

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B2301 - Strojní inženýrství
Studijní zaměření: 2301R016 - Stavba výrobních strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh přípravku pro padostroj

Autor: **Martin MAŠEK**

Vedoucí práce: **Ing. Václav Kubec, Ph.D.**

Akademický rok 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin MAŠEK**
Osobní číslo: **S11B0177P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**
Název tématu: **Návrh přípravku pro padostroj**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

Cílem je vypracování konstrukce stávajícího stavu zkušebního stroje a návrh čelistí pro upínání zadaných konstrukčních dílů.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Rešerše možností využití zkušebního stroje
2. Analýza stávajícího řešení upínání vzorků, specifikace požadavků
3. Návrh variant upínacích čelistí
4. Zhodnocení, závěr

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

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojího inženýra 1. Brno: Computer Press, 1999. ISBN 80-7226-055-3.

SKÁLOVÁ, J., KOVAŘÍK, R., BENEDIKT, V. Základní zkoušky kovových materiálů /4 vyd.. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2005. ISBN 80-7043-417-1.


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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Kubec, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Miroslav Urbánek**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **23. září 2013**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. června 2014**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




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

V Plzni dne 23. září 2013

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Václavu Kubci Ph.D. za cenné rady a pomoc při tvorbě této bakalářské práce, Ing. Miroslavu Urbánkovi za poskytnuté konzultace a informace z technické praxe a nakonec Martinu Rundovi za konzultace požadavků a obeznámení s vlastnosmi padostroje.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Mašek	Jméno Martin		
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „Výrobní stroje a zařízení“			
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Kubec, Ph.D.	Jméno Václav		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST – KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Návrh přípravku pro padostroj			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	59	TEXTOVÁ ČÁST	49	GRAFICKÁ ČÁST	10
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Cílem této bakalářské práce je nejprve zhodnotit současný stav na poli padostrojů a zmapovat možnosti padostroje Imatek IM10T-30HW. Následně pak navrhnout přípravek pro tahovou zkoušku rázem tyčovitých vzorků, přičemž nalézt a zpracovat veškeré požadavky na vyráběný přípravek. Přípravek byl zkontrolován pomocí MKP a analyticky. Součástí práce jsou 3D modely padostroje a výkresy vyráběných součástí.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Padostroj, zkoušky materiálu, dynamické zkoušky, rázové zkoušky tahová zkouška, CAD, počítačová simulace

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Mašek	Name Martin	
FIELD OF STUDY	B2301 “ Design of Manufacturing Machines and Equipments“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Kubec,Ph.D.	Name Václav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of a die for drop weight impact tester		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	59	TEXT PART	49	GRAPHICAL PART	10
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	One of aims of this Bachelor's thesis is to map the current situation about drop weight impact testers and establish the properties and possibilities of drop weight impact tester Imatek IM10T-30HW. The second aim is to design a die to fasten a specimen for dynamic tensile test with a rod shape. I have done a research of requires and analyses of toughness. 3D models, mechanical drawing of manufactured parts and numeric analyses are included.
KEY WORDS	Drop weight impact tester, material testing, dynamic testing, tensile test, CAD, computer numeric simulation

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Rešeršní práce	2
2.4. Konstrukční provedení	2
2.5. Přehled nabídek	3
2.6. Porovnání vybraných padostrojů.....	5
2.7. Vlastnosti padostroje Imatek IM10T-30HW.....	6
2.8. Použití padostroje Imatek IM10T-30HW.....	8
3. Navrhovaný přípravek.....	9
3.1. Požadavky na přípravek	9
3.2. Specifikace vzorku	9
3.3. Způsob upnutí vzorku.....	10
3.4. Popis pracovního prostoru.....	12
4. Řešení požadavků	13
4.1. Výchozí součásti upínacího přípravku	13
4.2. Optimalizace návrhu pro vhodný způsob upínání.....	14
4.3. Bezpečnost.....	14
4.4. Středění.....	15
4.5. Příčnick	15
4.6. Tenzometr.....	16
4.6.1. Použití metody konečných prvků (MKP)	16
4.6.2. Aplikace MKP.....	17
4.6.3. Návrh variant.....	18
4.6.4. Analýza geometrické pevnosti	22
4.6.5. Výběr varianty.....	25
4.7. Variabilita.....	26
4.8. Redukce vibrací.....	26
4.9. Povrch přípravku z pohledu zpracování záznamu.....	27
5. Pevnostní analýza.....	28
5.1. MKP analýza	28
5.1.1. Nebezpečná místa na přípravku	29
5.1.2. Ostatní namáhaná místa	31

5.2.	Analytické výpočty.....	33
5.2.1.	Namáhání čepu.....	33
5.2.2.	Namáhání závitů	34
6.	Materiál	35
6.1.	Charakteristika materiálu.....	36
6.2.	Vhodnost použití materiálu	36
6.3.	Cena materiálu.....	36
6.4.	Tvrдость a pevnost v tahu	36
6.5.	Zhodnocení pevnosti součástí přípravku.....	37
7.	Závěr	42
	Seznam použitých zdrojů	43

Seznam použitých symbolů a zkratek

Označení	Legenda	jednotka
DWTT	Drop Weight Tear Test	
MKP	Metoda konečných prvků	
DIC	Digital Image Correlation	
HRC	Tvrdost podle Rockwella	
R _m	Mez pevnosti v tahu	MPa
σ	Napětí	MPa
F	Síla	N
S	Průřez, plocha	mm ²
d	Průměr zkušební tyčinky	mm
d _ε	Průměr čepu	mm
τ	Tečné napětí	MPa
p	Tlak ve styčných plochách	MPa
b	Šířka styčné plochy	mm
d ₂	Střední průměr závitu	mm
H ₁	Výška závitu	mm
l _m	Délka matice	mm
p _H	Stoupání závitu	mm
p _d	Dovolené otláčení	MPa
p _{stř}	Střední stykový tlak	MPa
p _{max}	Maximální (Hertzův) tlak	MPa

1. Úvod

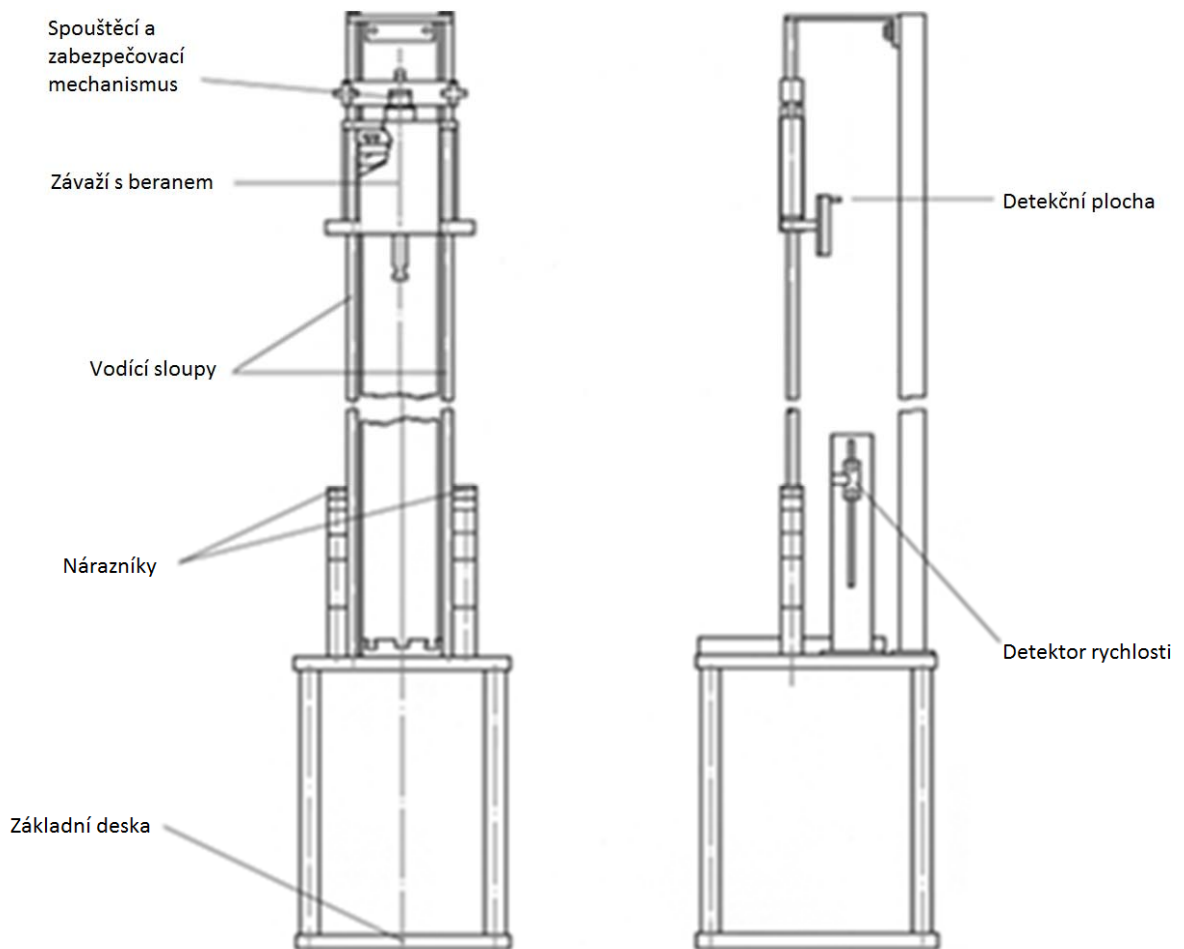
Problematika materiálového inženýrství zaměřena na rázové dynamické zkoušky je odlišná od problematiky zkoušení materiálu při běžných rychlostech. Výstupními daty z dynamických zkoušek nejsou jen velikosti sil a deformací, ale především samotná charakteristika deformace a způsob chování materiálu při vystavení dynamickým podmínkám. K zavedení rázových dynamických zkoušek vedlo zjištění, že materiál se stává křehčím, jednak při nízkých teplotách, ale také při vysokých rychlostech deformace. Pokud je tedy materiál vystaven rázu, může se nacházet v křehkém stavu a chovat se odlišně, než jak bychom očekávali, kdyby byl ve stavu houževnatém. Například houževnatý materiál má schopnost zastavit růst případné trhliny, která se na jeho povrchu vytvoří, ale v křehkém materiálu se trhliny šíří téměř bez dodání vnější práce. Proto je vhodné stanovit, jak se materiál vystavený rázu chová. Výsledkem rázové zkoušky je obecně závislost vložené energie s výslednou deformací. Například u zkoušky rázem v ohybu, která je normalizovaná dle ČSN ISO 148-1, je výsledkem tzv. vrubová houževnatost, která je počítána jako poměr práce spotřebované k přeražení zkušební tyčinky k ploše průřezu tyčinky v místě vrubu. Tato bakalářská práce se však zabývá rázovou dynamickou zkouškou v tahu, která takto normalizovaná není.

2. Rešeršní práce

Provedl jsem rešerši zacílenou na nabídku padostrojů, jejich využití a konstrukčního provedení. Dále pak rešerše technických parametrů stroje Imatek IM10T-30HW a jeho použití ve firmě COMTES FHT.

2.4. Konstrukční provedení

Padosroj (ang.: Drop Weight Impact Tester) je zařízení, které je možné konstrukčně pojmout velmi rozmanitými způsoby, a také vyrobit ve veliké škále rozměrů, a to od drobných laboratorních až po obří. U padostroje pro důkaz vlivu rekrytalizace na nárůst velikosti plastické deformace olověného válečku při pýchování může postačit konstrukce složená z navijáku, mechanické pojistky a volně zavěšeného závaží. Ale, pro zjišťování komplexního charakteru chování materiálu vystaveného dynamickým podmínkám je zapotřebí přesného stroje s přesným vedením a s dostatečnými nástroji k vyhodnocení zkoušky. K takovému vyhodnocování se mohou použít rychlostní kamery, které dokáží průběh zkoušky přesně zaznamenat. Speciálně u tahové zkoušky je kladen důraz na přesnost vedení, a to proto, aby při zkoušce nedocházelo vlivem nepřesností k ohýbání zkušební tyčinky, ale pouze k jejímu tahovému namáhání.



obr. 1- schématický nákres padostroje

2.5. Přehled nabídek

Rozmanitost v konstrukci padostrojů je možné pozorovat například v nabídce padostrojů společnosti WANCE Testing Machine CO. [obr. 02]



obr. 2 - Nabídka padostrojů WANCE

Nicméně poptávka po padostrojích není velká, a to vzhledem k jejich využitelnosti v průmyslu. Z toho důvodu a zároveň vzhledem k rozmanitosti jejich konstrukcí, spadá převážně výroba padostrojů do zakázkové výroby. Na Internetu je však možné nalézt hned několik výrobců s širokou nabídkou. Mezi ně patří zmíněná firma WANCE Testing Machine CO., dále společnost Instron®, která je zaměřena spíše na laboratorní padstroje malých velikostí, společnost Zwick produkující klasické padstroje, a nakonec společnost Imatek.

Společnost Imatek je společnost jejímž sortimentem jsou výhradně padstroje a stroje pro rázové dynamické zkoušky. Výrobní sortiment nazahrnuje klasická Sharpy nebo Izod kladiva, ale zato nabízí širokou nabídku padostrojů. Kromě padostrojů mají dále v nabídce horizontální rázový zkušební stroj využívající lineárního motoru k navození vysoké rychlosti, a nebo dvoukapilární reometr.

V tiskové zprávě z 1. listopadu 2010 na webových stránkách firmy imatek.co.uk je zmínka o instalaci zařízení IM10T-30HW do firmy Comtes FHT. A tímto padostrojem se právě tato práce zabývá.



obr. 3 - padstroj Imatek IM10T-30HW s řídicí stanicí a rychlostní kamerou

2.6. Porovnání vybraných padostrojů

Porovnávané padostroje byly vybírány mezi těmi, které nabízí dostatečné spektrum využití. Po padostroji totiž není požadováno pouze, aby mohl dělat klasické normalizované zkoušky Sharpy, Izod, nebo DWTT, ale také zkoušky pětčováním, zkoušky trubek, nebo zkoušku tahem. Následující tabulka padostroje porovnává podle požadavků, které na ně byly kladeny.

Padostroj kritérium	Imatek IM10T-30HW	Instron CEAST 9350	Zwick Pellini	Wance 1800J
Tah	•	•		•
Tlak	•	•		•
3b-ohyb	•	•	•	•
Dopadová rychlost 20 m/s	•	•		•
Dopadová energie 2000 J	•			
Pracovní prostor min. 900x500x500mm	•			•
Snímání rychlostní kamerou	•			•

tab. 1 – srovnávací tabulka



obr. 4 - Imatek
IM10T-30HW



obr. 5 - Instron CEAST
Model 9350



obr. 6 -
Zwick Pellini



obr. 7 -
Wance 1800J

2.7. Vlastnosti padostroje Imatek IM10T-30HW

Charakteristické vlastnosti

Výška dráhy beranu:	od 50 do 3000 mm, stavitelná po kroku 1mm s přesností ± 2 mm.
Hmotnost beranu:	od 8 do 30 kg měnitelná po 1,0 kg s přesností $\pm 0,5\%$. Hmotnost je však také závislá na raznících, které jsou často přizpůsobeny požadavkům zákazníků, a hmotnost razníků se přičítá k hmotnosti beranu.
Tlumiče nárazu:	pneumatické absorbery rázu.
Rychlost nárazu:	od 1,0 do 7,67 ms^{-1} (volný pád).
Energie nárazu:	od 2,5 do 882 J (volný pád).
Možnost urychleného pádu:	Rychlost lze urychlit pomocí integrovaného elastického lana využitím jeho schopnosti akumulovat energii při jeho napnutí.
Rychlost urychleného nárazu:	od 0,1 do 20 ms^{-1} .
Energie urychleného nárazu:	od 2,5 do 2000 J.
Základna:	volně stojící na tlumících patkách s T-drážkami pro matice M12
Rozměry základny:	šířka 1420 mm, hloubka 760 mm, tloušťka desky 100 mm.
Vnitřní rozměry skříně se vzorkem:	šířka 1200 mm, hloubka 700 mm, výška 660 mm.
Celkové rozměry zařízení:	šířka 1420 mm, hloubka 760 mm, výška 5500 mm.
Přibližná celková hmotnost:	3000 kg.

tab. 2 – charakteristické vlastnosti padostroje Imatek IM10T-30HW

Způsob sbírání dat

Schopnost sbírání komplexních dat:	3 000 000 snímků za sekundu v rozlišení 16bit.
Množství snímků během nárazu:	50 000.
Celková přesnost měření síly:	$\pm 0,75\%$
Celková přesnost měření energie:	$\pm 1,50\%$
Celková přesnost měření rychlosti:	$\pm 0,10\%$
Zařízení měřící sílu:	instrumentovaný tenzometr, frekvenční zesilovač.
Zařízení měřící rychlost:	laserový detektor.

tab. 3 – vlastnosti měřící techniky

Softwarové prostředí

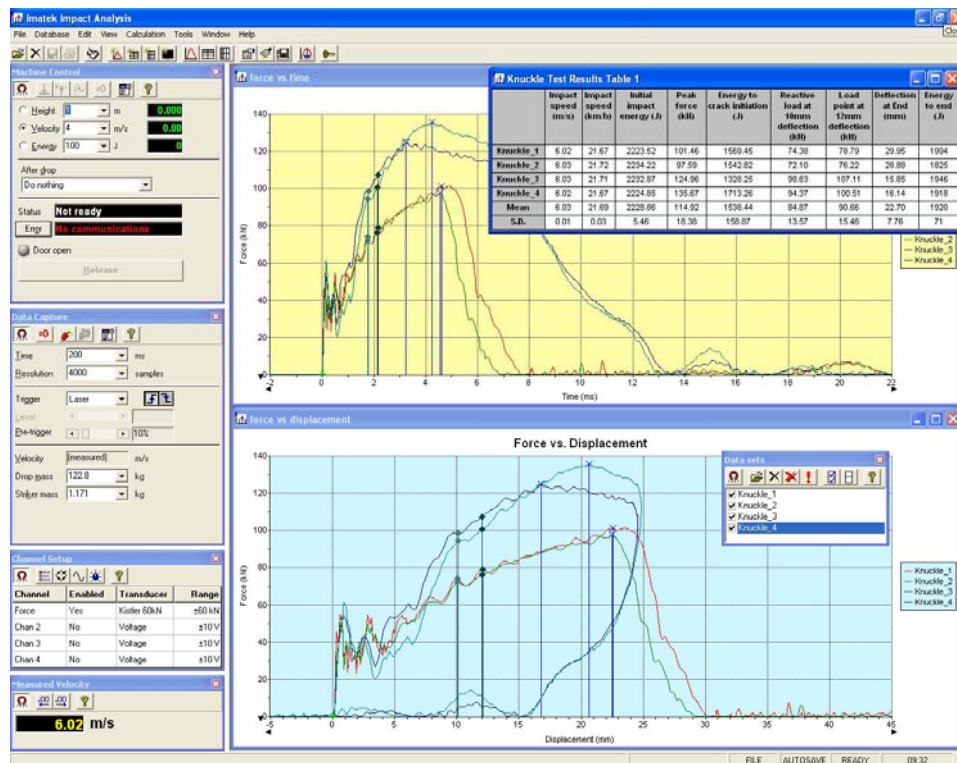
Platforma: MS Windows XP Pro/Vista

Zaznamenávané veličiny: hmotnost, rychlost, energie, síla během času

Počítané veličiny: zrychlení, rychlost, energie, deformace a uživatelem definované výpočty.

