

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh testovacích maket do zkušebny v letectví

Autor: **Damaris KOLAŘÍKOVÁ**
Vedoucí práce: **Ing. Michal KŘÍŽEK, Ph.D.**
Konzultant práce: **Ing. Michal DUFEK**

Akademický rok 2017/2018

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Damaris KOLAŘÍKOVÁ**

Osobní číslo: **S14B0155P**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**

Název tématu: **Návrh testovacích maket do zkušebny v letectví**

Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

Navrhňte makety vybavení kuchyňského nábytku v letadlech. Makety budou sloužit pro mechanické testování odolnosti nábytku při působení setrvačných sil dle norem. Makety musí mít totožné přípojné body a musí umožnit připevnit tažný prvek v místě těžiště. Jejich tuhost musí odpovídat tuhosti originálního vybavení. Vhodné je respektovat různé variace vybavení a tím variaci přípojných bodů a polohy těžiště.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Požadavky pro testování setrvačných účinků v letectví
2. Druhy vybavení, variace
3. Konstrukční návrh
4. Zhodnocení, závěr

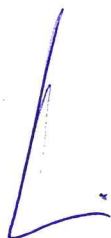
Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah kvalifikační práce: 30-40 stran A4
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

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

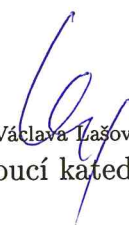
Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Křížek, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Michal Dufek**
Zodiac Aerospace, Plzeň

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2016**
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2017**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



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

V Plzni dne 19. září 2016

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu této bakalářské práce Ing. Michalu Křížkovi, Ph.D. a konzultantu Ing. Michalu Dufkovi, zástupci firmy Zodiac Aerospace, za poskytnuté materiály, odborné rady a čas věnovaný konzultacím.

Damaris Kolaříková

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Kolaříková	Jméno Damaris	
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „Stavba výrobních strojů a zařízení“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Křížek, Ph.D.	Jméno Michal	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh testovacích maket do zkušebny v letectví		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	54	TEXTOVÁ ČÁST	48	GRAFICKÁ ČÁST	6
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Tato práce je zaměřena na konstrukci makety trouby pro mechanické testování odolnosti nábytku při působení setrvačných sil dle norem. Práce obsahuje výčet požadavků firmy, výběr vhodného materiálu, návrh konstrukce, výpočty ověřující pevnost makety a závěrem také celkovou kalkulaci. Model je vytvořen pomocí CAD softwaru SolidWorks.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>konstrukce, testovací maketa, norma, gravitační přetížení, zátěžné faktory, nastavitelnost, uchycení, napětí, kontrola, CAD</p>

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Kolaříková	Name Damaris	
FIELD OF STUDY	B2301 „Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Křížek, Ph.D.	Name Michal	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Designs of Scale Models for Testing in the Aviation Testing Room		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2018
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	54	TEXT PART	48	GRAPHICAL PART	6
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis is focused on the construction of the Scale Model for mechanical testing the resistance of the furniture while there are inertial forces according to the norms. The thesis includes company requirements, selecting of suitable material, designing of construction, calculation verifying the strength of the Scale Model and also the total calculation. The model is created by using CAD Software SolidWorks.
KEY WORDS	design, scale model, norm, gravity overload, load factors, adjustability, attachment, tension, control, CAD

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíl práce.....	9
3	Zákazník - firma Zodiac Aerospace	9
4	Požadavky.....	10
4.1	Zátěžné faktory	10
4.1.1	Norma	10
4.2	Požadavky zákazníka na maketu trouby.....	11
5	Variace, druhy vybavení.....	12
5.1	Dělení dle výrobce.....	12
5.1.1	Rockwell Collins.....	12
5.1.2	Ipeco.....	12
5.1.3	Zodiac Aerospace.....	13
5.1.4	Aerolux	13
5.2	Dělení dle rozměrů	14
5.3	Maketa používaná k testování	14
6	Konstrukční návrh	15
6.1	Materiál.....	15
6.1.1	Polykarbonát	16
6.1.2	Karbon.....	17
6.1.3	Ocel 11 375	18
6.1.4	Dural	18
6.2	Parametry testovaných trub	20
6.3	Konstrukční návrh	21
6.3.1	Návrh z oceli 11 375	21
6.3.2	Návrh z hliníkových profilů.....	22
6.3.3	Porovnání návrhů	23
6.3.4	Základní parametry hliníkového profilu	24
6.3.5	Zatížení makety.....	24
6.3.6	Napětí v příčnicích při ohybu.....	25
6.3.7	Uchycení kostky těžiště a U držáků mezi příčnicí.....	27
6.3.8	Uchycení příčnic ke spojnicím rámu	31
6.3.9	Uchycení spojnic k rámu.....	32
6.3.10	Uchycení do zástavbového modulu.....	33
6.3.11	Spojovací úhelníky	37
6.4	Shrnutí konstrukčního návrhu	41
7	Kalkulace	42
8	Závěr.....	44
9	Citovaná literatura	45
10	Seznam obrázků.....	46
11	Seznam tabulek.....	46

1 Úvod

Neustále se rozšiřující a rozvíjející letecký průmysl se stává stále dostupnějším a vyhledávanějším způsobem dopravy. Z tohoto důvodu jsou na letecké společnosti kladeny stále větší nároky. Nejvíce navenek viditelnou a pro zákazníka velmi podstatnou oblastí je oblast designu. Ta se musí řídit převážně praktičností a funkčností, kvůli omezenému prostoru a také hmotnosti, ale zároveň musí splňovat i určité estetické požadavky. Oproti běžným dopravním prostředkům je zde ale mnohem více oblastí, na které se musí pohlížet z hlediska bezpečnosti. Než je letadlo uvedeno do provozu, prochází četnými testováními. Toto testování se týká jednotlivých materiálů, ale i celé konstrukce a jejích dílčích elementů. Všechny tyto oblasti musí splňovat přísné bezpečnostní požadavky, které jsou definovány nejen Evropskou agenturou pro bezpečnost v letectví, ale i samotnými aerolinkami. Společnosti si sami zpřísňují nebo vytváří některé požadavky, které jsou dle jejich názoru, popřípadě zkušeností, důležité, a tím si vytváří interní kritéria, podle kterých se následně musí odvíjet vývoj a konstrukce letadla. Vše tedy musí být důkladně otestováno, než se začne používat v reálném provozu. Při testování je snaha dosáhnout co nejpřesnějších a nejvěrohodnějších podmínek, v jakých budou jednotlivé komponenty nebo celé letadlo provozováno. K simulaci zátěžných stavů popřípadě prostředí dochází ve zkušebnách, kde je vše monitorováno a potřebná data jsou zaznamenávána a následně vyhodnocena. Kdyby se testování provádělo na reálných komponentech nebo konstrukcích, bylo by velmi nákladné, proto se k tomuto účelu vytváří testovací makety.

Důležité je, aby maketa ve všech důležitých parametrech pro testování plnohodnotně nahradila reálnou součást. Tyto makety jsou konstruovány s ohledem na účel jejich testování, aby oblast, která bude podrobena testům, odpovídala skutečnému stavu reálného komponentu.

2 Cíl práce

Cílem práce je konstrukce testovací makety, která bude náhradou trouby pro ohřívání pokrmů v letadle. Trouba bývá součástí kuchyňek převážně pro dálkové lety, kde je při cestě pasažérům podáván teplý pokrm.

Maketa musí mít totožné přípojně body jako trouba a dále musí mít připevněn tažný prvek do místa těžiště. Ve zkušebně se uchytí do kuchyňského modulu pomocí přípojných bodů, za použití stejných spojovacích prvků, jako v samotném letadle, aby se simulace co nejvíce blížila skutečnosti. Následně jsou do místa těžiště na tažný prvek aplikovány síly dle norem. Tyto síly definuje Agentura pro bezpečnost v letectví (EASA / FAA) a výrobci letadel. EASA - European Aviation Safety Agency udává specifikace pro Evropu, takže letadla registrovaná na Evropském území musí tuto normu splňovat. FAA - Federal Aviation Administration definuje požadavky pro letadla registrovaná v Americe. Vzhledem k tomu, že tyto dva kontinenty propojuje převážně letecká doprava, je důležité, aby byly certifikáty vzájemně uznávány. Ve skutečnosti s tím není problém, protože certifikace je udělována při splnění velmi podobných podmínek. Síly jsou definovány jako setrvačné - zadávají se v násobcích gravitačního přetížení, ale aplikují se jako statické (např. pomalu vyvíjená síla hydraulickým pístem). Celková tuhost musí odpovídat tuhosti skutečné trouby.

Kuchyňky v letadlech nejsou totožné, protože jsou vyráběny různými výrobci, kde každý může mít své specifické konstrukční řešení, proto i u testovacích maket je potřeba brát v úvahu tuto skutečnost. Zástavbové rozměry bývají totožné, odlišnost se projevuje převážně v poloze těžiště a v některých případech také rozdílnou polohou přípojných bodů. Nejvýhodnějším řešením tedy bude konstrukce makety s možností přenastavení polohy přípojných bodů a samotného těžiště, aby bylo její použití univerzální a nemusela být pro každou odlišnost vyráběna kompletní nová maketa.

Konstrukce bude provedena pro firmu Zodiac Aerospace, která se zabývá výrobou kuchyňských modulů do letadel.

3 Zákazník - firma Zodiac Aerospace

Kořeny sahají až do roku 1938, kdy byla pod názvem Driessen založena původně instalatérská firma. Do leteckého průmyslu vstoupila v roce 1946 výrobou trub, skleněných stojanů a později i vozíků. V 80. letech byly výrobky dodávány mnoha leteckým společnostem a výrobcům letadel, jakými jsou například Boeing nebo Airbus. Společnost se rozrůstala, otevřela továrnu v Thajsku, Kalifornii, USA, Mexiku a Holandsku a rozšířila produkci o řady kuchyní.

V roce 2008 se Driessen stal součástí společnosti Zodiac Aerospace, která je jedničkou na trhu v oblasti interiérů, systémů, bezpečnosti a technologií od samotných výrobků až po jejich následný servis. V Plzni jsou vyráběny kuchyňské moduly a šatní skříně pro různé typy letadel Airbus. Společnost se i nadále rozrůstá, a proto je nově otevřeno i tréninkové centrum pro nové zaměstnance. [1]



Obrázek 1: Logo zákazníka [1]

4 Požadavky

4.1 Zátěžné faktory

Zátěžné faktory jsou dány normou JAR/CS 25.561, kterou udává EASA – European Aviation Safety Agency, kde CS 25 je označení pro Certifikační Specifikaci velkých letadel. Norma udává hodnoty zatěžování ve všech směrech, pro 2 odlišné situace. Zatížení se v jednotlivých směrech mohou lišit, a proto je třeba vybrat vždy to, které je pro daný směr nejvyšší. Číselné hodnoty jsou udávány bez bezpečnostních faktorů a je tedy nutné vybrané zátěžné faktory roznásobit. Bude zde uvažován faktor pro opotřebení 1,33. Pro návrh makety požaduje firma Zodiac přidání faktoru bezpečnosti, který je 1,5. Tento koeficient byl použit kvůli jistotě, že nedojde k přílišné deformaci na maketě.



Obrázek 2: Logo evropské letecké bezpečnostní agentury [2]

4.1.1 Norma

(a) „Každé letadlo, i když je poškozeno a musí nouzově přistát ať už na zemi nebo ve vodě, musí být navrženo tak, jak je předepsáno v tomto paragrafu, aby byl každý cestující v těchto podmínkách chráněn.

(b) Konstrukce musí být navržena tak, aby poskytla každému cestujícímu všechny možné šance uniknout vážnému úrazu, v případě nárazu při přistání, když –

(1) Jsou správně použita sedadla, pásy a všechny ostatní prvky navržené pro bezpečnost;

(2) Jsou kola zasunuta;

(3) Cestující může pocítit mimořádné setrvačné síly působící odděleně vzhledem k okolní struktuře:

(i) Nahoru 3g

(ii) Vpřed 9g

(iii) Na bok letadla 3g, na sedadla a jejich přídavná zařízení 4g

(iv) Dolů 9g

(v) Na zadní stranu 1,5g

(c) Pro zařízení, náklad a velké produkty nacházející se v prostoru určenému cestujícím platí následující:

(1) Tyto položky musí být umístěny tak, aby pokud se uvolní, bylo nepravděpodobné že:

(i) Způsobí zranění cestujících

(ii) Prorazí palivové nádrže nebo potrubí, což by mohlo způsobit požár nebo explozi, poškozením přilehlých systémů

(iii) Zabrání možnosti použití jakékoliv únikové možnosti při nouzovém přistání.

(2) Pokud takové umístění není praktické (např. motory připevněné k trupu nebo pomocné napájecí jednotky) musí být každý tento předmět upevněn, aby vydržel zatížení specifikované v pododstavci (b)(3) tohoto paragrafu. Místní přílohy k těmto produktům by měly být navrženy tak, aby vydržely 1,33 násobek stanovených zatížení, pokud jsou předměty vystaveny silnému opotřebení vlivem častého přemísťování (např. změna položek interiéru).

(d) Sedadla, hmotné předměty a jejich nosná konstrukce se vlivem zatížení, uvedeného v pododstavci (b)(3), nesmí v žádném případě deformovat způsobem, který by bránil rychlé evakuaci cestujících.“ [2]

V Tabulka 1 jsou přehledně uvedena všechna zatížení, zjištěná z výše uvedené normy a jejich přenásobení koeficientem bezpečnosti a faktorem opotřebení.

Tabulka 1: Zátěžné faktory [2]

Load Direction	Emergency Landing Load Factors JAR/CS 25.561	Max. Flight and Landing Loads (Customer)	Max. Load Factors	Max. Load Factors (wear factor 1,33)	Max. Load Factors (wear factor 1,33 and safety factor 1,5)
Upward	3.0g	5.5g	5.5g	7,315g	10,9725g
Forward	9.0g	1.7g	9.0g	11,97g	17,955g
Sideward	3.0g	2.5g	3.0g	3,99g	5,985g
Downward	6.0g	8.7g	8.7g	11,571g	17,3565g
Rearward	1.5g	1.7g	1.7g	2,261g	3,3915g

4.2 Požadavky zákazníka na maketu trouby

- Nastavitelnost polohy těžiště – aktuálně se na trhu nachází několik výrobců trub do letadel. Jednotlivé trouby se liší konstrukčním řešením, proto i poloha těžiště může být v závislosti na konstrukci odlišná dle výrobce.
- Vyměnitelnost úchytných bodů – úchytnými body jsou závitové díry. U reálné trouby se nachází v jejím těle. Na maketě může časem dojít ke stržení nebo porušení závitů, proto je potřeba, aby se dala vyměnit jen porušená část a nebylo nutné vyrábět celou novou maketu.
- Hmotnost – kvůli manipulaci s maketou je výhodou co možná nejnížší váha.
- Rozměry reflektující velikost reálné trouby – pro přesnější představu zabudování trouby do zástavby kuchyňky by měly vnější rozměry makety odpovídat skutečné troubě.

5 Variace, druhy vybavení

Při konstrukci makety je důležité uvažovat, že se na trhu objevuje několik výrobců trub. Vnější rozměry se liší délkou jednotlivých trub. Ostatní jsou standardně dodržovány, aby byl Aeroliniím umožněn výběr na základě jejich preferencí a nedošlo tak k znevýhodnění některých výrobců z toho důvodu, že by nebylo možné umístit troubu, vyhovující požadavkům, do zástavbového modulu pouze kvůli jejím rozměrům. Jednotlivé trouby se pak liší dle výrobce hlavně vnitřními funkcemi pro ohřívání pokrmů, dobou ohřívání, hlučností, polohou těžiště nebo na první pohled odlišným designem předních dvířek. Pro tuto práci je potřeba znát rozdíly v pozicích ustavovacích prvků a také rozdíly v polohách těžišť, které se liší z důvodu odlišného uložení výhřevného mechanismu a zároveň jsou závislé na naplnění. Trouby lze dělit dle ohřevu na konvekční a parní.

5.1 Dělení dle výrobce

5.1.1 Rockwell Collins

Primární oblastí zájmu tohoto výrobce je snížení hmotnosti a vysoká spolehlivost. Vyvinul parní trouby o 29% lehčí než je většina konkurenčních výrobků. Rockwell Collins si nechal patentovat parní technologii, využívající vodní páru pod tlakem, která ohřeje jídlo rychle a rovnoměrně ze všech stran. Tato technologie nepotřebuje tak vysokou teplotu jako ostatní trouby, díky čemuž dojde ke značné úspoře energie. Vnitřek je vyráběn z nerezové oceli kvůli snadné údržbě z hygienického hlediska. [3]



Obrázek 3: Trouba značky Rockwell Collins [3]

5.1.2 Ipeco

Hlavním zájmem je vývoj technologie zlepšující efektivitu a spolehlivost. Konstrukce optimalizuje tepelnou výměnu v rámci jednotky, zatímco inovativní návrh topného prvku zajišťuje účinnější přenos tepla, optimálního pro vaření a zároveň splňuje bezpečnost. Trouba dokáže udržet teplo uvnitř bez přenesení na vnější povrchy, takže nedochází k tepelným únikům, které by mohly ohrozit palubní personál. U parní trouby není topný článek vystavován studené vodě, čímž nedochází k tepelnému šoku a trouba má větší životnost. Ovládání je velmi jednoduché a intuitivní. Díky předem naprogramovaným způsobům ohřevu je palubnímu personálu ušetřeno mnoho práce. Informace o ohřevu jsou pak zobrazeny na přední obrazovce. [4]



Obrázek 4: Trouba značky Ipeco [4]

5.1.3 Zodiac Aerospace

Výrobce udává, že jeho trouby jsou o 30% lehčí než ostatní v dnešní době používané modely a zároveň jsou velmi tiché, díky čemuž při procesu neruší personál ani posádku. Nastavitelné programy pro přípravu jídla pomáhají zajistit, že hluboce zmrazené jídlo bude dostatečně a rovnoměrně ohřáto před jeho samotným servírováním. Parní trouby dokáží jídlo ohřát rovnoměrněji, efektivněji a zároveň ekonomičtěji díky tlaku, který přeměnou vody na páru vznikne v ohřívací komoře. [1]



Obrázek 5: Trouba značky Zodiac Aerospace [1]

5.1.4 Aerolux

Předností trub vyráběných tímto výrobcem je především vysokorychlostní ohřev předvařených jídel, podávaných na palubách letadel, který trvá 25-30 minut. Vnější plášť trouby je vyroben z lehké hliníkové slitiny a vnitřní vložka z leštěné nerezové oceli kvůli pevnosti a snadnosti údržby. [5]



Obrázek 6: Trouba značky Aerolux [5]

5.2 Dělení dle rozměrů

Trouby jsou k dostání ve dvou variantách v závislosti na počtu ohříváných pokrmů.

- Standard – Oproti typu Extended je menší a ohřeje na jedno naplnění 32 jídel
- Extended – Lze ji naplnit až 48 krabičkami s jídlem, které se před podáváním pasažérům rovnoměrně ohřejí.

5.3 Maketa používaná k testování

Aktuální testovací objekt nevyhovuje požadavkům zákazníka. Každá jednotlivá trouba je reprezentována specifickou maketou, která se liší rozměry a polohou těžiště v závislosti na typu, takže jejich uskladnění zabere mnoho prostoru.

