

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV LETADLOVÉ TECHNIKY

**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2022

**ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ PRO ZKOUŠKY
ZÁCHRANNÉHO SYSTÉMU MALÝCH LETADEL**

KATEŘINA FIŠEROVÁ

studijní program: Letadlová a kosmická technika

vedoucí práce: Ing. Robert Theiner, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Fišerová** Jméno: **Kateřina** Osobní číslo: **473419**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav letadlové techniky**
Studijní program: **Letectví a kosmonautika**
Studijní obor: **Letadlová a kosmická technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Zkušební zařízení pro zkoušky záchranného systému malých letadel

Název diplomové práce anglicky:

Test bed for testing of ballistic recovery system of small airplanes

Pokyny pro vypracování:

Provedte:

1. Rešerši požadavků předpisů letové způsobilosti na konstrukci letadel vybavených záchranným balistickým systémem
2. Popis metodik zkoušek a návrh vlastní zkoušky.
3. Návrh zařízení pro zkoušky letadel se ZBS
4. Simulaci dynamických účinků ZS na zkušební zařízení
5. Konstrukci zařízení a nezbytné pevnostní kontroly

Seznam doporučené literatury:

Předpisy letové způsobilosti UL-2/2019, LTF-UL, CS-VLA, ASTM 2246

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Robert Theiner, Ph.D. ústav letadlové techniky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **29.04.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **08.06.2022**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Robert Theiner, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Robert Theiner, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Zkušební zařízení pro zkoušky záchranného systému malých letadel“ vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce. Veškerá použitá literatura je uvedena v příloženém seznamu použité literatury.

V Praze dne.....

.....

Kateřina Fišerová

ABSTRAKT

V této práci je zkoumán návrh zkušebního zařízení pro zkoušky záchranného systému malých letadel. Přínos je v aplikaci dynamické síly na upevňovací body balistického záchranného systému. Úspěch je založen na dosažení času trvání síly dynamického rázu blížíící se reálnému průběhu. Pro stanovení optimální konfigurace je použita analytická simulace. Po stanovení strategie k dosažení co největšího času trvání dynamického rázu byl proveden konstrukční návrh zkušebního zařízení. Nakonec byly provedeny nezbytné pevnostní kontroly jednotlivých dílů zkušebního zařízení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zkušební zařízení; balistický záchranný systém; konstrukční návrh zkušebního zařízení; UL letoun; dynamický ráz; analytická simulace; pevnostní výpočet

SUMMARY

This work examines the design of test device for testing the rescue system of small aircraft. The benefit is in the application of dynamic force to fixing points ballistic rescue system. Success is based on the attainment a duration of force of dynamic impact approaching the real time behaviour. Analytical simulation is used to determination the optimal configuration. After establishing a strategy to achieve the longest possible duration of dynamic impact, a design of the test device was made. In the end, the necessary strength checks of the individual parts of test device were made.

KEYWORDS

Test device; ballistic rescue system; design of the test device; UL aircraft; dynamic impact; analytical simulation; strength analysis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu práce Ing. Robertovi Theinerovi, Ph.D. za poskytnutí mnoha odborných a cenných rad, trpělivost, ochotu a vstřícnost při zpracování diplomové práce. Dále si poděkování zaslouží i další členové Ústavu letadlové techniky za mnohé odborné rady a doporučení. Závěrem chci poděkovat mým blízkým a rodině za podporu při tvorbě této práce.

OBSAH

1	ÚVOD.....	- 10 -
2	POŽADAVKY STAVEBNÍCH PŘEDPISŮ	- 11 -
	2.1 UL 2/2019.....	- 11 -
	2.2 LTF-UL	- 13 -
	2.3 F2316.....	- 13 -
3	ZÁCHRANNÉ SYSTÉMY	- 14 -
	3.1 Galaxy GRS.....	- 14 -
	3.2 Stratos 07 s.r.o.	- 16 -
	3.3 USH	- 18 -
4	POPIS METODIK ZKOUŠEK A NÁVRH VLASTNÍ ZKOUŠKY	- 19 -
	4.1 Popis metodik zkoušek	- 19 -
	4.2 Návrh vlastní zkoušky	- 21 -
	4.2.1 Možné přístupy provedení zkoušky.....	- 21 -
	4.2.2 Výběr metodiky zkoušky.....	- 23 -
5	NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO ZKOUŠKY LETADEL S BZS	- 24 -
	5.1 Návrh provedení zkušebního zařízení	- 25 -
	5.1.1 Zkušební zařízení se speciálním pevným zkušebním rámem.....	- 25 -
	5.1.2 Zkušební zařízení s modulovým zkušebním rámem	- 26 -
	5.1.3 Zkušební zařízení využívající náhradní zařízení	- 26 -
	5.2 Výběr konstrukčního provedení	- 26 -
6	POUŽITÁ METODOLOGIE	- 28 -
	6.1 Model simulace dynamických účinků zs na zkoušené letadlo	- 28 -
	6.2 Model ověření pevnostních vlastností zkušebního zařízení	- 31 -
	6.2.1 Pevnostní vlastnosti nosníku s I profilem.....	- 31 -
	6.2.2 Pevnostní vlastnosti podpěr nosníku zkušebního rámu.....	- 35 -
	6.2.3 Pevnostní vlastnosti horního dílu třmenu kladkového systému	- 37 -
	6.2.4 Pevnostní vlastnosti spodního dílu třmenu kladkového systému ..	- 41 -
	6.2.5 Pevnostní vlastnosti hřídele kladky	- 45 -
	6.2.6 Pevnostní vlastnosti svarů	- 46 -
7	SIMULACE DYNAMICKÝCH ÚČINKŮ ZS NA ZKOUŠENÉ LETADLO ...	- 48 -
8	KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ A NEZBYTNÉ PEVNOSTNÍ KONTROLY	- 60 -
	8.1 Konstrukce zařízení	- 60 -
	8.1.1 Návrh zkušebního rámu.....	- 60 -
	8.1.2 Návrh kladky	- 63 -

8.1.3	Konstrukční řešení upevnění kladky k nosníku.....	- 65 -
8.2	Nezbytné pevnostní kontroly.....	- 74 -
8.2.1	Nosník s I profilem.....	- 74 -
8.2.2	Podpěry nosníku zkušebního rámu.....	- 77 -
8.2.3	Horní díl třmenu kladkového systému	- 80 -
8.2.4	Spodní díl třmenu kladkového systému	- 83 -
8.2.5	Hřídél kladky	- 86 -
8.2.6	Svary.....	- 89 -
9	ZÁVĚR.....	- 91 -
10	BIBLIOGRAFIE.....	- 92 -

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

BZS		Balistický záchranný systém
MKP		Metoda konečných prvků
UL		Ultra lehké
A	[mm ²]	Průřez prutu podpěry nosníku zkušebního rámu
$\alpha_{\tau\perp}$	[1]	Převodní součinitel svarového spoje v kolmém směru
$\alpha_{\tau\parallel}$	[1]	Převodní součinitel svarového spoje v rovnoběžném směru
β	[1]	Součinitel tloušťky koutového svaru
c	[1]	Konstanta závislá na skupině jeřábů
C	[kN]	Základní dynamická únosnost
C ₀	[kN]	Základní statická únosnost
d	[mm]	Jmenovitý průměr lana
D	[mm]	Průměr kladky
d ₁	[mm]	Vnější průměr hřídelového kroužku
D ₁	[mm]	Vnitřní průměr tělesového kroužku
d _{3min}	[mm]	Minimální malý průměr šroubu
δ	[N/m]	Poddajnost lana
Δl_{dyn}	[m]	Dynamická změna délky lana
Δl_{s}	[m]	Statické prodloužení lana
d _L	[mm]	Průměr díry ložiska
D _L	[mm]	Vnější průměr ložiska
D _{min}	[mm]	Minimální průměr kladky
E	[MPa]	Yongův modul pružnosti
E _K	[J]	Kinetická energie
F	[N]	Příčná síla
F _{bezp}	[N]	Bezpečná zátěž
F _{dyn}	[N]	Dynamický ráz
F _{HZ}	[N]	Zatížení hlavního závěsu
φ	[1]	Konstanta závislá na typu lana
F _p	[N]	Jmenovitá únosnost lana
F _{pmin}	[N]	Minimální jmenovitá únosnost lana
F _s	[N]	Statická síla závaží
F _{ZZ}	[N]	Zatížení zadního závěsu
G _Z	[N]	Tíha závaží
h	[m]	Výška shozu závaží
H	[mm]	Šířka ložiska
i	[1]	Počet závitů matice
J	[mm ⁴]	Kvadratický moment

k	[N/m]	Tuhost
k_B	[1]	Bezpečnost
k_L	[N/m]	Tuhost lana
k_P	[N/m]	Tuhost pružiny
l	[mm]	Délka
l_0	[m]	Počáteční délka lana
m_2	[mm]	Výška matice
$M_o(x)$	[Nmm]	Výsledný ohybový moment
$M_{o\max}$	[Nmm]	Maximální ohybový moment
$\mathcal{M}_o(x)$	[Nmm]	Ohybový moment od příčné síly
m_Z	[kg]	Hmotnost závaží
N	[N]	Tlaková síla
n_{HZ}	[1]	Počet hlavních závěsů
n_{ZZ}	[N]	Počet stabilizačních závěsů
P	[mm]	Rozteč závitů
p	[MPa]	Tlak v závitech matice
p_D	[MPa]	Dovolený tlak v závitech matice
Q	[N]	Zobecněná síla
R_A	[N]	Reakční síla v podpoře A
R_{Ax}	[N]	Reakce ve směru osy x v podpoře A
R_{Ay}	[N]	Reakce ve směru osy y v podpoře A
R_B	[N]	Reakční síla v podpoře B
R_{Bx}	[N]	Reakce ve směru osy x v podpře B
R_{By}	[N]	Reakce ve směru osy y v podpoře B
R_e	[N/mm ²]	Mez kluzu v tahu
R_m	[MPa]	Mez pevnosti v tahu
S	[mm ²]	Nosný průřez lana
σ_o	[N/mm ²]	Ohybové napětí
σ_{Do}	[MPa]	Dovolené ohybové napětí
σ_{Pt}	[MPa]	Jmenovitá pevnost drátů
S_{sv}	[mm ²]	Plocha svaru
$t(F_{dyn})$	[s]	Čas pro dosažení síly dynamického rázu
τ_{\perp}	[N/mm ²]	Smykové napětí v kolmém směru
τ_{\parallel}	[N/mm ²]	Smykové napětí v rovnoběžném směru
τ_s	[N/mm ²]	Redukované smykové napětí koutového svaru
u_A	[mm]	Posunutí podpory A
W_o	[mm ³]	Průřezový modul v ohybu

1 ÚVOD

V dnešní době je zvýšený zájem na instalaci balistických záchranných systémů v UL letadlech. Důvodem je zvýšení bezpečnosti posádky při provozování letounu.

Požadavky na upevňovací body popsané ve stavebních předpisech stanovují dynamickou sílu, ale v dnešní době neexistuje žádný oficiální postup pevnostního průkazu dynamickým způsobem provedení zkoušky. V dnešní době používané statické přístupy provedení zkoušky nezohledňují dynamický účinek na připojovací body BZS a okolní konstrukci letounu.

Cílem práce je návrh zkušebního zařízení pro zkoušky BZS malých letadel se zahrnutím dynamického účinku síly na upevňovací body a okolní konstrukci letadla. Pro tuto diplomovou práci bylo stanoveno následující zadání:

1. Proveďte rešerši požadavků předpisů letové způsobilosti na konstrukci letadel vybavených záchranným balistickým systémem.
2. Proveďte popis metodik zkoušek a návrh vlastní zkoušky.
3. Proveďte návrh zařízení pro zkoušky letadel se BZS.
4. Proveďte simulaci dynamických účinků BZS na zkušební zařízení.
5. Proveďte konstrukci zařízení a nezbytné pevnostní kontroly.

2 POŽADAVKY STAVEBNÍCH PŘEDPISŮ

Velikost silového účinku působícího na kotevní body balistického záchranného systému je stanovena na základě leteckých stavebních předpisů. Pro tuto diplomovou práci jsou použity předpisy UL 2, LTF-UL a F2316.

2.1 UL 2/2019

UL 2/2019 je předpis platný v České republice pro ultralehké letouny řízené aerodynamicky. Balistickými záchrannými systémy a jejich upevněním v konstrukci letadla se zabývá Příloha 1. [1]

Konstrukce mezi upevňovacími body musí vydržet dynamický ráz vzniklý při aktivaci balistického záchranného systému. Velikost dynamického rázu je stanovena výrobcem balistického záchranného systému. Dynamickému rázu musí odolat i sestava upevnění sedaček, bezpečnostních pásů a navazující konstrukce až k závěsu BZS. [1]

Předpis UL 2/2019 definuje bezpečnou zátěž, která je určena na základě rovnice 2.1. Na bezpečnou zátěž je dimenzován hlavní a zadní závěs balistického záchranného systému. [1]

$$F_{bezp.} = 1,5 \cdot F_{dyn.} \quad (2.1)$$

$F_{bezp.}$ = bezpečná zátěž [N]

$F_{dyn.}$ = dynamický ráz [N]

Pokud je na letadle umístěn pouze jeden hlavní závěs, musí být dimenzován na bezpečnou zátěž. Je-li na letadle umístěno více hlavních závěsů, je každý z hlavních závěsů dimenzován na zatížení určené rovnicí 2.2. [1]

$$F_{HZ} = \frac{F_{bezp.}}{n_{HZ}} \cdot 1,33 \quad (2.2)$$

F_{HZ} = zatížení hlavního závěsu [N]

n_{HZ} = počet hlavních závěsů [1]

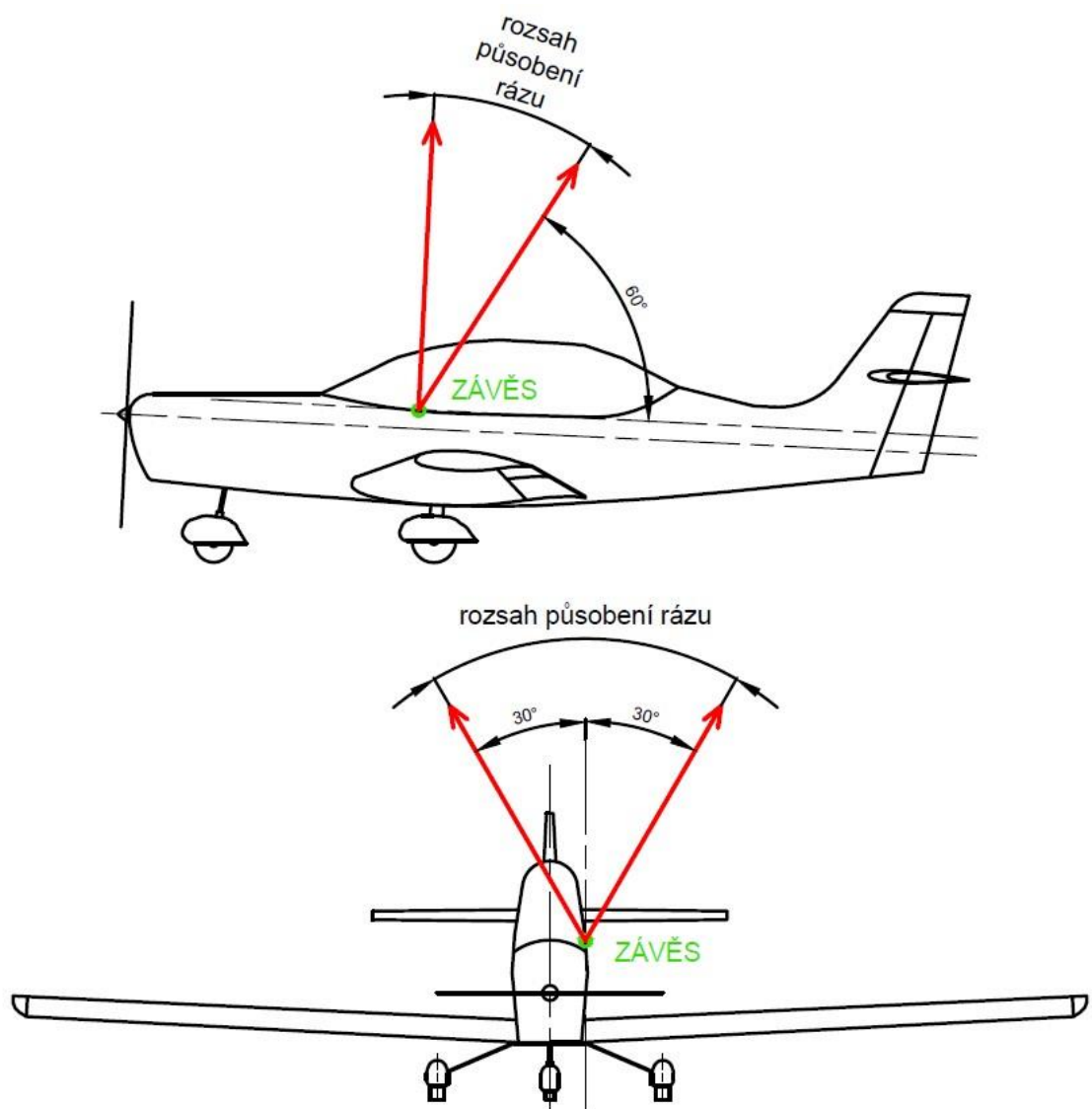
Pro zadní stabilizační závěsy je zatížení definováno rovnicí 2.3. [1]

$$F_{ZZ} = \frac{F_{bezp.}}{n_{HZ} + n_{ZZ}} \cdot 1,33 \quad (2.3)$$

F_{ZZ} = zatížení zadního závěsu [N]

n_{ZZ} = počet stabilizačních závěsů [1]

Působení dynamického rázu na pevnostní konstrukci je uvažováno ve svislé rovině od směru rovnoběžného s podélnou osou letadla dozadu až po směr 60° nahoru a v rozsahu 30° na obě strany osy symetrie. Rozsah uvažovaného působení dynamického rázu je zobrazen na obrázku 2.1. [1]



Obrázek 2.1 Rozsah působení dynamického rázu UL2

2.2 LTF-UL

LTF-UL je předpis platný ve Spolkové republice Německo pro ultralehké letouny. Balistickým záchranným systémem a jeho upevnění ke konstrukci se zabývá Příloha 1. [2]

Spojovací body závěsných lan záchranného vybavení se sedadly a bezpečnostními pásy musí být dimenzovány tak, aby vydržely maximální dynamický ráz od rozvinutí balistického záchranného systému. Konstrukce musí být dimenzována tak, aby vydržela zpětný ráz při spuštění balistického záchranného systému. Výpočet zatížení, které musí přenést každý závěs balistického záchranného systému, je proveden na základě rovnice 2.4. [2]

$$F_{bezp.} = 1,3 \cdot F_{dyn.} \quad (2.4)$$

$F_{bezp.}$ = bezpečná zátěž [N]

$F_{dyn.}$ = dynamický ráz [N]

Působení zatížení od balistického záchranného systému je uvažována v nejnepríznivějším možném směru. [2]

2.3 F2316

F2316 je předpis platný ve Spojených státech amerických pro ultralehké letouny.

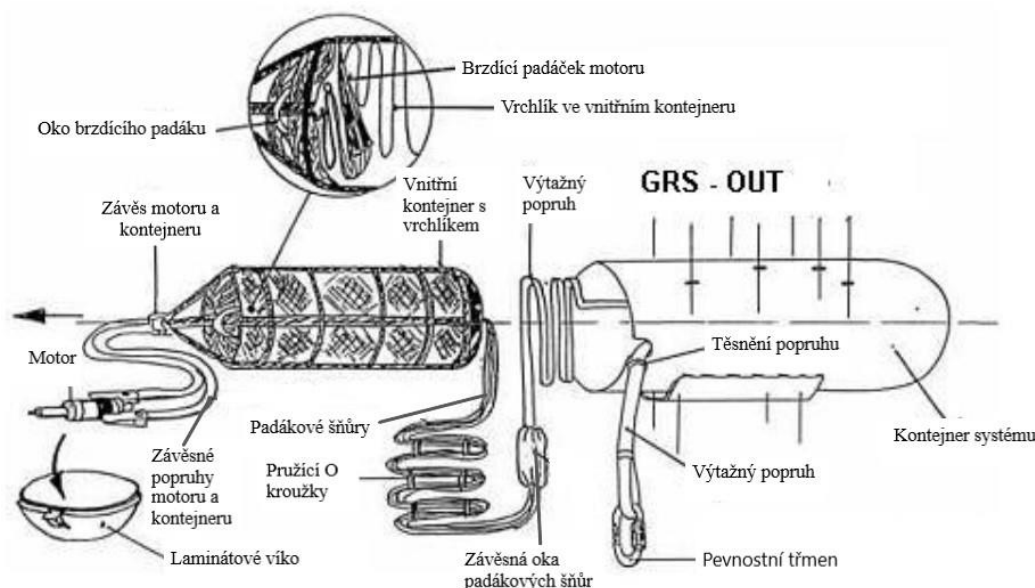
V tomto předpise jsou požadavky na pevnost specifikovány pomocí provozního zatížení a mezního zatížení. Faktor bezpečnosti je definován jako 1,5. Je požadováno provedení tří úspěšných zkoušek, pro ověření upevňovacího bodu BZS na zatížení od mezního zatížení. [3]

3 ZÁCHRANNÉ SYSTÉMY

V této kapitole je popsán princip několika balistických záchranných systémů. V České republice jsou tři firmy zabývající se výrobou balistických záchranných systémů. Jedná se o firmy Galaxy GRS, Stratos 07 s.r.o. a USH.

3.1 GALAXY GRS

Záchranný systém GRS je aktivován pomocí raketového motoru, což odpovídá konstrukci záchranných systémů nové generace. Jeho konstrukce je realizovaná jako duralový válec s laminátovými odklápěcími kopulemi. Vrchlík je umístěn ve speciálním kontejneru, který je ve vnitřní části duralového válce. GRS záchranný systém se aktivuje mechanicky rukou. Na obrázku 3.1 je zobrazena sestava záchranného systému v otevřeném stavu. [4]

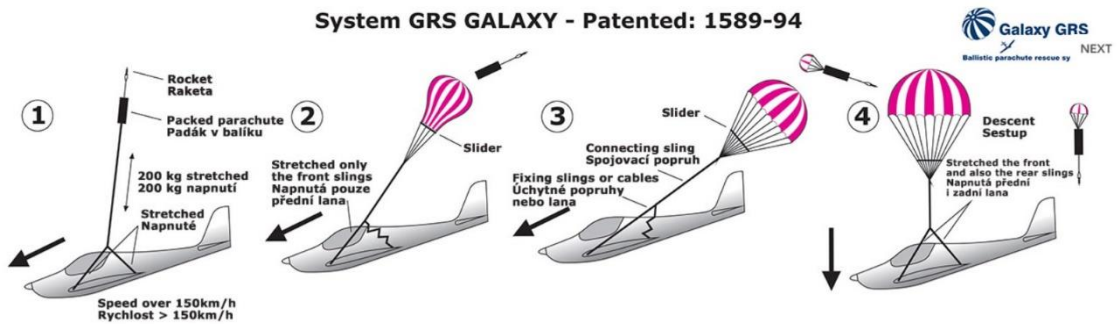


Obrázek 3.1 Sestava záchranného systému Galaxy GRS v otevřeném stavu [4]

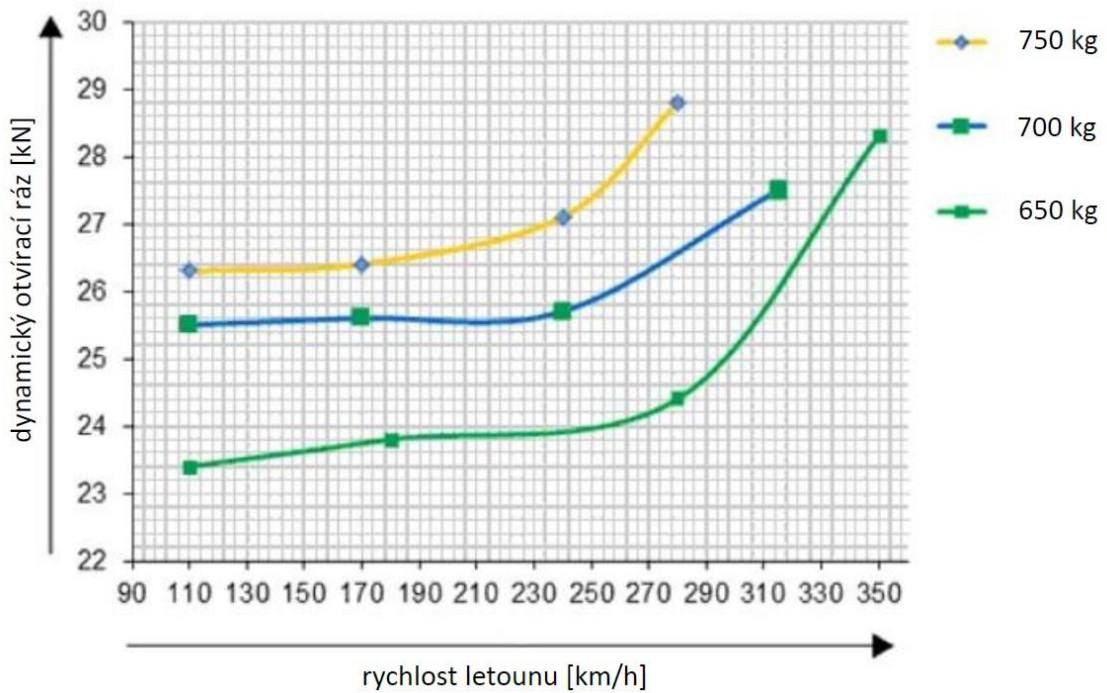
U tohoto záchranného systému je vrchlík kolmo vystřelen v kontejneru do vzdálenosti 15–18 m od letadla, kde je následně rychle otevřen. Při odpálení rakety je plamen v raketnici odveden zadní částí trubice pro odvod spalin, čímž se docílí minimalizace zpětného rázu a plného využití podmínky akce a reakce. Součástí vrchlíku je slider, který zpomaluje nafouknutí vrchlíku a tím zmenšuje dynamický ráz působící na konstrukci. [4]

Po aktivaci GRS vzniknou dvě síly. První je způsobena vytažením kontejneru s vrchlíkem z vnitřního kontejneru nad letoun do výšky 15–18 m. Druhá síla je způsobena naplněním vrchlíku vzduchem. Upevnění záchranného systému v letadle musí vydržet dynamický ráz od obou těchto sil. [4]

Na obrázku 3.2 je zobrazen průběh vytažení padáku po aktivaci balistického záchranného systému GRS a v grafu 3.1 je zobrazena závislost dynamického rázu od GRS na hmotnosti a rychlosti letadla. [4]



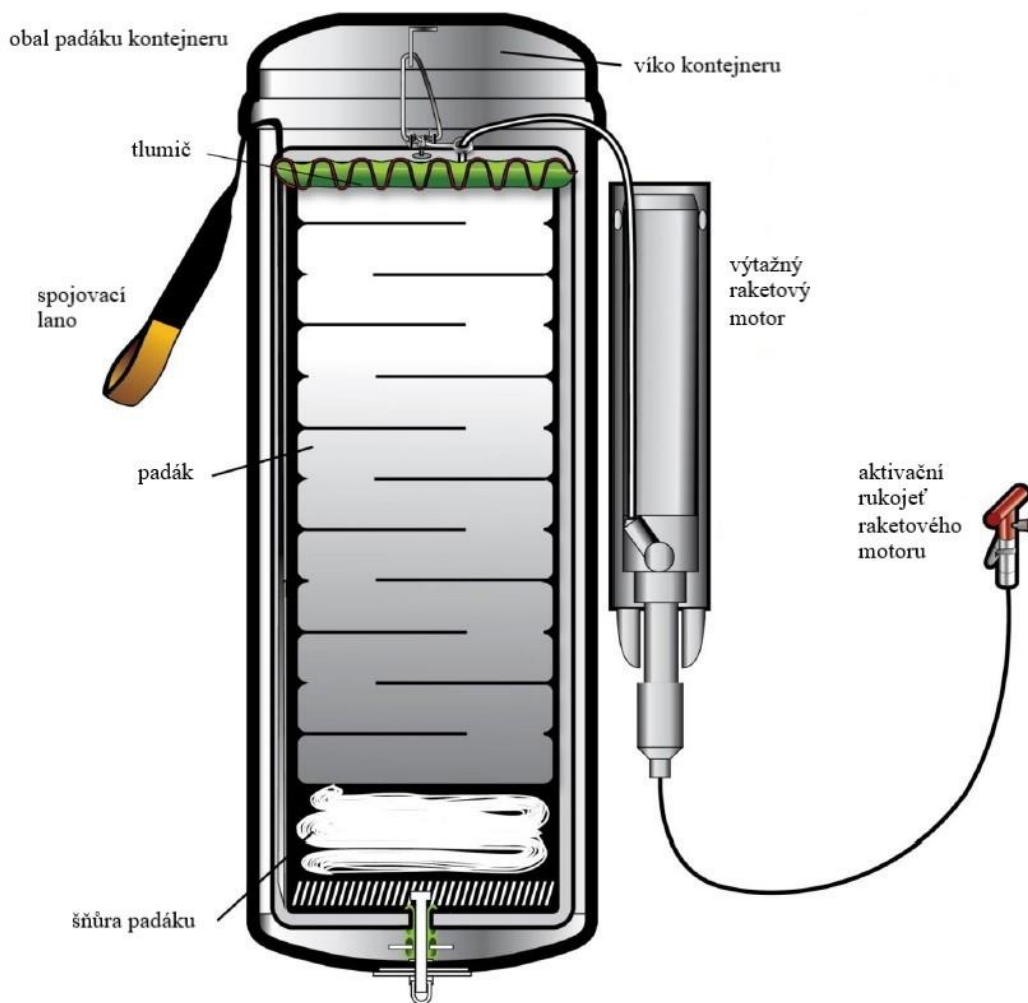
Obrázek 3.2 Aktivace BZS Galaxy GRS [37]



Graf 3.1 Závislost F_{dyn} na rychlosti a hmotnosti letadla pro BZS Galaxy GRS [37]

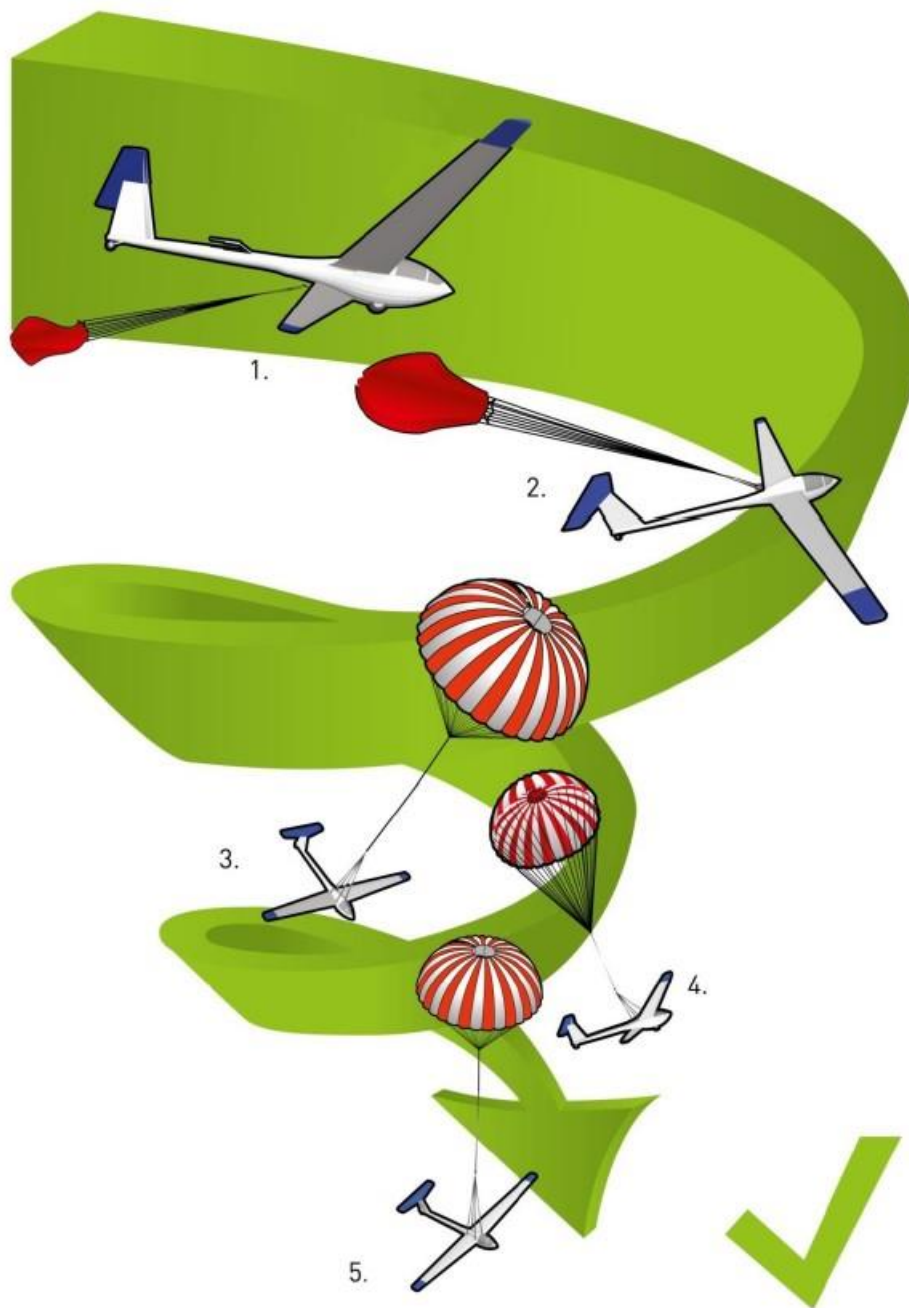
3.2 STRATOS 07 S.R.O.

Balistický záchranný systém Magnum firmy Stratos 07 s.r.o. je aktivován pomocí rakety a po aktivaci je výstřel padáku veden do strany. Padák je během výstřelu umístěn ve vaku vrchlíku, který chrání vrchlík před poškozením během výstřelu. Balistický záchranný systém Magnum se vyrábí ve třech provedeních a to jako duralový válcový kontejner, softpack a laminátový kontejner. Na obrázku 3.3 je zobrazena sestava balistického záchranného systému Magnum v provedení jako duralový válcový kontejner ve složeném stavu. [5]



Obrázek 3.3 Sestava záchranného systému Magnum [5]

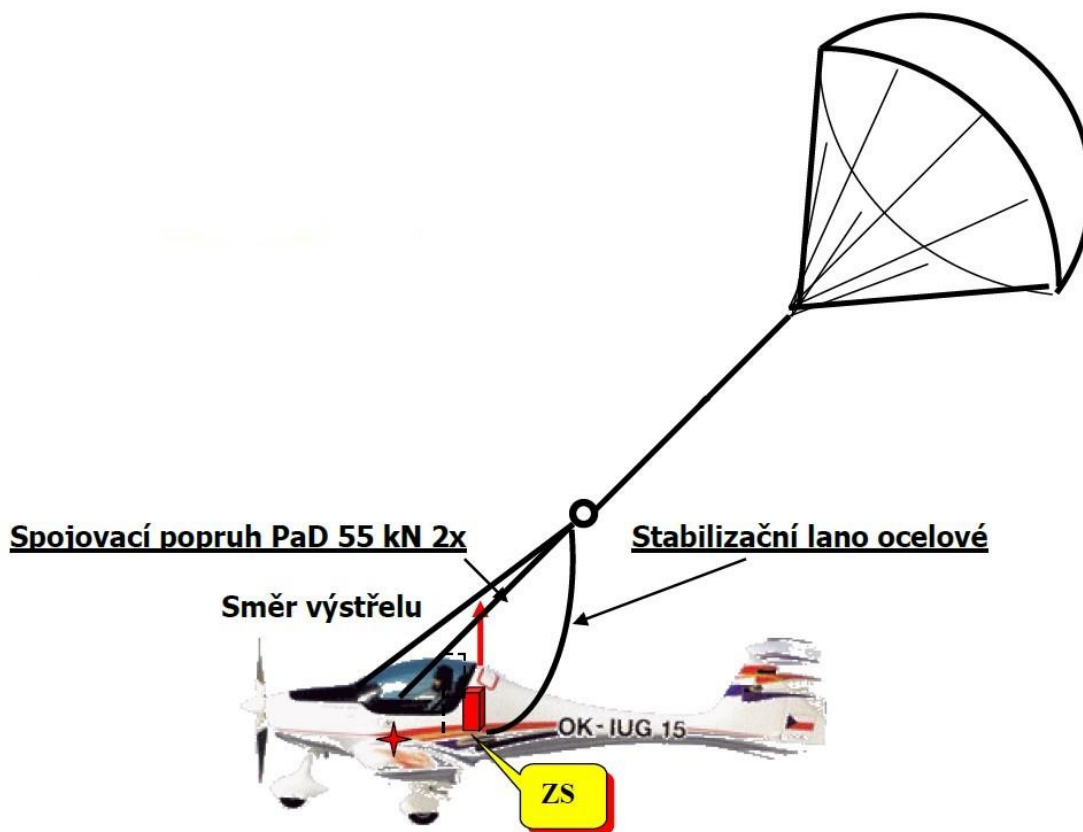
Správné vystřelení balistického záchranného systému Magnum je do strany. Výstřel do boku je nutný kvůli lepší stabilizaci letadla po aktivaci balistického záchranného systému. Síla od naplnění vrchlíku je tlumena pomocí slideru, který zpomaluje nafukování vrchlíku. Upevňovací body balistického záchranného systému Magnum v letadle musí vydržet dynamický ráz 6 G. Na obrázku 3.4 je zobrazen průběh vytažení padáku po aktivaci BZS Magnum. [5]



Obrázek 3.4 Aktivace BZS Magnum [5]

3.3 USH

Balistický záchranný systém USH je aktivován pomocí rakety. Tento BZS je v provedení softpacku a po aktivaci je vystřelován kolmo nad letadlo. Vrchlík je hned po výstřelu nafukován vzduchem. Naplnění vrchlíku vzduchem je řízeno sliderem podle rychlosti letu. Body připevnění BZS USH musí vydržet dynamický ráz 55 kN. Na obrázku 3.5 je zobrazena aktivace BZS USH. [6]



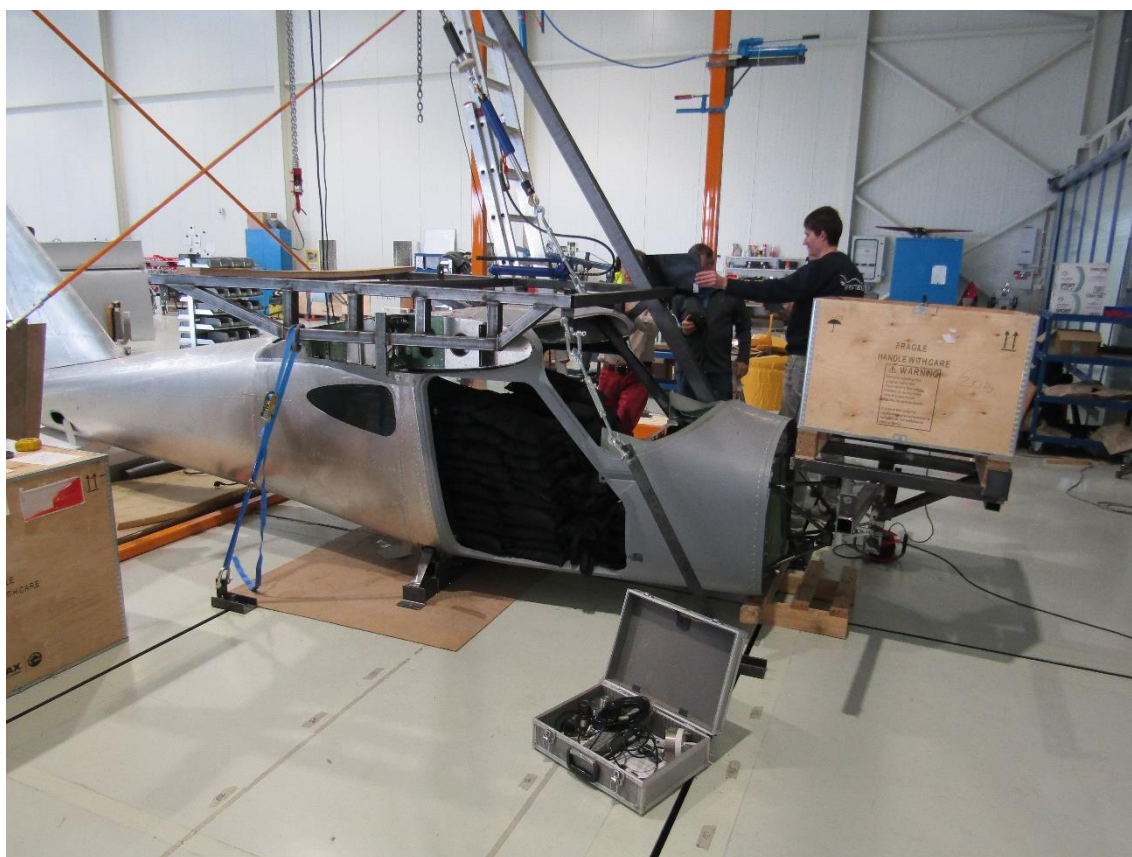
Obrázek 3.5 Aktivace BZS USH [6]

4 POPIS METODIK ZKOUŠEK A NÁVRH VLASTNÍ ZKOUŠKY

4.1 POPIS METODIK ZKOUŠEK

V nynější době je používáno statické prokazování pevnostního průkazu upevňovacích bodů BZS. Tento způsob však nezohledňuje dynamické účinky síly, které mohou být pro konstrukci letadla zásadní.

Jedním z možných způsobů průběhu zkoušky statickým způsobem je umístění letadla do rámu a upevňovací bod zatěžovat staticky pod požadovaným úhlem pomocí tahu hydraulického válce. Uspořádání zkoušky je zobrazeno na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1 Uspořádání prokazování pevnostního průkazu statickým způsobem

Tahem hydraulického válce je dosaženo požadované síly na upevňovací bod BZS. Závaží uvnitř letadla a na motorovém loži simulují zatížení od posádky, nákladu a motoru. Na obrázku 4.2 je zobrazen detail znázorňující přichycení zatěžovacího a měřícího systému ke zkoušenému upevňovacímu bodu BZS. Hydraulický válec a siloměr jsou zařazeny sériově. Pomocí siloměru je měřena statická síla, která působí na upevňovací bod BZS.



