



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

NÁVRH KŘÍDLA PRO LETOUN KATEGORIE CS LSA  
DESIGN OF WING OF CS LSA CATEGORY AIRCRAFT

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

BC. ONDREJ MADOLA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

ING. TOMÁŠ URÍK



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2013/2014

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Ondrej Madola

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Stavba letadel (2301T039)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **NÁVRH KŘÍDLA PRO LETOUN KATEGORIE CS LSA**

v anglickém jazyce:

#### **Design of Wing of CS LSA Category Aircraft**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pokrok v obráběcích a tvářecích technologiích stejně jako rozvoj v CAD systémech umožňuje změnit přístup k výrobě ohýbaných plechových konstrukcí směrem k významnému snížení podílu manuální práce a počtu potřebných přípravků při sestavování jednotlivých dílů těchto konstrukcí. Přímými důsledky aplikace těchto progresivních postupů jsou například zlepšení přesnosti konstrukcí a nezanedbatelný pokles výrobních nákladů.

Cíle diplomové práce:

Hlavním cílem diplomové práce je provedení konstrukčního a technologického návrhu křídla s uvážením výše zmíněných progresivních metod pro letoun schvalovaný podle předpisu CS LSA.

Seznam odborné literatury:

1. Výkresová dokumentace projektu
2. CS LSA

Vedoucí diplomové práce: Ing. Tomáš Urík

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 18.11.2013

L.S.

---

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

## Abstrakt

Cieľom diplomovej práce je konštrukčný a technologický návrh krídla s výrazným znížením podielu manuálnej práce a počtu prípravkov pri zostavovaní dielov konštrukcie.

Prvou časťou práce je objasnenie problematiky obrábania a tvárnenia plechových dielov krídla a tiež využitie CAD systémov. V ďalšej časti je opísaných niekoľko konštrukčných návrhov krídla, ich pevnostná kontrola a porovnanie ceny a hmotnosti hlavného nosníka s nosníkom vyrobeným z L-profilov. Nasleduje technologický postup výroby jednotlivých dielov konštrukcie a kontrola lemov plechových dielcov konštrukcie. Záver práce je venovaný montážnemu postupu zostavenia krídla.

### Kľúčové slová

Konštrukčný a technologický návrh krídla, metódy obrábania a tvárnenia plechových konštrukcií, technológia výroby, CAD systémy, montážny postup, integrálne frézovaný nosník

### Abstract

The aim of the thesis is design and technological design of wing with significant reduction manual work and number of preparations in preparing part of structures. The first part of the work is to explanation the issues and machining metal parts forming wings and also the use of CAD systems. The next section describes several design proposals wings, strength test and compare price and weight of main girders with beams made of L-profiles. Followed by the technological process of production individual part design and control hems of sheet metal part design. The conclusion is dedicated to building assembler wings.

### Keywords

Design and technological design wing, machining methods and ductile metal structures, production technology, CAD systems, installation procedure, integrally milled beam

## **Bibliografická citácia**

Madola, O.: Návrh křídla pro letoun kategorie CS LSA, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. Vedúci diplomovej práce Ing. Tomáš Urík.

## **Čestné vyhlásenie**

Čestne vyhlasujem, že som diplomovú prácu na tému: **NÁVRH KŘÍDLA PRO LETOUN KATEGORIE CS LSA**, vypracoval samostatne, s použitím literatúry a materiálov uvedených v zozname použitej literatúry.

.....  
Podpis

## **Pod'akovanie**

Rád by som sa poďakoval vedúcemu diplomovej práce Ing. Tomášovi Uríkovi za pomoc pri vypracovaní diplomovej práce a za poskytnutie študijných materiálov a taktiež Ing. Martinovi Držičkovi za poskytnutie všetkých informácií ohľadom požadovaného krídla.



## Obsah

1	Úvod .....	12
2	Prehľad progresívnych metód v obrábaní a tvárnení plechových konštrukcií a CAD systémov .	13
2.1	Progresívne metódy obrábania .....	13
2.1.1	Mechanické obrábanie.....	13
2.1.2	Tepelné a elektrotepelné obrábanie.....	15
2.2	Progresívne metódy tvárnenia.....	19
2.2.1	Tvárnenie nepevným nástrojom .....	19
2.2.2	Tvárnenie kvapalinou.....	22
2.3	CAD-systémy .....	24
3	Konštrukčný návrh krídla .....	27
3.1	Hlavný nosník .....	27
3.2	Pomocný nosník .....	29
3.3	Rebro .....	29
3.4	Poťah .....	30
3.5	Tvarujúce príložky .....	30
3.6	Vztlaková mechanizácia.....	31
3.7	Krídélka.....	31
3.8	Závesy .....	32
3.9	Nastupovanie.....	33
3.10	Svetlo.....	34
3.11	Pitotová trubica .....	34
4	Pevnostná kontrola konštrukcie krídla .....	35
4.1	Zaťaženie krídla .....	35
4.2	Systémový model krídla.....	37
4.3	Pevnostná kontrola nosníka.....	38
4.3.1	Parametre pomocného nosníka.....	38
4.3.2	Hlavný nosník .....	39
4.4	Pevnostná kontrola rebra.....	51

4.5	Pevnostná kontrola časti krídla, určenej na nastupovanie .....	54
4.6	Pevnostná kontrola vztlakovej mechanizácie .....	56
4.7	Pevnostná kontrola krídelka .....	57
4.8	Pevnostná kontrola závesov.....	61
4.9	Pevnostná kontrola svetla .....	63
4.10	Pevnostná kontrola počahu .....	64
4.11	Zhodnotenie pevnostnej kontroly .....	65
5	Cena a hmotnosť hlavného nosníka .....	66
6	Optimalizácia konštrukcie krídla .....	68
7	Technologický návrh výroby krídla.....	69
7.1	Obrábanie materiálu .....	69
7.2	Tvarovanie materiálu.....	70
7.3	Začistenie hrán.....	70
7.4	Otvory pre nity .....	70
7.5	Povrchová úprava .....	71
7.6	Spoje.....	71
7.7	Technológia výroby niektorých dielov .....	72
8	Kontrola lemov plechovej konštrukcie krídla.....	79
8.1.1	Minimálny polomer .....	79
8.1.2	Uhol odpruženia .....	79
8.1.3	Kontrola na presahujúci lem.....	79
8.1.4	Kontrola vonkajšieho lemu.....	80
8.1.5	Kontrola vnútorného lemu.....	81
8.1.6	Kontrola otvoru.....	81
8.1.7	Kontrola pretlačku .....	82
8.2	Kontrola lemov jednotlivých plechových častí .....	82
8.2.1	Zadný nosník .....	82
8.2.2	Predné rebro.....	83
8.2.3	Zadné rebro.....	84

8.2.4	Koncové rebro .....	86
8.2.5	Poťah na klapke a krídelku.....	87
8.2.6	Rebro v krídelku.....	87
8.2.7	Rebro v klapke .....	89
8.2.8	Prepákovanie mechanizmu ovládania krídeliek .....	90
8.2.9	Nastupovanie.....	90
8.2.10	Svetlo.....	91
9	Montážny postup krídla.....	92
9.1	Montážny postup krídelka.....	92
9.2	Montážny postup ovládania krídeliek .....	93
9.3	Montážny postup vztlakovej mechanizácie.....	94
9.4	Montážny postup prvého rebra ohraničujúceho nádrž .....	96
9.5	Montážny postup poťahového plechu .....	97
9.6	Montážny postup nosnej časti krídla .....	97
9.7	Kompletizácia krídla .....	102
11	Záver.....	106
12	Zoznam použitej literatúry.....	107
13	Zoznam skratiek a značiek .....	109
14	Zoznam obrázkov .....	113
15	Zoznam tabuliek .....	117
16	Zoznam príloh .....	122
	Príloha č.1 .....	123
	Príloha č.2 .....	140
	Príloha č.3 .....	158

## 1 Úvod

Diplomová práca sa bude zaoberať konštrukčným a technologickým návrhom krídla pre kategóriu CS LSA. Hlavnými požiadavkami je zníženie manuálnej práce pri výrobe z dôvodu automatizácie výroby, počtu prípravkov a výrobných nákladov.

Práca vznikala v spolupráci s firmou EVEKTOR spol.r.o, ktorá poskytla potrebné materiály k vypracovaniu tejto témy, ako napríklad zaťaženie a geometriu krídla. Ďalšie informácie boli poskytnuté Ing. Martinom Drštičkom.

Krídlo je určené pre letúň EVEKTOR Sportstar.