Jednotky: SI, cgs, US

tab. 4 – vlastnosti softwarového prostředí



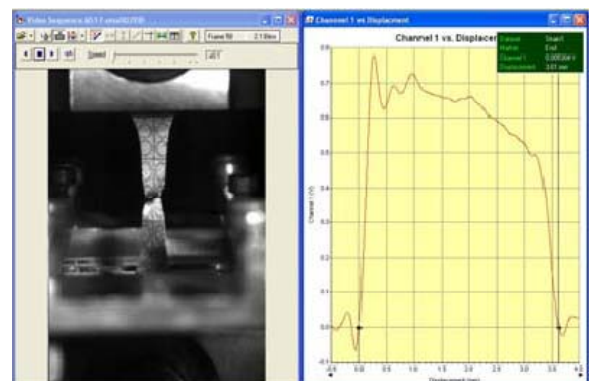
obr. 8- uživatelské prostředí

Rychlostní kamera

Společně s padostrojem byla dodána integrovaná rychlostní kamera s rychlostí až 2000 snímků za sekundu. Díky propojení kamery s padostrojem můžeme zkombinovat výsledky z testů se zaznamenaným obrazem.



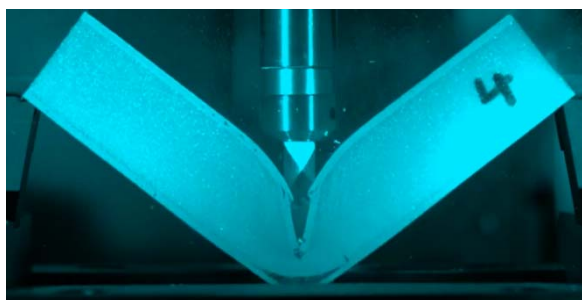
obr. 9- rychlostní kamera s osvětlením a synchronizačním zařízením



obr. 10- ukázka propojení obrazu a výsledků

2.8. Použití padostroje Imatek IM10T-30HW

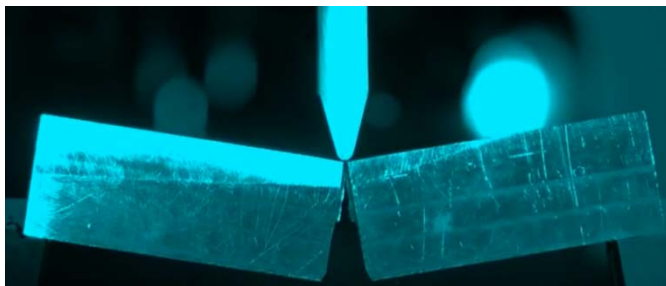
Servohydraulické zkušební stroje, které se používají ve firmě COMTES FHT, dosahují při rázových zkouškách až rychlostí 1ms^{-1} . Pro vyšší rychlosti zatěžování je potřeba použít padostroj, ten dosáhne (viz. technická dokumentace) rychlosti až 20ms^{-1} . Padostroj je možno použít na dynamickou zkoušku libovolného zkušebního vzorku, záleží pouze na tom, jak navrhne upínací přípravek pro konkrétní vzorek. Je tak možné provádět klasické normalizované zkoušky Sharpy nebo Izod, nebo pro padostroje charakteristický DWTT. Na padostroji je ale možné provádět různé zkoušky všech materiálů, ať už tahem, tlakem, ohybem, či stříhem. Různorodost můžeme sledovat na zakázkách, které již na zmíněném padostroji byly vykonány. Například to byla zkouška nárazníku formule 1, nebo zkouška cukrové třtiny na tlak a stříh. Následující snímky jsou vystřižené ze záznamu rychlostní kamery.



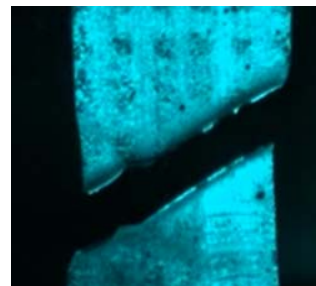
obr. 11- Sharpy – sendvičový materiál



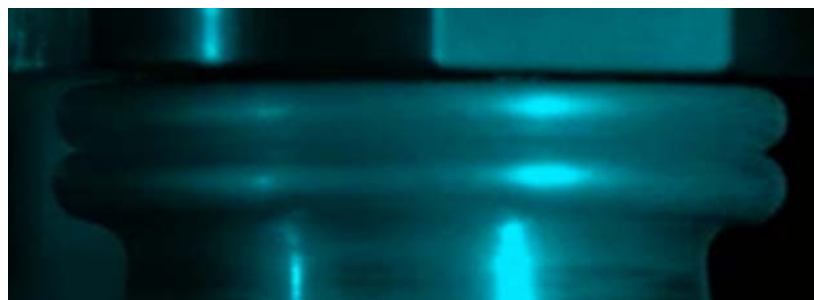
obr. 12 - tah – potažený plech



obr. 13- Sharpy – křehký materiál



obr. 14- tah - plech



obr. 15 - tlak - trubka

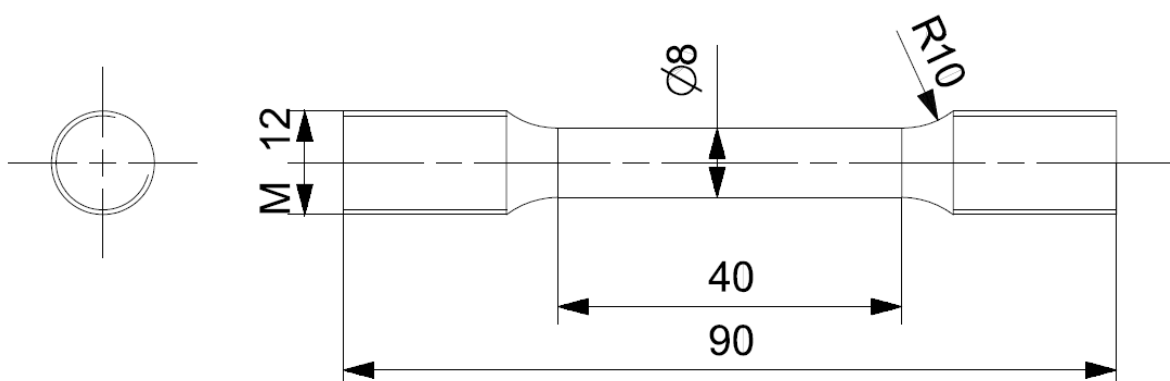
3. Navrhovaný přípravek

3.1. Požadavky na přípravek

Při návrhu přípravku vycházíme z původního přípravku na tahovou zkoušku plechů dodaném společností Imatek. Tento přípravek však neměl vhodně umístěný tenzometr a do měření byla zanášena chyba, se kterou nebyly pracovníci společnosti Comtes FHT spokojeni. Cílem této práce je navrhnout přípravek pro zkušební vzorky kruhového průřezu a tenzometr zakomponovat na vhodnější místo, co nejbližší zkušebnímu vzorku. Dalším diskutovaným problémem byla bezpečnost, neboť po přetržení vzorku padá prudce k zemi spodní upínací díl přípravku včetně části vzorku. Poté naráží do molitanové podložky a odtud se může odrazit náhodným směrem a napáchat škodu. V neposlední řadě musel být přípravek navrhnout s ohledem na jednoduchost obsluhy a přesnost ustavení vzorku.

3.2. Specifikace vzorku

Jako vzorky pro danou tahovou zkoušku byly vybrány vzorky kruhového průřezu $\varnothing 8$ mm. Tento průřez byl stanoven z důvodu sjednocení rozměrů vzorků tak, aby bylo možno porovnávat výsledky ze zkoušek na ostatních zkušebních strojích v COMTES FHT. Nutno podotknout, že jedním z očekávaných materiálů, který bude na tomto stroji zkoušen je martenzitická ocel s pevností až 2500 MPa v tahu. Jelikož ostatní dynamické zkušební stroje v COMTES FHT nejsou schopny přetrhnout takovéto vzorky průměru většího než 8 mm, byl stanoven právě tento průřez. Délka tyčinky byla stanovena 40 mm podle normy ČSN EN ISO 6892.



obr. 16– Zkušební tyčinka se závity

3.3. Způsob upnutí vzorku

Pro upnutí vzorku se nám nabízejí tři možnosti.

- 1) Upnutí do čelistí
- 2) Upnutí za hlavu
- 3) Upnutí pomocí závitu

Požadavky na upínací díly:

Hlavním požadavkem na upínací čelisti je nízká hmotnost, neboť hybnost je předávána z razníku do spodního upínacího dílu a čím větší hmotnost tento díl bude mít, tím větší množství hybnosti bude spotřebováno do jeho samotného uvedení do pohybu. Tento aspekt by zanášel chybu do měření.

Dalším požadavkem je jednoduchost konstrukce, aby se na dílu nepoškodily funkční části po přetržení tyčinky a dopadu dílu do dopadliště. Jednoduchost konstrukce je podstatná i z důvodu, že upínací díly budou zhotoveny z nástrojové oceli a složitost by prodražovala výrobu.

Ad1) Upnutí do čelistí

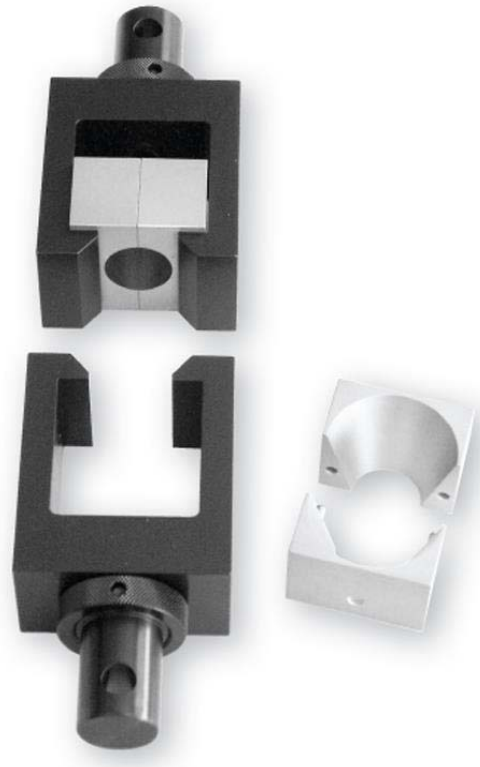
Vzorek upnutý do čelistí je dobře středěný, a má nejnižší nároky na výrobu vzorku. Nevýhodou je však velikost potřebné upínací síly, která se odhadem pohybuje okolo 150 kN. Takovou sílu bychom mohli vyvodit hydraulickými čelistmi. Tato možnost bohužel nevyhovuje našim požadavkům na nízkou hmotnost a jednoduchost konstrukce. Hydraulické čelisti jsou hmotné, složité a při dopadu by mohly být poškozeny.



obr. 17 – hydraulická čelist
MTS C40-008

Ad2) Upnutí za hlavu

Upnutí za hlavu máme jistotu, že vzorek bude namáhán pouze na tah a ne na ohyb. Nevýhodou je cena vzorku, neboť opěrná plocha hlavy musí být větší než průřez vzorku. S velikostí hlavy vzorku roste i robustnost upínacího dílu a tedy i hmotnost. Další nevýhodou tohoto řešení je fakt, že přes upínací díly bude špatně vidět na vzorek a jelikož je zde zkouška monitorována rychlostní kamerou, je tato nevýhoda brána jako zásadní.



obr. 18 – dělená upínací hlava

Ad3) Upnutí pomocí závitů

Při upnutí pomocí závitů se vystavujeme nebezpečí, že vzorek nebude ideálně vystředěn a bude namáhán na ohyb, ale toto řešení nám nabízí levnější náklady na výrobu vzorku než upnutí za hlavu, rozměry upínacích dílů jsou minimální a konstrukce nejjednodušší ze zmíněných variant.

Výsledná varianta

Byla vybrána varianta 3) upnutí pomocí závitů z důvodu nejjednodušší a nejlhčí konstrukce.



obr. 19 – Závitová hlava

3.4. Popis pracovního prostoru

Vnitřní rozměry pracovního prostoru jsou 1200x700x660 mm (šířka x hloubka x výška). Je však nutné poznamenat, že hloubka pracovního prostoru není omezující, neboť při zkoušce jsou obvykle přední i zadní dvířka otevřená a tak nám nebrání umístit další pomocná zařízení před pracovní prostor kde bývá obvykle kamera, nebo za pracovní prostor, kde může být například environmentální komora jakou vidíme na obr. 20. Přípravky je možné přichytit pomocí T-matic M12 do T-drážek.



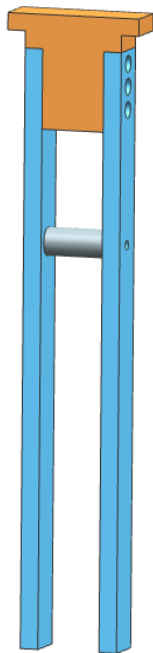
obr. 20 – pracovní prostor

4. Řešení požadavků

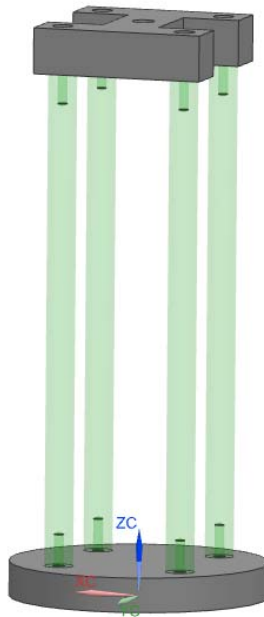
Varianty byly navrhovány podle požadavků specifikovaných v odstavci 3.1.

4.1. Výchozí součásti upínacího přípravku

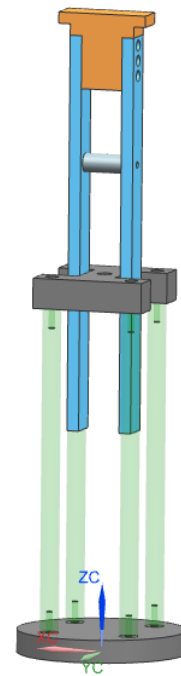
Abychom mohli správně navrhnout upínací díly, musíme znát rozměry součástí, se kterými budou ve styku. Na následujících obrázcích je vidět razník (obr. 21), který je ukotven na beranu padostroje a dopadá na spodní upínací díl vzorku. Dále vidíme konstrukci k ukotvení horního upínacího dílu vzorku (obr. 22). Spodní kruhová deska na této konstrukci je přichycena pomocí T-matic v pracovním prostoru padostroje. Na obr. 23 je přibližně znázorněna vzájemná poloha razníku a kotevní konstrukce v okamžiku nárazu.



obr. 21 - razník



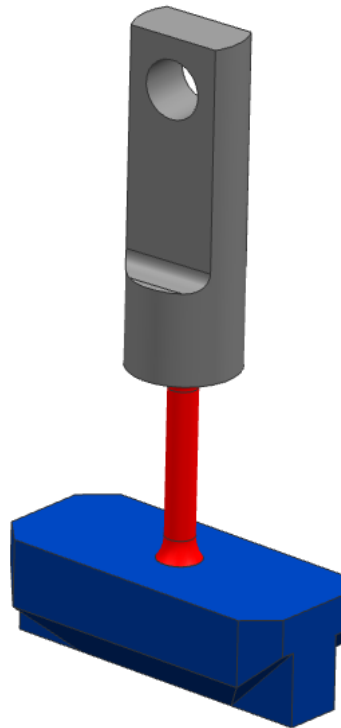
obr. 22 – kotevní konstrukce



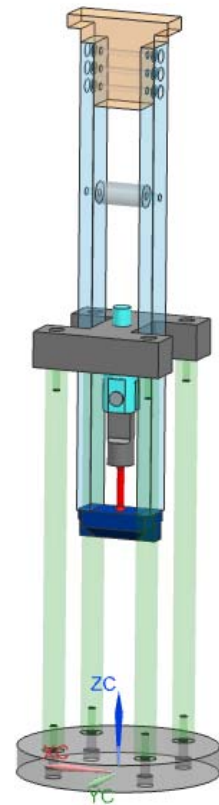
obr. 23 – vzájemná
poloha v okamžiku
nárazu

4.2. Optimalizace návrhu pro vhodný způsob upínání

Po konzultaci s obsluhou padostroje jsme dospěli k řešení, kdy obsluha našroubuje vzorek do upínacích částí tak, aby byl vhodně vystředěn, a poté celek zavěsí do kotevní konstrukce pomocí čepu.