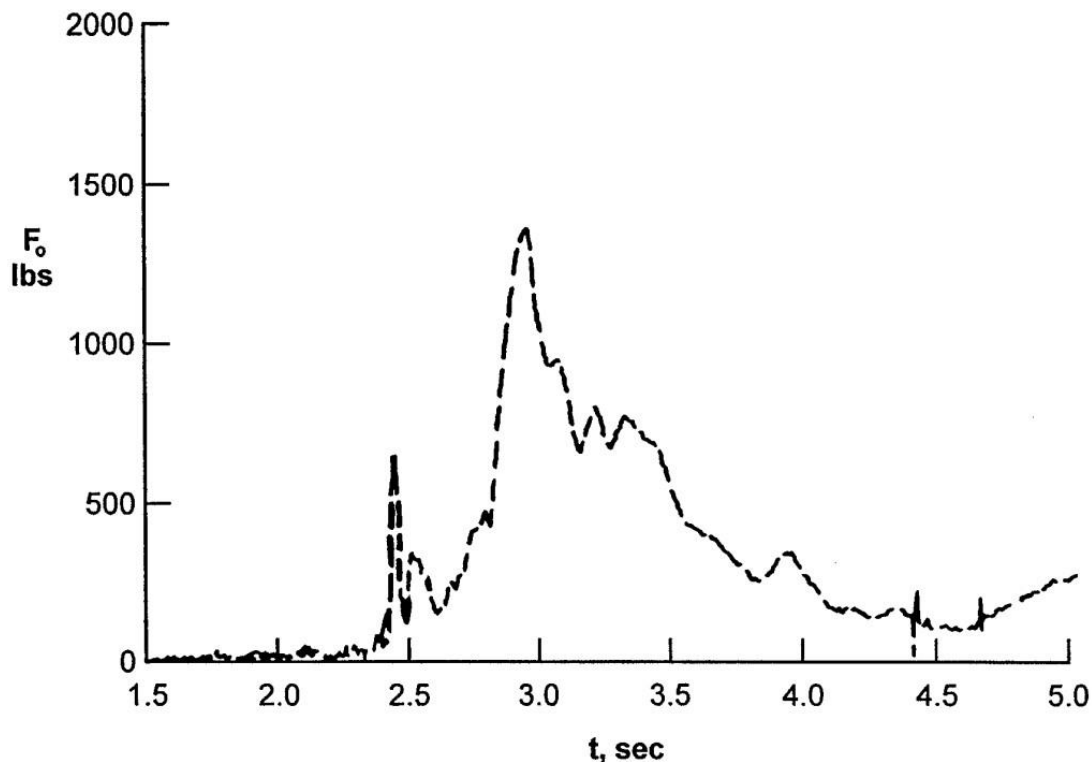
Obrázek 4.2 Detail uspořádání statické zkoušky

Dalším možným používaným způsobem zkoušení letadel s BZS je zkoušení pomocí simulace hmot letadla proti působení síly dynamického rázu. Setrvačné síly od jednotlivých částí letadla působících proti dynamickému rázu jsou určeny pomocí známých hmotností jednotlivých částí, zrychlení způsobeného dynamickým rázem a úhlem, pod kterým dynamický ráz při zkoušce působí.

Pro simulaci sil od jednotlivých částí působících ve vertikálním směru je použito závaží o dané hmotnosti. Pro simulaci sil od jednotlivých částí působících v horizontálním směru je použito závaží působící přes kladku, tak aby síla působila ve správném směru. Zatížení v horizontálním směru je použito pouze v případech, kdy tato síla vychází ve výpočtech jako zásadní.

4.2 NÁVRH VLASTNÍ ZKOUŠKY

Pro návrh vlastní zkoušky je nutné znát průběh síly působící na upevňovací bod BZS v čase. V grafu 4.1 je tento průběh zobrazen.



Graf 4.1 Průběh síly působící na upevňovací bod BZS [40]

Velikost dynamického rázu závisí na provedení vrchlíku BZS a maximální síly je dosaženo během 3–5 s. Jednotlivé způsoby provedení zkoušky se snaží zohlednit průběh dynamické síly působící na upevňovací bod BZS.

4.2.1 MOŽNÉ PŘÍSTUPY PROVEDENÍ ZKOUŠKY

Možné přístupy provedení zkoušky jsou stanoveny na základě průběhu síly na čase z grafu 4.1. Je nutné vybrat takové přístupy, které mohou alespoň částečně tento průběh simulovat.

Pro pevnostní průkaz upevnění BZS v letadle jsou navrženy tři postupy: průkaz pomocí počítačové simulace, průkaz pomocí závaží a průkaz na letícím zařízení. Výhody a nevýhody jednotlivých řešení jsou dále popsány.

PRŮKAZ POMOCÍ POČÍTAČOVÉ SIMULACE

Tato metodika provádění pevnostního průkazu spočívá v simulaci dynamického rázu pomocí počítačového softwaru, kdy jsou na model letadla aplikovány dynamické účinky pomocí MKP metody a na základě simulace je vyhodnocen pevnostní průkaz upevňovacích bodů BZS a navazující konstrukce.

Výhodou této metody je to, že není potřeba žádné zkušební zařízení.

Nevýhodou této metody je závislost výsledku na provedení analýzy MKP, která je mimo jiné závislá na kvalitě provedení sítě letadla. U této zkoušky nelze prokázat, zda je výsledek ze simulace reálný. Další nevýhodou je nutnost výkonné počítačové techniky a specializovaného personálu, který je schopen spolehlivě provést analýzu pomocí MKP. Tato metoda není univerzální pro vícero typů letadel. Je nutné provést MKP analýzu pro každý typ letadla, které požaduje pevnostní průkaz upevňovacích bodů BZS. Provedení důkladné MKP analýzy na letadle je časově náročné z důvodu tvarové složitosti analyzovaného prvku a vyžaduje dokonale zpracovaný 3D model letounu.

PRŮKAZ NA LETÍCÍM ZAŘÍZENÍ

Tato metodika prokazování pevnostního průkazu spočívá v aktivaci BZS na letícím letadle, na kterém je nainstalován měřicí systém.

Výhodou této metody je skutečný průběh dynamického rázu na upevňovací body BZS po aktivaci BZS.

Nevýhodou je vysoká pravděpodobnost destrukce letícího letadla, pokud pevnost upevňovacích bodů BZS není nejprve vyhodnocena jiným způsobem. Zásadní nevýhodou této metody jsou vysoké náklady na provedení zkoušky a její instrumentaci. Případné trosky letadla ohrožují i prostor na zemi v oblasti prováděné zkoušky.

PRŮKAZ POMOCÍ PADAJÍCÍHO ZÁVAŽÍ

Tato metodika prokazování pevnostního průkazu spočívá ve vyvození dynamického rázu na upevňovací body BZS pomocí padajícího závaží. Závaží je k letadlu připevněno pomocí lan přes kladky. Uvolněním a následným pádem závaží vznikne dynamický ráz, který je přes lano přeneseno do upevňovacích bodů BZS.

Výhodou této metody je jednoduchá proveditelnost zkoušky a díky tomu i spolehlivost dosažení reálného výsledku zkoušky. Potřebný čas na provedení zkoušky by měl být výrazně nižší než při metodice prokazování pevnostního průkazu pomocí počítačové simulace.

Nevýhodou je potřeba velkého zkušebního zařízení. Kladky, přes které je vedeno zkušební lano, musí být v dostatečné výšce, aby bylo možné způsobit závažím dostatečný dynamický ráz. Zkouška probíhá na reálném letadle, tudíž hrozí nebezpečí poškození zkoušeného letadla.

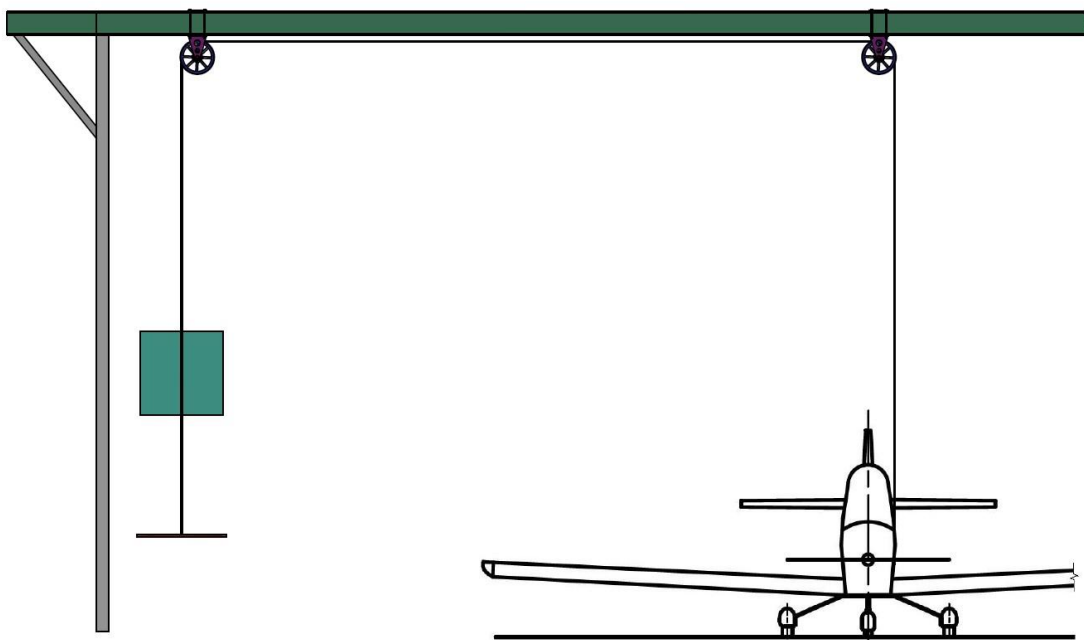
4.2.2 VÝBĚR METODIKY ZKOUŠKY

Z výše popsaných metod provádění pevnostního průkazu upevňovacích bodů BZS je pro další zpracování vybraná zkouška pomocí padajícího závaží. Tato metodika je zvolena z hlediska jednoduché proveditelnosti, dostatečné spolehlivosti a bezpečnosti. U této metodiky je předpoklad možnosti simulace průběhu dynamického rázu v čase pomocí vhodné volby hmotnosti padajícího závaží, výšky jeho pádu, tuhosti lana a dalších přídatných komponent. Je pravděpodobné, že maximálního dynamického rázu bude dosaženo v mnohem kratším čase.

Zkouška na letícím zařízení sice prokáže reálný průběh dynamického rázu, který působí na upevňovací body BZS a přilehlou konstrukci, ale je zde velké riziko ohrožení zkušebního zařízení a značná finanční náročnost zkoušky.

Zkouška pomocí počítačové simulace je časově náročná a není u ní jistota správnosti získaného výsledku, jelikož je celý problém simulačně náročný. Pro ověření je nutné použít jiný způsob provedení pevnostního průkazu, čímž se zvyšují náklady a zároveň časová náročnost průkazu.

Na obrázku 4.3 je zobrazeno schéma způsobu provedení vybrané metodiky zkoušky.



Obrázek 4.3 Schéma způsobu provedení vybrané metodiky zkoušky

5 NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO ZKOUŠKY LETADEL S BZS

Pro stanovení rozměrů zařízení pro zkoušky letadel s BZS je provedena rešerše rozměrů UL letadel vyráběných v České republice. Rozměry vybraných letadel jsou zobrazeny v tabulce 5.1, která vychází ze zdrojů: [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22] [23] [24] [25] [26] [27].

Tabulka 5.1 Rozměry vybraných letadel

letadlo	výrobce	rozpětí [m]	délka [m]	výška [m]	MTOW [kg]
SKYLANE UL	AirLony	8,95	6,65	1,99	450
ATEC 321 FAETA	ATEC	9,6	6,2	2	450
ATEC 321 FAETA NG	ATEC	9,6	6,25	2,1	600
ATEC 122 ZEPHYR	ATEC	9,4	6,2	2	450
ATEC 212 SOLO	ATEC	7,48	5,2	1,55	300
BRISTELL CLASSIC	BRM AERO	9,13	6,45	2,28	600
EuroStar SL	EVEKTOR	8,15	5,98	2,48	472,5
U15 Phoenix	PUREFLIGHT	15	6,5	1,45	600
Sparker	TL-ULTRALIGHT	9	6,63	2,575	600
TL-3000 Sirius	TL-ULTRALIGHT	9,4	6,97	2,3	600
Stream	TL-ULTRALIGHT	9	6,785	2,475	600
TL-2000 Sting S4	TL-ULTRALIGHT	9,12	6,2	2,05	600
TL-2000 Sting RG	TL-ULTRALIGHT	9,11	5,93	2,02	600
SKYLEADER GP ONE	SKYLEADER	10,2	6,25	2,1	600
SKYLEADER 600	SKYLEADER	9,9	7,1	2,46	600
SKYLEADER 500	SKYLEADER	9,9	7	2,6	580
SKYLEADER 400	SKYLEADER	9,1	6,3	2,36	600
SKYLEADER 200	SKYLEADER	9,9	7	2,6	450
LEGEND 540	Aeropilot	9,06	7	2,6	472,5
LEGEND 600	Aeropilot	9,06	7	2,6	600
FM250 VAMPIRE	CARBON DESIGN	7,9	6,5	2,1	600
Maximální rozměry		15	7,1	2,6	

Na základě rozměrů UL letadel uvedených v tabulce 5.1 jsou stanoveny minimální potřebné rozměry zkušebního prostoru, které jsou zobrazeny v tabulce 5.2.

Tabulka 5.2 Minimální potřebné rozměry zkušebního prostoru

Výška zkušebního prostoru [m]	3,6
Šířka zkušebního prostoru [m]	16
Hloubka zkušebního prostoru [m]	8,5

Hodnoty z tabulky 5.2 nezohledňují zvolenou metodiku prokazování pevnostního průkazu. Vychází pouze z rozměrů UL letadel z tabulky 5.1.

Pro návrh zkušebního zařízení pro zkoušení upevnění BZS v letadlech je potřeba zohlednit i vybranou metodiku prokazování pevnostního průkazu. Konkrétní rozměry zkušebního rámu jsou stanoveny v kapitole 8.1.

5.1 NÁVRH PROVEDENÍ ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ

Pro vybranou metodiku prokazování pevnostního průkazu upevňovacích bodů BZS pomocí padajícího závaží a minimální rozměry zkušebního zařízení je možno zvolit z několika provedení a to zkušební zařízení se speciálním pevným zkušebním rámem, zkušební zařízení s modulovým zkušebním rámem a zkušební zařízení využívající náhradní zařízení. Jednotlivá provedení jsou posuzována z hlediska jednoduchosti proveditelnosti, finanční náročnosti, prostorové náročnosti a možnosti využitelnosti zkušebního zařízení pro jiné účely.

5.1.1 ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ SE SPECIÁLNÍM PEVNÝM ZKUŠEBNÍM RÁMEM

Pevné zkušební zařízení se skládá ze zkušebního rámu, který je pevně upevněn ve speciální zkušební hale. Zkušební rám se skládá z nosníku s I profilem a podpěr. Podpěry jsou řešeny nosnými sloupy se zavětrováním. Nosník s I profilem může být zasazen i do nosné stěny, pokud to konstrukce zkušební budovy pevnostně dovolí.

Součástí zkušebního rámu je kladkový systém a měřicí systém. Kladkový systém je na nosník I profilu upevněn pomocí třmenu, jehož je kladka součástí.

Výhodou tohoto provedení zkušebního zařízení je jednoduchost. Kladkový systém je odnímatelný. Díky jednoduchosti zkušebního rámu je rám dostatečně pevný.

Nevýhodou může být nutnost vymezeného prostoru pro toto zkušební zařízení. Jelikož zkoušky letadel s BZS jsou jednorázové, není u tohoto provedení plné využití zkušebního prostoru. Kvůli tomu je tento způsob provedení finančně i prostorově náročnější.

5.1.2 ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ S MODULOVÝM ZKUŠEBNÍM RÁMEM

Modulové zkušební zařízení s sebou přináší možnost víceúčelového využití zkušebního prostoru. Jedná se o několik modulů, které po spojení vytvoří zkušební rám s integrovaným kladkovým systémem a měřicím systémem.

Výhodou tohoto provedení je možnost víceúčelového využití zkušebního prostoru a možnost jednoduchého přemístování zkušebního zařízení mezi různými zkušebními prostory.

Nevýhodou je nutnost skladovacího prostoru pro jednotlivé moduly. Další nevýhodou je menší pevnost zkušebního rámu, což je dáno spojováním jednotlivých modulů rozebíratelnými spoji. Jelikož je zkušební rám poměrně veliký, jak vyplývá z tabulky 5.2, velikost jednotlivých modulů je také poměrně velká a vzniká zde pevnostní náročnost pro rozebíratelné spoje jednotlivých modulů.

5.1.3 ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ VYUŽÍVAJÍCÍ NÁHRADNÍ ZAŘÍZENÍ

Náhradní zkušební zařízení spojuje výhody pevného zkušebního zařízení a modulového zkušebního zařízení. Jedná se o použití zkušebního rámu v podobě portálového jeřábu, mostu nebo nosíkové konstrukce na který je nainstalován externí kladkový systém a měřicí systém. Kladkový systém je na náhradní zařízení umístěn pomocí třmenu, kterého je součástí. Náhradní zkušební rám musí být schopen snést požadované zatížení.

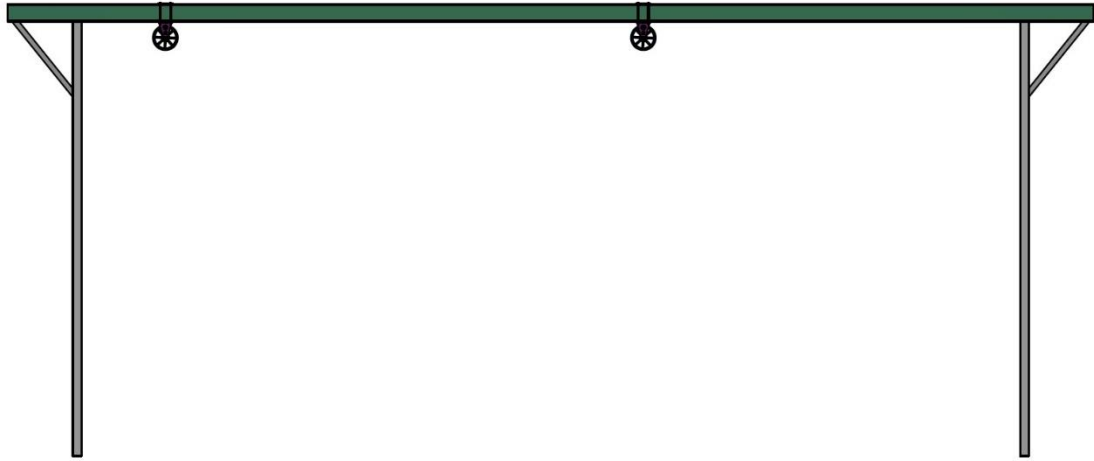
Výhodou je možnost instalace externího zkušebního systému (kladkový a měřicí systém) na různé druhy náhradních zkušebních rámu. Odpadá zde nutnost vlastního zkušebního prostoru a nutnost velkého skladovacího prostoru. Toto provedení lze dopravit do blízkosti zákazníka, pokud se v jeho okolí nachází vhodné zařízení, které může být použito jako zkušební rám.

Nevýhodou může být komplikovanější instalace externího zkušebního systému na zkušební rám, jelikož náhradní zkušební rám nemusí být pro instalaci externího zkušebního systému přizpůsoben.

5.2 VÝBĚR KONSTRUKČNÍHO PROVEDENÍ

Zkušební zařízení s modulovým zkušebním rámem je pro zkoušení letadel s BZS nevhodné. Důvodem je obtížně dosažitelná tuhost zkušebního rámu a komplikovanost celého provedení, která by mohla vnést neočekávané negativní vlivy při samotném průběhu zkoušky upevnění balistického systému na letadle.

Pro další zpracování je vybrán koncept zkušebního zařízení se speciálním pevným zkušebním rámem. Důvodem je jednoduchost celé konstrukce a předvídatelná pevnost a tuhost konstrukce zkušebního rámu. Výhodou tohoto provedení je možnost využití snímatelného kladkového systému na náhradním zkušebním zařízení s nosíkem obdobného průřezu (portálový jeřáb). Příklad náhradního zkušebního zařízení je zobrazen na obrázku 5.2. Konkrétně se jedná o překladiště kontejnerů v Praze 10 – Uhřetěvesi.



Obrázek 5.1 Vybrané konstrukční řešení zkušebního rámu



Obrázek 5.2 Příklad náhradního zkušebního zařízení [38]

6 POUŽITÁ METODOLOGIE

V této kapitole jsou vytvořeny jednotlivé teoretické výpočtové modely. Na základě těchto modelů jsou provedeny výpočty uvedené v kapitole 7 a kapitole 8.2.

6.1 MODEL SIMULACE DYNAMICKÝCH ÚČINKŮ ZS NA ZKOUŠENÉ LETADLO

Model simulace dynamických účinků balistického záchranného systému na zkoušené letadlo je řešen analyticky, kdy se v prvním přiblížení stanoví potřebná výška shozu závaží a v druhém kroku se definuje časový průběh síly od závaží.

Jelikož se jedná o dynamický ráz, je změna síly s časem téměř skoková ($dt \rightarrow 0$). Při stanovení potřebné výšky shozu závaží k vyvození dané síly jsou přijata následující zjednodušení:

- Konec lana, na kterém je upevněno letadlo, je považován za pevný.
- Modul pružnosti E není ovlivněn dynamickým namáháním.
- Předpoklad lineární závislosti mezi napětím a deformací (platnost Hookova zákona).
- Zanedbání vlivu napěťové vlny a rozkmitání soustavy.
- Zanedbání setrvačnosti a tření závaží.
- Totožná tuhost lana při statickém a dynamickém namáhání.

Stanovení potřebné výšky shozu vychází z deformační energie akumulované v laně, která je rovna změně potenciální energie závaží. V rovnici 6.1 je zobrazeno dosažení za deformační energii v laně a změnu potenciální energii závaží.

$$\frac{1}{2} \cdot F_{dyn}^2 \cdot \delta = F_s \cdot (h + \Delta l_{dyn}) \quad (6.1)$$

F_{dyn} = dynamická síla [N]

δ = poddajnost lana [m/N]

F_s = statická síla závaží [N]

h = výška shozu závaží [m]

Δl_{dyn} = dynamická změna délky lana [m]

Poddajnost lana δ je určena rovnicí 6.2.

$$\delta = \frac{1}{k_L} \quad (6.2)$$

k_L = tuhost lana [N/m]

Ze statického uvažování zatížení je znám vztah pro prodloužení lana Δl_s , který je dán rovnicí 6.3.

$$\Delta l_s = F_s \cdot \delta \quad (6.3)$$

Δl_s = statické prodloužení lana [m]

Dynamické prodloužení lana Δl_{dyn} je určeno pomocí rovnice 6.4.

$$\Delta l_{dyn} = F_{dyn} \cdot \delta \quad (6.4)$$

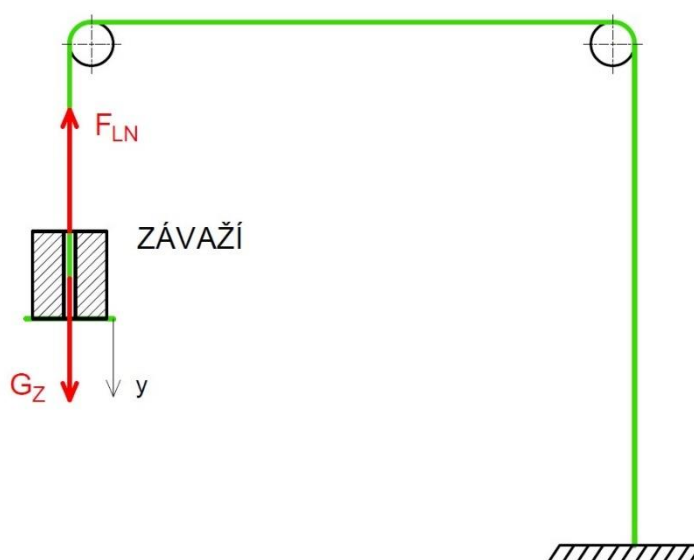
Dosazením rovnice 6.3 a 6.4 do rovnice 6.1 je získán vztah pro výpočet síly od dynamického zatížení F_{dyn} , rovnice 6.5.

$$F_{dyn} = F_s \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{2 \cdot h}{\Delta l_s}} \right) \quad (6.5)$$

Potřebná výška shozu závaží h je získána vyjádřením z rovnice pro dynamickou sílu F_{dyn} 6.5.

$$h = \frac{1}{2} \cdot \Delta l_s \cdot \left[\left(\frac{F_{dyn}}{F_s} - 1 \right)^2 - 1 \right] \quad (6.6)$$

Dalším krokem je stanovení času, za který je dosaženo síly dynamického rázu, pokud by bylo letadlo pevně přichycené k zemi. Na obrázku 6.1 je zobrazeno schéma pro definici Lagrangeových rovnic 2. druhu.



Obrázek 6.1 Schéma pro definici LR 2. druhu – řešení s pevným koncem

1. Kinetická energie E_K :

Kinetická energie pro řešení s pevným koncem vychází ze schématu na obrázku 6.1.

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot m_Z \cdot \dot{y}_Z^2 \quad (6.7)$$

E_K = kinetická energie [J]
 m_Z = hmotnost závaží [kg]

2. Zobecněná síla Q :

Zobecněná síla Q pro řešení s pevným koncem je řešena pro souřadnici y a vychází ze schématu na obrázku 6.1.

$$Q \delta y = G_Z \delta y - F_{LN} \delta y \quad (6.8)$$

Q = zobecněná síla [N]
 G_Z = tíha závaží [N]

Řešením Lagrangeových rovnic 2. druhu je získána diferenciální rovnice druhého řádu.

$$\ddot{y} + \frac{k}{m_Z} \cdot y = g \quad (6.9)$$

g = tíhové zrychlení [m/s^2]

Pro schéma řešení, které je zobrazeno na obrázku 6.1, jsou okrajové podmínky definované jako $y(0) = 0$ a $\dot{y}(0) = v_0$, kde v_0 je rychlost závaží při dopadu na talířek. Řešením rovnice 6.9 je získán vztah pro souřadnici y .

$$y = -\frac{g \cdot m_Z}{k} \cdot \cos \omega t + \frac{v_0}{\omega} \cdot \sin \omega t + \frac{g \cdot m_Z}{k} \quad (6.10)$$

Vlastní úhlová frekvence ω v rovnici 6.10 je určena vztahem 6.11.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m_Z}} \quad (6.11)$$

Sílu dynamického rázu F_{dyn} lze popsat prostřednictvím síly v laně F_{LN} a to rovnicí 6.12.

$$F_{dyn} = F_{LN} = k \cdot y \quad (6.12)$$

F_{dyn} = dynamická síla [N]

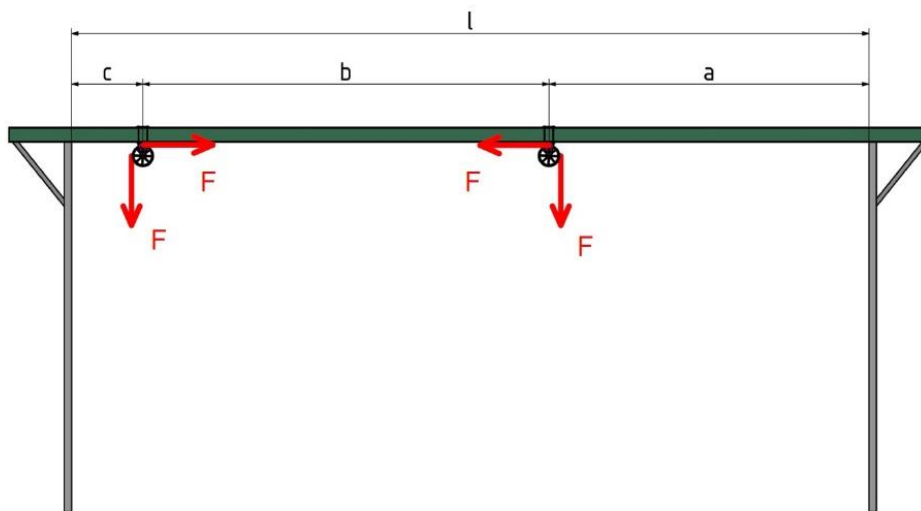
Čas, při kterém je dosaženo požadované hodnoty dynamického rázu, je stanoven z dosazení vyjádření rovnice pro souřadnici y 6.10 do rovnice pro dynamickou sílu 6.12. Výsledná hodnota času $t(F_{dyn})$ je získána pomocí funkce *Řešitel* v MS Excel.

6.2 MODEL OVĚŘENÍ PEVNOSTNÍCH VLASTNOSTÍ ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ

Model ověření pevnostních vlastností zkušebního zařízení je složen z modelů ověřujících pevnostní vlastnosti jednotlivých částí zkušebního zařízení. V tomto modelu je shrnuta teorie k tomuto problému a pro první přiblížení jsou ověřovány pevnostní vlastnosti nosníku s I profilem zkušebního rámu, podpěr nosníku s I profilem, horního dílu třmenu kladkového systému, spodního dílu třmenu kladkového systému, hřídele kladky a svarů.

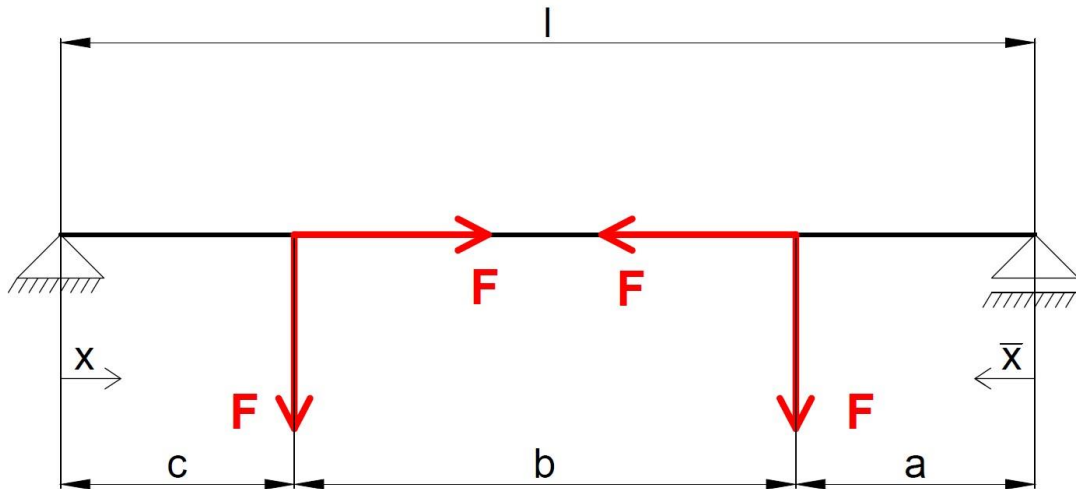
6.2.1 PEVNOSTNÍ VLASTNOSTI NOSNÍKU S I PROFILEM

Nosník s I profilem zkušebního rámu je namáhán kombinací vzpěru s ohybem od působení síly dynamického rázu v místě umístění třmenů kladkového systému. Na obrázku 6.2 je zobrazeno rozložení sil na nosníku s I profilem.



Obrázek 6.2 Rozložení sil na nosníku s I profilem

Na obrázku 6.3 je znázorněno schéma rozmístění sil na nosníku zkušebního rámu pro výpočet.



Obrázek 6.3 Schéma nosníku zkušebního rámu pro výpočet

Příčná síla F vyvolá ohybový moment $\mathcal{M}_o(x)$. Tlaková síla N způsobí přídavný průhyb nosníku, který má vliv na výsledný průběh ohybového momentu $M_o(x)$, který je definován v rovnici 6.13.

$$M_o'' + \alpha^2 \cdot M_o(x) = \mathcal{M}_o''(x) \quad (6.13)$$

$M_o(x)$ = výsledný ohybový moment [Nmm]

$\mathcal{M}_o(x)$ = ohybový moment od příčné síly F [Nmm]

Konstanta α odpovídá pro prizmatický nosník vztahu 6.14.

$$\alpha = \sqrt{\frac{N}{E \cdot J}} \quad (6.14)$$

N = tlaková síla [N]

E = Yongův modul pružnosti [MPa]

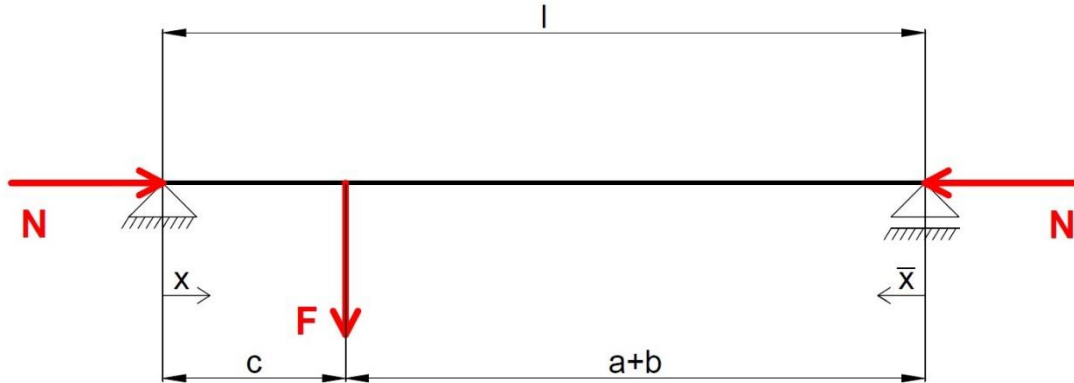
J = kvadratický moment [mm^4]

Nosník je namáhán osamělými příčnými silami F , a proto je druhá derivace ohybového momentu vyvolaná příčnými silami nulová, $\mathcal{M}_o''(x) = 0$.

Jelikož je nosník namáhán dvěma silami, je pro zjednodušení výpočtu nutné využít zákona superpozice, kdy se nejprve uvažuje zatížení od jedné síly, poté od druhé a výsledný ohybový moment $M_o(x)$ je získán součtem ohybových momentů od jednotlivých sil $M_o(x)_i$.

1. Ohybový moment $M_o(x)_1$:

Na obrázku 6.4 je definováno zatížení nosníku pro stanovení ohybového momentu $M_o(x)_1$.



Obrázek 6.4 Zatížení nosníku pro stanovení ohybového momentu $M_o(x)_1$

Úpravou rovnice 6.13 a dosazením okrajových podmínek jsou získány dvě rovnice pro ohybový moment $M_o(x)_1$.

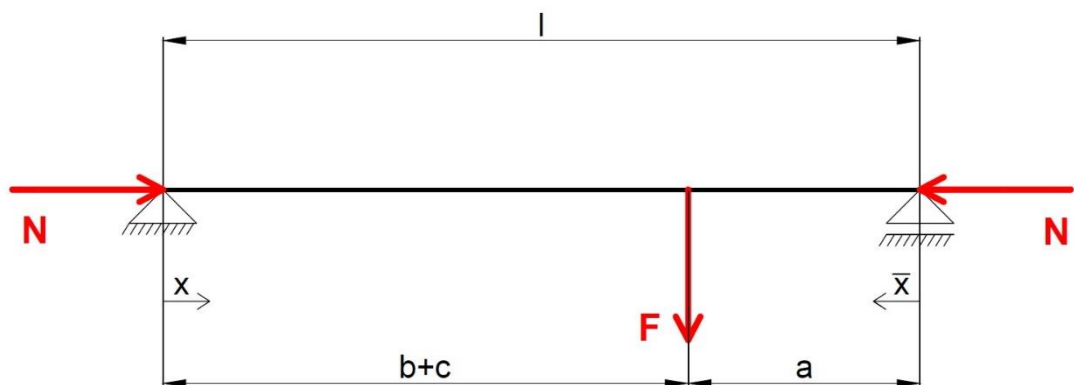
$$M_o(x)_1 = \frac{F}{\alpha} \cdot \frac{\sin \alpha \cdot (a + b)}{\sin \alpha \cdot l} \cdot \sin \alpha \cdot x \quad (6.15)$$

$$\bar{M}_o(\bar{x})_1 = \frac{F}{\alpha} \cdot \frac{\sin \alpha \cdot c}{\sin \alpha \cdot l} \cdot \sin \alpha \cdot \bar{x} \quad (6.16)$$

F = příčná síla [N]
 l = délka nosníku [mm]

2. Ohybový moment $M_o(x)_2$:

Na obrázku 6.5 je definováno zatížení nosníku pro stanovení ohybového momentu $M_o(x)_2$.



Obrázek 6.5 Zatížení nosníku pro stanovení ohybového momentu $M_o(x)_2$

Úpravou rovnice 6.13 a dosazením okrajových podmínek jsou získány dvě rovnice pro ohybový moment $M_o(x)_2$.

$$M_o(x)_2 = \frac{F}{\alpha} \cdot \frac{\sin \alpha \cdot a}{\sin \alpha \cdot l} \cdot \sin \alpha \cdot x \quad (6.17)$$

$$\bar{M}_o(\bar{x})_2 = \frac{F}{\alpha} \cdot \frac{\sin \alpha \cdot (b + c)}{\sin \alpha \cdot l} \cdot \sin \alpha \cdot \bar{x} \quad (6.18)$$

F = příčná síla [N]
l = délka nosníku [mm]

Výsledný ohybový moment $M_o(x)$ je dán součtem ohybových momentů od jednotlivých sil $M_o(x)_i$.

$$M_o(x) = M_o(x)_1 + M_o(x)_2 \quad (6.19)$$

Z průběhu ohybového napětí po nosníku s I profilem $M_o(x)$ je stanoven maximální ohybový moment M_{omax} na nosníku s I profilem zkušebního rámu.

3. Ohybové napětí σ_o :

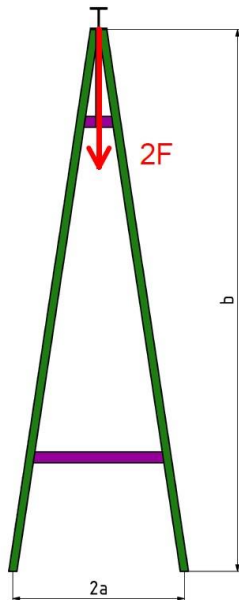
Velikost maximálního ohybového napětí σ_o pro nosník s I profilem zkušebního rámu je určeno na základě rovnice 6.20.

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} \leq \sigma_{Do} \quad (6.20)$$

σ_o = ohybové napětí [N/mm²]
 M_{omax} = maximální ohybový moment [Nmm]
 W_o = průřezový modul v ohybu [mm³]
 σ_{Do} = dovolené ohybové napětí [N/mm²]

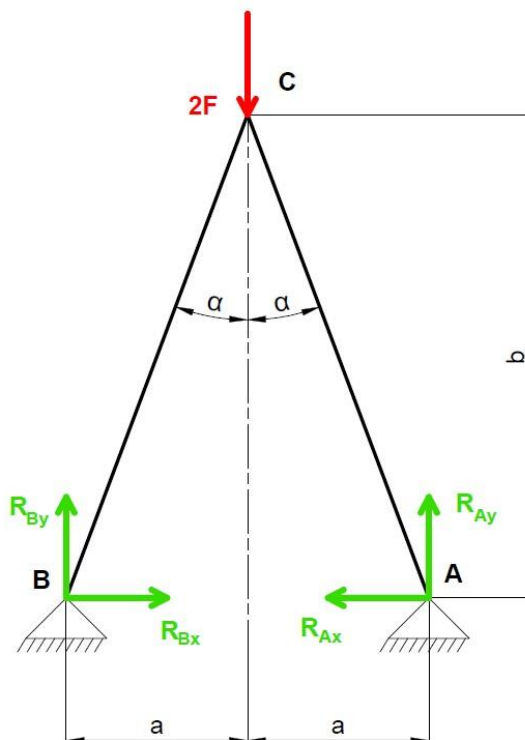
6.2.2 PEVNOSTNÍ VLASTNOSTI PODPĚR NOSNÍKU ZKUŠEBNÍHO RÁMU

Na obrázku 6.6 je zobrazeno zatížení podpěr nosníku zkušebního rámu.



Obrázek 6.6 Zatížení podpěr nosníku zkušebního rámu

Podpěry nosníku zkušebního rámu jsou řešeny jako staticky neurčitý křivý prut, který je zatížený silou $2F$. Na obrázku 6.7 je zobrazeno schéma podpěry pro výpočet.



Obrázek 6.7 Schéma pro výpočet podpěry nosníku zkušebního rámu

Ze silové rovnováhy ve směru osy y (rovnice 6.21) jsou určeny reakce R_{Ay} a R_{By} .

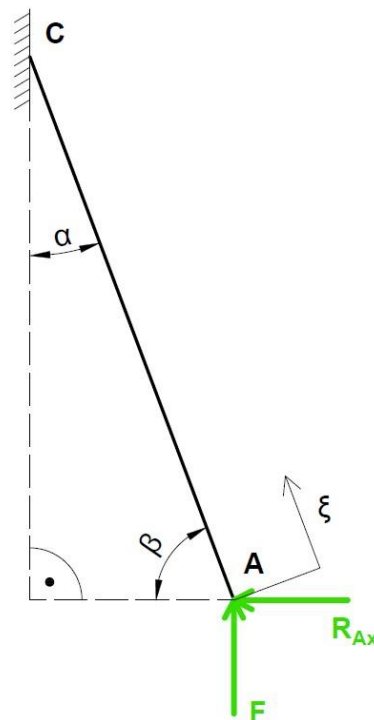
$$2 \cdot F = R_{By} + R_{Ay} \quad (6.21)$$

F = dynamická síla [N]

R_{Ay} = reakce ve směru osy y v podpoře A [N]

R_{By} = reakce ve směru osy y v podpoře B [N]

Jelikož je podpora osově symetrická, pak $R_{Ay} = R_{By} = F$. Díky symetričnosti je možné řešit pouze polovinu podpěry nosníku. Na obrázku 6.8 je zobrazeno schéma pro výpočet pole A-C.



Obrázek 6.8 Schéma pro výpočet pole A-C podpěry nosníku

Kvůli nestabilitě podpěr nosníku je zavedena deformační podmínka $u_A = 0$. Reakce R_{Ax} je stanovena na základě Mohrova integrálu a deformační podmínky.

$$R_{Ax} = F \cdot \frac{\cos \beta}{\sin \beta} \quad (6.22)$$

R_{Ax} = reakce ve směru osy x v podpoře A [N]

Ohybový moment na poli A-C podpěry nosníku $M_o(\xi)$ je určen rovnicí 6.23.

$$M_o(\xi) = F \cdot \frac{\cos \beta}{\sin \beta} \cdot \xi \cdot \sin \beta - F \cdot \xi \cdot \cos \beta = 0 \text{ Nmm} \quad (6.23)$$

Jelikož na prut podpěry nosníku zkušebního rámu nepůsobí žádný ohybový moment, je prut namáhán pouze na tlak.

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{F}{A \sin \beta} \leq \sigma_{Do} \quad (6.24)$$

σ = napětí v ohybu podpěry nosníku zkušebního rámu [MPa]

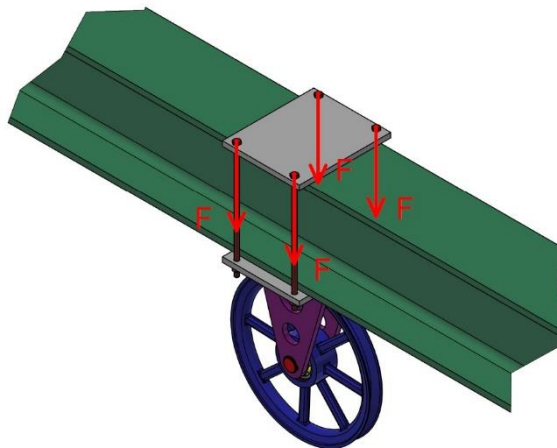
N = síla v prutu podpěry nosníku zkušebního rámu [N]

A = průřez prutu podpěry nosníku zkušebního rámu [mm²]

σ_{Do} = dovolené napětí v ohybu podpěry nosníku zkušebního rámu [MPa]

6.2.3 PEVNOSTNÍ VLASTNOSTI HORNÍHO DÍLU TŘMENU Kladkového SYSTÉMU

Horní díl třmenu kladkového systému je namáhán ohybem od působení síly dynamického rázu v místě umístění šroubů. Protože horní díl třmenu lze definovat jako krátký nosník, lze účinky vzpěru zanedbat. Na obrázku 6.9 je zobrazeno rozložení působících sil na horní díl třmenu.