Informácie o letúni EVEKTOR Sportstar:

Dĺžka: 5,98m  
Výška: 2,48m  
Rozpätie: 8,65m

Motor:	Rotax 912 ULS (100HP)	Rotax 914 UL2 (115HP)
Užitočné zaťaženie:	290kg	281kg
Maximálna vzletová hmotnosť:	600kg	600kg
Prázdna hmotnosť:	310kg	319kg
Prevádzkové násobky:	+4/-2g	+4/-2g
Kapacita nádrže:	120l	120l

Maximálna rýchlosť:	270km/h	270km/h
Cestovná rýchlosť:	213km/h	240km/h
Pádová rýchlosť:	74km/h	74km/h
Stúpavosť:	5,2m/s	6,7m/s
Dostup:	4 720m	8230m
Dolet:	1 300km	1 110km
Dĺžka vzletovej dráhy:	190m	170m
Dĺžka pristávacej dráhy:	180m	180m

## 2 Prehľad progresívnych metód v obrábání a tvárnení plechových konštrukcií a CAD systémov

### 2.1 Progresívne metódy obrábania

Progresívne metódy obrábania sa používajú pre svoju dobrú schopnosť obrobenia tvarovo zložitých súčiastok. Ich najväčšou výhodou je obrábanie materiálu bez závislosti na jeho fyzikálnych a mechanických vlastnostiach a taktiež obrábaná časť je iba minimálne tepelne namáhaná. Oproti tomu sú veľmi energeticky náročné, a majú nízku produktivitu.

Metódy obrábania možno rozdeliť na obrábanie mechanické, chemické, elektrochemické, tepelné a elektrotepelné [2].

#### 2.1.1 Mechanické obrábanie

Mechanické obrábanie je spôsob obrábania, pri ktorom sa mechanicky odstraňuje materiál vo forme triesky.

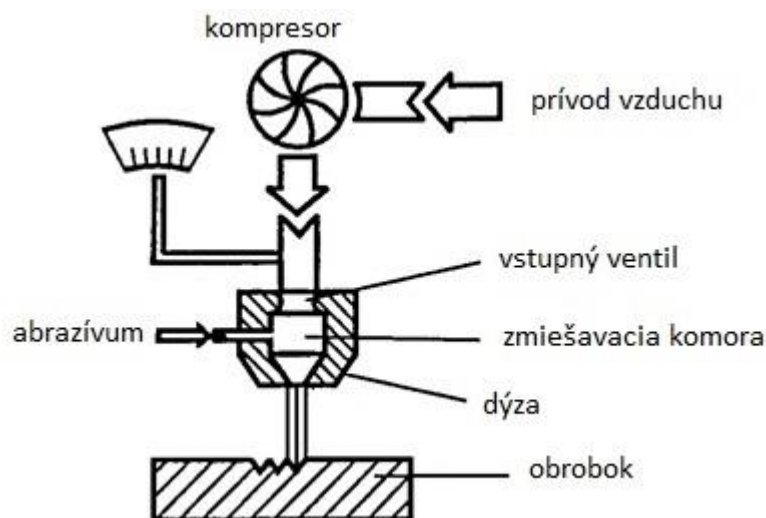
##### Obrábanie abrazívnymi lúčom (abrasive jet machining - AJM)

Abrazívum sa nachádza v prúde vysokorýchlostného stlačeného plynu. Používa sa prevažne na čistenie povrchov a rezanie malých dielov z krehkých materiálov.

Princíp spočíva v mechanických nárazoch abrazíva, ktoré odoberá materiál [2].

Parametre obrábania abrazívnym lúčom:

- tlak plynu a abrazíva 5 až 8MPa
- ako plyn sa používa: vzduch, dusík, oxid uhličitý a iné vysokočisté plyny
- veľkosť abrazíva 10 až 60 $\mu$ m
- rýchlosť prúdu zmesi 150 až 300m/s
- vzdialenosť medzi materiálom a dýzou je 0,8 až 75mm
- tok abrazíva 10 až 20g/min
- rýchlosť posuvu 0,03 až 0,2mm/s



Obrázok 1: Obrábanie abrazívnym lúčom

## Obrábání vodným lúčom

Obrábání vodným lúčom je známe aj pod pojmom hydrodynamické obrábání. Tento druh technológie sa objavil už v sedemdesiatych rokoch minulého storočia, pri rezaní dreva a plastov. Obrábání vodným lúčom je možné zaradiť k vysoko-rýchlostnému erozívnemu proces, alebo ako proces riadeného erozívného opotrebenia.

Rezanie vodným lúčom spočíva v odoberaní materiálu silným prúdom vody, ktorý má vysokú rýchlosť a kinetickú energiu. Pridaním abrazívneho materiálu do vodného lúča, možno rozšíriť jeho využitie. Vodný lúč je generovaný vysokým tlakom, ktorý prechádza dýzou. Vodný lúč sa pohybuje po zaoblenej dráhe, ktorej polomer sa mení v závislosti od dĺžky oblúka. Prechodom lúča cez materiál vzniká trenie medzi lúčom a obrobkom, ktoré lúč spomaľuje a môže sa deformovať. Táto deformácia je závislá na hrúbke materiálu. Preto sa rez môže skladať z dvoch častí: z hladkej zóny, ktorá sa nachádza pri povrchu rezu a z ryhovanej zóny, ktorá vzniká ako dôsledok nedostatočnej energie lúča [11] [9] [21].

Druhy používaných vodných lúčov:

- pulzný lúč – krátkodobým pôsobením vodného lúča vznikajú tlakové špičky, ktoré urýchľujú odber materiálu
- kontinuálny lúč – stála energetická hladina vodného lúča, najpoužívanejšia metóda
- kavitačný lúč – vodný lúč obsahuje kavitačné bublinky, ktoré napomáhajú deštrukcii materiálu a jeho následnému odberu
- kryogénny lúč – vodný lúč obsahuje kryštálíky ľadu v tvare guľôčok, ktoré sú kalibrované

### Obrábání čistým vodným lúčom (water jet machining - WJM)

- pracovný tlak vody 60 až 690MPa
- rezacím médiom je filtrovaná, zmäkčená a deionizovaná voda

### Obrábání abrazívnym vodným lúčom (abrasive water jet machining - AWM)

- pracovný tlak vody 300 až 400MPa
- do vodného lúča sa pridáva malé množstvo abrazíva
- veľkosť abrazíva je 0,5 až 1,2 $\mu$ m
- ako abrazívum sa používa: granát, oxid hlinitý, olivín, kremičitý piesok, oceľová drvina, minerálny piesok
- abrazívny vodný lúč sa tiež využíva na sústruženie, vrtanie, frézovanie a rezanie závitov
- možnosť rezať všetky druhy materiálov

Parametre vodného lúča:

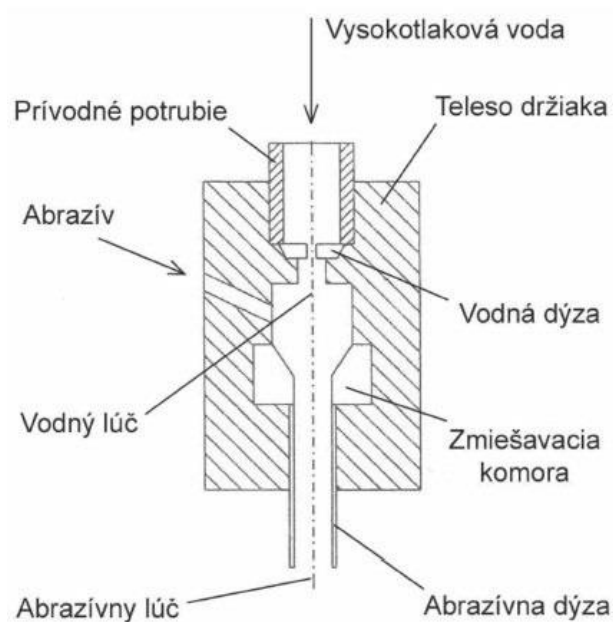
- vzdialenosť obrobku od dýzy od 2,5 do 25mm
- šírka lúča 0,1 až 2,5mm
- spotreba vody od 26l/hod
- rýchlosť lúča 600 až 900m/s
- ako materiál dýzy sa používa zafír, spekaný karbid wolfrámu, karbid bóru, nehrdzavejúca oceľ, diamant
- šírka rezu je obvykle o 0,3mm širšia ako priemer dýzy

výhody obrábání vodným lúčom:

- studený rez, možnosť rezať materiál s malou tepelnou vodivosťou
- vyššia rýchlosť rezania
- energetická účinnosť až 80%
- jedno čerpadlo môže napájať až 70 dýz WJM, alebo 8 dýz AWM
- malé deformačné napätie v opracovanej vrstve
- bezprašné rezanie, z materiálu sa neuvolňujú nežiaduce látky do ovzdušia
- rezanie rôznych tvarov v rôznych smeroch a uhloch a rezanie aj 3D
- možnosť využiť vodný lúč aj pri sústružení, frézovaní, vrtaní a rezaní závitov
- rezanie pod vodnou hladinou
- zmenou tlaku je možné materiál oplachovať, otryskávať, čistiť alebo rezať
- obrobok nie je nutné pevne upínať

nevýhody obrábání vodným lúčom:

- okolitý vzduch nepriaznivo ovplyvňuje lúč
- vodný lúč sa môže deformovať
- vylamovanie materiálu v mieste výstupu lúča
- životnosť dýz 100hodín pre WJM a 50 hodín pre AWM
- hlučnosť
- možná korózia obrábaného materiálu



Obrázok 2: Obrábání abrazívnym vodným lúčom

### 2.1.2 Tepelné a elektrotepelné obrábání

Tepelné a elektrotepelné procesy obrábání využívajú ako hlavný zdroj tepelnú energiu na odber materiálu. Vo forme fotónového, elektrónového, iónového a plazmového lúča.

