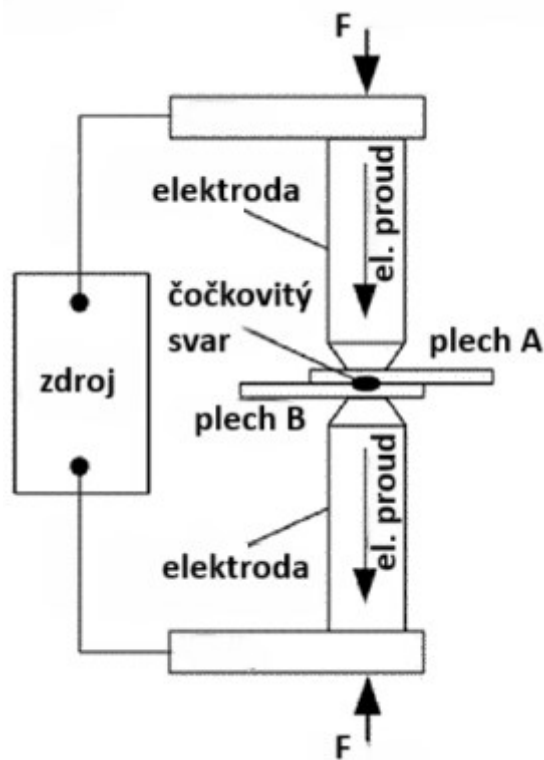
- omezení pouze na rotační součásti, nebo symetrické části schopné rotace kolem jejich osy symetrie,
- nutná pečlivá příprava styčných ploch, aby bylo možné zaručit rovnoměrné tření.

[11]

### 3.2.2 Svařování bodové

Jedná se o metodu spojování dvou přeplátovaných částí, nejčastěji plechů. Oba plechy jsou stlačeny dvěma, vodou chlazenými, elektrodami, kterými prochází proud až 15 000 A při nízkém napětí (1 až 5 V). Svařovací teplo vzniká na stykové ploše plechů, neboť se jedná o místo s největším místním odporem. Zvýšený odpor kladený elektrickému proudu má za důsledek bodovou koncentraci tepla a tím i roztavení svařovaných částí a vznik typického čočkovitého svaru. Uplatňuje se zejména při svařování plechu o tloušťkách 0,5 až 3 mm.

Velkou výhodou je snadná automatizace procesu a rychlost procesu. Proto se bodové svařování často využívá při výrobě a svařování karoserií na postupových linkách. [11]



Obrázek 8 schéma bodového sváření [11]

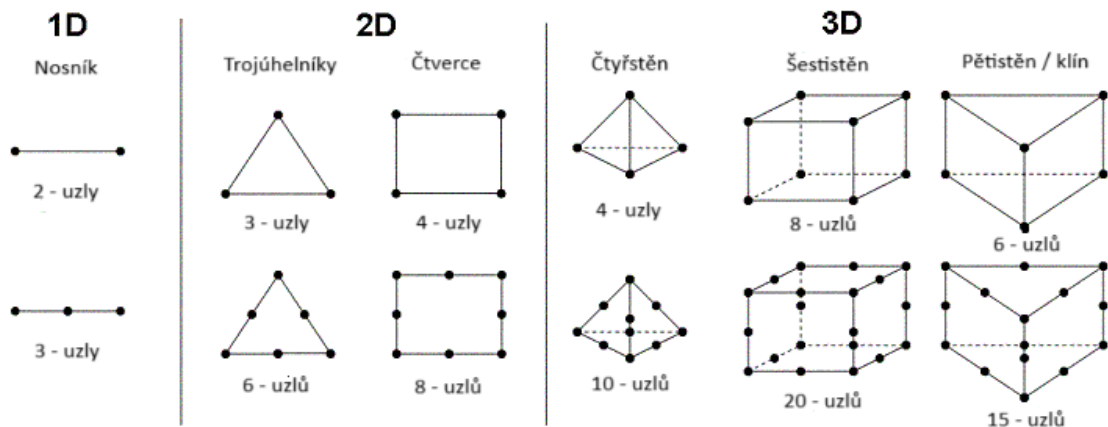
Na obrázku 8 lze vidět schématické znázornění soupravy pro bodové sváření kde se svařují dva přeplátované plechy. Mezi elektrodami, které jsou přitlačeny, normou určenou silou, vznikne v plechu tzv. čočkovitý svar.



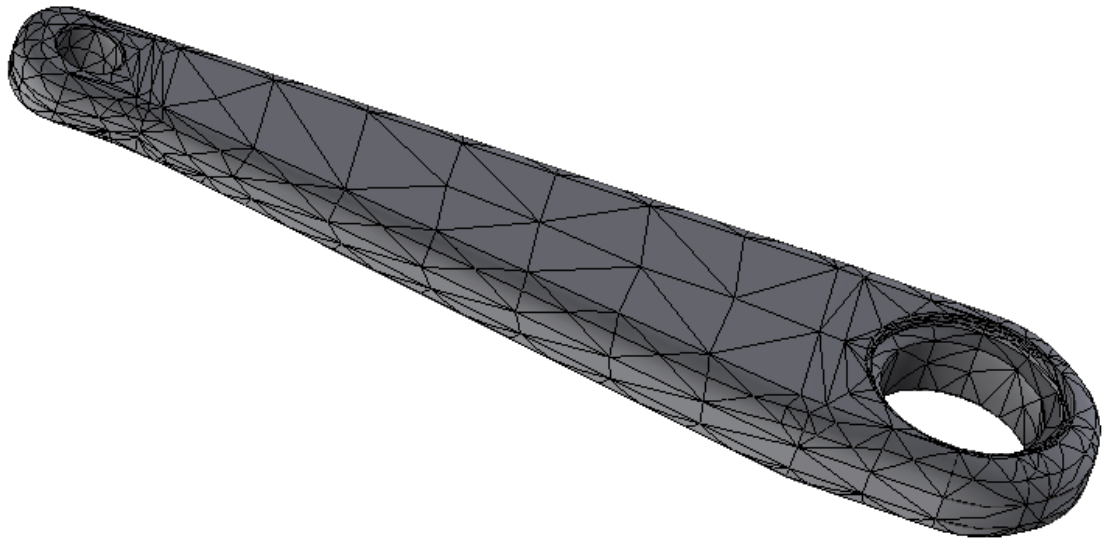
## 4 FEM ANALÝZA

Finite Element Method (FEM) neboli konečně prvková metoda je nejpoužívanější výpočetní metoda používaná pro strukturální analýzu navržených součástí. Jedná se důležitou část návrhu součástí, neboť umožní odhalit případná rizika nebo nedostatky navržené součásti nebo strojního celku pomocí simulace ještě před jeho samotnou výrobou.

Princip metody spočívá v rozdělení složitého modelu na malé jednoduché elementy (viz obrázek 10). Díky tomu lze provést i výpočty (analýzy) pro složité tvary, které by jinými matematickými nástroji byly buďto neřešitelné nebo příliš nepřesné z důvodu zjednodušení problému na řešitelnou úroveň. Ovšem i FEM analýzy fungují na principu zjednodušení modelu na několik menších elementů, tudíž i ty nejsou stoprocentně přesné. Lze ale jejich přesnost zvýšit výběrem adekvátních elementů, jejich velikostí, popřípadě jejich hustotou v inkriminovaných místech. Problémem může ale být zvýšené nároky na výpočetní techniku, které se s přibývajícím počtem elementů a složitosti problému zvyšují. Výsledný model rozdělený na elementy může poté vypadat například jako na obrázku 9 [13]



Obrázek 9 příklady elementů FEM [14]



Obrázek 10 model rozložený na elementy

FEM se například uplatňuje v:

- Stavebnictví (kontrola mostních konstrukcí, kontrola nestandardně zatížených zdí a staveb, atd)
- Letectví (statické analýzy letadel, raket, střel, atd)
- Strojírenství (analýza pevnosti konstrukcí, strojních celků, atd)
- Tepelná vodivost (analýza prostupu a vlivu tepla pevnými i kapalnými látkami)
- Hydraulika (analýza hydraulických sestav)
- Biomedicína (analýza únosnosti kostí, únosnost implantátů) [13]

## 5 ROVNOVÁHA TĚLESA

Těleso je v rovnovážné poloze stálé, jestliže je v klidu a jeho svislá těžnice prochází opěrným bodem nebo rovinou. Rozeznáváme dvě varianty rovnováhy:

1. Statická rovnováha – výslednice sil působících na těleso je nulová

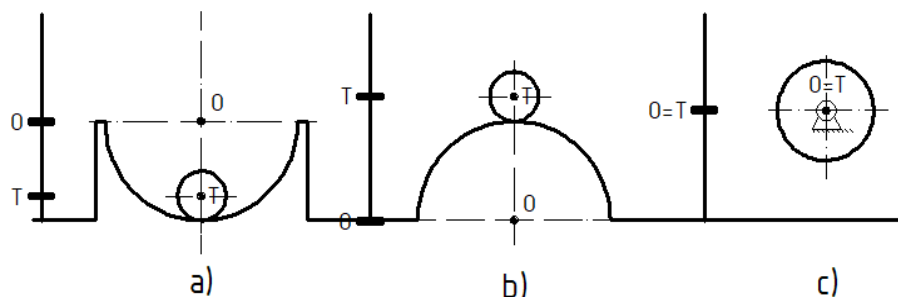
$$F = \sum_{i=1}^n F_i = 0 \quad (1)$$

2. Dynamická rovnováha – celkový moment všech působících sil působících na těleso je nulové

$$M = \sum_{i=1}^n M_i = 0 \quad (2)$$

Dle polohy upevnění osy otáčení rozlišujeme tři druhy rovnovážné polohy:

1. Poloha stálá – po vychýlení se těleso vrátí do rovnovážné polohy, osa otáčení je nad těžištěm (například kulička v kulové misce => vždy se vrátí do rovnovážné polohy na dně misky viz. a) v obrázku 11)
2. Poloha vratká – po vychýlení se těleso samo do rovnovážné polohy nevrátí, osa otáčení je pod těžištěm (například vajíčko postavené na špičku viz. b) v obrázku 11)
3. Poloha volná – po vychýlení těleso zůstane v nové rovnovážné poloze, těleso upevněno v těžišti (kolo upevněné v jeho ose viz c) v obrázku 11)



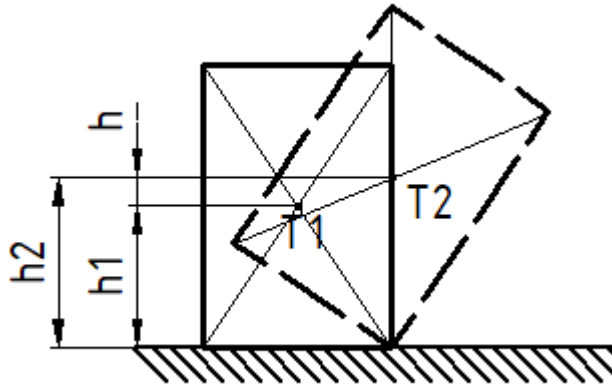
Obrázek 11 dělení dle polohy osy otáčení

### 5.1 Stabilita

Stabilitu tělesa určuje práce potřebná pro přemístění tělesa z polohy rovnovážné stálé do rovnovážné polohy vratké. Do polohy vratké se těleso dostane v případě, že se jeho těžnice dostane přesně nad osu otáčení (viz obrázek 12). Stabilita se zvyšuje s narůstající hmotností

tělesa a velikostí podstavy. Dále také čím níže je položeno těžiště tělesa tím stabilnějším se stává.