Obrázek 6.9 Rozložení působících sil na horní díl třmenu

Jelikož jsou v horním dílu třmenu kladkového systému čtyři šrouby, je velikost síly F stanovena pomocí rovnice 6.25.

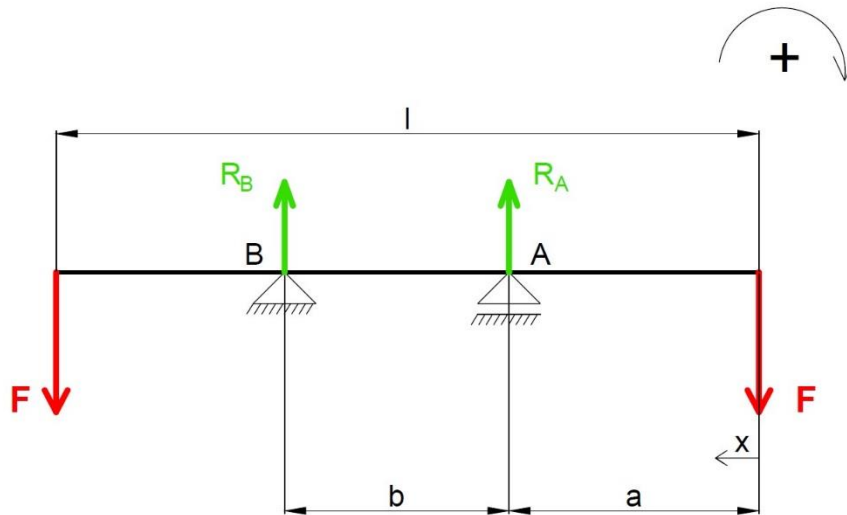
$$F = \frac{F_{dyn}}{n} \quad (6.25)$$

F = síla působící na horní díl třmenu kladkového systému [N]

F_{dyn} = síla dynamického rázu [N]

n = počet šroubů v horním dílu třmenu kladkového systému [1]

Průběh ohybového momentu $M_o(x)$ po horním dílu třmenu kladkového systému je počítán metodou řezu, kdy je počátek umístěn do místa působení pravého šroubu v horním dílu třmenu. Schéma rozložení působících sil na horní díl třmenu pro výpočet je zobrazeno na obrázku 6.10. Aby byl horní díl třmenu staticky určitý, je jedna z podpor zvolena jako rotační (B) a druhá jako posuvná (A).



Obrázek 6.10 Schéma rozložení působících sil na horní díl třmenu pro výpočet

1. Reakční síly v podporách R_A a R_B :

Velikost reakčních sil R_A a R_B je určena na základě silové rovnováhy (rovnice 6.26) a momentové rovnováhy k podpoře A (rovnice 6.27).

$$R_B + R_A - 2 \cdot F = 0 \quad (6.26)$$

$$R_B \cdot l - F \cdot (b + a) - F \cdot a = 0 \quad (6.27)$$

R_A = reakční síla v podpoře A [N]

R_B = reakční síla v podpoře B [N]

F = síla působící v místě šroubu [N]

l = délka horního dílu třmenu kladkového systému mezi šrouby [mm]

a = vzdálenost od šroubu k podpoře A [mm]

b = vzdálenost mezi podporou A a podporou B [mm]

Úpravou soustavy rovnic 6.26 a 6.27 je získán výsledný vztah pro výpočet reakční síly v podpoře A (R_A), který je zobrazen v rovnici 6.28, a výsledný vztah pro výpočet reakční síly v podpoře B (R_B), který je zobrazen v rovnici 6.29.

$$R_A = F \cdot \left(2 - \frac{l - 2 \cdot a}{b} \right) \quad (6.28)$$

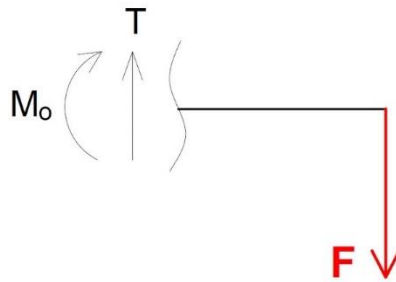
$$R_B = \frac{F \cdot (l - 2 \cdot a)}{b} \quad (6.29)$$

2. Průběh ohybového momentu M_o :

Výpočet průběhu ohybového momentu M_o je proveden ve třech intervalech, které vyplývají z rozložení působících sil na obrázku 6.11.

1) $x \in \langle 0; a \rangle$

Obrázek 6.11 zobrazuje rozložení sil působících na prvním intervalu.



Obrázek 6.11 Rozložení sil působících na prvním intervalu

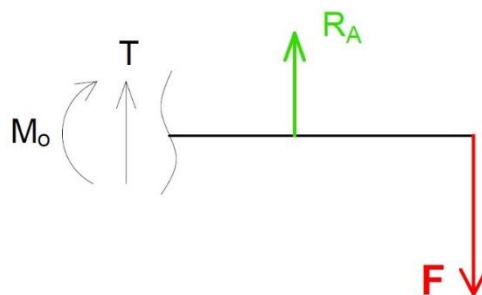
Velikost ohybového momentu na prvním intervalu $M_{o1}(x)$ je určena v rovnici 6.30, která vychází z momentové rovnováhy pro první interval a rovnic pro reakční síly v podporách A a B.

$$M_{o1}(x) = -F \cdot x \quad (6.30)$$

$M_{o1}(x)$ = ohybový moment na intervalu 1 [Nmm]

2) $x \in \langle a; a + b \rangle$

Obrázek 6.12 zobrazuje rozložení sil působících na druhém intervalu.



Obrázek 6.12 Rozložení sil působících na druhém intervalu

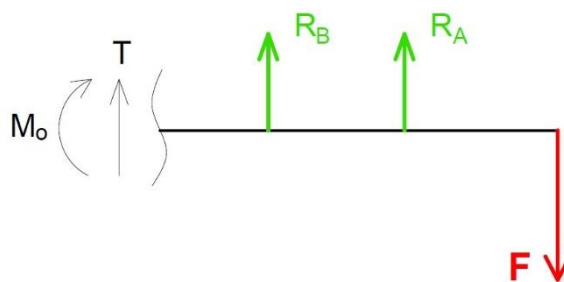
Velikost ohybového momentu na druhém intervalu $M_{o2}(x)$ je určena pomocí rovnice 6.31. Tato rovnice vychází z momentové rovnováhy pro druhý interval a rovnic pro reakční síly v podporách R_A a R_B .

$$M_{o2}(x) = F \cdot \left(2 - \frac{l - 2 \cdot a}{b}\right) \cdot (x - a) - F \cdot x \quad (6.31)$$

$M_{o2}(x)$ = ohybový moment na intervalu 2 [Nmm]

$$3) \ x \in (a + b; l)$$

Obrázek 6.13 zobrazuje rozložení sil působících na třetím intervalu.



Obrázek 6.13 Rozložení sil působících na třetím intervalu

Velikost ohybového momentu na třetím intervalu $M_{o3}(x)$ je stanoven rovnicí 6.32, která vychází z momentové rovnováhy pro třetí interval a rovnic pro reakční síly v podporách R_A a R_B .

$$M_{o3}(x) = F \cdot \left(2 - \frac{l - 2 \cdot a}{b}\right) \cdot (x - a) - F \cdot x + F \cdot \frac{l - 2 \cdot a}{b} \cdot [x - (a + b)] \quad (6.32)$$

$M_{o3}(x)$ = ohybový moment na intervalu 3 [Nmm]

Z průběhu ohybového napětí po horním dílu třmenu kladkového systému $M_o(x)$ je stanoven maximální ohybový moment $M_{o_{max}}$ na horním dílu třmenu kladkového systému.

3. Ohybové napětí σ_o :

Velikost ohybového napětí σ_o pro horní díl třmenu kladkového systému je určena na základě rovnice 6.33.

$$\sigma_o = \frac{M_{o_{max}}}{W_o} \leq \sigma_{Do} \quad (6.33)$$

σ_o = ohybové napětí [N/mm²]

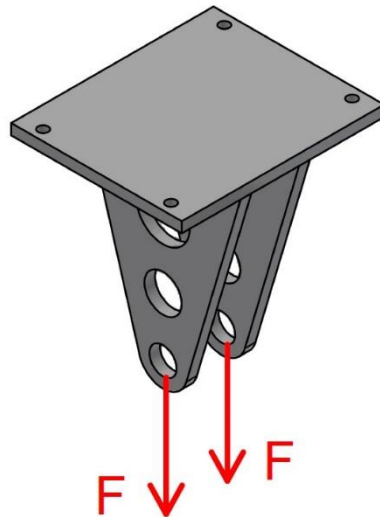
$M_{o_{max}}$ = maximální ohybový moment [Nmm]

W_o = průřezový modul v ohybu [mm³]

σ_{Do} = dovolené ohybové napětí [N/mm²]

6.2.4 PEVNOSTNÍ VLASTNOSTI SPODNÍHO DÍLU TŘMENU KLADKOVÉHO SYSTÉMU

Spodní díl třmenu kladkového systému je namáhán ohybem od působení síly dynamického rázu v místě úchytů kladky ke spodnímu dílu třmenu. Na obrázku 6.14 je zobrazeno rozložení sil působících na spodní díl třmenu kladkového systému.



Obrázek 6.14 Rozložení působících sil na spodní díl třmenu

Jelikož je kladka ke spodnímu dílu třmenu přichycena pomocí dvou úchytů, je velikost síly F stanovena pomocí rovnice 6.34.

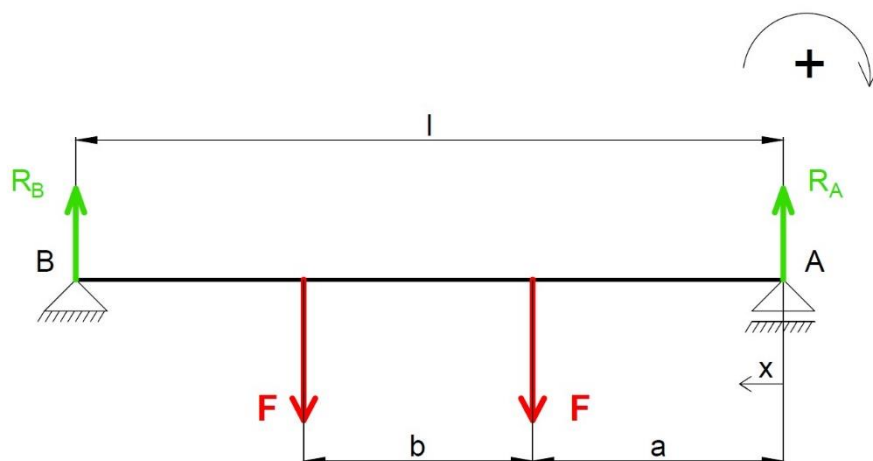
$$F = \frac{F_{dyn}}{n} \quad (6.34)$$

F = síla působící na spodní díl třmenu kladkového systému [N]

F_{dyn} = síla dynamického rázu [N]

n = počet úchytů kladky ve spodním dílu třmenu kladkového systému [1]

Průběh ohybového momentu M_o po spodním dílu třmenu kladkového systému je počítán metodou řezu, kdy je počátek umístěn do pravé podpory spodního dílu třmenu. Schéma rozložení působících sil pro výpočet je zobrazeno na obrázku 6.15. Aby byl spodní díl třmenu staticky určitý, je jedna z podpor zvolena jako rotační (B) a druhá jako posuvná (A).



Obrázek 6.15 Schéma rozložení sil působících na spodní díl třmenu pro výpočet

1. Reakční síly v podporách A a B:

Velikost reakčních sil R_A a R_B je určena na základě silové rovnováhy (rovnice 6.35) a momentové rovnováhy k podpoře A (rovnice 6.36).

$$R_B + R_A - 2 \cdot F = 0 \quad (6.35)$$

$$R_B \cdot l - F \cdot (b + a) - F \cdot a = 0 \quad (6.36)$$

R_A = reakční síla v podpoře A [N]

R_B = reakční síla v podpoře B [N]

F = síla působící v místě třmenu kladkového systému [N]

l = délka nosníku s I profilem zkušební rámu [mm]

a = vzdálenost od podpory A k prvnímu třmenu kladkového systému [mm]

b = vzdálenost mezi třmeny kladkového systému [mm]

Úpravou soustavy rovnic 6.35 a 6.36 je získán výsledný vztah pro výpočet reakční síly v podpoře A (R_A), který je zobrazen v rovnici 6.37, a výsledný vztah pro výpočet reakční síly v podpoře B (R_B), který je zobrazen v rovnici 6.38.

$$R_A = F \cdot \left(2 - \frac{b + 2 \cdot a}{l} \right) \quad (6.37)$$

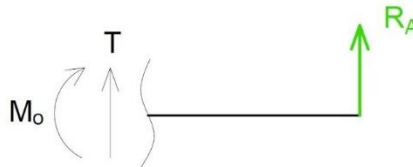
$$R_B = \frac{F \cdot (b + 2 \cdot a)}{l} \quad (6.38)$$

2. Průběh ohybového momentu M_o :

Výpočet průběhu ohybového momentu M_o je proveden ve třech intervalech, které vyplývají z rozložení působících sil na obrázku 6.15.

1) $x \in \langle 0; a \rangle$

Obrázek 6.16 zobrazuje rozložení sil působících na prvním intervalu.



Obrázek 6.16 Rozložení sil působících na prvním intervalu

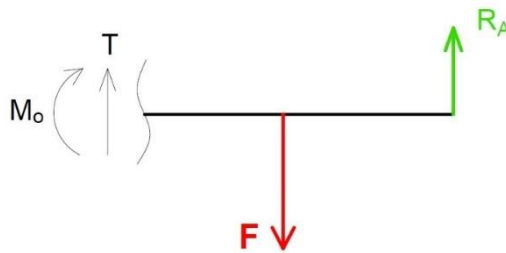
Velikost ohybového momentu na prvním intervalu $M_{o1}(x)$ je určena rovnicí 6.39, která vychází z momentové rovnováhy pro první interval a rovnic pro reakční síly v podporách R_A a R_B .

$$M_{o1}(x) = F \cdot \left(2 - \frac{b - 2 \cdot a}{l} \right) \cdot x \quad (6.39)$$

$M_{o1}(x)$ = ohybový moment na intervalu 1 [Nmm]

2) $x \in \langle a; a + b \rangle$

Obrázek 6.17 zobrazuje rozložení sil působících na druhém intervalu.



Obrázek 6.17 Rozložení sil působících na druhém intervalu

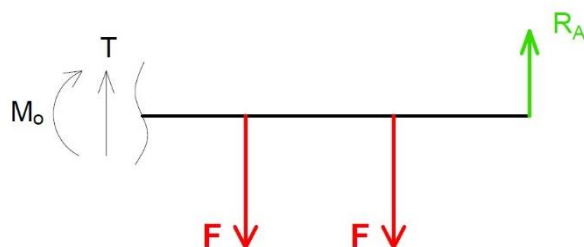
Velikost ohybového momentu na druhém intervalu $M_{o2}(x)$ je určena pomocí rovnice 6.40. Tato rovnice vychází z momentové rovnováhy pro druhý interval a rovnic pro reakční síly v podporách A a B.

$$M_{o2}(x) = F \cdot \left(2 - \frac{b - 2 \cdot a}{l} \right) \cdot x - F \cdot (x - a) \quad (6.40)$$

$M_{o2}(x)$ = ohybový moment na intervalu 2 [Nmm]

3) $x \in (a + b; l)$

Obrázek 6.18 zobrazuje rozložení sil působících na třetím intervalu.



Obrázek 6.18 Rozložení sil působících na třetím intervalu

Velikost ohybového momentu na třetím intervalu $M_{o3}(x)$ je stanoven rovnicí 6.41, která vychází z momentové rovnováhy pro třetí interval a rovnic pro reakční síly v podporách A a B.

$$M_{o3}(x) = F \cdot \left(2 - \frac{b - 2 \cdot a}{l} \right) \cdot x - F \cdot (x - a) - F \cdot [x - (a + b)] \quad (6.41)$$

$M_{o3}(x)$ = ohybový moment na intervalu 3 [Nmm]

Z průběhu ohybového napětí po spodním dílu třmenu kladkového systému $M_o(x)$ je stanoven maximální ohybový moment M_{omax} na spodním dílu třmenu.

3. Ohybové napětí σ_o :

Velikost ohybového napětí σ_o pro spodní díl třmenu kladkového systému je určena na základě rovnice 6.42.

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} \leq \sigma_{Do} \quad (6.42)$$

σ_o = ohybové napětí [N/mm²]

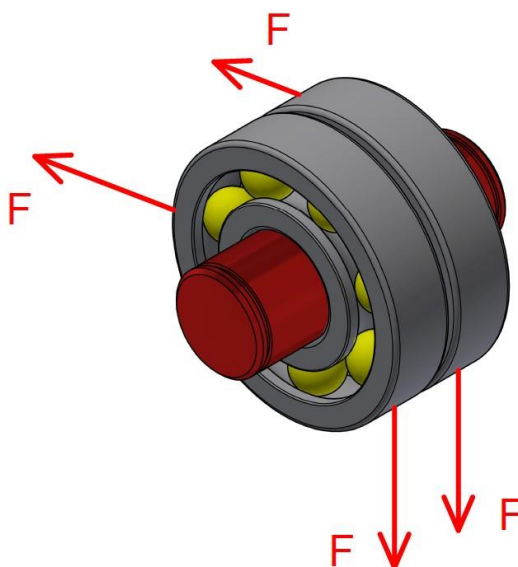
M_{omax} = maximální ohybový moment [Nmm]

W_o = průřezový modul v ohybu [mm³]

σ_{Do} = dovolené ohybové napětí [N/mm²]

6.2.5 PEVNOSTNÍ VLASTNOSTI HŘÍDELE KLADKY

Hřídel kladky je namáhána ohybem od působení síly dynamického rázu v místě umístění ložisek v kládce. Na kladku působí síly od dynamického rázu F_{dyn} ve směrech zobrazených na obrázku 6.19.



Obrázek 6.19 Rozložení působících sil na hřídeli kladky

Výsledná síla působící na hřídel v místě umístění ložiska F je stanovena pomocí rovnice 6.43.

$$F = \frac{\sqrt{F_{dyn}^2 + F_{dyn}^2}}{n} \quad (6.43)$$

F = síla působící na hřídel kladky [N]

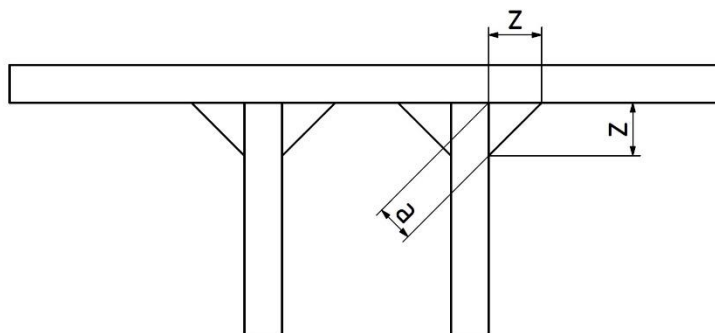
F_{dyn} = síla dynamického rázu [N]

n = počet ložisek kladky [-]

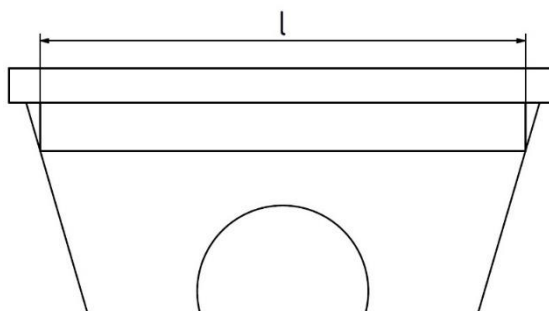
Průběh ohybového momentu M_o po spodním dílu třmenu kladkového systému je počítán metodou řezu, kdy je počátek umístěn do pravé podpory spodního dílu třmenu. Schéma rozložení působících sil na hřídeli kladky pro výpočet je shodné se schématem rozložení působících sil na spodní díl třmenu kladkového systému pro výpočet, které je zobrazeno na obrázku 6.15. Z důvodu shodného rozložení je možné použít pro hřídel výpočtové rovnice 6.39-6.42.

6.2.6 PEVNOSTNÍ VLASTNOSTI SVARŮ

Vidlice kladky je ke spodnímu dílu třmenu přivařena. Na obrázku 6.20, 6.21 je nakresleno schéma uspořádání sestavy pro výpočet.

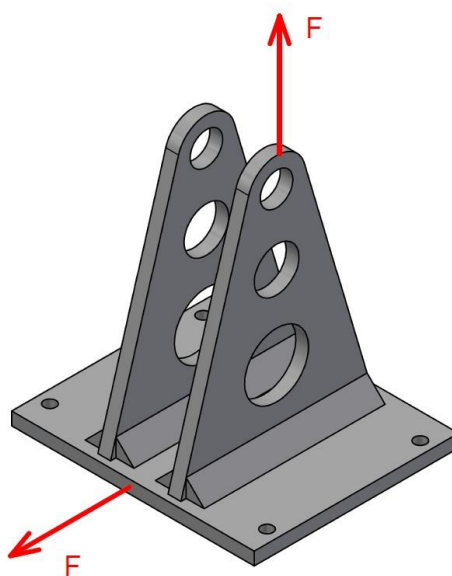


Obrázek 6.21 Schéma uspořádání svarů – pohled zepředu



Obrázek 6.20 Schéma uspořádání svarů – pohled z boku

Koutové svary jsou namáhány pouze na smyk. Namáhání koutových svarů pro připevnění vidlice kladky ke spodnímu třmenu kladkového systému je naznačeno na obrázku 6.22.



Obrázek 6.22 Namáhání koutových svarů

Jelikož je kladka uchycena ke spodnímu dílu třmenu kladkového systému pomocí vidlice kladky, je síla namáhající koutové svary F určena pomocí rovnice 6.44.

$$F = \frac{F_{dyn}}{2} \quad (6.44)$$

F = zatěžující síla svarů [N]

F_{dyn} = dynamická síla [N]

Smykové napětí v kolmém směru τ_{\perp} je stanoveno na základě rovnice 6.45 [28].

$$\tau_{\perp} = \frac{F}{2 \cdot S_{sv}} \quad (6.45)$$

τ_{\perp} = smykové napětí v kolmém směru [N/mm²]

S_{sv} = plocha svaru [mm²]

Smykové napětí v rovnoběžném směru τ_{\parallel} je stanoveno na základě rovnice 6.46 [28].

$$\tau_{\parallel} = \frac{F}{2 \cdot S_{sv}} \quad (6.46)$$

τ_{\parallel} = smykové napětí v rovnoběžném směru [N/mm²]

Redukované smykové napětí koutového svaru τ_s je určeno rovnicí 6.47 [28].

$$\tau_s = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp}}{\alpha_{\tau_{\perp}}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\parallel}}{\alpha_{\tau_{\parallel}}}\right)^2} \leq \beta \cdot \frac{Re}{k_B} \quad (6.47)$$

τ_s = redukované smykové napětí koutového svaru [N/mm²]

$\alpha_{\tau_{\perp}}$ = převodní součinitel svarového spoje v kolmém směru [1]

$\alpha_{\tau_{\parallel}}$ = převodní součinitel svarového spoje v rovnoběžném směru [1]

β = součinitel tloušťky koutového svaru [1]

Re = mez kluzu v tahu [N/mm²]

k_B = bezpečnost [1]

7 SIMULACE DYNAMICKÝCH ÚČINKŮ ZS NA ZKOUŠENÉ LETADLO

Simulace dynamických účinků balistického záchranného systému na zkoušené letadlo je provedena na základě kapitoly 6.1.

V prvním přiblížení jsou určeny výšky shozu h v závislosti na hmotnosti závaží m_Z a tuhosti lana k_L . Při volbě tuhosti lana lze variovat Youngův modul pružnosti E a nosný průřez lana S . Délka lana l je dána rozměry zkušebního zařízení. Z odborné webové stránky [29] je stanoven rozsah modulů pružnosti E jako 80000–200000 MPa. Průměry lana d jsou zvoleny jako 10–30 mm. Tuhost lana k_L je určena pomocí rovnice 7.1, kam jsou dosazeny okrajové hodnoty intervalu modulu pružnosti E a průměru lana d .

$$k_L = \frac{E \cdot S}{l} \quad (7.1)$$

k_L = tuhost lana [N/m]

E = Youngův modul pružnosti [MPa]

S = nosný průřez lana [mm²]

l = délka lana [m]

$$k_{L1} = \frac{E_1 \cdot S_1}{l} = \frac{80000 \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4}}{25} = 251\,327 \text{ N/m} \quad (7.2)$$

$$k_{L2} = \frac{E_2 \cdot S_2}{l} = \frac{200000 \cdot \frac{\pi \cdot 30^2}{4}}{25} = 5\,654\,867 \text{ N/m} \quad (7.3)$$

Tuhost lana k_L je volena na základě výsledných hodnot z rovnic 7.2 a 7.3 v intervalu 300000–5800000 N/m s krokem 500000 N/m. Hmotnost závaží m_Z je volena v intervalu 50–550 kg s krokem 50 kg.

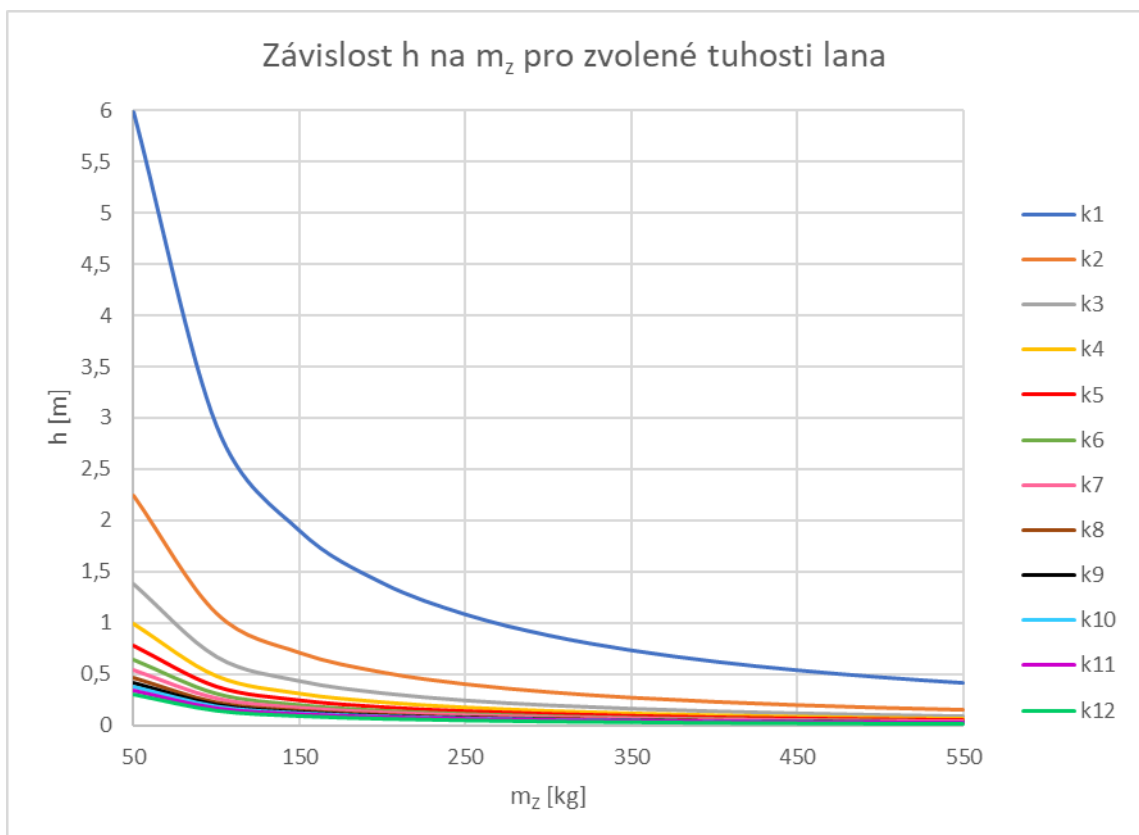
Závislost výsledných výšek shozu h na hmotnosti závaží m_Z je zobrazena v grafu 7.1. V grafu 7.2 je zobrazena závislost potřebné výšky shozu závaží h na tuhosti lana k_L . V tabulce 7.1 jsou zobrazeny hodnoty zvolených tuhostí lana k_L použitých v grafech.

Tabulka 7.1 Zvolené tuhosti lana k_L

	k_{L1}	k_{L2}	k_{L3}	k_{L4}	k_{L5}	k_{L6}	k_{L7}	k_{L8}	k_{L9}	k_{L10}	k_{L11}	k_{L12}
k [kN/m]	300	800	1300	1800	2300	2800	3300	3800	4300	4800	5300	5800



Graf 7.1 Závislost potřebné výšky shozu závaží na tuhosti lana



Graf 7.2 Závislost potřebné výšky shozu na hmotnosti závaží

Z grafu 7.1 vyplývá, že se zvětšující se velikostí hmotnosti závaží m_Z klesá potřebná výška shozu závaží h při konstantní tuhosti lana.

Z grafu 7.2 vyplývá, že při nízké hmotnosti závaží m_Z je změna potřebné výšky shozu závaží h podstatně závislá na tuhosti lana. S rostoucí hmotností závaží tato závislost klesá.

Dalším krokem je stanovení dynamického prodloužení lana Δl_{dyn} pro jednotlivé tuhosti lana k . Dynamické prodloužení lana Δl_{dyn} je stanoveno na základě vztahu z rovnice 7.1.

$$\Delta l_{dyn} = \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot h}{\Delta l_s}} \right) \cdot F_s \quad (7.4)$$

Δl_{dyn} = dynamické prodloužení lana [m]

Δl_s = statické prodloužení lana [m]

h = potřebná výška shozu závaží [m]

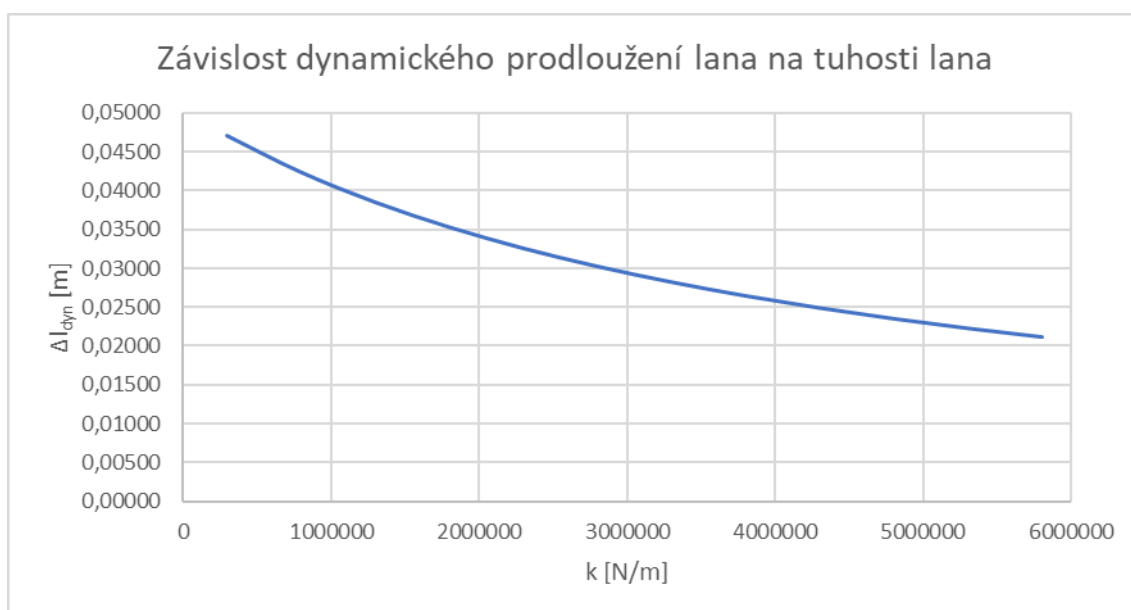
F_s = statická síla od závaží [N]

Výsledné hodnoty dynamického prodloužení lana Δl_{dyn} pro jednotlivé tuhosti lana ze zvoleného intervalu jsou zobrazeny v tabulce 7.2.

Tabulka 7.2 Dynamické prodloužení lana pro jednotlivé tuhosti lana

k [N/m]	300000	800000	1300000	1800000	2300000	2800000
Δl_{dyn} [m]	0,04717	0,04245	0,03859	0,03538	0,03265	0,03032
k [N/m]	3300000	3800000	4300000	4800000	5300000	5800000
Δl_{dyn} [m]	0,02830	0,02653	0,02497	0,02358	0,02234	0,02123

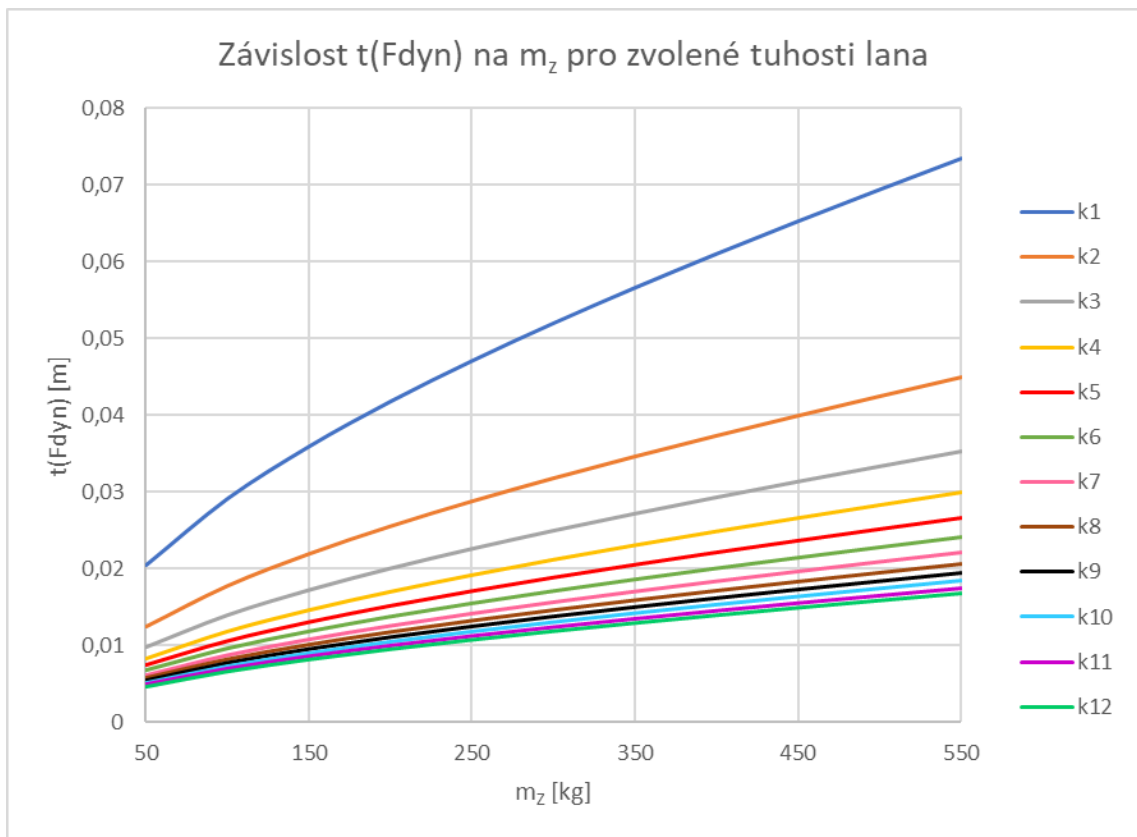
V grafu 7.3 je zobrazena závislost dynamického prodloužení lana Δl_{dyn} na tuhosti lana k .



Graf 7.3 Závislost dynamického prodloužení lana na tuhosti lana

Z grafu 7.3 vyplývá, že s rostoucí tuhostí lana klesá dynamické prodloužení lana.

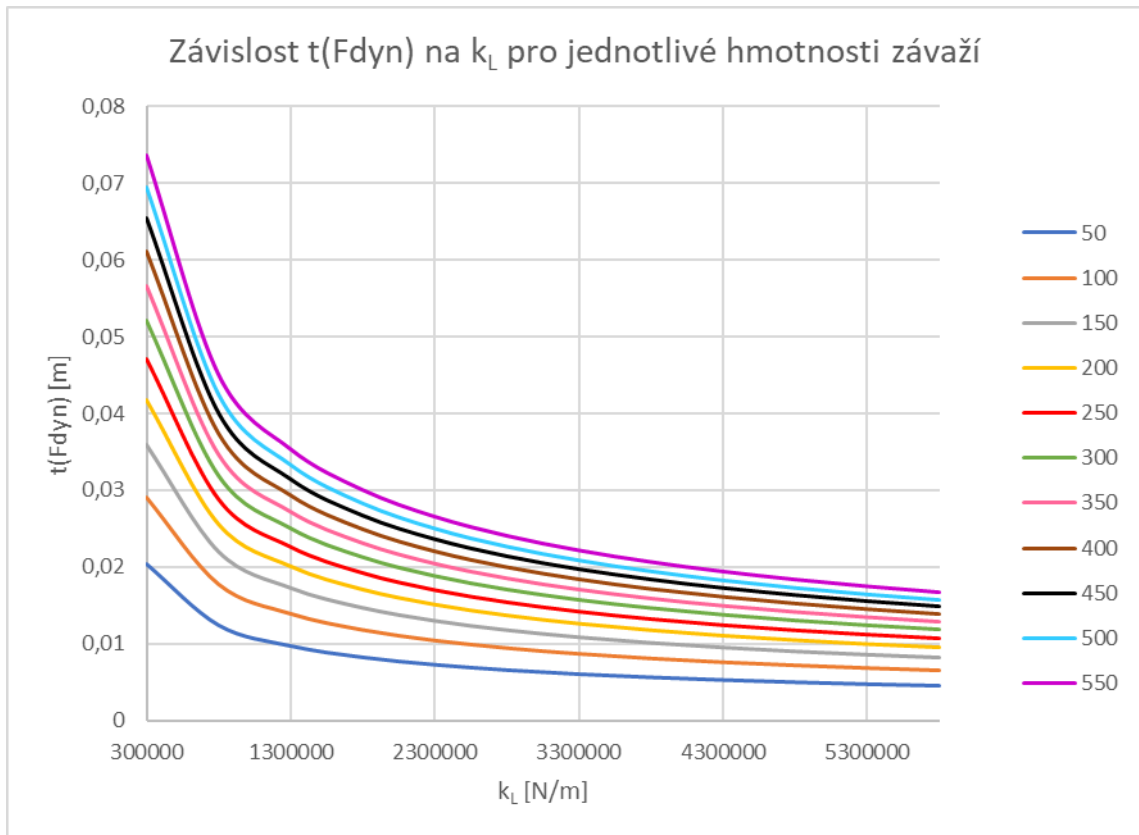
V grafu 7.4 je zobrazena závislost času dosažení dynamického rázu na hmotnosti závaží m_z pro řešení s uvažováním pevného konce.



Graf 7.4 Závislost $t(F_{dyn})$ na hmotnosti závaží pro zvolené k_L a pevný konec

Z grafu 7.4 vyplývá, že s rostoucí tuhostí lana k_L , klesá hodnota času dosažení dynamické síly $t(F_{dyn})$ pro řešení s uvažováním pevného konce.

V grafu 7.5 je zobrazena závislost času dosažení síly dynamického rázu na tuhosti lana pro řešení s uvažováním pevného konce.

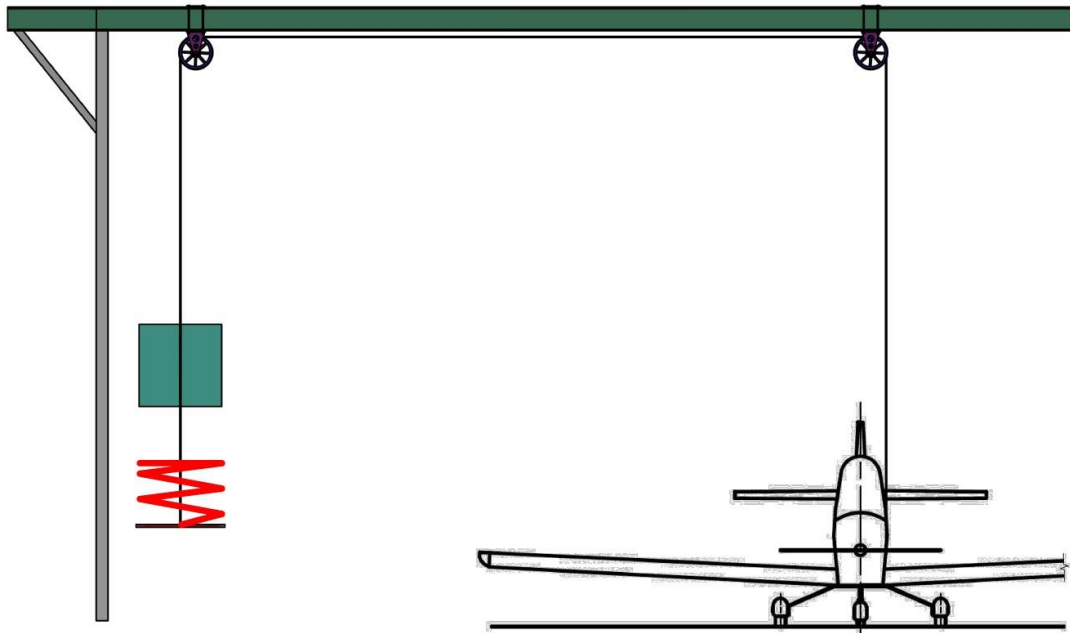


Graf 7.5 Závislost $t(F_{dyn})$ na tuhosti lana pro zvolené m_Z a pevný konec

Z grafu 7.5 vyplývá, že s rostoucí hmotností závaží m_Z roste hodnota času dosažení dynamické síly $t(F_{dyn})$ pro řešení s uvažováním pevného konce lana.

Spojením poznatků z grafů 7.4 a 7.5 lze konstatovat, že největší hodnoty času pro dosažení síly dynamického rázu je dosaženo kombinací nejmenší tuhosti lana k_L a největší hmotnosti závaží m_Z .

Při aktivaci BZS je dosaženo maximální síly dynamického rázu v rozpětí 3–5 s. Pro docílení co největší hodnoty času dosažení síly dynamického rázu na zkušební zařízení je do konceptu zkušebního zařízení zařazena tlačná pružina, která je v sérii s lanem. Na obrázku 7.1 je zobrazeno schéma uspořádání zkušebního zařízení se zahrnutím tlačné pružiny.