Maketa by měla pokud možno co nejrealističtěji napodobit skutečnou troubu ne vzhledem, ale konstrukčními vlastnosti. Uchycení makety k rámu, simulující upevnění trouby do kuchyňského modulu v letadle, se od reálného stavu opravdu hodně liší. Namísto závitů v samotné konstrukci, do kterých by měla být trouba v modulu uchycena, je na jednu stranu makety třemi šrouby přišroubován hliníkový L-profil. Tento profil je pak v zástavbě uchycen dvěma šrouby s matkou. Toto řešení je nevyhovující, protože může docházet k deformacím profilu, což může ovlivnit konečný výsledek. Profil se při testování nepatrně ohýbá a zároveň při uchycení průchozí dírou dochází k jinému namáhání, než k jakému by došlo uchycením do závitové díry. Vzhledem k tomu, že je L-profil přišroubován k boku makety, liší se i skutečná poloha uchycení od polohy při testování, čímž může dojít k dalšímu ovlivnění výsledku.

Pro tělo makety jsou nyní zvoleny čtvercové profily z oceli 11 373. Tato ocel vyniká dobrou svařitelností a nejčastěji se používá pro svařované součásti nebo konstrukce, které jsou namáhány převážně staticky. Další velkou výhodou je nízká cena a snadná dostupnost, protože se řadí mezi neušlechtilé oceli. Nevýhodou je její hmotnost, která i přes to, že jsou čtvercové profily duté, je znát především při manipulaci s maketami. Jakákoliv manipulace nebo upevňování do testovacího rámu pak vyžaduje mnohem více síly, než by si zákazník představoval.



Obrázek 7: Nynější maketa

6 Konstrukční návrh

6.1 Materiál

Před začátkem konstruování konkrétního tvaru a rozměrů makety trouby je důležité zvolit materiál tak, aby co nejlépe splňoval očekávané parametry. Primárním požadavkem je lehkost, kvůli snadnosti manipulace s konstrukcí na zkušebně. Dále je podstatná pevnost, protože budou aplikovány zátěžné účinky rovnající se zatížením, uvedených agenturou pro bezpečnost v letectví. V následující tabulce je uvedeno několik materiálů, ze kterých byl vybírán materiál pro konstrukci makety. Tyto základní informace poskytují náhled, který pomůže eliminovat materiály, které jsou naprosto nevhodné, a nemá tedy cenu se jimi dále zabývat.

Tabulka 2: Základní materiálové vlastnosti [14]

	Pevnost [MPa]	Tvrдость [HBW]	Hustota [kg/m₃]
Nástrojová ocel 19 312 [13]	770	610	7 840
Ocel ČSN EN 10 219-1 (čtvercový profil) – 11 375 [6]	363-441	119	7 850
Austenitická korozivzdorná ocel [9]	510-960	647	8 000
Hliník EN AW 6060 T66 ČSN 42 4401 [8]	245	75 (330)	2 700
Hliník EN AW-7075 T6 [7]	540	161	2 850
Karbon z PAN [10]	5 500	-	1 750
Dřevo (bříza)	4,4	(3,3)	700
Plast PVC-U (Novodur) [11]	58	-	1 400
Polykarbonát [12]	63-70	865	1 200

Tabulka 3: Hodnocení na základě rozhodovacích kritérií

	Nástrojová ocel 19 312	11 375	Austenitická korozivzdorná á ocel	Hliník EN AW 6060 T66	Hliník EN AW-7075 T6	Karbon	Dřevo	PVC-U	Polykarbonát
Bodovací systém 1 – 5 (5 – nejvíce vyhovující vlastnosti)									
Hustota	1	1	1	4	3	5	5	4	5
Pevnost	5	3	4	3	5	5	1	1	2
Svařitelnost	3	5	4	4	1	1	1	5	5
Opravitelnost	3	5	3	4	1	1	1	5	5
Cena	4	5	4	4	3	1	5	3	2
Součet hodnocení jednotlivých materiálů									
	16	19	16	19	13	13	13	18	19

Důležitým požadavkem byla nízká hmotnost, kterou sice při pohledu na hustotu nespĺňuje žádný druh oceli, ale s přihlédnutím k výhodám, jakými je svařitelnost, vysoká pevnost, dostupnost, nízká cena a možnost použití jakéhokoliv tvaru, se zařadí mezi materiály, o kterých bude uvažováno. Nejnížší hustotou se pyšní dřevo, v tomto případě bříza. Z toho vyplývá, že bude velmi lehké, ale nespĺňuje požadavek pevnosti, proto nebude bráno v úvahu. Z oblasti plastů by mohl být použit polykarbonát, který má nižší hmotnost a vyšší pevnost než PVC-U. Hliník EN AW-7075 T6 sice vyniká nejvyšší pevností mezi hliníky, ale je hůře dostupný a nesvařitelný, proto bude uvažováno spíše mezi hliníkem EN AW 6060 T66 a jasným favoritem, kterým se zdá být karbon. Má nejvyšší pevnost ze všech uvažovaných materiálů a zároveň velmi nízkou hmotnost.

6.1.1 Polykarbonát

Termoplast, snadno zpracovatelný za tepla vstřikováním nebo lisováním, má velkou tepelnou odolnost a zároveň dobře odolává nárazům. Skládá se z řetězců monomerních jednotek vzniklých spojením karbonátových neboli uhličitanových skupin. Nejběžnější polykarbonát se vyrábí polykondenzací (reakcí syntetických makromolekulárních látek). Díky jeho dobrým optickým vlastnostem se používá převážně pro výrobu displejů, laboratorního nádobí, lahví nebo skel brýlí. Z tohoto a udávané pevnosti vyplývá, že pro tělo makety nebude nejvhodnější a je možné ho vyloučit. [15]

6.1.2 Karbon

Uhlíkové vlákno je známé pro svoji vysokou pevnost a nízkou hmotnost. Jedná se o paralelně orientované krystaly vytvářející dlouhá vlákna. V minulosti bylo uhlíkové vlákno používáno v žárovkách, později se začalo využívat jako textilní vlákno ve formě tkaniny. Dříve bylo vyráběno z viskózy, ale v průmyslu se dnes vyrábí z polyakrylnitrilu. Výjimečně je vyráběno ze smol, pak má větší tepelnou odolnost a vyšší modul pružnosti. Existuje několik druhů uhlíkových vláken. Počínaje standardními karbonizovanými, přes dutá až po mletá nebo recyklovaná vlákna. Výroba začíná tavným zvlákněním nebo zvlákněním z roztoku a následně je vlákno dluženo na požadovanou jemnost. V této fázi je zahříváno na cca 300°C několik desítek minut, aby došlo k zesíťování struktury, což vytváří další teplo, které je zase naopak nutné regulovat, aby nedošlo k přehřátí. Po této fázi následuje zahřátí až na 2 000°C bez přístupu kyslíku, čímž dojde k rozkmitání atomů a vyloučení neuhlíkových molekul. Dále je možné provést grafitizaci. Zvýšením teploty dosáhne výsledný obsah uhlíku 99% a zároveň vznikne uspořádaná vrstevnatá struktura. Na závěr mohou být vlákna povrchově upravena například navázáním kyslíkových atomů, díky čemuž se lépe naváží v kompozitních materiálech nebo mohou být pokryta ochrannou vrstvou proti poškození. Kompletní vlákno je tedy velmi pevné při namáhání v podélném směru, problém nastane, pokud dojde k namáhání ve směru kolmém na osu vlákna, tehdy modul pružnosti výrazně poklesne a projeví se i poměrně velká křehkost. Přestože se jedná o textilní vlákna, mají v podélném směru malý elektrický odpor. Využití nalézají především jako výztuž kompozitních (víceprvkových) materiálů, kde obvykle zabírají většinový podíl, v některých případech až 80%. Nejčastější uplatnění nachází v oblasti letectví pro konstrukci trupu a křídel letadel nebo pro výrobu rotorů. Běžný člověk si využití karbonu mohl všimnout spíše u sportovního náčiní nebo u částí karoserií automobilů. Vlákna používaná v leteckém průmyslu bývají podstatně dražší než ta, která jsou využívána v automobilovém průmyslu. [10]

Pro konstrukci makety trouby by bylo možné využít levnější variantu vláken, ale i tak by cena takovéto makety nebyla zcela vyhovující. Dalším a důležitějším problémem je namáhání, ke kterému by při testování docházelo. Nelze zajistit nebo jen velmi těžko, aby zkušební síla působila pouze ve směru vláken, což znamená, že by maketa neměla tak vysokou pevnost a mohlo by dojít k jejímu poškození vlivem působení předepsaného zatížení. Dostatečnou pevnost by bylo nutné získat konstrukcí těla makety, která by se stala složitější a pravděpodobně ne snadno vyrobitelem. Z těchto důvodů také karbon nebude nejvhodnějším materiálem pro konstrukci makety trouby do zkušebny.

6.1.3 Ocel 11 375

Běžná neušlechtilá ocel třídy 11 je levná, běžně k dostání a vhodná ke svařování. Má předepsanou čistotu, zaručenou pevnost v tahu, mez kluzu a tažnost. Lze ji použít pro konstrukce a stroje dynamicky i staticky namáhané. Požadováno je, aby nebyla náchylná k lámavosti. Její vlastnosti jsou ovlivňovány tepelným zpracováním, převážně normalizačním žiháním.

Žihání se používá pro dosažení homogenní a jemnozrnné struktury, což zlepšuje mechanické vlastnosti. Při zpracování oceli vzniká hrubozrnná struktura, obsahující bainit s vyloučenými karbidy, tvořený velkými zrny. Pomocí normalizačního žihání je dosaženo jemnozrnnější a homogenní struktury zlepšující i obrobiteľnost. Dosažená tvrdost závisí na rozměrech dílu a rychlosti ochlazování. Materiál je ohřán na teplotu odpovídající teplotě kalení, vzniknou austenitická zrna menší než předchozí feritická. Po ohřevu a výdrži přibližně hodinu jsou díly volně ochlazovány na vzduchu nebo v plynu. Pro zabránění oxidaci či oduhličení bývá použito ochranné atmosféry.

Ocel je nejčastěji používána ve formě plechů nebo dutých profilů, ale lze použít i pro kované součásti, jakými jsou tlakové nádoby a energetická zařízení. Další její využití je možno nalézt například u vtokových objektů vodních turbín, spirálových skříní vodních turbín, vrat plavidlových komor, klapek uzávěrů, spojek a podvozků vagónů. [16]

6.1.4 Dural

Tvrký hliník je slitina s většinovým obsahem hliníku a cca 5% obsahu mědi. Díky mědi, nepatrnému množství manganu a hořčíku má větší hustotu než čistý hliník, ale také má až 5 krát větší pevnost a tvrdost. Dural je možné zušlechťovat pro zlepšení vlastností, obrábět nebo spojovat například svařováním, pájením a lepením. Je chemicky odolný a dobře povrchově upravitelný eloxováním nebo barvením. Eloxování je povrchová úprava vytvářející ochrannou vrstvu oxidu hliníku na povrchu součásti. Nalézá své uplatnění podobně jako karbon v leteckém a lodním průmyslu, při výrobě sportovního náčiní nebo v automobilovém průmyslu. Oproti karbonu se využívá i ve stavebnictví například pro okenní rámy a je možné ho odlévat. Kvůli malé anelasticitě není schopen tlumit otřesy a rázy. V závislosti na použití přísad se mění vlastnosti a parametry jednotlivých slitin, které jsou na základě těchto rozdílů rozděleny do několika skupin. [17]

Hliník EN AW 6060 T66, který byl vybrán z podskupiny duralů, je precipitačně vytvrditelnou slitinou hliníku, hořčíku a křemíku.

„Precipitace je možná jen u slitin, které mají v rovnovážném diagramu dostatečně výraznou změnu rozpustnosti v závislosti na teplotě. Jedná se o rozpad přesyceného tuhého roztoku při ohřevu na teploty nižší, než je teplota solidu pro danou slitinu. Hlavní podmínkou vzniku precipitace je existence přesyceného tuhého roztoku, který se při zvýšených teplotách začne rozpadat. Z přesyceného roztoku se začne vylučovat ta fáze, která bude bohatší na prvek, kterým je původní fáze přesycena. Podoba této precipitující fáze se však nebude tvořit přímo, ale přes několik mezistupňů, jejichž struktura se postupně přibližuje struktuře konečné rovnovážné fáze.“ [18]

Díky velmi dobré tvářitelnosti po zahřátí a vysoké pevnosti ve vychlazeném stavu se používá jako materiál pro výrobu tvarových profilů. Takovéto profily mohou fungovat jako skládačka, tudíž dokáží ušetřit mnoho práce a času, který by byl jindy věnován například svařování, popřípadě jiným úpravám. Obvykle jsou takovéto profily k sehnání v tepelně vytvrzeném stavu a až 80% z nich je vyráběno z tohoto materiálu. Pro větší povrchovou odolnost proti korozi jsou k dostání s eloxovaným neboli anodizovaným povrchem.

Jedná se o elektro-chemickou povrchovou úpravu kovů a slitin, kdy se na povrchu vytvoří vrstva oxidu, chránící součást před další oxidací. Proces probíhá v elektrolytické lázni, ve které je součást zapojena jako anoda, na níž se vytváří tenká kompaktní vrstva oxidu, chránící před povětrnostními vlivy, zvyšující oteruvzdornost a životnost, snižující tepelnou a elektrickou vodivost a také drsnost. U hliníku má vzniklá vrstva oxidu hlinitého tvrdost korundu. Tato vrstva obvykle po určité době vznikne sama. Dalo by se říci, že se jedná o rezavění (oxidační proces probíhající u železa), jen s tím rozdílem, že koroze u železa postupuje časem pořád hlouběji do výrobku, ale u hliníku se po utvoření tenké vrstvy dále nerozšiřuje. Tloušťka eloxované vrstvy se může pohybovat od 0,35 do 125 mikrometrů v závislosti na velikosti výrobku. Anodizace nemusí mít jen funkční vliv, ale může být použita i pro estetické úpravy. Dochází ke zvýraznění povrchu, jehož odstín je možné měnit přidáním barviv. Díky tomu, že je barva aplikována přímo do oxidické vrstvy není náchylná k odlupování. Eloxování je prováděno ponořením výrobku do roztoku některé kyseliny (např. chromové, sírové nebo fosforečné), do níž je přiváděn elektrický proud. Síla eloxované vrstvy a její parametry závisí na druhu použitého roztoku, na jeho koncentraci a teplotě, na velikosti dodávaného elektrického proudu a době ponoření. [19]

U výrobků, které budou tvářeny, je dobré provádět žihání na měkko, které proběhne ohřátím na cca 400°C a následným pomalým ochlazením na 250°C (rychlostí 30°C/hodinu). Po dosažení požadovaného tvaru lze výrobek precipitačně vytvrdit, a tak získat původní materiálové vlastnosti. Precipitační vytvrzení je provedeno rozpouštěcím žiháním při cca 530°C a následuje kalení, které se mění v závislosti na tvaru dílu. [20]

Poslední tepelnou úpravou je ztvrdnutí, probíhající za konstantní teploty kolem 175°C po dobu cca 8 hodin. Slitina je i po vytvrzení poměrně dobře obrobitelná a dosažitelná kvalita povrchu je vzhledem k pevnosti materiálu dobrá. [20]

Svařování je možné provádět běžnými způsoby používanými pro svařování hliníku, ale je nutné počítat se snížením pevnosti v místě svaru. Pevnost v přechodové oblasti svaru lze vylepšit tepelným zpracováním. Pozornost je třeba věnovat přídavnému materiálu, aby nedocházelo ke vzniku zbytečných prasklin kvůli horku. [20]

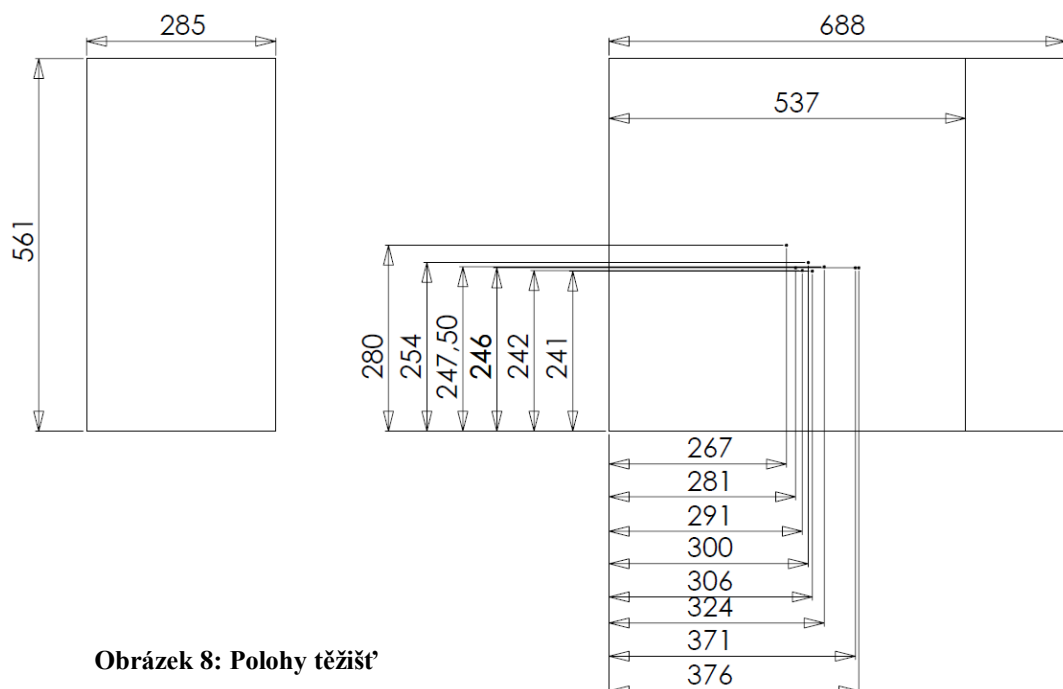
6.2 Parametry testovaných trub

Tabulka 4: Vnější rozměry a hmotnost

		X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	Hmotnost plná (prázdná) [kg]
Trouba 1	8201-11-0100	285	561	570	44,5 (19)
Trouba 2	8203-11-0100-01	285	561	688	48,9 (21,3)
Trouba 3	8303-01-0100-01	285	561	685	40,5 (15,5)
Trouba 4	8305-01-0100-01	285	561	567	39,4 (14,4)
Trouba 5	DF 110	285	561	550	45 (19)
Trouba 6	DF 1500	285	561	537	35,5 (14,5)
Trouba 7	ICD600-5	285	561	585	46,4 (20)
Trouba 8	ICDW300	285	561	569	42,3 (17,8)

Tabulka 5: Poloha těžiště

	X [mm]	Y prázdná [mm]	Y plná [mm]	Z prázdná [mm]	Z plná [mm]
8201-11-0100	142,5	292,6	247,5	289	324
8203-11-0100-01	142,5	249	246	343	376
8303-01-0100-01	142,5	246		417	371
8305-01-0100-01	142,5	242		337	291
DF 110	142,5	246		269	
DF 1500	142,5	280		270	
ICD600-5	142,5	241		306	
ICDW300	142,5	254		300	



Obrázek 8: Polohy těžišť

6.3 Konstrukční návrh

Před začátkem navrhování je dobré si ujasnit působení sil a následně vzniklých reakcí. Tažná síla bude umístěna do těžiště. Tato síla vytvoří reakce, které jsou zachyceny v uchycovacích bodech. Tyto body odpovídají svými rozměry a polohou jejich reálnému umístění u trouby. Konstrukce bude mít tedy za úkol přenést a rozložit vzniklé reakce přes uchycovací body až do modulu kuchyňky.