Úber materiálu nastáva zvyšovaním vnútornej energie materiálu tesne pod povrchom, ten sa následne roztaví a odparí. Tento proces prebieha na atomarnej úrovni. Pri energolúčových procesoch sa rozmery úberu materiálu pohybujú v rozmedzí jedného atómu

až jedného zrna materiálu. Hodnota energie privedenej lúčom musí byť väčšia ako suma väzbovej energie mriežky [2].

Tento druh obrábania možno rozdeliť:

- elektroerozívne
- lúč častíc

### Elektroerozívne obrábanie (electrical discharge machining EDM)

Princíp elektroerozívneho obrábania spočíva v elektrickom výboji medzi dvomi elektródami: obrobok a nástroj. Materiál sa odťavuje vo forme malých guľôčiek, ktoré sa následne odplavia v dielektriku (kvapalnú médium), ktoré prúdi medzi elektródami. V mieste výboja sa tvorí kráter, malá jamka.

Tento proces bol objavený pri výskume opotrebenia kontaktov na elektrických spínačoch [12].

Parametre elektroerozívneho obrábania:

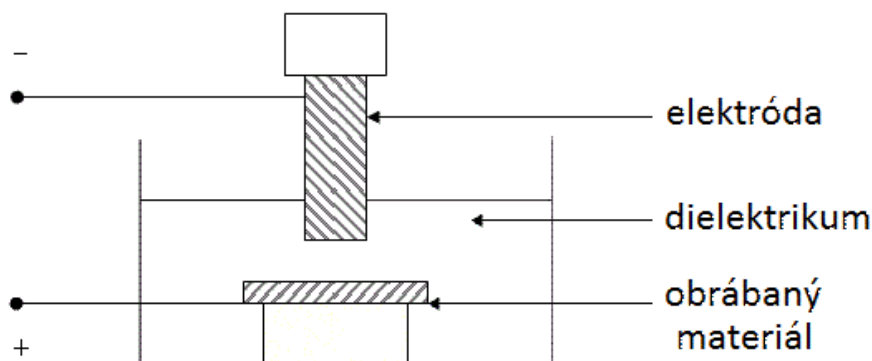
- doby výboja  $10^{-7}$  až  $10^{-4}$  s, s frekvenciou 0,1 až 200kHz
- koncentrácia energie  $10^5$  až  $10^7$  W/mm<sup>2</sup>
- vzdialenosť medzi elektródou a materiálom 0,01 až 0,4mm
- teplota až 10 000°C
- drsnosť povrchu  $R_a = 0,8$  až 0,2

Výhody elektroerozívneho obrábania:

- možnosť obrábať veľmi tvrdé materiály

Nevýhody elektroerozívneho obrábania:

- obrábanie iba elektricky vodivých materiálov
- malá životnosť elektród



Obrázok 3: Elektroerozívne obrábanie

### Obrábanie laserovým lúčom

Laser je kvantovo elektronický zosilňovač a generátor svetelných vln, ktorý je vysoko monochromatický a všetky častice v laserovom lúči sú v rovnakej fáze v rovine kolmej na smer šírenia sa lúča a rozbiehavosť lúča je minimálna. Pre tieto vlastnosti je možné laserový lúč sústrediť do malého bodu. Absorpcia svetelného žiarenia má za následok roztavenie a následne odparenie materiálu, lokálny ohrev v tomto bode môže byť až 10 000°C. Kovové



materiály majú vysokú odrazivosť, preto je vhodné obrábaný povrch zdrsnit'. Odrazivosť sa znižuje so zvyšujúcou teplotou a najmenšia je pri teplote tavenia.

Pri rezaní laserom možno použiť plyn O<sub>2</sub> na urýchlenie oxidácie materiálu. Pri vysokom prúde O<sub>2</sub> vzniká ryhovaná hrana obrábaného materiálu, tomu je možné zabrániť zvýšením posuvu lúča. Ohrev materiálu je plynulejší a dosahuje sa hladší povrch [4] [23].

Parametre laserového obrábania:

- výstupná energia 10 – 15J
- trvanie impulzu 1ms
- výkon 10 -15kW
- priemer svetelnej stopy 0,01mm
- hustota výkonu 10<sup>8</sup> W/mm<sup>2</sup>
- hrúbka rezaného materiálu až 20mm
- rýchlosť rezania 1 až 12m/min

Lasery možno rozdeliť:

Podľa používaného aktívneho prostredia:

- tuhý – rubín (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), granát (Nd – YAG)
- plyný – CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Ar<sub>2</sub>, He<sub>2</sub>, Ne<sub>2</sub>
- polovodičový
- iónový – Ar + excimer

Podľa frekvencie vysielaného žiarenia:

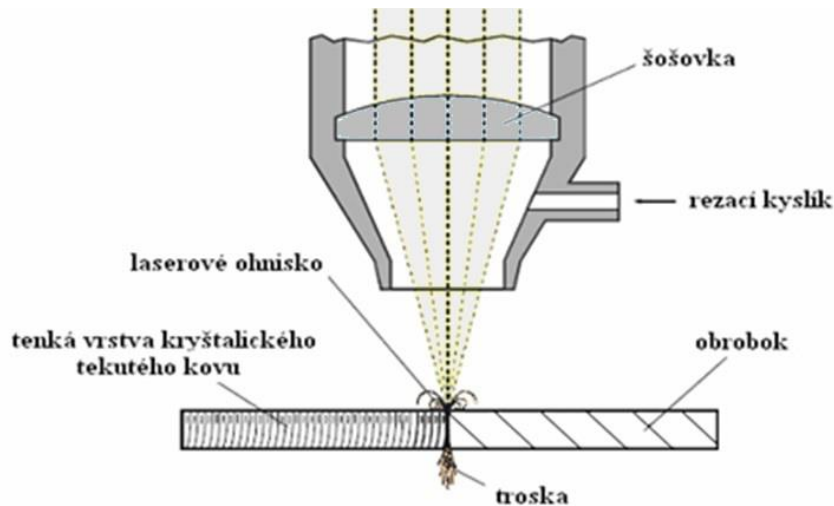
- infračervené
- svetelné žiarenie
- ultrafialové žiarenie
- röntgenové žiarenie

Výhody aplikácie laseru:

- tichá a čistá prevádzka
- možnosť obrábať aj ťažkoobrobiteľné materiály
- minimálne rozmery rezu

Nevýhody aplikácie laseru:

- nepravidelnosť hrán
- tvorenie mikrotrhlín
- zvyškové napätie



Obrázok 4: Obrábanie laserovým lúčom

### Obrábanie elektrónovým lúčom

Využíva sa koncentrovaný lúč elektrónov, ktorý sa zamieri na veľmi malú plochu. Pri náraze elektrónov na materiál dochádza k premene kinetickej energie elektrónov na tepelnú energiu. Čoho následkom je natavenie a odpareniu materiálu. Lúč je možné usmerniť magnetickým poľom [5].

Parametre obrábania elektrónovým lúčom:

- priemer lúča 0,003mm
- hustota energie  $10^7$ W/mm
- využíva sa pulzný režim obrábania, čas impulzu 2 až 100 $\mu$ s, s frekvenciou 0,5 až 10kHz
- anódový prúd 80 až 150kV

výhody obrábania elektrónovým lúčom:

- dokáže obrobiť aj keramiku, drahokamy a ťažkoobrobiteľné zliatiny
- obrábanie tenkých materiálov
- vŕtanie otvorov s priemerom 0,05 až 1mm
- vysoká účinnosť nad 95%
- nízke náklady na prevádzku stroja

nevýhody obrábania elektrónovým lúčom:

- práca vo vákuu

### Obrábanie plazmovým lúčom

Plazma je elektricky vodivý stav plynu, ktorý vzniká ionizáciou plynu pri vysokých teplotách, až 20 000°C, alebo pri elektrickom výboji. Ako zdroj tepelnej energie sa využíva elektrický oblúk. Elektrický oblúk je medzi netaviteľnou elektródou, zvyčajne zhotovenou z wolfrámu a obrábaným materiálom.

Princíp obrábania plazmou je založený na odtavovaní materiálu vysokou teplotou. Pri styku plazmy z obrábaným materiálom dochádza k roztaveniu a následne odpareniu materiálu.