Obrázek 7.1 Schéma uspořádání zkušebního zařízení s tlačенou pružinou

Jelikož je tuhost lana k_L v sérii s tuhostí tlačенé pružiny k_P , je výsledná velikost tuhosti pro výpočet k dána vztahem v rovnici 7.5.

$$k = \frac{k_L \cdot k_P}{k_L + k_P} \quad (7.5)$$

k = výsledná tuhost [N/m]

k_L = tuhost lana [N/m]

k_P = tuhost tlačенé pružiny [N/m]

Pro zjednodušení výpočtu je navrženo konkrétní lano a variovány jsou pouze tuhosti tlačенé pružiny k_P , které jsou z intervalu 200 000–640 000 N/m s krokem 40 000 N/m.

Lano zkušebního zařízení je zvoleno ocelové, které je namáháno tahem i ohybem přes kladky. Při návrhu lana se zde uvažuje pouze namáhání na tah. Při výpočtu se předpokládá rovnoměrné zatížení jednotlivých drátků lana. Pro určení rozměrů potřebného lana je nejprve nutné stanovit minimální jmenovitou únosnost lana F_{pmin} při zatížení silou $F_{dyn} = 42\,450$ N. Součinitel bezpečnosti lana k_B je zvolen jako $k_B = 5$. [30]

$$F_{pmin} = F_{dyn} \cdot k_B = 42450 \cdot 5 = 212\,250 \text{ N} \quad (7.6)$$

F_{pmin} = minimální jmenovitá únosnost lana [N]

F_{dyn} = dynamická síla [N]

k_B = součinitel bezpečnosti [1]

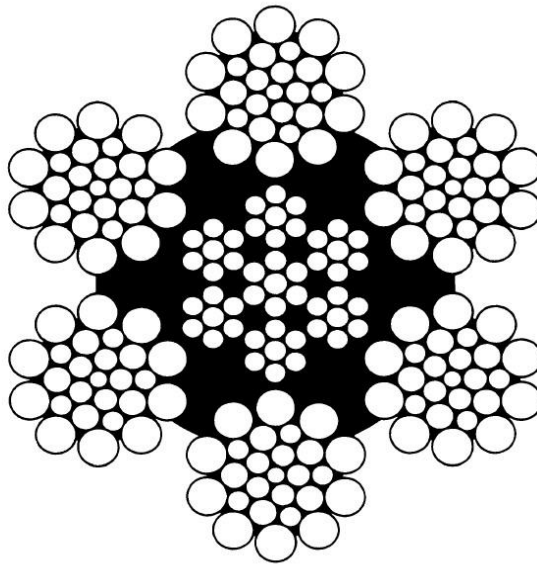
Výběr vhodného ocelového lana vychází z podmínky, že jmenovitá únosnost lana F_p je větší nebo rovna minimální jmenovité únosnosti lana F_{pmin} . Tuto podmínku splňuje ocelové šestipramenné lano ČSN EN 12 385 6x26WS-FC-20 s ocelovou duší.

Pro jmenovitou únosnost lana $F_p = 234$ kN jsou v tabulkách odečteny základní parametry zvoleného lana, které jsou zobrazeny v tabulce 7.3.

Tabulka 7.3 Základní parametry lana ČSN EN 12 385 6x26WS-FC-20 [31]

Jmenovitá únosnost lana F_p [kN]	233,64
Jmenovitá pevnost drátů σ_{pt} [MPa]	1 770
Jmenovitý průměr lana d [mm]	20
Jmenovitý nosný průřez lana S [mm ²]	179,6

Profil lana ČSN EN 12 385 6x26WS-FC-20 je zobrazen na obrázku 7.2.



Obrázek 7.2 Profil lana ČSN EN 12 385 6x26WS-FC-20 [31]

Pro zvolené lano lze nyní stanovit napětí v laně σ .

$$\sigma = \frac{F_{dyn}}{S} = \frac{42450}{179,6} = 236,4 \text{ MPa} \quad (7.7)$$

σ = napětí v laně [MPa]

F_{dyn} = dynamická síla [N]

S = jmenovitý nosný průřez lana [mm²]

Pro kontrolu zvoleného průřezu je nutné určit dovolené napětí σ_D . Pro výpočet jsou zvoleny hodnoty odpovídající skupině jeřábů I. Pro skupinu jeřábů I je dovolené napětí $\sigma_D = 294,3$ MPa. Dovolené napětí σ_D je menší než výsledné napětí v laně σ z rovnice 7.7. [30]

Tuhost navrženého lana je určena v rovnici 7.8. Youngův modul pružnosti pro lano s ocelovým jádrem je $E = 90\,000$ MPa [29].

$$k_L = \frac{S \cdot E_L}{l_0} = \frac{187,2 \cdot 90\,000}{25} = 673\,920 \text{ N/m} \quad (7.8)$$

E_L = Youngův modul pružnosti vybraného lana [MPa]

l_0 = počáteční délka lana [m]

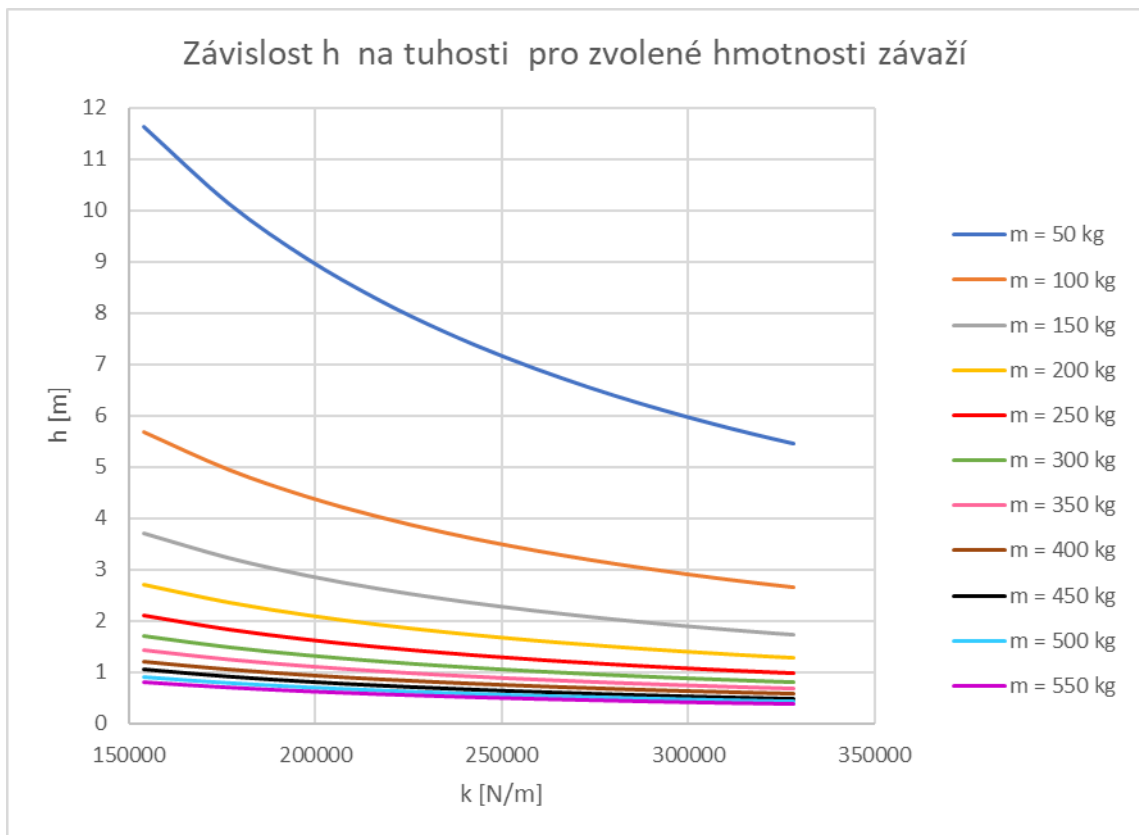
V tabulce 7.4 jsou zobrazeny výsledné hodnoty tuhosti k pro zvolené tuhosti pružiny k_P .

Tabulka 7.4 Výsledné hodnoty tuhosti pro zvolené tuhosti pružiny

k_P [kN/m]	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640
k [kN/m]	154,2	177,0	197,8	217,0	234,7	251,0	266,2	280,3	293,5	305,9	317,4	328,3

Výpočet potřebné výšky shozu h , délky dynamického prodloužení lana Δl_{dyn} a času pro dosažení síly dynamického rázu $t(F_{dyn})$ s uvažováním pevného konce je proveden na základě kapitoly 6.1.

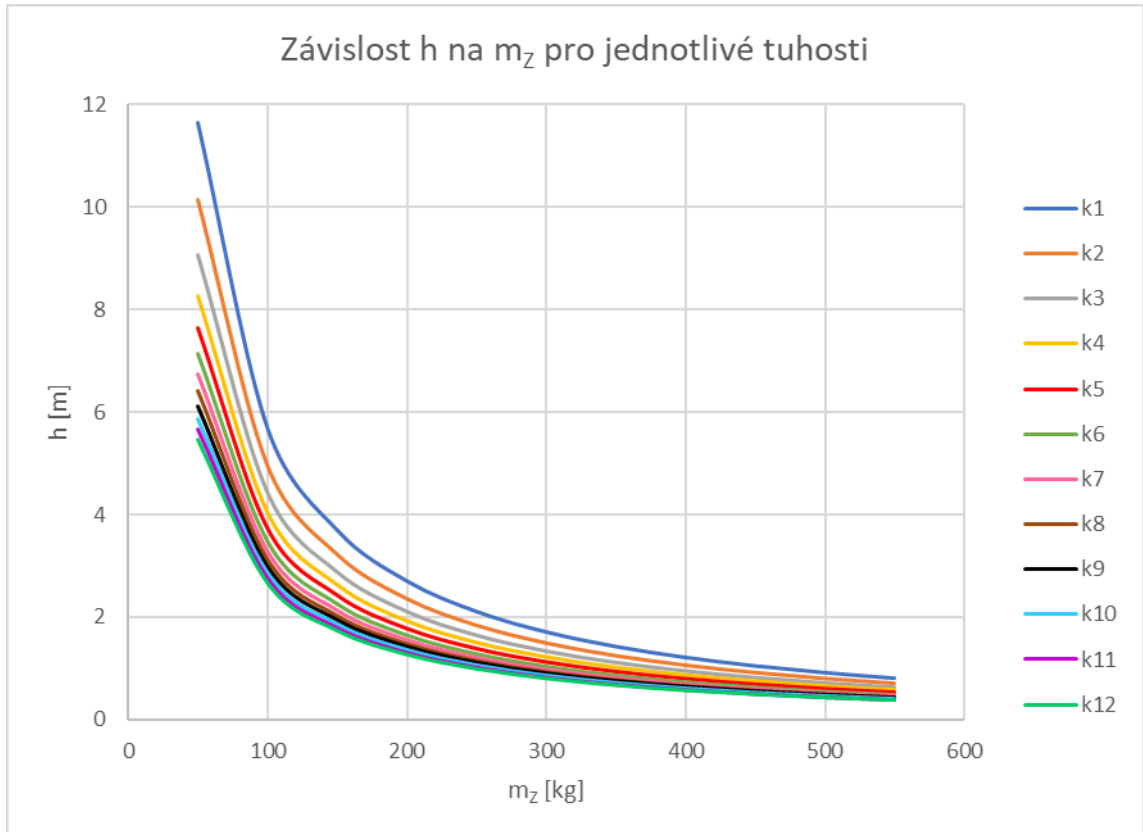
V grafu 7.6 je zobrazena závislost potřebné výšky shozu h na tuhosti k pro jednotlivé hmotnosti závaží m_Z pro sestavu lana s pružinou.



Graf 7.6 Závislost potřebné výšky shozu na tuhosti pro sestavu lana s pružinou

Porovnáním grafu závislosti potřebné výšky shozu bez pružiny 7.2 a grafu závislosti potřebné výšky shozu s pružinou 7.6 je zjištěno, že pro jednotlivé hmotnosti je potřeba větší výšky shozu pro sestavu lana s pružinou než pokud je uvažována pouze tuhost lana k_L .

V grafu 7.7 je zobrazena závislost potřebné výšky shozu h na hmotnosti závaží m_z pro jednotlivé tuhosti k z tabulky 7.4.



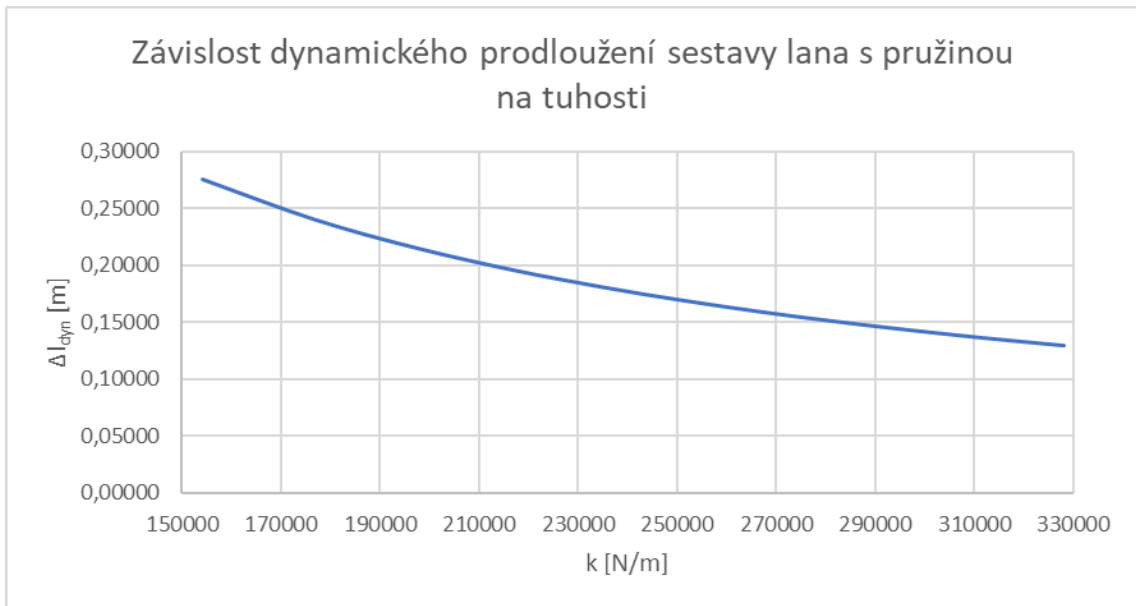
Graf 7.7 Závislost potřebné výšky shozu na m_z pro sestavu lana s pružinou

Dynamické prodloužení sestavy lana s pružinou Δl_{dyn} je stanoveno na základě rovnice 7.1 a výsledné hodnoty dynamického prodloužení sestavy lana s pružinou pro jednotlivé tuhosti k jsou zobrazeny v tabulce 7.5.

Tabulka 7.5 Výsledné hodnoty dynamického prodloužení sestavy lana s pružinou

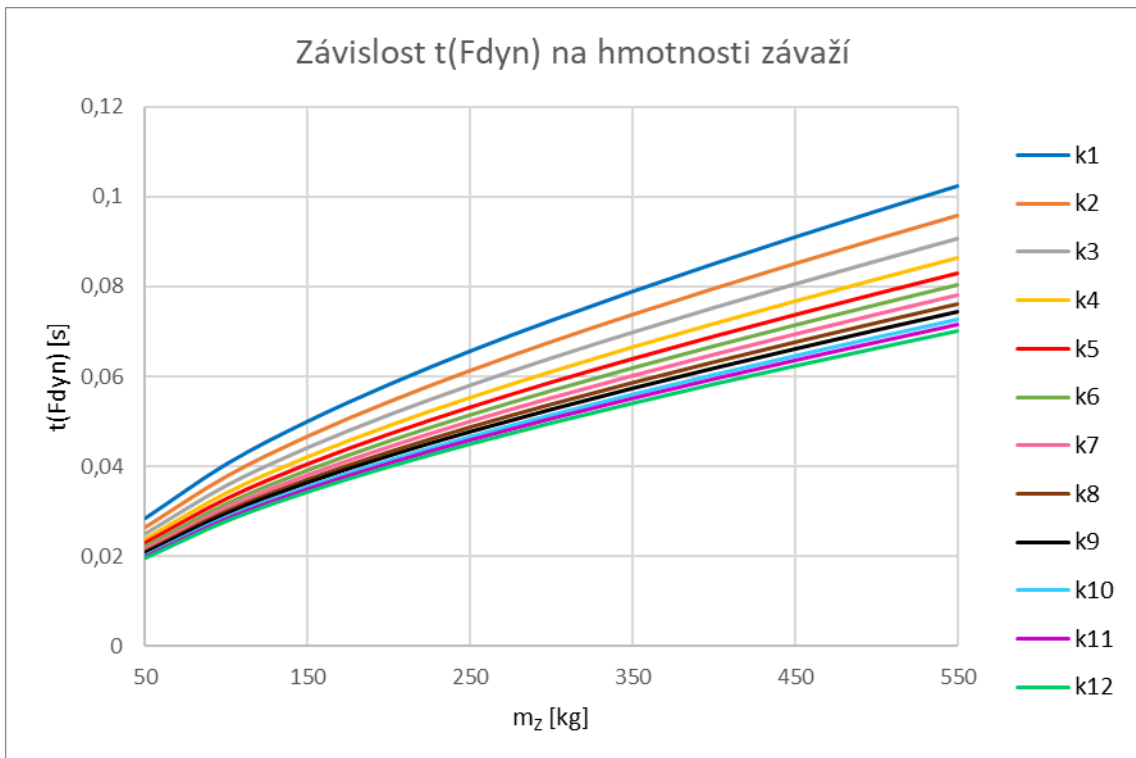
k [N/m]	154229,2	176974,8	197812,8	216973,6	234651,8	251013,1
Δl_{dyn} [m]	0,27524	0,23986	0,21460	0,19565	0,18091	0,16911
k [N/m]	266199,4	280332,8	293519,2	305850,6	317407,7	328261,1
Δl_{dyn} [m]	0,15947	0,15143	0,14462	0,13879	0,13374	0,12932

V grafu 7.8 je zobrazena závislost dynamického prodloužení sestavy lana s pružinou na tuhosti.



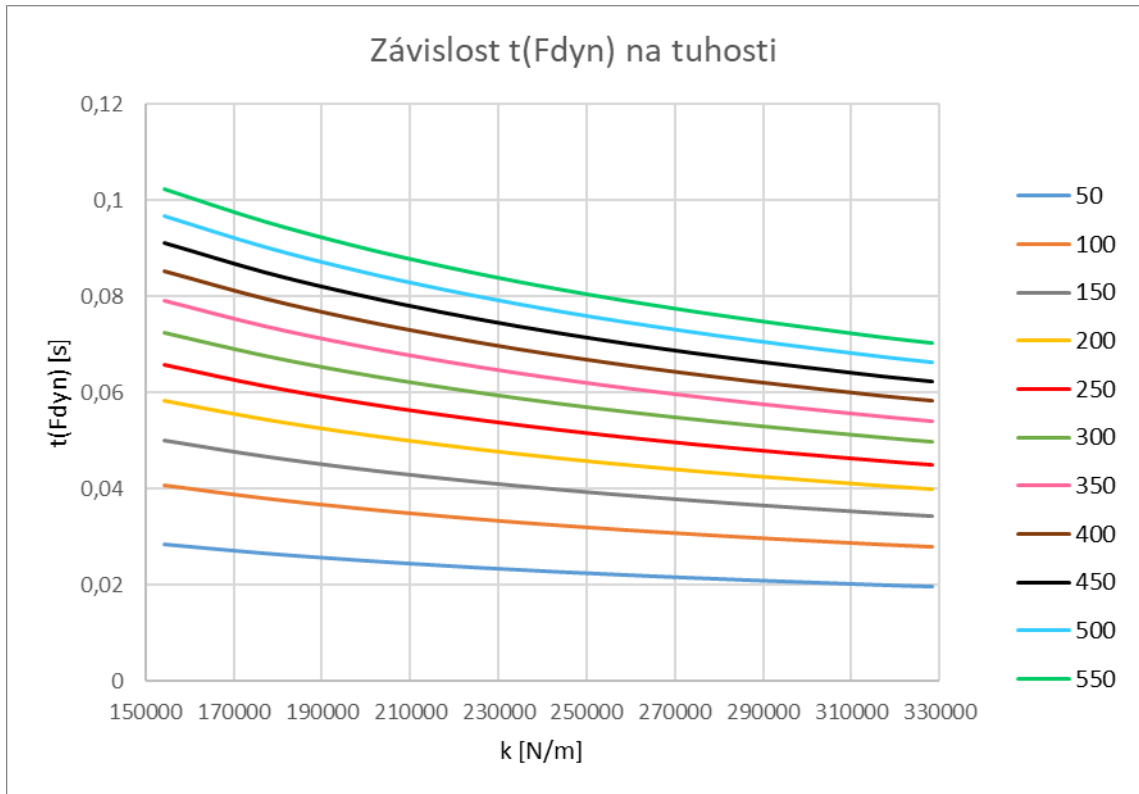
Graf 7.8 Závislost dynamického prodloužení sestavy lana s pružinou na tuhosti

V grafu 7.9 je zobrazena závislost hodnoty času potřebného k dosažení síly dynamického rázu u sestavy lana s pružinou $t(F_{dyn})$ na hmotnosti závaží m_z při uvažování pevného konce lana.



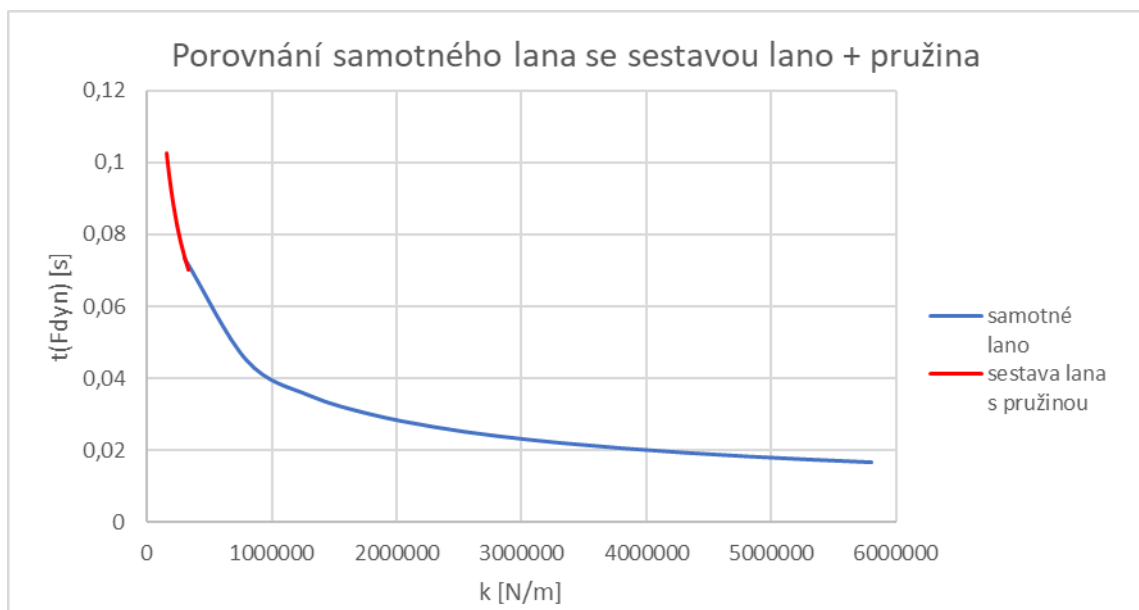
Graf 7.9 Závislost $t(F_{dyn})$ na hmotnosti závaží pro dané tuhosti a pevný konec

V grafu 7.10 je zobrazena závislost hodnoty času potřebného k dosažení síly dynamického rázu u sestavy lana s pružinou $t(F_{dyn})$ na tuhosti k při uvažování pevného konce lana.



Graf 7.10 Závislost $t(F_{dyn})$ na tuhosti pro zvolené hmotnosti a pevný konec

Porovnáním výsledků pro hodnotu času dosažení síly dynamického rázu samotného lana a sestavy lana s pružinou je zjištěno, že zařazením tlačné pružiny do série je docíleno zvýšení hodnoty času pro dosažení síly dynamického rázu. V grafu 7.11 je znázorněno porovnání hodnot pro samotné lano a sestavu lana s tlačnou pružinou. Pro porovnání je vybraná hmotnost závaží m_z , při které je dosaženo největší hodnoty času $t(F_{dyn})$.



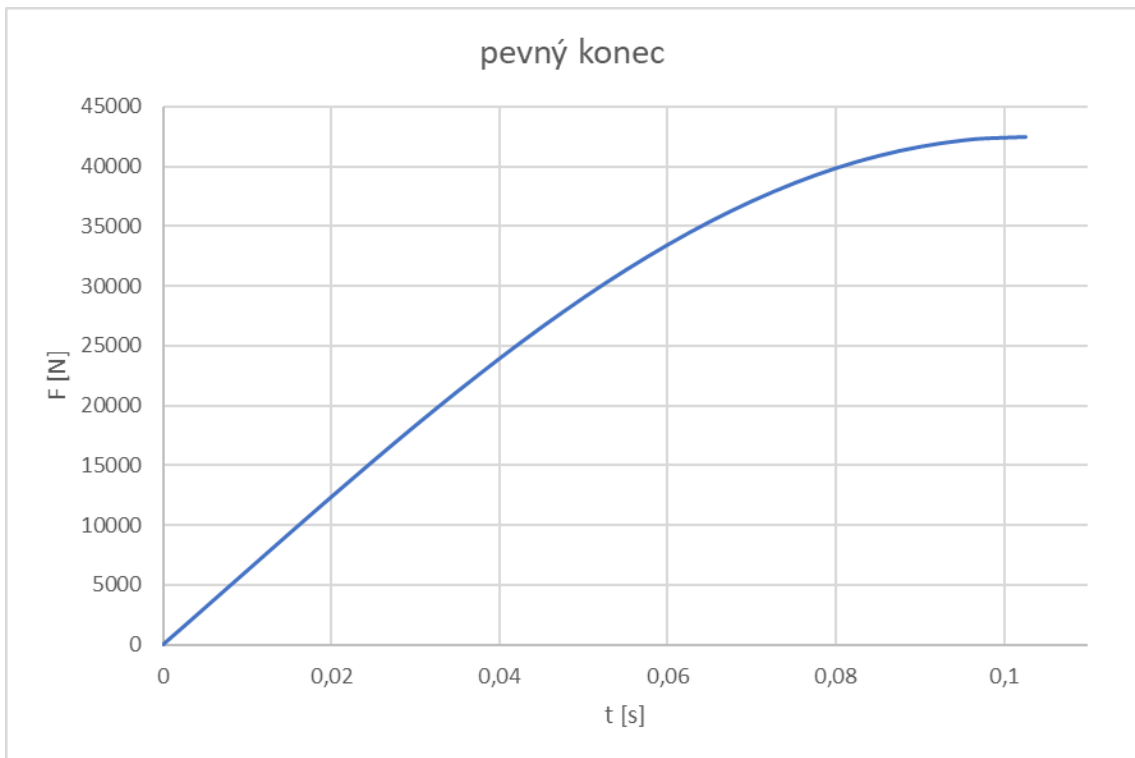
Graf 7.11 Porovnání $t(F_{dyn})$ samotného lana a sestavy lana + pružina

Nejdelšího času pro dosažení síly dynamického rázu při uvažování výpočtu s pevným koncem lana je dosaženo kombinací hodnot uvedených v tabulce 7.6, kdy je použita sestava lana s tlačnou pružinou.

Tabulka 7.6 Vybraná kombinace závaží, lana a pružiny

Hmotnost závaží m_Z [kg]	550
Tuhost lana k_L [N/m]	673 920
Tuhost tlačné pružiny k_P [N/m]	200 000
Celková tuhost sestavy lana s pružinou k [N/m]	154 229
Potřebná výška shozu závaží h [m]	0,81
Dynamické prodloužení sestavy lana s pružinou Δl_{dyn} [m]	0,275
Čas pro dosažení síly dynamického rázu $t(F_{dyn})$ [s]	0,103

V grafu 7.3 je zobrazen časový průběh síly dynamického rázu při uvažování výpočtu s pevným koncem lana pro vybranou kombinaci závaží, lana a pružiny z tabulky 7.6.



Graf 7.12 Časový průběh dynamického rázu vybrané kombinace a pevný konec

8 KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ A NEZBYTNÉ PEVNOSTNÍ KONTROLY

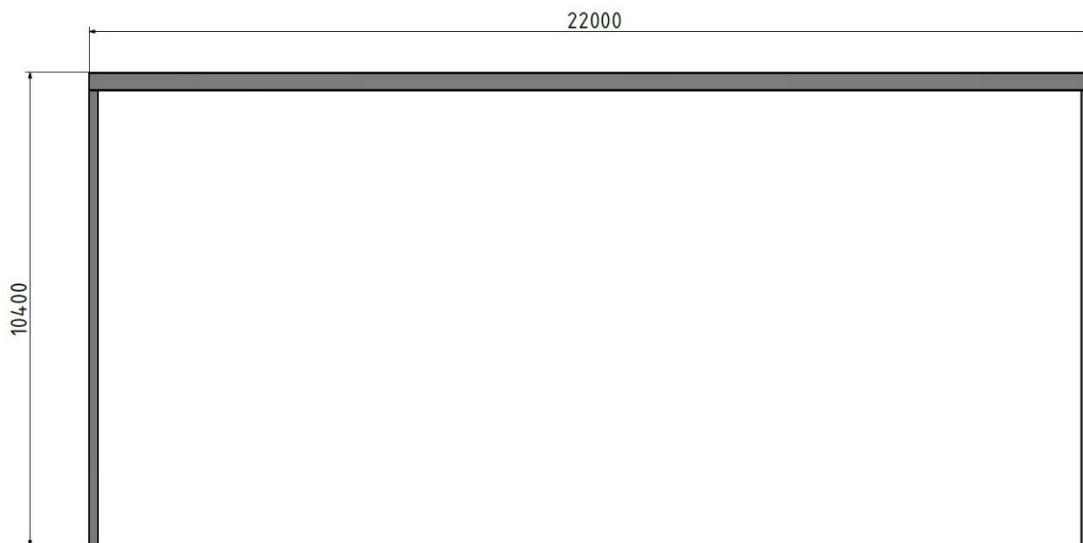
Pro konstrukci zařízení je vybrán koncept zařízení se speciálním pevným zkušebním rámem. V této kapitole je proveden návrh konstrukce jednotlivých částí zkušebního zařízení a jejich nezbytná pevnostní kontrola.

8.1 KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ

Zařízení pro zkoušení letadel s BZS se skládá ze zkušebního rámu, lana a kladkového systému.

8.1.1 NÁVRH ZKUŠEBNÍHO RÁMU

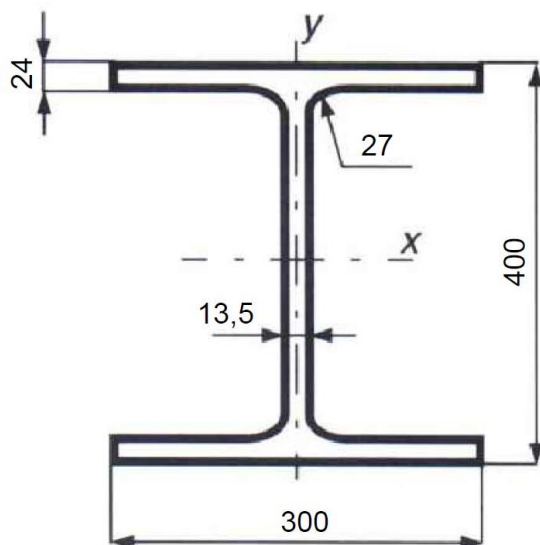
Zkušební rám je složen z nosníku a podpěr. Podpěry mohou být nahrazeny vetknutím nosníku do stěn zkušební místnosti. Rozměry zkušebního rámu vychází z minimálních rozměrů zkušebního prostoru v tabulce 5.2 a rozměrových dimenzí vycházejících ze simulace dynamických účinků v kapitole 7. Na obrázku 8.1 jsou zobrazeny základní rozměry zkušebního rámu.



Obrázek 8.1 Základní rozměry zkušebního rámu

Rozměry zkušebního rámu jsou voleny i s ohledem na bezpečnost zkoušeného letadla a realizovatelné možnosti zkušebních prostorů.

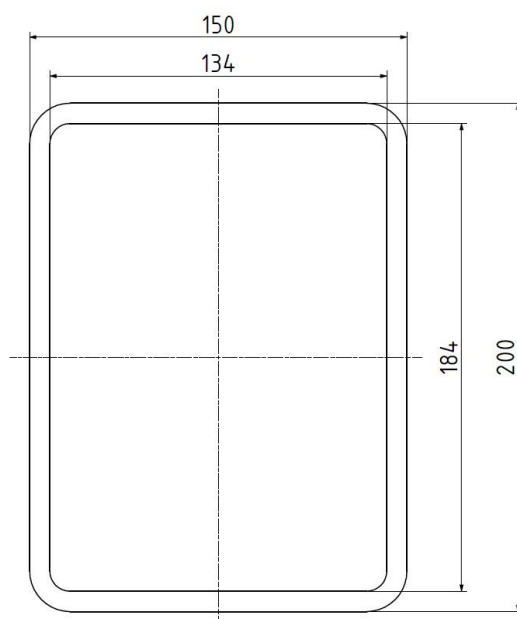
Pro nosník zkušebního rámu je vybrán profil ČSN EN 10 365 – HEB 400, který je zobrazen na obrázku 8.2. [32]



Obrázek 8.2 Profil nosníku ČSN EN 10 365 - HEB 400

Jedná se o profil používaný u nosníků portálových jeřábů. Výběrem tohoto profilu je zajištěn návrh kladkového systému tak, aby byl případně použitelný na náhradní zařízení.

Podpěry nosníku zajišťují celkovou stabilitu zkušebního rámu, tak aby netuhost zkušebního rámu co nejméně ovlivnila průběh samotné zkoušky. Podpěry nosníku jsou navrženy z profilu ČSN EN 10219 – 200x150x8, jehož rozměry jsou zobrazeny na obrázku 8.3. [33]



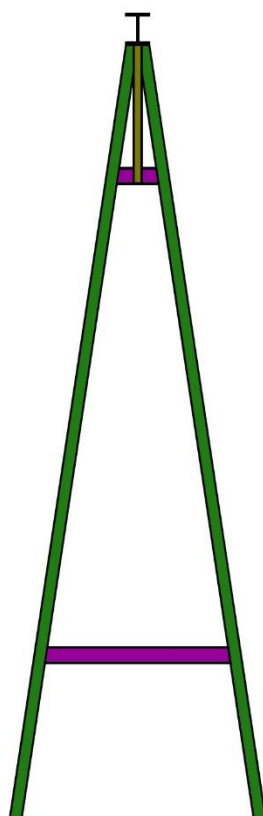
Obrázek 8.3 Profil podpěry nosníku ČSN EN 10219 – 200x150x8

Na obrázku 8.4 je zobrazen zkušební rám zepředu. Zavětrování nosníku je navrženo vně podpěr nosníku tak, aby nezmenšovalo zkušební prostor.



Obrázek 8.4 Zkušební rám zepředu

Na obrázku 8.5 je zobrazen zkušební rám z boku. Podpěry nosníku zkušebního rámu jsou k nosníku připojeny pod úhlem, čímž je zvýšená stabilita zkušebního rámu proti překlopení.



Obrázek 8.5 Zkušební rám z boku

Na obrázku 8.6 je zobrazen zkušební rám shora.



Obrázek 8.6 Zkušební rám shora

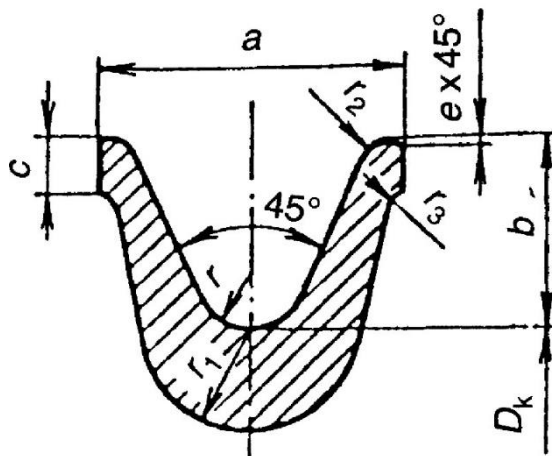
8.1.2 NÁVRH KLADKY

Návrh kladky vychází z rozměrů lana ČSN EN 12 385 6x26WS-FC-20. Minimální průměr kladky D_{min} je stanoven pomocí rovnice 8.1. Pro jeřáb třídy I je konstanta $c = 23$ a pro zvolené lano je konstanta $\varphi = 1$. [30]

$$D_{min} = d \cdot c \cdot \varphi = 20 \cdot 23 \cdot 1 = 460 \text{ mm} \quad (8.1)$$

- D_{min} = minimální průměr kladky [mm]
- d = jmenovitý průměr lana [mm]
- c = konstanta závislá na skupině jeřábů [1]
- φ = konstanta závislá na typu lana [1]

Na základě hodnoty minimálního průměru kladky D_{min} z rovnice 8.1 je zvolen průměr kladky $D = 524$ mm. Výběr průměru kladky je proveden s ohledem na charakter zatěžování celého zkušebního systému. Na obrázku 8.7 je zobrazena drážka a věnec kladky a v tabulce 8.1 jsou zobrazeny odečtené rozměry odpovídající drážky a věnce kladky pro lano s průměrem $d = 20$ mm ze zdroje [28]. Kladka je navržena na základě normy ČSN 27 1820.

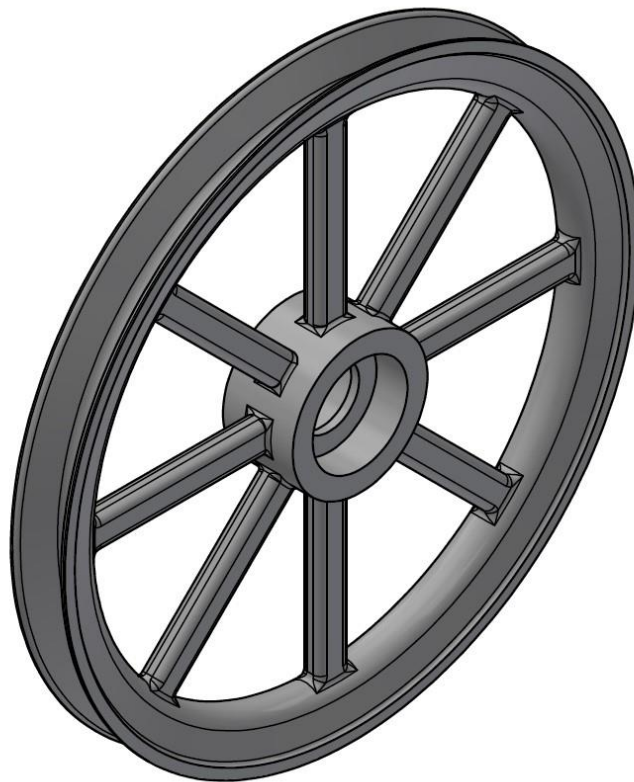


Obrázek 8.7 Drážka a věnec kladky [28]

Tabulka 8.1 Rozměry drážky a věnce kladky [28]

D [mm]	524
D _k [mm]	504
r [mm]	10,6
a [mm]	54
b [mm]	36
c [mm]	10
r ₁ [mm]	18
r ₂ [mm]	5
r ₃ [mm]	4

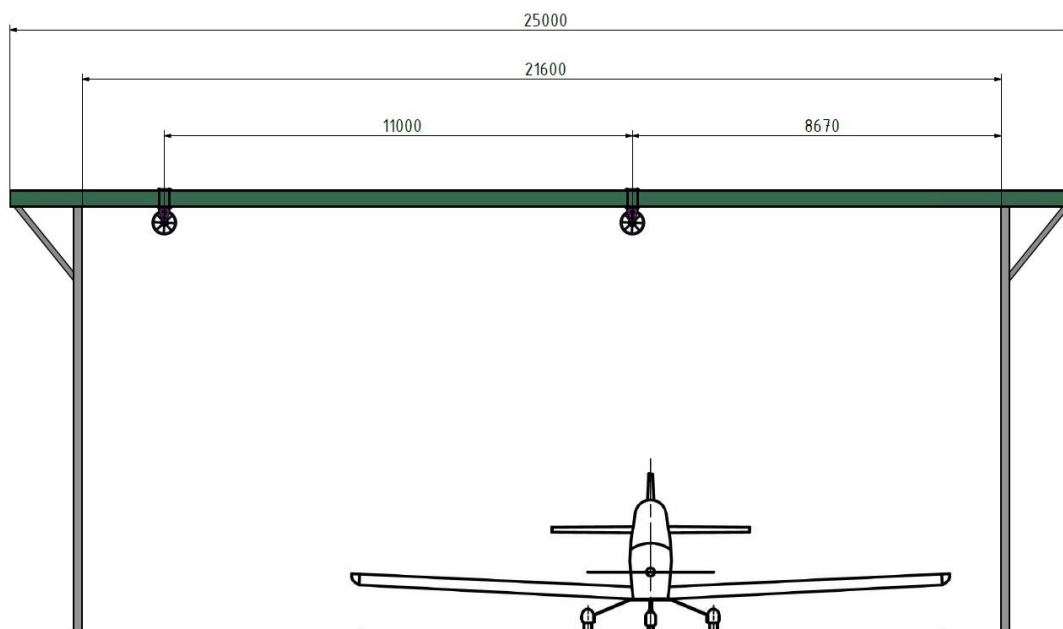
Výsledné provedení celé kladky je zobrazeno na obrázku 8.8. Kladka je navržena jako odlitek.



Obrázek 8.8 Kladka

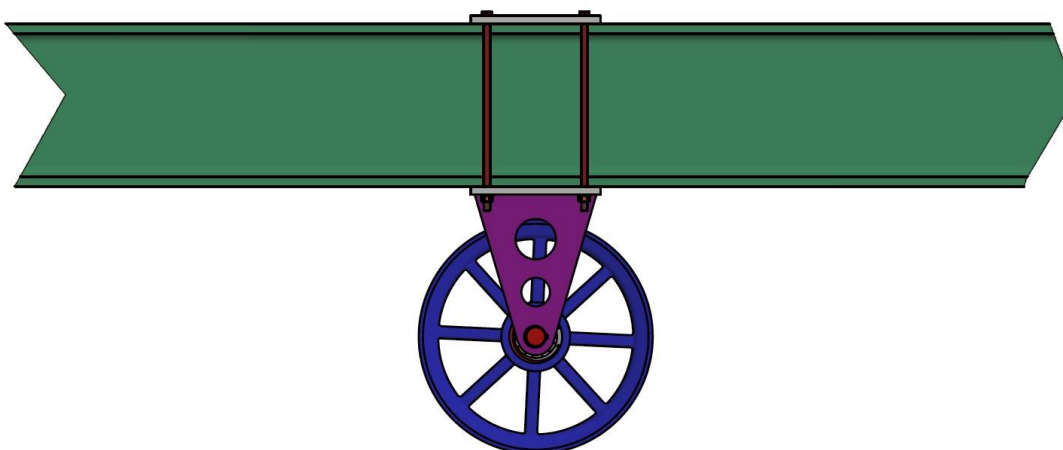
8.1.3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ UPEVNĚNÍ Kladky K NOSNÍKU

K nosníku zkušebního rámu jsou upevněny dvě kladky tak, aby se zajistilo odvedení závaží do bezpečné vzdálenosti od letadla. Pozice kladek na nosníku zkušebního rámu je zobrazena na obrázku 8.9.