Z rozhodovací analýzy v Tabulka 3 vyplynulo, že nejvhodnějšími materiály jsou ocel 11 375 a hliník, které získaly shodné bodové ohodnocení. Pro oba typy materiálu bude navržena konstrukce, co nejlépe splňující zadané požadavky. Následně dojde k porovnání obou řešení a výběru vhodnější varianty, která pak bude ověřena pevnostní kontrolou v jednotlivých částech makety.

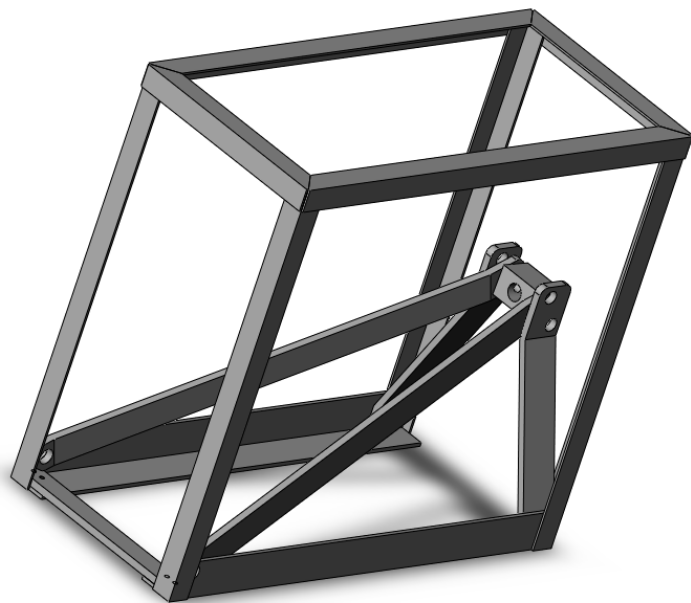
6.3.1 Návrh z oceli 11 375

Ocelová konstrukce je inspirována reakcemi, které vzniknou mezi kostkou těžiště a rámem. Do nositelek reakcí jsou umístěny spojovací pruty, namáhány převážně na tlak a tah. Toto namáhání je nejvhodnější, protože při něm materiál vydrží nejvíce. Díky tomuto lze zvolit menší profily, než jaké by bylo nutné použít při jiném druhu namáhání.

Základem celé ocelové konstrukce je podstava tvořená dvěma L profily, o délce nejdelší trouby (extruded), která je vyznačena na Obrázek 8. Změnu polohy uchycovacích bodů, dle závitových děr reálné trouby, zajistí posuvná deska, spojující zároveň oba základové profily.

Kvůli požadavku dodržení vnějších rozměrů bude svařen rám z L profilů, rozměrově odpovídající velké troubě. Při vložení do zástavbového modulu pro menší troubu nevádí, pokud bude přední část makety lehce vyčnívat. Spojení kostky těžiště s okolním rámem zajistí pruty navařené na prvek simulující těžiště a druhým koncem navařené do jednotlivých rohů rámu. Tímto bude zajištěna poloha prutů.

Pro zjednodušení prvku simulujícího těžiště bude zvoleno pouze několik děr, které zahrnou všechny polohy těžiště v toleranci do jednoho palce, a tím tak zajistí možnost testování kterékoliv trouby. Poloha pinů v zadní stěně je neměnná, což nabízí možnost jejich umístění do zadního spojovacího prvku rámu, který je k oběma stranám navařen.



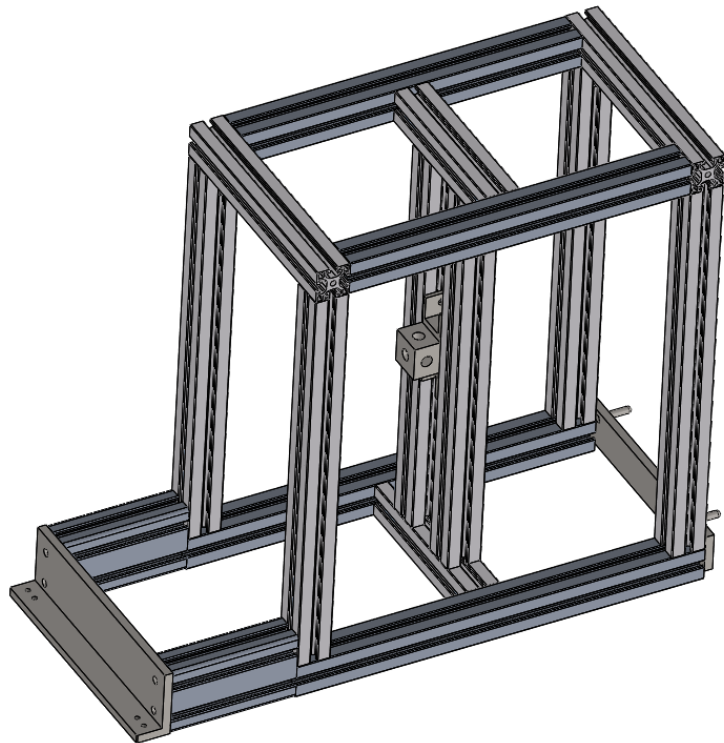
Obrázek 9: Model makety z oceli

6.3.2 Návrh z hliníkových profilů

Pro návrh konstrukce bylo použito hliníkových Itemů, které jsou snadno k dostání a vynikají dobrým poměrem mezi hmotností a pevností. Sestavování takovéto konstrukce probíhá snadno díky velkému množství spojovacích prvků. Tyto prvky umožňují snadné a rychlé přenastavení kterékoliv části do potřebné polohy. Kameny tvoří základ ke vzájemnému propojení jednotlivých profilů. Zasouvají se do postranních drážek, jsou vyrobeny z velmi pevného a odolného materiálu a k jejich uchycení slouží závitová díra, do které je zašroubován šroub. Nejčastěji jsou Itemy mezi sebou spojeny pod pravými úhly, ale je možné použít i úhlové spoje, které jsou také součástí nabízeného sortimentu.

Hliníkovou maketu tvoří převážně odlehčené hliníkové anodizované profily. K rámu jsou do drážek uchyceny spojnice, ke kterým se přichytí příčnický, vedoucí celou výškou trouby. Mezi ně je umístěna kostka těžiště, uchycená dvěma spojovacími prvky ve tvaru U. Veškeré hliníkové profily jsou mezi sebou propojeny úhelníky kvůli snížení napětí a snaze co nejvíce zamezit deformacím vzniklým tahovým zatížením v těžišti. Díky drážkám je možné tyto prvky libovolně posunovat a tím dosáhnout kterékoliv polohy potřebné pro nastavení těžiště v závislosti na druhu trouby.

Umístění předních závitových děr pro uchycení trouby v kuchyňském modulu není možné zajistit pomocí hliníkových profilů, jednak kvůli díram ležícím blízko bočnímu kraji trouby, ale také kvůli závitovým díram, které by v hliníku nebyly příliš pevné. Z tohoto důvodu bude použita destička ve tvaru L profilu se závitovými dírami odpovídajícími skutečným polohám, která bude z přední strany přišroubována dvěma šrouby k Itemům. Vzhledem k tomu, že tato destička musí obsahovat 4 závitů, které mají simulovat uchycovací body trouby k zástavbovému modulu, bude zvolen tvrdší materiál než hliník, a tím je ocel. Pro tento účel postačí ocel 11 600, která není příliš drahá a zároveň odolá působícímu zatížení. Po čase používání může dojít k opotřebení nebo porušení závitů, proto je tento díl snadno vyměnitelný.

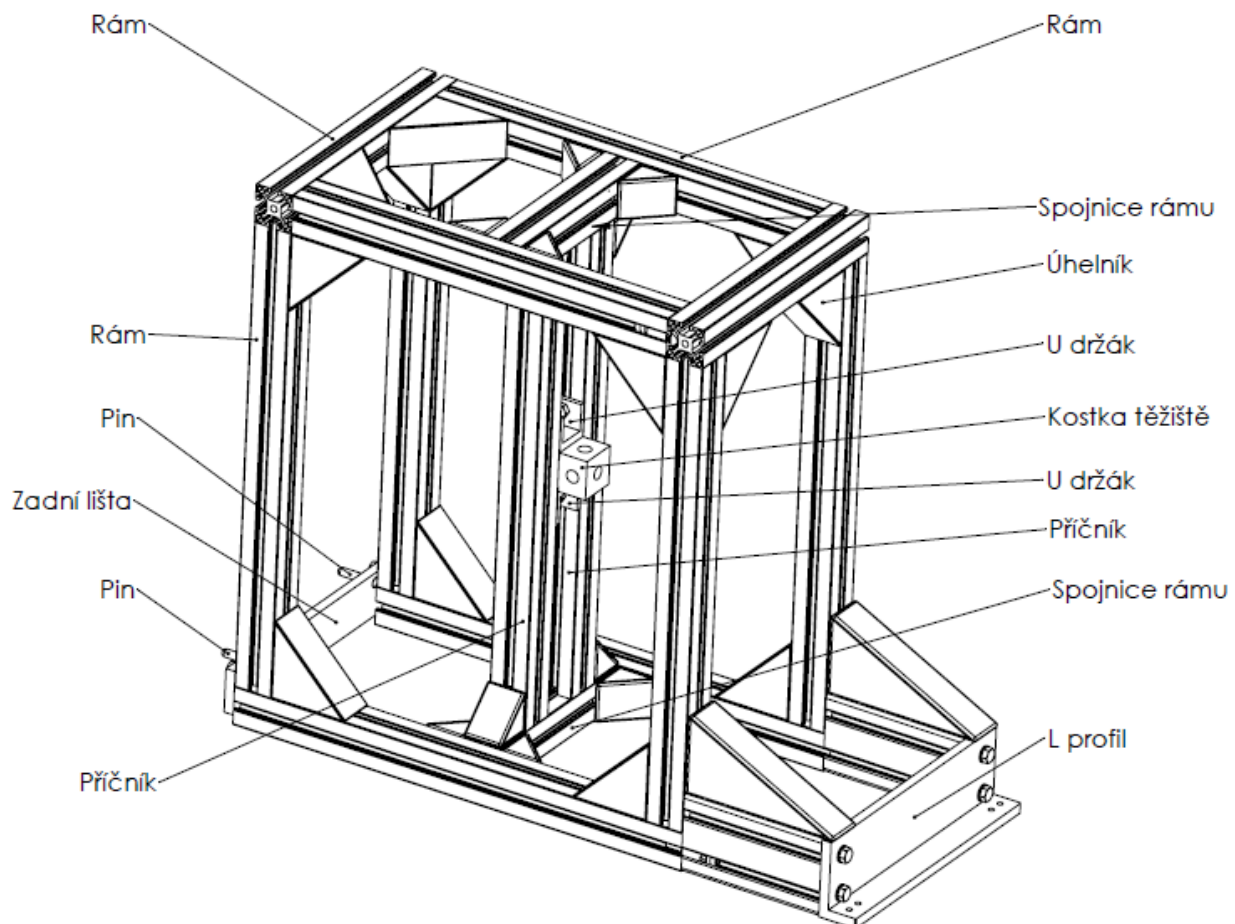


Obrázek 10: Model makety z hliníku

6.3.3 Porovnání návrhů

Maketa vyrobená z oceli je levná, pevná a vyhovuje rozměrovým požadavkům. Maketa tvořená Itemy bude dražší, její spoje nebudou tak pevné jako je tomu u svařence, ale rozměrovým požadavkům bude odpovídat lépe než maketa ocelová. Ta by pro testování trouby Standard přečnívala zástavbu v přední části, protože rám o rozměrech odpovídajících největší vyráběné troubě typu Extended by nebylo možné zmenšit. U hliníkové makety se pro změnu délky pouze přidají nebo odeberou Itemy, které slouží právě k zajištění změny polohy uchycení k rámu. Další její výhodou je poměr tuhosti a hmotnosti, který je jedním z nejlepších mezi snadno dostupnými materiály. Pro výběr vhodnější konstrukce bude přihlédnuto k nastavitelnosti polohy těžiště. Ocelová konstrukce zajistí pouze dvě polohy těžiště, kdežto Itemy je možné jakkoliv posunout a přenastavit tak kostku těžiště přesně do místa, ve kterém se nachází, bez jakéhokoliv zaokrouhlování nebo úprav.

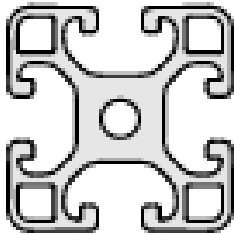
Jako vhodnější konstrukční řešení je zvolena maketa tvořená převážně hliníkovými profily od firmy Item.



Obrázek 11: Popis jednotlivých dílů

6.3.4 Základní parametry hliníkového profilu

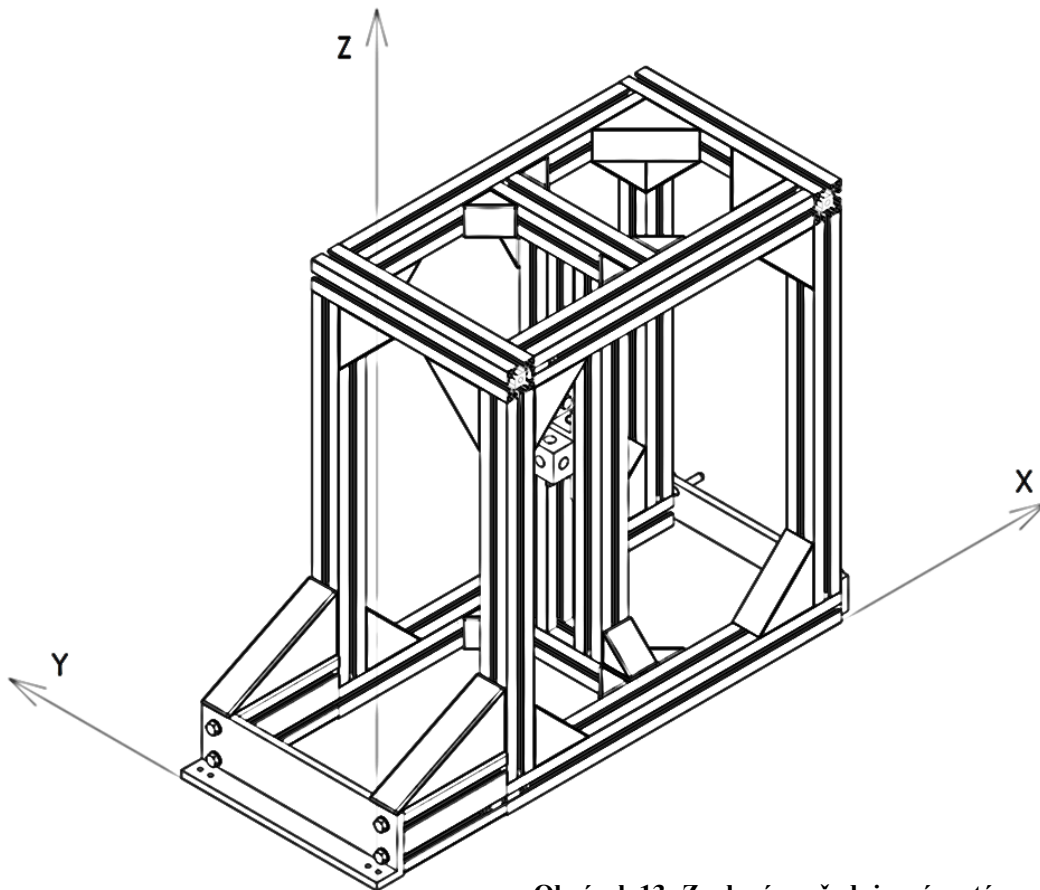
V nabídce je několik druhů profilů o stejném vnějším rozměru, lišících se důmyslností odlehčení. Byl zvolen profil o rozměrech 40 x 40 mm s drážkami vhodnými pro použití šroubů M8. Správnost volby se zjistí na základě následujících výpočtů pevnosti pro předepsané zatížení.



Obrázek 12: Průřez hliníkovým profilem [21]

- Modul průřezu v ohybu $W_o = 4,5 \text{ cm}^3$ [21]
- Mez kluzu v tahu $Rp_{0,2} = 195 \text{ N/mm}^2$ [21]
- Minimální průměr šroubu M8 $d_{min} = 6,272 \text{ mm}^2$ [22]
- Smluvní mez kluzu pro šroub $\sigma_k = 640 \text{ MPa}$ [23]

6.3.5 Zatížení makety

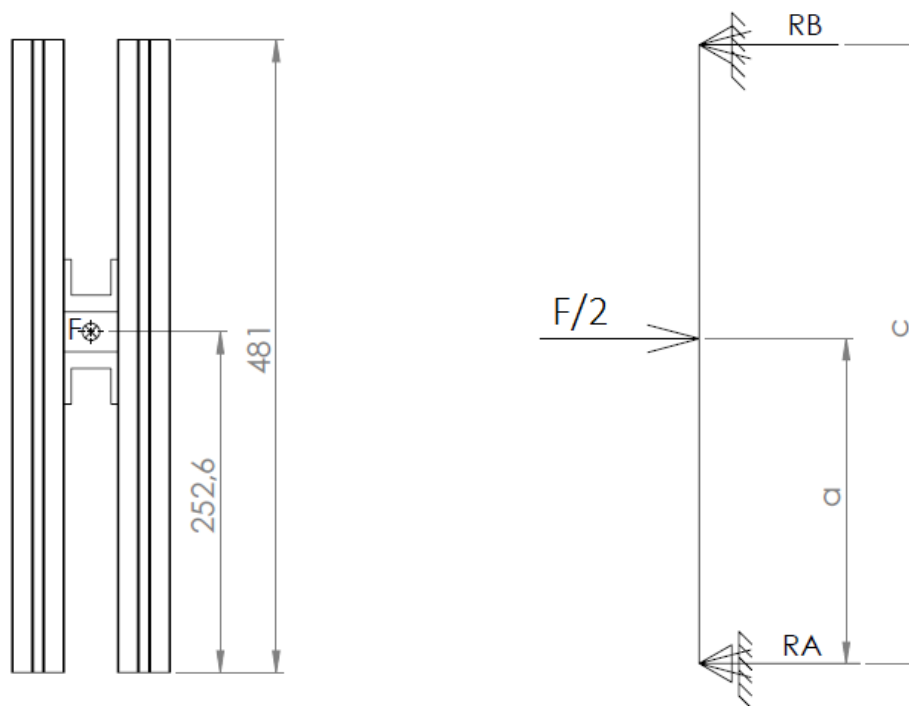


Obrázek 13: Zvolený souřadnicový systém

Pro výpočet zatěžovací síly působící na maketu byla použita hodnota nejvyššího vzniklého přetížení [Tabulka 1] a hmotnost nejtěžší používané trouby [Tabulka 4], aby byla získána největší síla, která může na maketu působit.

$$F = m \cdot g \cdot \text{přetížení} = 48,9 \cdot 9,81 \cdot 17,955 = 8\,613,175 \text{ N}$$

6.3.6 Napětí v příčnicích při ohybu



Obrázek 14: Zatížení příčniců v ose X, Y a vzniklé reakce

Napětí v ohybu vychází z maximálního ohybového momentu M_o a průřezového modulu v ohybu W_o . Síla působící v těžišti, nenamáhá příčnící ve středu, ale v závislosti na typu trouby je vychýlena. Pro výpočet momentu je potřeba znát reakce v obou uloženíh. Bude uvažován nejhorší zátěžný stav, kdy je těžiště od středu odchýleno nejvíce, čímž vyjdou krajní hodnoty reakcí. Zjištěnou reakcí působící na rameni k namáhající síle je spočítán maximální ohybový moment.