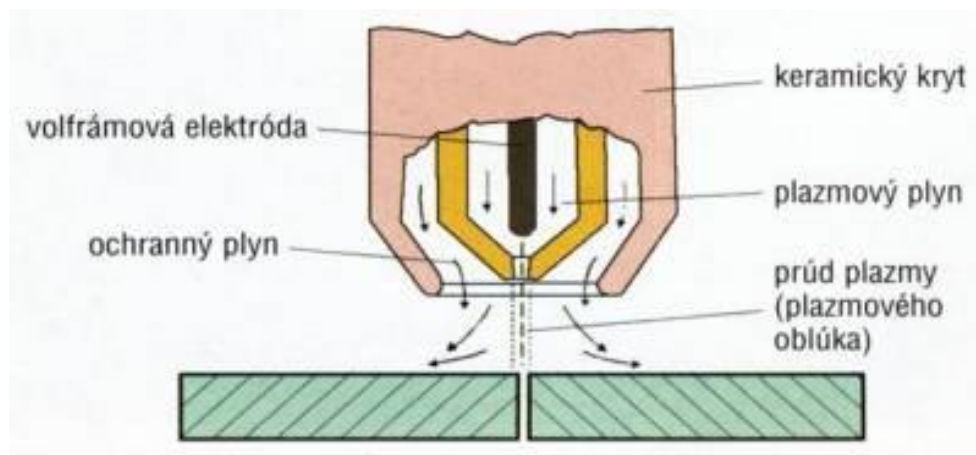
Aby hustota energie bola čo najvyššia, lúč sa zaostruje do úzkeho zväzku. Pre vysokú stabilitu plazmového lúča, je nevyhnuté chladiť plazmový horák. To je zabezpečené vnútornou konštrukciou plazmového horáka. Ako chladiace médium môže byť použitá voda alebo plyn. V súčasnej dobe sa používa chladenie zmesi argónu, dusíka, vodíka a stlačeného vzduchu [7] [22].

výhody obrábania plazmovým lúčom:

- možnosť rezať vysokolegované ocele, hliník, titán, kobalt
- možnosť použitia aj pod vodnou hladinou
- hrúbka rezaného materiálu do 150mm
- lepšia kvalita rezu pri hrubších materiáloch

nevýhody obrábanie plazmovým lúčom:

- vznik dymu, prachu, hluku
- UV žiarenie
- vyskytujú sa na reze miesta ovplyvnené teplom
- vznik škodlivých oxidov dusíka, nutnosť odsávať
- ekonomicky nákladné
- hrúbka rezu



Obrázok 5: Obrábanie plazmovým lúčom

## 2.2 Progressívne metódy tvárnenia

Tvárnenie je technologická operácia, pri ktorej dochádza k zmene tvaru počiatočného materiálu pôsobením vonkajších síl. Pri tvárnení dochádza k spevneniu materiálu v mieste ohybu, čím sa menia jeho mechanické vlastnosti. Pri klasických metódach tvárnenia dochádza medzi nástrojom a tvarovaným materiálom k veľkému treniu a nepriaznivým stavom napätosti. Progressívne metódy tvárnenia tieto nedostatky eliminovali na minimum [19] [17].

### 2.2.1 Tvárnenie nepevným nástrojom

Ťahanie je technologický proces, pri ktorom sa z rovinného polotovaru vyrobí priestorový výtlačok a to jedným alebo viacerými procesmi.

Metódami ťahanie nepevným nástrojom je možné dosiahnuť vysokú kvalitu povrchu, bez stôp po ťahaní. Ďalšou výhodou je ťahanie malých a stredných sérii, relatívne nízka cena nástroja a univerzálnosť ťažnice [6] [24].

### Metóda GUERIN

Gumový vankúš nahradzuje pevnú ťažnicu. K vytvoreniu potrebného tlaku je ale za potreby lis s väčším výkonom, vzhľadom na trenie a deformáciu gummy. Deformácia gummy spôsobuje aj značné opotrebenie gumového vankúša, preto je vhodné použiť viac vrstiev gummy, alebo ťažnicu z plastu. Životnosť gumového vankúša je približne 2 000 výťahkov.

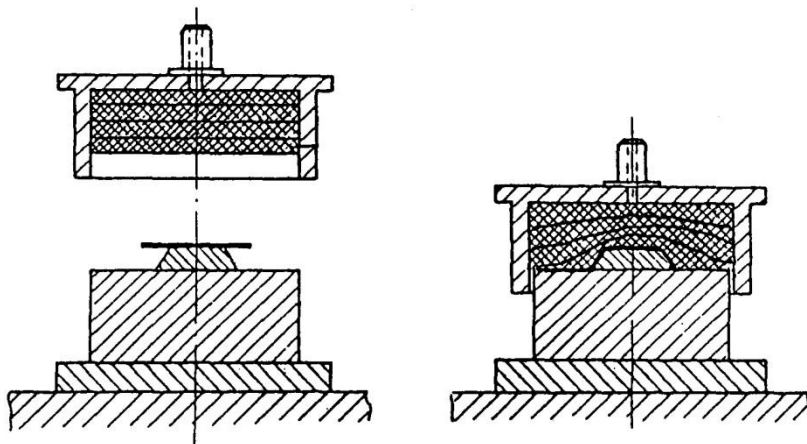
Ťahaním gumovým nástrojom je možné vykonávať iba plytké ťahanie, pretože okraje materiálu nie sú pridržiavané žiadnou silou a tým hrozí zvlnenie, alebo zhortenie okrajov materiálu [6] [20].

Výhody metódy GUERIN:

- ťažník nie je nutné robiť z ocele
- univerzálnosť ťažnice
- možnosť ťahať rôzne tvary a rozmery
- možnosť tvárniť viac polotovarov naraz

Nevýhody metódy GUERIN:

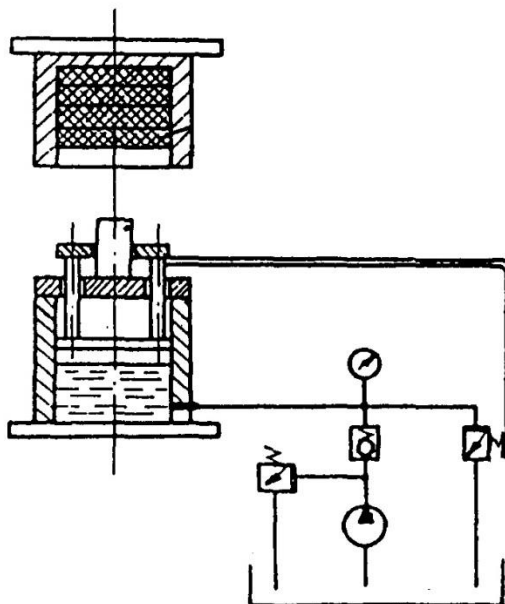
- tvarovanie mäkkých alebo tenkých plechov



Obrázok 6: Metóda GUERIN

### Metóda MARFORM

Metóda je podobná ako pri ťahaní gummy, ale ťahaný materiál je hydraulicky pridržiavaný. Prítlačná sila pridržiavača je závislá na zdvihu mechanickej časti lisu. Tlak v pridržiavači je ovládaný regulačným ventilom. Touto metódou je možné prevádzať aj hlboké ťahanie, keďže okraje materiálu sú pridržiavané, a nehrozí zvlnenie okrajov [6] [20].

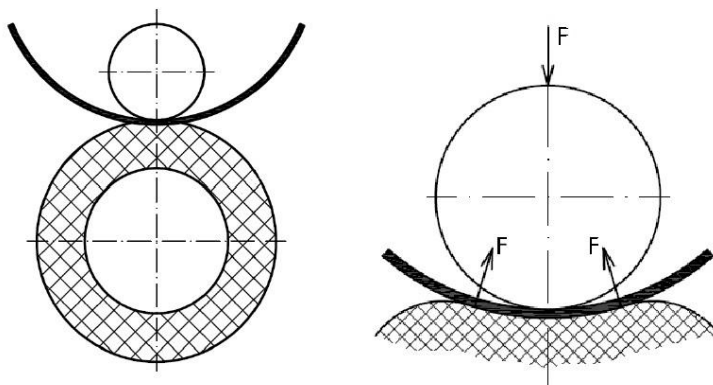


Obrázok 7: Metóda MARFORM

### Dvojvalcové zakružovanie

Pri zakružovaní dvojvalcovou metódou sa využívajú iba dva valce, na rozdiel od klasickej trojvalcovej metódy.