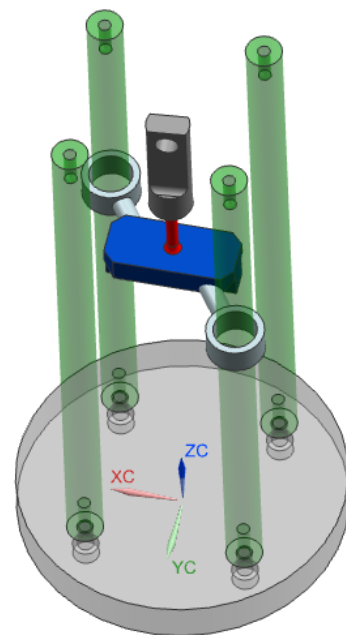
obr. 24 – upevněný vzorek



obr. 25 – celkový návrh sestavení

4.3. Bezpečnost

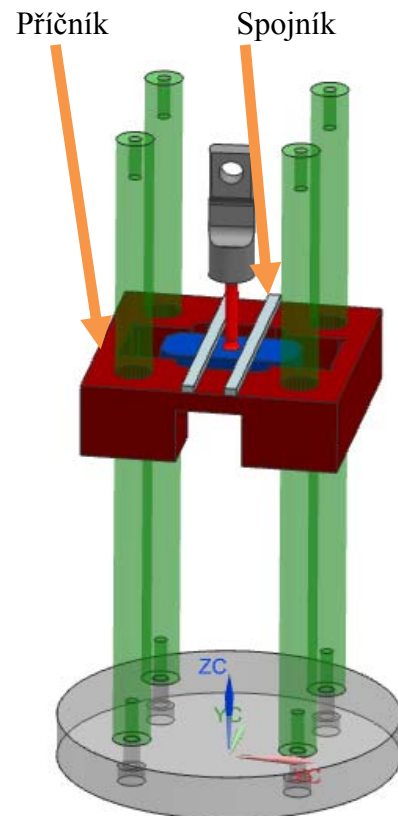
Abychom zamezili neřízenému pohybu spodního upínacího dílu po přetržení vzorku, bylo navrženo spojit spodní upínací díl se sloupky kotevní konstrukce pomocí pouzder (tyto pouzdra by měly dostatečnou vůli, aby nedocházelo k dotyku mezi nimi a sloupky. Toto řešení má bohužel mnoho nevýhod, Samoná pouzdra mohou být poškozena během dopadu a zvyšují hmotnost a složitost dílu. Dále znemožňují jednoduchou instalaci vzorku, jak bylo uvedeno v předchozí kapitole (součást by musela projít dalšími konstrukčními úpravami za účelem zjednodušení obsluhy). Hlavním problémem by ale byl fakt, že by součást překážela měřicí technice, která je na sloupcích instalována. Z praxe je zjištěno, že součást nemá tendenci opouštět pracovní prostor, a tak bylo od tohoto řešení upuštěno.



obr. 26 – ukázka zajištění pomocí pouzder

4.4. Středění

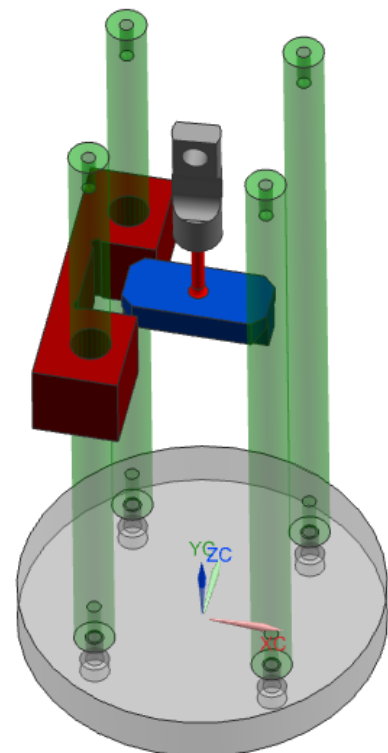
Problém středění mohla vyřešit pouzdra zmíněná v předchozí kapitole, ale jelikož byla zavrhnuta, byly hledány jiné možnosti. I bez pouzder má však obsluha hned tři možnosti jak středit. První možnost je prostá, před zkouškou obsluha musí sjet razníkem až na místo dopadu, aby zadal počítači informaci o místě, odkud má začít měřit. V tu chvíli může přípravek vystředit přímo k razníku. Druhou možností je, že vystředí přípravek vůči měřiči rychlosti, který je v těsné blízkosti přípravku. Poslední možností je použít středící spojníky připevněné na příčnicku.



obr. 27 – středění pomocí spojníků

4.5. Příčnick

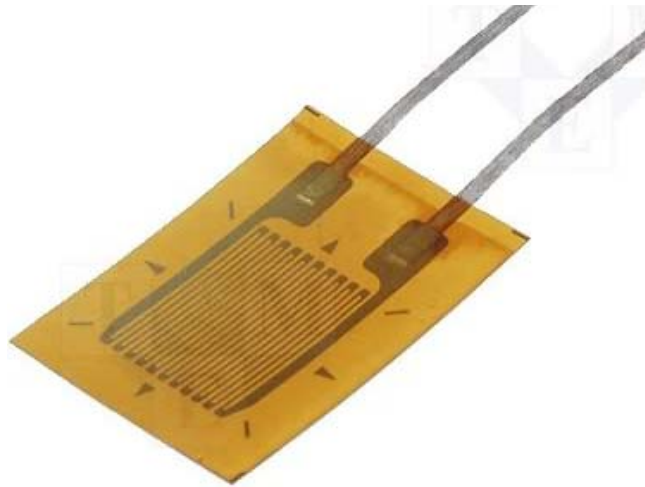
Součást příčnick je používána jednak k vystředění čelistí, ale především k upnutí měřiče rychlosti. Nevýhodou této součásti je, že zasahuje do zorného pole kamery. Z tohoto důvodu byl navržen nový příčnick, který slouží pouze k ukotvení měřiče rychlosti a do zorného pole kamery nezasahuje. Cenou za to je nemožnost středění pomocí spojníků, ale vzhledem k tomu, že obsluha může středit ostatními zmíněnými způsoby, není tato nevýhoda zásadní. Nicméně stále můžeme v případě potřeby použít původní příčnick.



obr. 28 – Návrh nového příčnicku

4.6. Tenzometr

Jedním z cílů práce bylo vytvořit na přípravku vhodné plošky pro instrumentování tenzometrů. Tyto tenzometry nahrazují původní tenzometr dodaný společností Imatek, který nedosahoval dostatečné přesnosti, protože byl příliš daleko od zkušební vzorku a deformace k němu byla přenášena přes čep a šroub. Nové tenzometry budou v těsné blízkosti zkušební vzorku přímo na horním upínacím dílu. Předpokládané rozměry tenzometrů jsou 5x10 mm a budou použity 4. Požadavek na maximální poměrnou deformaci, které by mělo být dosaženo při maximálním zatížení je $2\mu\text{m}/\text{mm}$. Tato hodnota by neměla být překročena, aby nedošlo k poškození, nebo odlepení tenzometru, avšak při maximálním zatížení by mělo být dosaženo právě této hodnoty, aby tenzometr nějaké hodnoty naměřil v případě, že budou zkoušeny materiály s nižší pevností. Při návrhu rozměrů pod tenzometry musíme brát ohled také na životnost přípravku, aby nedocházelo k degradaci plochy pod tenzometrami vlivem plastických deformací. Z toho důvodu uvažujeme bezpečnost k mezi kluzu 2.



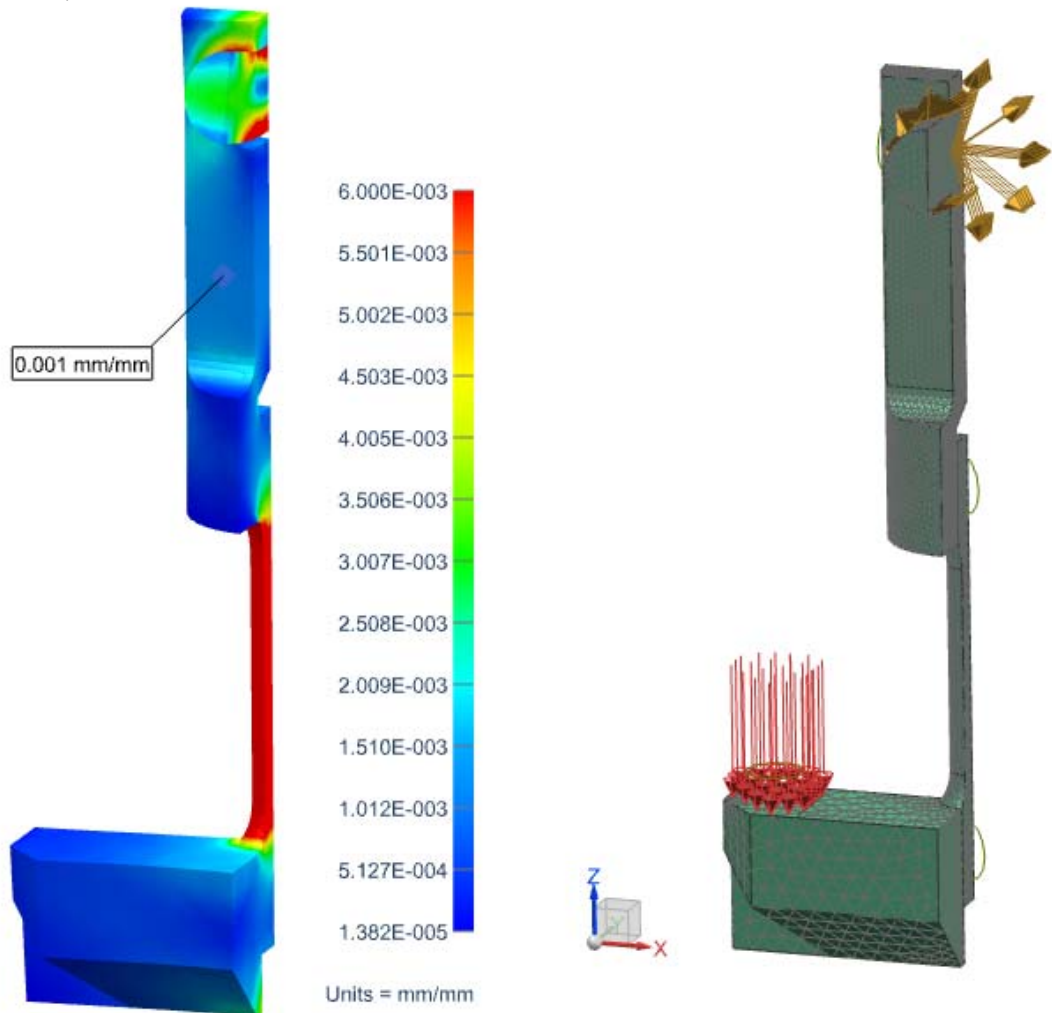
obr. 29 – tenzometr TME

4.6.1. Použití metody konečných prvků (MKP)

Rozměry a tvar horního upínacího dílu byly navrhovány pokusnou metodou s využitím metody konečných prvků tak, abychom dosáhli požadovaného strainu $2\mu\text{m}/\text{mm}$. Ačkoli přípravek bude namáhán dynamickými rázy, zde je MKP počítána jako lineární a při statickém zatížení. Zatížení při analýze je určeno z kritického okamžiku, kdy by zkušební tyčinka dosáhla meze pevnosti v tahu při statickém zatěžování. Toto si můžeme dovolit, protože nepočítáme chování zkušební tyčinky, ta je zde pouze jako spojovací člen, ale počítáme samotný přípravek, na který máme požadavek, aby se při takovémto zatížení namáhání nepřesáhlo 50% meze elasticity. Pohybujeme se tedy v oblasti platnosti Hookova zákona. Vzhledem k tomu, že zkušební tyčinka není cílem analýzy, je hranice zbarvení posunuta a tyčinka se nachází vysoko nad rozsahem zbarvení.

4.6.2. Aplikace MKP

Na obr. 30 je vidět, jak byla MKP aplikována. Nasíťována byla pouze část přípravku, která má na horní upínací díl vliv a ta byla dále omezena na čtvrtinu, neboť přípravek je souměrný. Tyto úpravy mnohonásobně zkrátily dobu výpočtu a umožnily tak snáze zkoušet různé tvary a rozměry součástí. Zkušební tyčinka a čep mají brickovou síť o prvcích velikosti 2 mm a ostatní součásti mají tetrahedrovou síť s velikostí prvku 1,3 mm.



obr. 30 – MKP analýza povodního návrhu (Siemens NX8.5 - Nastran)

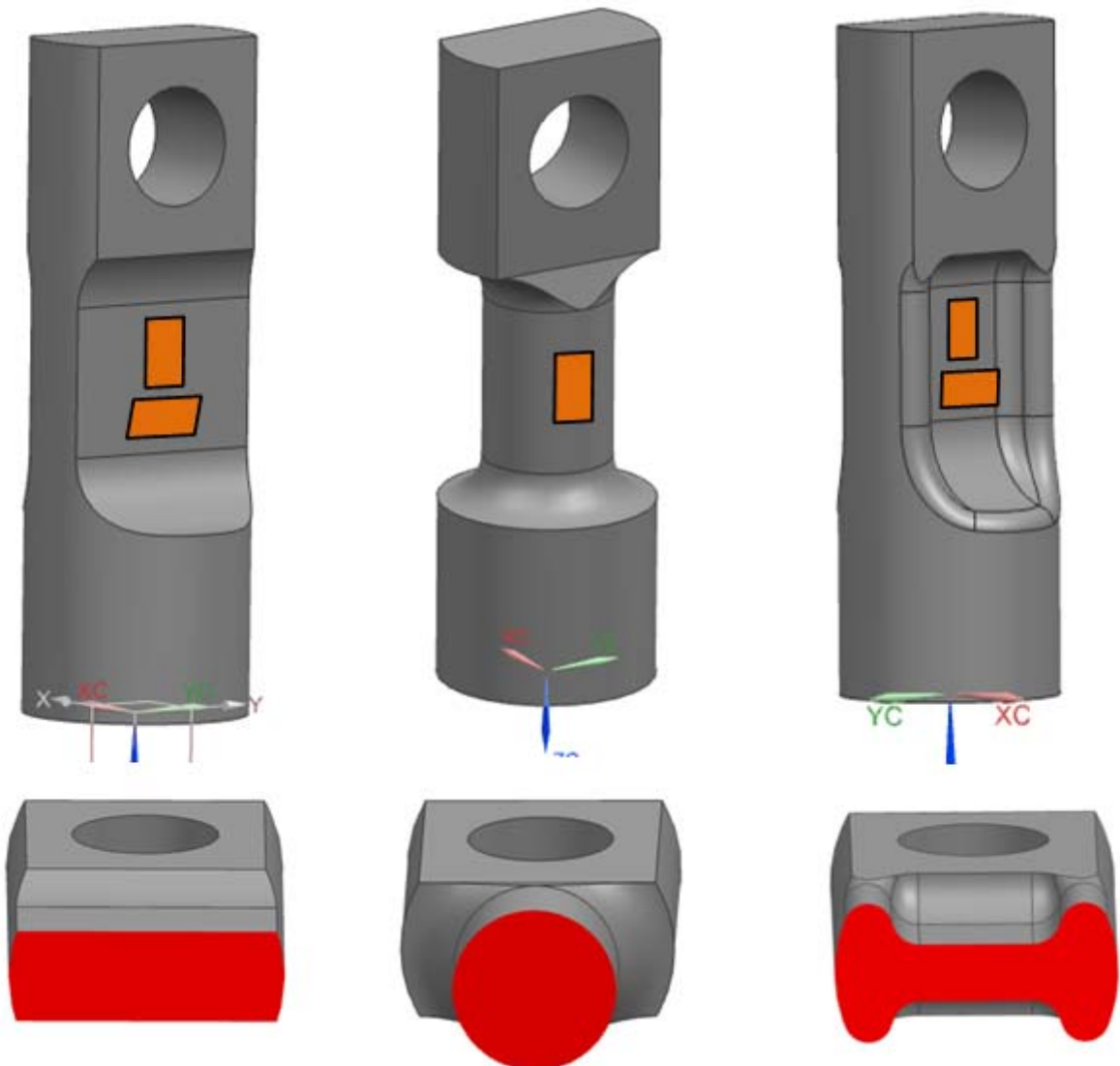
Namáhající síla byla počítaná z pevnosti v tahu zkušební tyčinky, kterou předpokládáme zde 2500MPa a průměr tyčinky 8 mm (viz. kapitola 3.2.). Dále musíme zohlednit, že zatěžujeme pouze čtvrtinu přípravku (čtvrtinový průřez), a tedy síla musí být též čtvrtinová.

$$\sigma = \frac{F}{\frac{1}{4}S} \quad \Rightarrow \quad F = \sigma \frac{\pi d^2}{4} * \frac{1}{4} = 2500 \frac{\pi 8^2}{4} \frac{1}{4} \cong 31500N \quad (1)$$

Původní návrh součásti zatěžovaný silou 31 500N vykázal strain o velikosti 1μm/mm (obr. 30), proto bylo přistoupeno k návrhu několika variant konstrukce obsahující zužení v místě nalepení tenzometrů.