Item o rozměrech 40 x 40 x 481 mm lze nahradit prutem na dvou podporách, který si zachová vlastnosti průřezu profilu, kterými je kvadratický moment a délka ramene od středu k okraji.

Výpočty reakcí lze provést na základě sestavení podmínek rovnováhy, momentové a silové. V konstrukci se nachází dva příčnící držící kostku těžiště, proto při výpočtu ohybu jednoho z nich bude uvažována jen poloviční síla. Dojde k jejímu rovnoměrnému rozložení mezi oba nosníky.

$$M_A: \frac{F}{2} \cdot a - R_B \cdot c = 0 \Rightarrow R_B = \frac{F \cdot a}{2 \cdot c} = \frac{8\,613,175 \cdot 252,6}{2 \cdot 481} = 2\,261,63 \text{ N}$$

$$F_x: \frac{F}{2} = R_A + R_B \Rightarrow R_A = \frac{F}{2} - R_B = \frac{8\,613,175}{2} - 2\,261,63 = 2\,044,958 \text{ N}$$

Maximální ohybový moment:

$$M_o = R_A \cdot a = 2\,044,958 \cdot 252,6 = 516\,556,391 \text{ Nmm}$$

Napětí v ohybu:

$$\sigma = \frac{M_o}{W_o} = \frac{516\,556,391}{4\,500} = \mathbf{114,79\ MPa}$$

Dovolené napětí pro hliník

$$\sigma_{dovAL} = R_{p0,2} = \mathbf{195\ MPa}$$

Bezpečnost:

$$k = \frac{\sigma_{dovAL}}{\sigma} = \frac{195}{114,79} = 1,7$$

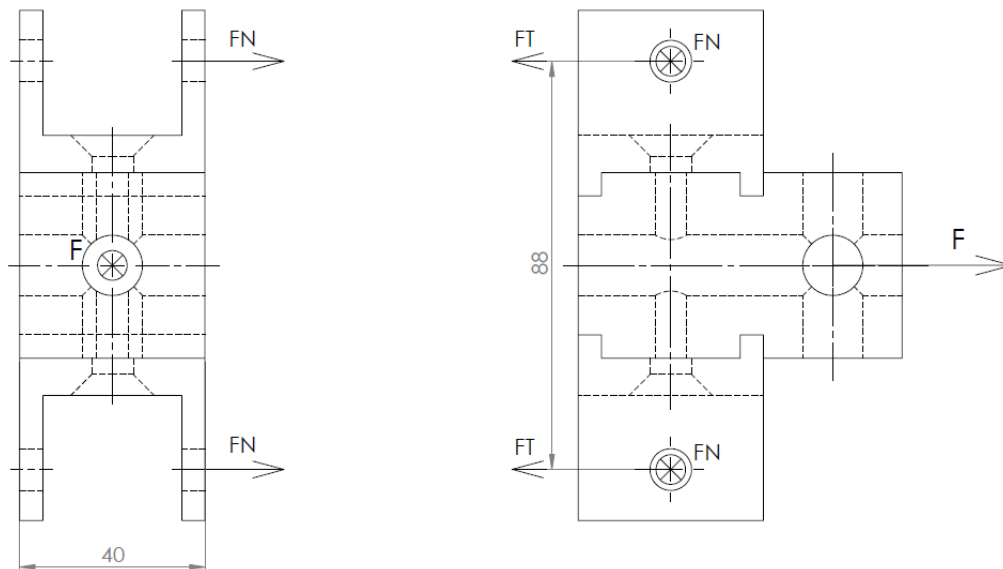
$$\sigma \leq \sigma_{dovAL} \Rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

Tyto příčníky jsou nevíce namáhanými součástmi celé makety, protože na ně působí největší síla, namáhající oba pruty na ohyb. Díky ověření, že zvolený průřez Itemu vydrží napětí vzniklé při průhybu s bezpečností vyšší než 1, je možné Itemy těchto rozměrů použít pro konstrukci celé makety.

6.3.7 Uchycení kostky těžiště a U držáků mezi příčnicky

Kostka těžiště je mezi příčnicky uchycena pomocí dvou prvků ve tvaru U, podepírajících ji z obou stran. Spoj mezi U součásti a těmy zajišťují 4 šrouby M8, které musí vyvinout dostatečný tlak pro vytvoření tření mezi plochami k udržení správné polohy těžiště i při namáhání.

- Síla působí v ose X



Obrázek 15: Zatížení kostky těžiště v ose X a vzniklé reakce

Pro zatížení makety ve směru X je potřeba zkontrolovat napětí ve šroubech, vzniklé utažením, nutným pro vytvoření dostatečného tření. Známá je třecí síla, rovnající se síle zatěžující F a součinitel smykového tření $f = 0,61$ mezi hliníkem a ocelí [22].

Napětí ve šroubu lze vypočítat z normálové síly F_N působící v ose šroubu v poměru k nejmenšímu průřezu d_{min} , kolmému na jeho osu, vynásobeného počtem šroubů n .

$$F_N = \frac{F_T}{f} = \frac{F}{f} = \frac{8\,613,175}{0,61} = 14\,119,959\text{ N}$$

$$\sigma_{\check{S}R} = \frac{F_N}{A_{\check{S}R} \cdot n} = \frac{F_N}{\frac{\pi \cdot d_{min}^2}{4} \cdot n} = \frac{14\,119,959}{\frac{\pi \cdot 6,272^2}{4} \cdot 4} = 114,25\text{ MPa}$$

Dovolené napětí ve šroubu je počítáno z napětí na mezi kluzu σ_k a koeficientu bezpečnosti k , který je zvolen 2.

$$\sigma_{dov\check{S}R} = \frac{\sigma_k}{k} = \frac{640}{2} = 320\text{ MPa}$$

$$\sigma_{\check{S}R} \leq \sigma_{dov\check{S}R} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

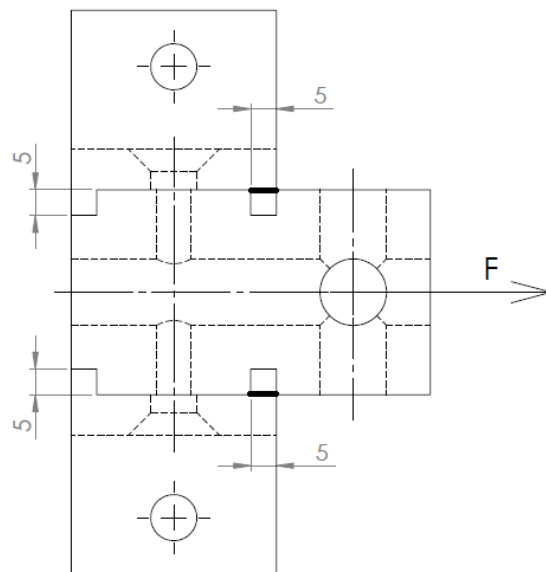
Poloha kostky těžiště je v uchycovacích držácích tvaru U zajištěna tvarovým spojením. Výstupky jsou umístěny do drážek a je potřeba je ověřit na stříh a otláčení. Materiálem obou součástí byla zvolena ocel 11 600. [22]

Tečným napětím jsou namáhány dvě plochy výstupků o rozměrech 5 x 40 mm, jejichž poloha je vyznačena černou výraznou čarou na Obrázek 16. Při působení síly opačným směrem budou namáhány 4 výstupky stejnou silou, proto není potřeba dělat výpočetní kontrolu tohoto stavu.

$$\tau = \frac{F}{2 \cdot S} = \frac{8\,613,175}{2 \cdot 5 \cdot 40} = 21,533 \text{ MPa}$$

$$\tau_{dov} = 105 \text{ MPa}$$

$$\tau \leq \tau_{dov} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



Obrázek 16: Plochy namáhané na stříh při zatížení v ose X

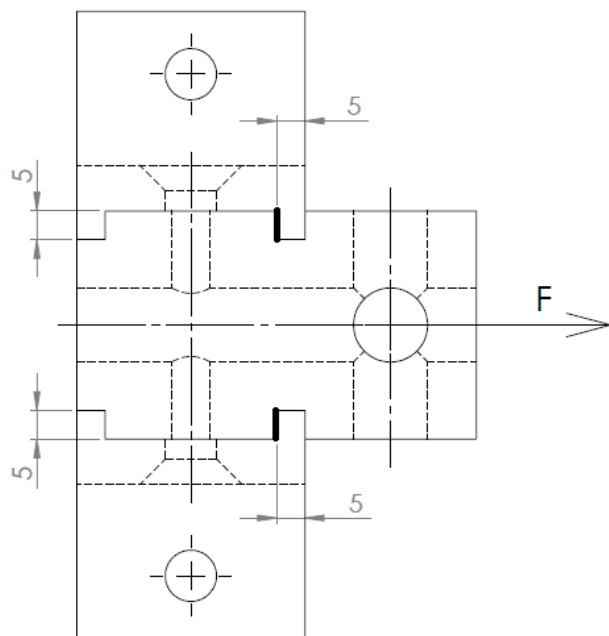
Při působení síly v jednom směru budou na otláčení namáhány 4 plochy, ale v opačném směru pouze 2. Pokud bude provedena kontrola pro 2 plochy o rozměrech 5 x 40 mm a vyhoví dovolenému tlaku, není nutno otláčení počítat.

$$p = \frac{F}{2 \cdot S} = \frac{8\,613,175}{2 \cdot 5 \cdot 40} = 21,533 \text{ MPa}$$

Dovolený tlak ve stykových plochách závisí na povrchové úpravě součástí. Ani jedna ze součástí nebyla povrchově upravena, proto hodnota dovoleného tlaku bude uvažována nejnižší z uváděného rozsahu. [22]

$$p_{dov} = 40 \text{ MPa}$$

$$p \leq p_{dov} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



Obrázek 17: Plochy namáhané na otláčení při zatížení v ose X

- Síla působí v ose Y

Při působení síly ve směru Y, dochází ke vzpříčení kostky těžiště mezi Itemy, proto je potřeba zkontrolovat stykovou plochu na otláčení. Plocha styku je vyznačena silnější černou čarou v Obrázek 18.

Síla ve směru Y působí mimo osu Itemů, vznikne krouticí moment, který má za následek vzpříčení kostky těžiště. Pro zjištění jednotlivých reakcí si lze situaci představit jako nosník na dvou podpěrách zatížený na převislém konci. Reakce z momentových podmínek k jednotlivým podpěrám ve středech stykových ploch se následně rozloží na tlak, čímž bude možné porovnat součásti na otláčení.

Momentová podmínka k A:

$$M_A: F \cdot a - R_B \cdot b = 0$$

$$R_B = \frac{F \cdot a}{b} = \frac{8\,613,175 \cdot 47}{24} = 16\,867,47\,N$$

Momentová podmínka k B:

$$M_B: F \cdot (a - b) - R_A \cdot b = 0$$

$$R_A = \frac{F \cdot (a - b)}{b} = \frac{8\,613,175 \cdot (47 - 24)}{24} = 8\,254,293\,N$$

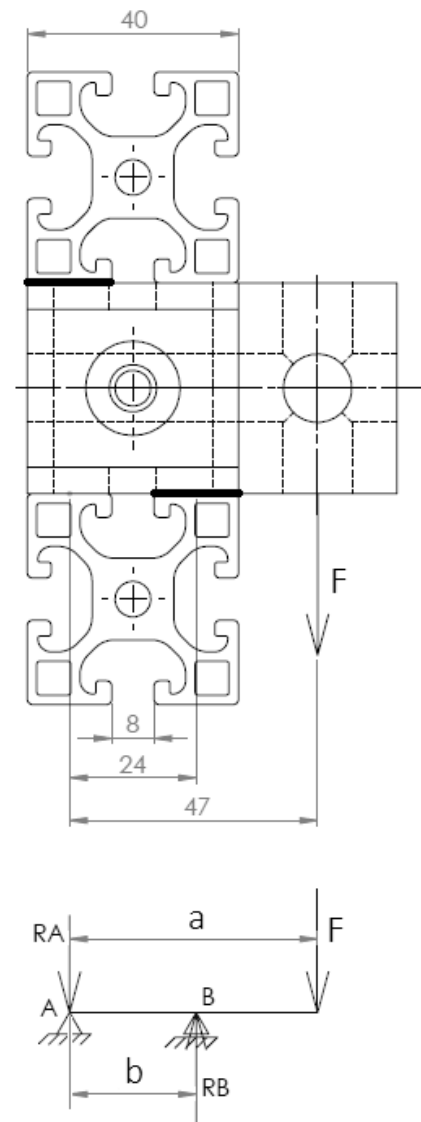
Větší síla působí v bodě B, což znamená, že na této ploše vznikne větší tlak, není tedy potřeba počítat tlak v bodě A, protože bude menší.

$$p_B = \frac{R_B}{S} = \frac{16\,867,47}{16 \cdot 40} = 26,355\,MPa$$

Dovolený tlak ve stykových plochách závisí na povrchové úpravě součástí. Ocelová součást nebyla povrchově upravena, proto hodnota dovoleného tlaku bude uvažována nejnižší z uváděného rozsahu. Hliníkové Itemy mají anodizovaný povrch, což má za následek zvýšení jeho pevnosti, proto bude kontrolní hodnotou dovolený tlak pro ocel. [22]

$$p_{dov} = 40\,MPa$$

$$p_B \leq p_{dov} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

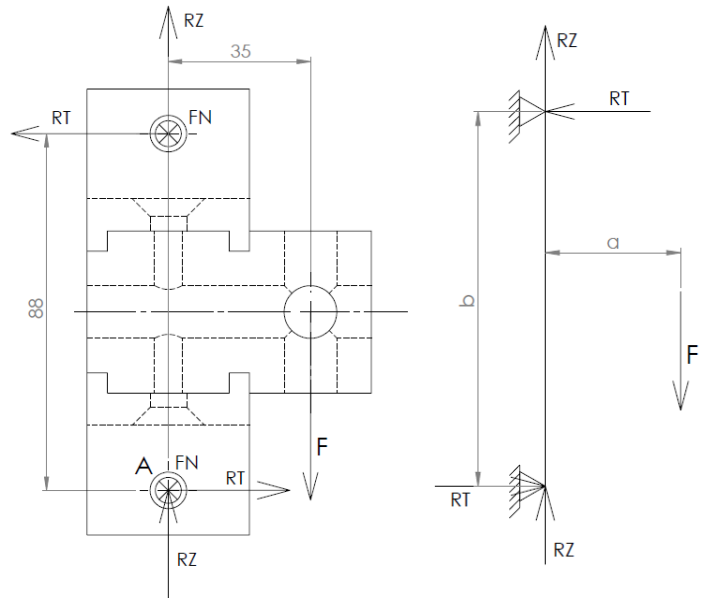


Obrázek 18: Plochy namáhané na otláčení při zatížení v ose Y a vzniklé reakce

- Síla působí v ose Z

Síla ve směru Z vytváří kroutící moment, protože působí mimo osu Itemu. Spojení mezi profilem a uchycovacím prvkem zajišťují šrouby M8, jejichž utažením vznikne třecí síla F_T potřebná k udržení kostky těžiště na určeném místě. Je potřeba zkontrolovat napětí ve šroubech, vzniklé při utažení, pro vytvoření dostatečného tření.

Moment způsobí, že těžiště bude na jeden U profil tlačit a od druhého bude mít snahu odlehnout. Proto zatěžovací sílu přenesou pouze dva šrouby.



Obrázek 19: Zatížení kostky těžiště v ose Z a vzniklé reakce

Reakce v tomto uložení by nebylo možné získat, protože se jedná o staticky neurčitý nosník. Aby bylo možné reakce vypočítat, bude uvažováno zjednodušení, kdy reakce ve směru Z budou stejně velké. Z reakcí vypočtených po sestavení momentové a silové podmínky rovnováhy ke šroubu, lze následně jejich sečtením zjistit velikost třecí síly F_T .

$$M_A: F \cdot a - R_T \cdot b = 0 \Rightarrow R_T = \frac{F \cdot a}{b} = \frac{8\,613,175 \cdot 35}{88} = 3\,425,695 \text{ N}$$

$$F_Z: F = 2 \cdot R_Z \Rightarrow R_Z = \frac{F}{2} = 4\,306,588 \text{ N}$$

Součet sil:

$$F_A = \sqrt{R_T^2 + R_Z^2} = \sqrt{3\,425,695^2 + 4\,306,588^2} = 5\,502,916 \text{ N}$$

Normálová síla F_N v ose šroubu, získaná ze síly třecí a součinitele smykového tření f mezi hliníkem a ocelí, má spolu s nejmenším průřezem šroubu d_{min} vynásobeným jejich počtem n vliv na celkové napětí ve šroubu.