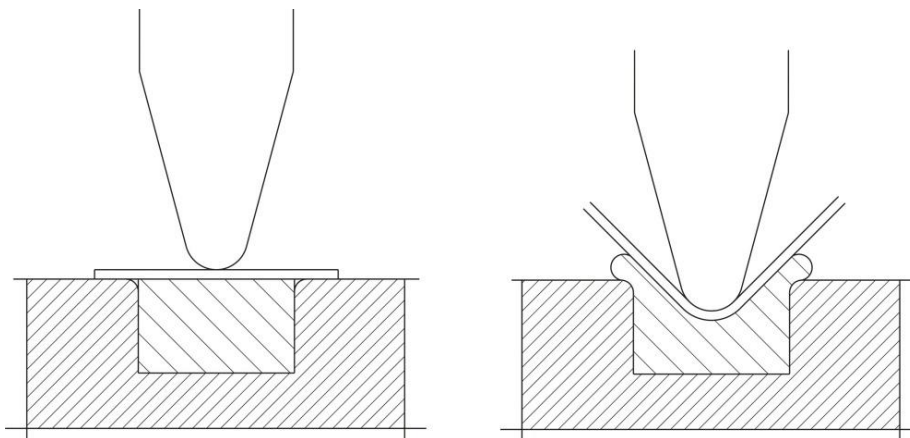
Jeden valec je z pevného materiálu a druhý je potiahnutý nepevným materiálom, gumou alebo polyuretánom. Pri pôsobení tlaku medzi valcami, dochádza k deformácii povrchu nepevného valca. Materiál ktorý prechádza pomedzi valce, je zakružovaný ohybovým momentom ktorý vzniká deformáciou nepevnej vrstvy. Polomer ohybu je možné meniť vyvíjaným tlakom medzi valcami [6].



Obrázok 8: Dvojvalcové zakružovanie

### Ohýbanie otvoreným nástrojom

Otvorený nástroj slúži iba k ohýbaniu materiálu. Ohybica je z pružného materiálu do ktorej je ohybníkom zatláčaný polotovár. Ohybica môže byť vytvorená aj z dutého materiálu. Tým dochádza k lepšiemu vnoreniu ohýbaného materiálu, a spätné odpruženie je menšie. Táto metóda je vhodná pre leštené plechy, a plechy s povrchovou úpravou, keďže nedochádza k dotyku dvoch kovov, eliminuje sa možnosť poškodenia povrchu plechu [8].



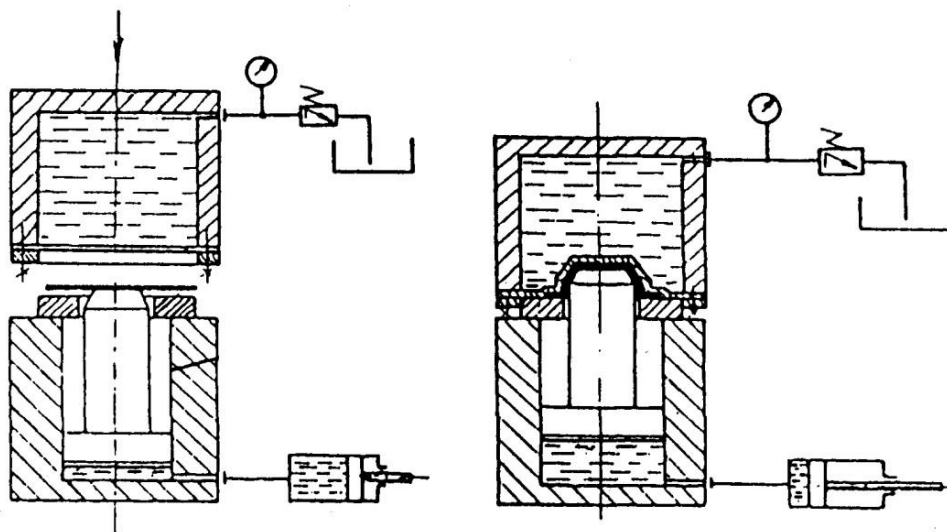
Obrázok 9: Ohýbanie otvoreným nástrojom

## 2.2.2 Tvárnenie kvapalinou

### Metóda HYDROFORM

Kvapalina sa nachádza v uzavretej nádobe, ktorá je tvorená gumovou membránou. Ťažník, na ktorom je položený polotovár, je zatlačený do nádoby s kvapalinou. Tlak kvapaliny pôsobí na polotovár rovnomerne, čo zabezpečuje že nedochádza k zvlneniu materiálu, a tak isto aj tvárnený materiál pridrižiava. Preto je možné túto metódu použiť aj na hlboké ťahanie.

Životnosť gumovej membrány môže byť až 10 000 výtlačkov [17].



Obrázok 10: Metóda HYDROFORM

### Metóda WHEELON

Ťažnica je nahradená gumovým vakom, v ktorom sa nachádza kvapalina. Spolu s ťažníkom je gumový vak umiestnený v bloku zariadenia. Rovnako ako pri hydroforme aj tu

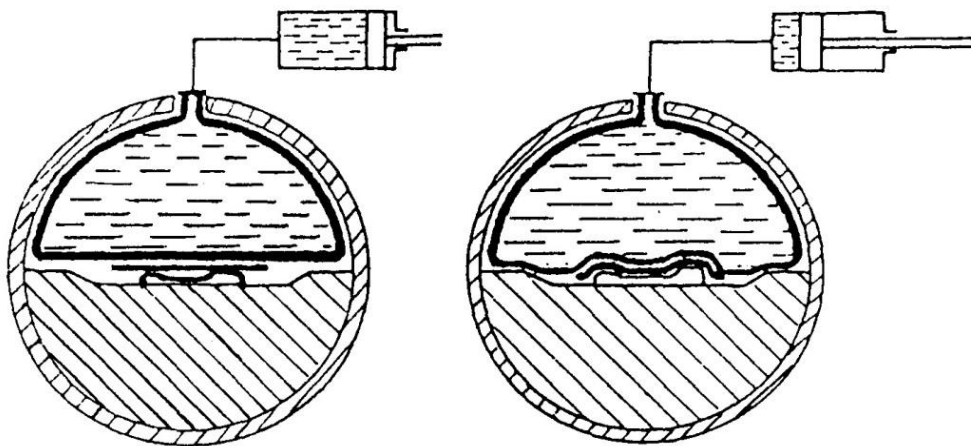
vykonáva prácu kvapalina. Metódou Wheelon je možné ťahať diely so širokými prírubami, bez zvlnenia a aj rebrovité súčiastky [17] [20].

Poznáme dva druhy metódy WHEELON:

- Verson – Wheelon: kvapalina tlačí na gumovú membránu a gumový vankúš
- ASEA Quintus: kvapalina tlačí iba na gumovú membránu

Parametre tvárnenia metódou WHEELON:

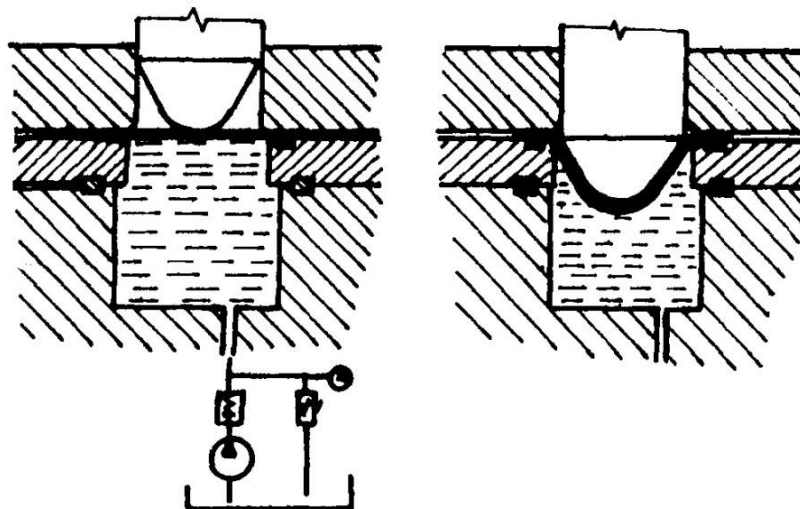
- pracovný tlak v rozmedzí 35 až 200MPa
- okraje do šírky až 425mm, bez zvlnenia



Obrázok 11: Metóda WHEELON

### Hydromechanické ťahanie – metóda HYDRO – MEC

Tlaková kvapalina pôsobí priamo na povrch polotovaru. Kvapalina v tomto prípade nahrádza ťažnicu, pričom tlak sa vytvára pôsobením ťažníka. Kvapalina sa nenachádza v uzavretej nádobe, preto je nutné polotovar ťahať iba za pomoci pridržiavača. Pre vysoký tlak až 100MPa je nutné v celom systéme použiť vysokotlakové prvky a tesnenie. Výsledkom je výtlačok s prírubou [8] [1].