4.6.3. Návrh variant

Na základě prvního výpočtu jsem navrhnul tři varianty horního upínacího dílu zobrazené na obrázcích 31 až 33. U původní ploché varinaty (varinata 1), vzhledem k její nízké tloušťce, jsem odhadoval nízkou geometrickou tuhost, tedy nízkou odolnost proti nesymetrickému zatížení. Umístění tenzometrů je znázorněno oranžově. Zde vidíme, že tenzometry jsou umístěny jak horizontálně tak vertikálně. Na obrázcích vidět není, že jsou tenzometry umístěny z obou stran součásti. Horizontální tenzometry měří kontrakci součásti, ta slouží ke kontrole přesnosti měření. Na variantě 2 horizontální tenzometr není, neboť na kulatém povrchu by byl tenzometr pouze ohýbán a hodnoty bychom nenaměřili. Během analýzy byly rozměry navrnutých tvarů optimalizovány, abychom dosáhli přesných výsledků. V náhodně vybraných uzlových bodech na styčné ploše s tenzometry byly odečteny velikosti poměrné deformace (strain) a vypočtena jejich maximální, minimální a průměrná hodnota (výsledky jsou zaneseny do tabulek 5 – 7).



obr. 31 – Varianta 1

obr. 32 – Varianta 2

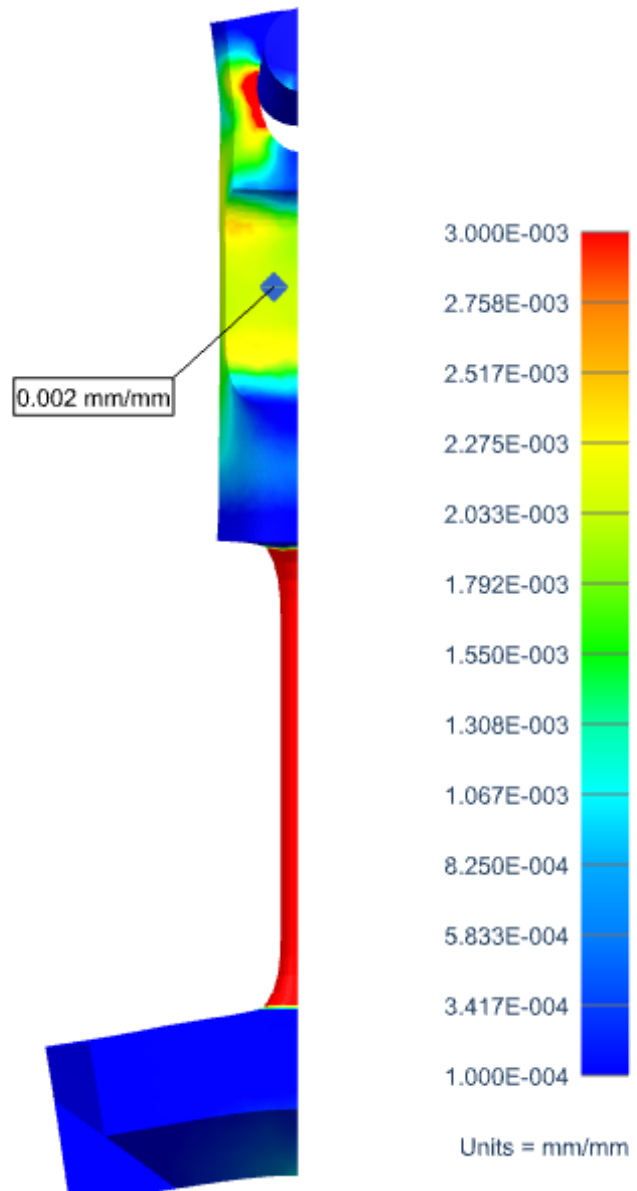
obr. 33 – Varianta 3

4.6.3.1. Varianta 1

První varianta je výrobně jednoduchá a disponuje dostatkem prostoru k instrumentaci tenzometry. Spektrum zbarvení je zvolené od 0,1 do 3 μm proto, aby bylo možné mapovat rozdíly ve strainu na ploše pod tenzometry.

Směr deformace	ZZ
Náhodně vybrané uzlové body	2,0132E-3
	1,9938E-3
	1,9650E-3
	1,9608E-3
	1,9850E-3
	1,9439E-3
	1,9788E-3
	1,9990E-3
	2,0137E-3
	2,0068E-3
	2,0022E-3
	1,9777E-3
	1,9626E-3
	1,9913E-3
	2,0163E-3
2,0000E-3	
minimum	1,9439E-3
maximum	2,0163E-3
průměr	1,9881E-3

tab. 5 – strain (varianta 1)



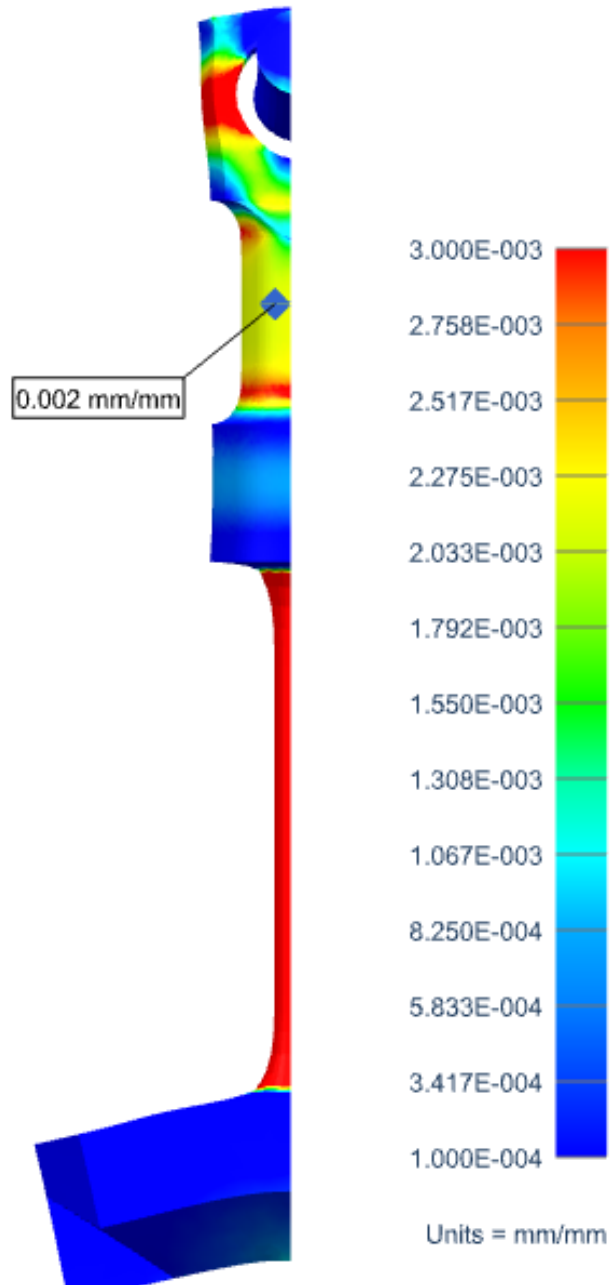
obr. 34 – strain (varianta 1)

4.6.3.2. Varianta 2

Druhá varianta je nejjednodušším řešením z hlediska výroby a má mnohem lepší geometrickou tuhost.

Směr deformace	ZZ
Náhodně vybrané uzlové body	2,0527E-3
	2,1216E-3
	2,1227E-3
	2,1259E-3
	2,1210E-3
	2,1324E-3
	2,1300E-3
	2,0631E-3
	2,1371E-3
	2,1293E-3
	2,1221E-3
	2,1283E-3
	2,1220E-3
	2,1046E-3
	2,1229E-3
	2,1159E-3
	2,0976E-3
	2,1245E-3
	2,1293E-3
	2,0919E-3
2,1172E-3	
2,1318E-3	
2,1028E-3	
minimum	2,0527E-3
maximum	2,1371E-3
průměr	2,1151E-3

tab. 6 – strain (varianta 2)



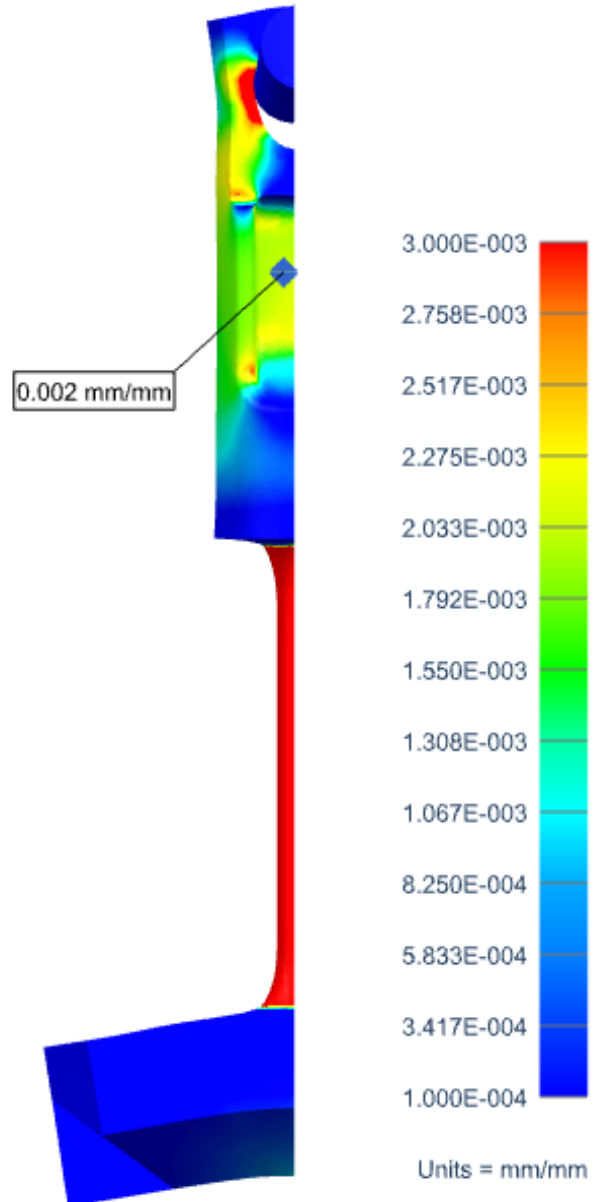
obr. 35 – strain (varianta 2)

4.6.3.3. Varianta 3

Třetí varianta kombinuje výhody předešlých variant. Disponuje dostatečnou plochou pro tenzometry a zároveň má dobrou geometrickou tuhost. Z hlediska výroby je ale tato varianta nejsložitější.

Směr deformace	ZZ
Náhodně vybrané uzlové body	1,9798E-3
	1,9546E-3
	2,1221E-3
	1,9798E-3
	1,9555E-3
	1,9552E-3
	2,0481E-3
	2,0191E-3
	2,0683E-3
	2,0318E-3
	2,0317E-3
	2,0749E-3
	2,1263E-3
	2,0049E-3
	1,9700E-3
	2,0394E-3
	1,9928E-3
	1,9926E-3
2,0073E-3	
2,0187E-3	
minimum	1,9546E-3
maximum	2,1263E-3
průměr	2,0186E-3

tab. 7 – strain (varianta 3)



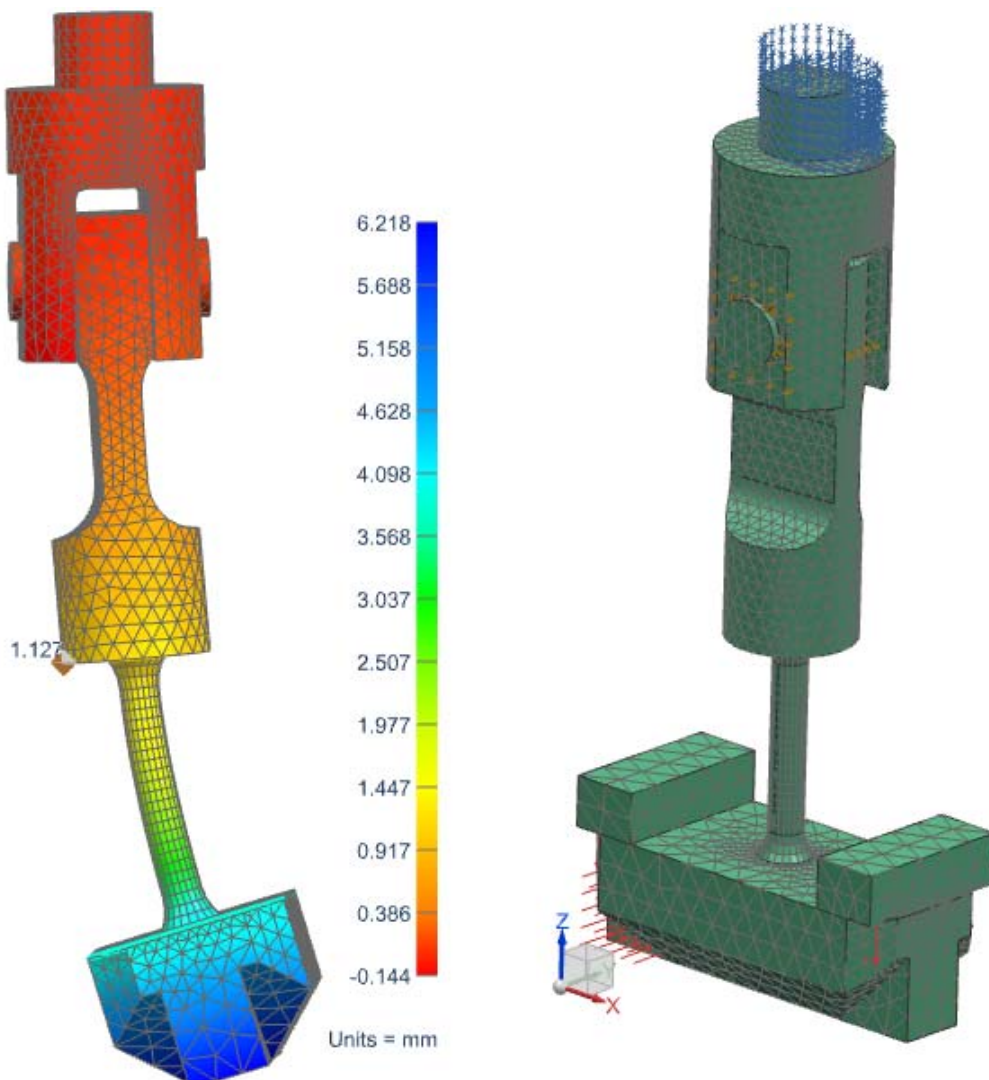
obr. 36 – strain (varianta 3)

4.6.4. Analýza geometrické pevnosti

Pro simulaci geometrické tuhosti byly vytvořeny nové simulace, kde již analyzovaná část nebyla brána jako čtvrtina, ale jako celek. Doba výpočtu rapidně narostla, ale jelikož jsme výpočet prováděli jenom jednou, mohli jsme si to dovolit. Pro zkrácení doby výpočtu musela být síť hrubší. Velikost síly vkládající do výpočtu nesymetrii byla zvolena 1000 N a velikost zatěžující síly byla vynásobena čtyřmi (126 000 N), neboť nyní zatěžujeme celý průřez. Abychom dosáhli relevantní informace o geometrické pevnosti součásti, měříme posunutí (displacement) ve směru osy Y (směr působení boční síly). Posunutí měříme v konkrétním bodě na hraně součásti tak, abychom mohli navrhnuté varianty porovnávat.

4.6.4.1. Varianta 1

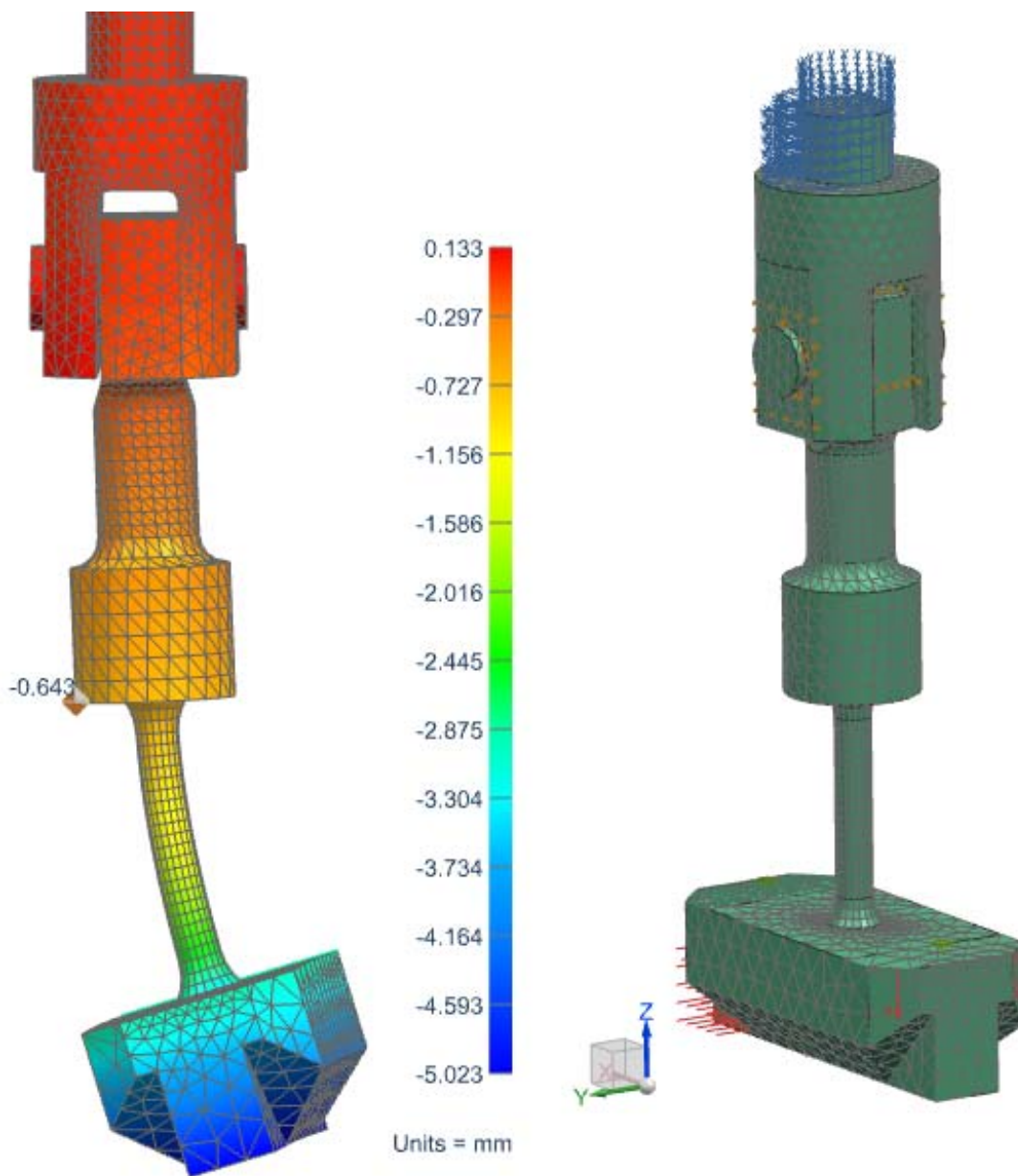
U první varianty bylo naměřeno posunutí 1.127 mm. Vybraný bod měření je vidět na obr. 37. Tento bod zůstává pro všechny varianty stejný.