Při přemístění těžiště tělesa do polohy vratké dojde k přemístění těžiště o výšku  $h$  do výšky  $h_2$  jak lze vidět na obrázku 12



Obrázek 12 znázornění změny výšky těžiště tělesa

Výsledná práce se pak vypočítá pomocí vztahu, kde „ $m$ “ je hmotnost tělesa, „ $g$ “ je gravitační zrychlení a  $\Delta h$  je rozdíl výšek těžiště [15]:

$$W = m \cdot g \cdot (\Delta h) \quad (3)$$

## 6 KARUSELY

Karusely neboli svislé soustruhy patří do kategorie třískových obráběcích strojů. Díky svislé ose je možné obrábět výrobky velkých rozměrů. Většinou se jedná o CNC řízená obráběcí centra. To znamená že stroj dokáže soustružit vnitřní i vnější válcové plochy, čelní plochy s konstantní řeznou rychlostí, vnější kuželové a obecné plochy, dále také vnější a vnitřní závity. Dále také dokáže frézovat, brousit, vrtat a řezat závity i mimo osu rotace upínací desky. Stroje jsou proto vybaveny náhonem rotačních nástrojů a vřeteny s výměnnými nástroji včetně soustavy pro jejich automatickou výměnu. Stroje jsou vybaveny dle potřeby příomou (nejčastěji), úhlovou (otočená o  $90^\circ$ ) nebo nastavitelnou obráběcí hlavou. [16]

### 6.1 Použití

Díky možnosti upevnit výrobek na desku se svislou osou rotace se karusely nejčastěji uplatňují při výrobě velkých a těžkých částí v malých až středně velkých sériích.

Díky tomu se karusely s výhodou využívají pro výrobu:

- Součástí proudových motorů
- Části turbín
- Kol vlaků
- Částí převodovek
- Části ložisek velkých průměrů [17]

### 6.2 Konstrukce

Základní konstrukce karuselu se sestává z těchto hlavních částí:

- Lože
- Stojan (v závislosti na velikosti desky mohou být i dva)
- Poháněná rotační deska nebo paleta
- Příčník
- Saně supportu
- Smykadlová část supportu se smykadlem
- Ochranné kryty

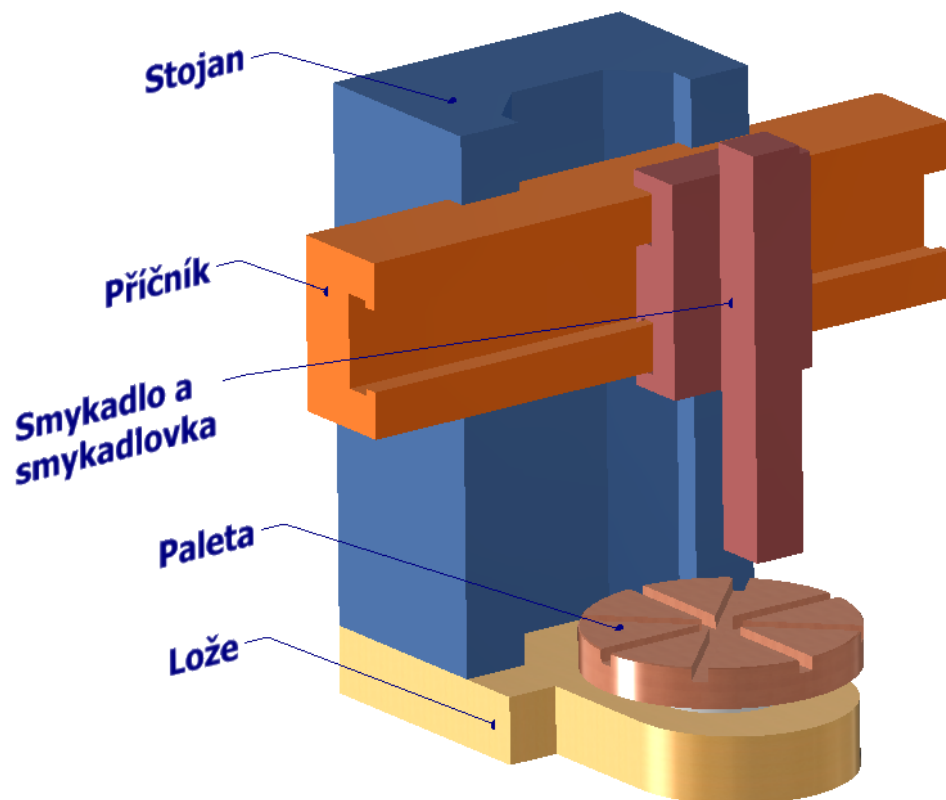
- Výměna nástrojů

Stroje jsou konstrukčně a technologicky řešeny tak, aby splnily požadavky na vysokou trvalou přesnost, spolehlivost a životnost. Z toho důvodu jsou použity následující prvky:

- Tuhá konstrukce rámu díky vhodně navrženým odlitkům lože, stojanu a příčnicku
- Tuhé valivé uložení upínací desky
- Upínací deska s tří nebo čtyř čelist'ovým sklíčidlem
- Přesně broušené vodící plochy příčnicku
- Kuličkový šroub k pohonu příčnicku a smykadlového suportu
- Aktivní kontrola obrobku a nástroje pomocí sondy [16]

### 6.2.1 Jedno stojanové karusely

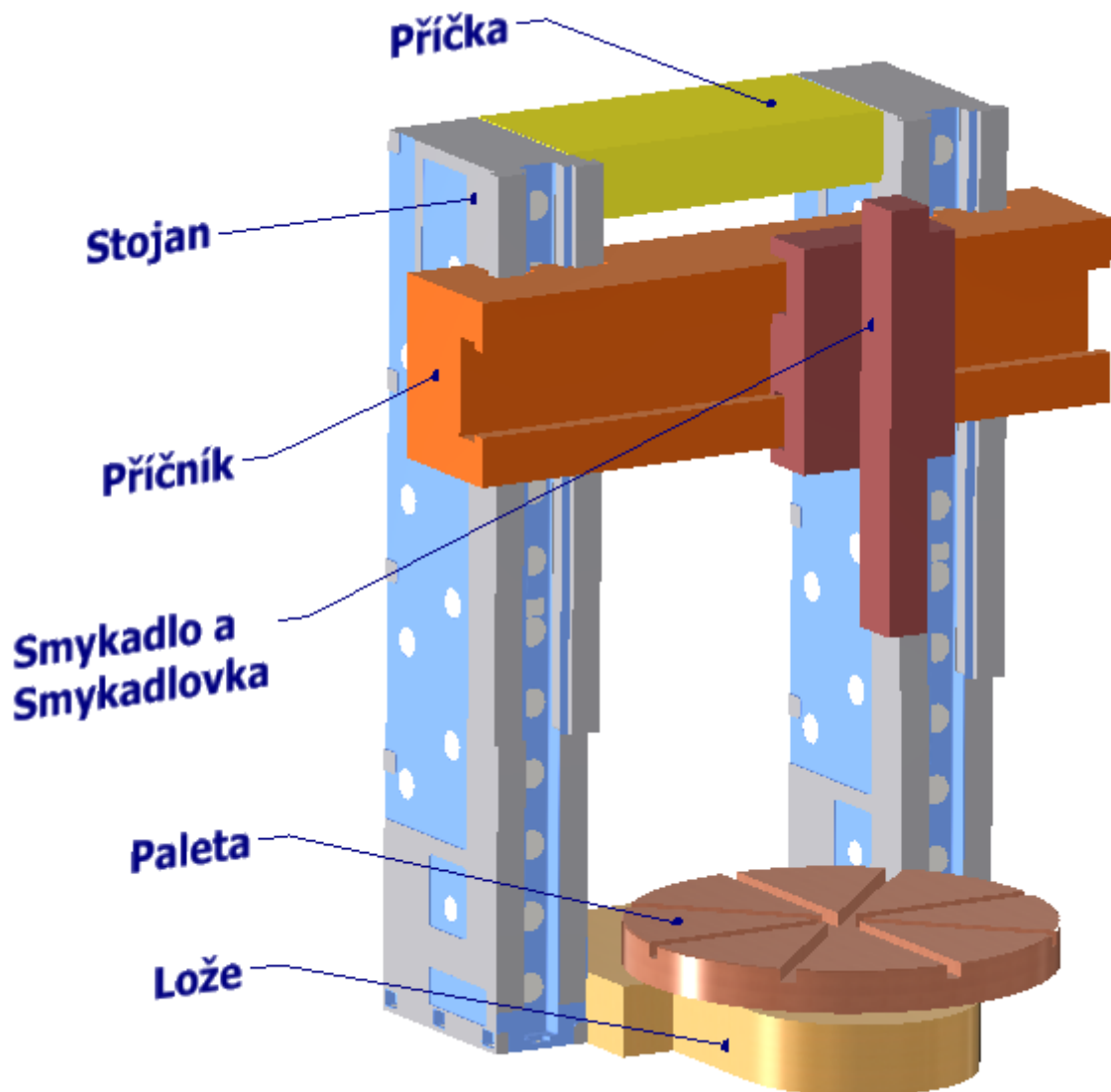
Jedno stojanové karusely jsou stroje s velikostí obráběcí desky do 2000 mm (v případě TUSHULIN, a.s.). Na zjednodušeném schématickém obrázku 13 je vidět, jak může vypadat hlavní konstrukce jedno stojanového karuselu [16]