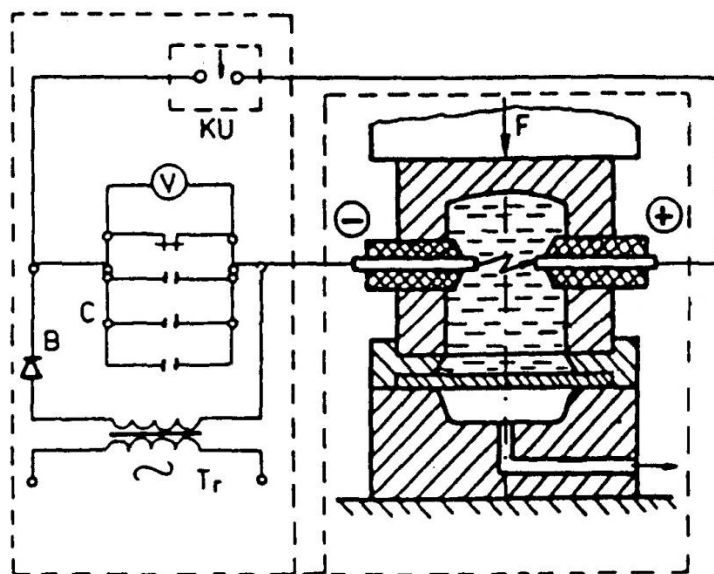


Obrázok 12: Hydromechanické ťahanie – metóda HYDRO – MEC

## Elektrohydraulické tvárnenie

Tvárněný polotovár je pri tejto metóde tvárnený pomocou impulzov tlaku, ktoré vznikajú premenou elektrickej energie. Do kvapaliny sú zavedené elektródy, cez ktoré prebiehajú elektrické výboje. V mieste výboja dochádza k rýchlemu ohrevu a následnému odpareniu kvapaliny, a tým sa vytvárajú tlakové vlny. Tlakové vlny sa šíria v kvapaline a narážajú do povrchu polotovaru, ktorý formujú. Celý proces trvá iba niekoľko mikrosekúnd.

Najväčšou výhodou je vysoká kvalita výtvarkov aj pri zložitých tvaroch a pevnom polotovare. Nevýhodou je energetický náročnosť, zložitá príprava a manipulácia s polotovarom.



Obrázok 13: Elektrohydraulické tvárnenie

## 2.3 CAD-systémy

Rozvoj počítačovej techniky dovolil, aby strojové procesy výroby začali riadiť počítače. Ich neustály rozvoj poskytoval rôzne možnosti využívania v navrhovaní od malých výrobkov, až po komplexné zostavy.

Rozvoj počítačovej techniky bol ale rýchlejší ako rozvoj CAD-systémov, preto vývojárom nebránilo nič k tomu aby vyvinuli software, ktorý dokáže navrhovať výrobok od úplného základu, bez rozdielu či sa jedná o odliatok alebo plošne tvárnený výrobok. A taktiež aby uplatnenie od navrhovania súčiastky, cez výrobu až po samotnú montáž.

Podľa možnosti kreslenia rozdeľujeme CAD-systémy:

- malé CAD-systémy: podporujú iba 2D kreslenie a následne výkresovú dokumentáciu (AutoCAD LT, TurboCAD Delux...)
- stredné CAD-systémy: plnehodnotné 2D kreslenie a čiastočne 3D (AutoCAD, TurboCAD Professional, Mechanical Desktop...)
- veľké CAD-systémy: podporujú parametrické modelovanie súčiastky, simuláciu obrábania, pevnostnú analýzu. (Proengeering, Autodesk, Catia...)



Základnou časťou CAD-systému je geometrický modelár, ktorý vytvára užívateľ, a je ho možné rozdeliť na tri časti:

- 2D geometrický model: je tvorený všeobecnou lomenou čiarou
- 2,5D geometrický model: základom je rovinný útvar, ktorého rotáciou sa vytvorí priestorový model
- 3D modelovanie: plnohodnotná trojrozmerná súčiastky
  - WIRE- FRAME: je tvorený bodmi spojenými krivkami
  - SURFACE: je definovaný bodmi, hranami, plochami
  - SOLID: objemový model, je tvorený geometrickými telesami

Výhody CAD-systémov:

- urýchlenie a zjednodušenie inžinierskych a administratívnych činností
- jednoduché vytváranie 3D modelu
- vizuálna kontrola
- pohyblivá a pevnostná analýza
- zníženie nákladov na prípravu výroby a výrobu
- jednoduché vytváranie veľkých zostáv
- flexibilita na zmenu vo výrobe
- jednoduchá komunikácia medzi viacerými pracovníkmi
- jednoduchá tvorba viacerých variant
- automatické (poloautomatické) tvorenie výrobnej dokumentácie

Nevýhody CAD-systémov:

- vyššie obstarávacie náklady
- vyššia miera zodpovednosti
- neustále vzdelávanie pracovníkov

### **AutoCAD a Mechanical Desktop**

AutoCAD je software pre 2D kreslenie a prácu s 3D výkresmi. Zaisťuje prirodzenú podporu formátu DWG a je ho možné upraviť do požadovanej podoby. AutoCAD ponúka sadu nástrojov na grafické návrhy, CAD štandardy, rýchle vytváranie grafických dát. AutoCAD je jeden z najlepších rysovacích softwarov, pretože ponúka mnoho nastavení.

Autodesk Mechanical Desktop je flexibilný systém pre 3D modelovanie pevných telies. Je schopný spájať 2D a 3D objekty v rámci AutoCAD-u. Je tu možnosť modelovania 2D a 3D, drôtených modelov a parametrických pevných telies.

### **CATIA V5**

CATIA V5 je software, ktorý umožňuje parametrické 3D objemové alebo plošné modelovanie, vytváranie asociatívnej výkresovej dokumentácie, rozsiahle zostavy, pevnostnú analýzu, fotorealistický rendering, riešenie kinematiky zostavy, procesy výroby a mnoho ďalších funkcií, pre ktoré si našiel uplatnenie v celom strojárskom priemysle a čiastočne aj v stavbárskom .

### **MechSoft**

Mechsoft je software pre strojárské výpočty, správu väzieb a optimalizáciu. Taktiež umožňuje vytvárať, simulovať ovládať a zaznamenávať návrhy. Jeho najvýznamnejšou súčasťou je sprievodca, s ktorým sa automaticky vytvárajú súčiastky iba voľbou v ponuke

atribút. Tento software je iba súbor účinných funkcií a vzťahov, umožňuje tiež nadväzovať funkčne väzby pre okamžitú zmenu návrhu, pevnostnú kontrolu, analýzy alebo koncepčné návrhy.

### **Pro Engineer**

Pro Engineer je parametrický 3D CAD-systém, ktorý zahŕňa viac ako 90 špecifikovaných softwarových modulov, ktorý podporuje celý proces vývoja výrobku od prvotného návrhu až po management. Parametrické modelovanie zjednodušuje realizáciu zmien a tiež v prvotnej fáze návrhu urobiť viacero variant tej istej konštrukcie.

### **Solid Edge**

Solid Edge je software určený pre modelovanie dielov a zostáv. Má v ponuke funkcie, ktoré umožňujú pracovať s veľkými a rozsiahlymi zostavami, ktoré obsahujú niekoľko tisíc komponentov. Umožňuje vytváranie výkresovej dokumentácie zostáv a podzostáv. Vyniká vysokou produktivitou pri jednoduchej obsluhu.

### **SolidWorks**

SolidWorks je software pre parametrické objemové modelovanie. Umožňuje 2D a 3D zobrazovanie, fotorealistický rendering a tak isto aj animácie. S pomocou Visual Basic, alebo C++ je ho možné rozšíriť a ďalšie funkcie. Základným modulom je tvorenie parametrických modelov, výkresovej dokumentácie a automatického kusovníka. Je možné upravovať diely v rozvinutom alebo zloženom režime. Umožňuje riešiť kinematiku, vytvárať formy a ponúka export/import filtre.

### **VariCAD**

VariCAD umožňuje parametrické 3D modelovanie, 2D kreslenie, asociatívne kótovanie, knižnicu symbolov, rozviny plechových dielov a početné nástroje pre negrafické informácie (razítka, správa súborov a výkresov).

### **Unigraphics**

Unigraphics je komplexný CAD-systém, ktorý zahŕňa širokú podporu pre veľké spektrum činností v konštrukcii a výrobe. Prvotný návrh, výpočty, modelovanie, tvorba dokumentácie, NC programy pre obrábanie, kontrola kvality, správ, dát, projektov a integráciu do podnikového informačného systému. Unigraphics je komplexný software a pre svoju modulárnu stavbu ponúka široké využitie v každom odvetví strojárskoho priemyslu.

### 3 Konštrukčný návrh krídla

Pri voľbe konštrukcie krídla, bolo navrhnutých niekoľko variant, a následne vybratá najvhodnejšia podľa požiadaviek, ktoré sú uvedené v zadaní diplomovej práce a ktoré žiadala firma EVEKTOR spol. r. o.