obr. 37 – Analýza vlivu boční síly (Varianta 1)

4.6.4.2. Varianta 2

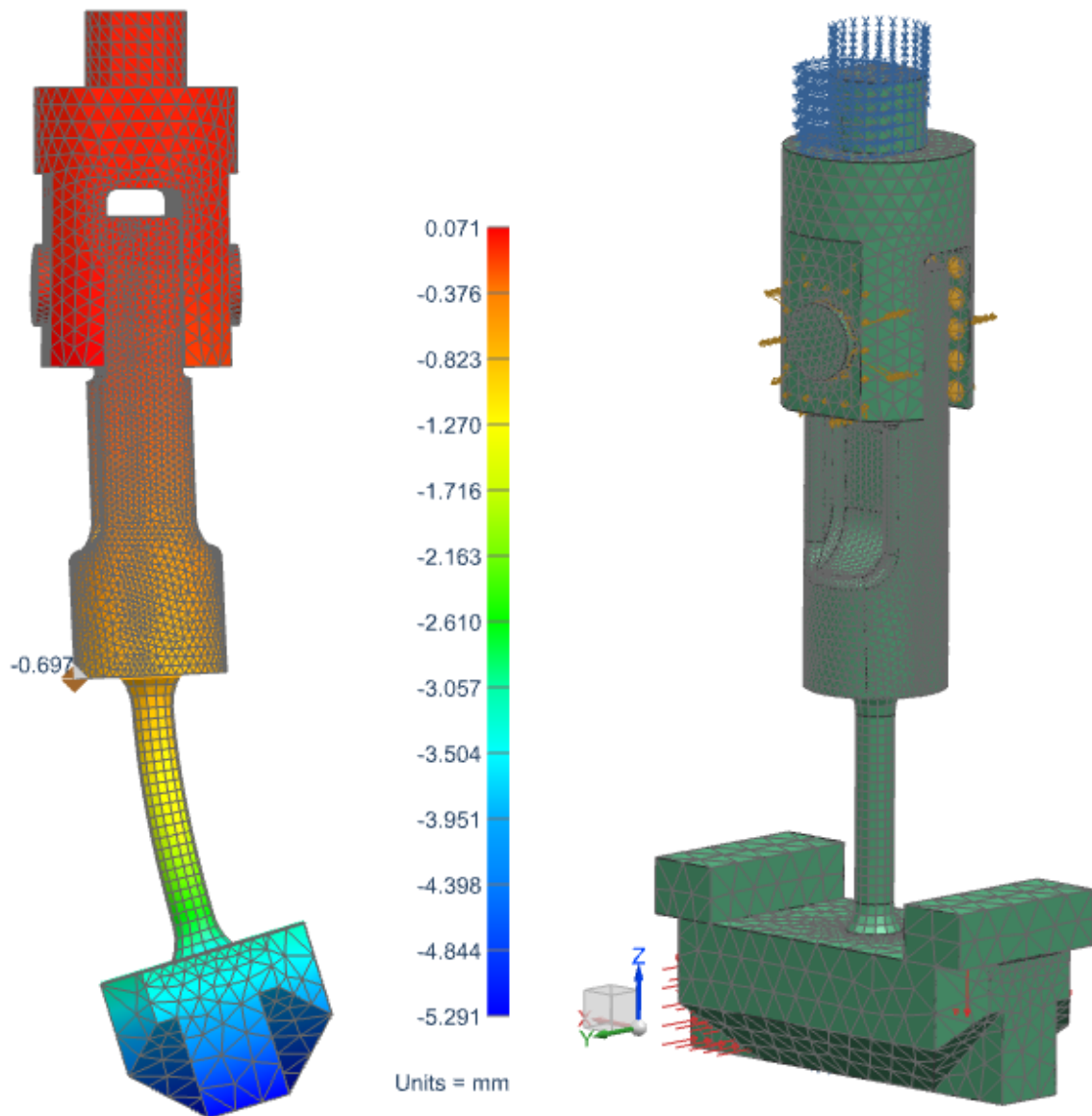
Geometrie této součásti disponuje vyšší odolností proti ohybu, proto zde bylo naměřeno posunutí 0.643 mm.



obr. 38 – Analýza vlivu boční síly (Varianta 2)

4.6.4.3. Varianta 3

V této variantě došlo k posunutí ve vybraném bodě o 0.697 mm.



obr. 39 – Analýza vlivu boční síly (Varianta 3)

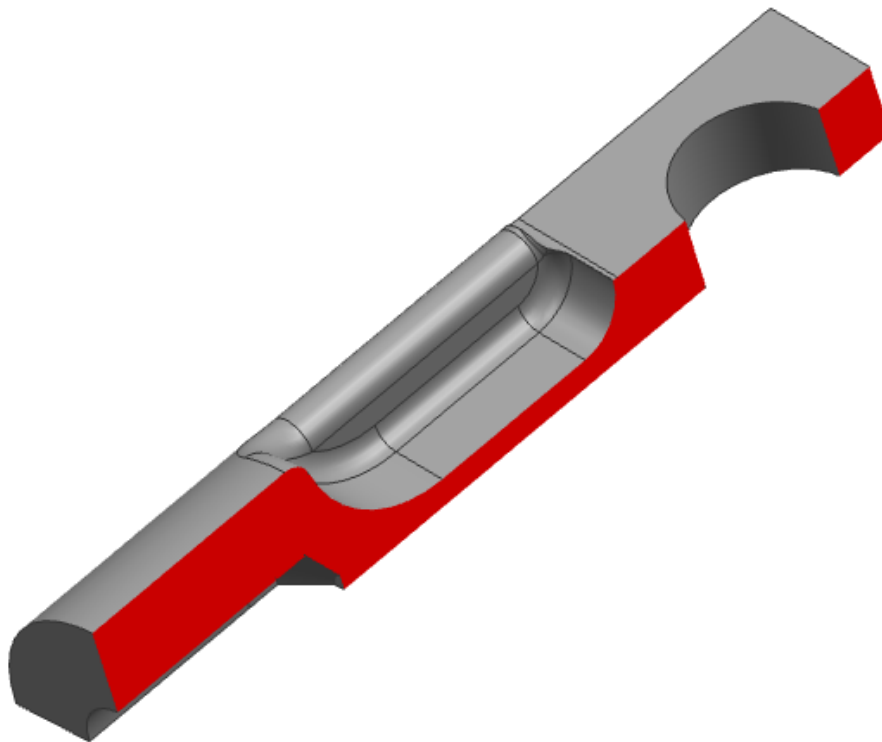
4.6.5. Výběr varianty

Při výběru varianty byla nejdůležitějším kritériem geometrická tuhost. Jakákoli deformace vlivem nesymetrických sil by zanášela chybu do měření a v případě plastických deformací by došlo k znehodnocení součásti. Dalším kritériem byla vhodnost k instrumentaci tenzometrů. Plochý povrch je vhodný k instrumentaci, kulatý povrch vhodný není a povrch se zahloubením mírně ztěžuje instrumentaci. Všechny hodnoty kritérií a známky jednotlivých variant jsou zaneseny do tabulky 8.

Varianta \ Kriterium	Důležitost	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Tuhost	5	2	5	5
Vhodnost instrumentace	4	5	1	4
Jednoduchost výroby	3	5	5	3
Výsledek	-	45	44	50

tab. 8 – srovnávací tabulka pro výběr varianty

Na obr. 40 je vidět vítězná varianta. Během optimalizace průřezu došlo k drobným změnám tvaru.



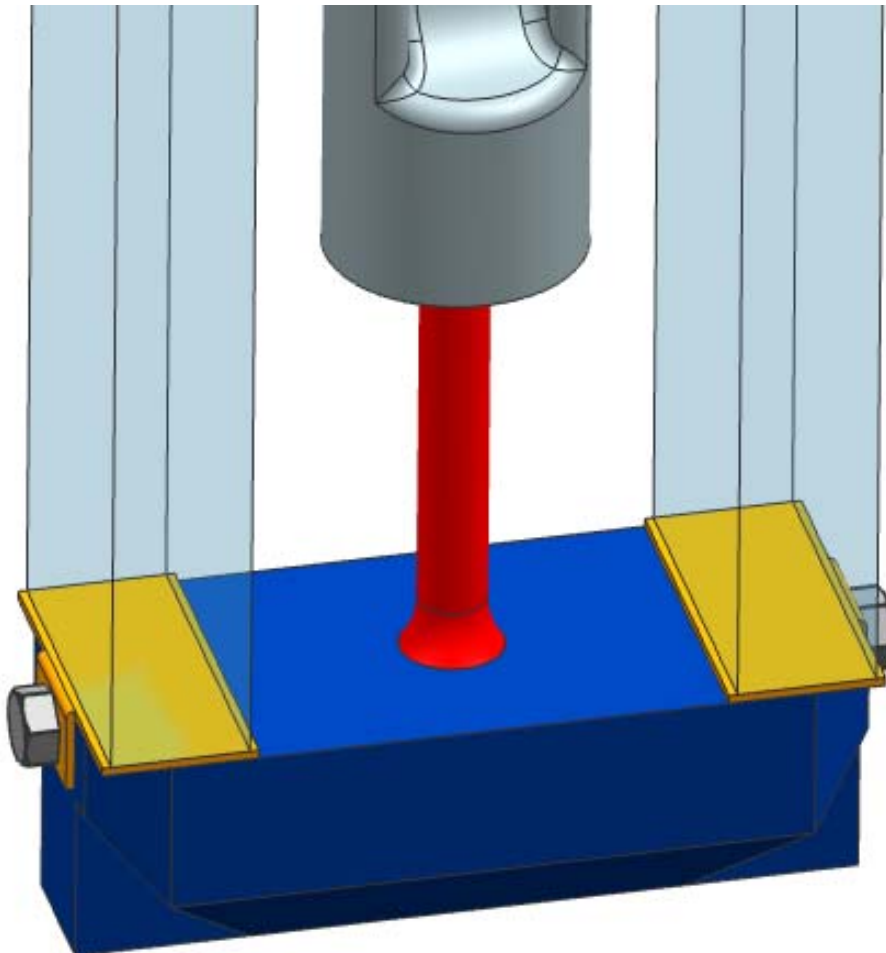
obr. 40 – Řez vítěznou třetí variantou

4.7. Variabilita

Požadavek na variabilitu přípravku, tedy možnosti jeho použití na větší škálu průměrů byl po dohodě se zadavatelem vypuštěn. Požadavek na zkoušení větších vzorků není a v případě potřeby zkoušení menších vzorků, by se mohl přípravek opatřit závitovými vložkami. Nicméně vzhledem k tomu, že optimální vlastnosti přípravku jsou spočítány pro zkušební tyčinku $\varnothing 8$ mm, a vzhledem k jeho drobným rozměrům je výhodnějším řešením vyrobit přípravek na míru danému vzorku. V současné době ale zatím není potřeba zvyšovat škálu průměrů zkušebních tyčinek.

4.8. Redukce vibrací

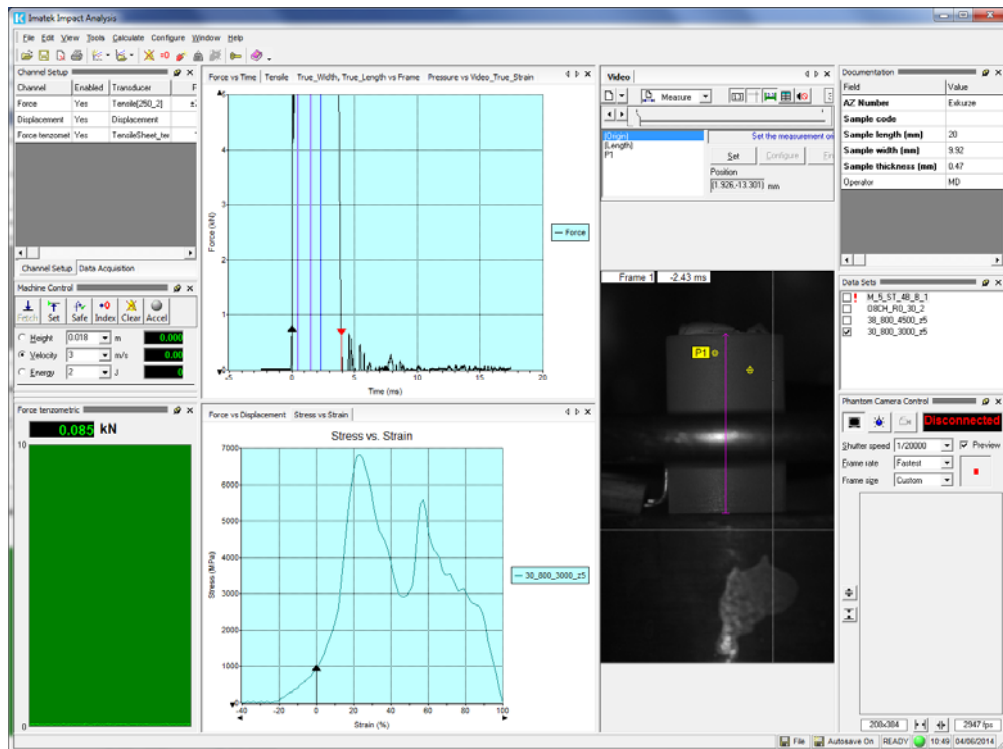
Vibrace jsou do přípravku vnášeny v momentě dopadu razníku na upínací díl. Pro tlumení těchto vibrací byly navrženy plíšky z měkkého materiálu připevněné právě na dopadové plochy. Z toho důvodu musí být spodní upínací díl opatřen dírami pro šroubky na jejich upevnění.



obr. 41 – Připevnění tlumících plíšků

4.9. Povrch přípravku z pohledu zpracování záznamu

Videozáznamy jsou zpracovávány softwarem dodaným společností Imatek (více v kapitole 2.7.) a dále DIC systémem Aramis (DIC = Digital Image Correlation). První zmíněný software dokáže rozpoznat samostatné objekty na obraze a následně vyhodnotit jejich deformaci. Pro usnadnění rozpoznávání objektů na videu bylo zvoleno vyleštit snímané plochy na přípravku, aby byly dobře rozeznatelné od vzorku. Pro systém Aramis je třeba opatřit vzorky speciálním nátěrem, ale žádné další úpravy na přípravku nevyžaduje.



obr. 42 – ukázka rozpoznávání vzorku



obr. 43 – P1 – bod na vzorku,
čára kalibrace



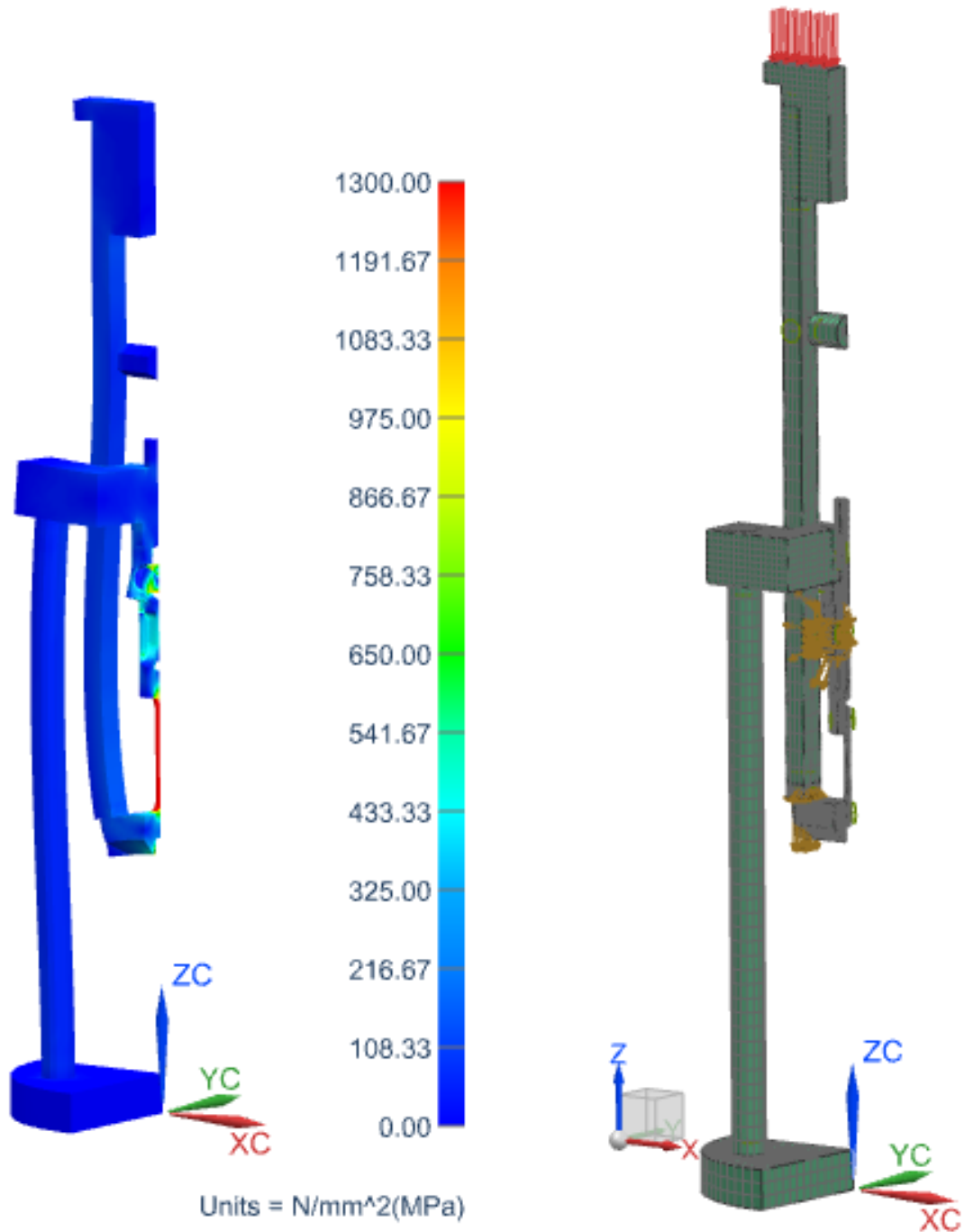
obr. 44 – posunutí bodu při
deformaci

5. Pevnostní analýza

Kontrola výsledné varianty na statickou pevnost byla provedena metodou MKP a analyticky.