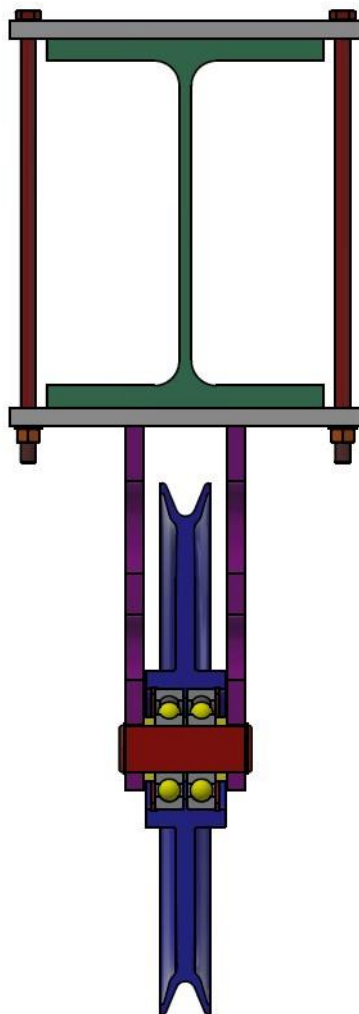


Obrázek 8.9 Pozice kladek na nosníku zkušebního rámu

Aby se nesnížily mechanické parametry nosníku zkušebního rámu, jsou k němu kladky upevněny pomocí speciálního třmenu. Rozměry třmenu vychází z profilu nosníku zobrazeného na obrázku 8.2. Třmen se skládá z horního a spodního dílu, které jsou k sobě spojeny pomocí šroubů. Detail upevnění kladkového systému k nosníku s I profilem je zobrazen na obrázcích 8.10 a 8.11.

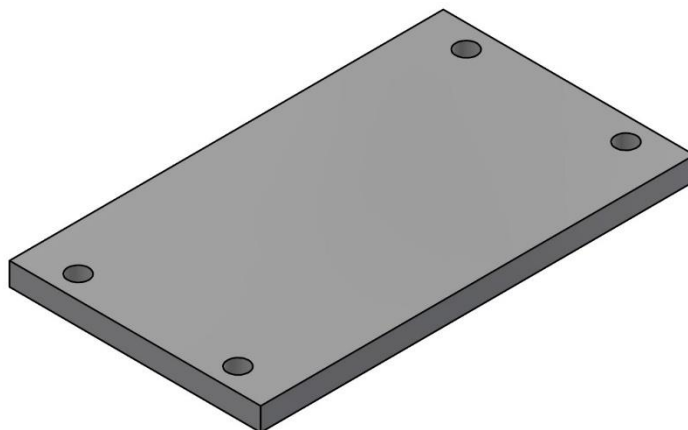


Obrázek 8.10 Detail uchycení kladkového systému k nosníku – pohled zepředu



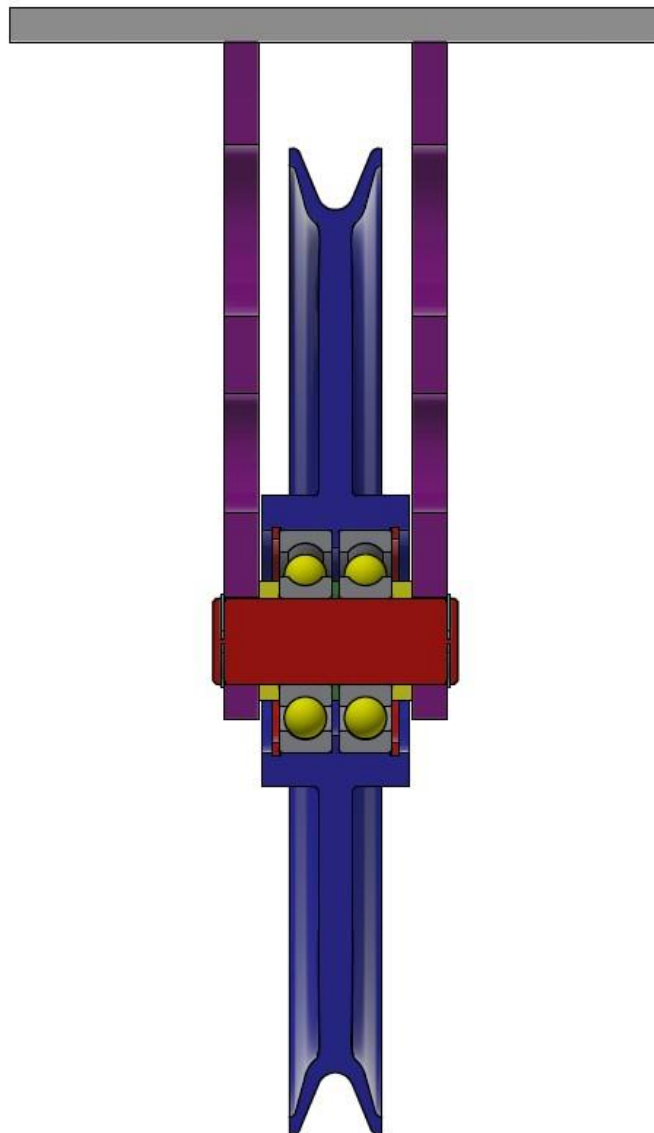
Obrázek 8.11 Detail uchycení kladkového systému – pohled v řezu

Horní díl třmenu je umístěn na horní pásnici nosníku s I profilem a skládá se z tyče obdélníkového průřezu, ve které jsou vyvrtané díry pro šrouby. Horní díl třmenu je zobrazen na obrázku 8.12.



Obrázek 8.12 Horní díl třmenu

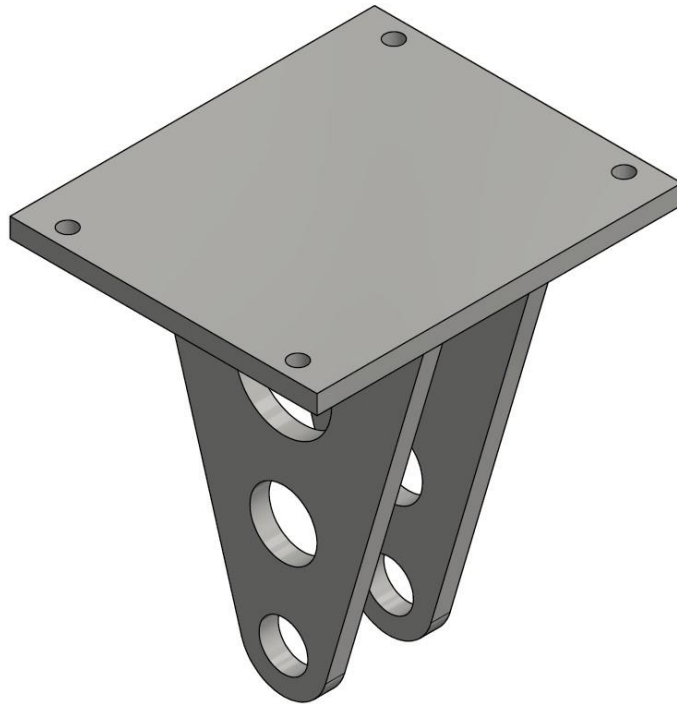
Spodní díl kladkového systému se skládá ze spodního dílu třmenu, kladky a hřídele kladky. Sestava spodního dílu kladkového systému je na obrázku 8.13.



Obrázek 8.13 Sestava spodního dílu kladkového systému

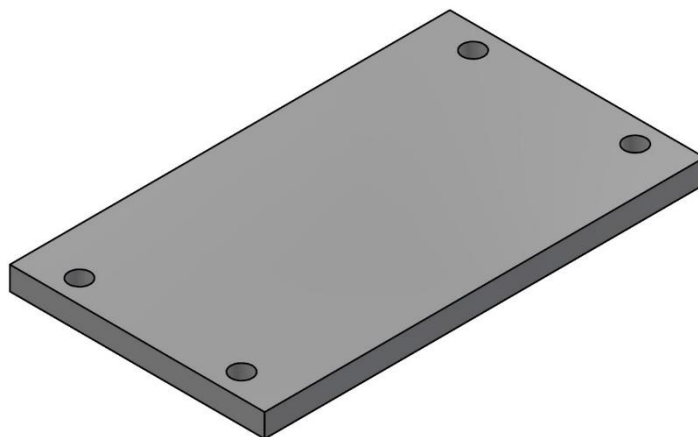
Spodní díl kladkového systému je uspořádán tak, aby byla co nejjednodušší manipulace při sestavování kladkového systému. Jednotlivé díly spodní části kladkového systému jsou navrženy s maximálním důrazem na: ekonomičnost, jednoduchost výroby a údržby, zanešení minimální chyby do výsledků pevnostní zkoušky.

Spodní díl třmenu je umístěn na spodní pásnici nosníku s I profilem a skládá se ze tří částí: základové desky a dvou desek vidlice kladky. Sestava spodního dílu třmenu je zobrazena na obrázku 8.14. Desky vidlice jsou k základové desce uchyceny pomocí svarů.



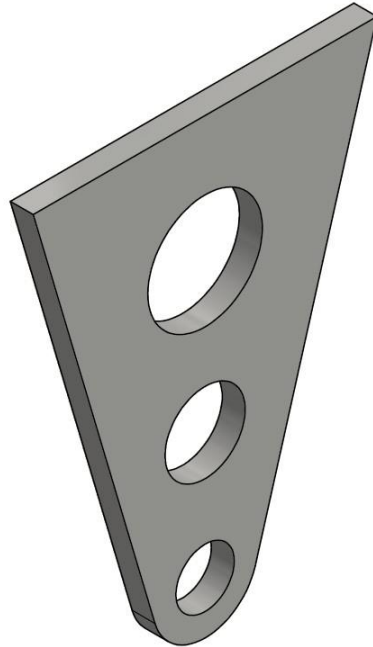
Obrázek 8.14 Sestava spodního dílu třmenu

V základové desce jsou díry pro šrouby, tak aby mohla být uchycena k hornímu dílu třmenu. Základová deska spodního dílu třmenu je zobrazena na obrázku 8.15.



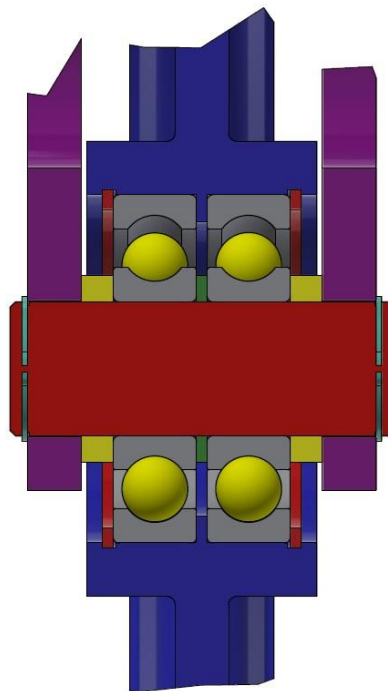
Obrázek 8.15 Spodní díl třmenu – základová deska

Desky vidlice kladky jsou tvarovány tak, aby byly schopny přenést tah od dynamického rázu a smyk od zatížení kladky lanem. Z důvodu zatížení smykem je horní část desky vidlice kladky rozšířena. Na obrázku 8.16 je zobrazena deska vidlice kladky. Pro odlehčení desky vidlice kladky jsou použity dva odlehčovací otvory navrženy tak, aby neovlivnily mechanické vlastnosti desky vidlice kladky.



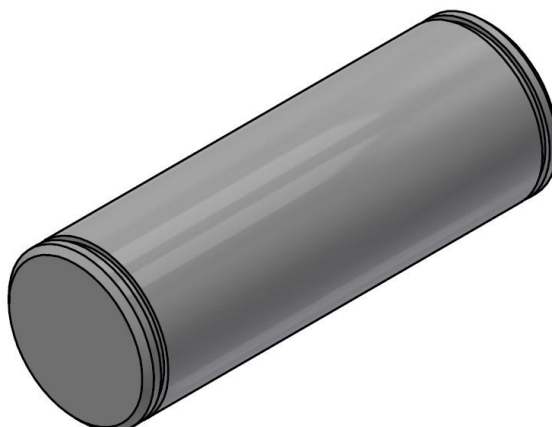
Obrázek 8.16 Spodní díl třmenu – deska vidlice kladky

Na obrázku 8.17 je zobrazen detail uložení kladky.



Obrázek 8.17 Detail uložení kladky

Kladka je uložena mezi dvě desky vidlice kladky pomocí hřídele, která je zajištěna pojistnými kroužky pro hřídele. Hřídel kladky je zobrazena na obrázku 8.18. Pro zjednodušení montáže a případné výměny ložisek je hřídel pouze z jednoho průměru. Axiální zajištění ložisek je zajištěno dalšími díly spodního dílu kladkového systému.



Obrázek 8.18 Hřídel kladky

Pro snížení součinitele tření jsou mezi hřídel a kladku umístěny dvě ložiska. Pro tento kladkový systém je zvoleno jednořadé radiální kuličkové ložisko SKF 6410. Při výběru ložiska je kladen hlavní důraz na základní dynamickou únosnost C , která je volena přibližně dvakrát větší než zatěžující dynamická síla. Základní parametry ložiska SKF 6410 jsou zobrazeny v tabulce 8.2.

Tabulka 8.2 Základní parametry ložiska SKF 6410 [34]

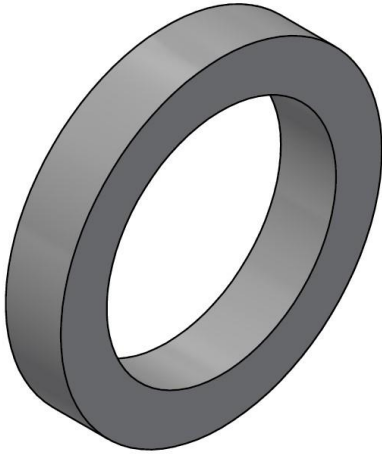
Průměr díry d_L [mm]	50
Vnější průměr D_L [mm]	130
Šířka H [mm]	31
Vnější průměr hřídelového kroužku d_1 [mm]	75,5
Vnitřní průměr tělesového kroužku D_1 [mm]	104,3
Základní dynamická únosnost C [kN]	87,1
Základní statická únosnost C_0 [kN]	52

Na obrázku 8.19 je ložisko SKF 6410 zobrazeno.

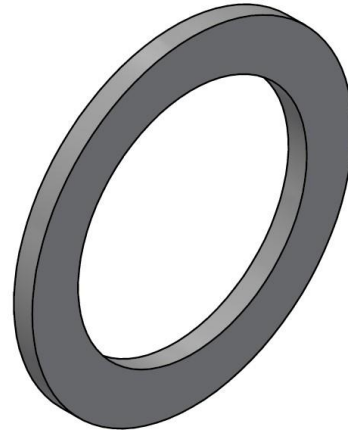


Obrázek 8.19 Ložisko SKF 6410 [34]

Na obrázku 8.17 je vidět axiální zajištění ložisek. Namáhání ložisek v axiálním směru není značné, a proto lze na zajištění použít i pojistné kroužky pro díry. Dále je axiální zajištění navrženo pomocí rozpěrných kroužků. Použité rozpěrné kroužky jsou zobrazeny na obrázku 8.20 a 8.21.



Obrázek 8.21 Rozpěrný kroužek krajní



Obrázek 8.20 Rozpěrný kroužek mezi ložisky

Šrouby, které spojují horní a spodní díl třmenu, jsou namáhány na tah. Pro šrouby je zvolena pevnostní třída 8.8, která má mez pevnosti v tahu $R_m = 800$ MPa. Součinitel bezpečnosti je zvolen jako $k_B = 10$. Hodnota součinitele bezpečnosti k je zvolena s ohledem na charakter namáhání šroubů. Stanovení minimálního průměru šroubu d_{3min} vychází z rovnosti tahového napětí σ a dovoleného napětí σ_D , které je určeno mezí pevnosti v tahu R_m a součinitelem bezpečnosti k .

$$d_{3min} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{dyn} \cdot k_B}{R_m \cdot n \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 42450 \cdot 10}{800 \cdot 4 \cdot \pi}} = 12,996 \text{ mm} \quad (8.2)$$

d_{3min} = minimální malý průměr šroubu [mm]

F_{dyn} = dynamická síla [N]

k_B = součinitel bezpečnosti [1]

R_m = mez pevnosti v tahu [MPa]

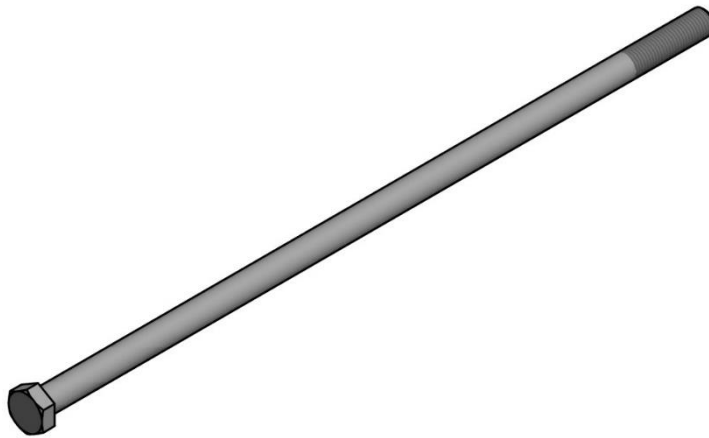
n = počet spojovacích šroubů [1]

Na základě výsledné hodnoty pro minimální průměr šroubu d_{3min} z rovnice 8.4 je na základě strojnických tabulek zvolen spojovací šroub M16x2. Základní parametry šroubu M16x2 jsou zobrazeny v tabulce 8.3.

Tabulka 8.3 Základní parametry šroubu M16x2

d_3 [mm]	13,546
P [mm]	2
d [mm]	16
D_1 [mm]	13,835

Pro šroubový spoj je zvolen šroub ISO 4014 M16x480-8.8. Délka šroubu je určena na základě výšky nosníku zkušebního rámu a tloušťky profilů horního a spodního dílu třmenu. Na obrázku 8.22 je tento šroub zobrazen.



Obrázek 8.22 Šroub ISO 4014 M16x480-8.8 [39]

Součástí šroubového spoje je matice. Pro spojení horního a spodního dílu třmenu je zvolena matice ČSN EN ISO 4032 M16-8, jejíž základní parametry jsou zobrazeny v tabulce 8.4 [28].

Tabulka 8.4 Základní parametry matice ČSN EN ISO 4032 M16-8 [28]

m_2 [mm]	16,4
P [mm]	2
d [mm]	16
D_1 [mm]	13,835
p_D [MPa]	150

Pro kontrolu matice na otačení je potřeba určit počet závitů matice i [28].

$$i = \frac{m_2}{P} = \frac{16,4}{2} \doteq 8 \quad (8.3)$$

i = počet závitů matice [1]

m_2 = výška matice [mm]

P = rozteč závitů matice [mm]

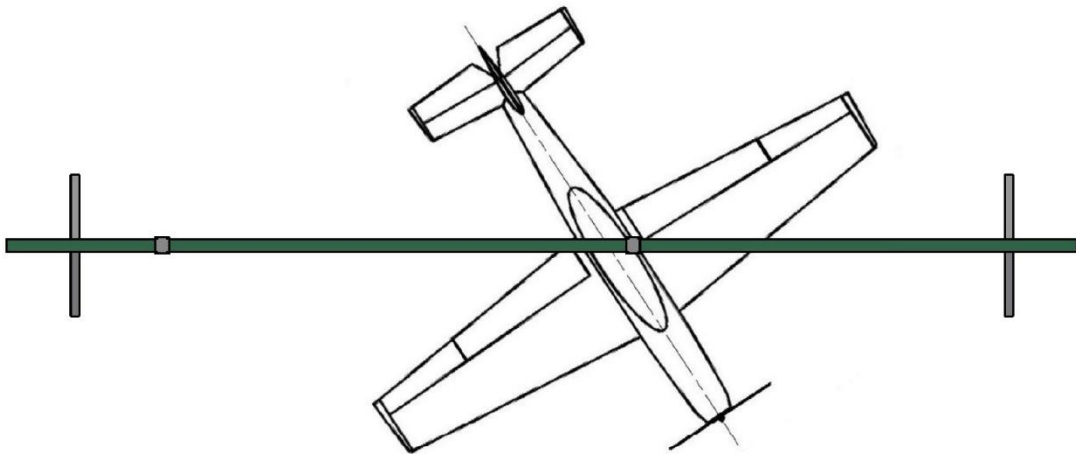
Tlak v závitech matice p je určen pomocí rovnice 8.4 [28].

$$p = \frac{4 \cdot \frac{F_{dyn}}{n}}{i \cdot \pi \cdot (d^2 - D_1^2)} = \frac{4 \cdot \frac{42450}{4}}{8 \cdot \pi \cdot (16^2 - 13,835^2)} = 26,15 \text{ MPa} \quad (8.4)$$

p = tlak v závitech matice [MPa]
 F_{dyn} = dynamická síla [N]
 n = počet šroubů [1]
 d = velký průměr závitu matice [mm]
 D_1 = malý průměr závitu matice [mm]

Výsledný tlak v závitech matice p z rovnice 8.4 je menší než dovolený tlak v závitech p_D z tabulky 8.4.

Na obrázku 8.23 je zobrazeno uspořádání zkušebního zařízení v pohledu shora. Umístěním letounu šikmo je docíleno zmenšení potřebného zkušebního prostoru a tím i zmenšení zkušebního rámu.



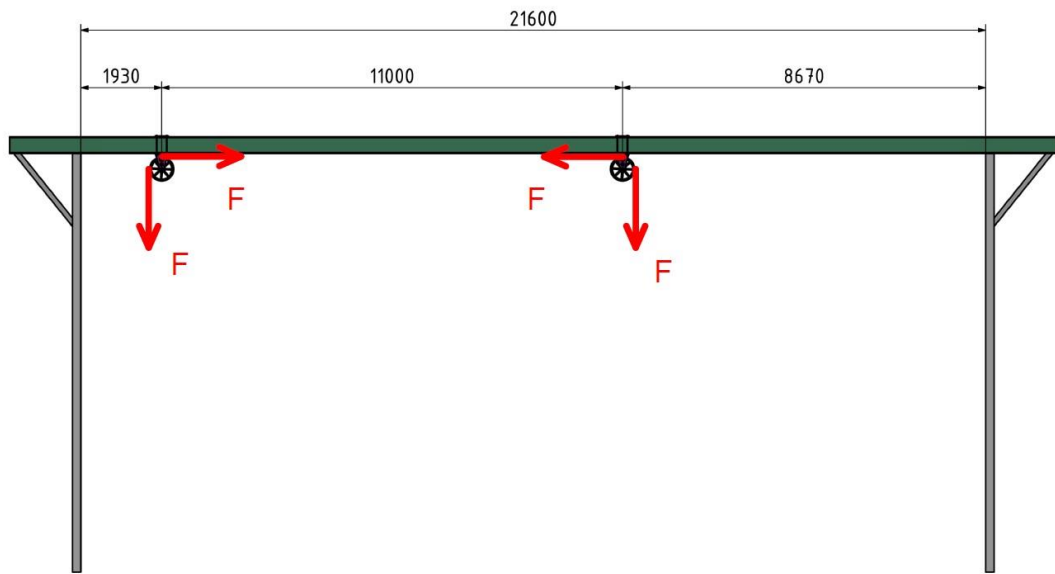
Obrázek 8.23 Uspořádání zkušebního zařízení v pohledu shora

8.2 NEZBYTNÉ PEVNOSTNÍ KONTROLY

V této kapitole jsou provedeny nezbytné pevnostní kontroly jednotlivých částí zkušebního zařízení pro zkoušení letadel s BZS. Výpočty vycházejí z metodiky popsané v kapitole 6.2.

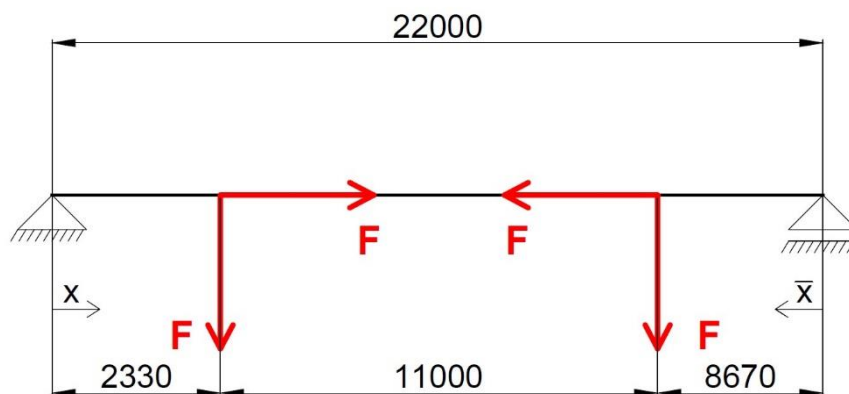
8.2.1 NOSNÍK S I PROFILEM

Pevnostní kontrola nosníku s I profilem zkušebního rámu je provedena na základě kapitoly 6.2.1. Na obrázku 8.24 je zobrazen zkušební rám s vyznačenými působícími silami.



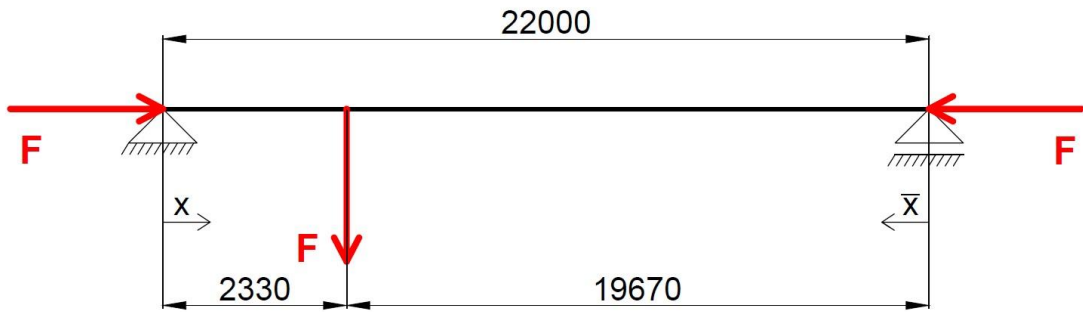
Obrázek 8.24 Zkušební rám s vyznačenými působícími silami

Pro stanovení průběhu ohybového momentu po nosníku s I profilem $M_o(x)$ je použito náhradní schéma zatížení, které je zobrazeno na obrázku 8.25. Velikost síly F je rovna hodnotě velikosti dynamického rázu $F_{dyn} = 42\,450\text{ N}$ a působí v místě uchycení třmenů kladkového systému k nosníku s I profilem.

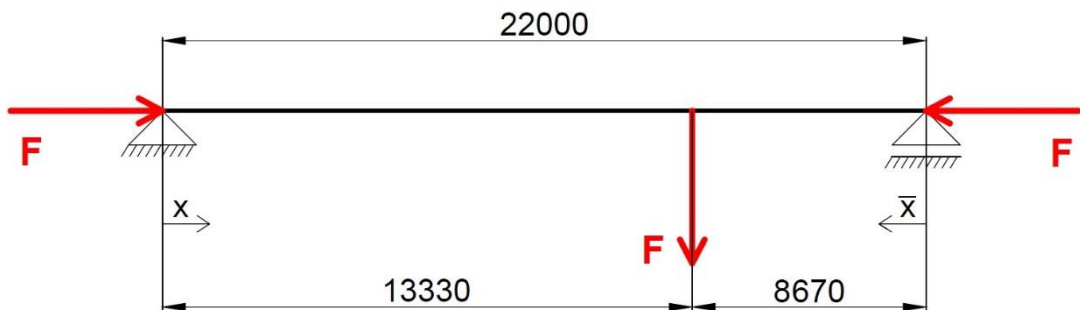


Obrázek 8.25 Náhradní schéma zatížení pro nosník s I profilem

Průběh ohybového momentu $M_o(x)$ je určen pomocí zákona superpozice a na obrázku 8.26, 8.27 je znázorněno rozdělení náhradního schématu zatížení nosníku s I profilem na dva případy.

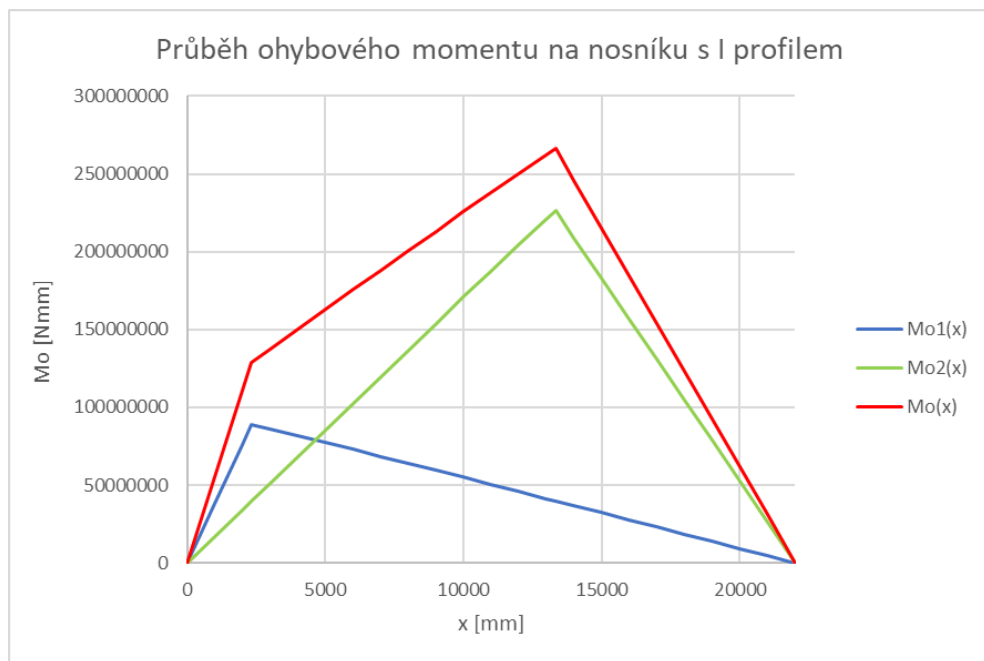


Obrázek 8.26 Náhradní schéma nosníku zkušebního rámu pro stanovení $M_o(x)_1$



Obrázek 8.27 Náhradní schéma nosníku zkušebního rámu pro stanovení $M_o(x)_2$

Průběhy $M_o(x)_1$, $M_o(x)_2$ a $M_o(x)$ jsou určeny na základě rovnic 6.15, 6.16, 6.17, 6.18 a 6.19 jsou zobrazeny v grafu 8.1.



Graf 8.1 Průběh ohybového momentu $M_o(x)$ na nosníku s I profilem

Z grafu 8.1 vyplývá místo působení maximálního ohybového momentu na nosníku s I profilem M_{omax} , a to v místě pravého třmenu kladkového systému. Jeho velikost je odečtena z grafu, $M_{omax} = 266,19 \cdot 10^6$ Nmm.

Dalším krokem je určení průřezového modulu v ohybu W_o . Pro nosník je vybrán I profil ČSN EN 10 365 – HEB 400, jehož rozměry jsou uvedeny na obrázku 8.2. Průřezový modul v ohybu W_o je určen pomocí rovnice 8.5 [28].

$$W_o = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{6 \cdot H} = \frac{300 \cdot 400^3 - 286,5 \cdot 352^3}{6 \cdot 400} = 2\,793\,554 \text{ mm}^3 \quad (8.5)$$

W_o = průřezový modul v ohybu I profilu [mm³]

Ohybové napětí σ_o je určeno na základě rovnice 8.6.

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{266,19 \cdot 10^6}{2\,793\,553,9} = 95,3 \text{ MPa} \quad (8.6)$$

M_{omax} = maximální ohybový moment na nosníku s I profilem [Nmm]

Nosník s I profilem je navržen z oceli S355J2, která má minimální mez kluzu $R_e = 500$ MPa. [32] [35]

Dovolené ohybové napětí σ_{Do} pro nosník s I profilem je stanoveno na základě rovnice 8.7, kam je za bezpečnost dosazeno $k_B = 4$. Hodnota bezpečnosti je volena s ohledem na to, že se jedná o zkušební zařízení, kdy početní zatížení zkoušeného vzorku je rovno provoznímu zatížení zkušebního standu.

$$\sigma_{Do} = \frac{R_e}{k_B} = \frac{500}{4} = 125 \text{ MPa} \quad (8.7)$$

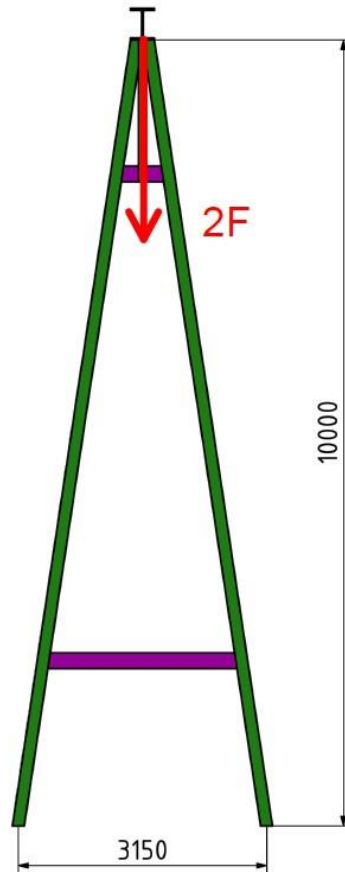
R_e = minimální mez kluzu [MPa]

k_B = bezpečnost [1]

Výsledné ohybové napětí σ_o z rovnice 8.6 je menší než dovolené ohybové napětí σ_{Do} z rovnice 8.7, čímž je splněna podmínka pevnostní kontroly nosníku s I profilem.

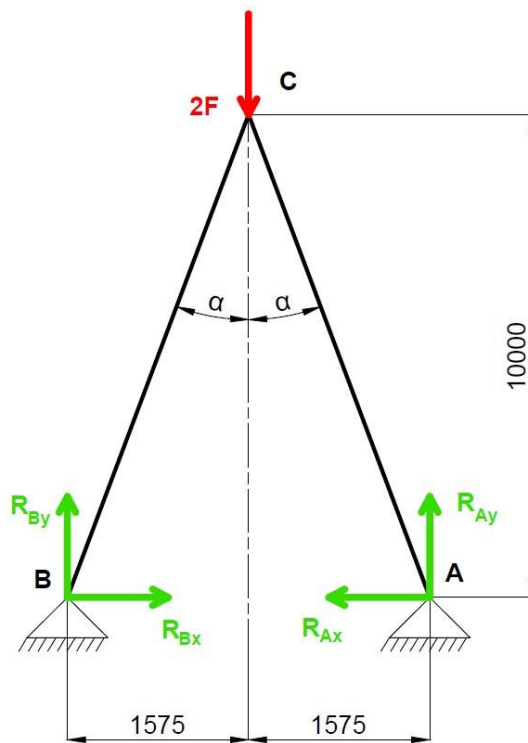
8.2.2 PODPĚRY NOSNÍKU ZKUŠEBNÍHO RÁMU

Pevnostní kontrola podpěr nosníku zkušebního rámu je provedena na základě kapitoly 6.2.2. Na obrázku 8.28 je zobrazena podpěra s vyznačenými působícími silami.



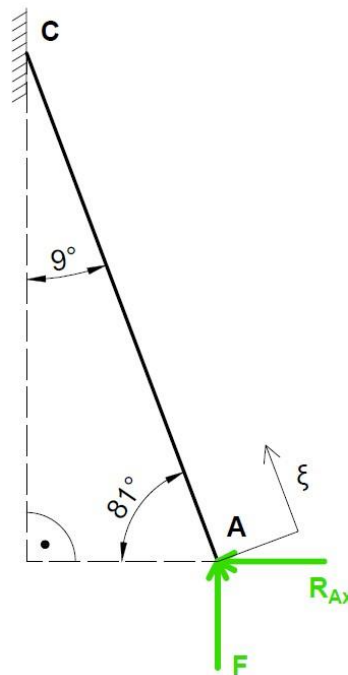
Obrázek 8.28 Podpěra nosníku zkušebního rámu s vyznačenými působícími silami

Pro stanovení zatížení podpěry nosníku zkušebního rámu je použito náhradní schéma zatížení, které je zobrazeno na obrázku 8.29. Velikost síly F je rovna hodnotě velikosti dynamického rázu $F_{dyn} = 42\,450$ N.



Obrázek 8.29 Náhradní schéma zatížení pro podpěru nosníku zkušebního rámu

Jelikož se jedná o symetricky souměrný křivý prut, lze zatížení podpěry řešit pouze pro pole A-C. Výpočtové schéma pro pole A-C je zobrazeno na obrázku 8.30.



Obrázek 8.30 Výpočtové schéma pro pole A-C podpěry nosníku zkušebního rámu

Reakční síla ve směru osy x v bodě A (R_{Ax}) je určena na základě rovnice 6.22.

$$R_{Ax} = F \cdot \frac{\cos \beta}{\sin \beta} = 42450 \cdot \frac{\cos 81^\circ}{\sin 81^\circ} = 42\,973 \text{ N} \quad (8.8)$$

Prut podpěry nosníku je navržen z uzavřeného dutého profilu s obdélníkovým průřezem ČSN EN 10219 – 200x150x8, jehož plocha A je určena rovnicí 8.9. Rozměry profilu prutu jsou zobrazeny na obrázku 8.3.

$$A = B \cdot H - b \cdot h = 200 \cdot 150 - 184 \cdot 134 = 5\,344 \text{ mm}^2 \quad (8.9)$$

Napětí v prutu podpěry nosníku zkušebního rámu σ je stanoveno pomocí rovnice 6.24.

$$\sigma = \frac{F}{\frac{A}{\sin \beta}} = \frac{42450}{\frac{5344}{\sin 81^\circ}} = 8 \text{ MPa} \quad (8.10)$$

Prut podpěry nosníku zkušebního rámu je navržen z oceli S355J2H, která má minimální mez kluzu $R_e = 500 \text{ MPa}$. [33] [35]

Dovolené ohybové napětí pro prut podpěry nosníku zkušebního rámu je stanoveno na základě rovnice 8.11, kam je za bezpečnost dosazeno $k_B = 4$. Hodnota bezpečnosti je volena s ohledem na to, že se jedná o zkušební zařízení, kdy početní zatížení zkoušeného vzorku je rovno provoznímu zatížení zkušebního standu.

$$\sigma_{Do} = \frac{R_e}{k_B} = \frac{500}{4} = 125 \text{ MPa} \quad (8.11)$$

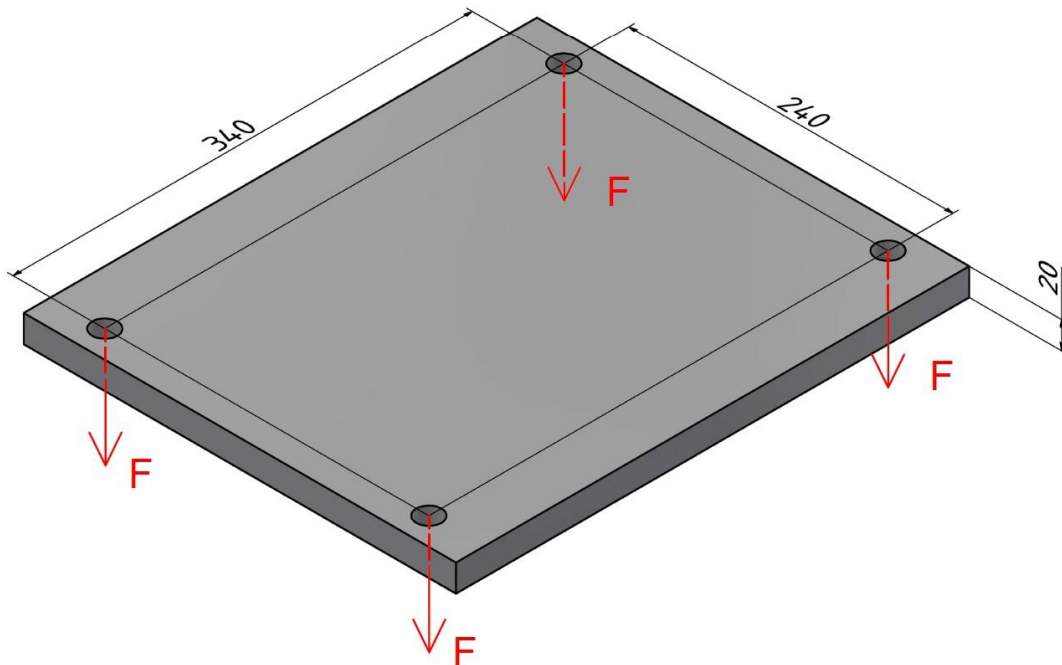
R_e = minimální mez kluzu [MPa]

k_B = bezpečnost [1]

Výsledné ohybové napětí σ_o z rovnice 8.10 je menší než dovolené ohybové napětí σ_{Do} z rovnice 8.11, čímž je splněna podmínka pevnostní kontroly prutu podpěry nosníku zkušebního rámu.

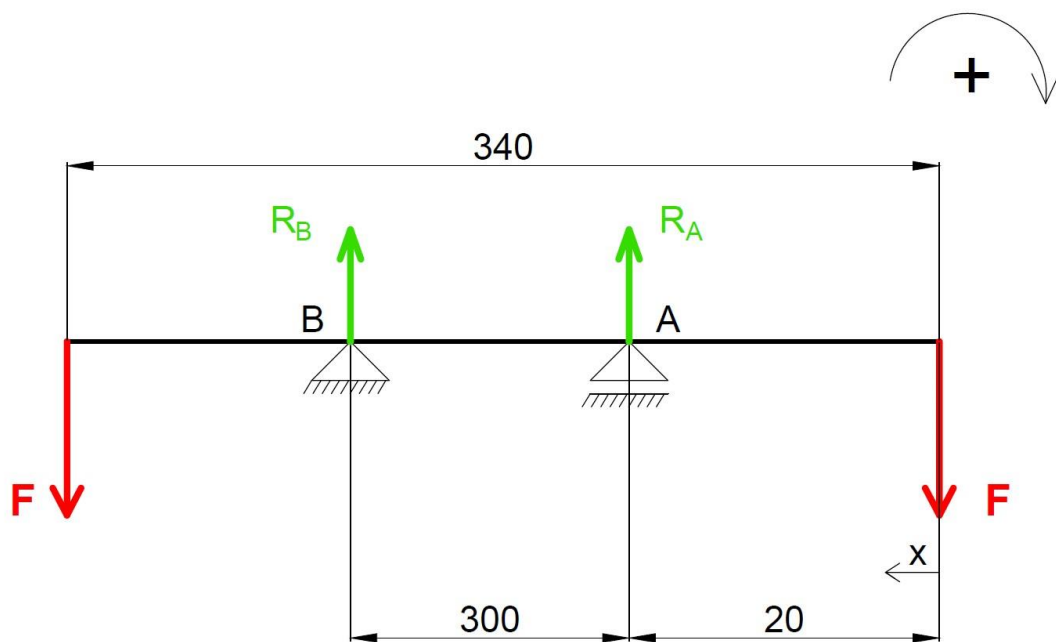
8.2.3 HORNÍ DÍL TŘMENU KLADKOVÉHO SYSTÉMU

Pevnostní kontrola horního dílu třmenu kladkového systému je provedena na základě kapitoly 6.2.3. Na obrázku 8.31 jsou zobrazeny síly působící na horní díl třmenu a potřebné rozměry.