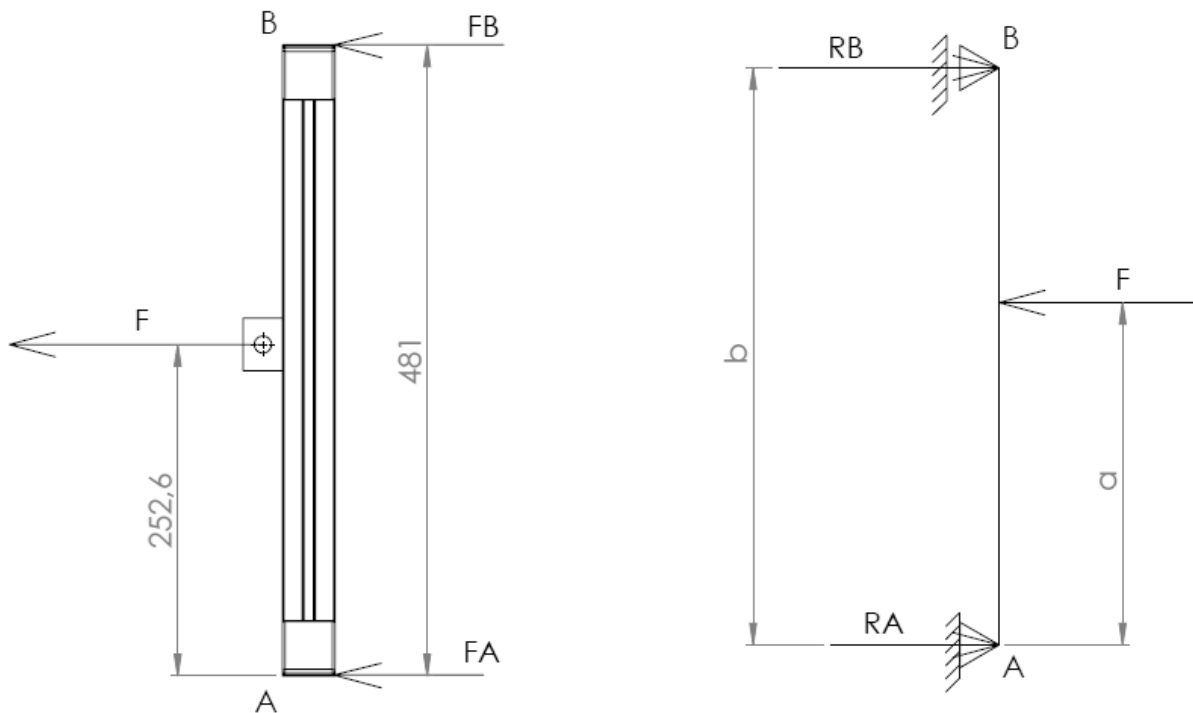
$$F_N = \frac{F_T}{f} = \frac{F_A}{f} = \frac{5\,502,916}{0,61} = 9\,021,174 \text{ N}$$

$$\sigma_{\check{S}R} = \frac{F_N}{A_{\check{S}R} \cdot n} = \frac{F_N}{\frac{\pi \cdot d_{min}^2}{4} \cdot n} = \frac{9\,021,174}{\frac{\pi \cdot 6,272^2}{4} \cdot 2} = 145,993 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{dov\check{S}R} = \frac{\sigma_k}{k} = \frac{640}{2} = 320 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\check{S}R} \leq \sigma_{dov\check{S}R} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.3.8 Uchycení příčníků ke spojnicím rámu



Obrázek 20: Zatížení spoje příčníků se spojnicemi rámu v ose X a vzniklé reakce

- Síla působí v ose X

Pro sílu působící ve směru X lze příčník nahradit prutem na dvou podporách. Spočítáním reakcí v podporách pomocí momentové a silové podmínky získáme síly, působící na jednotlivá uchycení příčníků ke spojnici rámu. Spojení zajišťují malé úhelníky, které jsou připevněny jedním šroubem do každé strany. Jejich dostatečně velkého tření mezi plochami se dosáhne utažením šroubů, proto je nutné zkontrolovat napětí ve šroubech.

$$M_A: F \cdot a - R_B \cdot b = 0$$

$$R_B = |F_B| = \frac{F \cdot a}{b} = \frac{8\,613,175 \cdot 252,6}{481} = 4\,523,26 \text{ N}$$

$$F_x: F = F_A + F_B \Rightarrow F_A = F - F_B = 8\,613,175 - 4\,523,26 = 4\,089,915 \text{ N}$$

Napětí ve šroubech stačí spočítat pouze pro větší sílu působící na spojení. Pokud spojení odolá vyšší síle působící na šrouby, zákonitě odolá i nižší, působící na druhé straně příčníku. Stejně jako v předchozích případech je získána normálová síla F_{NB} vycházející z třecí síly F_T vydělené součinitelem smykového tření hliníkových ploch $f_{AL-AL} = 1,2$ [22], který je pro tyto povrchy větší, než tomu bylo mezi hliníkem a ocelí, čímž dojde ke zmenšení normálové síly.

$$F_{NB} = \frac{F_T}{f_{AL-AL}} = \frac{F_B}{f_{AL-AL}} = \frac{4\,523,26}{1,2} = 3\,769,383\text{ N}$$

$$\sigma_{\check{S}R} = \frac{F_{NB}}{A_{\check{S}R} \cdot n} = \frac{F_{NB}}{\frac{\pi \cdot d_{min}^2}{4} \cdot n} = \frac{3\,769,383}{\frac{\pi \cdot 6,272^2}{4} \cdot 2} = 61,001\text{ MPa}$$

Dovolené napětí ve šroubu je počítáno z napětí na mezi kluzu σ_k a koeficientu bezpečnosti k , který je zvolen 2.

$$\sigma_{dov\check{S}R} = \frac{\sigma_k}{k} = \frac{640}{2} = 320\text{ MPa}$$

$$\sigma_{\check{S}R} \leq \sigma_{dov\check{S}R} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- Síla působí v ose Y

Síla ve směru Y působí na rameni, k ose symetrie příčníků. Toto rameno je v poměru k celé délce příčniku velmi malé, proto nebude chybou ho pro výpočet zanedbat. Zjednodušením příčniku na nosník na dvou podporách vznikne stejná situace jako při působení síly ve směru X. Zatěžující síla je stejná, proto i vniklé reakce a následně z nich vypočítané napětí se bude shodovat s předchozím případem. Lze tedy prohlásit, že:

$$\sigma_{\check{S}R} \leq \sigma_{dov\check{S}R} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- Síla působí v ose Z

Zatížením příčníků ve směru Z dojde k tlaku na spojovací ítem. Vzhledem k tomu, že plocha spojení je poměrně velká a spojovací profil krátký, není potřeba provádět výpočty pro kontrolu na otláčení ani na ohyb.

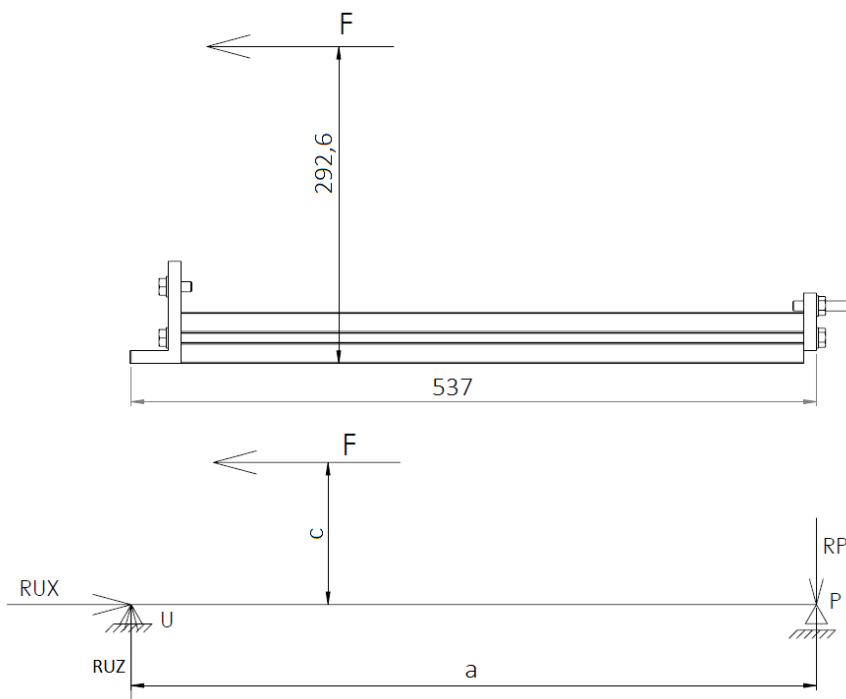
6.3.9 Uchycení spojnic k rámu

Spojnice je k rámu uchycena taktéž malými úhelníky, stejně jako v předchozím případě. Rozdíl je zde v tom, že každý profil je k rámu uchycen dvěma úhelníky na každé straně. Z toho vyplývá, že stejně velká síla jako u spoje příčníků ke spojnicím působí na dvojnásobný počet úhelníkových spojek. Vzhledem k tomu, že spoje v předchozím případě vyhověly i s polovičním počtem šroubů, není nutné uchycení spojnice k rámu kontrolovat.

6.3.10 Uchycení do zástavbového modulu

Trouba je k zástavbě upevněna čtyřmi šrouby v přední části a dvěma piny v zadní části. Stejně tak je navržena i maketa, aby bylo její uchycení co nejvíce podobné reálnému stavu. Pro kontrolní výpočty v jednotlivých uchycovacích místech je potřeba si nejprve rozložit zátěžnou sílu působící v těžišti, a získat tak sílu působící pouze v daném místě uchycení.

- Síla působí v ose X



Obrázek 21: Zatížení makety v ose X a vzniklé reakce v uchycení

Piny v zadní části nezachytí žádnou sílu působící v ose X, zachytí pouze reakci způsobenou momentem, který zátěžná síla způsobí. Reakce potřebné pro kontrolu šroubů jsou vypočteny za pomoci silových podmínek. V tomto případě je potřeba sestavit dvě momentové a jednu silovou podmínku.

$$M_P: R_{UZ} \cdot a - F \cdot c = 0 \Rightarrow R_{UZ} = \frac{F \cdot c}{a} = \frac{8\,613,175 \cdot 292,6}{537} = 4\,693,138\,N$$

$$M_U: R_P \cdot a - F \cdot c = 0 \Rightarrow R_P = \frac{F \cdot c}{a} = \frac{8\,613,175 \cdot 292,6}{537} = 4\,693,138\,N$$

$$F_X: R_{UX} - F = 0 \Rightarrow R_{UX} = F = 8\,613,175\,N$$

V přední části makety trouby působí po rozložení zátěžné síly větší silové účinky, ale šroubů v zadní části makety je stejně jako v přední, postačí kontrolu provést pro šrouby uchycující přípojovací prvek v přední části a bude zaručeno, že vydrží.

Aby bylo možné síly v bodě U sečíst, je potřeba převést sílu R_{UZ} na normálovou. Nelze sčítat sílu působící v tečném směru R_{UZ} spolu s normálovou R_{UX} , která je získána přímo ze silové podmínky ve směru X.

$$F_{NUZ} = \frac{R_{UZ}}{f} = \frac{4\,693,138}{0,61} = 7\,693,669\text{ N}$$

$$F_{NU} = F_{NUZ} + R_{UX} = 7\,693,669 + 8\,613,175 = 16\,306,844\text{ N}$$

Kontrola šroubů:

$$\sigma_{\check{S}R} = \frac{F_{NU}}{A_{\check{S}R} \cdot n} = \frac{F_{NU}}{\frac{\pi \cdot d_{min}^2}{4} \cdot n} = \frac{16\,306,844}{\frac{\pi \cdot 6,272^2}{4} \cdot 4} = 131,95\text{ MPa}$$

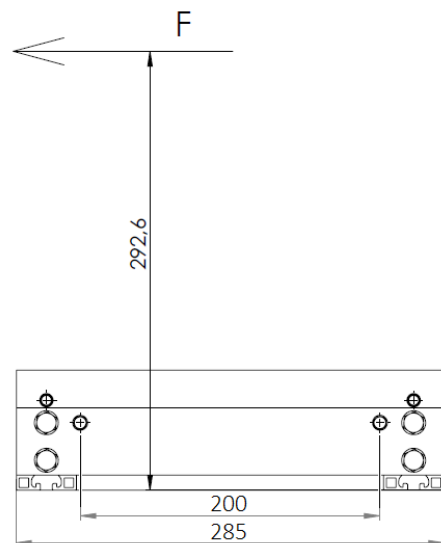
$$\sigma_{dov\check{S}R} = \frac{\sigma_k}{k} = \frac{640}{2} = 320\text{ MPa}$$

$$\sigma_{\check{S}R} \leq \sigma_{dov\check{S}R} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

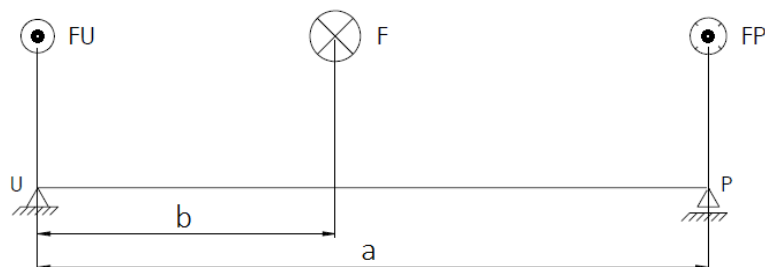
- Síla působí v ose Y:

Při zatížení makety silou působící v ose Y dojde k jejímu naklonění do strany. Tím se jedna strana zapře o dno zástavby a druhá bude nadzvedávána, čímž se veškerý přenos vzniklého napětí začne soustředit do jedné poloviny uchycení.

Stejně jako při působení síly v ose X, i zde je potřeba rozložit zátěžnou sílu na síly působící v přední a zadní části makety.



Obrázek 22: Zatížení makety v ose Y



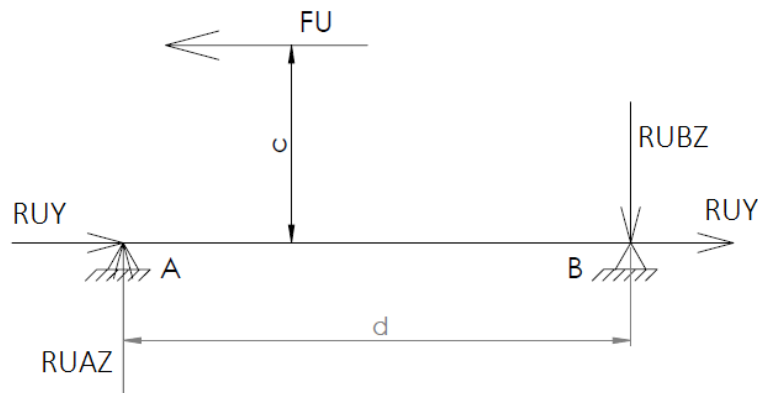
Obrázek 23: Rozklad síly do předního a zadního uchycení v ose Y

$$M_U: F \cdot b - F_P \cdot a = 0 \Rightarrow F_P = F \cdot \frac{b}{a} = 8\,613,175 \cdot \frac{202}{537} = 3\,239,965\text{ N}$$

$$F_Y: F = F_P + F_U \Rightarrow F_U = F - F_P = 8\,613,175 - 3\,239,965 = 5\,373,21\text{ N}$$

Přední uchycení – L profil:

Dále je nutné dopočítat reakce v jednotlivých podpěrách kvůli jejímu naklonění, aby bylo možné vypočítat a zkontrolovat napětí vzniklé ve šroubech. Jedná se o staticky neurčitý nosník, ve kterém by nebylo možné dopočítat všechny reakce v uchycení, proto bude uvažováno, že reakce ve směru Y jsou stejně velké. Pro zjištění velikostí všech vzniklých reakcí jsou použity dvě momentové a jedna silová podmínka rovnováhy.



Obrázek 24: Reakce v předním uchycení při působení síly v ose Y

$$M_A: R_{UBZ} \cdot d - F_U \cdot c = 0 \Rightarrow R_{UBZ} = \frac{F_U \cdot c}{d} = \frac{5\,373,21 \cdot 292,6}{285} = 5\,516,496 \text{ N}$$

$$M_B: R_{UAZ} \cdot d - F_U \cdot c = 0 \Rightarrow R_{UAZ} = \frac{F_U \cdot c}{d} = \frac{5\,373,21 \cdot 292,6}{285} = 5\,516,496 \text{ N}$$

$$F_X: 2 \cdot R_{UY} - F_U = 0 \Rightarrow R_{UY} = \frac{F_U}{2} = \frac{5\,373,21}{2} = 2\,686,605 \text{ N}$$

Obě síly v každém uložení jsou na sebe kolmé a vzhledem k ose šroubu působí tečně, proto je lze sečíst a následně z výslednice vypočítat normálovou sílu, která působí na polovinu uchycení makety, což se týká dvou šroubů. Síly jsou stejně velké v obou podporách, protože rameno zátěžné síly se neliší.

$$R_{UA} = R_{UB} = \sqrt{R_{UAZ}^2 + R_{UY}^2} = \sqrt{5\,516,496^2 + 2\,686,605^2} = 6\,135,925 \text{ N}$$

$$F_{NU} = \frac{F_T}{f} = \frac{R_{UA}}{f} = \frac{R_{UB}}{f} = \frac{6\,135,925}{0,61} = 10\,058,893 \text{ N}$$

$$\sigma_{\check{S}R} = \frac{F_{NU}}{A_{\check{S}R} \cdot n} = \frac{F_{NU}}{\frac{\pi \cdot d_{min}^2}{4} \cdot n} = \frac{10\,058,893}{\frac{\pi \cdot 6,272^2}{4} \cdot 2} = 162,786 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{dov\check{S}R} = \frac{\sigma_k}{k} = \frac{640}{2} = 320 \text{ MPa}$$

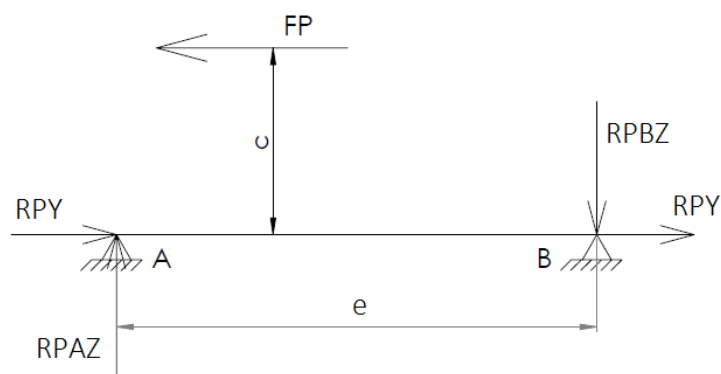
$$\sigma_{\check{S}R} \leq \sigma_{dov\check{S}R} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Zadní uchycení – Piny:

Uchycení lišty s piny je zajištěno čtyřmi šrouby stejně jako uchycení v přední části, ale dle rozkladu síly zde působí menší namáhání. Není potřeba počítat napětí vzniklé ve šroubech, protože bude vždy nižší než v přední části makety.

$$\sigma_{\check{S}R} \leq \sigma_{dov\check{S}R} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Pro přenos zatěžující síly do zástavbového modulu zde slouží piny, které jsou stejně jako lišta, pro jejich uchycení, vyrobeny z oceli 11 600. Konce pinů zakončují závity M10, jimiž jsou zašroubovány do lišty, aby bylo možné je snadno vyměnit při jejich opotřebení nebo porušení. Stejně jako v předním uchycení, jedná se o staticky neurčitý nosník. Pro zjednodušení a možnost dopočtení velikosti reakcí bude uvažováno stejně velkých sil působících ve směru Y. Za pomoci momentových a silové podmínky jsou vypočítány reakce v jednotlivých podporách, ze kterých jejich následným sečtením vyplyne síla působící na pin.