Obrázek 13 zjednodušená konstrukce jedno stojanového karuselu

### 6.2.2 Dvou stojanové karusely

Dvou stojanové karusely jsou stroje s velikostí obráběcí desky nad 2500 mm (v případě TUSHULIN, a.s.). Mají příčník upevněn na dvou stojanech z důvodu velkých rozměrů pracovního prostoru. Stojany jsou k sobě ve vrchní části spojeny pomocí příčky. Takhle velké stroje mohou využívat i dvou suportové konstrukce umožňující obrábění dvěma nástroji najednou. Na zjednodušeném schématickém obrázku 14 lze vidět, jak může vypadat hlavní konstrukce dvou stojanového karuselu [16]



Obrázek 14 zjednodušená konstrukce dvou stojanového karuselu

## 7 SHRNU TÍ

V první kapitole teoretické části byly obecně probrány zásady návrhu strojních součástí a náležitostí s tím spojených. Dále ve druhé a třetí kapitole byly zmíněny technologie použité při výrobě přípravku, tj. sváření a plošné tváření. Kapitoly obecně zmiňují možnosti a varianty jednotlivých výrobních technologií. Čtvrtá kapitola se zabývala FEM analýzou využitou pro simulaci zatížení přípravku. Pátá část obecně probrala problematiku stability objektů. Úvahy a vztahy z této kapitoly byly následně použity pro kontrolu účinnosti přípravku. V poslední šesté teoretické kapitole byly obecně popsány karusely, jejich použití a konstrukce.



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 8 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

V praktické části bude kompletně navržen před-montážní stabilizační přípravek pro stojan karuselu dle zadání z firmy TOSHULIN, a.s. včetně kompletní výkresové dokumentace dle zvyklostí firmy. Dále bude výpočetně otestována účinnost přípravku a bude přezkoušen pomocí FEM analýzy, zda vydrží požadované zatížení.

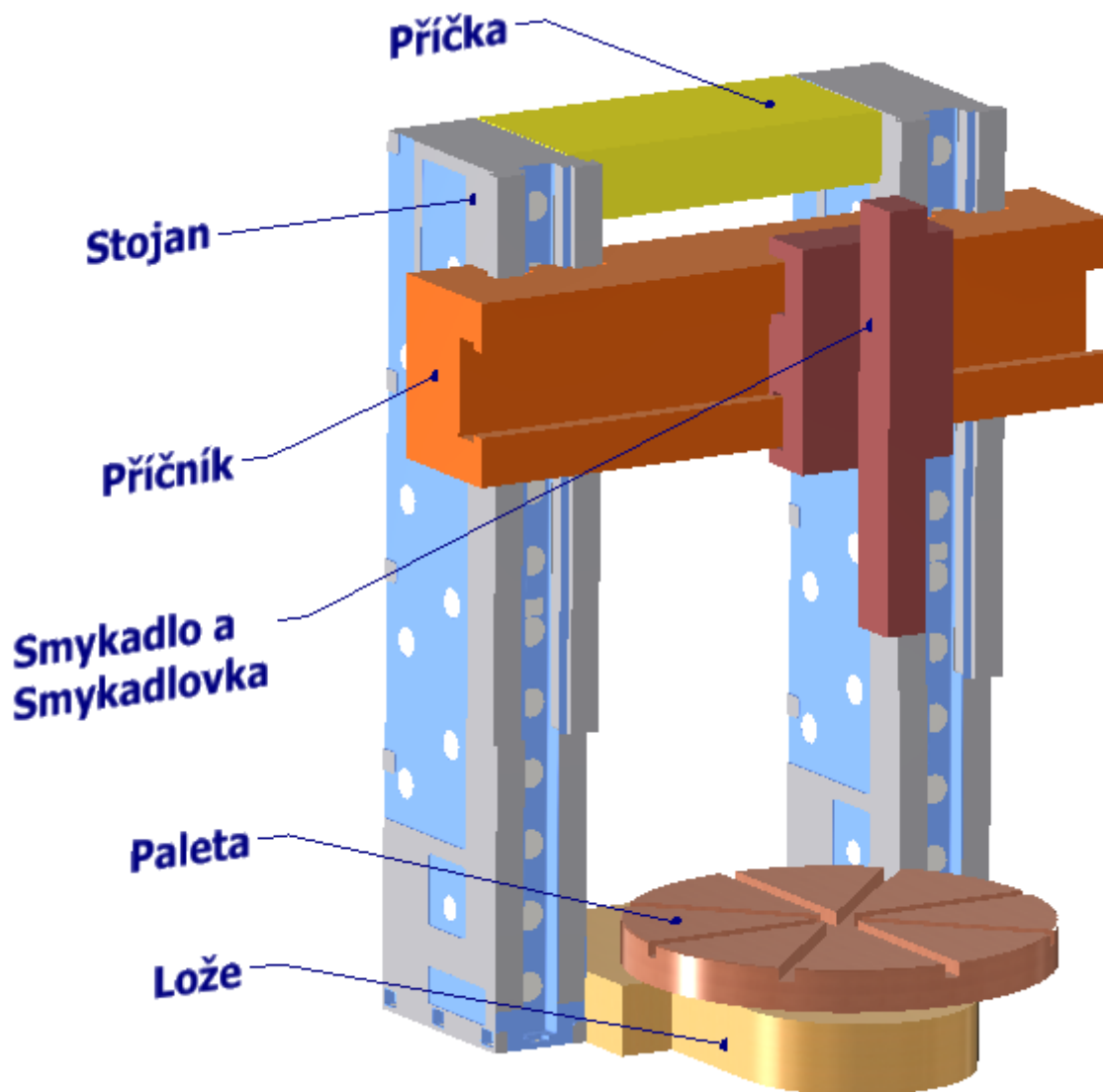
### 8.1 TOSHULIN, a.s.

Firma TOSHULIN, a.s. je zakázkovým výrobcem multifunkčních CNC obráběcích strojů a soustruhů se svislou osou obrábění, pro obrábění středních a velkorozměrových dílců. Firma vznikla v roce 1949 jako TOS Hulín a prošla postupným rozvojem strojírenské výroby. V roce 1951 začala se specializací na soustruhy se svislou osou obrábění. V roce 1959 byl vyroben první NC řízený stroj a od roku 1974 se začaly vyrábět stroje s automatickou výměnou nástrojů z patnácti polohového zásobníku.

V současné době má firma již 73 let zkušeností s výrobou obráběcích strojů přes 13 600 prodaných strojů ve více jak 70 zemích světa. [17]

### 8.2 Zadání

Zadáním bylo vyhotovit přípravek, který by zlepšil stabilitu samostatně stojícího stojanu karuselu uskladněného na montážní hale po lakování, před jeho instalací do sestavy stroje a ukotvením na kotvy v podlaze. Požadavek byl vznesen na základě obavy pracovníků montáže z pádu stojanu, jelikož se jedná o stojan vysoký 6 m s poměrně malou podstavou (1,5 x 0,72 m). Jedním z důvodů vzniklých obav byla nerovnost podlahy v místě předběžného uložení stojanu. Dalším důvodem bylo riziko spojené se srážkou břemene zavěšeného na jeřábu se stojanem, při neopatrné manipulaci s jeřábem. Přípravek by měl být náhradou za původní, ne příliš spolehlivý a důvěru vzbuzující přípravek. Dalšími podmínkami byla skladnost přípravku v případě, že jej není zrovna potřeba, aby byl přípravek použitelný pro různé typy stojanů, nebo alespoň pro tři nejčastěji vyráběné za posledních 10 let. Na zjednodušeném obrázku 15 je vidět kde se nachází stojan v sestavě karuselu.