5.1. MKP analýza

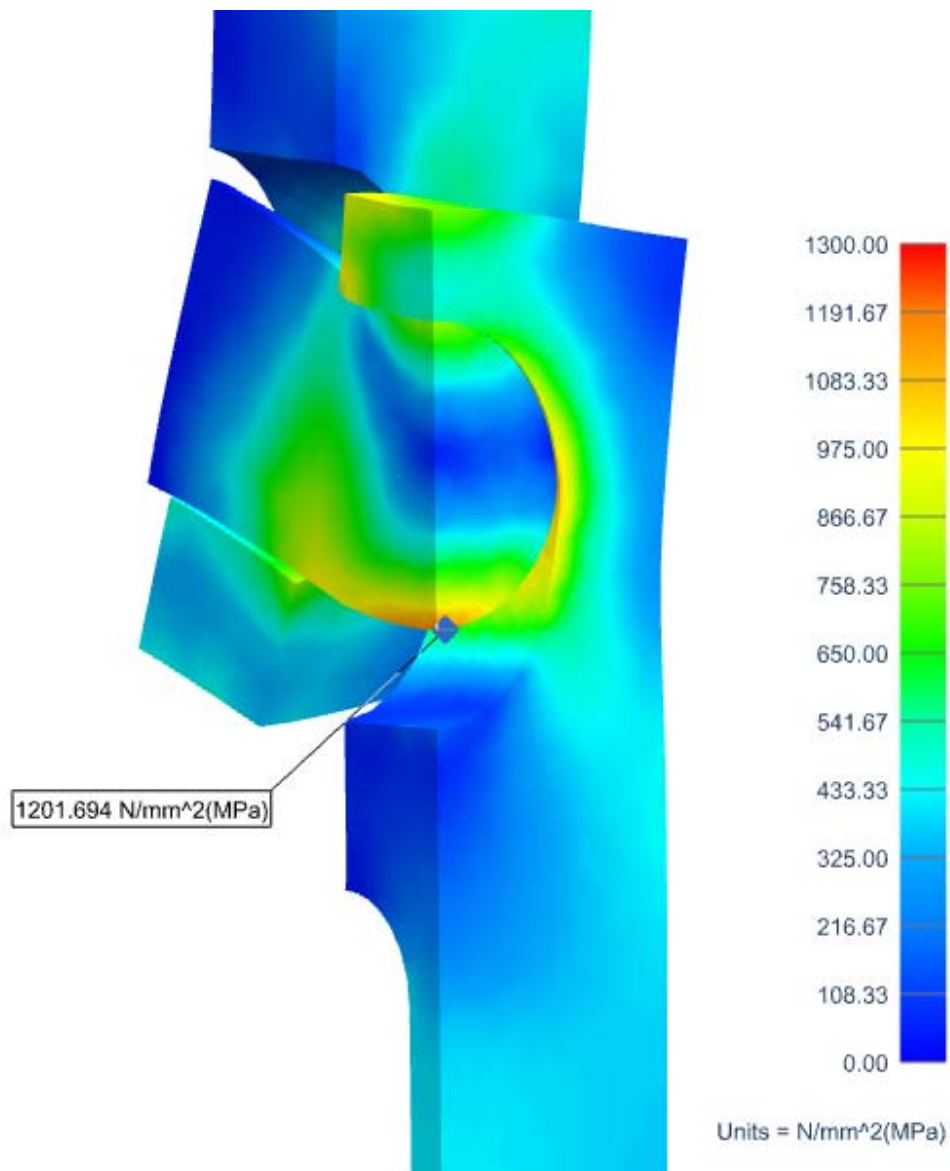
Protože je přípravek symetrický, byla analyzována pouze jeho čtvrtina. Spektrum zbarvení je posunuto tak, abychom znázornili nebezpečná místa. MKP byla aplikována stejným způsobem jako v kapitole 4.6.2. Znázorněná deformace je desetkrát zvětšená.



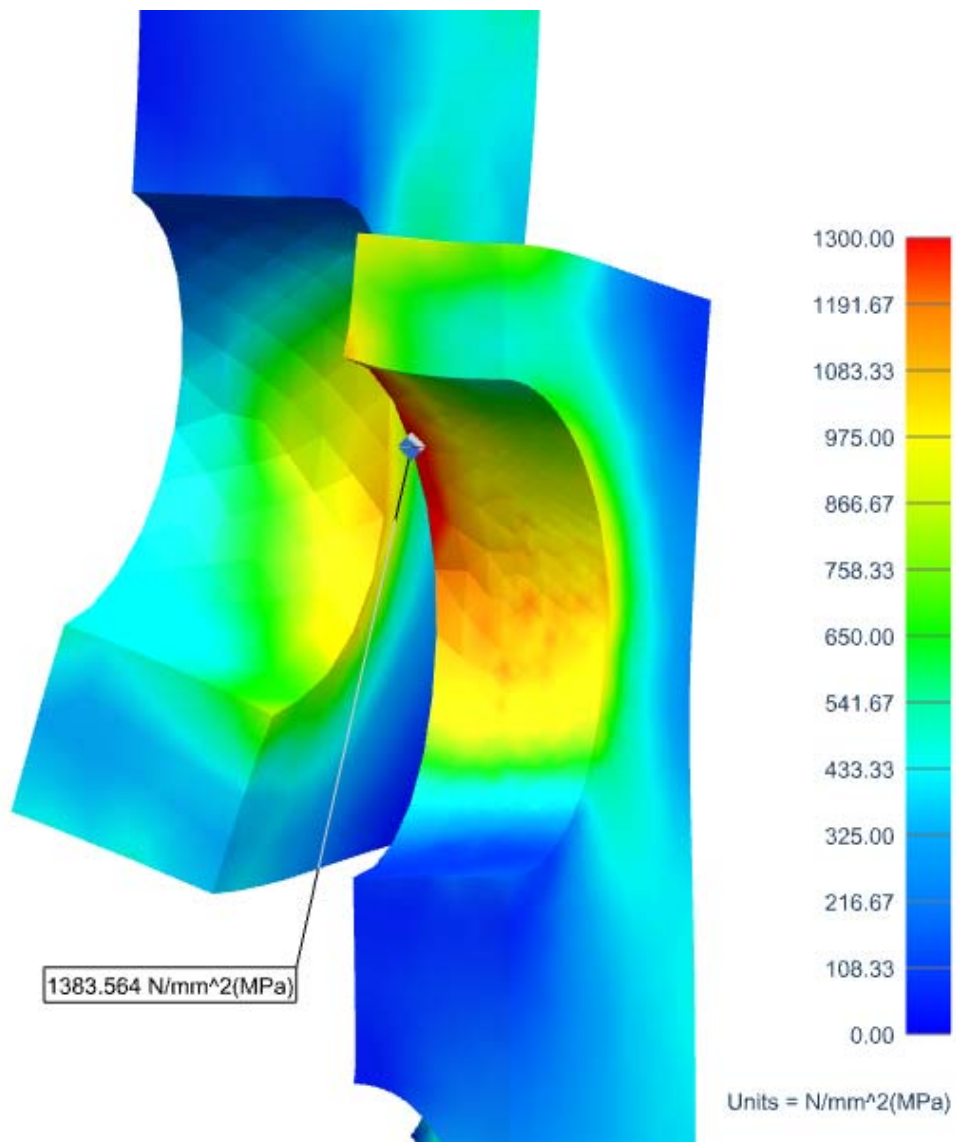
obr. 45 – vpravo nasítovaná a vlevo simulovaná čtvrtina sestavy přípravku

5.1.1. Nebezpečná místa na přípravku

Pomocí MKP byla nalezena nebezpečná místa na přípravku. Jedná se o čep a jeho okolí.



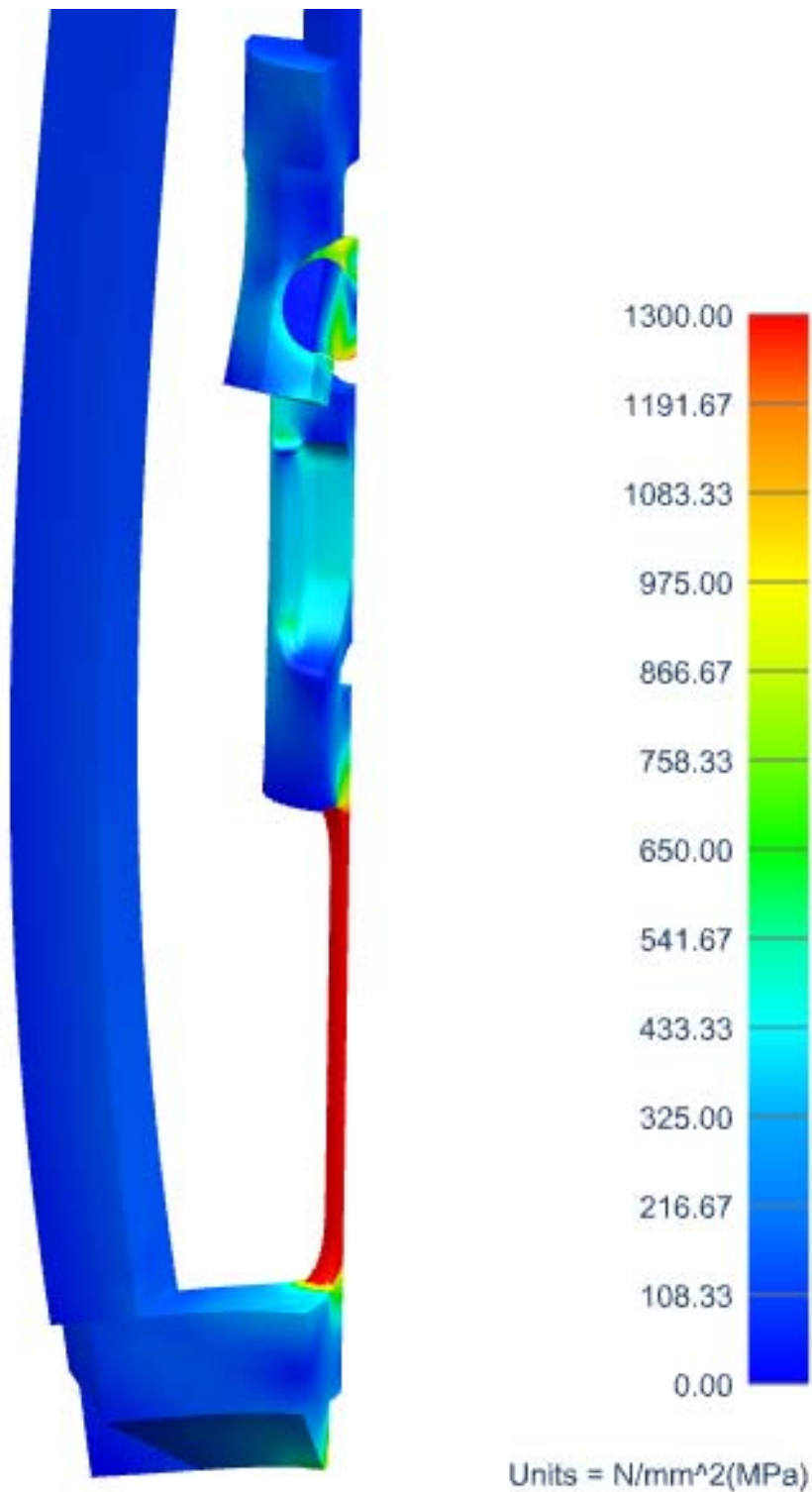
obr. 46 – tahové namáhání čepu dosahuje 1202MPa



obr. 47 – Na horním upínacím dílu je vyvozeno otláčení velikosti 1384MPa

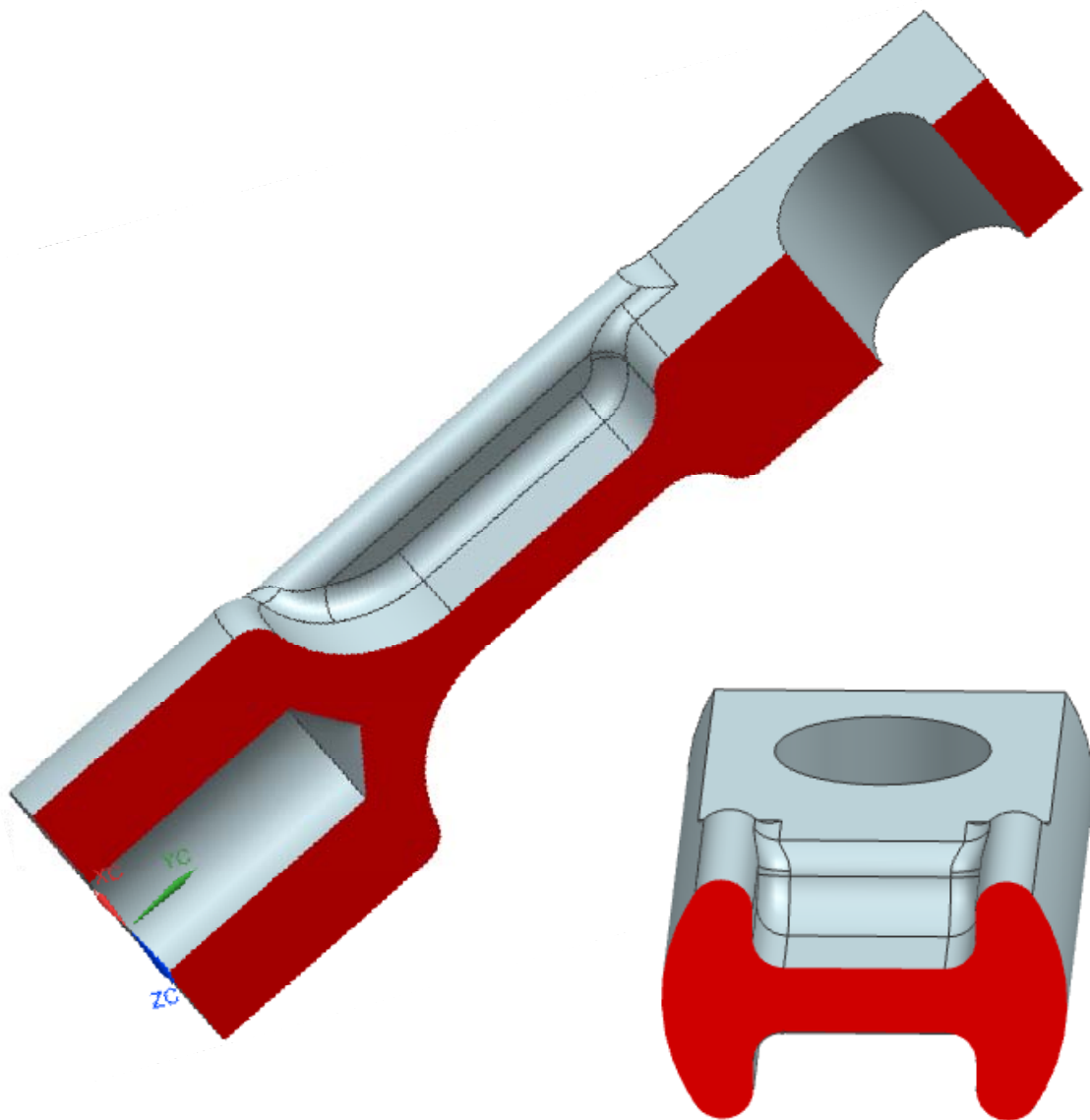
5.1.2. Ostatní namáhaná místa

Dále je namáhané okolí zkušební tyčinky. Závity, jimiž je vzorek přišroubován, budou zkontrolovány analyticky. Přejechod na horním upínacím dílu mezi I profilem a obdélníkovým profilem vytváří nepříznivé vruby, proto byla provedena úprava znázorněna na obr. 49. Cílem úpravy bylo separovat vruby od sebe, aby byl snížen jejich účinek.



obr. 48 – ostatní namáhaná místa

Na obr. 49 je vidět finální tvar upínacího dílu, vruby na přechodech mezi I profilem a obdelníkovým profilem byly separovány od sebe. Z tohoto důvodu byla součást také mírně prodloužena.