Obrázek 8.31 Horní díl třmenu s vyznačenými působícími silami

Pro stanovení ohybového momentu na horním díle třmenu $M_o(x)$ je použito náhradní schéma zatížení, které je zobrazeno na obrázku 8.32. Síly F působí v místě uchycení šroubů v horním díle třmenu.



Obrázek 8.32 Náhradní schéma zatížení pro horní díl třmenu kladkového systému

Velikost síly F působící na horní díl třmenu kladkového systému je určena pomocí rovnice 6.25. Pro připevnění horního dílu třmenu jsou použity 4 šrouby.

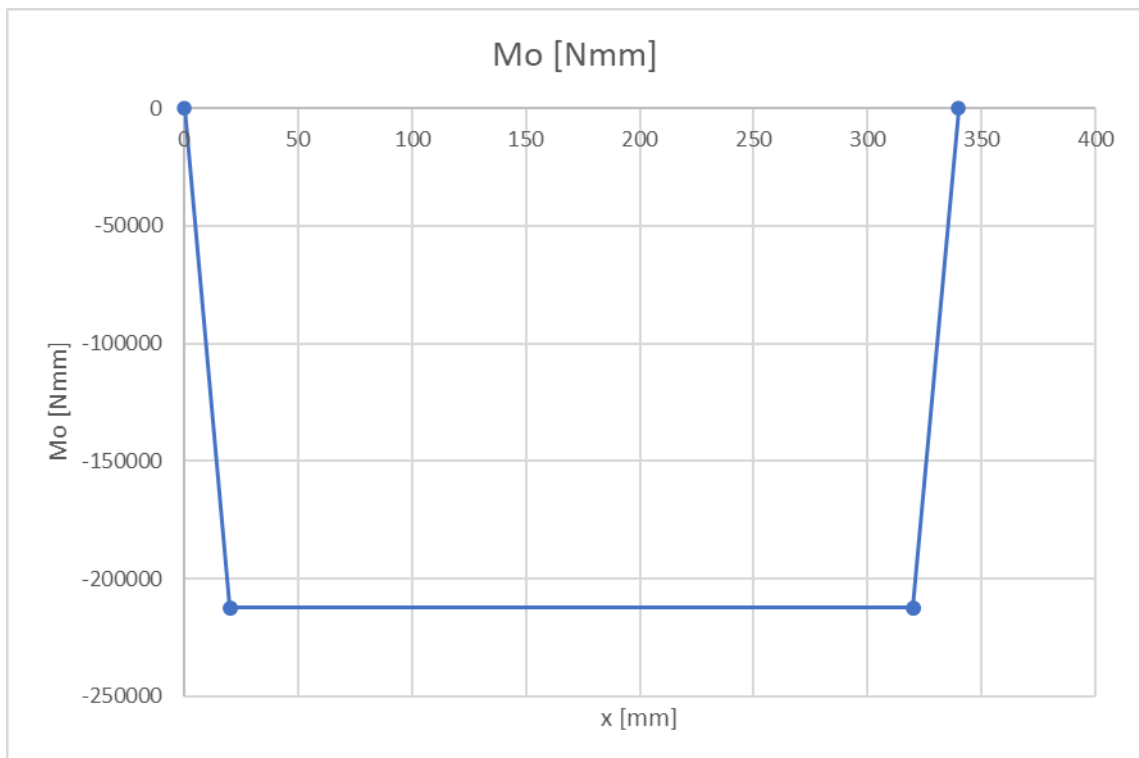
$$F = \frac{F_{dyn}}{n} = \frac{42450}{4} = 10\,613\,N \quad (8.12)$$

Pro určení průběhu ohybového momentu po horním dílu třmenu kladkového systému $M_o(x)$ je nejprve nutné stanovit průběhy momentů na jednotlivých intervalech definovaných v kapitole 6.2.3. Ohybový moment na prvním intervalu $M_{o1}(x)$ je určen rovnicí 6.30, ohybový moment na druhém intervalu $M_{o2}(x)$ je stanoven na základě rovnice 6.31 a ohybový moment na třetím intervalu $M_{o3}(x)$ je určen pomocí rovnice 6.32. V tabulce 8.5 jsou zobrazeny výsledné hodnoty ohybového momentu v krajních bodech jednotlivých intervalů.

Tabulka 8.5 Výsledné hodnoty ohybového momentu horního dílu třmenu kladkového systému v krajních bodech intervalů

	x [mm]	M_o [Nmm]
1. interval	0	0
	20	-212250
2. interval	20	-212250
	320	-212250
3. interval	320	-212250
	340	0

V grafu 8.2 je zobrazen průběh ohybového momentu po horním dílu třmenu kladkového systému $M_o(x)$.



Graf 8.2 Průběh ohybového momentu po horním dílu třmenu kladkového systému

Z grafu 8.2 vyplývá poloha maximálního ohybového momentu na horním dílu třmenu kladkového systému M_{omax} , který se nachází mezi podporou A a podporou B. Velikost maximálního momentu je určena pomocí rovnice 6.30.

$$M_{omax} = -F \cdot a = -10612,5 \cdot 20 = -212\,250 \text{ Nmm} \quad (8.13)$$

Dalším krokem je výpočet průřezového modulu v ohybu horního dílu třmenu kladkového systému W_o . Horní díl třmenu je tvořen obdélníkovým profilem, pro který se průřezový modul v ohybu W_o určí rovnicí 8.14 [28].

$$W_o = \frac{h \cdot b^2}{6} = \frac{220 \cdot 20^2}{6} = 14\,667 \text{ mm}^3 \quad (8.14)$$

Ohybové napětí σ_o je určeno pomocí rovnice 6.33.

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{212250}{14666,67} = 14,5 \text{ MPa} \quad (8.15)$$

Horní díl třmenu kladkového systému je navržen z oceli S235JR, která má minimální mez kluzu $R_e = 215 \text{ MPa}$. [36] Dovolené ohybové napětí pro horní díl třmenu kladkového systému σ_{Do} je stanoveno rovnicí 8.16, kdy je součinitel bezpečnosti $k_B = 2$.

$$\sigma_{Do} = \frac{R_e}{k_B} = \frac{215}{2} = 107,5 \text{ MPa} \quad (8.16)$$

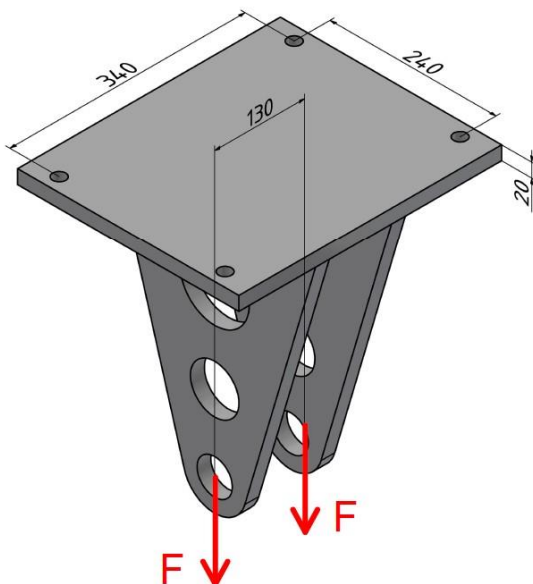
R_e = minimální mez kluzu [MPa]

k_B = součinitel bezpečnosti [1]

Výsledné ohybové napětí horního dílu třmenu kladkového systému σ_o z rovnice 8.15 je menší než dovolené napětí σ_{Do} z rovnice 8.16. Tím je splněna podmínka pevnostní kontroly horního dílu třmenu.

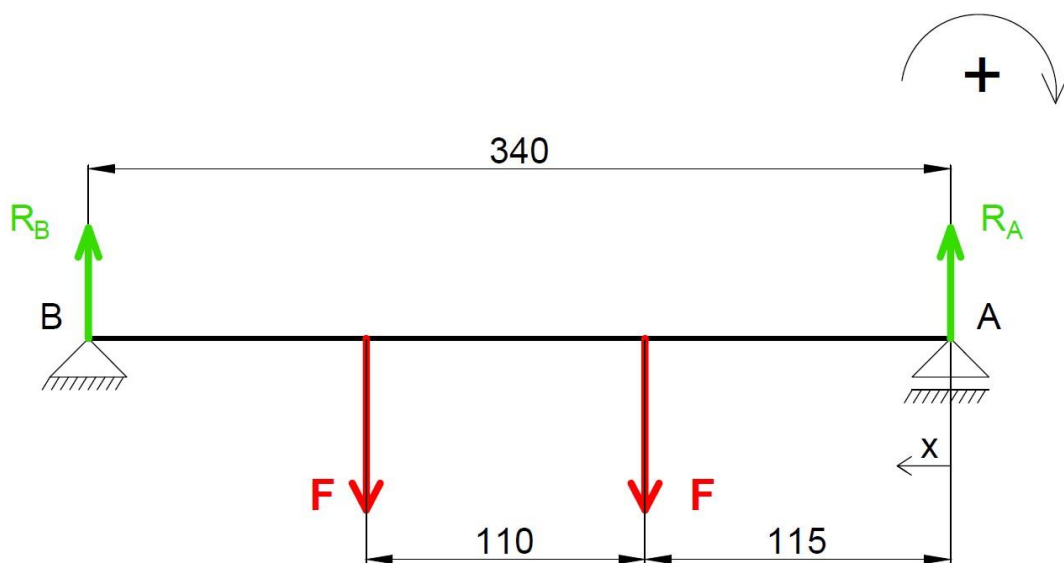
8.2.4 SPODNÍ DÍL TŘMENU KLADKOVÉHO SYSTÉMU

Pevnostní kontrola spodního dílu třmenu kladkového systému je provedena na základě kapitoly 6.2.4. Na obrázku 8.33 jsou zobrazeny síly působící na spodní díl třmenu s vyznačenými potřebnými rozměry.



Obrázek 8.33 Spodní díl třmenu s vyznačenými působícími silami

Pro stanovení ohybového momentu na základní desce spodního dílu třmenu $M_o(x)$ je použito náhradní schéma zatížení, které je zobrazeno na obrázku 8.34. Síly F působí v místě úchytů kladky.



Obrázek 8.34 Náhradní schéma zatížení základové desky spodního dílu třmenu

Velikost působící síly na základovou desku spodního dílu třmenu F je dána rovnicí 6.34.

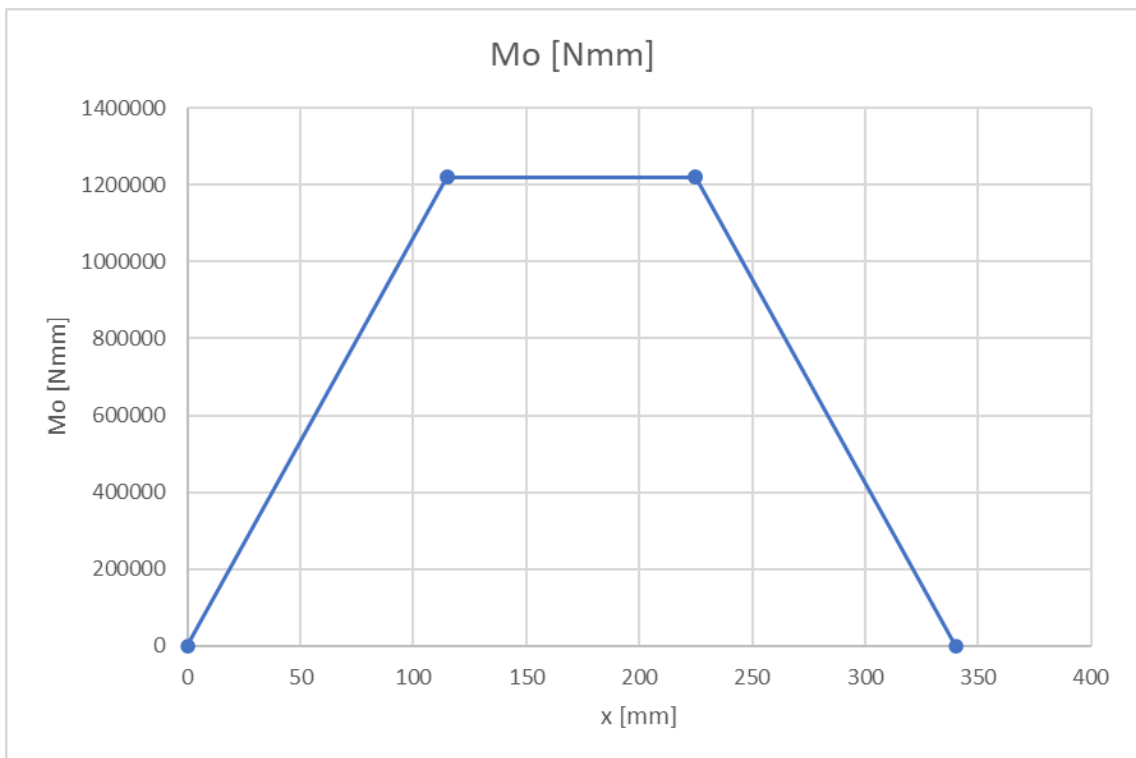
$$F = \frac{F_{dyn}}{n} = \frac{42450}{2} = 21\,225\,N \quad (8.17)$$

Pro stanovení průběhu ohybového momentu po základové desce spodního dílu třmenu kladkového systému jsou pro odpovídající intervaly použity rovnice 6.39, 6.40 a 6.41. V tabulce 8.6 jsou zobrazeny výsledné hodnoty ohybového momentu M_o v krajních bodech jednotlivých intervalů.

Tabulka 8.6 Výsledné hodnoty ohybového momentu základové desky spodního dílu třmenu v krajních bodech intervalů

	x [mm]	M_o [Nmm]
1. interval	0	0
	115	1220438
2. interval	115	1220438
	225	1220438
3. interval	225	1220438
	340	0

V grafu 8.3 je zobrazen průběh ohybového momentu po základové desce spodního dílu třmenu kladkového systému $M_o(x)$.



Graf 8.3 Průběh ohybového momentu po základové desce spodního dílu třmenu

Z grafu 8.3 vyplývá poloha maximálního ohybového momentu na základové desce spodního dílu třmenu kladkového systému M_{omax} a to část základkové desky spodního dílu třmenu mezi dvěma deskami vidlice kladky. Přesná hodnota maximálního ohybového momentu M_{omax} je stanovena na základě rovnice 6.39.

$$\begin{aligned} M_{omax} &= F \cdot \left(2 - \frac{b - 2 \cdot a}{l} \right) \cdot a \\ &= 21225 \cdot \left(2 - \frac{110 - 2 \cdot 115}{340} \right) \cdot 115 = 1\,220\,438 \text{ Nmm} \end{aligned} \quad (8.18)$$

Dalším krokem je výpočet průřezového modulu v ohybu W_o . Základová deska spodního dílu třmenu kladkového systému je profilu ve tvaru obdélníku, pro který je průřezový modul v ohybu W_o dán vztahem 8.19 [28].

$$W_o = \frac{h \cdot b^2}{6} = \frac{220 \cdot 20^2}{6} = 14\,667 \text{ mm}^3 \quad (8.19)$$

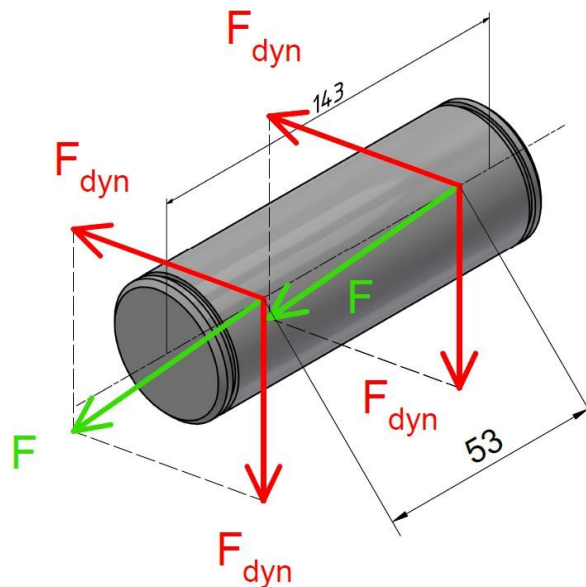
Ohybové napětí základové desky spodního dílu třmenu kladkového systému σ_o je určeno rovnicí 6.42.

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{1220437,5}{14666,67} = 83,2 \text{ MPa} \quad (8.20)$$

Základová deska spodního dílu třmenu kladkového systému je vyrobena ze stejného materiálu, jako horní díl třmenu kladkového systému, tj. S235JR, a proto mají stejné dovolené napětí v ohybu $\sigma_{Do} = 107,5 \text{ MPa}$. Výsledná hodnota ohybového momentu σ_o z rovnice 8.19 je menší než hodnota dovoleného napětí v ohybu σ_{Do} , čímž je splněna pevnostní kontrola základové desky spodního dílu třmenu kladkového systému.

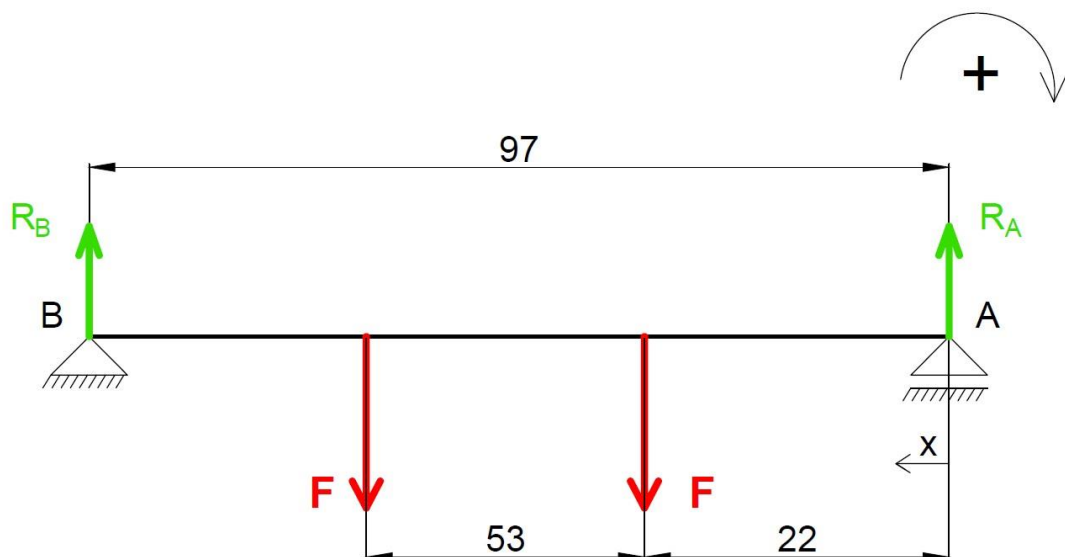
8.2.5 HŘÍDEL KLADKY

Pevnostní kontrola hřídele kladky je provedena na základě kapitoly 6.2.5. Na obrázku 8.35 jsou zobrazeny síly působící na hřídel kladky s vyznačenými potřebnými rozměry.



Obrázek 8.35 Hřídel kladky s vyznačenými působícími silami

Pro stanovení ohybového momentu na hřídeli kladky $M_o(x)$ je použito náhradní schéma zatížení, které je zobrazeno na obrázku 8.36. Síla F působí v místě ložisek kladky.



Obrázek 8.36 Rozložení sil na hřídeli kladky s vyznačenými rozměry

Velikost síly F je určena na základě rovnice 6.43. Součástí kladky jsou dvě ložiska, což je zahrnuto do výpočtu působící síly na hřídel kladky F .

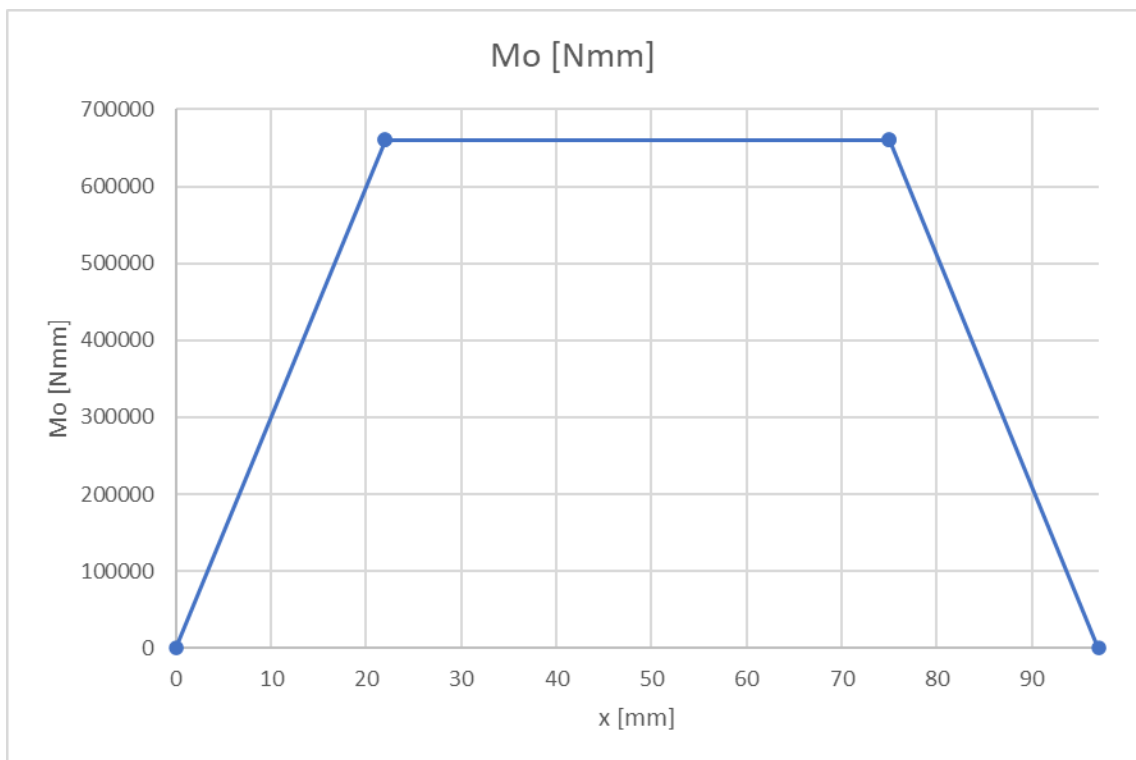
$$F = \frac{\sqrt{F_{dyn}^2 + F_{dyn}^2}}{n} = \frac{\sqrt{42450^2 + 42450^2}}{2} = 30\,017\,N \quad (8.21)$$

Pro možnost stanovení maximálního ohybového momentu na hřídeli kladky $M_{o,max}$ je nejprve nutné určit rozložení ohybového momentu po hřídeli kladky $M_o(x)$. Průběh ohybového momentu po hřídeli kladky je stanoven na základě rovnic 6.39, 6.40 a 6.41, které odpovídají jednotlivým intervalům. Výsledné hodnoty ohybového momentu M_o v krajních bodech daných intervalů jsou zobrazeny v tabulce 8.7.

Tabulka 8.7 Výsledné hodnoty ohybového momentu hřídele kladky v krajních bodech intervalů

	x [mm]	M_o [Nmm]
1. interval	0	0
	22	660367
2. interval	22	660367
	75	660367
3. interval	75	660367
	97	0

V grafu 8.4 je zobrazen průběh ohybového momentu $M_o(x)$ po hřídeli kladky.



Graf 8.4 Průběh ohybového momentu po hřídeli kladky

Z grafu 8.4 je odečtena poloha maximálního ohybového momentu M_{omax} a to mezi ložisky. Hodnota maximálního ohybového momentu na hřídeli kladky M_{omax} je určena pomocí rovnice 6.39.

$$\begin{aligned} M_{omax} &= F \cdot \left(2 - \frac{b - 2 \cdot a}{l} \right) \cdot a \\ &= 30016,68 \cdot \left(2 - \frac{53 - 2 \cdot 22}{97} \right) \cdot 22 = 660\,367 \text{ Nmm} \end{aligned} \quad (8.22)$$

Dalším krokem je výpočet průřezového modulu v ohybu hřídele kladky W_o , který je pro kruhový profil o průměru $d = 50 \text{ mm}$ dán rovnicí 8.23 [28].

$$W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 50^3}{32} = 12\,272 \text{ mm}^3 \quad (8.23)$$

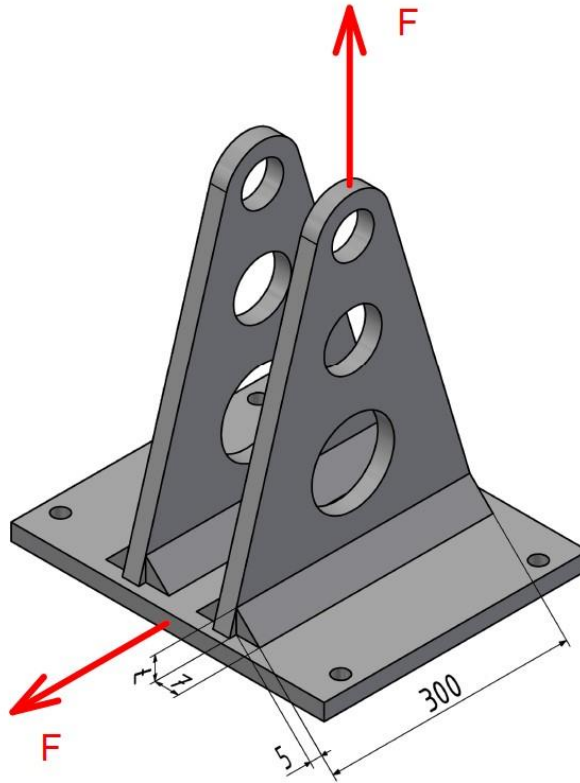
Ohybové napětí hřídele kladky σ_o je poté možno stanovit na základě rovnice 6.42.

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{660367,02}{12271,85} = 53,8 \text{ MPa} \quad (8.24)$$

Hřídel kladky je navržena ze stejného materiálu jako horní díl třmenu kladkového systému, a proto je dovolené napětí v ohybu $\sigma_{Do} = 107,5 \text{ MPa}$. Hodnota dovoleného napětí v ohybu je menší než výsledná hodnota ohybového napětí hřídele kladky σ_o z rovnice 8.24, čímž je splněna pevnostní kontrola hřídele kladky.

8.2.6 SVARY

Pevnostní kontrola svarů je provedena na základě kapitoly 6.2.6. Na obrázku 8.37 jsou zobrazeny síly působící na svary s vyznačenými potřebnými rozměry.



Obrázek 8.37 Svary s vyznačenými působícími silami

Síla zatěžující svary F je určena na základě rovnice 6.44.

$$F = \frac{F_{dyn}}{2} = \frac{42450}{2} = 21\,225\text{ N} \quad (8.25)$$

Jelikož je velikost síly v kolmém a rovnoběžném směru stejná je stejná i velikost smykových napětí v kolmém a rovnoběžném směru. Plocha svaru je pro oba směry také totožná, jelikož jsou rozměry svaru v obou směrech identické.

$$\tau_{\perp} = \tau_{\parallel} = \frac{F}{2 \cdot S_{sv}} = \frac{42450}{2 \cdot 7 \cdot 300} = 5\text{ N/mm}^2 \quad (8.26)$$

Redukované smykové napětí koutového svaru τ_s je určeno pomocí rovnice 8.27. Pro spojení vidlice kladky a základové desky spodního dílu třmenu kladkového systému je navrženo ruční svařování s elektrickým obloukem, kdy pevnost použité elektrody odpovídá pevnosti základního materiálu. Pro tuto technologii svařování je převodní součinitel svarového spoje v kolmém směru $\alpha_{\tau_{\perp}} = 0,75$ a převodní součinitel svarového spoje v rovnoběžném směru $\alpha_{\tau_{\parallel}} = 0,65$ [28].

$$\tau_s = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp}}{\alpha_{\tau_{\perp}}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\parallel}}{\alpha_{\tau_{\parallel}}}\right)^2} \quad (8.27)$$

Dovolené smykové napětí je určeno rovnicí 8.28. Vidlice kladky a základová deska spodního dílu třmenu jsou navrženy z oceli S235JR, pro kterou je mez kluzu v tahu $R_e = 200 \text{ N/mm}^2$ [36]. Bezpečnost svarových spojů k je běžně volena jako $k_B = 1,5$ [28]. Pro toto konstrukční řešení je součinitel tloušťky koutového svaru $\beta = 1,15$ [28].

$$\tau_D = \beta \cdot \frac{R_e}{k_B} = 1,15 \cdot \frac{200}{1,5} = 153,3 \text{ N/mm}^2 \quad (8.28)$$

Výsledné redukované smykové napětí koutového svaru τ_s z rovnice 8.27 je menší než dovolené smykové napětí τ_D z rovnice 8.28, čímž je splněna pevnostní kontrola svarů.

9 ZÁVĚR

Zadání diplomové práce je splněno v plném rozsahu.

Nejprve byla provedena rešerše požadavků stavebních předpisů, kde byly stanoveny požadavky na konstrukci UL letadla s BZS. Požadavky dané předpisy představovaly omezující parametry, které bylo nutné dodržet při návrhu zkušebního zařízení. Dále byla provedena rešerše existujících řešení postupů pevnostního průkazu, která byla inspirací při návrhu postupu pevnostního průkazu dynamickým způsobem provedení zkoušky. Na závěr rešeršní části diplomové práce byla provedena rešerše rozměrů UL letadel vyráběných v České republice, která byla podkladem pro návrh rozměrů a koncepce rámu zkušebního zařízení.

S ohledem na všechny omezující parametry byl vytvořen simulační model založený na hledání optima mezi parametry: hmotnost závaží, výška shozu závaží, tuhost lana a tuhost tlačné pružiny pro stanovení času trvání síly dynamického rázu blížícího se realitě. Na základě kriteriálního hodnocení byla vybrána metodika zkoušky. Podle minimálních rozměrů zkušebního prostoru byly zvoleny rozměry zkušebního zařízení. Pro tyto rozměry byly navrženy parametry zkušebního lana a propočtena simulace dynamických účinků na zkoušené letadlo.

Na závěr byl proveden návrh zkušebního zařízení, který vyhovuje výše zvolené strategii. Po stanovení koncepce uspořádání zkušebního zařízení byl proveden návrh jednotlivých dílů sestavy a byly propočítány nezbytné pevnostní kontroly.

V rámci této diplomové práce se dospělo k následujícím poznáním:

1. Použití dynamického způsobu pevnostního průkazu má větší nároky na upevňovací body BZS a přilehlou konstrukci letadla.
2. Definovaným podmínkám nejlépe vyhovuje pevnostní průkaz pomocí padajícího závaží a koncepce zkušebního zařízení se speciálním pevným rámem.
3. Zařazením tlačné pružiny do série s lanem bylo docíleno zvýšení času pro dosažení síly dynamického rázu o 40 %.

Doporučení dalšího postupu:

- Prostudování analytické simulace dynamických účinků s uvažováním nepřipevněného letadla k zemi.
- Prostudování simulace se zahrnutím proměnných mechanických vlastností lana.
- Návrh tlačné pružiny zařazené do série s lanem, tak aby se docílilo co nejdelšího času, který je potřeba pro dosažení síly dynamického rázu.
- Simulace pohybu během prokazování pevnostního průkazu počítačovým softwarem.
- Návrh měřicího řetězce pro snímání síly působící na upevňovací bod BZS a snímání zrychlení závaží.

10 BIBLIOGRAFIE

- [1] *UL2 - Část I.: Požadavky letové způsobilosti SLZ, Ultralehké letouny řízené aerodynamicky*. 1. Praha: Letecká amatérská asociace ČR, 2019.
- [2] NFL 2-459-19. *Lufttüchtigkeitsforderungen für aerodynamisch gesteuerte Ultraleichtflugzeuge: LTF-UL*. 2019.
- [3] *F2316-12: Standard Specification for Airframe Emergency Parachutes*. ASTM, 2012.
- [4] *Galaxy GRS Ballistic parachute rescue system příručka pro montáž a použití: Záchranný balistický padákový systém nové generace*. Liberec, 2015.
- [5] *Magnum: Balistické záchranné padákové systémy řady Magnum, Příručka pro montáž a použití*. 2. Praha: Stratos 07 s.r.o., 2014.
- [6] *USH 600: Balistický záchranný padákový systém pro SLZ, Technický popis s instrukcemi pro použití*. U.S.H. Výroba záchranných systémů s.r.o., 2020.
- [7] SKYLANE UL. In: *Airlony* [online]. 2022 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://www.airlony.cz/letadla>
- [8] SKYLEADER 200. In: *Skyleader* [online]. 2022 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <http://www.skyleader.aero/produkt/skyleader-200/>
- [9] SKYLEADER 400. In: *Skyleader* [online]. 2022 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <http://www.skyleader.aero/produkt/skyleader-400/>
- [10] SKYLEADER 500. In: *Skyleader* [online]. 2022 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <http://www.skyleader.aero/produkt/skyleader-500/>
- [11] SKYLEADER 600. In: *Skyleader* [online]. 2022 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <http://www.skyleader.aero/produkt/skyleader-600/>
- [12] ATEC 122 ZEPHYR. In: *Atecaircraft* [online]. ATEC v.o.s., 2022 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://www.atecaircraft.eu/letadla/atec-122-zephyr>
- [13] ATEC 212 SOLO. In: *Atecaircraft* [online]. ATEC v.o.s., 2022 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://www.atecaircraft.eu/letadla/atec-212-solo>
- [14] ATEC 321 FAETA. In: *Atecaircraft* [online]. ATEC v.o.s., 2022 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://www.atecaircraft.eu/letadla/atec-321-faeta>
- [15] ATEC 321 FAETA NG. In: *Atecaircraft* [online]. ATEC v.o.s., 2022 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://www.atecaircraft.eu/letadla/atec-321-faeta-ng>
- [16] BRISTELL CLASSIC. In: *Bristell* [online]. BRISTELL by BRM AERO, c2010-2022 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://www.bristell.com/bristell-classic/>
- [17] EuroStar SL. In: *Evektor* [online]. Evektor, 2022 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://www.evektor.com/aircraft-technical-specification/eurostar-sl>
- [18] LEGEND 540 Technická data. In: *Aeropilotcz* [online]. aeropilot, 2022 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://www.aeropilotcz.com/cs/technicka-data>
- [19] LEGEND 600 Technická data. In: *Aeropilotcz* [online]. aeropilot, 2022 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://www.aeropilotcz.com/cs/lehke-sportovni-letadlo-legend-600-technicka-data>
- [20] Sparker. In: *Tl-ultralight* [online]. TL-ULTRALIGHT, s.r.o., 2022 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <http://www.tl-ultralight.cz/cs/ultralehka-letadla/sparker>

- [21] Stream. In: *Tl-ultralight* [online]. TL-ULTRALIGHT, s.r.o., 2022 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <http://www.tl-ultralight.cz/cs/ultralehka-letadla/stream>
- [22] Technické údaje. In: *Bevampire* [online]. [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <http://www.bevampire.cz/cz/technicke-udaje>
- [23] TL-2000 Sting RG. In: *Tl-ultralight* [online]. TL-ULTRALIGHT, s.r.o., 2022 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <http://www.tl-ultralight.cz/cs/ultralehka-letadla/tl-2000-sting-rg>
- [24] TL-2000 Sting S4. In: *Tl-ultralight* [online]. TL-ULTRALIGHT, s.r.o., 2022 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <http://www.tl-ultralight.cz/cs/ultralehka-letadla/tl-2000-sting-s4>
- [25] *TL-3000 Sirius* [online]. In: . [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <http://www.tl-ultralight.cz/cs/ultralehka-letadla/tl-3000-sirius>
- [26] U15 Phoenix. In: *Pure-flight* [online]. PureFlight, 2021 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://www.pure-flight.eu/u15-phoenix.html>
- [27] SKYLEADER GP ONE. In: *Skyleader* [online]. 2022 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <http://www.skyleader.aero/produkt/skyleader-gp-one/>
- [28] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 2., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2005. ISBN 80-736-1011-6.*
- [29] KMEŤ, Stanislav. Novodobé lanové a membránové konstrukce. *Asb-portal* [online]. [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/novodobelanova-a-membranove-konstrukce>
- [30] ČERNOCH, Svatopluk. *Strojně technická příručka. 13. upravené vydání. Praha: SNTL - Státní nakladatelství technické literatury, 1977. ISBN 04-224-77.*
- [31] Šestipramenné lano WARRINGTON SEAL 6x26WS-FC. In: *Techlan* [online]. 2022 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://www.techlan.cz/sestipramenne-lano-warrington-seal-6x26ws-fc>
- [32] Profil HEB válcovaný za tepla, EN 10365 // HEB 300. In: *Online.ferona* [online]. Feron a s., 2017 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/detail/23230/profil-heb-valcovany-za-tepla-en-10365-heb-300>
- [33] Profil dutý svařovaný černý s obdélníkovým průřezem, EN 10219 // rozměr 200x150x8. In: *Online.ferona.cz* [online]. Feron a s., 2017 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/detail/30314/profil-duty-svarovany-cerny-s-obdelnikovym-prurezem-en-10219-rozmer-200x150x8>
- [34] 6410: Deep groove ball bearings. In: *Skf* [online]. [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-6410>
- [35] Přehled vlastností oceli S355J2G3. In: *Bbolzano* [online]. Kladno: Bohdan Bolzano, s.r.o., 2020 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://bbolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/nelegovane-konstrukcni-oceli-podle-en-10025/prehled-vlastnosti-oceli-s355j2drive-s355j2g3>
- [36] Přehled vlastností oceli S235JR. In: *Bbolzano* [online]. Kladno: Bohdan Bolzano, s.r.o., <https://bbolzano.cz/> [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://bbolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/nelegovane-konstrukcni-oceli-podle-en-10025/prehled-vlastnosti-oceli-s235jrdrive-s235jrg2>

- [37] Galaxysky.cz: GRS 6 650-700 SD Speedy 140m2. In: *Galaxysky.cz* [online]. Liberec: Galaxy Holding s.r.o. [cit. 2022-01-31]. Dostupné z: <https://www.galaxysky.cz/grs-6-650-700-sd-speedy-140m2-p40-cz>
- [38] PHOTO GALLERY. In: *Metrans* [online]. METRANS, 2020 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://metrans.eu/media/photo-gallery/>
- [39] Hexagon Bolts ISO4014/DIN931 M16x460. In: *Fabory* [online]. Fabory, 2022 [cit. 2022-06-07]. Dostupné z: <https://fabory.partcommunity.com/3d-cad-models/?info=fabory%2F1%5Fbolts%5Fand%5Fhex%5Fcap%5Fscrews%2Fiso%5F4014%2Eprj&varset=%7BCNSORDERNO%3D51000%2E160%2E460%7D&encoding=%25>
- [40] JOHARI, H. a K.J. DESABRAIS. *Aerodynamics of Parachute Opening*. 1. Worcester: Worcester Polytechnic Institute - Mechanical Engineering Department, 2002.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1 Rozsah působení dynamického rázu UL2	- 12 -
Obrázek 3.1 Sestava záchranného systému Galaxy GRS v otevřeném stavu [4]	- 14 -
Obrázek 3.2 Aktivace BZS Galaxy GRS [37]	- 15 -
Obrázek 3.3 Sestava záchranného systému Magnum [5]	- 16 -
Obrázek 3.4 Aktivace BZS Magnum [5]	- 17 -
Obrázek 3.5 Aktivace BZS USH [6]	- 18 -
Obrázek 4.1 Uspořádání prokazování pevnostního průkazu statickým způsobem ...	- 19 -
Obrázek 4.2 Detail uspořádání statické zkoušky	- 20 -
Obrázek 4.3 Schéma způsobu provedení vybrané metodiky zkoušky.....	- 23 -
Obrázek 5.1 Vybrané konstrukční řešení zkušebního rámu	- 27 -
Obrázek 5.2 Příklad náhradního zkušebního zařízení [38].....	- 27 -
Obrázek 6.1 Schéma pro definici LR 2. druhu – řešení s pevným koncem.....	- 29 -
Obrázek 6.2 Rozložení sil na nosníku s I profilem.....	- 31 -
Obrázek 6.3 Schéma nosníku zkušebního rámu pro výpočet	- 32 -
Obrázek 6.4 Zatížení nosníku pro stanovení ohybového momentu $M_0(x)_1$	- 33 -
Obrázek 6.5 Zatížení nosníku pro stanovení ohybového momentu $M_0(x)_2$	- 33 -
Obrázek 6.6 Zatížení podpěr nosníku zkušebního rámu.....	- 35 -
Obrázek 6.7 Schéma pro výpočet podpěry nosníku zkušebního rámu	- 35 -
Obrázek 6.8 Schéma pro výpočet pole A-C podpěry nosníku.....	- 36 -
Obrázek 6.9 Rozložení působících sil na horní díl třmenu	- 37 -
Obrázek 6.10 Schéma rozložení působících sil na horní díl třmenu pro výpočet	- 38 -
Obrázek 6.11 Rozložení sil působících na prvním intervalu	- 39 -
Obrázek 6.12 Rozložení sil působících na druhém intervalu	- 39 -
Obrázek 6.13 Rozložení sil působících na třetím intervalu	- 40 -
Obrázek 6.14 Rozložení působících sil na spodní díl třmenu.....	- 41 -
Obrázek 6.15 Schéma rozložení sil působících na spodní díl třmenu pro výpočet ...	- 42 -
Obrázek 6.16 Rozložení sil působících na prvním intervalu	- 43 -
Obrázek 6.17 Rozložení sil působících na druhém intervalu	- 43 -
Obrázek 6.18 Rozložení sil působících na třetím intervalu	- 44 -
Obrázek 6.19 Rozložení působících sil na hřídeli kladky	- 45 -
Obrázek 6.20 Schéma uspořádání svarů – pohled z boku	- 46 -
Obrázek 6.21 Schéma uspořádání svarů – pohled zepředu	- 46 -
Obrázek 6.22 Namáhání koutových svarů.....	- 46 -
Obrázek 7.1 Schéma uspořádání zkušebního zařízení s tlačnou pružinou	- 53 -
Obrázek 7.2 Profil lana ČSN EN 12 385 6x26WS-FC-20 [31].....	- 54 -
Obrázek 8.1 Základní rozměry zkušebního rámu	- 60 -
Obrázek 8.2 Profil nosníku ČSN EN 10 365 - HEB 400.....	- 61 -
Obrázek 8.3 Profil podpěry nosníku ČSN EN 10219 – 200x150x8.....	- 61 -
Obrázek 8.4 Zkušební rám zepředu	- 62 -
Obrázek 8.5 Zkušební rám z boku	- 62 -
Obrázek 8.6 Zkušební rám shora	- 63 -
Obrázek 8.7 Drážka a věnec kladky [28].....	- 63 -
Obrázek 8.8 Kladka	- 64 -
Obrázek 8.9 Pozice kladek na nosníku zkušebního rámu.....	- 65 -
Obrázek 8.10 Detail uchycení kladkového systému k nosníku – pohled zepředu.....	- 65 -
Obrázek 8.11 Detail uchycení kladkového systému – pohled v řezu	- 66 -
Obrázek 8.12 Horní díl třmenu	- 66 -
Obrázek 8.13 Sestava spodního dílu kladkového systému	- 67 -