Obrázek 15 zjednodušené znázornění umístění stojanů ve stroji

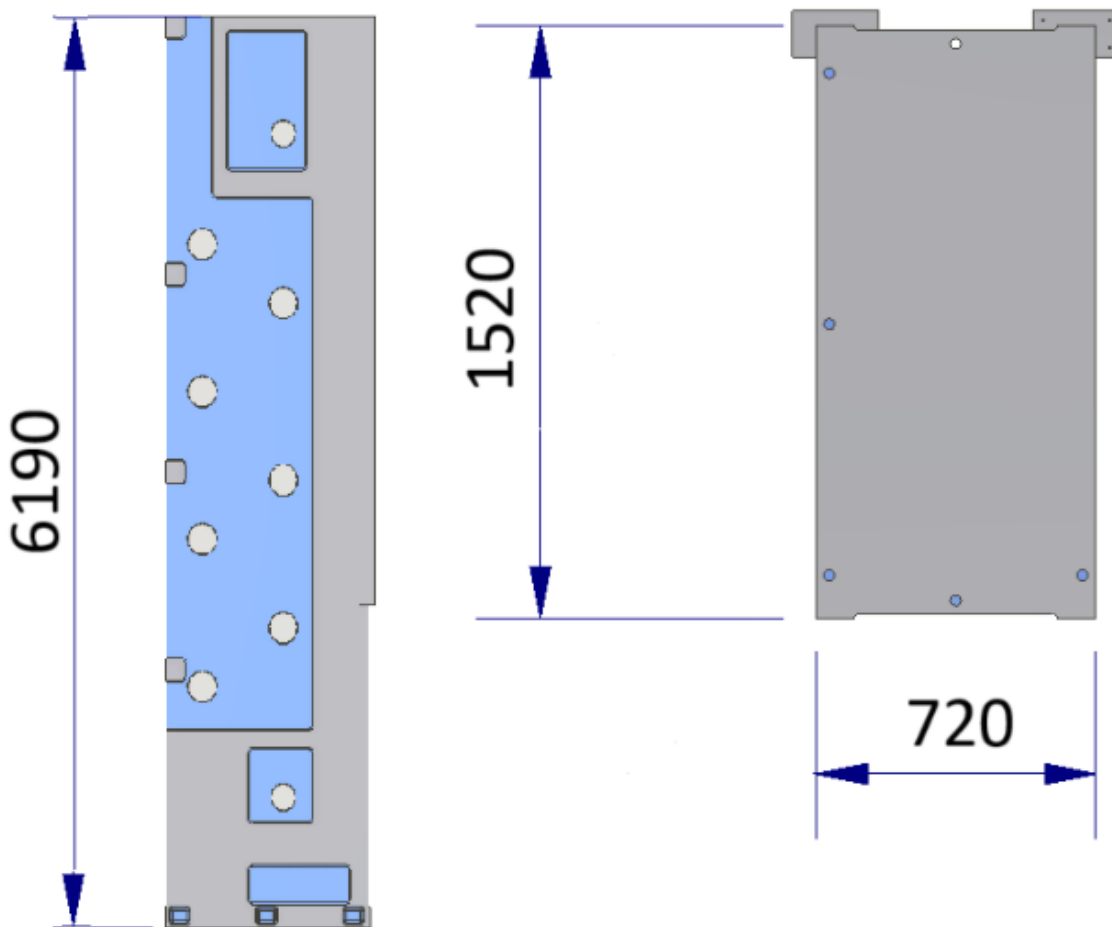
### 8.3 Návrh stabilizačního přípravku

V této práci části bude popsán celý postup návrhu přípravku od prvotního průzkumu, přes prvotní návrhy až po finální návrh přípravku. Nejdříve byl proveden průzkum nejčastěji vyráběných strojů s dvou stojanovou konstrukcí, který byl následně použit jako vzor pro vytvoření prvotních návrhů. Prvotní návrhy se následně analyzovaly a byl z nich zvolen jeden ze kterého následně bude vyvinut samotný přípravek splňující požadavky. Pro finální návrh byla následně vytvořena výkresová dokumentace.

#### 8.3.1 Průzkum stojanů

Byl proveden průzkum nejčastěji vyráběných dvou stojanových karuselů za posledních 10 let. Průzkum byl proveden pomocí interního evidenčního softwaru. Z průzkumu vzešly tři

stroje, na kterých byla převážně zkoušena kompatibilita přípravku. Pro účely této práce byl následně vybrán jeden ze tří stojanů, a to proto že vybraný stojan měl největší délku při nejmenší základně s nejvýše položeným těžištěm, což z něj dělá ideálního kandidáta pro zkoušení navrženého přípravku. Zároveň se jednalo o největší a nejtěžší vyráběný stojan. Stojan byl následně upraven tak aby z něj nebylo čitelné know-how firmy, jelikož se jedná o důležitý prvek ovlivňující celkovou tuhost a tím i přesnost stroje viz obrázek 16.



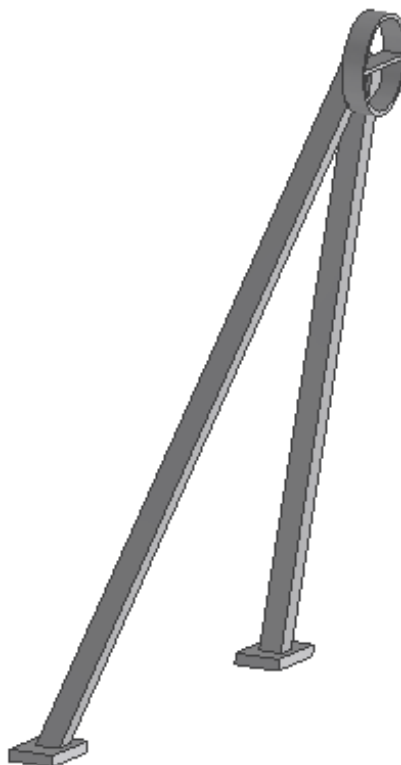
Obrázek 16 vybraný zkušební stojan a základní rozměry jeho podstavy

### 8.3.2 Prvotní návrhy

V této části návrhu bylo navrženo několik potenciálních konstrukčních řešení přípravku. Tyto prvotní návrhy byly převážně diskutovány se spolupracovníky ve firmě v podobě rychlého náčrtu na papír. Tyto náčrty byly následně pro účely této práce přepracovány do jednoduchých 3D modelů.

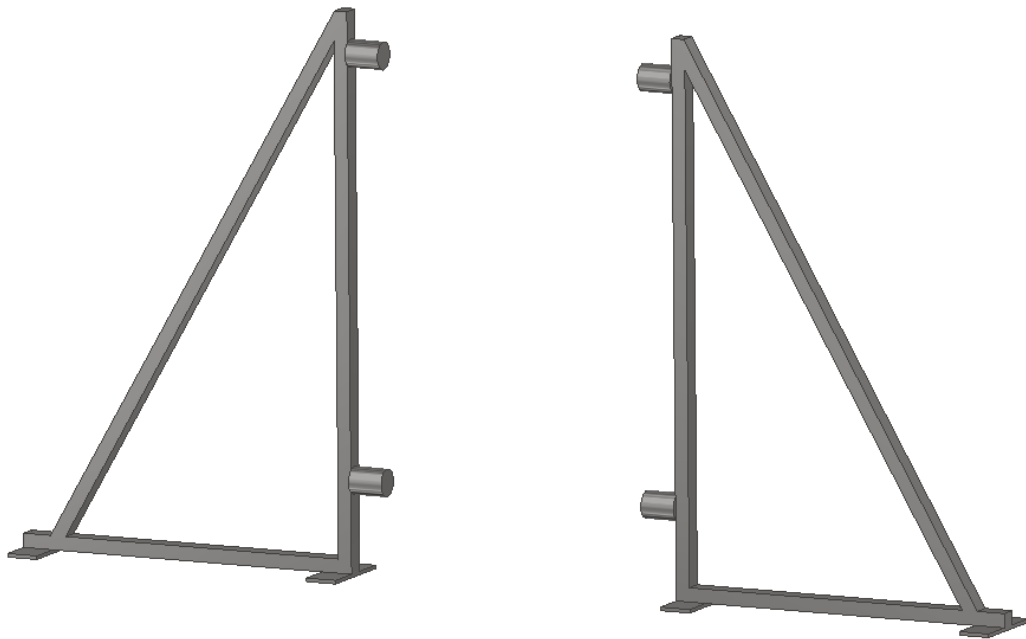
1. Prvním navrhovaným řešením bylo propracovanější provedení půdního přípravku viz obrázek 17, tj. použití větší šířky profilu s větší tloušťkou stěny a silnějšího

plechu pro oko. Jednalo by se o přípravek, který by byl pomocí prstencového oka ustaven v jedné z děr odlitku stojanu a nohami by byl zapřen o zem a tím ztížil převrácení stojanu.



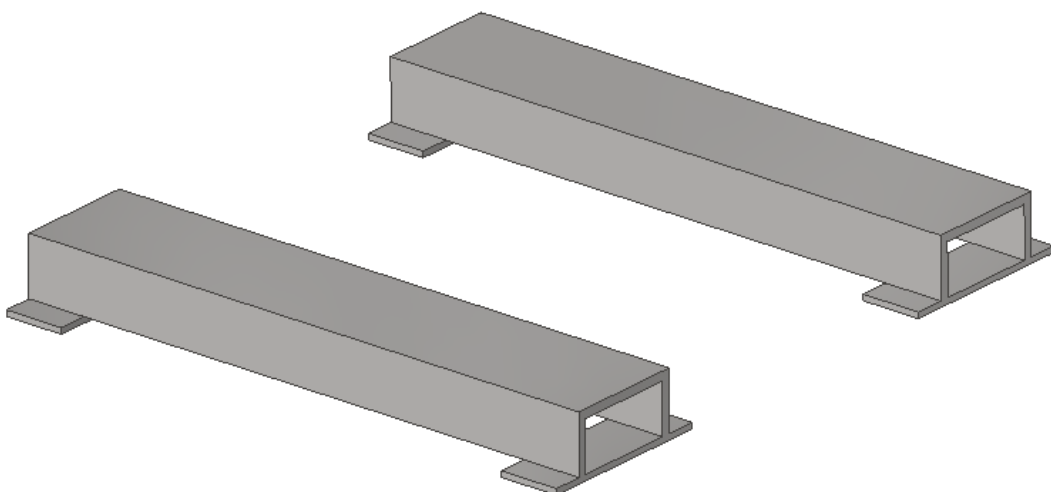
Obrázek 17 návrh číslo 1

2. Druhým návrhem byla trojúhelníková konstrukce, která by podepřela stojan z obou stran. Konstrukce by byla zhotovena ze svařených profilů čtvercového průřezu a plechu tvořícího stabilizační nohy přípravku bránící převrácení přípravku do boku. Stojanu by se dotýkal navařenými doteky. Doteky by také byly pogumovány nebo vybaveny gumovou ochranou v místě styku se stojanem. Na obrázku 16 lze vidět, jak by takový návrh mohl vypadat.



Obrázek 18 návrh číslo 2

3. Třetím návrhem byly nohy, které by se přišroubovaly na spodní plochu stojanu s využitím otvorů, které slouží ke kotvení stojanu. Přípravek by tak zvětšil základnu stojanu a tím ztlížil jeho převrácení. Konstrukce přípravku by se skládala z několika ohýbaných plechů svařených k sobě. Plechy by v sobě měly vypáleny nebo vyvrtány díry kterými by prošel šroub a ze spodní strany by byly přivařeny matice. Na zjednodušeném obrázku 19 lze vidět, jak by takový přípravek mohl vypadat.



Obrázek 19 návrh číslo 3

### 8.3.3 Analýza prvotních návrhů a výběr nejvhodnějšího

Z prvotních návrhů byl nakonec vybrán návrh číslo 3 (viz obrázek 19). Jeho výhodou byla jednoduchá konstrukce a dobrá skladnost v případě, že zrovna není používán. Zároveň se jevil jako nejlepší varianta s ohledem na zvýšení stability, neboť je přímo připevněn na stojan a tím přímo zvětšuje jeho základnu, čímž značně zvyšuje sílu potřebnou k jeho převrácení.

První návrh byl zavřzen proto že by se pouze jednalo o úpravu původního přípravku, který má sice dobrou skladnost, ale poměrně malou účinnost v porovnání s ostatními. Dalším problémem bylo to, že by nebylo možné zajistit dostatečnou pevnost a správný styk patek s podlahou při použití s různými stojany které mají díru v odlitku, kterou by přípravek využíval, v různých výškách.