Požiadavky na diplomovú prácu:

- zníženie manuálnej práce
- zníženie potrebných prípravkov pri zostavovaní dielov

Konštrukčné požiadavky na krídlo od firmy EVEKTOR spol. r. o:

- jedno-nosníková konštrukcia
- odklápacia klapka
- klapky a krídelka zavesené na klavírových pántoch
- integrovaná nádrž medzi hlavným a pomocným nosníkom

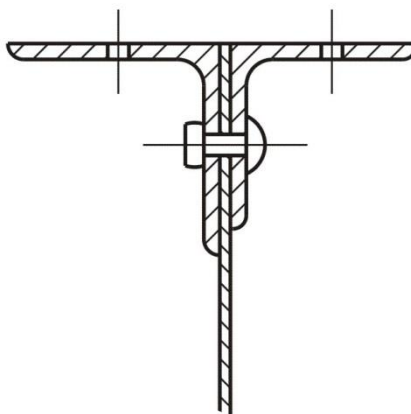
#### 3.1 Hlavný nosník

##### Pásnica

Pásnica môže byť tvorená niekoľkými spôsobmi. K najpoužívanejším patrí vyhotovenie z L-profilov alebo frézovaná pásnica.

L – pásnica:

- výhody:
  - lacné profily
- nevýhody:
  - vyššia hmotnosť
  - pri zostavovaní je potrebné viacero prípravkov

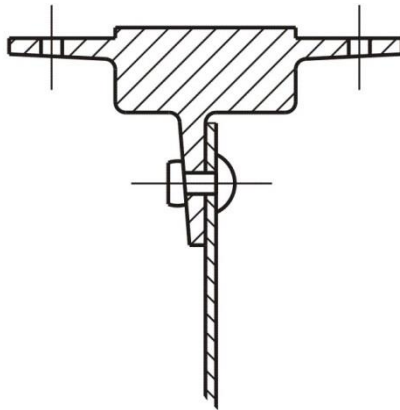


Obrázok 14: Nosník tvorený L-profilmi

Frézovaná pásnica:

- výhody:
  - nízka hmotnosť
  - pri zostavovaní je potrebný minimálny počet prípravkou

- nevýhody:
  - veľká časť polotovaru sa odoberie



Obrázok 15: Nosník tvorený frézovanou pásnicou

## Stojna

Konštrukcia stojny môže byť zhotovená z jedného, alebo z viacerých kusov.

Stojna tvorená jedným kusom:

- výhody:
  - pri zostavovaní nie sú potrebné žiadne prípravky
- nevýhody:
  - vyššia hmotnosť

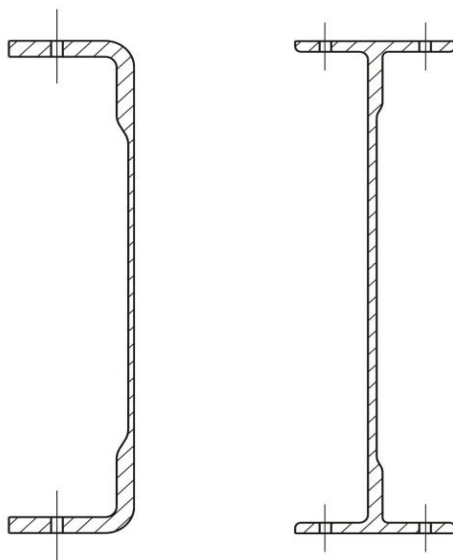
Stojna tvorená viacerými kusmi:

- výhody:
  - nízka hmotnosť
- nevýhody:
  - pri zostavovaní sú potrebné prípravky

Keďže sa jedná o krídlo, ktoré nie je aerodynamicky a ani geometricky krútené, výška nosníka je po celom rozpätí rovnaká. Preto je možné zhotoviť celý nosník z jedného kusu.

Túto konštrukciu je možné vyhotoviť z hrubého plechu, alebo zo špeciálne vytiahnutého profilu. Najväčšou výhodou tejto konštrukcie je, že profil celého nosníka, ako pásnic, tak aj stojny môže byť priebežne po rozpätí upravovaný do ideálnych rozmerov, takže dochádza iba k minimálnemu predimenzovaniu.

- výhody:
  - nízka hmotnosť
  - pri zostavovaní nie sú potrebné žiadne prípravky
- nevýhody:
  - veľká časť polotovaru sa odfrézuje
  - vysoká cena polotovaru



Obrázok 16: Nosník tvorený jedným kusom

### 3.2 Pomocný nosník

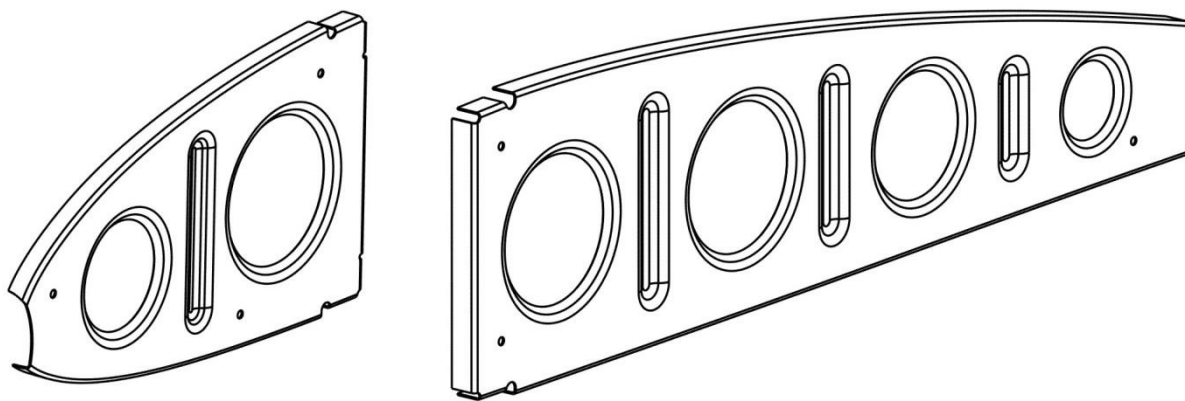
Pomocný nosník, alebo zadný nosník, môže byť vyhotovený z jedného kusu ohnutého plechu. Šírka pásnice by mala byť minimálna ako šírka závesu klavírového pántu.

### 3.3 Rebro

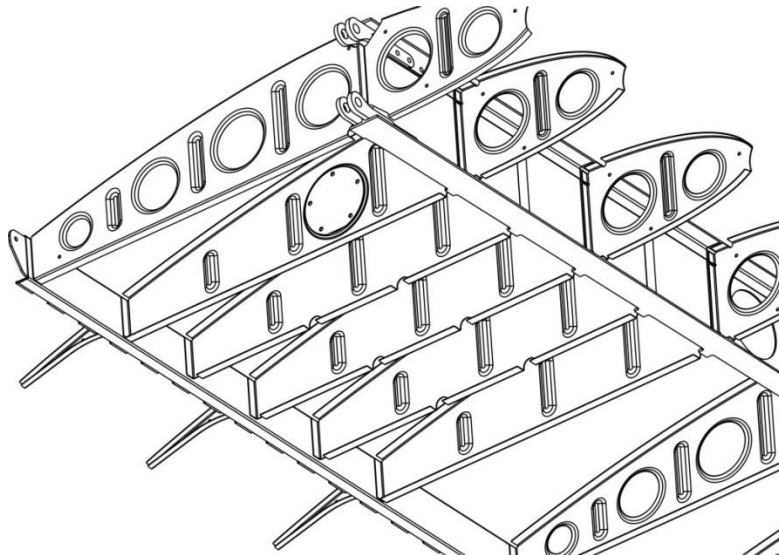
Rebro bolo vyhotovené z lisovaného plechu. Hrúbka stojny je zbytočne veľká, preto býva odľahčená otvormi. V stojne môžu byť aj žliabky na zvýšenie stability.

Rebrá, ktoré ohraničujú palivovú nádrž alebo sa nachádzajú v nej, nemajú odľahčovacie otvory. Rebrá v palivovej nádrži majú v spodnej časti malé otvory na voľný prietok paliva, najmä pri tankovaní. Absencia odľahčovacích otvorov je z dôvodu, aby sa palivo samovoľne nepremiestňovalo pri lete, a nespôsobovalo zmenu ťažiska.

Prvé rebro v palivovej nádrži je opatrené technologickým / údržbovým otvorom, ktorý bude zakrytý vekom, na ktorom bude umiestené potrebné príslušenstvo palivového systému, ako napríklad plavák, či sacie potrubie.



Obrázok 17: Rebro: predné, zadné



Obrázok 18: Rebrá v mieste nádrže

### 3.4 Poťah

Konštrukcia poťahu je veľmi jednoduchá, pretože sa jedná iba o mierne zahnutý plech. Poťah je možné vyhotoviť z jedného, alebo viacerých kusov.