Obrázek 8.14 Sestava spodního dílu třmenu	- 68 -
Obrázek 8.15 Spodní díl třmenu – základová deska.....	- 68 -
Obrázek 8.16 Spodní díl třmenu – deska vidlice kladky	- 69 -
Obrázek 8.17 Detail uložení kladky	- 69 -
Obrázek 8.18 Hřídel kladky	- 70 -
Obrázek 8.19 Ložisko SKF 6410 [34]	- 70 -
Obrázek 8.20 Rozpěrný kroužek mezi ložisky	- 71 -
Obrázek 8.21 Rozpěrný kroužek krajní	- 71 -
Obrázek 8.22 Šroub ISO 4014 M16x480-8.8 [39]	- 72 -
Obrázek 8.23 Uspořádání zkušebního zařízení v pohledu shora	- 73 -
Obrázek 8.24 Zkušební rám s vyznačenými působícími silami	- 74 -
Obrázek 8.25 Náhradní schéma zatížení pro nosník s I profilem	- 74 -
Obrázek 8.26 Náhradní schéma nosníku zkušebního rámu pro stanovení $M_o(x)_1$	- 75 -
Obrázek 8.27 Náhradní schéma nosníku zkušebního rámu pro stanovení $M_o(x)_2$	- 75 -
Obrázek 8.28 Podpěra nosníku zkušebního rámu s vyznačenými působícími silami -	77 -
Obrázek 8.29 Náhradní schéma zatížení pro podpěru nosníku zkušebního rámu	- 78 -
Obrázek 8.30 Výpočtové schéma pro pole A-C podpěry nosníku zkušebního rámu -	78 -
Obrázek 8.31 Horní díl třmenu s vyznačenými působícími silami.....	- 80 -
Obrázek 8.32 Náhradní schéma zatížení pro horní díl třmenu kladkového systému -	80 -
Obrázek 8.33 Spodní díl třmenu s vyznačenými působícími silami.....	- 83 -
Obrázek 8.34 Náhradní schéma zatížení základové desky spodního dílu třmenu.....	- 83 -
Obrázek 8.35 Hřídel kladky s vyznačenými působícími silami	- 86 -
Obrázek 8.36 Rozložení sil na hřídeli kladky s vyznačenými rozměry.....	- 86 -
Obrázek 8.37 Svary s vyznačenými působícími silami	- 89 -

SEZNAM GRAFŮ

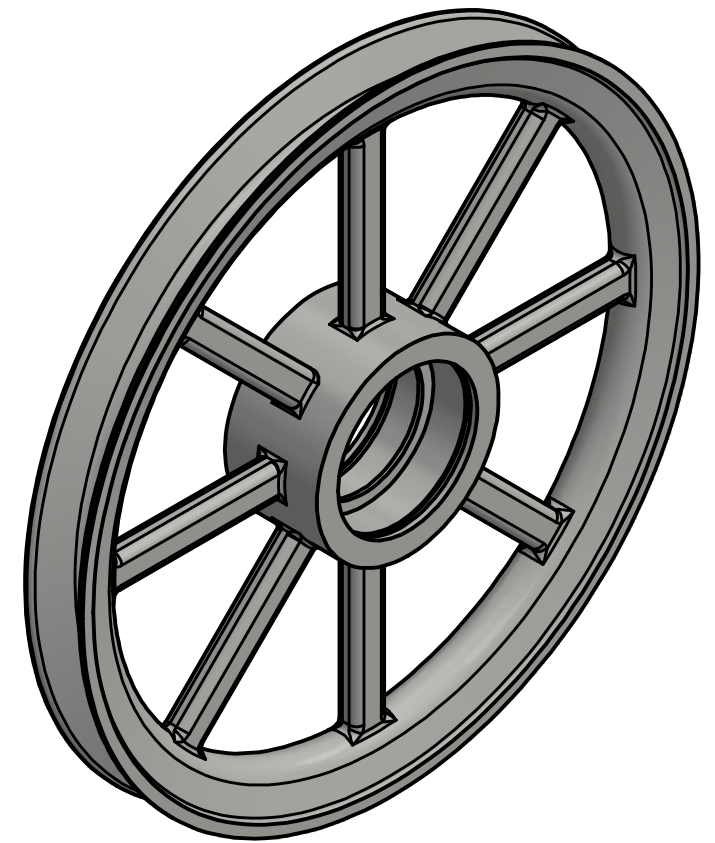
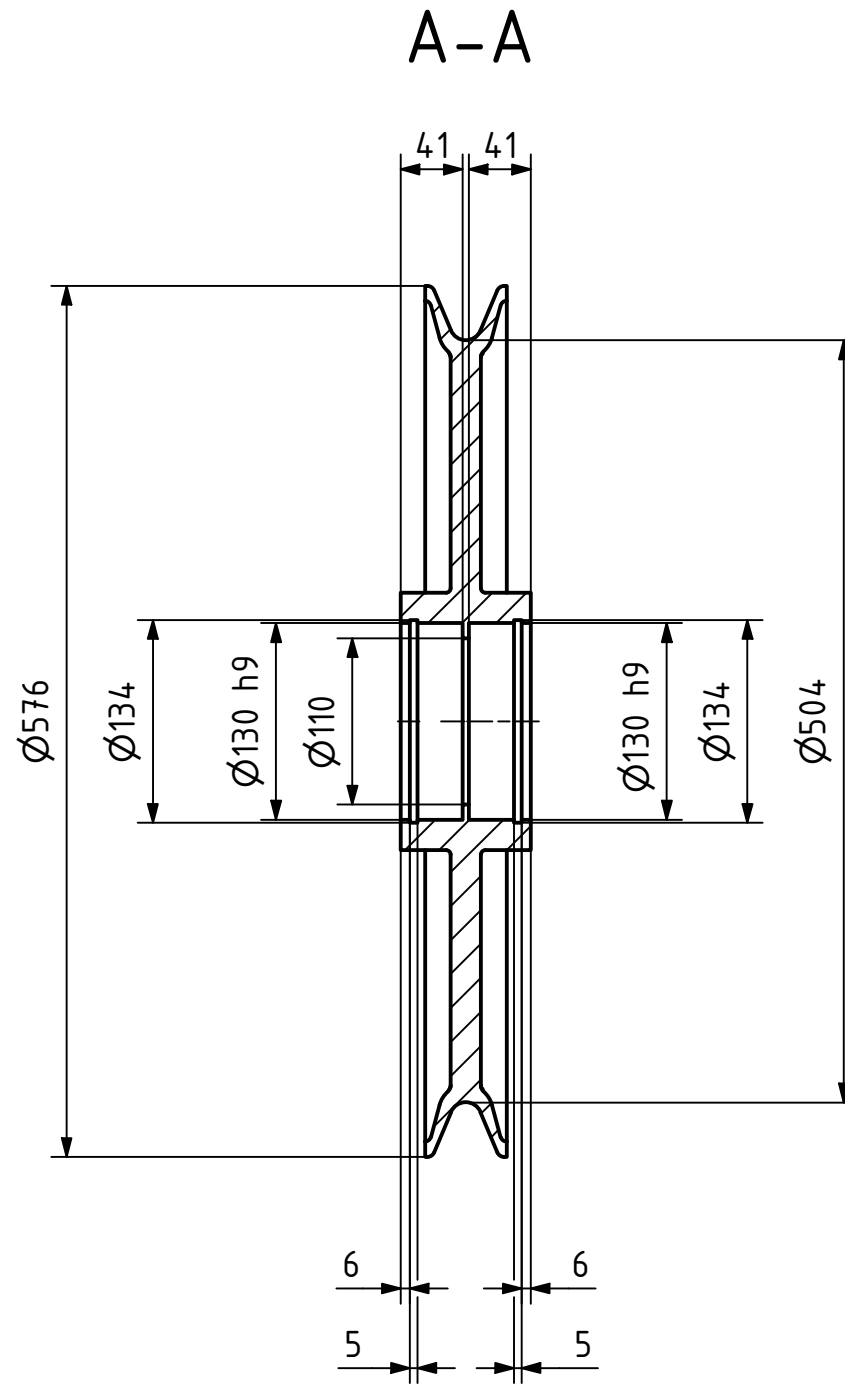
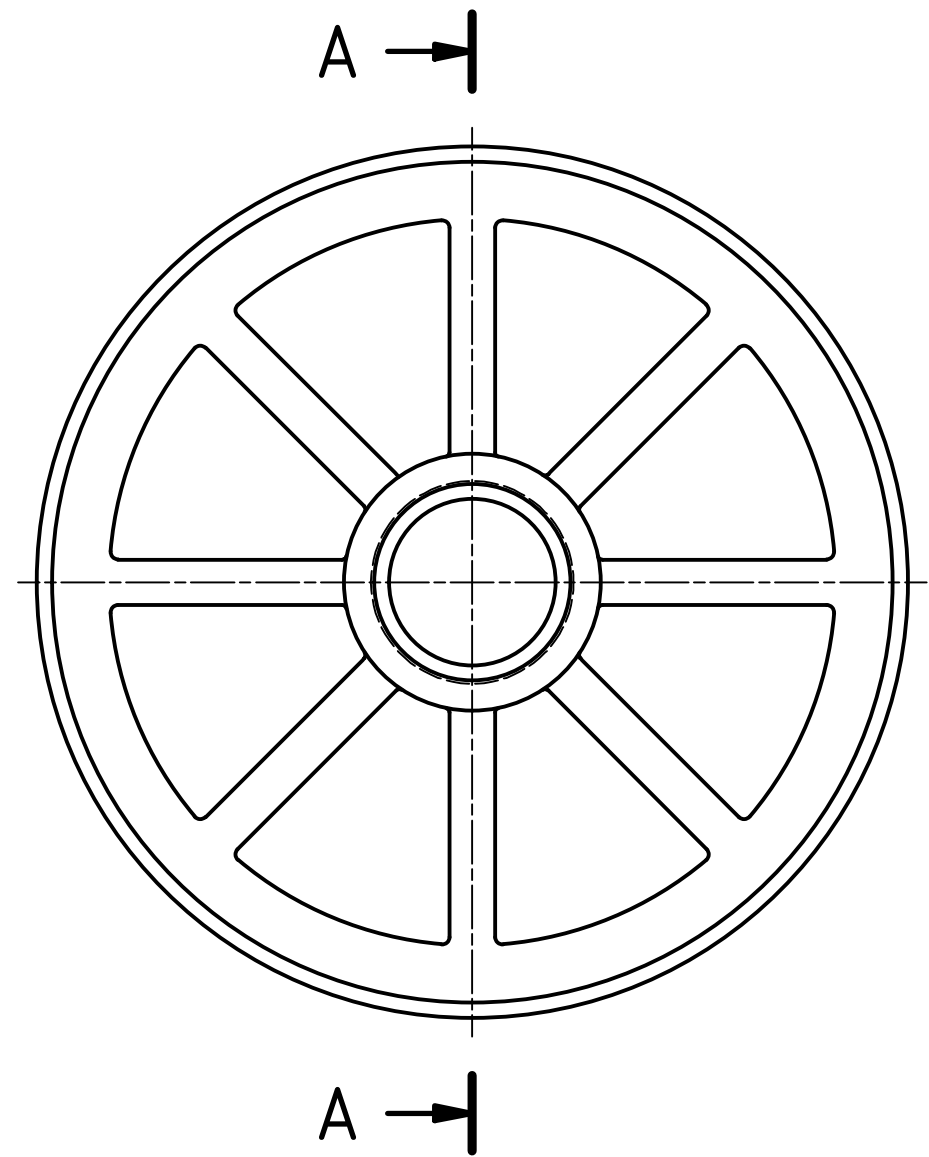
Graf 3.1 Závislost F_{dyn} na rychlosti a hmotnosti letadla pro BZS Galaxy GRS [37]	- 15 -
Graf 4.1 Průběh síly působící na upevňovací bod BZS [40]	- 21 -
Graf 7.1 Závislost potřebné výšky shozu závaží na tuhosti lana	- 49 -
Graf 7.2 Závislost potřebné výšky shozu na hmotnosti závaží	- 49 -
Graf 7.3 Závislost dynamického prodloužení lana na tuhosti lana	- 50 -
Graf 7.4 Závislost $t(F_{dyn})$ na hmotnosti závaží pro zvolené k_L a pevný konec	- 51 -
Graf 7.5 Závislost $t(F_{dyn})$ na tuhosti lana pro zvolené m_Z a pevný konec	- 52 -
Graf 7.6 Závislost potřebné výšky shozu na tuhosti pro sestavu lana s pružinou	- 55 -
Graf 7.7 Závislost potřebné výšky shozu na m_Z pro sestavu lana s pružinou	- 56 -
Graf 7.8 Závislost dynamického prodloužení sestavy lana s pružinou na tuhosti	- 57 -
Graf 7.9 Závislost $t(F_{dyn})$ na hmotnosti závaží pro dané tuhosti a pevný konec	- 57 -
Graf 7.10 Závislost $t(F_{dyn})$ na tuhosti pro zvolené hmotnosti a pevný konec	- 58 -
Graf 7.11 Porovnání $t(F_{dyn})$ samotného lana a sestavy lana + pružina	- 58 -
Graf 7.12 Časový průběh dynamického rázu vybrané kombinace a pevný konec	- 59 -
Graf 8.1 Průběh ohybového momentu $M_o(x)$ na nosníku s I profilem	- 75 -
Graf 8.2 Průběh ohybového momentu po horním dílu třmenu kladkového systému	- 81 -
Graf 8.3 Průběh ohybového momentu po základové desce spodního dílu třmenu	- 84 -
Graf 8.4 Průběh ohybového momentu po hřídeli kladky	- 87 -

SEZNAM TABULEK

Tabulka 5.1 Rozměry vybraných letadel	- 24 -
Tabulka 5.2 Minimální potřebné rozměry zkušebního prostoru	- 25 -
Tabulka 7.1 Zvolené tuhosti lana k_L	- 48 -
Tabulka 7.2 Dynamické prodloužení lana pro jednotlivé tuhosti lana	- 50 -
Tabulka 7.3 Základní parametry lana ČSN EN 12 385 6x26WS-FC-20 [31]	- 54 -
Tabulka 7.4 Výsledné hodnoty tuhosti pro zvolené tuhosti pružiny	- 55 -
Tabulka 7.5 Výsledné hodnoty dynamického prodloužení sestavy lana s pružinou	- 56 -
Tabulka 7.6 Vybraná kombinace závaží, lana a pružiny	- 59 -
Tabulka 8.1 Rozměry drážky a věnce kladky [28]	- 64 -
Tabulka 8.2 Základní parametry ložiska SKF 6410 [34]	- 70 -
Tabulka 8.3 Základní parametry šroubu M16x2	- 71 -
Tabulka 8.4 Základní parametry matice ČSN EN ISO 4032 M16-8 [28]	- 72 -
Tabulka 8.5 Výsledné hodnoty ohybového momentu horního dílu třmenu kladkového systému v krajních bodech intervalů	- 81 -
Tabulka 8.6 Výsledné hodnoty ohybového momentu základové desky spodního dílu třmenu v krajních bodech intervalů	- 84 -
Tabulka 8.7 Výsledné hodnoty ohybového momentu hřídele kladky v krajních bodech intervalů	- 87 -

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Kladka
- Příloha 2 Horní díl třmenu
- Příloha 3 Deska vidlice spodního dílu třmenu
- Příloha 4 Základní deska spodního dílu třmenu
- Příloha 5 Spodní díl třmenu
- Příloha 6 Hřídel kladky
- Příloha 7 Rozpěrný kroužek 1
- Příloha 8 Rozpěrný kroužek 2
- Příloha 9 Spodní díl kladkového systému
- Příloha 10 Zkušební zařízení

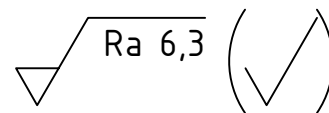
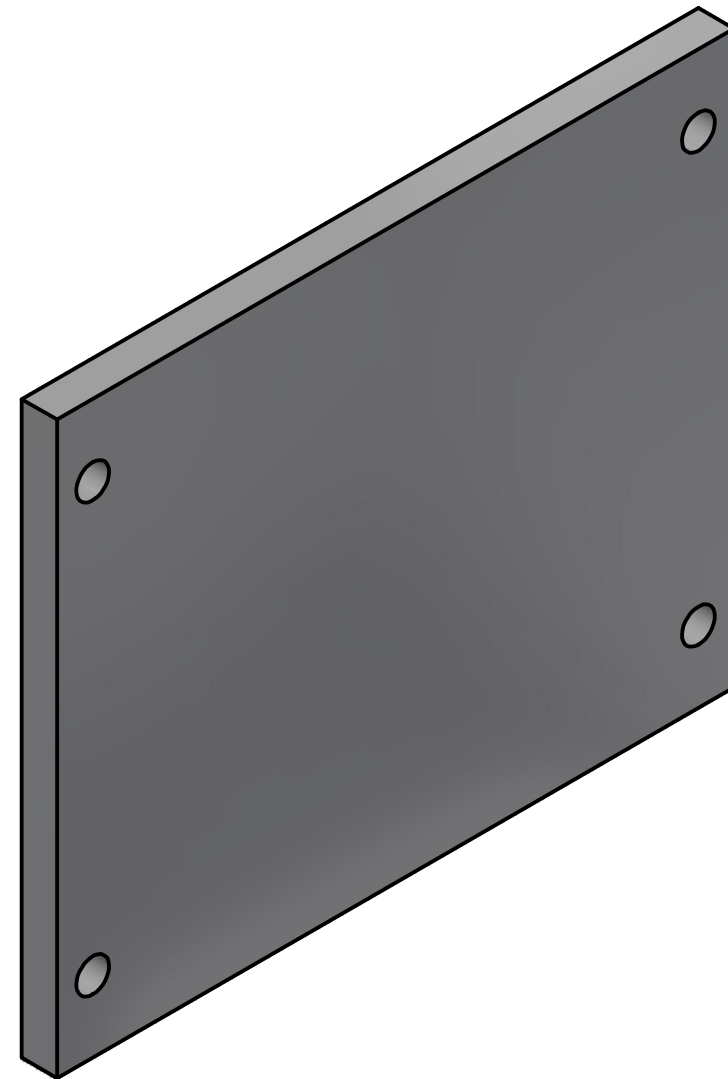
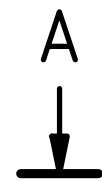
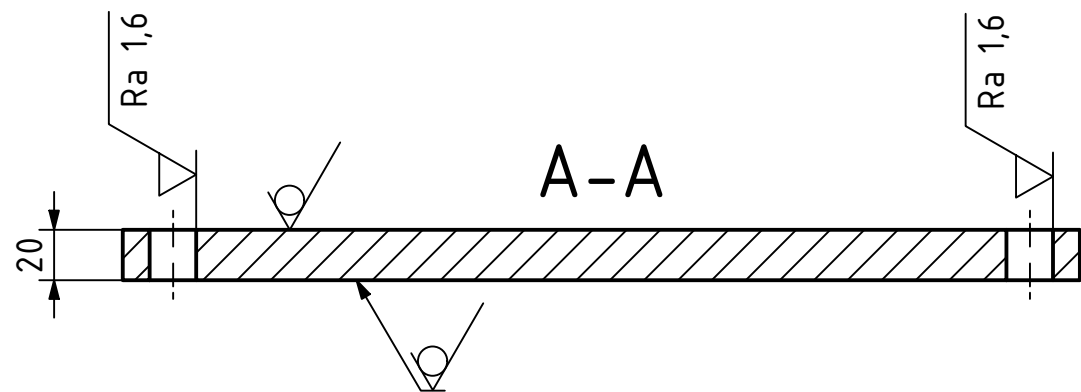
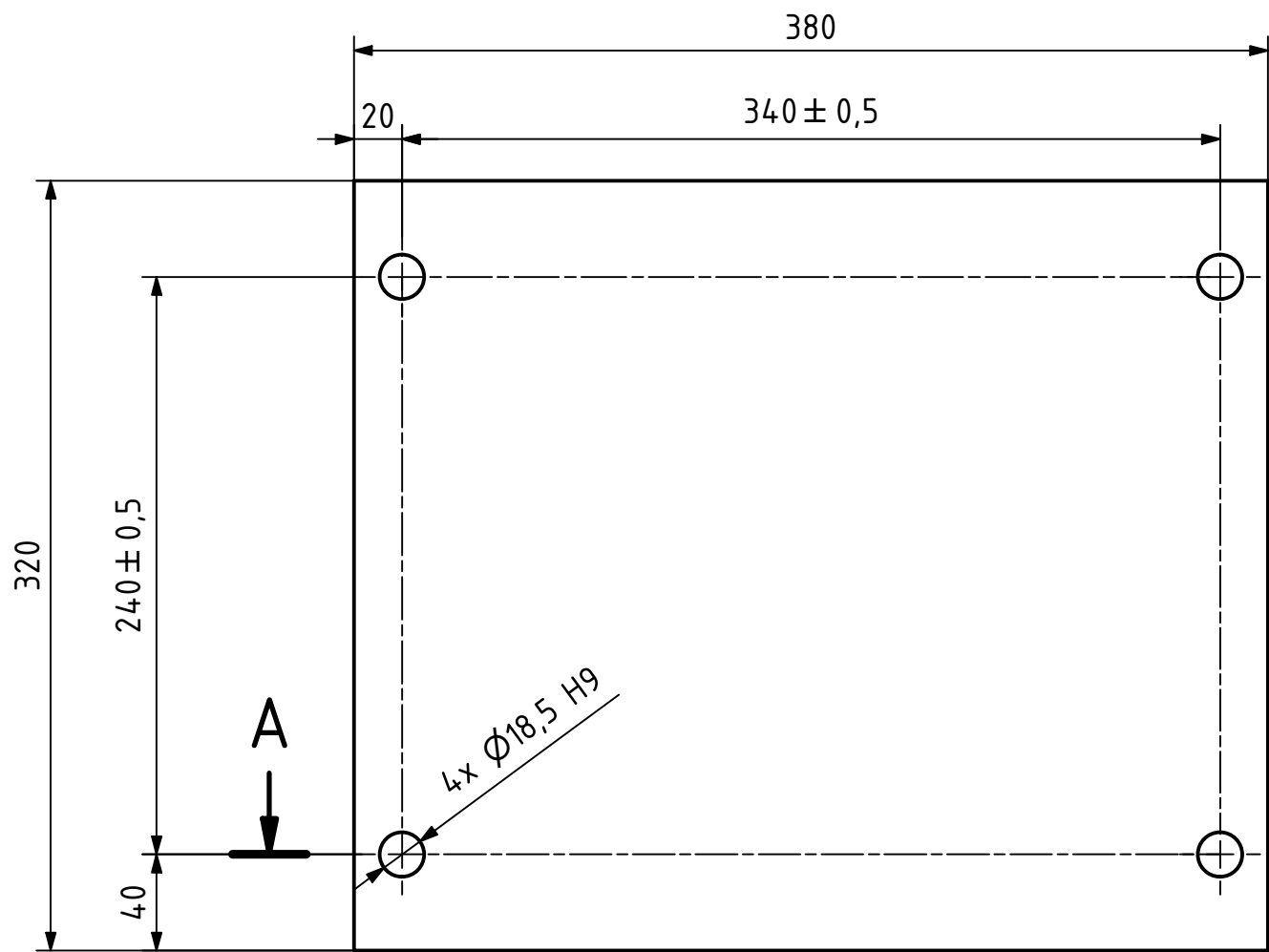


CHRÁNĚNO DLE ISO 16016

MATERIÁL: S235JR (11 375)		ISO 13715		+0,5	-0,2				
POLOTOVAR: -				+0,1	-0,5				
TOLEROVÁNÍ DLE ISO 8015	ISO 14405-1								
PŘESNOST ISO 2768 - mK	ISO 14405-3								
VŠEOB. TOL. ISO 8062 -									
						INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS

Autor	Datum	Podpis	Datum	HMOTNOST 23,048 kg	MĚŘÍTKO
NAVRHL Kateřina Fišerová	15.05.2022	PŘEZK.		SESTAVA	1:5
KRESLIL Kateřina Fišerová	15.05.2022	SCHVÁLIL		SEZNAM ČÁSTÍ	PROMÍTÁNÍ: (ISO E)

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE v21.1	FAKULTA STROJNÍ	NAZEV Příloha 1
		ČÍSLO VÝKRESU KLADKA



MATERIÁL: S235JR (11 375)		ISO 13715		+0,5 +0,1		-0,2 -0,5			
POLOTOVAR: -									
TOLEROVÁNÍ DLE ISO 8015		ISO 14405-1							
PŘESNOST ISO 2768 - mK		ISO 14405-3							
VŠEOB. TOL. ISO 8062 -									
Autor		Datum		Podpis		Datum		HMOTNOST 18,922 kg	
NAVRHL Kateřina Fišerová		15.05.2022		PŘEZK.				MĚŘÍTKO 1:3	
KRESLIL Kateřina Fišerová		15.05.2022		SCHVÁLIL				SESTAVA	
								SEZNAM ČÁSTÍ	
								PROMÍTÁNÍ: (ISO E)	
								TYP: VV	



FAKULTA
STROJNÍ

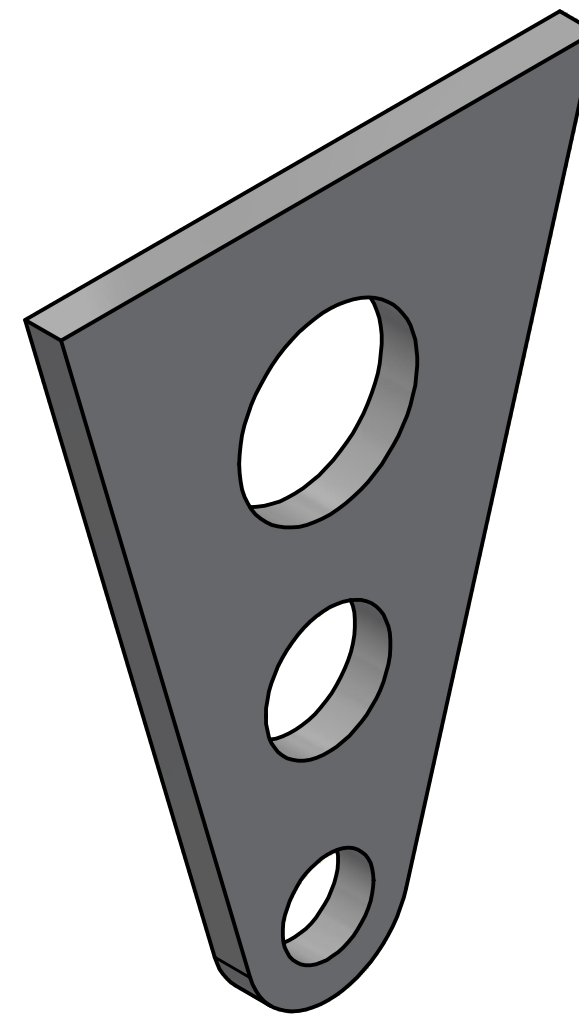
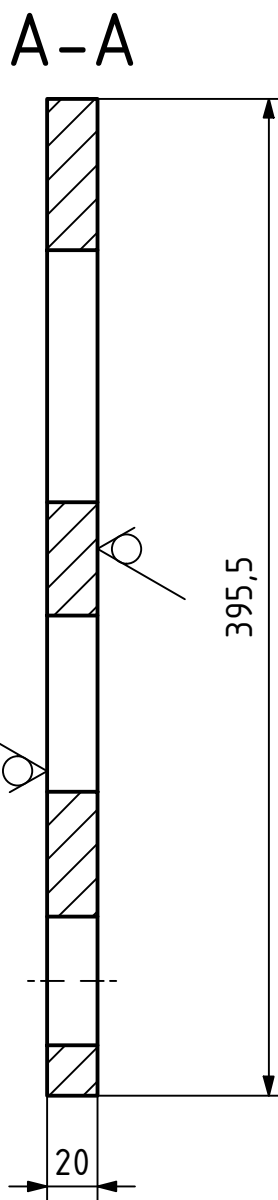
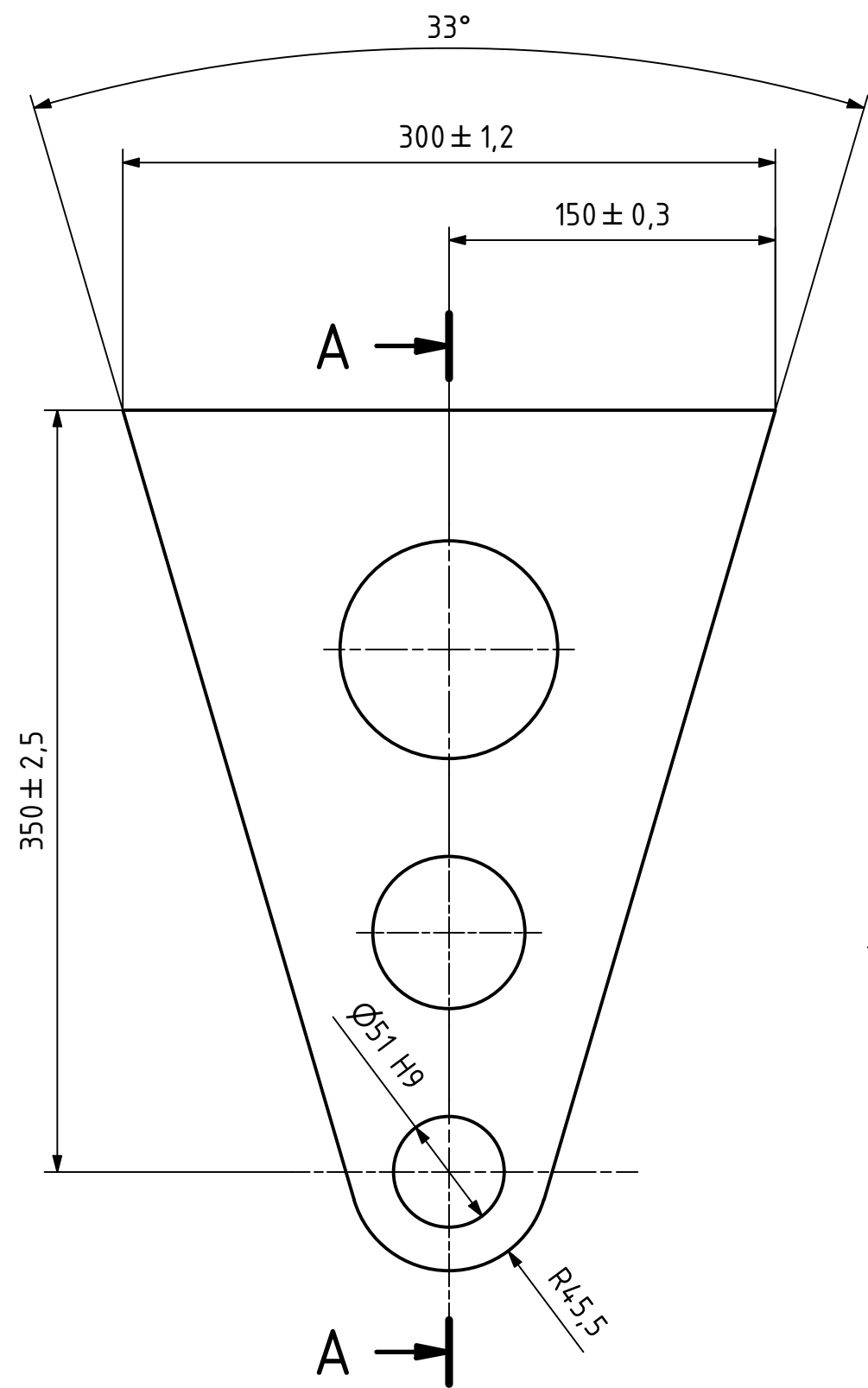
NAZEV

ČÍSLO VYKRESU

Příloha 2

HORNÍ DÍL TRMENU

LIST: 1/1



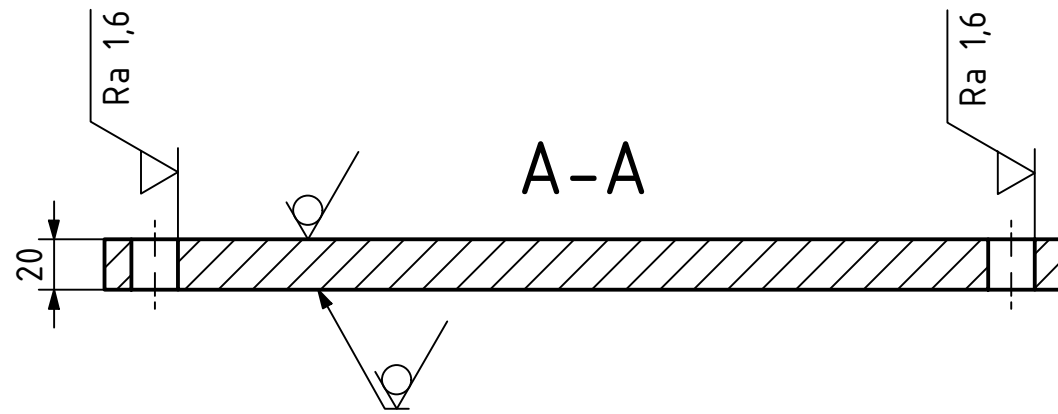
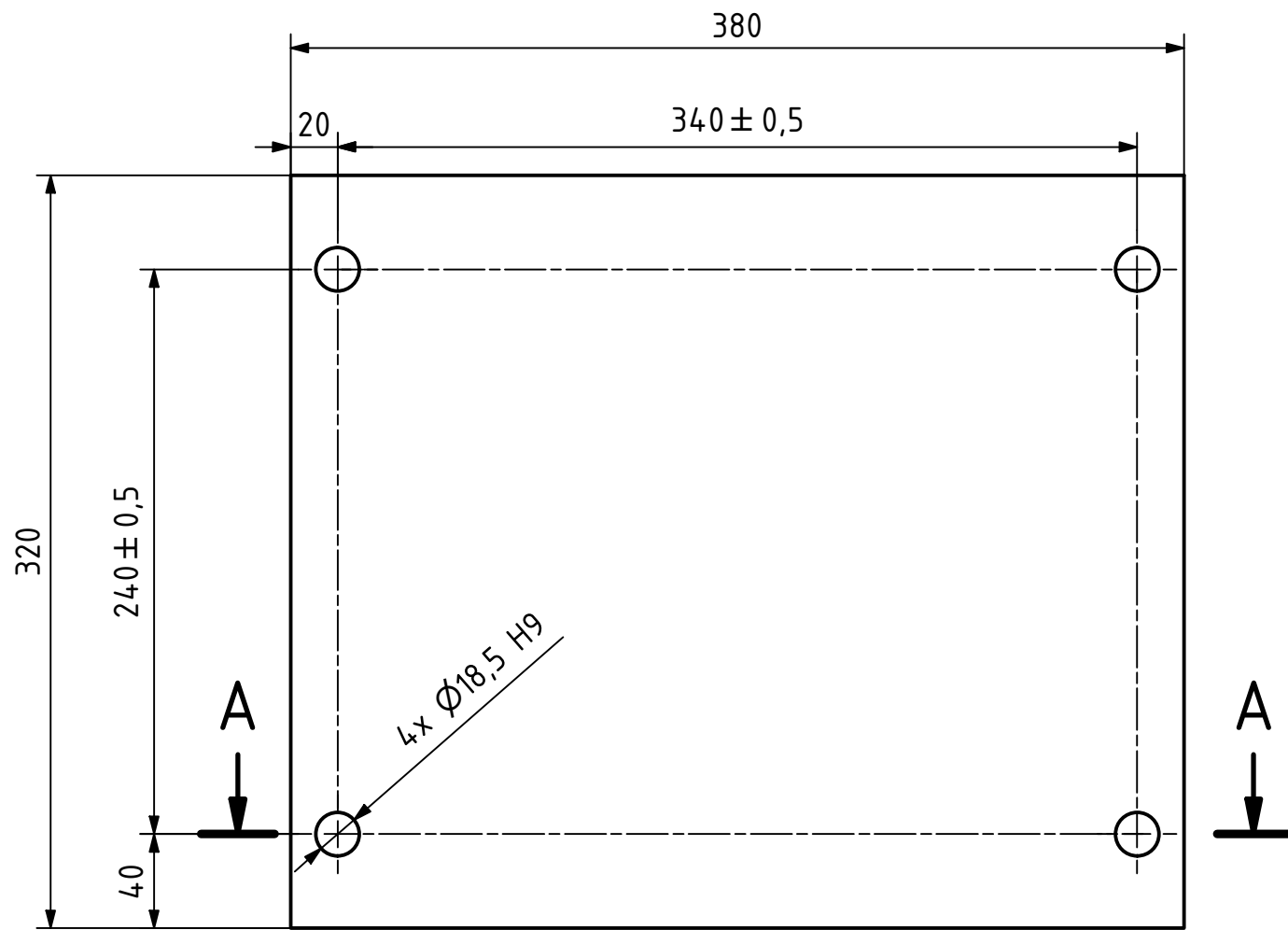
Ra 3,2 (✓)

MATERIÁL: S235JR (11 375)					
POLOTOVAR: -					
TOLEROVÁNÍ DLE ISO 8015	ISO 14405-1	ISO 13715	+0,5 +0,1	-0,2 -0,5	
PŘESNOST ISO 2768 - mK	ISO 14405-3				
VŠEOB. TOL. ISO 8062 -					
					INDEX
					ZMĚNA
					DATUM
					PODPIS

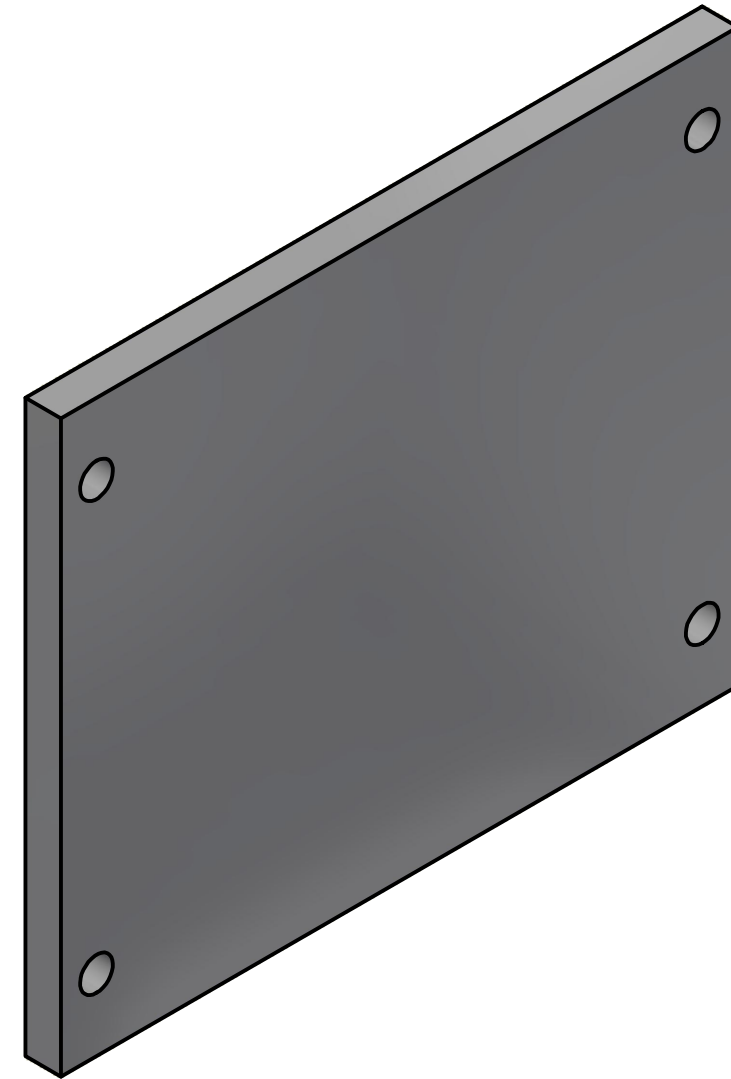
NAVŘHL	Kateřina Fišerová	Datum	15.05.2022	PŘEZK.		Podpis		Datum		HMOTNOST 9,203 kg	MĚŘÍTKO	1:3
KRESLIL	Kateřina Fišerová	Datum	15.05.2022	SCHVÁLIL						SESTAVA	PROMÍTÁNÍ: (ISO E)	
										SEZNAM ČÁSTÍ	TYP: VV	


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
 v21.1

NAZEV: **Příloha 3**
 ČÍSLO VÝKRESU: **DESKA VIDLICE KLDKY**
 LIST: 1/1



Surface finish symbol: $\sqrt{\text{Ra } 6,3}$ (✓)

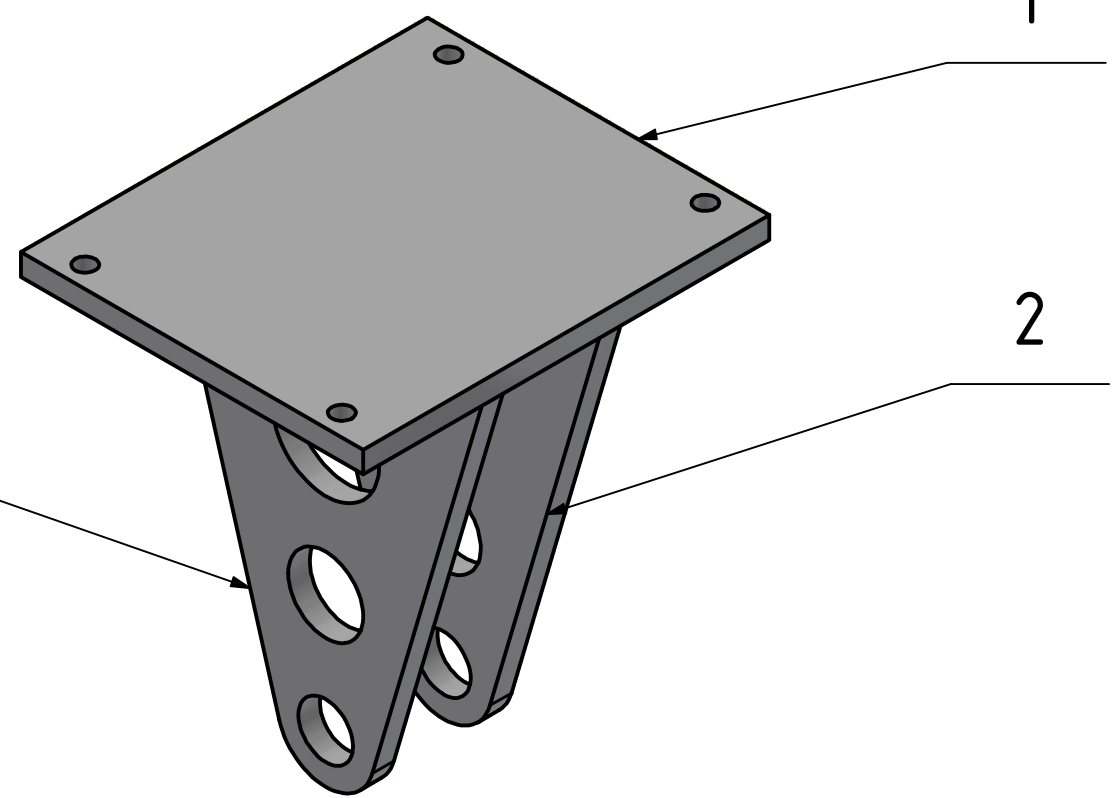
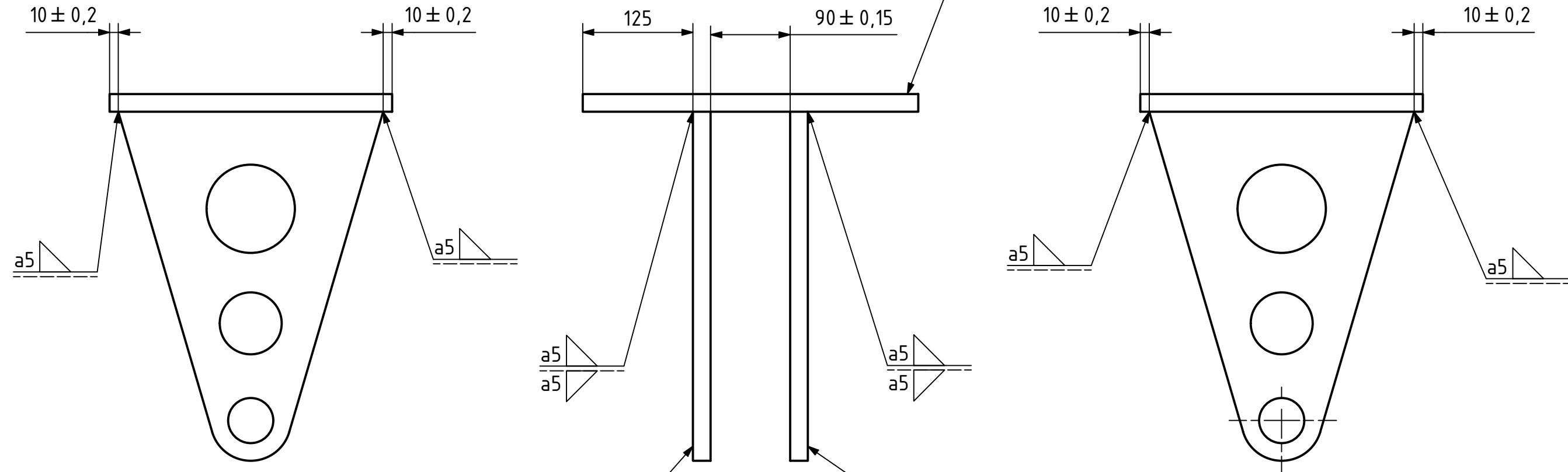