Obrázek 25: Reakce v zadním uchycení při působení síly v ose Y

Kvůli naklonění makety a opření jedné její poloviny do dna zástavby, musí výslednou sílu R_{PA} přenést pouze jeden pin, jenž bude zkontrolován na stříh.

$$M_A: R_{PBZ} \cdot e - F_p \cdot c = 0 \Rightarrow R_{PBZ} = \frac{F_p \cdot c}{e} = \frac{3\,239,965 \cdot 292,6}{200} = 4\,740,069 \text{ N}$$

$$M_B: R_{PAZ} \cdot d - F_p \cdot c = 0 \Rightarrow R_{PAZ} = \frac{F_p \cdot c}{e} = \frac{3\,239,965 \cdot 292,6}{200} = 4\,740,069 \text{ N}$$

$$F_x: 2 \cdot R_{PY} - F_p = 0 \Rightarrow R_{PY} = \frac{F_p}{2} = \frac{3\,239,965}{2} = 1\,619,983 \text{ N}$$

Velikosti reakcí v obou podporách v jednom směru budou stejné, protože vzdálenost zatěžující síly od základny je totožná, takže velikost momentu, který k nim vytváří, je stejná.

$$R_{PA} = R_{PB} = \sqrt{R_{PAZ}^2 + R_{PY}^2} = \sqrt{4\,740,069^2 + 1\,619,983^2} = 5\,009,251 \text{ N}$$

$$\tau = \frac{R_{PA}}{S_p} = \frac{R_{PA}}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{5\,009,251}{\frac{\pi \cdot 7,9^2}{4}} = 102,195 \text{ MPa}$$

$$\tau_{dov} = 105 \text{ MPa} \quad [22]$$

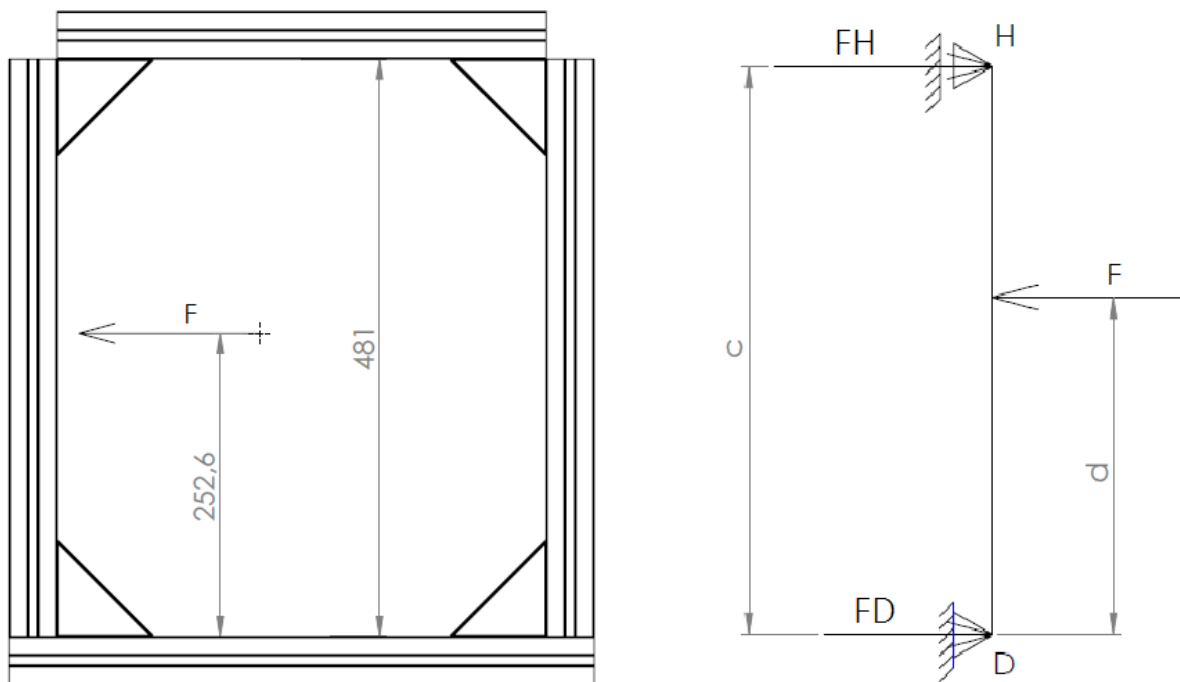
$$\tau \leq \tau_{dov} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.3.11 Spojovací úhelníky

Úhelníky slouží pro spojení jednotlivých kusů Itemů a zároveň jsou implementovány do každého rohu konstrukce kvůli eliminaci deformací od zatěžujících sil. Maketa je do kuchyňského modulu uchycena pouze v její dolní části. To znamená, že pokud zatěžující síla působí v těžišti, které se nachází nad rovinou, ve které je přidělena k zástavbě, bude maketa namáhána na zkos. Této deformaci nelze zcela zabránit, ale je možné ji výrazně eliminovat právě pomocí úhelníků. Každý rohový úhelník je k Itemům přišroubován čtyřmi šrouby, čímž zajistí dostatečné spojení mezi profily a zároveň svým tvarem vyztuží celou konstrukci. Tyto šrouby musí být zkontrolovány na napětí, které v nich vznikne při působení sil od deformace zkosem.

V dolní rovině bude síla od zatížení odebrána v uchycení. Pro zjištění síly působící v horní rovině je potřeba provést rozklad zatěžující síly do těchto dvou rovin. Situaci si lze představit jako nosník na dvou podporách, který bude ve směru síly působící v ose X a Y stejný.

- Síla působí v ose X:



Obrázek 26: Zatížení makety v ose X a vzniklé reakce způsobující zkos

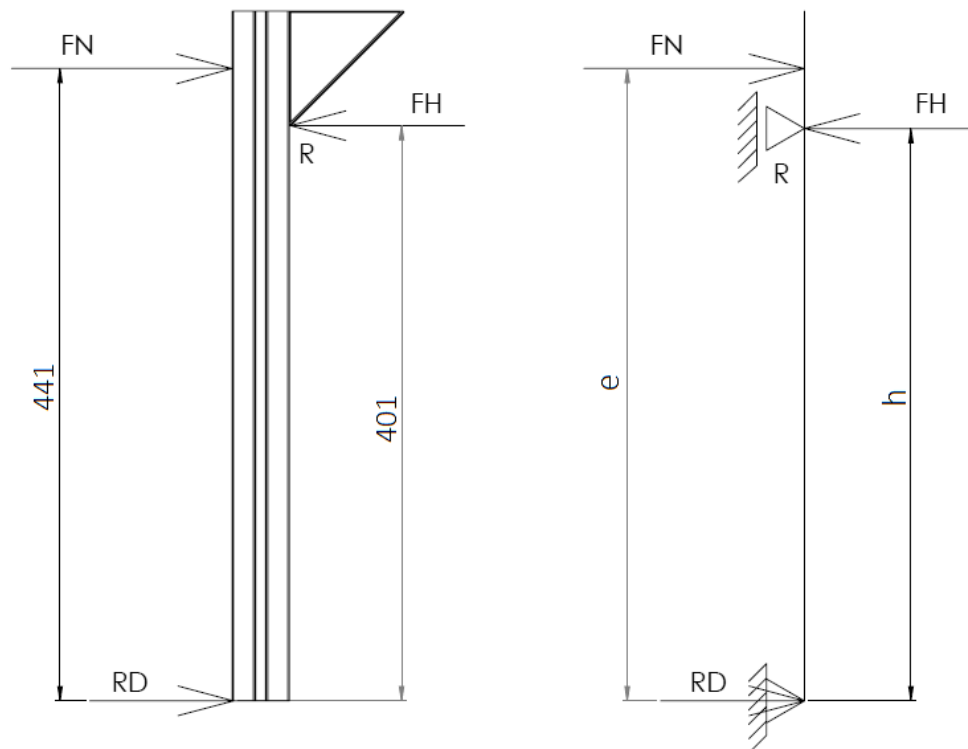
Rozklad vychází z momentové a silové podmínky, ze kterých budou zjištěny velikosti obou rozložených sil.

$$M_D: F \cdot d - F_H \cdot c = 0$$

$$F_H = \frac{F \cdot d}{c} = \frac{8\,613,175 \cdot 252,6}{481} = 4\,523,26 \text{ N}$$

$$F_X: F_H + F_D = F \Rightarrow F_D = |R_D| = F - F_H = 8\,613,175 - 4\,523,26 = 4\,089,915 \text{ N}$$

Pro výpočet napětí ve šroubech, uchycujících úhelníky, je potřeba znát na ně působící normálovou sílu F_N . Tato síla se vypočte přes moment ke spodnímu bodu úhelníku R do kterého je zároveň přenesena horní síla. Zkosem může dojít k odlehnutí úhelníku, tudíž zůstane styková plocha nebo spíše úsečka v bodě R.



Obrázek 27: Zatížení úhelníku v ose X a vzniklé reakce

$$M_R: F_N \cdot (e - h) - R_D \cdot h = 0$$

$$F_N = \frac{R_D \cdot h}{(e - h)} = \frac{4\,089,915 \cdot 401}{(441 - 401)} = 41\,001,398 \text{ N}$$

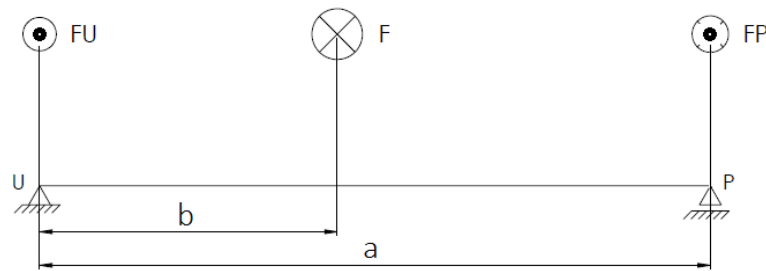
V horní části makety se nachází 4 úhelníky a každý z nich je k oběma stranám profilů přichycen čtyřmi šrouby, takže pro určitý směr zatížení bude uvažováno zatížení působící na dva z nich.

$$\sigma_{\check{S}R} = \frac{F_N}{A_{\check{S}R} \cdot n} = \frac{F_N}{\frac{\pi \cdot d_{min}^2}{4} \cdot n} = \frac{41\,001,398}{\frac{\pi \cdot 6,272^2}{4} \cdot 8} = 165,885 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{dov\check{S}R} = \frac{\sigma_k}{k} = \frac{640}{2} = 320 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\check{S}R} \leq \sigma_{dov\check{S}R} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- Síla působí v ose Y:

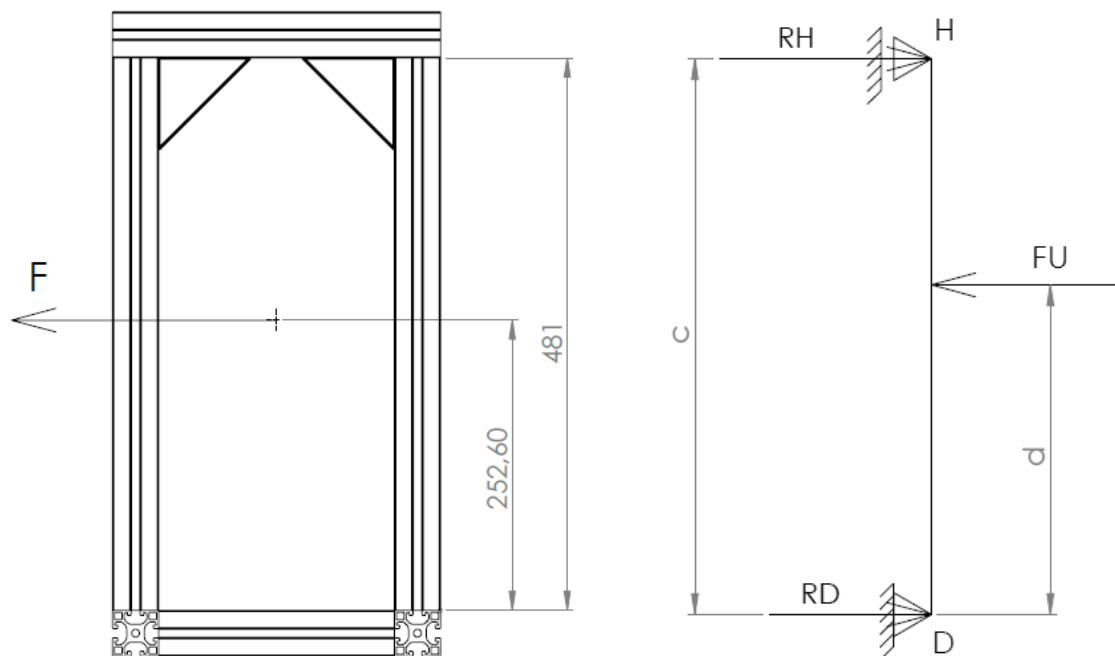


Obrázek 28: Rozklad síly do předního a zadního uchycení v ose Y

$$M_U: F \cdot b - F_P \cdot a = 0 \Rightarrow F_P = F \cdot \frac{b}{a} = 8\,613,175 \cdot \frac{202}{537} = 3\,239,965 \text{ N}$$

$$F_Y: F = F_P + F_U \Rightarrow F_U = F - F_P = 8\,613,175 - 3\,239,965 = 5\,373,21 \text{ N}$$

Z rozkladu síly ve směru Y bylo zjištěno, že v přední části makety bude působit větší síla než v části zadní. Stavba makety je ale v obou částech stejná, proto postačí zkontrolovat napětí ve šroubech upevňujících úhelníky, pouze v přední části. Dále je nutné rozložit tuto sílu pro zjištění sil působících zvláště v horní a dolní části makety za pomoci momentové a silové podmínky.

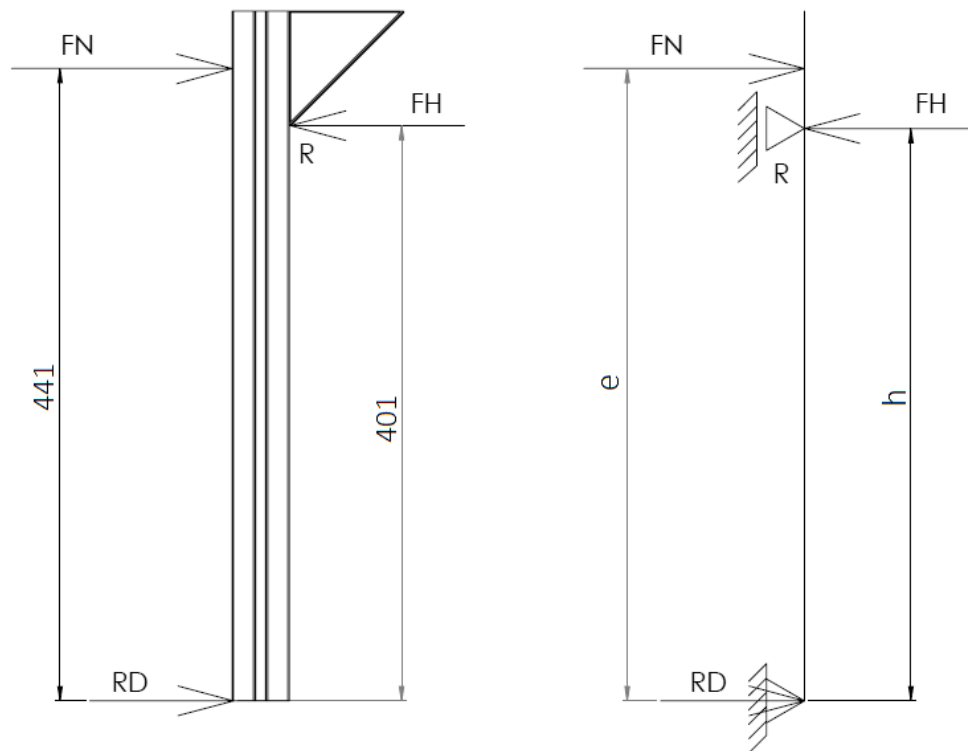


Obrázek 29: Zatížení makety v ose Y a vzniklé reakce způsobující zkos

$$M_D: F_U \cdot d - R_H \cdot c = 0 \Rightarrow R_H = |F_H| = \frac{F_U \cdot d}{c} = \frac{5\,373,21 \cdot 252,6}{481} = 2\,821,773 \text{ N}$$

$$F_X: R_H + R_D = F_U \Rightarrow R_D = F_U - R_H = 5\,373,21 - 2\,821,773 = 2\,551,437 \text{ N}$$

Výpočet napětí ve šroubech je obdobný jako v předchozím případě, liší se pouze počtem úhelníků. Tentokrát je síla rozložena do přední a zadní části, takže počet šroubů, mezi které se napětí rozloží, bude poloviční.



Obrázek 30: Zatížení úhelníku v ose Y a vzniklé reakce

$$M_R: F_N \cdot (e - h) - R_D \cdot h = 0$$

$$F_N = \frac{R_D \cdot h}{(e - h)} = \frac{2\,551\,437 \cdot 401}{(441 - 401)} = 25\,578\,156 \text{ N}$$

$$\sigma_{\check{S}R} = \frac{F_N}{A_{\check{S}R} \cdot n} = \frac{F_N}{\frac{\pi \cdot d_{min}^2}{4} \cdot n} = \frac{25\,578\,156}{\frac{\pi \cdot 6,272^2}{4} \cdot 4} = 206,97 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{dov\check{S}R} = \frac{\sigma_k}{k} = \frac{640}{2} = 320 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\check{S}R} \leq \sigma_{dov\check{S}R} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

- Síla působí v ose Z

Při působení zatěžující síly ve směru Z nedojde ke zkosu, tudíž není potřeba sílu rozkládat, ani kontrolovat napětí ve šroubech spojujících úhelníky s konstrukcí.

6.4 Shrnutí konstrukčního návrhu

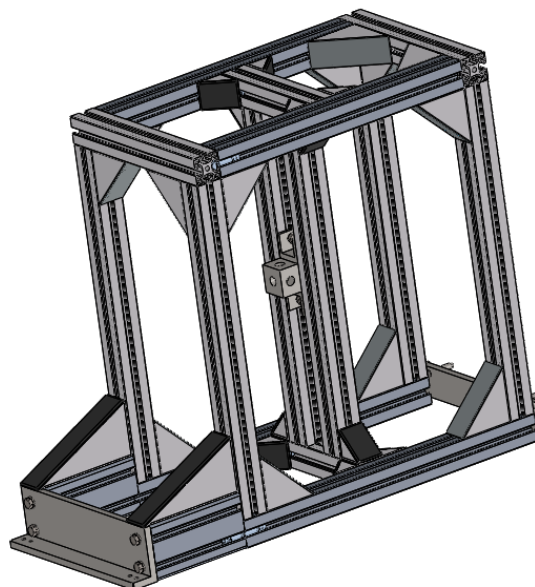
Nestačí pouze navrhnout konstrukční řešení, ale je potřeba toto řešení také ověřit, zda vydrží všechny zátěžné síly, působící při testování. Konstrukce se skládá z několika částí, které jsou spojeny šrouby. Pokud se nejedná o šrouby lícované, nesmí být namáhány na střih, takže každý spoj, na který působí zatěžující síla kolmo k ose šroubu, musí být utažen tolik, že mezi přiléhajícími plochami bude vyvinuta dostatečně velká třecí síla, aby udržela vzájemnou polohu součástí. Napětí v jednotlivých šroubových spojkách je vypočítáno z normálové síly, působící v jejich ose, nejmenší plochy průřezu kolmého na osu a počtem zatížených šroubů. Vypočítané napětí bylo porovnáno s dovoleným napětím pro použitý materiál, čímž se zjistilo, zda spoj vyhověl nebo ne.

Dlouhé příčníky, mezi kterými je umístěna kostka těžiště, budou namáhány na ohyb, což vzhledem k jejich délce není příliš optimální. Dá se předpokládat, že vlivem zatěžující síly, dojde k jejich průhybu, který způsobí značné napětí. Výpočet konkrétní hodnoty vzniklého napětí a jeho následným porovnáním s dovoleným napětím pro daný materiál, bylo zjištěno, že příčníky vyhoví s bezpečností 1,7.

V neposlední řadě bylo potřeba provést kontrolu některých součástí na otlacení. Kostka těžiště je mezi Itemy uchycena dvěma U profily, mezi kterými při zatížení ve směru X drží za pomoci tvarových výstupků. Při zatížení ve směru Y, kdy síla působí mimo osu Itemu, dochází ke vzpříčení tělesa simulujícího těžiště mezi profily Itemu. Styková plocha tvarových výstupků zapadajících do drážek a styková plocha samotného Itemu s těžištěm, byla zkontrolována na otlacení a vyhověla.

Dále se v konstrukci objevuje pár prvků, namáhaných tečnou silou na střih. Jedná se o tvarové výstupky u U profilu, držící kostku těžiště při zatížení ve směru X a dále o kolíky v zadní části makety, použité pro ustavení do zástavbového modulu kuchyňky. Ani jedno napětí ve střížné rovině nepřesáhlo dovolenou hodnotu napětí, se kterou bylo porovnáváno.

Veškeré zmíněné požadavky firmy, jakými byla pevnost, vyměnitelnost úchytných bodů, nastavitelnost polohy těžiště a lehkost, jsou tímto konstrukčním řešením splněny.



Obrázek 31: Kompletní maketa

7 Kalkulace

Součástí konstrukčního návrhu musí být také cenová kalkulace, která alespoň orientačně ukáže celkovou cenu makety. Pokud by se náklady na maketu zdály zákazníkovi příliš vysoké, nebyl by takový konstrukční návrh použit. Pro snížení nákladů by se pak dala vzít v úvahu změna materiálu, což by znamenalo nové ověření vzniklého napětí v kritických místech. Další možností by byla změna profilu Itemu, který se může lišit složitostí průřezu, což ovlivňuje jeho hmotnost, kdy spolu s důmyslnějším řešením odlehčení roste cena. Krajním případem, když ani změna materiálu nebo průřezu profilu nepomůže, je změna celého konstrukčního řešení a návrh kompletně nové makety.