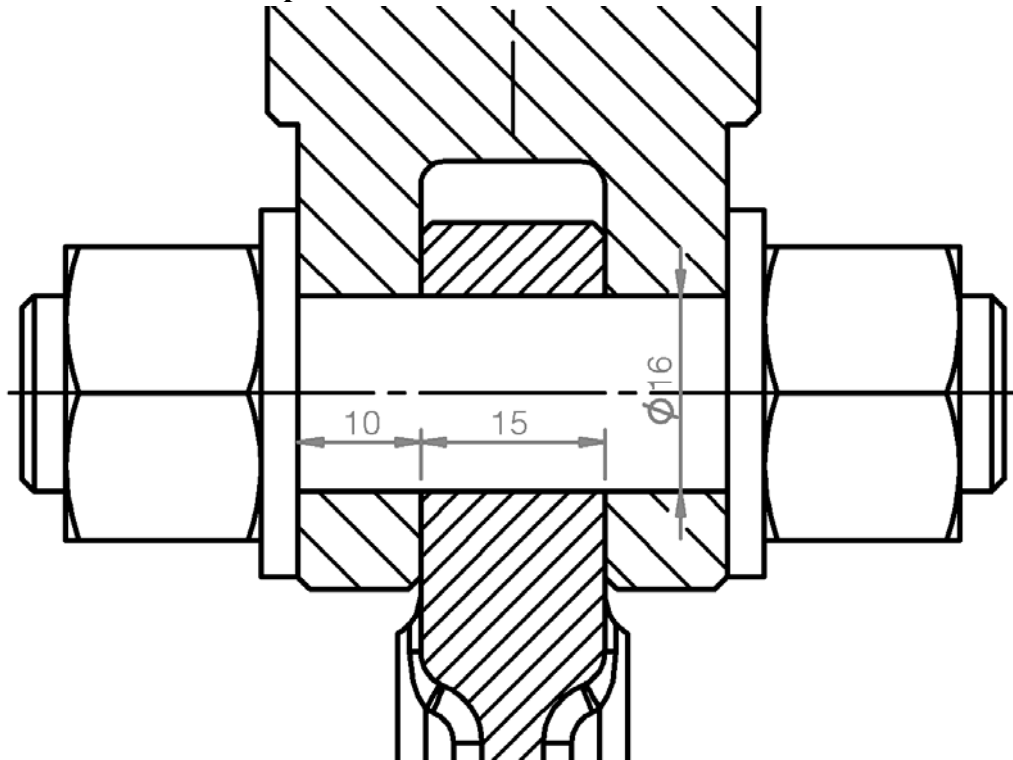
obr. 49 – finální tvar upínacího dílu

5.2. Analytické výpočty

Jelikož čep byl shledán jako nebezpečné místo, byly na něm provedeny pevnostní výpočty i analyticky. Dále bylo potřeba spočítat namáhání v závitech, neboť ty byly v MKP zanedbány. Zatěžující síla se opět rovnala síle potřebné pro přetržení zkušební tyčinky $\varnothing 8\text{mm}$ pevnosti 2500 MPa.

$$F = \sigma * \frac{\pi d^2}{4} = 2500 * \frac{\pi * 8^2}{4} \doteq 126000 \text{ N}$$

5.2.1. Namáhání čepu



obr. 50 – Detail sestavy v řezu v místě čepu

$$\tau = \frac{F}{S} = \frac{F}{2 * \frac{\pi d_{\check{c}}^2}{4}} = \frac{2 * 126000}{\pi * 16^2} = 313 \text{ MPa} \quad (2)$$

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F}{b * d_{\check{c}}} = \frac{126000}{15 * 16} = 525 \text{ MPa} \quad (3)$$

5.2.2. Namáhání závitů

Na přípravku se nachází tři závity. Dva M12x1,5 o délce 19 mm a jeden M20x2,5 na kterém je matice o tloušťce 18mm.

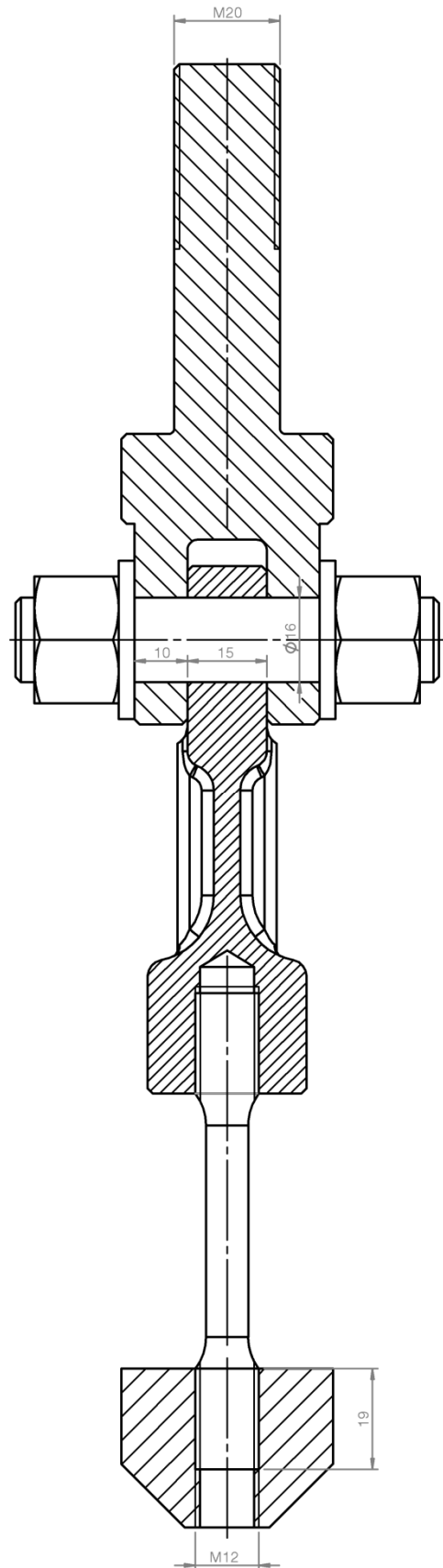
$$p = \frac{F}{S} = \frac{F}{0,5 * \pi * d_2 * H_1 * \frac{L_m}{p_H}} \quad (4)$$

$$p_{M12} = \frac{126000}{0,5 * \pi * 11,513 * 0,920 * \frac{19}{1,5}}$$

$$p_{M12} = 597 \text{ MPa}$$

$$p_{M20} = \frac{126000}{0,5 * \pi * 18,376 * 3,067 * \frac{18}{2,5}}$$

$$p_{M20} = 198 \text{ MPa}$$



obr. 51 – Sestava s potřebnými rozměry

6. Materiál

Pro vyráběné součásti přípravku byl na základě pevnostních výpočtů zvolen materiál 1.2379.

Číslo materiálu	EN	ČSN	DIN
1.2379	X160CrMoV121	19 573	X155CrMoV12-1

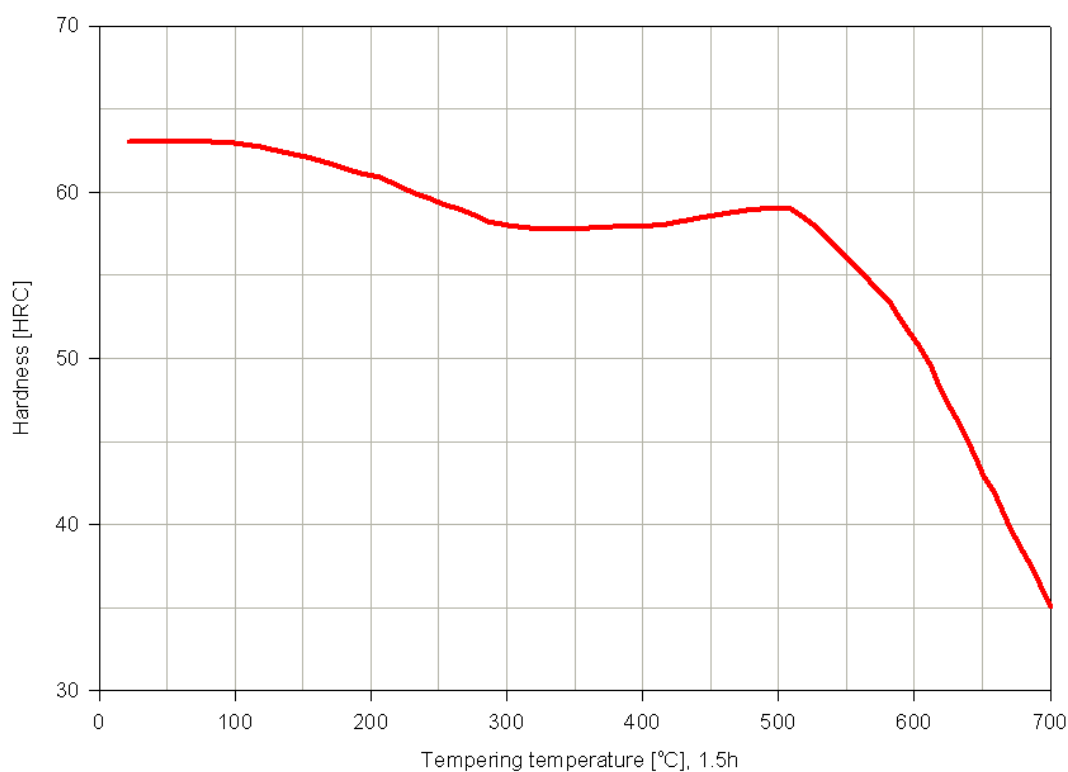
tab. 9 – Označování materiálu

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W
1,53	0,35	0,40	12,00	1,00	-	0,85	-

tab. 10 – chemické složení materiálu

Modul pružnosti E [MPa]	Hustota [g/cm ³]	Tepelná vodivost [W/m.K]	Elektrický odpor [Ω]	Tepelná kapacita [J/g.K]
2,1 x 10 ⁵	7,70	20,0	0,65	0,46

tab. 11 – fyzikální vlastnosti materiálu



obr. 52 – diagram závislosti tvrdosti HRC na popuštěcí teplotě

6.1. Charakteristika materiálu

Materiál 1.2379 je chrom - molybden - vanadová ocel s velkou prokalitelností ke kalení v oleji a na vzduchu. Zvláště vysoká je odolnost proti opotřebení, dobrá řezivost, velmi vysoká pevnost v tlaku a menší houževnatost. Tato ocel vykazuje dobrou stálost rozměrů při tepelném zpracování a je vhodná ke kalení na sekundární tvrdost (možnost nitrídování). Dále se ocel velmi obtížně brousí, obtížně tváří za tepla a má poněkud ztíženou obrobitelnost v žíhaném stavu. [2]

6.2. Vhodnost použití materiálu

Materiál 1.2379 je vhodný pro: nástroje pro stříhání za studena tj. všechny druhy nástrojů s velkou životností, pro stříhání na lisech a děrování materiálů menších tloušťek a materiálů vysoké pevnosti (zejména tvarově složitě nástroje pro stříhání např. transformátorových plechů a plechů z nerezavějících ocelí), pro nože pro tabulové nůžky na plech a pásovou ocel do tloušťky stříhaného materiálu cca 10 mm, nože na stříhání drátu apod. Dále je vhodný pro nástroje pro tváření jako jsou např. menší průvlekáky a nástroje pro tažení, všechny druhy nástrojů na přetváření a ražení materiálů. Také je tato ocel vhodná na jednoduché a symetrické nástroje na protlačování a tlačení, nástroje na válcování závitů, hladké a profilové válce, kovařky i pro práce za tepla. Dále pro nástroje řezné jako jsou protahovací a protlačovací trny, profilové nože a tvarově složitě frézy pro menší řezné rychlosti a pro obrábění nekovových abrazivních materiálů. Dále ocel nachází uplatnění při výrobě velmi namáhaných forem a jejich částí pro tváření plastických a práškových hmot, skla, porcelánu a keramických materiálů. U nástrojů na drcení a mletí se používá na kladiva drtičů a čelisti pro jemné mletí a drcení. [2]

6.3. Cena materiálu

V ceníku společnosti Bolzano se cena materiálu 1.2379 pohybuje okolo 120Kč za kilogram, tedy cena této nástrojové oceli není vysoká.

6.4. Tvrdost a pevnost v tahu

Tvrdost oceli 1.2379 dosahuje 63 HRC, pro náš případ uvažujeme tvrdost 61 HRC, abychom jsme se neocitali přímo na horní hranici tvrdosti a zohlednili možnost, že přípravek může pracovat při vyšších teplotách, například při zkoušce s indukčním ohřevem.

Z tvrdosti 61 HCR můžeme zjistit aproximovanou hodnotu pevnosti v tahu. Ta podle webu efunda.com [4] dosahuje 2575 MPa. Mezi tvrdostí HRC a pevností v tahu není přímý analytický vztah, proto zde není uveden.

6.5. Zhodnocení pevnosti součástí přípravku

Nejvíce namáhaný je horní upínací díl (1384 MPa) na tlak a čep (1202 MPa) na tah. Porovnáme-li tyto hodnoty s mezí pevnosti, dostáváme bezpečnost 2,14 na tah a 1,86 na tlak.

$$s_{kt} = \frac{2575}{1202} = 2,14$$

$$s_{kt} = \frac{2575}{1384} = 1,86$$

Otlačení od čepu dosáhlo hodnoty 525MPa a otlačení v závitech zkušební tyčinky dosáhlo hodnoty 597MPa. Abychom zjistili dovolené otlačení, bylo přistoupeno k přepočtu z tabulkové hodnoty dovoleného tlakového napětí daného Rm. Vycházíme přitom ze strojírenských tabulek, kde pro slitinovou ocel Rm 800MPa odpovídá $\sigma_{Dd} = 340$ MPa. Dále z webu efunda.com zjistíme odpovídající tvrdost 23 HRC. Dovolené tlakové napětí je následně poděleno bezpečností proti otlačení 1,25. Výsledné dovolené otlačení znázorňuje následující vztah.

$$p_d = \frac{61}{23} * 340 * \frac{1}{1,25} = 721 \text{MPa}$$

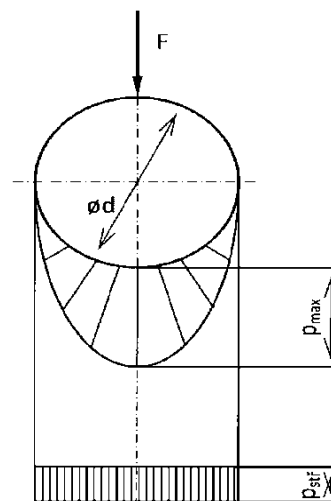
Vypočtené hodnoty otlačení se pohybují pod dovolenou hodnotou, a tudíž z tohoto pohledu součást vyhovuje.

Pro tvrdost 62-64 HRC jsou hodnoty dovolených Hertzových tlaků pro vzájemně se nepohybující tělesa okolo 1800 - 2000 MPa. Uvažujeme-li sinusový průběh tlaku mezi plochami, který nastává v krajním nejhorším případě, bude hodnota Hertzovo tlaku:

$$p_{max} = 2 * p_{stř} \quad (5)$$

$$p_{max} = 2 * 525 = 1050 \text{MPa}$$

Z tohoto hlediska čep vyhovuje .