Druhý návrh by měl potenciálně stejný, případně i lepší účinek jako třetí návrh, nicméně důvodem, proč nebyl vybrán je jeho neskladnost a lehce větší složitost. Další nevýhodou by bylo místo, které přípravek zabere i při jeho použití a také to, že by stojan musel být položen na trámčích, které také mohou svou nerovností přispět k nestabilitě stojanu.

### 8.3.4 Volba materiálu

Materiál byl volen dle možností firmy. Pro výrobu přípravku byl zvolen plech ČSN 42 5310 z materiálu 11 373 díky jeho dobrým vlastnostem pro výrobu ohýbaného „U“ profilu. Z plechové tabule byl polotovár pro ohyb vyřezán laserovým paprskem.

$$R_m = 340\text{--}470 \text{ MPa}$$

$$R_e = 250 \text{ MPa}$$

$$E = 206 \text{ GPa}$$

Značení: ČSN 11 373, W nr. 1.0036 [18]

### 8.3.5 Vytvoření návrhu

V této části návrhu byl vytvořen přesný model přípravku dle požadavků a byl také po každé verzi analyzován, zda splňuje požadavky na pevnost, koeficient bezpečnosti a deformaci. Koeficient bezpečnosti, nesmí lokálně klesnout pod 1 a ve středu přípravku nesmí klesnout pod 3. Maximální deformace přípravku nesmí být větší jak 1 mm. Během návrhu se experimentovalo s různou tloušťkou plechu a nosnou výškou neboli výškou stěn přípravku. Stojan má váhu 12,8 t. Celková zkušební síla byla pro jednoduchost zvolena 130 000 N což

odpovídá přibližně 13 t. Zkušební síla je tedy zvolena vyšší. Na jeden přípravek by působila síla 65000 N.

Skutečná zatěžující síla lze vypočítat dle následujícího vzorce kde  $F$  je výsledná síla,  $m$  je váha tělesa a  $g$  je tíhové zrychlení, hodnota tíhového zrychlení je  $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

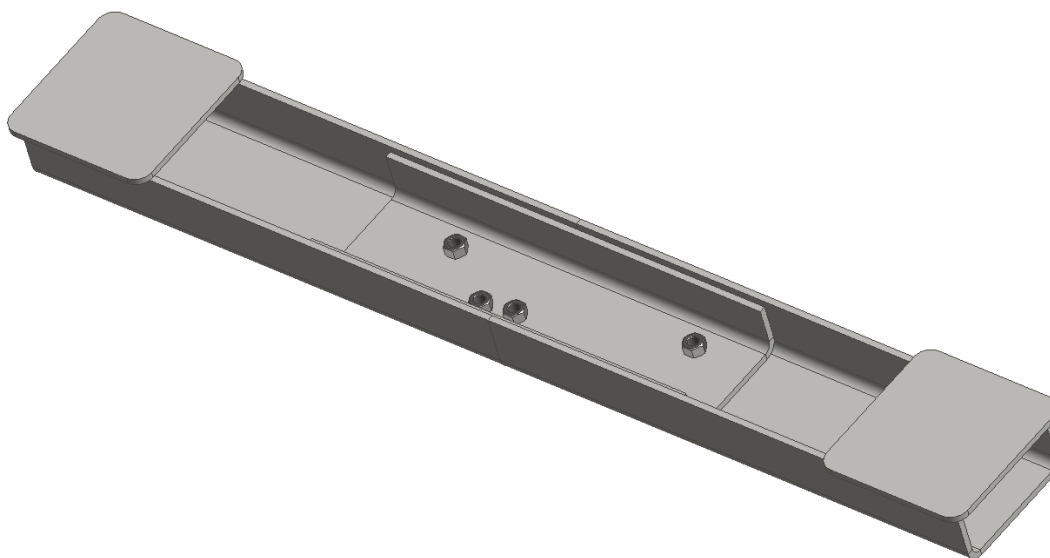
$$F = m \cdot g \quad (4)$$

Po dosazení do vzorce vychází zatěžující síla:

$$F = 12\,800 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (5)$$

$$F = 125\,568 \text{ N} \quad (6)$$

Konstrukce přípravku je vytvořena ze dvou hlavních plechových ohýbaných U profilů. A to z důvodu omezení ohýbacího stroje používaného firmou, na kterém není možné ohnout plech tloušťky 10 ani 12 mm o délce větší jak 1 m. Z toho důvodu byl také přidán vnitřní U profil sloužící jako výztuha v části největšího zatížení. Celá konstrukce je svařena. Dále má přípravek dvě patky sloužící jako stykové plochy s podlahou. Přípravek je také opatřen dírami a maticemi M24 přivařenými na spodní části výztuhy pro šrouby na uchycení přípravku ke stojanu. Celá konstrukce lze vidět na obrázku 20.

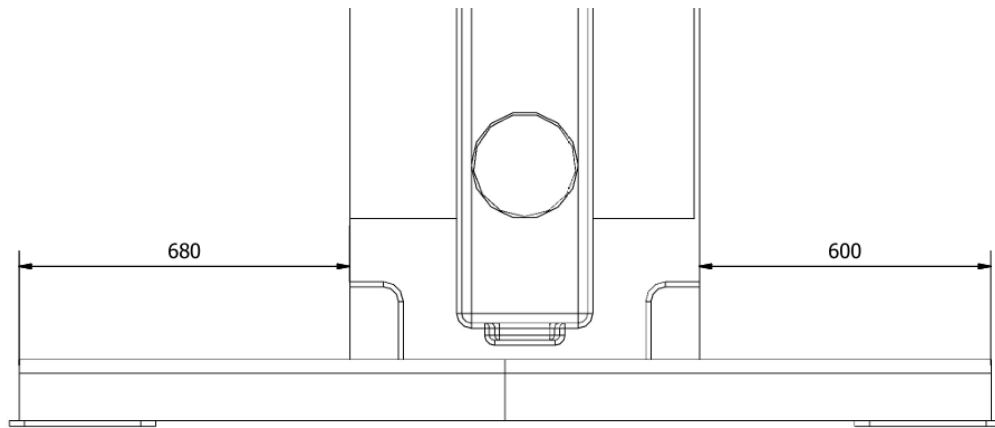


Obrázek 20 spodní strana finálního návrhu

Přípravek byl pro použití s ostatními stojany vybaven více otvory pro šrouby sloužících pro ukotvení k ostatním stojanům. Z důvodu nutnosti použití dvou hlavních U profilů, není zkoušený stojan přesně na středu přípravku, neboť je použita pro ukotvení díra, která se na



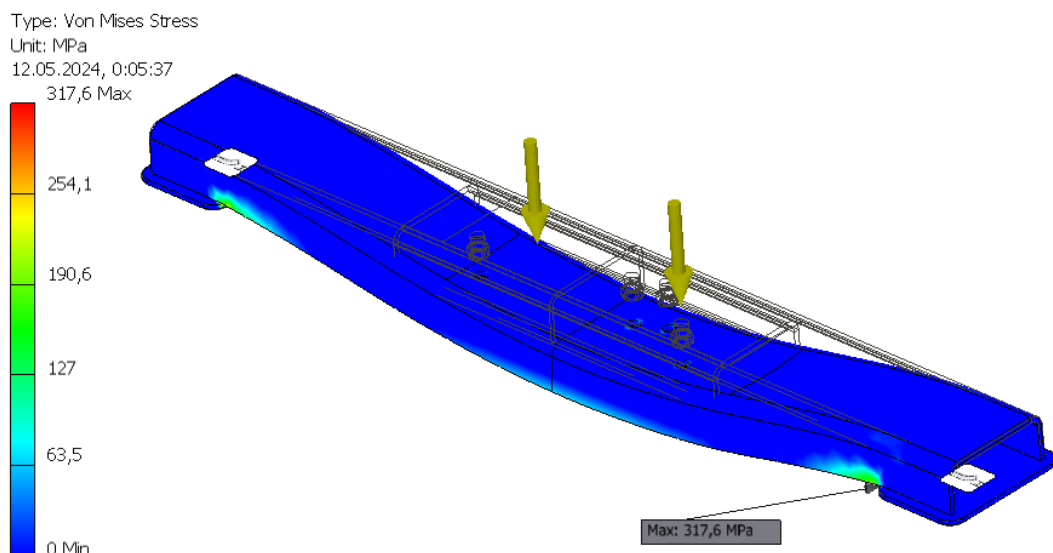
stojanu nachází v jeho středu. Středová díra byla zvolena proto, že stojan nemá oba krajní otvory vyvrtány, viz obrázek 16. Dalším důvodem posunutí byl požadavek na univerzálnost přípravku, což by vedlo k přílišnému vychýlení ze středu přípravku v případě použití u ostatních kompatibilních stojanů. Posunutí lze vidět na obrázku 21.



Obrázek 21 znázornění posunutí stojanu ze středu přípravku

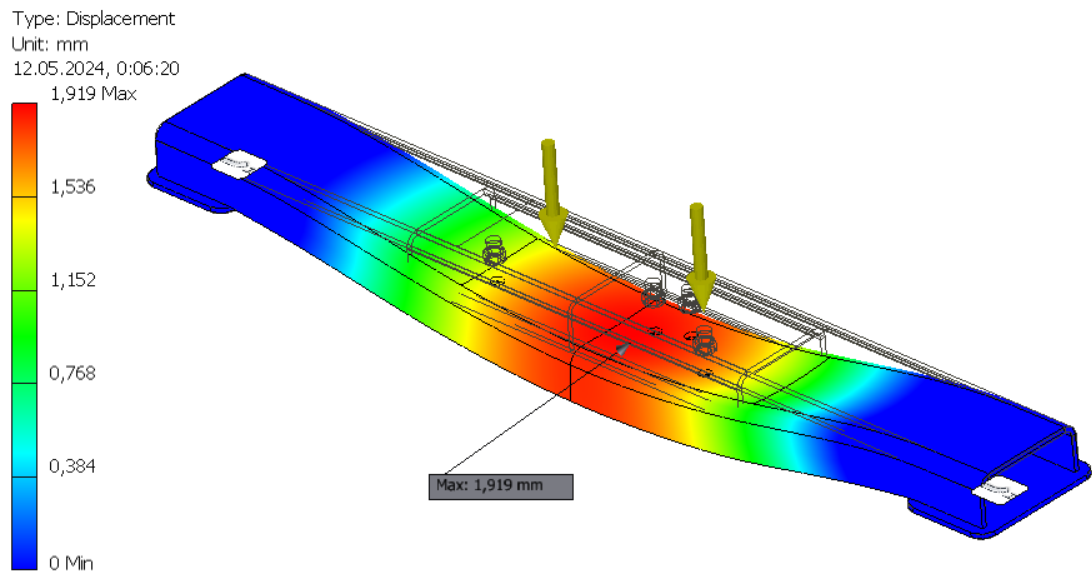
1. První verze přípravku byla navržena z plechu tloušťky 10 mm a nosnou výškou U profilu 100 mm. Výsledek lze vidět na následujících hodnotách a obrázcích 21 až 23.