- První částkou je cena za nákup polotovarů potřebných pro výrobu jednotlivých dílů.
- Druhá částka je počítána z času, který je potřeba k výrobě konečných dílů z nakoupených polotovarů. V závislosti na druhu úprav polotovaru je v každé firmě stanoven hodinový tarif, kterým se vynásobí čas strávený nad danou úpravou.
- Třetí částka vyhrazená na montáž je vypočítána z času, který je nad montáží stráven, vynásobeného hodinovým tarifem.

Celková cena je pak součtem těchto tří částek, které se mohou lišit v závislosti na cenách polotovaru od dodavatele a na výši hodinového tarifu stanoveného firmou. Tarif si jednotlivé firmy určují sami podle nákladů na provoz strojů a finančním ohodnocení zaměstnanců obsluhujících tyto stroje.

Podrobný rozpis cen za jednotlivé polotovary a finanční ohodnocení časů strávených úpravou polotovarů na finální díl je uveden v následující tabulce. Výstupem je celková cena makety trouby, která vznikla součtem částek vydaných za jednotlivé díly.

Tabulka 6: Rozpis pro odhad ceny

Materiál	Počet kusů [ks]	Cena za kus [EUR]	Čas práce na kus [min]	Doba práce celkem [min]	Cena za práci/hodina [EUR]	Celková cena [EUR]
Item 40x40x285	2	8,70	10	20	21,00	24,40
Item 40x40x488	2	9,50	10	20	21,00	26,00
Item 40x40x481	6	9,30	10	60	21,00	76,80
Item 40x40x408	2	9,10	10	20	21,00	25,20
Item 40x40x205	2	6,10	10	20	21,00	19,20
Item 40x80x150	2	5,70	10	20	21,00	18,40
Přední uchycení 80x40x285	1	13,00	180	180	21,00	76,00
Těžiště 40x40x70	1	15,00	60	60	21,00	36,00
Uchycení těžiště 40x40x40	2	9,60	150	300	21,00	124,20
Zadní příčník 40x10x285	1	12,30	60	60	21,00	33,30
Piny PR 10x47	2	1,00	30	60	21,00	23,00
Roh 40x40 sestava	12	2,70	0	0	-	32,40
Roh 80x80 sestava	14	3,50	0	0	-	49,00
Roh 80x160 sestava	2	4,10	0	0	-	8,20
Upevnění do drážky	6	1,30	0	0	-	7,80
Šrouby M8	12	0,15	0	0	-	1,80
Montáž	0	0	0	240	16,00	64,00
Celkem						645,7

Celková cena je pouze orientační, jelikož se nejedná o nabídku, ale pouze o odhad. Částky za materiál mohou být odlišné dle dodavatele a zároveň hodinová cena za práci zaměstnance bude záviset na tarifu určeném firmou.

8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout testovací maketu do zkušebny. Její konstrukční řešení musí odpovídat požadavkům zákazníka, kterým je firma Zodiac. Maketa musí odpovídat rozměrům skutečné trouby, aby ji bylo možné uchytit do jimi vyráběných a testovaných kuchyňských modulů, dodávaných nejrozličnějším aeroliniím. Zatížením trouby dojde ke vzniku napětí v uchycení a tlaku na vnitřní stěny zástavby. Vzhledem k tomu, že kuchyňka v letadle může být umístěna na různých místech, čímž se liší její orientace, je nutné zajistit, aby i maketu bylo možné zatížit do kteréhokoliv směru. Konstrukcí makety je nutné dodržet i další požadavky zákazníka, jimiž je možnost výměny úchytných bodů při porušení, nastavitelnost polohy těžiště dle typu trouby a dodržení jejich vnějších rozměrů. Bylo by dobré přihlédnout i k tíze makety, protože to výrazně ulehčí manipulaci.

Začátkem bylo potřeba zjistit, jaké trouby se na trhu nacházejí, jejich odlišnosti v poloze těžiště nebo vnějších rozměrech, pro které musí být maketa variabilní.

Dále došlo k porovnání různých druhů materiálů a posouzení jejich vhodnosti pro daný účel. Výběr materiálu částečně určil konstrukční provedení, jelikož například spojování jednotlivých dílů se výrazně liší v závislosti na materiálu. Nejvhodnějšími a nejdostupnějšími materiály se ukázala být ocel a hliník.

Se zvolením materiálu byla navrhována hrubá konstrukce pro každý z nich, aby bylo možné porovnat, které konstrukční řešení bude pravděpodobně výhodnější a dojde k jeho podrobnému rozpracování, vedoucímu k finálnímu řešení.

Po rozpracování bylo potřeba podrobný návrh ověřit z hlediska pevnosti. Pro ověření byly provedeny výpočty napětí působícího na jednotlivé spoje a vyráběné díly. Tato hodnota nesměla přesáhnout hodnotu dovoleného napětí použitého materiálu. Při porovnání všechny oblasti vyhověly, což znamená, že daná konstrukce bude dostatečně pevná a při zatížení silou rovnající se 8 613 N všechny její spoje a namáhané díly vydrží.

Protože z konstrukčního hlediska maketa splňuje požadavky zákazníka, byla provedena kalkulace pro zjištění nákladů na výrobu. Náklady jsou součtem ceny za materiál a tarifně ohodnoceného času na výrobu jednotlivých dílů sestavy. Celková částka je pouze orientační, protože závisí na mnoha faktorech, které mohou výrazně ovlivnit konečnou sumu. Těmito faktory může být například cena za materiál dle dodavatele nebo výše tarifního ohodnocení času stráveného přípravou jednotlivých dílů a následného sestavení makety do finální podoby.

9 Citovaná literatura

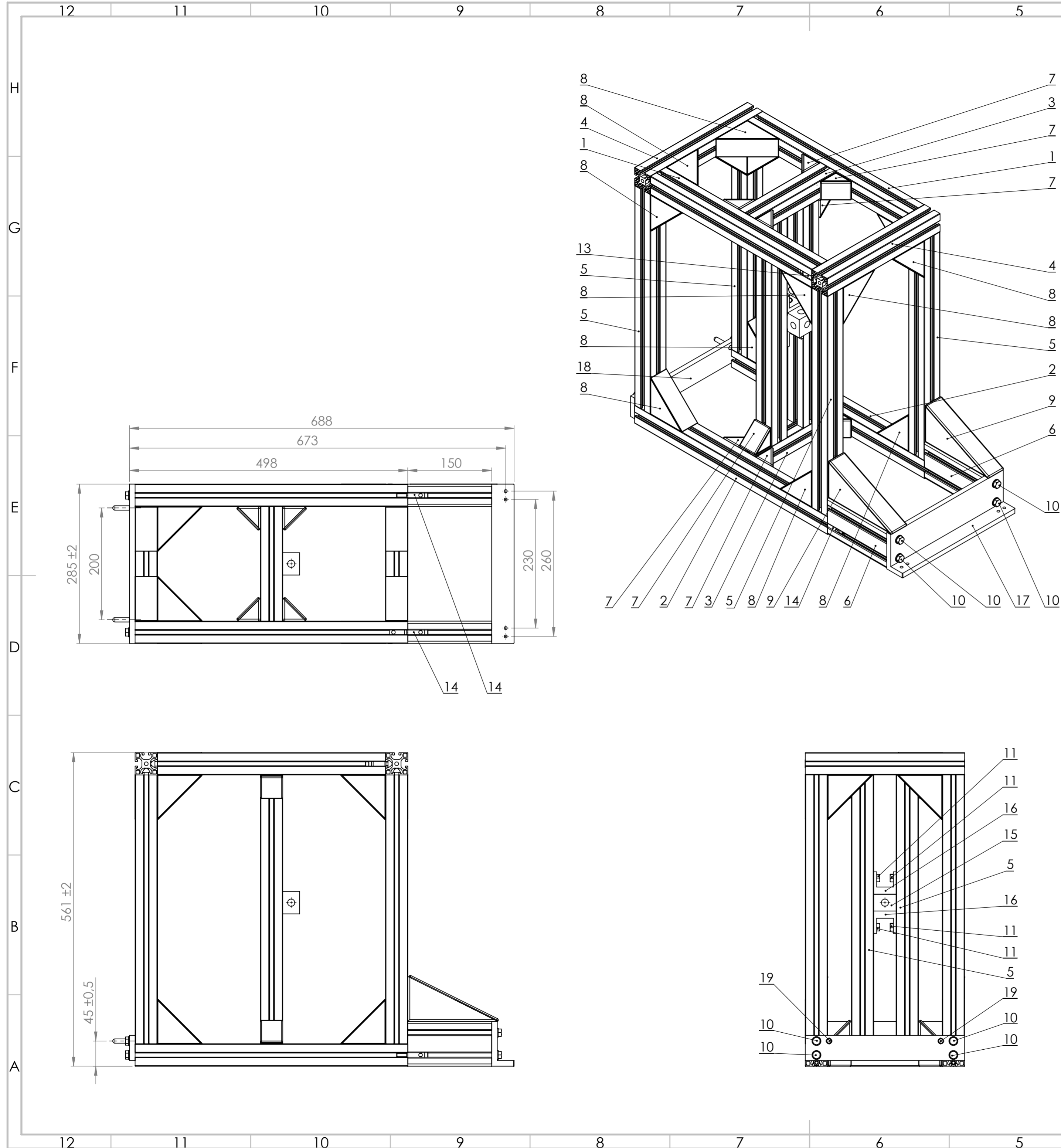
- [1] **Beneš a Michl.** *delamedoletadel.* [online] 11. Prosinec 2017. <http://www.delamedoletadel.cz/my-jsme-zodiac-aerospace/>
- [2] **EASA.** [online] 12. Prosinec 2017. https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/CS-25_Amdt%203_19.09.07_Consolidated%20version.pdf
- [3] **Rockwell Collins.** [online] 18. Leden 2018. <http://beaerospace.com/products/galley-systems/galley-inserts/oven-products/>
- [4] **Ipeco.** [online] 18. Leden 2018. <https://www.ipeco.com/products-and-services/galley-inserts/ovens/>
- [5] **Aerolux.** [online] 18. Leden 2018. <http://www.aerolux.co.uk/AL-OU50-2000-series.html>
- [6] **T-prom.** [online] 24. Leden 2018. <http://www.tprom.cz/mechanicke-vlastnosti-oceli>
- [7] **Berka, Pavel.** *Alunet.* [online] 24. Leden 2018. <http://www.alunet.cz/ENAW-7075>
- [8] **Item.** [online] 1. Únor 2018. https://catalog.item24.de/images/medienelemente/DOK/DATA/DOK_DATA_profil-tech-daten__SEN__AIN__V3.pdf?_ga=2.162154108.110342609.1518425925-86798935.1518425925
- [9] **Terapol.** [online] 24. Leden 2018. <http://www.terapol.cz/clanek/no-vap-hlavni-skupiny>
- [10] **Ryj.** *Wikipedia.* [online] 1. Únor 2018. http://cs.m.wikipedia.org/wiki/Uhlíkové_vláknó
- [11] **LPM.** [online] 1. Únor 2018. <http://www.lpm.cz/cgi-bin/riweta.cgi?nr=2690&lng=1>
- [12] **Gutta.** [online] 1. Únor 2018. http://www.gutta.com/html/uploads/media/TL_GUTTAGLISS_DUAL01.pdf
- [13] **Nože Menhart.** [online] 1. Únor 2018. <http://files.nozemenhart.webnode.cz/200000201-0ed960fd40/19312.pdf>
- [14] **ShadowRobot.** *Wikipedia.* [online] 1. Únor 2018. http://cs.m.wikipedia.org/wiki/Hustoty_látek
- [15] **Wikipedia.** [online] 21. Únor 2018. <https://cs.wikipedia.org/wiki/Polykarbon%C3%A1t>
- [16] **Bodycote.** [online] 21. Únor 2018. <http://www.bodycote.cz/cs-CZ/services/heat-treatment/annealing-normalising/normalising.aspx>
- [17] **Wikipedia.** [online] 21. Únor 2018. <https://cs.wikipedia.org/wiki/Dural>
- [18] **Pakula, Daniel.** *Opi.* [online] 21. Únor 2018. https://www.opi.zcu.cz/download/Precipitace09_10.pdf
- [19] **Berka, Pavel.** *Alunet.* [online] 27. Únor 2018. <http://www.alunet.cz/ENAW-6060>
- [20] **Hroch, Miloš.** *Astronom.* [online] 27. Únor 2018. <https://www.astronom.cz/procyon/chemistry/elox.html>
- [21] **tomas.** *Item.* [online] 25. Březen 2018. <https://product.item24.de/en/products/product-catalogue/productdetails/products/construction-profiles-8-1001042794/profile-8-40x40-light-natural-2633/>
- [22] **E-konstrukter.** [online] 2. Duben 2018. <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/>
- [23] **Šroub a Matka.** [online] 2. Duben 2018. <https://www.sroubamatka.cz/cs/technicke-informace/mechanicke-vlastnosti-ocelovych-sroubu.html>

10 Seznam obrázků

Obrázek 1: Logo zákazníka [1]	9
Obrázek 2: Logo evropské letecké bezpečnostní agentury [2]	10
Obrázek 3: Trouba značky Rockwell Collins [3]	12
Obrázek 4: Trouba značky Ipeco [4]	12
Obrázek 5: Trouba značky Zodiac Aerospace [1]	13
Obrázek 6: Trouba značky Aerolux [5]	13
Obrázek 7: Nynější maketa	14
Obrázek 8: Polohy těžišť	20
Obrázek 9: Model makety z oceli	21
Obrázek 10: Model makety z hliníku	22
Obrázek 11: Popis jednotlivých dílů	23
Obrázek 12: Průřez hliníkovým profilem [21]	24
Obrázek 13: Zvolený souřadnicový systém	24
Obrázek 14: Zatížení příčníků v ose X, Y a vzniklé reakce	25
Obrázek 15: Zatížení kostky těžiště v ose X a vzniklé reakce	27
Obrázek 16: Plochy namáhané na střih při zatížení v ose X	28
Obrázek 17: Plochy namáhané na otláčení při zatížení v ose X	28
Obrázek 18: Plochy namáhané na otláčení při zatížení v ose Y a vzniklé reakce	29
Obrázek 19: Zatížení kostky těžiště v ose Z a vzniklé reakce	30
Obrázek 20: Zatížení spoje příčníků se spojnicemi rámu v ose X a vzniklé reakce	31
Obrázek 21: Zatížení makety v ose X a vzniklé reakce v uchycení	33
Obrázek 22: Zatížení makety v ose Y	34
Obrázek 23: Rozklad síly do předního a zadního uchycení v ose Y	34
Obrázek 24: Reakce v předním uchycení při působení síly v ose Y	35
Obrázek 25: Reakce v zadním uchycení při působení síly v ose Y	36
Obrázek 26: Zatížení makety v ose X a vzniklé reakce způsobující zkos	37
Obrázek 27: Zatížení úhelníku v ose X a vzniklé reakce	38
Obrázek 28: Rozklad síly do předního a zadního uchycení v ose Y	39
Obrázek 29: Zatížení makety v ose Y a vzniklé reakce způsobující zkos	39
Obrázek 30: Zatížení úhelníku v ose Y a vzniklé reakce	40
Obrázek 31: Kompletní maketa	41

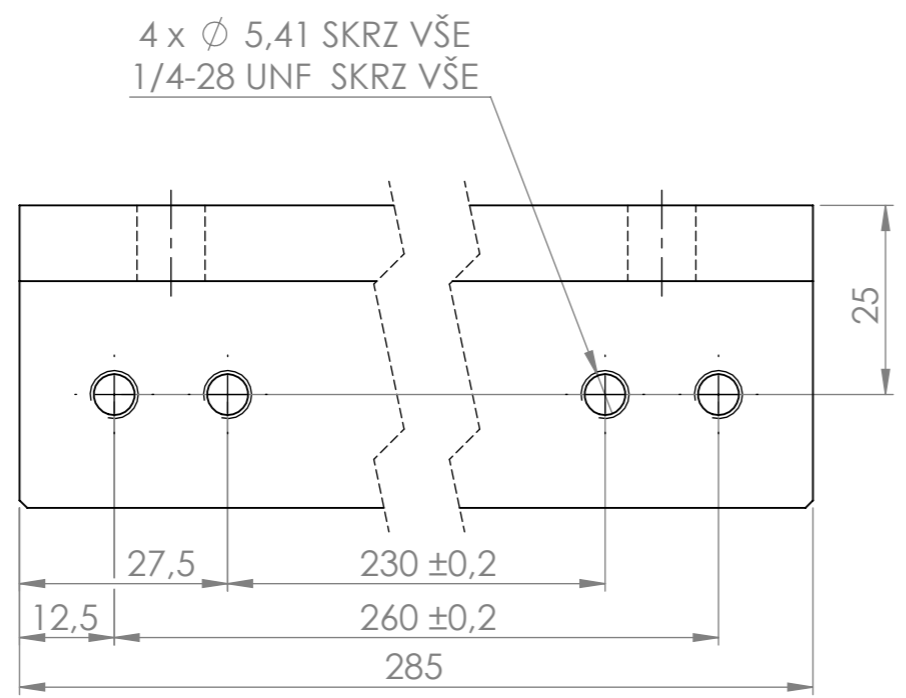
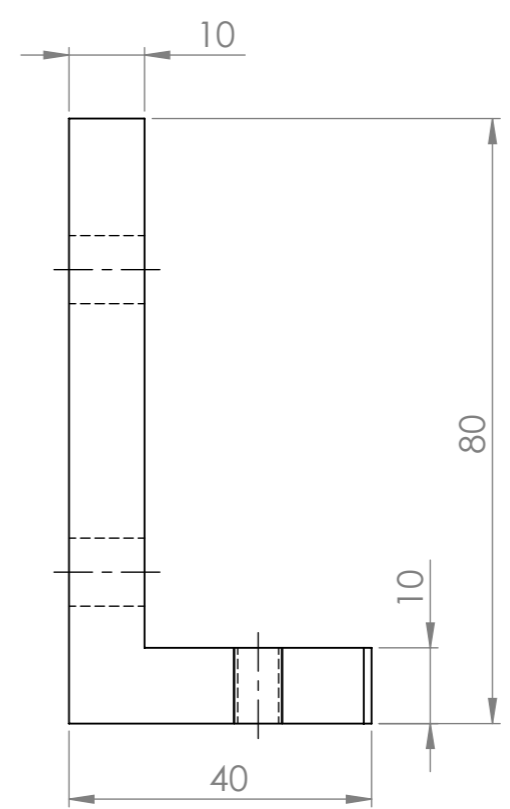
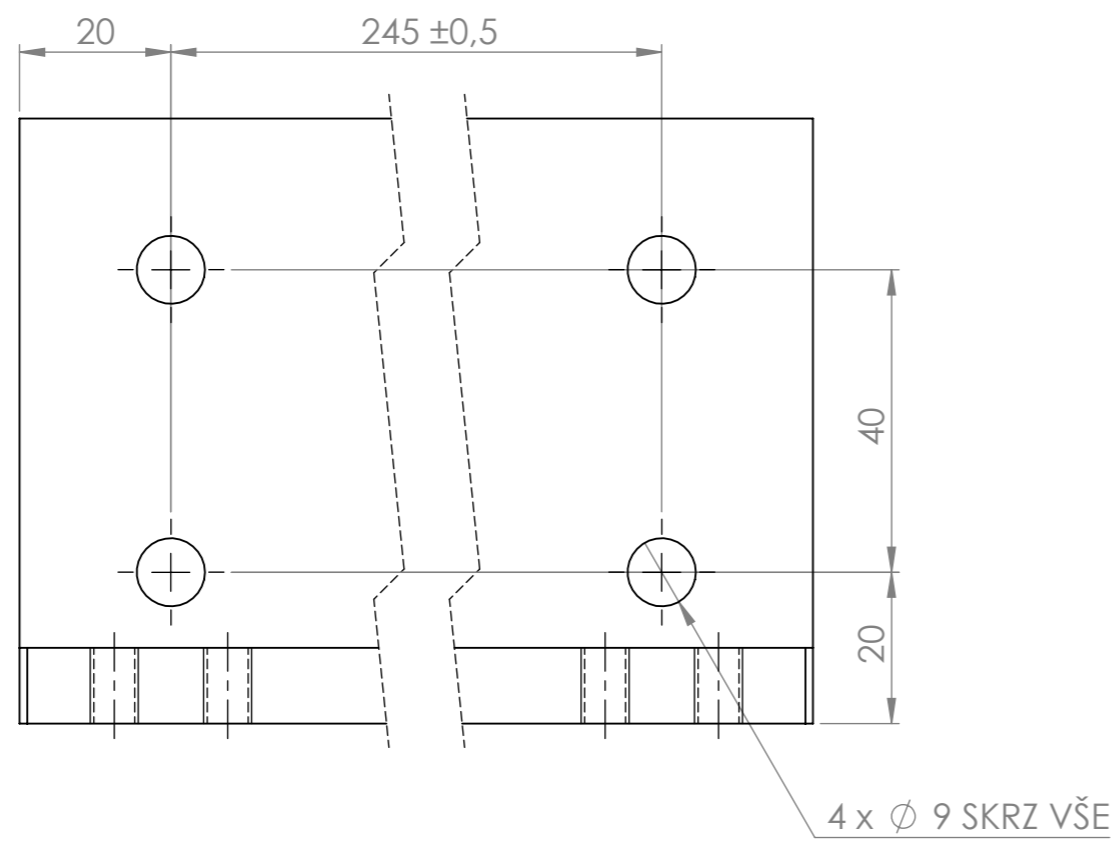
11 Seznam tabulek