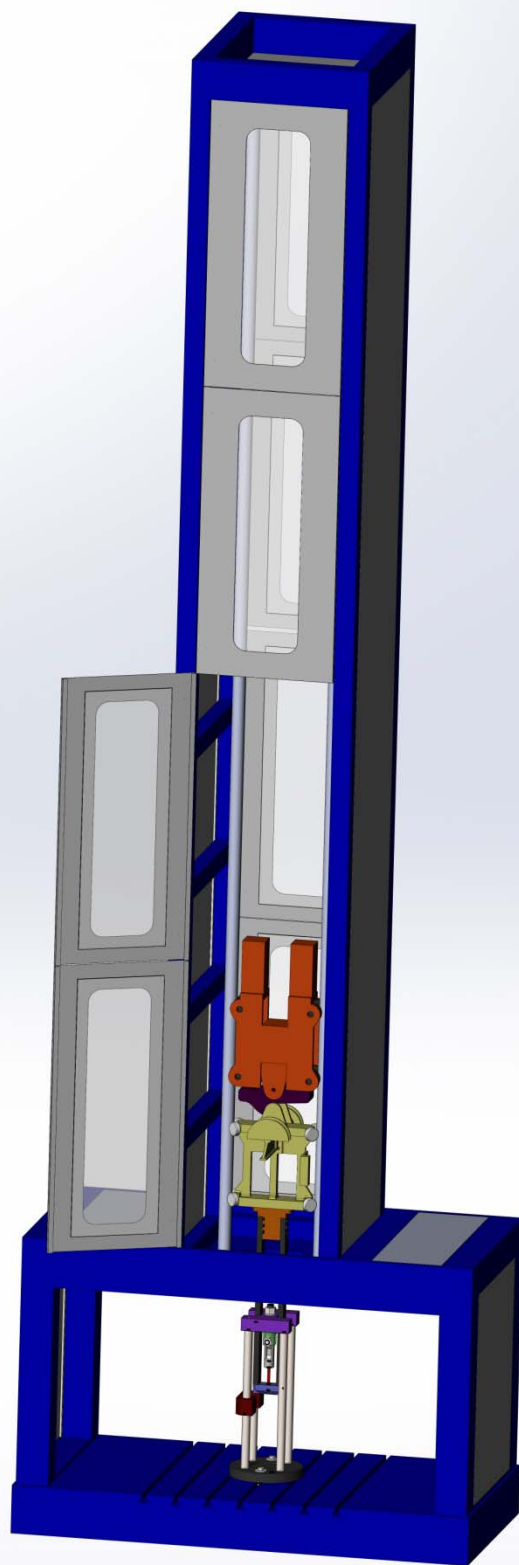


obr. 53 – sinusový průběh tlaku

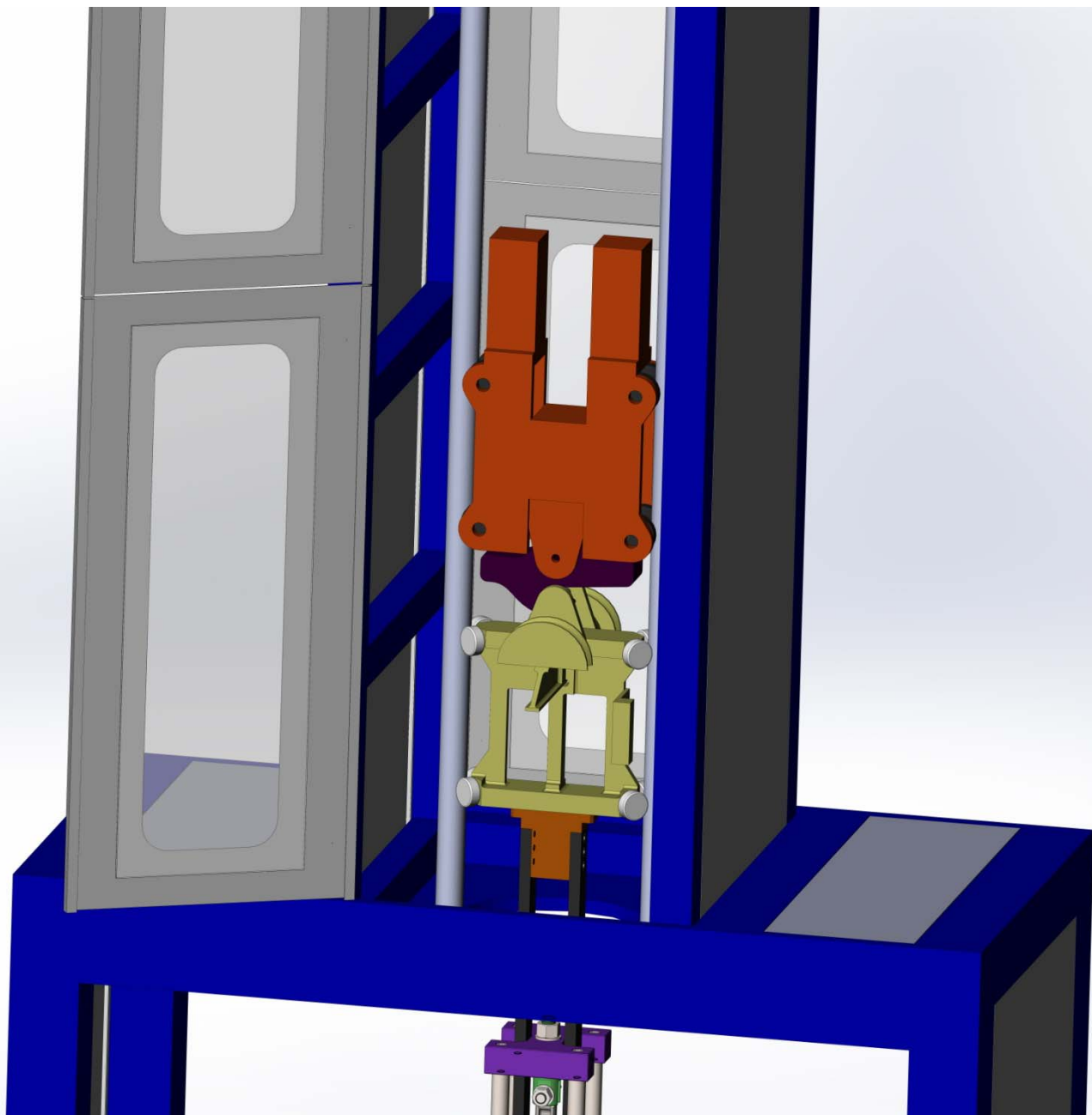
Jediná namáhaná součást, která není z materiálu 1.2379 je matice M20. Závit je namáhaný 198MPa na otlačení. Použijeme-li matici s označením 10.9 a tedy s mezí kluzu 900MPa, můžeme ze strojírenských tabulek odečíst hodnotu dovoleného tlaku 595 MPa. Dovolené otlačení (dovolžený tlak podělený bezpečností na otlačení 1,25.) je 476 MPa a tedy Matice M20 vyhovuje.

$$p_D = \frac{595}{1,25} = 476 \text{MPa}$$

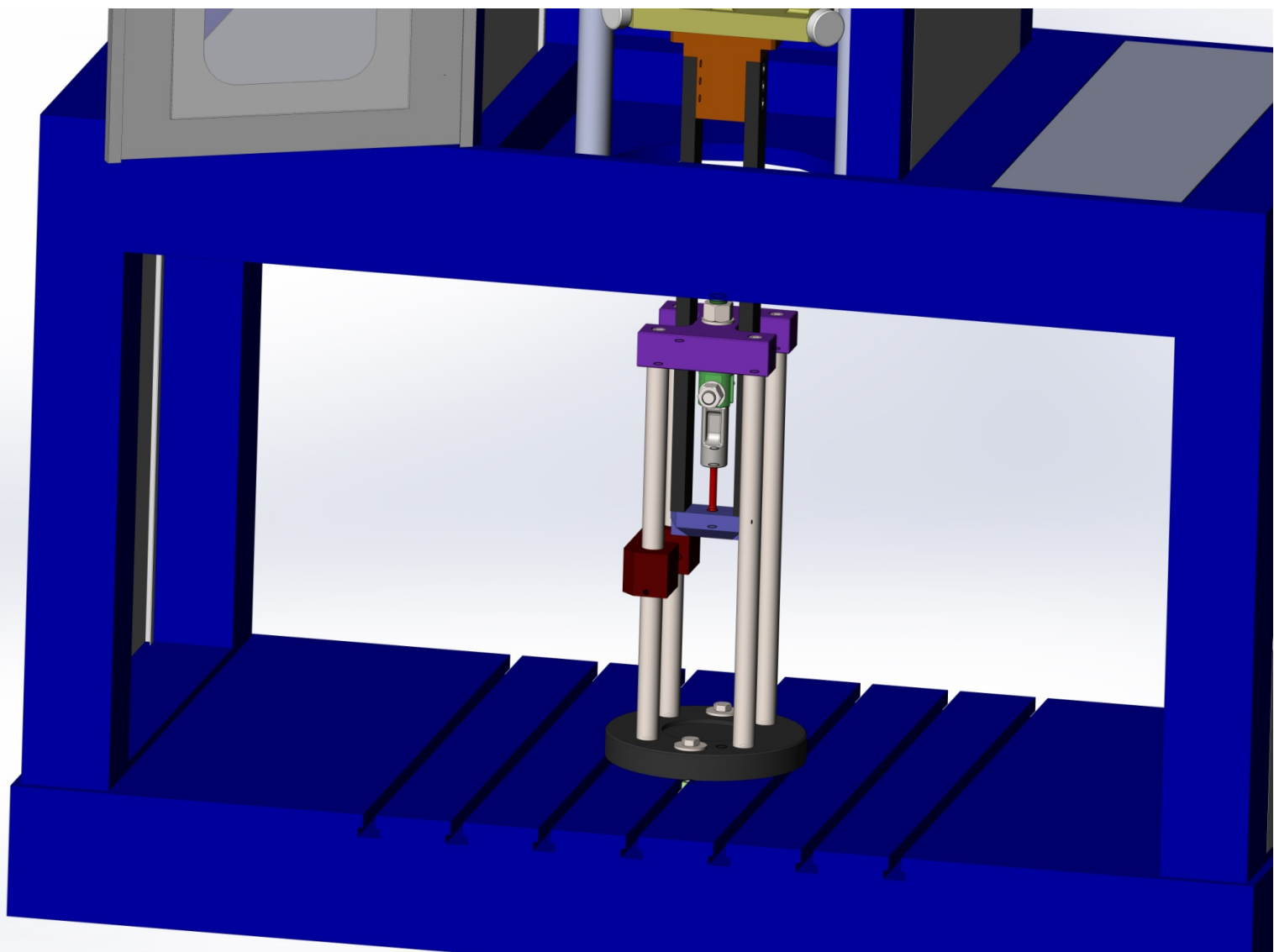
Snímky modelu padostroje



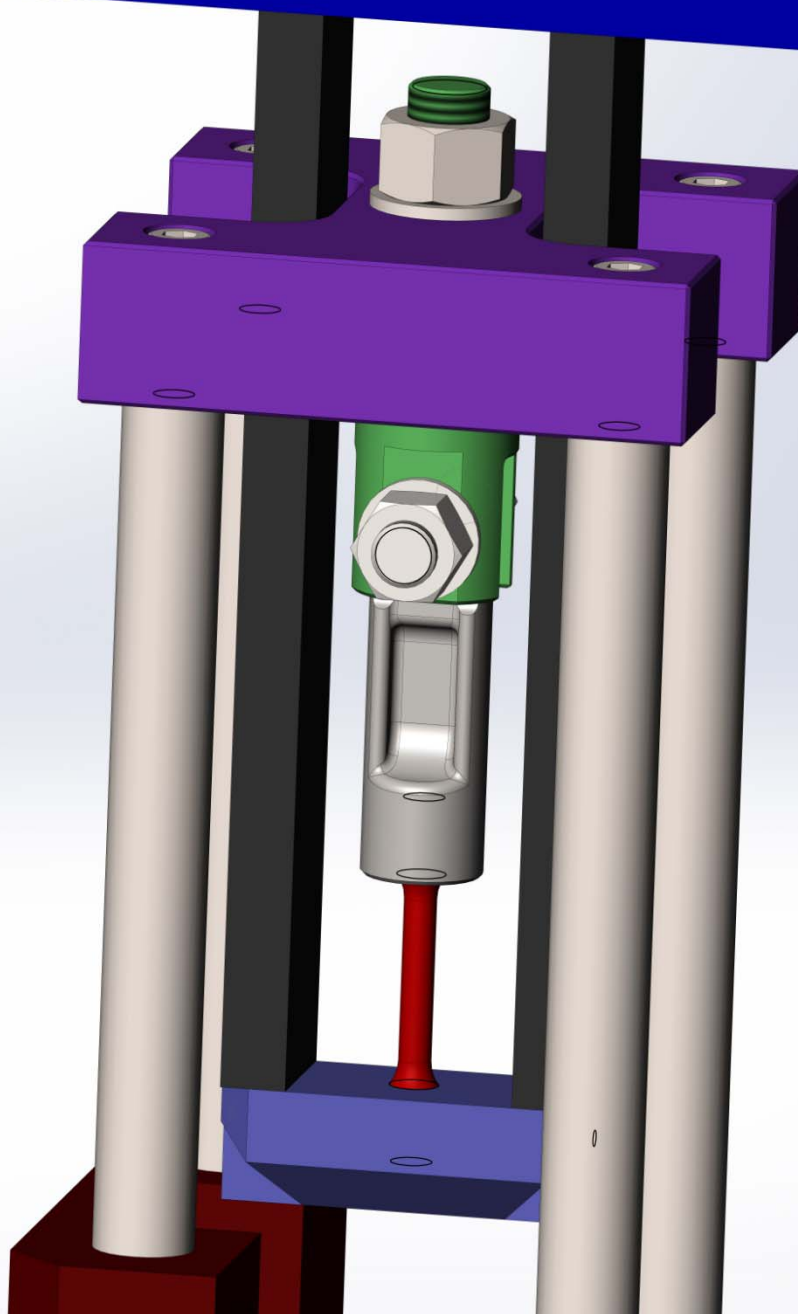
obr. 54 – celková sestava



obr. 55 – pohled na uvolňovací zařízení a beran



obr. 56 – přípravek upevněný v padostroji



obr. 57 – pohled na vyráběné části přípravku

7. Závěr

Padostroj umožňuje dosáhnout vysokých deformačních rychlostí, jaké konvenční servohydraulické stroje nedosahují. Pokud je požadavek nabízet rázové dynamické zkoušky materiálu při těchto vyšších rychlostech, je pro nás padostroj optimálním řešením a v některých případech dokonce jediným možným řešením k provádění požadovaných zkoušek.

Cílem této práce bylo navrhnout přípravek pro tahovou zkoušku na padostroji a nalézt optimální tvar pro upínací čelisti z hlediska instrumentace tenzometrů při dosažení dostatečné tuhosti součástí. Součástí práce je zhodnocení současné nabídky padostrojů, rešerše technických vlastností a možností použití. Dále klasifikace řešeného problému a diskuse nad požadavky. Hlavní částí práce byl kompletní návrh přípravku včetně modelové a výkresové dokumentace. V neposlední řadě byl vytvořen model celého padostroje.

Největší důraz byl kladen na tvar horního upínacího dílu. Byly navrženy tři varianty řešení a pomocí MKP a rozhodovací analýzy byla vybrána varianta nejvhodnější, ačkoli nejnáročnější na výrobu.

Přípravek byl zkontrolován pomocí MKP a analytickými výpočty. Pro vyráběné součásti byl vybrán materiál 1.2379. Z hlediska tohoto materiálu byly součásti shledány vyhovující.

Při návrhu a optimalizaci přípravku bylo vycházeno z technické dokumentace a z původních přípravků od společnosti Imatek. Veškeré detaily a závěry byly konzultovány se zadavatelem.

Pro tvorbu modelů a výkresů byl použit program SolidWorks 2014 a pro MKP analýzu byl použit program Siemens NX 8.5.

V době odevzdání této práce byl přípravek v posledním připomínkovém řízení s konstruktéry a obsluhou stroje u zadavatele.

Seznam použitých zdrojů

- [1] *Technical Specification IM10T-30*
<<http://www.imatek.co.uk/downloads/im10t-30techspec.pdf>> [cit. 16. 12. 2013]
- [2] *JKZ Bučovice a.s. – W.NR. 1.2379*
<<http://jkz.cz/node/152>> [cit. 3. 6. 2014]
- [3] *Bolzano.cz*
<<http://www.bolzano.cz/assets/files/NO/Cen%C3%ADk%20n%C3%A1strojov%C3%BDch%20ocel%C3%AD%20sklad%20Kladno%20%202012.pdf>> [cit. 3. 6. 2014]
- [4] *efunda.com - Rockwell C-Scale Hardness - Brale indenter, 150 kgf load*
<http://www.efunda.com/units/hardness/convert_hardness.cfm?HD=HRC&Cat=Steel#ConvInto> [cit. 3. 6. 2014]
- [5] HOSNEDL, S. aj. Příručka strojího inženýra.
<<http://www.southwind.net/mjever/temp.html>> Pzeň: ZČU-KKS, 1998.

Tabulky

- 2, 3, 4. *Technical Specification IM10T-30*
<<http://www.imatek.co.uk/downloads/im10t-30techspec.pdf>> [cit. 16. 12. 2013]
- 9, 10, 11. *Metal Ravne Steel Selector*
<<http://www.metalravne.com/selector/steels/ocr12vm.html>> [cit. 2.6.2014]

Obrázky

1. *Development of a Helmet Test Rig*
<<http://article.sapub.org/10.5923.j.textile.20130201.03.html>> [cit. 12. 2. 2014]
2. *WANCE: Material Testing Machines for Tensile, Compression, Impact...*
<<http://www.wance.net/product/product.html?typeid=12>> [cit. 12. 2. 2014]
3. *Imatek – News*
<<http://www.imatek.co.uk/news-item.php?id=29>> [cit. 23.10.2013]
4. *COMTES FHT a.s. | Padostroj IMATEK IM10T-30HV*
<<http://www.comtesfht.cz/aktuality/padostroj-imatek-im10t-30hv>> [cit. 22. 2. 2014]
5. *Instron CEAST 9350 Drop Tower Impact System*
<<http://www.instron.com/wa/product/CEAST-9350-Drop-Tower.aspx>> [cit 22. 2. 2014]
6. *Zwick – Pellini drop weight tester*
<<http://www.zwick.de/en/products/products-for-impact-testing/drop-weight-testers/pellini-drop-weight-testers.html>> [cit. 22. 2. 2014]
7. *Wance: drop weight impact tester*
<http://www.wance.net/product/product_128.html?typeid=12> [cit. 22. 2. 14]
- 8, 9, 10. *Technical Specification IM10T-30*
<<http://www.imatek.co.uk/downloads/im10t-30techspec.pdf>> [cit. 23.10.2013]
- 11, 12, 13, 14, 15. YouTube canal Comtes FHT
<<http://www.youtube.com/comtesfht>> [cit. 22. 2. 2014]
17. *Hydraulické čelisti MTS*
<<http://www.zkusebni-stroje.cz/hydraulicke-celisti.html>> [cit. 24. 2. 2014]
18. *Additional grip types for tensile test specimens*
<<http://www.compositesworld.com/articles/additional-grip-types-for-tensile-test-specimens>> [cit. 3. 3. 2014]

19. *Threaded-End and Button-End Grip Bodies*
<http://www.instron.us/wa/acc_catalog/prod_list.aspx?cid=810&cname=Threaded-End%20and%20Button-End%20Grip%20Bodies > [cit. 3. 3. 2014]
20. *Imatek – News*
<<http://www.imatek.co.uk/news-item.php?id=31>> [cit. 22. 2. 2014]
29. *TME – dotykové senzory*
<<http://www.tme.eu/sk/katalog/?art=TEN-TFS10%2F120-W>> [cit. 16. 3. 2014]
49. *Metal Ravne Steel Selector*
<<http://www.metalravne.com/selector/steels/ocr12vm.html>> [cit. 2.6.2014]
53. HOSNEDL, S. aj. Příručka strojního inženýra.
<<http://www.southwind.net/mjever/temp.html>> Pzeň: ZČU-KKS, 1998.

Vzorce

- (1) , (2), (3), (4), (5) HOSNEDL, S. aj. Příručka strojního inženýra.
<<http://www.southwind.net/mjever/temp.html>> Pzeň: ZČU-KKS, 1998.