Napětí podle Von Mises: 317,6 MPa



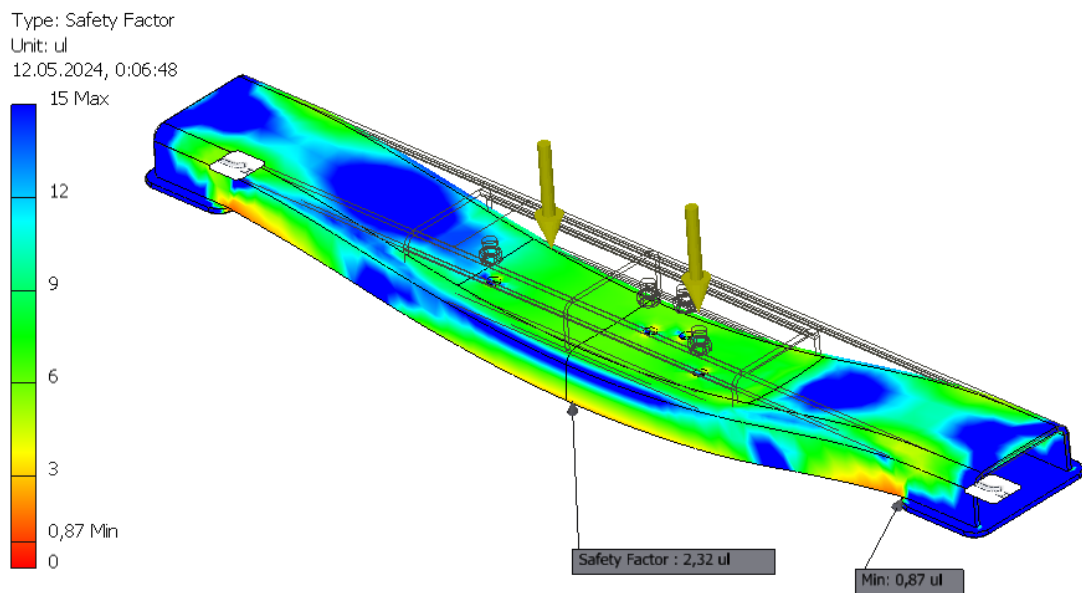
Obrázek 22 FEM analýza verze 1 – napětí

Maximální deformace: 1,92 mm



Obrázek 23 FEM analýza verze 1 - deformace

Koeficient bezpečnosti: lokální minimální koeficient bezpečnosti vyšel 0,82 a to v místě ohybu U profilu přes hranu patky což nevyhovuje požadavkům. Ve středu působení zátěžové síly se koeficient bezpečnosti pohybuje kolem 2,32 viz obrázek 23



Obrázek 24 FEM analýza verze 1 - koeficient bezpečnosti

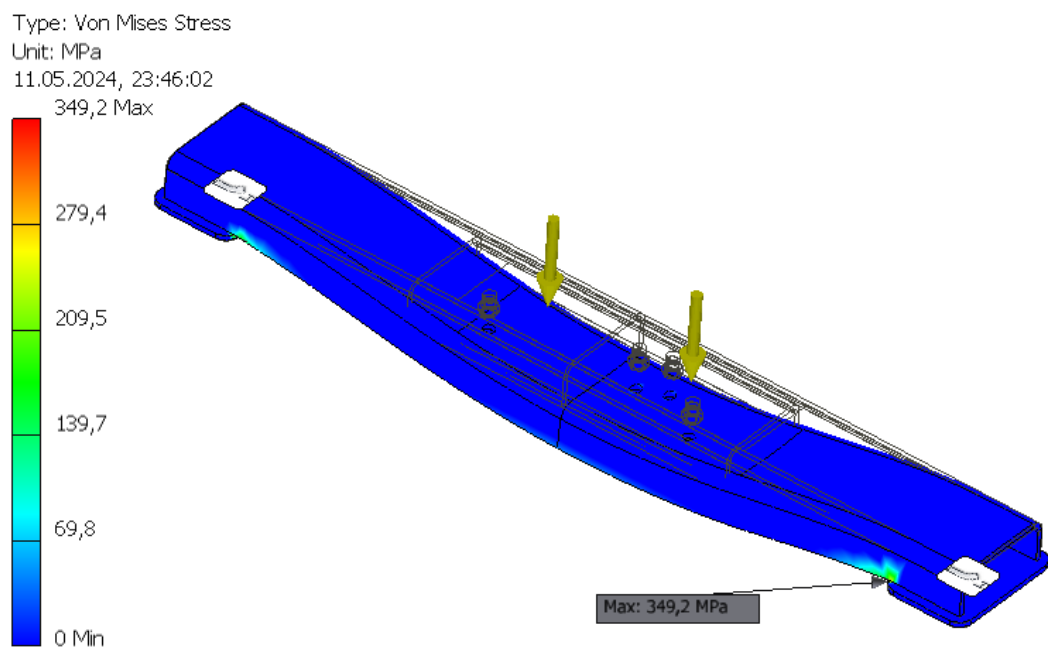
První verze se ukázala jako nevyhovující, neboť nesplnila zadané požadavky. Profil z plechu tl. 10 mm nesplnil žádný z požadavků popsanych na začátku téhle kapitoly. Prohnutí středové části bylo až bez mála 2 mm a koeficient bezpečnosti byl nižší než jedna, i když

pouze lokálně v místě ohybu U profilu o patku. Ve středu působícího zatížení byl koeficient bezpečnosti větší jak 2 což by bylo v přijatelných hodnotách.

Z toho důvodu byla pro další verzi změněna tloušťka použitého plechu z 10 mm na 12 mm.

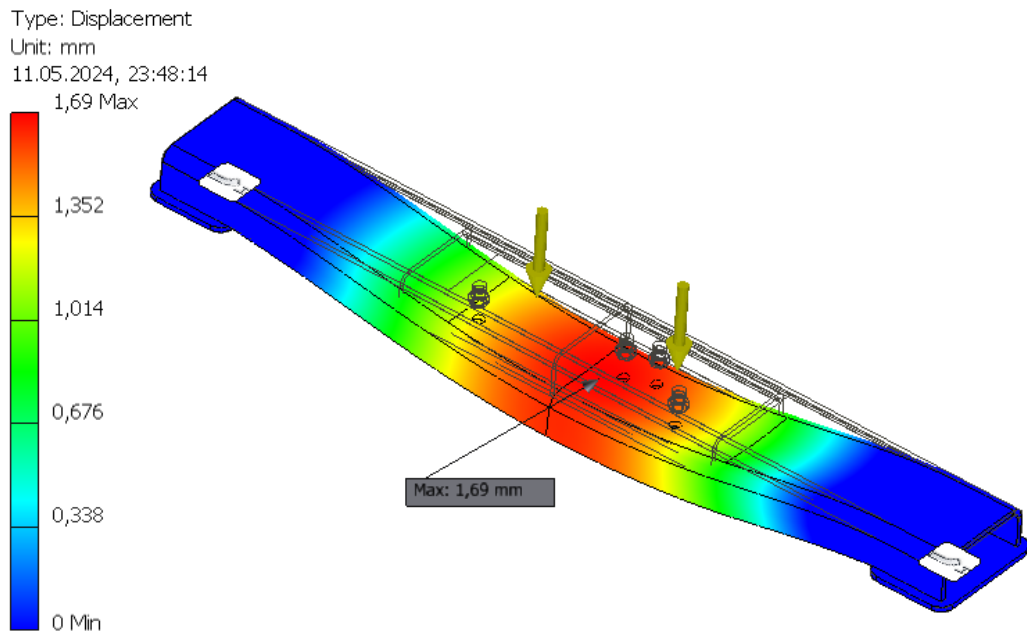
2. Druhá verze přípravku byla navržena z plechu tloušťky 12 mm a nosnou výškou U profilu 100 mm. Výsledek lze vidět na následujících hodnotách a obrázcích 24 až 26.

Napětí podle Von Mises: 359,2 MPa



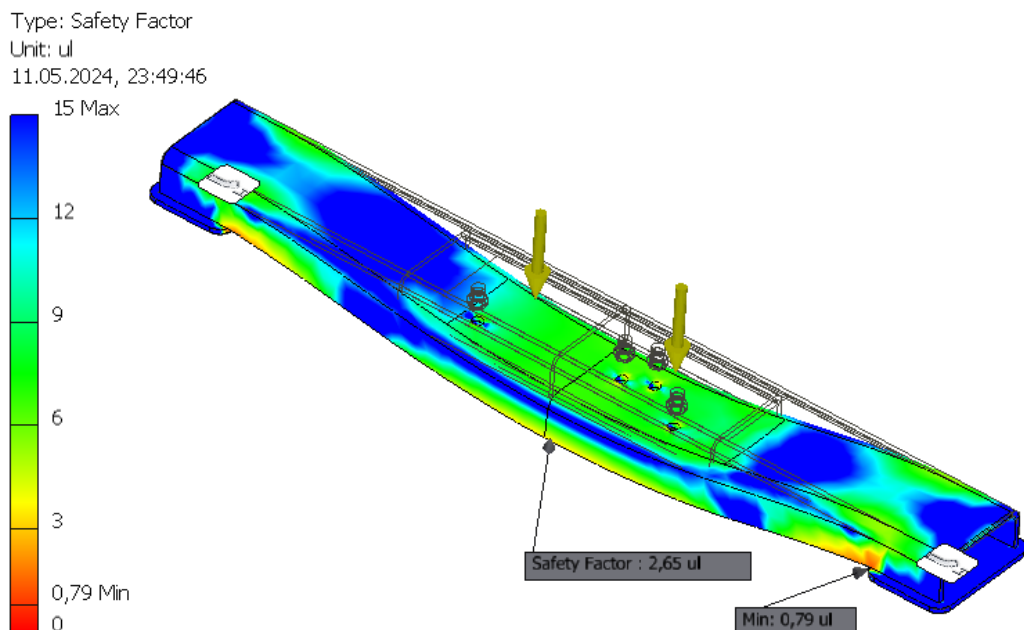
Obrázek 25 FEM analýza verze 2 - napětí

Maximální deformace: 1,69 mm



Obrázek 26 FEM analýza verze 2 - deformace

Koeficient bezpečnosti: lokální minimální koeficient bezpečnosti vyšel 0,79 a to v místě ohybu U profilu přes hranu patky což nevyhovuje požadavkům. Ve středu působení zátěžové síly se koeficient bezpečnosti pohybuje kolem 2,65 viz obrázek 26