Tabulka 1: Zátěžné faktory [2]	11
Tabulka 2: Základní materiálové vlastnosti [14]	15
Tabulka 3: Hodnocení na základě rozhodovacích kritérií	16
Tabulka 4: Vnější rozměry a hmotnost	20
Tabulka 5: Poloha těžiště	20
Tabulka 6: Rozpis pro odhad ceny	43



Č. POLOŽKY	Č. DÍLU	POPIS	Množství
1	Item_40x40x408	NAKUPOVÁNO	2
2	Item_40x40x488	NAKUPOVÁNO	2
3	Item_40x40x205	NAKUPOVÁNO	2
4	Item_40x40x285	NAKUPOVÁNO	2
5	Item_40x40x481	NAKUPOVÁNO	6
6	Item_40x80x150	NAKUPOVÁNO	2
7	item_Angle Bracket Set 8 40x40_1	NAKUPOVÁNO	12
8	item_Angle Bracket Set X 8 80x80_1	NAKUPOVÁNO	14
9	item_Angle Bracket Set 8 160x80_2	NAKUPOVÁNO	2
10	ISO 4018 - M8 x 20-NC	NAKUPOVÁNO	8
11	ISO 4018 - M8 x 16-NC	NAKUPOVÁNO	4
12	Washer ISO 7089 - 8	NAKUPOVÁNO	12
13	Item_Automatic-Fastening Set 8_1	NAKUPOVÁNO	2
14	item_Automatic-Stoss-Verbindungssatz 8_1	NAKUPOVÁNO	4
15	tezistova_kostka		1
16	drzak_tezistove_kostky		2
17	predni_uchyceni (L profil)		2
18	zadni_pricka_na_piny		1
19	pin		2

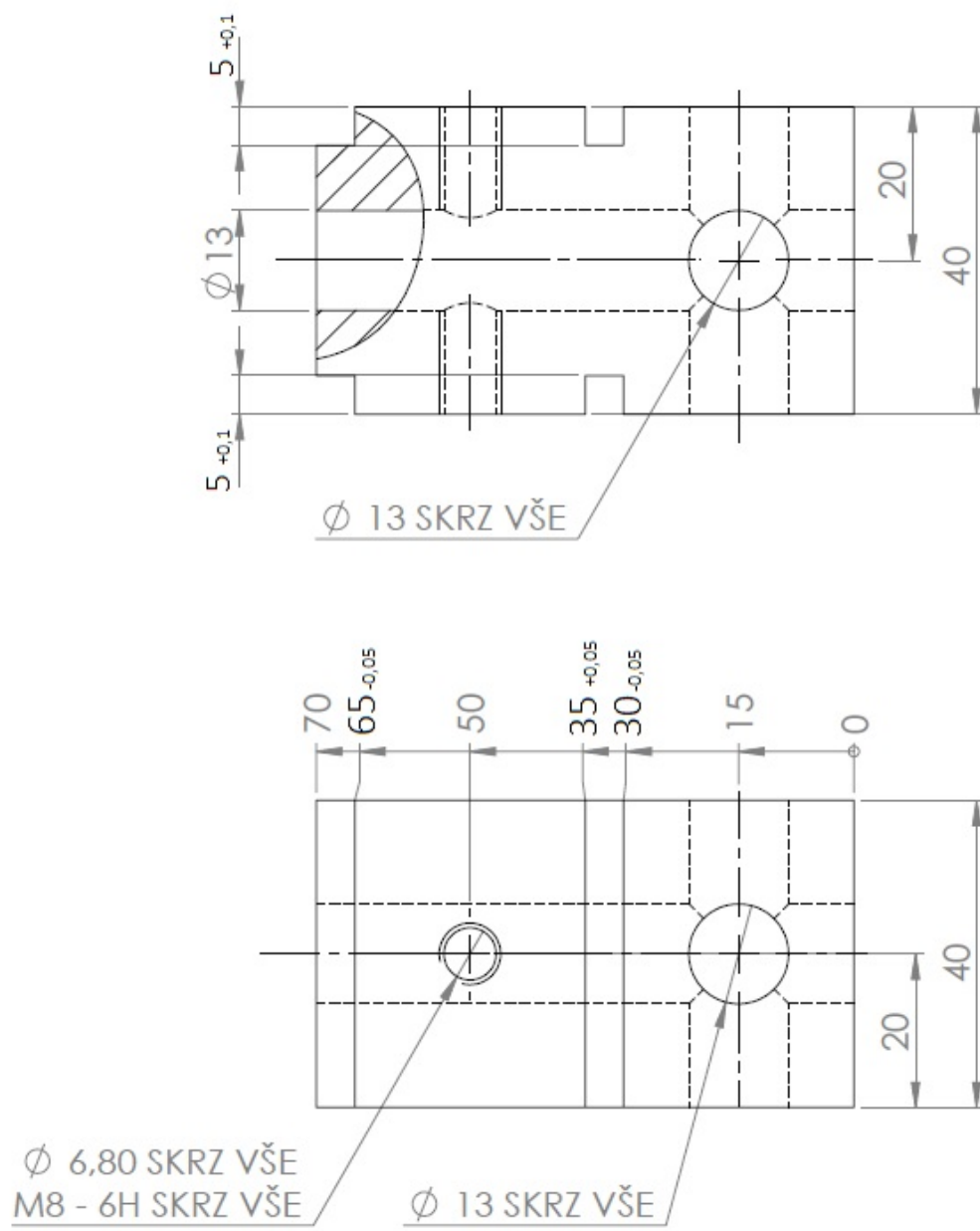
Počet kusů:	ks		Polotovary-Název-Rozměr	Materiál	Číslo dílu	Sestava	Pozice
Teplotní zpracování: (povrchová úprava)	Kreslil	Datum	Jméno	Název:			
	Změnil	9.5.2018	Kolaříková	MAKETA TROUBY			
	Schválil						
Číslo zakázky:	Formát	Měřítko	Předchozí výkres:		Výkres:		List:
Netolerované rozměry dle ČSN ISO 2768-m	A2	1:5	ZAPADŮČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI				List:



SRAZIT OSTRÉ HRANY

Počet kusů:	L 80x80x10 - ČSN 42 5541.1	11 600	maketa	17
1 ks	Polotovár-Název-Rozměr	Material	Číslo dílu	...Sestava... ..Pozice
Tepelné zpracování: (povrchová úprava)		Datum	Jméno	Název:
		Kreslil	9.5.2018	Kolaříková
		Změnil		
		Schválil		
Číslo zakázky:		Formát	Měřítko	Předchozí výkres:
		A3	1:1	Výkres:
Netolerované rozměry dle ČSN ISO 2768-m				predni_uchyceni
				List:
				Listů:

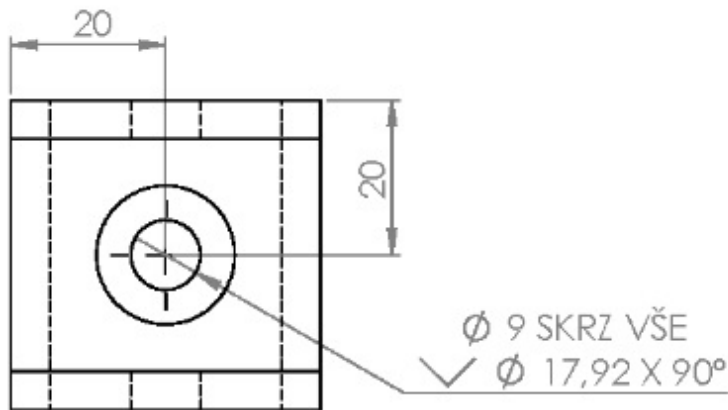
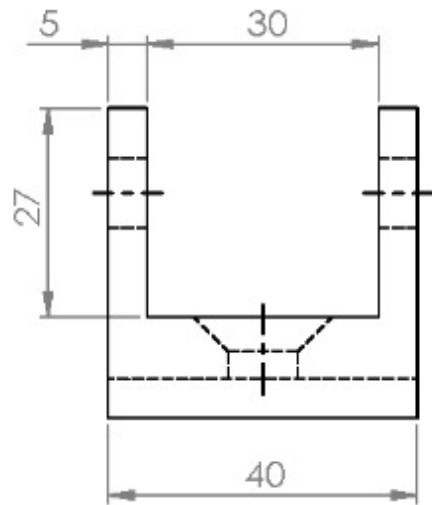
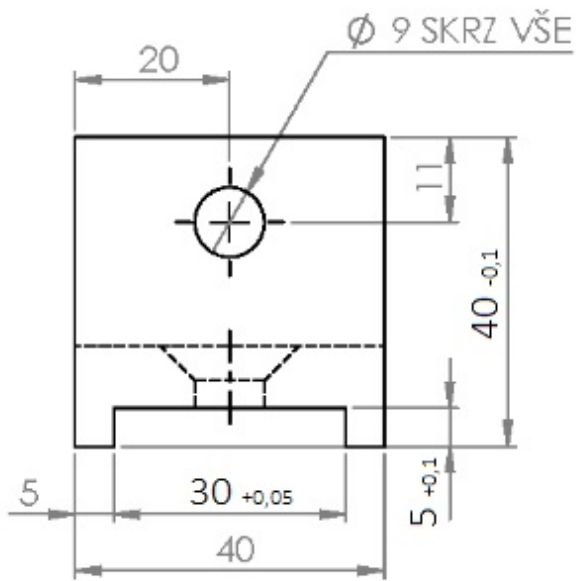
PŘEDNÍ UCHYCENÍ



ZKOSIT OSTRÉ HRANY

$\sqrt{Ra\ 1,6}$

Počet kusů: 1 ks	4HR 40 Z - ČSN 42 5520.20	11 600		maketa	15
	Polotovár-Název-Rozměr	Materiál	Číslo dílu	Sestava	Pozice
Teplotné zpracování : (povrchová úprava)		Datum	Jméno	Název:	
	Kreslil	9.5.2018	Kolaříková	TĚŽIŠŤOVÁ KOSTKA	
	Změnil				
Číslo zakázky :		Schválil			
Netolerované rozměry dle ČSN ISO 2768-m	Formát	Měřítko	 ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI	Předchozí výkres:	List:
		A4		1:1	Výkres: teziste

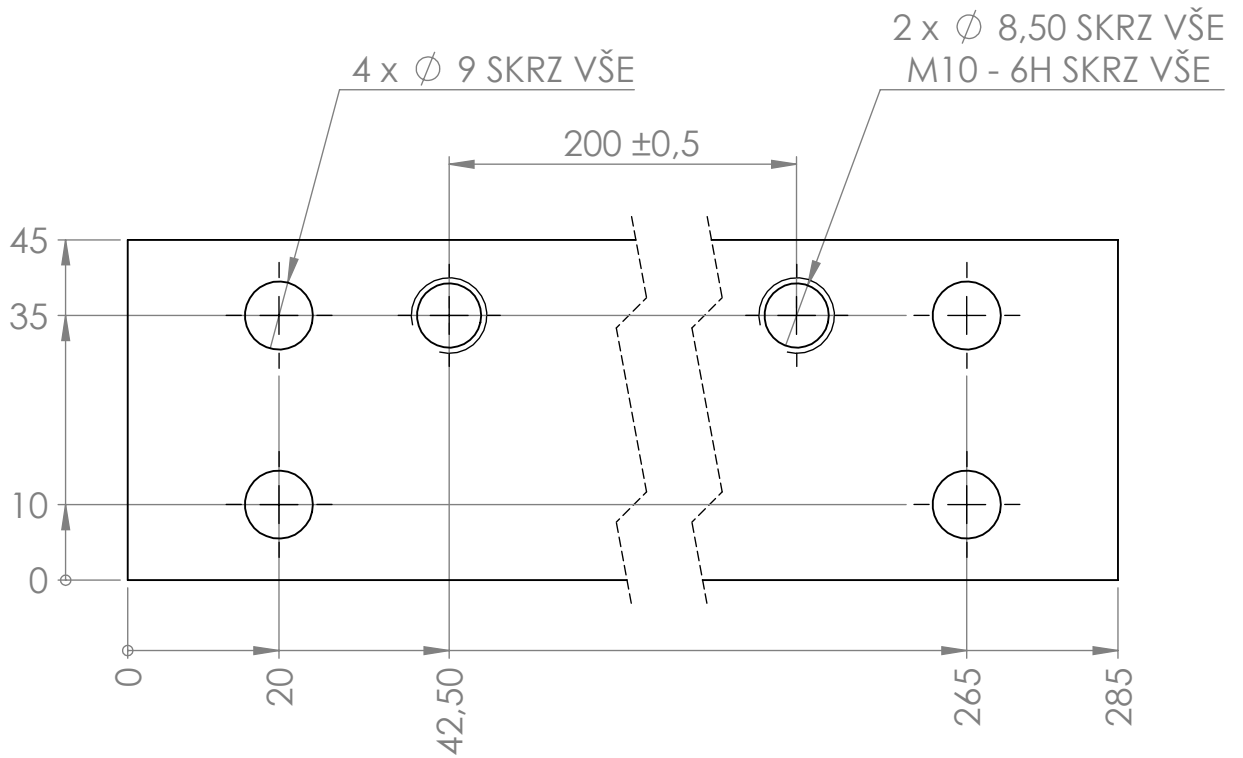


SRAZIT OSTRÉ HRANY

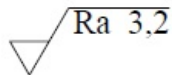
$\sqrt{Ra\ 1,6}$

Počet kusů: 2 ks	4HR 45 Z - ČSN 42 5520.20	11 600		maketa	16
	Polotovár-Název-Rozměr	Materiál	Číslo dílu	Sestava	Pozice
Teplotné zpracování: (povrchová úprava)	Datum	Jméno	Název:		
	Kresil	9.5.2018	Kolaříková	DRŽÁK TĚŽIŠTĚ	
	Změnil				
Číslo zakázky:	Schválil				
	Formát	Měřítko	Předchozí výkres:	List:	
Netolerované rozměry dle ČSN ISO 2768-m	A4	1:1	Výkres: držak_teziste	Listů:	



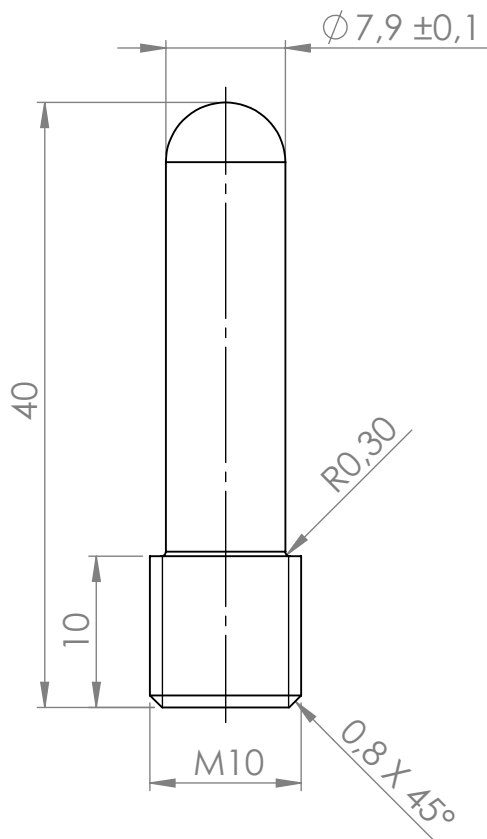


SRAZIT HRANY 1 x 45°



Počet kusů: 1 ks	PLO 45x10x285 - ČSN 42 5522.01	11 600	maketa	18
	<i>Polotovary-Název-Rozměr</i>	<i>Materiál</i>	<i>Číslo dílu</i>	<i>Sestava</i>
<i>Teplotné zpracování:</i> (povrchová úprava)	<i>Datum</i>	<i>Jméno</i>	<i>Název:</i>	
	<i>Kresil</i>	9.5.2018	ZADNÍ PŘÍČKA	
	<i>Změnil</i>			
<i>Číslo zakázky:</i>	<i>Schválil</i>			
<i>Netolerované rozměry dle ČSN ISO 2768-m</i>	<i>Formát</i>	<i>Měřítko</i>	<i>Předchozí výkres:</i>	<i>Lišt:</i>
	A4	1:1	<i>Výkres:</i>	<i>Lištů:</i>
			zadni_pricka_na_piny	

$\sqrt{\text{Ra } 3,2}$



Počet kusů: 2 ks	KR 12 ČSN 42 5510.12 <i>Polotovár-Název-Rozměr</i>	11 600 <i>Materiál</i>	Číslo dílu	MAKETA <i>Sestava</i>	19 <i>Pozice</i>
<i>Teplotné zpracování :</i> (povrchová úprava) KALIT NA 50 HRC	<i>Kreslí</i>	<i>Datum</i> 9.5.2018	<i>Jméno</i> Kolaříková	<i>Název:</i> PIN	
<i>Číslo zakázky :</i>	<i>Změnil</i>	<i>Schválil</i>	<i>Formát</i> A4	<i>Měřítko</i> 2:1	<i>Předchozí výkres:</i> Výkres: pin
<i>Netolerované rozměry dle ČSN ISO 2768-m</i>			 ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI		<i>List:</i> <i>Listů:</i>