MATERIÁL: S235JR (11 375)		ISO 13715		+0,5 +0,1		-0,2 -0,5		INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS
POLOTOVAR: -											
TOLEROVÁNÍ DLE ISO 8015		ISO 14405-1									
PŘESNOST ISO 2768 - mK		ISO 14405-3									
VŠEOB. TOL. ISO 8062 -											

NAVŘHL	Kateřina Fišerová	Datum	15.05.2022	PŘEZK.		Podpis		Datum		HMOTNOST 18,922 kg	MĚŘÍTKO	1:3
KRESLIL	Kateřina Fišerová	Datum	15.05.2022	SCHVÁLIL						SESTAVA	PROMÍTÁNÍ:	(ISO E)
										SEZNAM ČÁSTÍ	TYP: VV	


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
 v21.1

NAZEV: **Příloha 4**
 ČÍSLO VÝKRESU: **ŽÁKLADOVÁ DESKA S. D. TRĚMENU**
 LIST: 1/1



2	DESKA VIDLICE KLADKY				S235JR (11 375)	9,203 kg	2
1	ZÁKLADOVÁ DESKA SPODNIHO DÍLU TRĚMENU				S235JR (11 375)	18,922 kg	1
ODKAZ	NÁZEV	NORMA	ROZMĚR	Č. VÝKRESU	MATERIÁL	HMOTNOST	KS
NAVRHL	Autor	Datum	PŘEZK.	Podpis	Datum	HMOTNOST 37,328 kg	MĚŘÍTKO
KRESLIL	Kateřina Fišerová	15.05.2022	SCHVÁLIL			SESTAVA	1:5
	Kateřina Fišerová	15.05.2022				SEZNAM ČÁSTÍ	PROMÍTÁNÍ: (ISO E)
							TYP: SV



ČESKÉ
VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V PRAZE

**FAKULTA
STROJNÍ**

v21.1

NAZEV

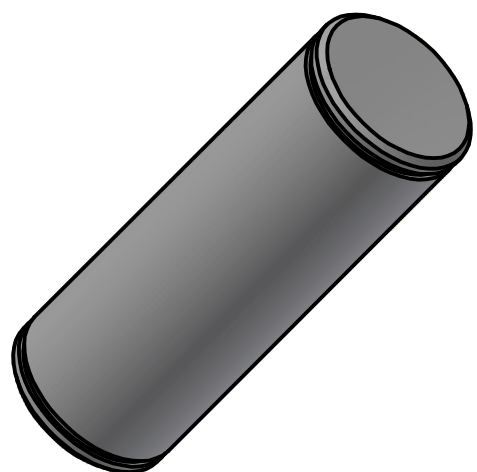
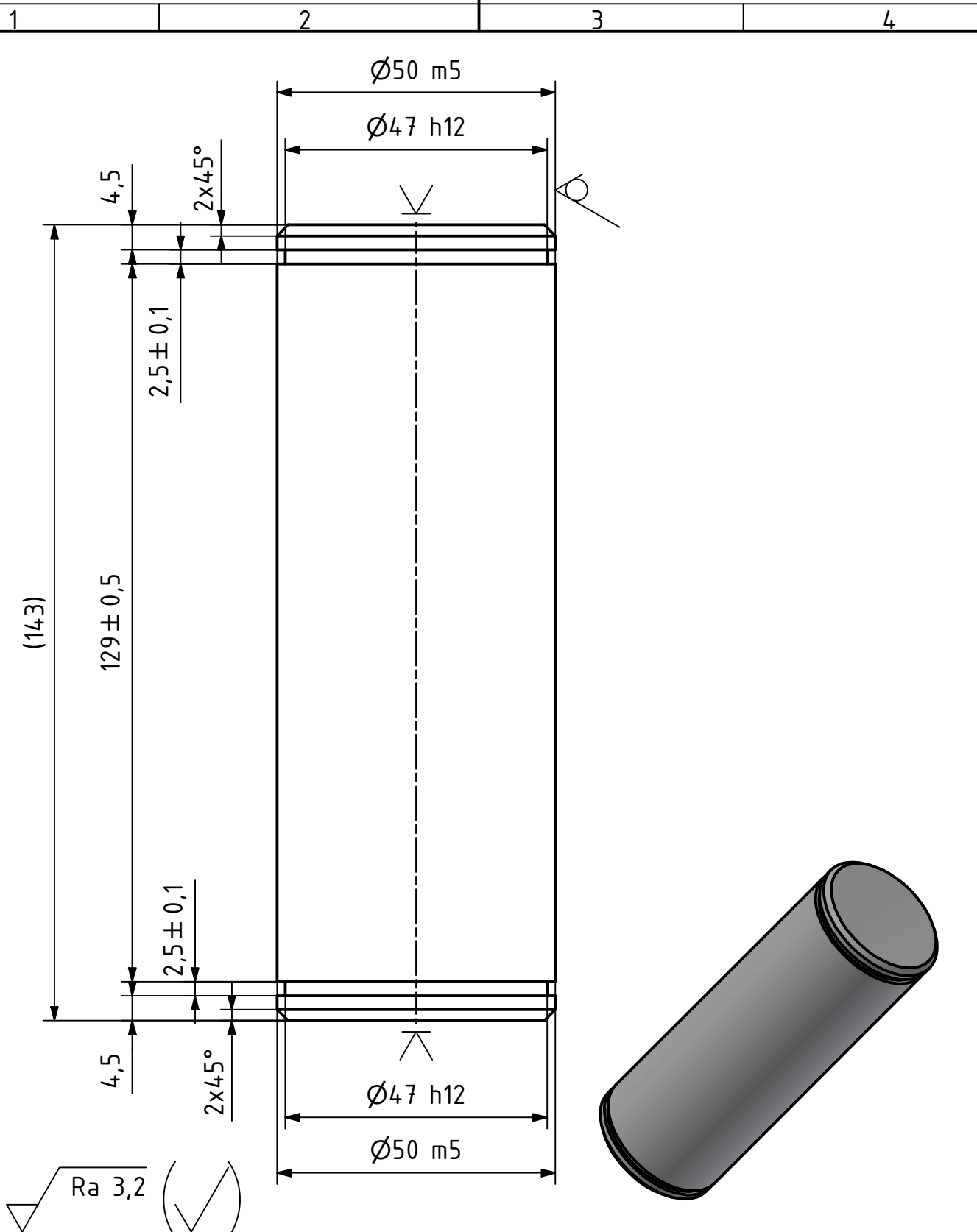
Příloha 5

ČÍSLO VÝKRESU

SPODNÍ DÍL TRĚMENU

TYP: SV

LIST: 1/1



MATERIÁL: S235JR (11 375)		ISO 13715		+0,5	-0,2				
POLOTOVAR: -				+0,1	-0,5				
TOLEROVÁNÍ DLE ISO 8015	ISO 14405-1								
PŘESNOST ISO 2768 - mK	ISO 14405-3								
VŠEOB. TOL. ISO 8062 -						INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS

Autor	Datum	Podpis	Datum	HMOTNOST 2,190 kg	MĚŘÍTKO
NAVRHL Kateřina Fišerová	15.05.2022	PŘEZK.		SESTAVA	1:1 (1:2)
KRESLIL Kateřina Fišerová	15.05.2022	SCHVÁLIL		SEZNAM ČÁSTÍ	PROMÍTÁNÍ: (ISO E.)

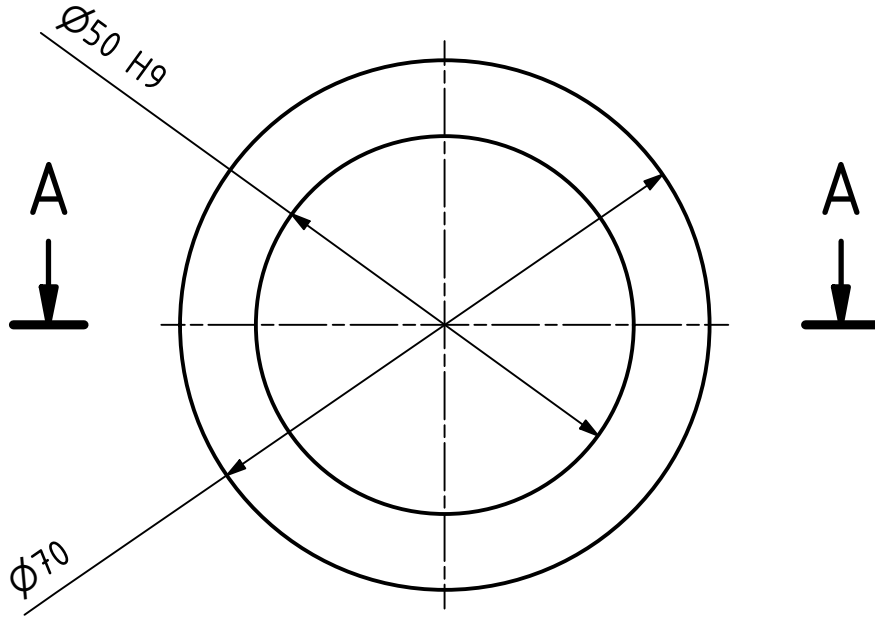
<p>ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE</p> <p>FAKULTA STROJNÍ</p> <p>v21.1</p>	NÁZEV	Příloha 6
	ČÍSLO VÝKRESU	HŘÍDEL KLADKY
		LIST: 1/1

CHRÁNĚNO DLE ISO 16016

1 2 3 4

A

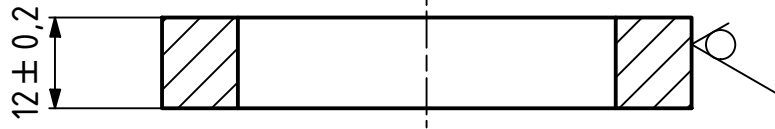
A



B

B

A-A

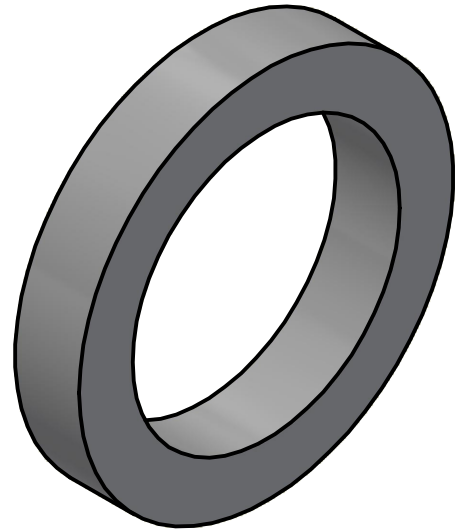


C

C

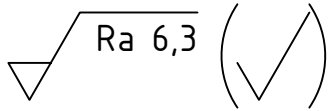
D

D



E

E



MATERIÁL: S235JR (11 375)		ISO 13715		+0,5	-0,2				
POLOTOVAR: -				+0,1	-0,5				
TOLEROVÁNÍ DLE ISO 8015	ISO 14405-1								
PŘESNOST ISO 2768 - mK	ISO 14405-3								
VŠEOB. TOL. ISO 8062 -						INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS

	Autor	Datum		Podpis	Datum	HMOTNOST 0,178 kg	MĚŘÍTKO
NAVRHL	Kateřina Fišerová	15.05.2022	PŘEZK.			SESTAVA	1:1
KRESLIL	Kateřina Fišerová	15.05.2022	SCHVÁLIL			SEZNAM ČÁSTÍ	PROMÍTÁNÍ: $\left[\begin{smallmatrix} \text{A} \\ \text{B} \end{smallmatrix} \right] \oplus$ (ISO E.)

<p>ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE</p>	<p>FAKULTA STROJNÍ</p> <p>v21.1</p>	NÁZEV	Příloha 7
		ČÍSLO VÝKRESU	ROZPĚRNÝ KROUŽEK 1
			TYP: VV

CHRÁNĚNO DLE ISO 16016

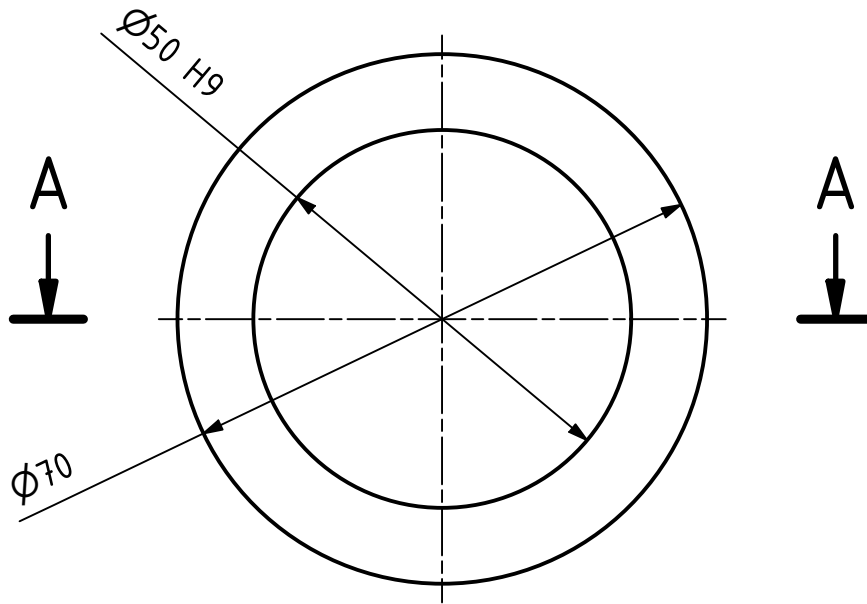
1 2 3 4

LIST: 1/1

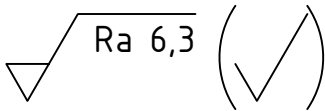
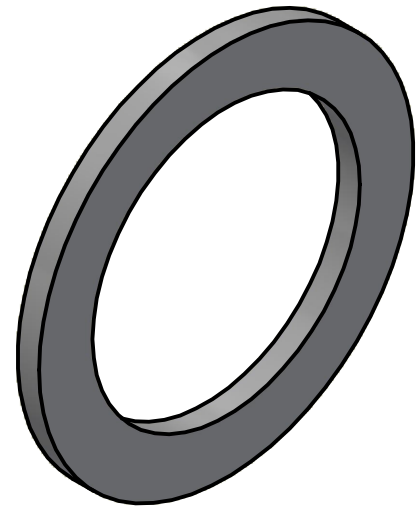
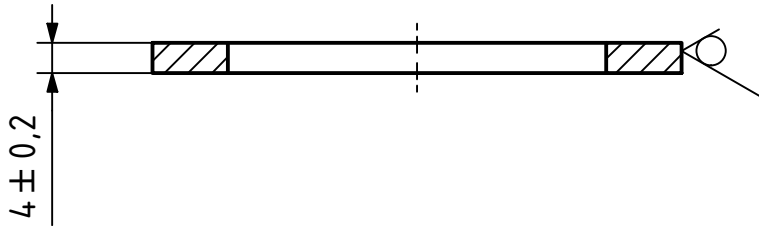
1 2 3 4

A

A



A-A



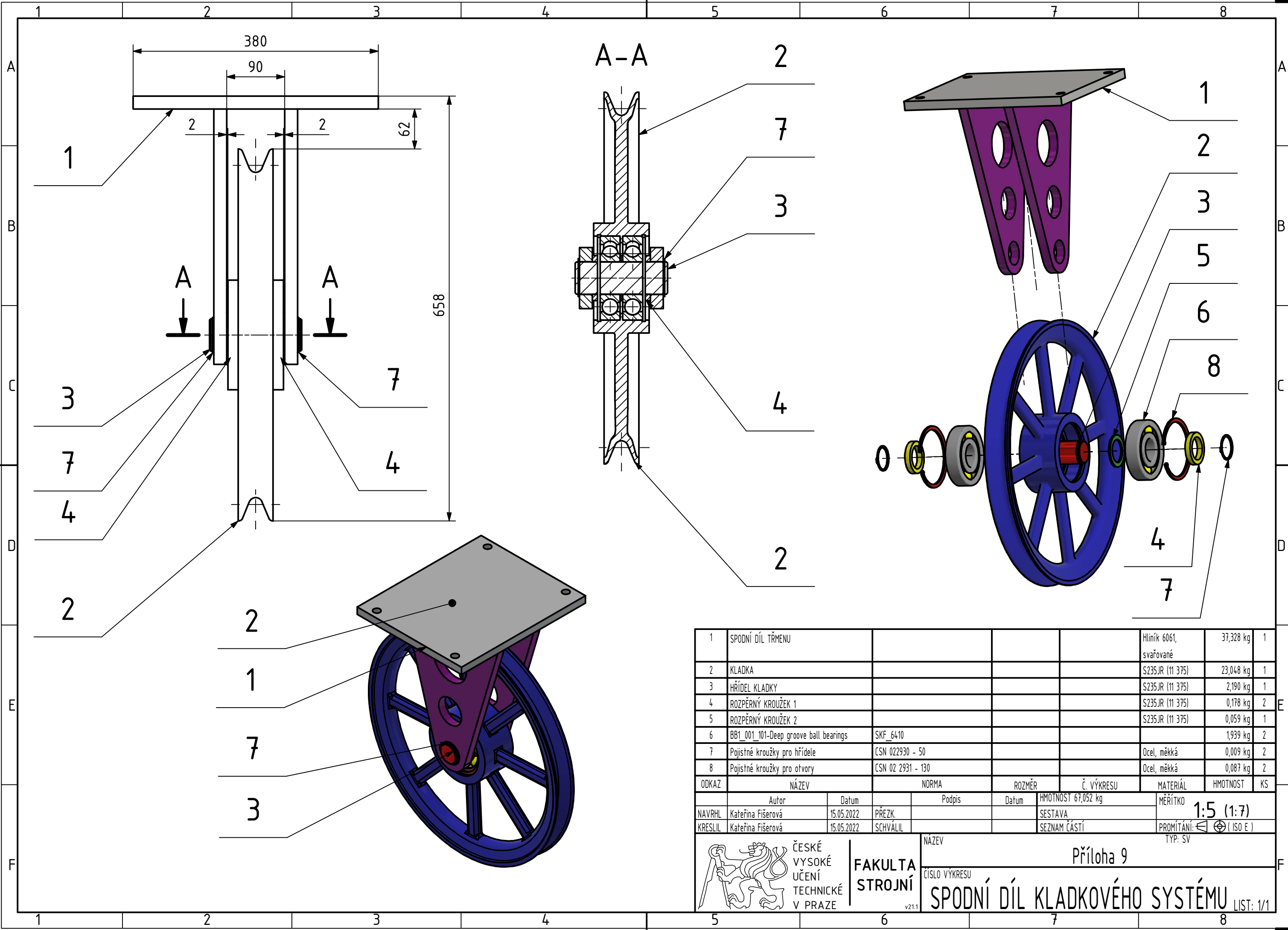
MATERIÁL: S235JR (11 375)		ISO 13715		+0,5	-0,2				
POLOTOVAR: -				+0,1	-0,5				
TOLEROVÁNÍ DLE ISO 8015	ISO 14405-1								
PŘESNOST ISO 2768 - mK	ISO 14405-3								
VŠEOB. TOL. ISO 8062 -						INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS

	Autor	Datum		Podpis	Datum	HMOTNOST 0,059 kg	MĚŘÍTKO
NAVRHL	Kateřina Fišerová	15.05.2022	PŘEZK.			SESTAVA	1:1
KRESLIL	Kateřina Fišerová	08.06.2022	SCHVÁLIL			SEZNAM ČÁSTÍ	PROMÍTÁNÍ: $\left[\begin{smallmatrix} \leftarrow \\ \oplus \end{smallmatrix} \right]$ (ISO E.)

 ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE	FAKULTA STROJNÍ v21.1	NÁZEV	Příloha 8
		ČÍSLO VÝKRESU	ROZPĚRNÝ KROUŽEK 2
			LIST: 1/1

CHRÁNĚNO DLE ISO 16016

1 2 3 4



1	SPODNÍ DÍL TŘMENU				Hliník 6061, svařované	37,328 kg	1
2	KLADKA				S235JR (11 375)	23,048 kg	1
3	HŘÍDEL KLADKY				S235JR (11 375)	2,190 kg	1
4	ROZPĚRNÝ KROUŽEK 1				S235JR (11 375)	0,178 kg	2
5	ROZPĚRNÝ KROUŽEK 2				S235JR (11 375)	0,059 kg	1
6	BB1 001 101-Deep groove ball bearings	SKF 6410				1,939 kg	2
7	Pojistné kroužky pro hřídele	CSN 022930 - 50			Ocel, měkká	0,009 kg	2
8	Pojistné kroužky pro otvory	CSN 02 2931 - 130			Ocel, měkká	0,087 kg	2
ODKAZ	NÁZEV	NORMA	ROZMĚR	Č. VÝKRESU	MATERIÁL	HMOTNOST	KS

NAVŘHL	Kateřina Fišerová	Datum	15.05.2022	PŘEZK.		HMOTNOST	67,052 kg	MĚŘITKO	1:5 (1:7)
KRESLIL	Kateřina Fišerová	Datum	15.05.2022	SCHVÁLIL		SESTAVA		PROMÍTÁNÍ:	ISO E
						SEZNAM ČÁSTÍ		TYP: SV	

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

v21.1

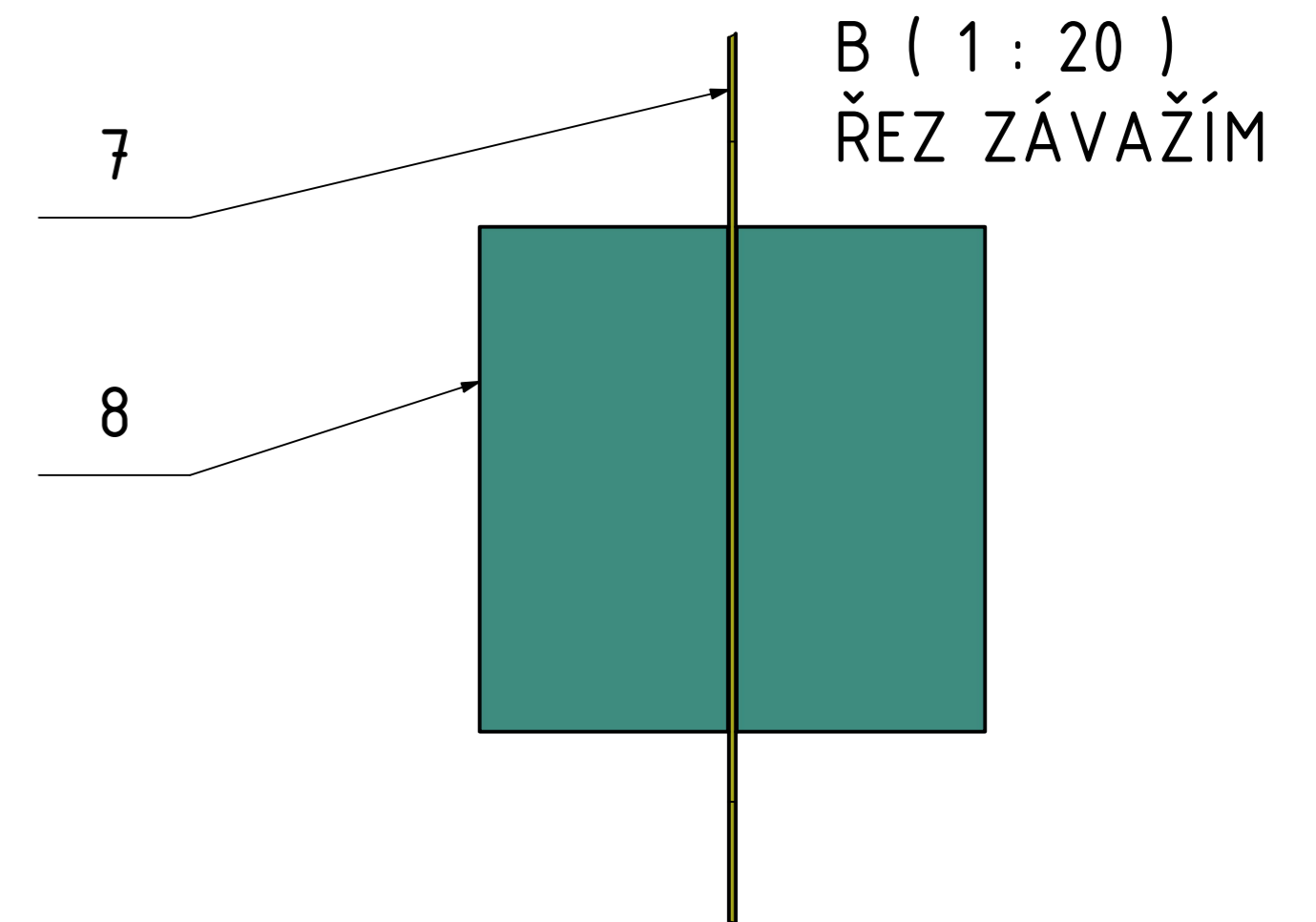
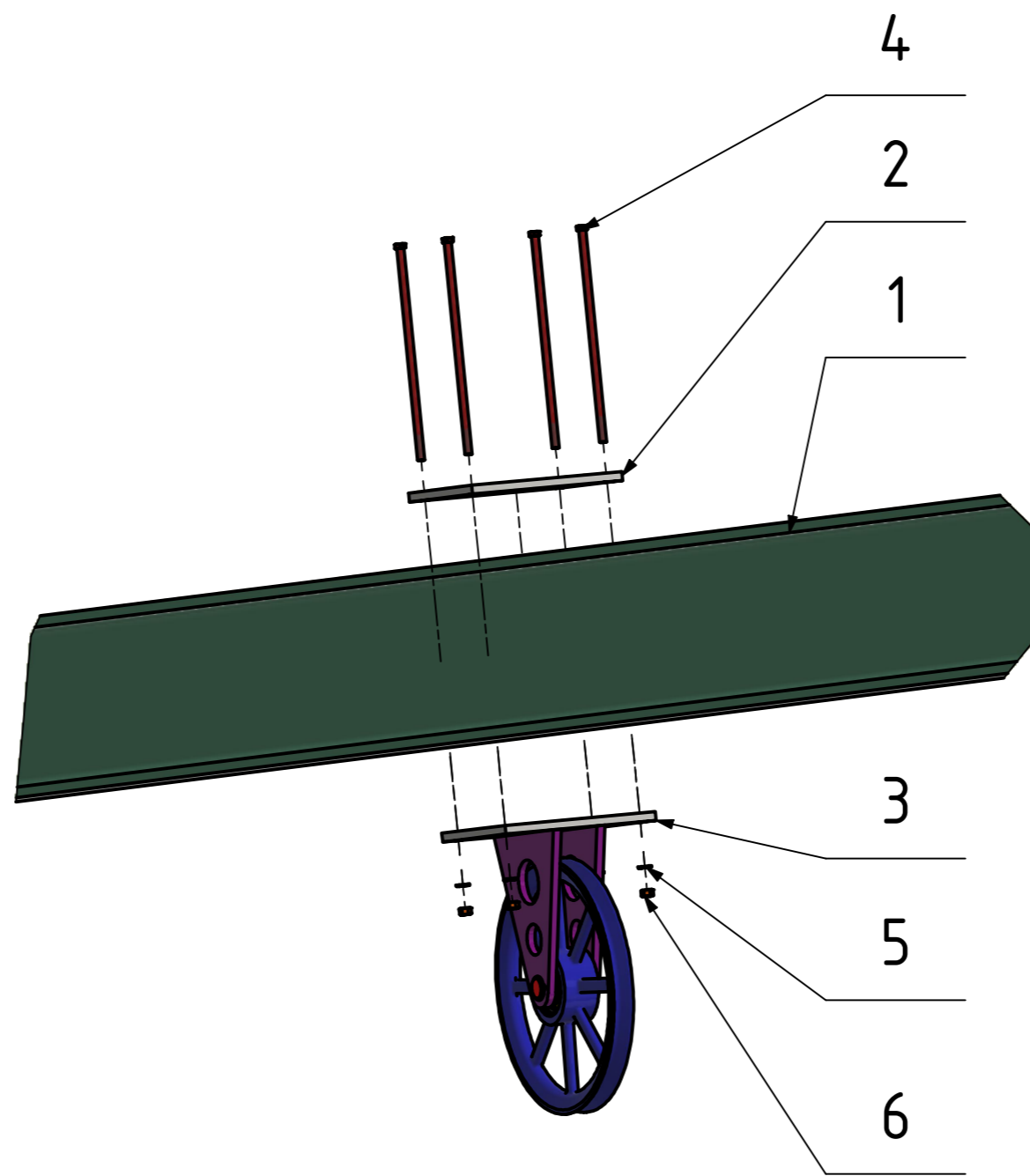
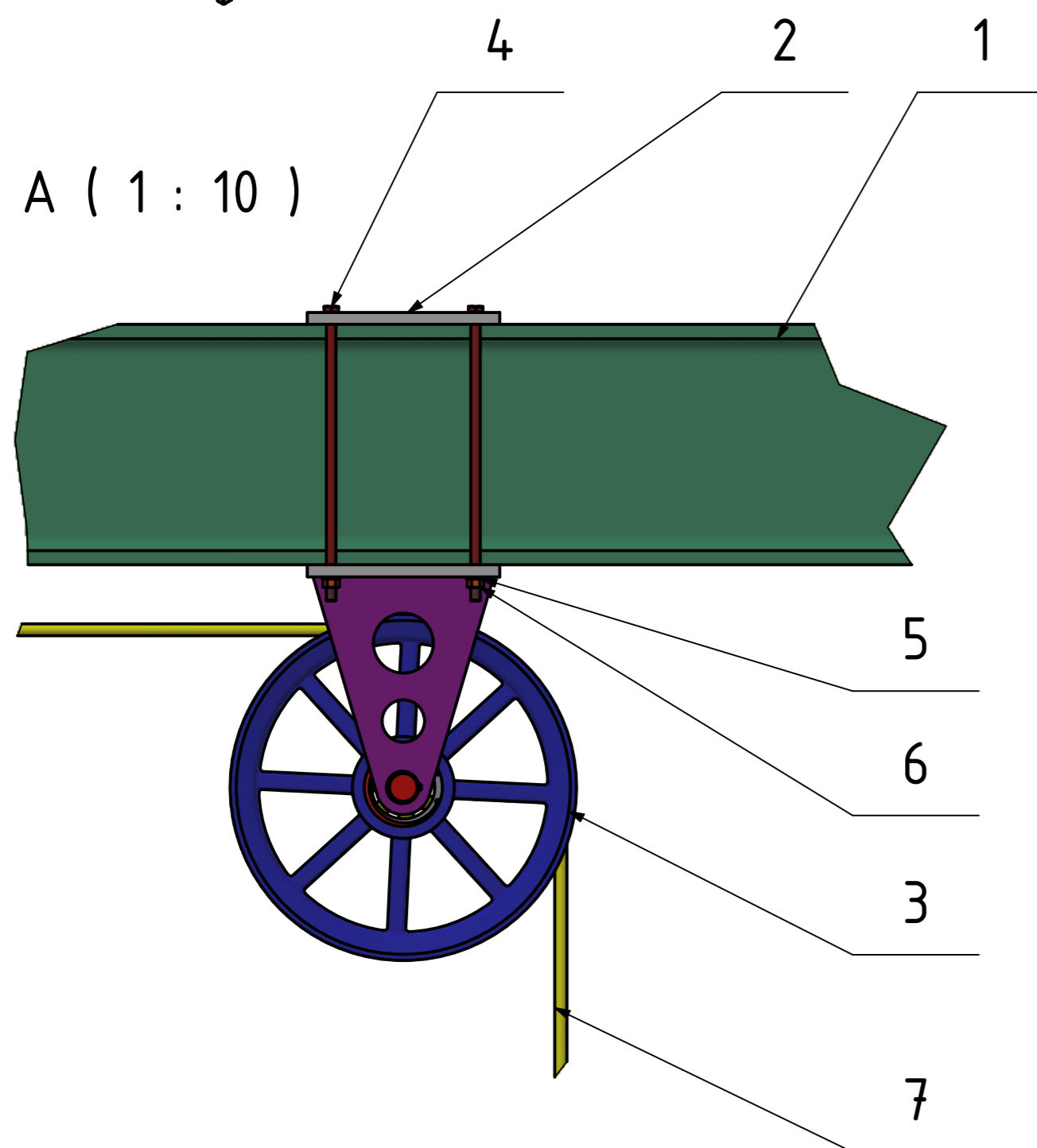
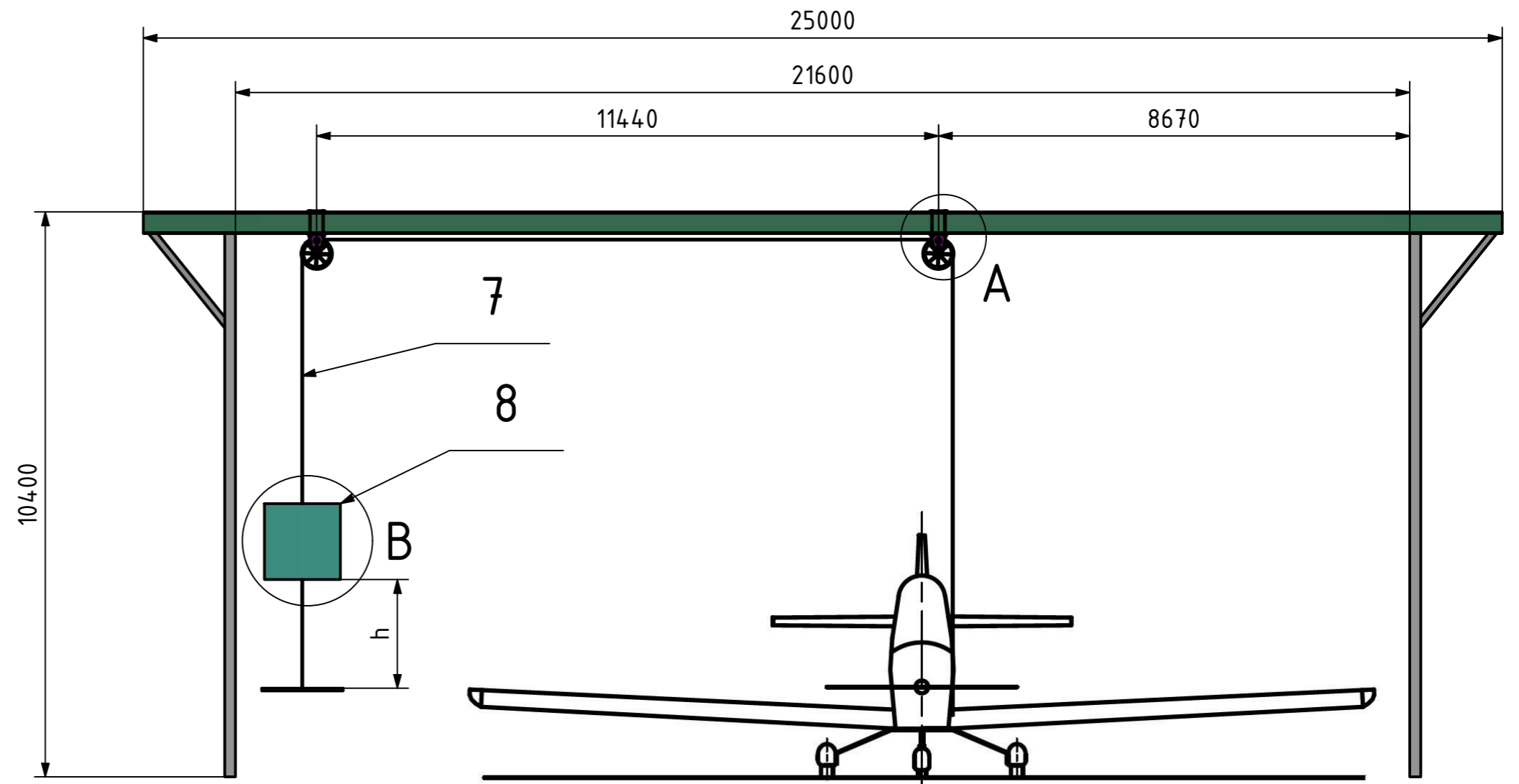
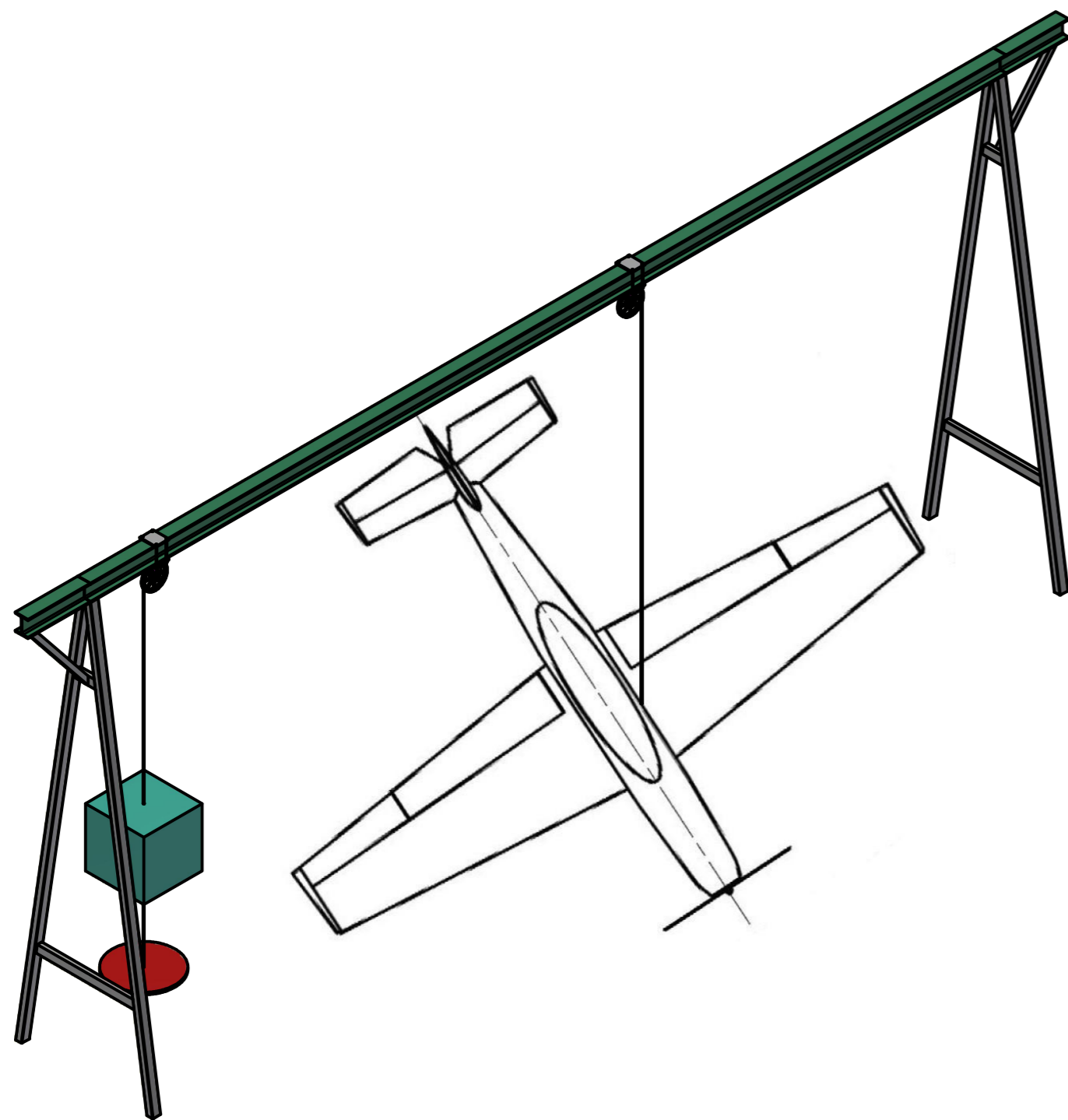
NÁZEV

Příloha 9

ČÍSLO VÝKRESU

SPODNÍ DÍL KLADKOVÉHO SYSTÉMU

LIST: 1/1



8	ZÁVAŽÍ				S235JR (11 375)	21535,005 kg	1
7	LANO				S235JR (11 375)	70,934 kg	1
6	Šestihranné matice, styl 1 - výrobní řada A a B				Nerezová ocel 440C	0,039 kg	8
5	Ploché podložky - normální série - výrobní řada A				Nerezová ocel	0,012 kg	8
4	ISO 4014 (DIN 931)-Hexagon head bolts with shank, product groups A and B				Hexagon head screws ISO 4014 (DIN 931) M16x480 D1000.160.480(High)	0,790 kg	8
3	SPODNÍ DÍL KLADKOVÉHO SYSTÉMU				Hliník 6061, svařované	67,052 kg	2
2	HORNÍ DÍL KLADKOVÉHO SYSTÉMU				S235JR (11 375)	18,922 kg	2
1	ZKUŠEBNÍ RÁM					684,979 kg	1
ODKAZ	NÁZEV	NORMA	ROZMĚR	Č. VÝKRESU	MATERIÁL	HMOTNOST	KS
NAVRHL	kačka	22.03.2022	PŘEZK.		SESTAVA		
KRESLIL	Kateřina Fišerová	08.06.2022	SCHVÁLIL		SEZNAM ČÁSTÍ		


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
 v2.1.1

PŘÍLOHA 10
ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ
 LIST: 1/1