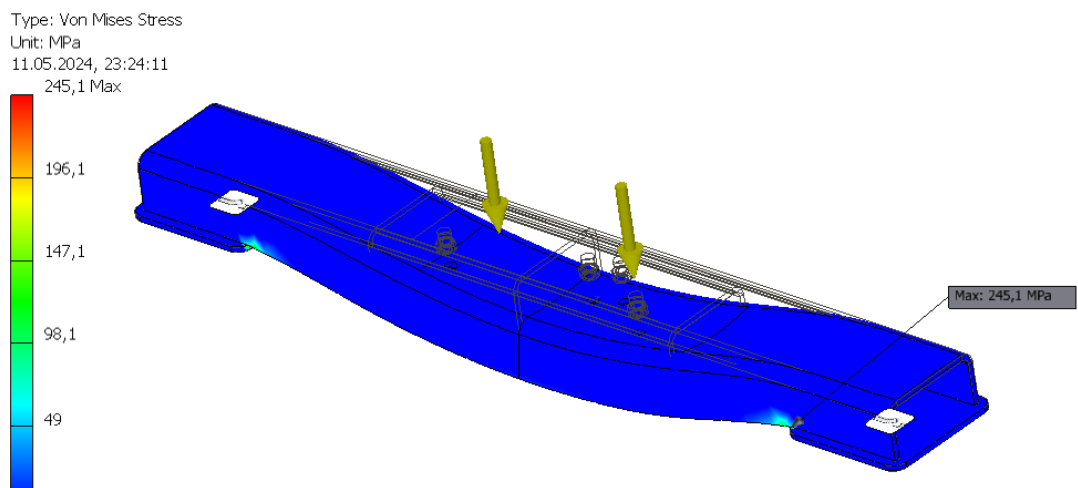
Obrázek 27 FEM analýza verze 2 – koeficient bezpečnosti

Druhá verze přípravku se také ukázala jako nevhodná. Opět podobně jako u první varianty nebyl splněn ani jeden z požadavků na pevnost. Lze ovšem vidět zlepšení v podobě menší deformace.

Vzhledem k nevyhovujícím výsledkům bylo nutné provést další změny. Pro třetí verzi došlo ke změně nosné výšky U profilu z 100 mm na 125 mm a také prodloužení patky o 100 mm a tím i přiblížení jejího okraje blíže k působišti zatížení.

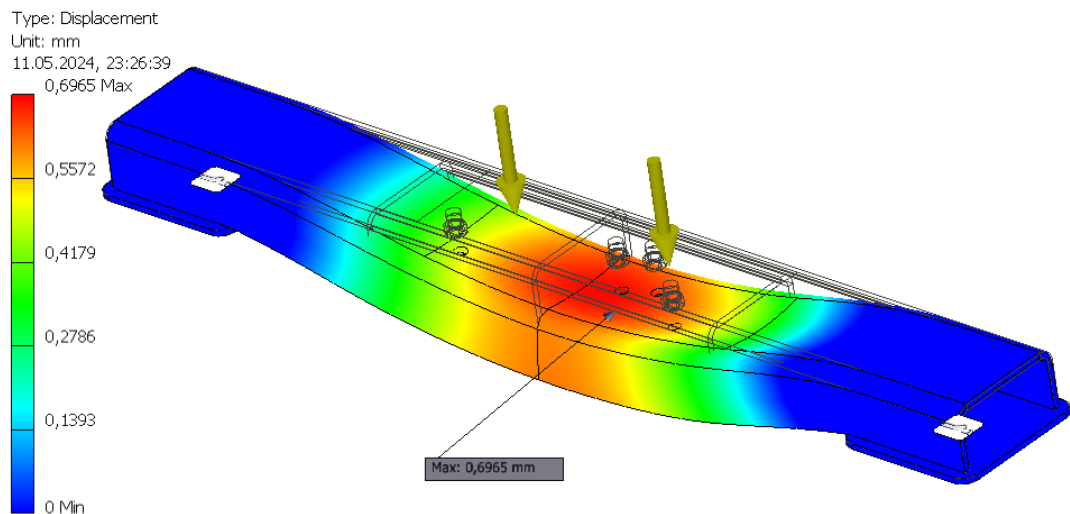
3. Třetí verze byla navržena z plechu tloušťky 12 mm a nosnou výškou 125 mm a zvětšenou patkou z 200 mm na 300 mm. Výsledek lze vidět na následujících hodnotách a obrázcích 27 až 29.

Napětí podle Von Mises = 245,1 MPa



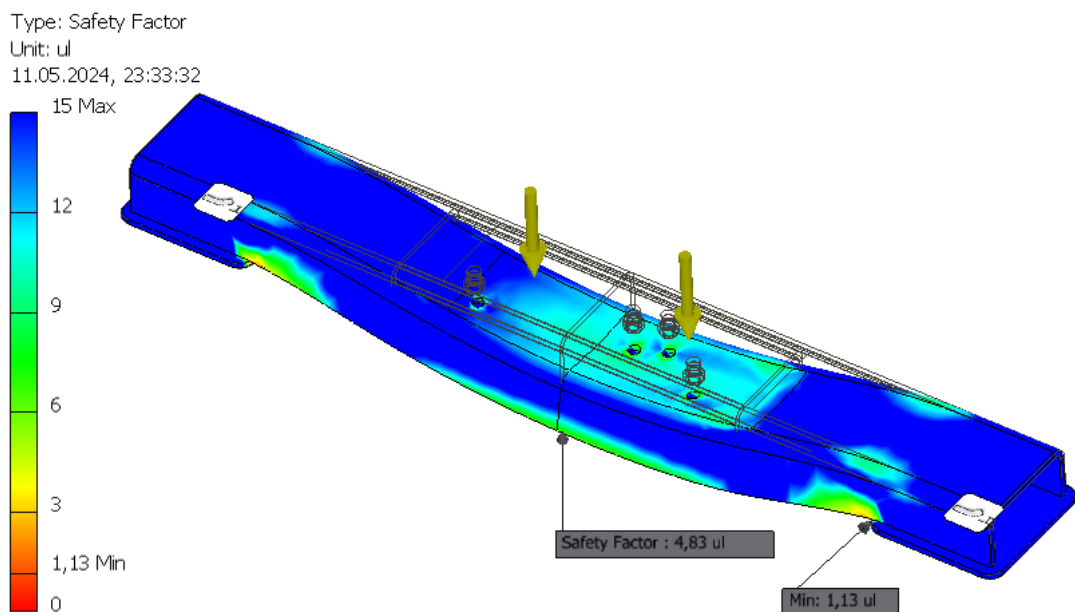
Obrázek 28 FEM analýza verze 3 – napětí

Maximální deformace = 0,7 mm



Obrázek 29 FEM analýza verze 3 – deformace

Koeficient bezpečnosti: lokální minimální koeficient bezpečnosti vyšel 1,13 a to v místě ohybu U profilu přes hranu patky. Ve středu působení zátěžové síly se koeficient bezpečnosti pohybuje kolem 4,8 viz obrázek 29.



Obrázek 30 FEM analýza verze 3 – koeficient bezpečnosti

Třetí verze již má vyhovující výsledky FEM analýz. Deformace středové části přípravku klesla pod 1 mm, konkrétně na 0,7 mm. Koeficient bezpečnosti je vyšší jak 1 i v případě

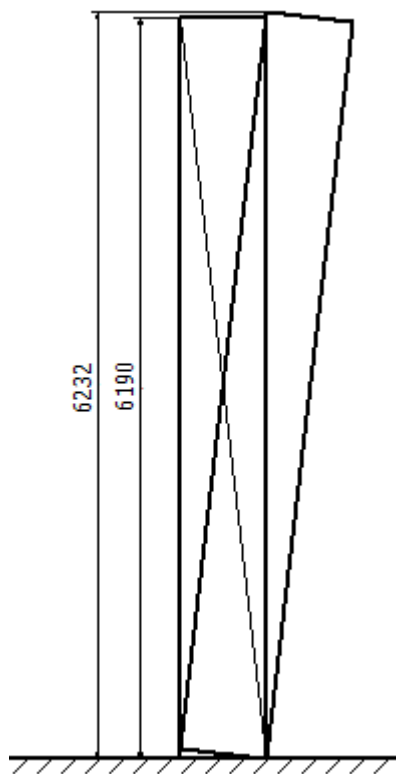
lokálního extrému v místě ohybu U profilu o hranu patky, kde dochází ke koncentraci napětí. Ve středové části přípravku je koeficient bezpečnosti až 4,83.

Finálním krokem návrhu bylo vytvoření kompletní výkresové dokumentace přípravku. Výkresy byly vyhotoveny dle zvyklostí firmy viz příloha 1.

#### 8.4 Ověření efektu na stabilitu stojanu

Ověření efektivity přípravku bude provedeno pomocí srovnání potřebné práce nutné k převrácení stojanu s a bez přípravku.

Při výpočtu práce potřebné na vychýlení stojanu do vratké polohy, byl stojan vzhledem k jeho symetričnosti zjednodušen na obdélník. Kratší strana o velikosti podstavy stojanu a výšce stejné jak stojan. Těžiště je ve středu obdélníku. Díky tomuto zjednodušení lze říci že rozdíl výšek  $\Delta h$  se rovná rozdílu výšky a délky úhlopříčky obdélníku, viz obrázek 30.



Obrázek 31 schéma převrácení bez přípravku

Pro výpočet byl využit vzorec (3). Váha stojanu je 12,8 t, tíhové zrychlené je  $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ,  $h_1$  se rovná 6190 mm a  $h_2$  se rovná 6232 mm.

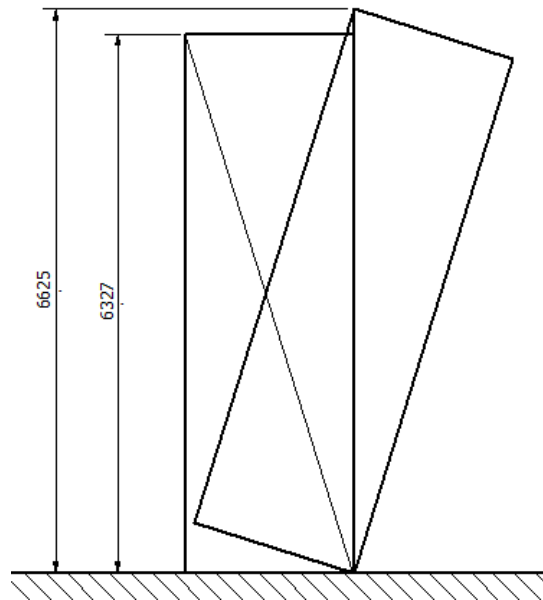
$$W_1 = m \cdot g \cdot (\Delta h) \quad (7)$$

$$W_1 = m \cdot g \cdot (h_2 - h_1) \quad (8)$$

$$W_1 = 12\,800 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot (6,232 \text{ m} - 6,19 \text{ m}) \quad (9)$$

$$W_1 = 5\,273,9 \text{ J} \quad (10)$$

Pro výpočet práce potřebné pro vychýlení stojanu, při použití přípravku je nutné vzít v potaz nesymetrické umístění stojanu na přípravku (obrázek 21). Ovšem i v tomto případě lze příklad zjednodušit tak, že bude počítáno se symetrickým umístěním stojanu. Je nutné počítat práci pro převrácení s kratší přečnávající stranou přípravku. To znamená, že zkrácením přípravku o rozdíl způsobený nesymetričností na delší straně, docílíme symetrického uložení stojanu. Takle operace je možná, protože vynechaná část má vzhledem ke stojanu, zanedbatelnou váhu, a tedy i vliv na posunutí těžiště celé soustavy. Dále byl stejně jako v prvním výpočtu tvar zjednodušen na obdélník s krátkou stranou o délce přípravku, zmenšené o rozdíl přesahů, a výšky stojanu s přidělaným přípravkem. Díky tomuto zjednodušení lze opět říci, že rozdíl výšek  $\Delta h$  se rovná rozdílu výšky a délky úhlopříčky obdélníku, viz obrázek 31.



Obrázek 32 schéma převrácení s přípravkem

Pro výpočet byl využit vzorec (3). Váha soustavy je 13 t, tíhové zrychlené je  $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ,  $h_1$  se rovná 6327 mm a  $h_2$  se rovná 6625 mm.



$$W_2 = m \cdot g \cdot (\Delta h) \quad (11)$$

$$W_2 = m \cdot g \cdot (h_2 - h_1) \quad (12)$$

$$W_2 = 13\,000 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot (6,625 \text{ m} - 6,327 \text{ m}) \quad (13)$$

$$W_2 = 38\,003,9 \text{ J} \quad (14)$$

Srovnání práce pro vychýlení stojanu do vratké polohy.

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{38\,003,9}{5\,273,9} = 7,2 \quad (15)$$

Z výpočtu vychází, že práce potřebná k převrácení volně stojícího stojanu s přidělaným stabilizačním přípravkem je 7 krát větší než bez něj.

## ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout přípravek, který by zlepšil stabilitu samostatně stojícího stojanu dvou stojanového karuselu během jeho uskladnění na montážní hale. Byl proveden kompletní návrh včetně vytvoření výrobních výkresů a analýzy výsledného výrobku.

Teoretická část se zabývala obecnými zásadami navrhování strojních částí, obecným postupem návrhu s přihlédnutím na bezpečnost. Dále byly lehce obecně nastíněny témata sváření, tváření, karuselů, FEM modelů a stability.

V úvodu praktické části byl proveden průzkum stojanů, na které by se přípravek mohl použít. Následně byl jeden z nich vybrán a byl použit jako testovací pro zkoušení přípravku. Dále byly vymyšleny jednotlivé prvotní návrhy, jak by takový přípravek mohl vypadat. Z těchto návrhů byl následně vybrán ten nejvhodnější. Vybraná varianta provedení přípravku byla poté detailněji zpracována a postupně dimenzována na zatížení způsobené stojanem. Pro přípravek byla následně vytvořena kompletní výkresová dokumentace. V závěru praktické části byl proveden výpočet, který ukázal, že s přípravkem je třeba 7 krát větší práce a tím i síla pro jeho převrácení než bez něj.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] CHILDS, Peter R. N. *Mechanical design engineering handbook*. 1st publ. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2014. ISBN 978-0-08-097759-1.
- [2] CHILDS, Peter R. N. *Mechanical design*. 2nd ed. Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004. ISBN 978-0-7506-5771-6.
- [3] RAEYMAEKERS, Bart. *Design of mechanical elements: a concise introduction to mechanical design considerations and calculations*. Hoboken: Wiley, 2022. ISBN 978-1-119-84991-9.
- [4] ASHBY, M. F. *Materials selection in mechanical design*. 4th ed. Amsterdam: Butterworth-Heinemann, 2011. ISBN 978-1-85617-663-7.
- [5] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. *Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika*. 1. vyd. Praha, 2011.
- [6] LENFELD, Petr. *Technologie II: Tváření kovů*. 1. vyd.
- [7] BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS. *Výrobní inženýrství a technologie*. Vyd. 1. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2014. ISBN 978-80-7454-471-2.
- [8] DVOŘÁK, Milan a Michaela CÍSAŘOVÁ. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ*. 1. vyd. Brno, 2021.
- [9] BENEŠ, Libor. *Přehled svařování*. 1. vyd. CVUT.
- [10] PHILLIPS, David H. *Welding Engineering - An Introduction*. 2nd ed. John Wiley & Sons, 2023. ISBN 978-1-119-85872-0.
- [11] KOU, Sindo. *Welding Metallurgy*. 3rd ed. John Wiley & Sons, 2021. ISBN 978-1-119-52481-6.
- [12] Rotary friction welding process. In: *Research Gate* [online]. [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Rotary-friction-welding-process\\_fig1\\_340892042](https://www.researchgate.net/figure/Rotary-friction-welding-process_fig1_340892042)
- [13] RAO, Singiresu S. *The finite element method in engineering*. Sixth edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2018. ISBN 978-0-12-811768-2.
- [14] Different types of Finite Elements. In: *Studio Seed* [online]. [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <https://studioseed.net/research/estructuras/calculo-dinamico/what-does-shape-function-mean-in-finite-element-formulation/>
- [15] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Encyklopedie fyziky*. 1. vyd. 2006.
- [16] MAREK, Jiří. *Stavba svislých soustruhů*. 1. vyd. TOSHULIN, 2004.
- [17] Propagační materiály firmy. In: *TOSHULIN* [online]. [cit. 2024-05-14]. Dostupné z: <https://www.toshulin.cz>
- [18] Vlastnosti oceli 11373. In: *Techportal* [online]. [cit. 2024-05-14]. Dostupné z: [https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR\\_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a\\_RmSdJyeRjHvvhWt6GT3USXlrODF32bS3UUhLT\\_peBZxsdE175N8MGgz73w](https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRjHvvhWt6GT3USXlrODF32bS3UUhLT_peBZxsdE175N8MGgz73w)

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

Symbol	Popis	Jednotka
$\Sigma$	Algebraický součet	
F	Síla	N
M	Moment	$N \cdot m$
$\sigma$	Napětí	MPa
h	Výška	m
$\Delta h$	Rozdíl výšek	m
T	Těžiště	-
W	Práce	J
m	Hmotnost	Kg
g	Tíhové zrychlení	$m \cdot s^{-2}$
Rm	Mez pevnosti	MPa
Re	Mez kluzu	MPa
E	Youngův modul pružnosti	GPa

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 tvary polotovarů .....	13
Obrázek 2 znázornění protažení zrn [6].....	16
Obrázek 3 vybrané metody plošného tváření [8].....	18
Obrázek 4 příklad objemového tváření [8].....	18
Obrázek 5 sestava pro svařování plamenem [11] .....	20
Obrázek 6 sestava pro svařování obalenou tavnou elektrodou [10].....	21
Obrázek 7 ukázka průběhu třecího svařování [12] .....	23
Obrázek 8 schéma bodového sváření [11].....	24
Obrázek 9 příklady elementů FEM [14] .....	25
Obrázek 10 model rozložený na elementy.....	26
Obrázek 11 dělení dle polohy osy otáčení .....	27
Obrázek 12 znázornění změny výšky těžiště tělesa.....	28
Obrázek 13 zjednodušená konstrukce jedno stojanového karuselu.....	30
Obrázek 14 zjednodušená konstrukce dvou stojanového karuselu.....	31
Obrázek 15 zjednodušené znázornění umístění stojanů ve stroji .....	35
Obrázek 16 vybraný zkušební stojan a základní rozměry jeho podstavy .....	36
Obrázek 17 návrh číslo 1 .....	37
Obrázek 18 návrh číslo 2 .....	38
Obrázek 19 návrh číslo 3 .....	38
Obrázek 20 spodní strana finálního návrhu .....	40
Obrázek 21 znázornění posunutí stojanu ze středu přípravku .....	41
Obrázek 22 FEM analýza verze 1 – napětí .....	41
Obrázek 23 FEM analýza verze 1 - deformace.....	42
Obrázek 24 FEM analýza verze 1 - koeficient bezpečnosti.....	42
Obrázek 25 FEM analýza verze 2 - napětí.....	43
Obrázek 26 FEM analýza verze 2 - deformace.....	44
Obrázek 27 FEM analýza verze 2 – koeficient bezpečnosti.....	44
Obrázek 28 FEM analýza verze 3 – napětí .....	45
Obrázek 29 FEM analýza verze 3 – deformace .....	46
Obrázek 30 FEM analýza verze 3 – koeficient bezpečnosti.....	46
Obrázek 31 schéma převrácení bez přípravku .....	47
Obrázek 32 schéma převrácení s přípravkem .....	48

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Stabilizační přípravek

č.v. 001-0000