Poťah tvorený jedným kusom:

- výhody:
  - aerodynamická čistota krídla
- nevýhody:
  - zložité spájanie s nosnou sústavou krídla
  - rozmerovo veľké polotovary

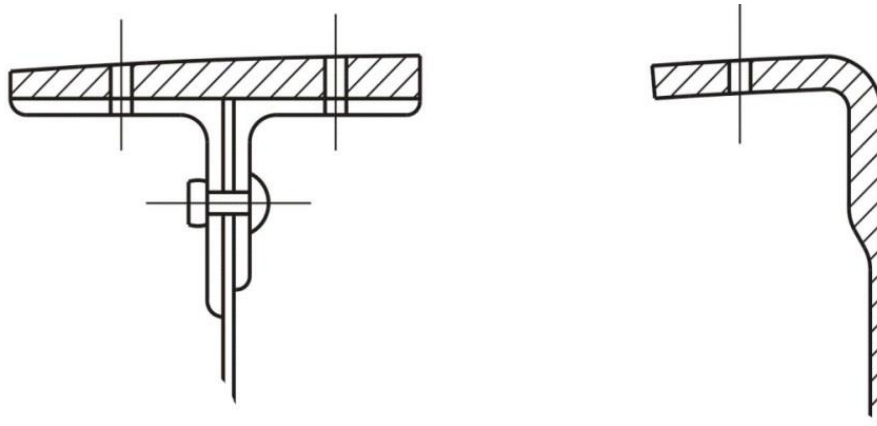
Poťah tvorený viacerými kusmi:

- výhody:
  - jednoduché spájanie s nosnou sústavou krídla
- nevýhody:
  - prechody medzi jednotlivými plechmi

Poťah musí tiež obsahovať konštrukčné a údržbové otvory, ako napríklad veko nádrže, odkaľovací ventil, údržbový otvor pre prepákovanie diferenciálneho mechanizmu ovládania krídeliek a taktiež otvor pre svetlo, a pitotovú trubicu.

### 3.5 Tvarujúce príložky

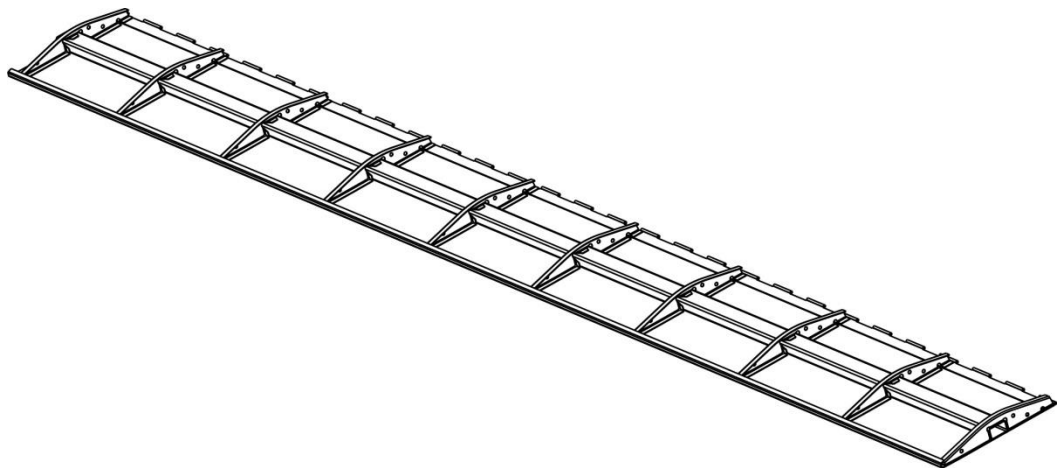
Tvarujúce podložky môžu byť vyhotovené v niekoľkých druhoch, ako samostatná časť, alebo priamo z pásnice nosníka. U nosníka tvoreného plechom je možné pásnicu vytvarovať do požadovaného tvaru, takže nie je za potreby používať tvarujúce príložky.



Obrázok 19: Vyhotovenie tvarujúcich príložiek

### 3.6 Vztlaková mechanizácia

Konštrukcia klapky pozostáva z pot'ahového plechu, rebier, nosníka a zavesenia. Rebrá boli vyhotovené z lisovaného plechu a nosník z dutého obdĺžnikového profilu.

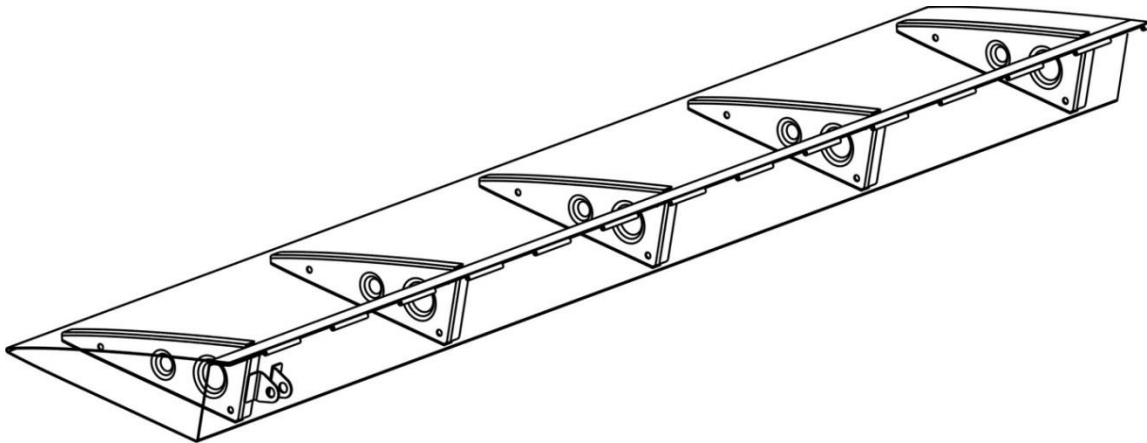


Obrázok 20: Vztlaková mechanizácia

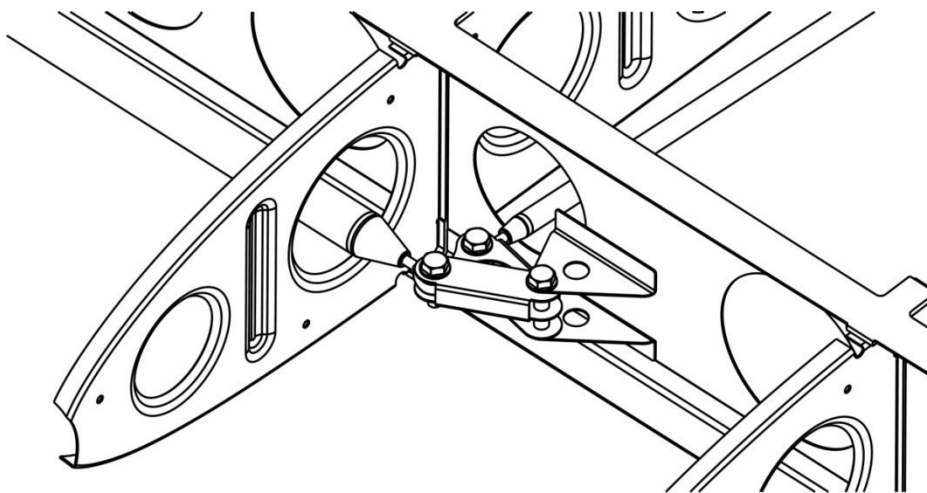
### 3.7 Krídelka

Konštrukcia krídeliek pozostáva z pot'ahového plechu, rebier, zavesenia a uchytenia ovládania krídeliek. Rebrá boli vyhotovené z lisovaného plechu a pre ich vyššiu stavebnú výšku obsahujú odľahčovacie otvory.

Krídelko je ovládané pomocou tiahla. Diferenciálne prepákovanie ovládania krídeliek je prichytené na stojne hlavného nosníka, a tiahla vedú cez odľahčovacie otvory.



Obrázok 21: Křídélko

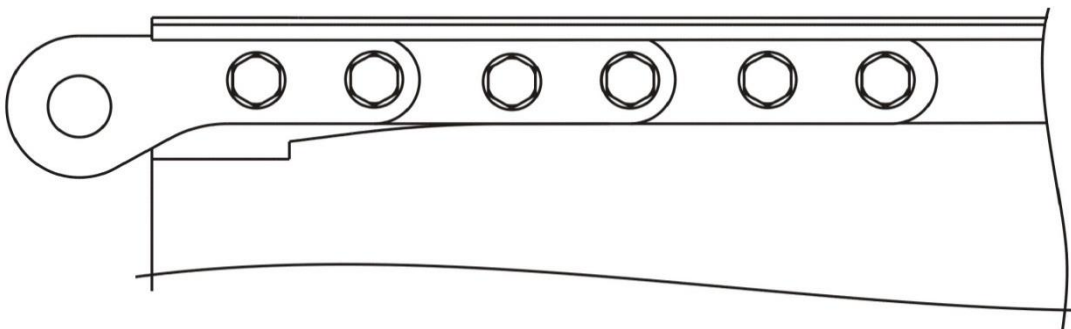


Obrázok 22: Prepákovanie ovládania kříděliek

### 3.8 Závesy

Niektoré rozmery závesov, ako vzdialenosť čapov a aj ich priemer, sú dané centroplánom lietadla. Taktiež orientácia závesov bola pevne stanovená firmou EVEKTOR spol. r. o.

Uchytenie závesov na nosník je prevedené pomocou skrutiek, ktoré sú poistené zaist'ovacím drôtom.



Obrázok 23: Záves kříděliek

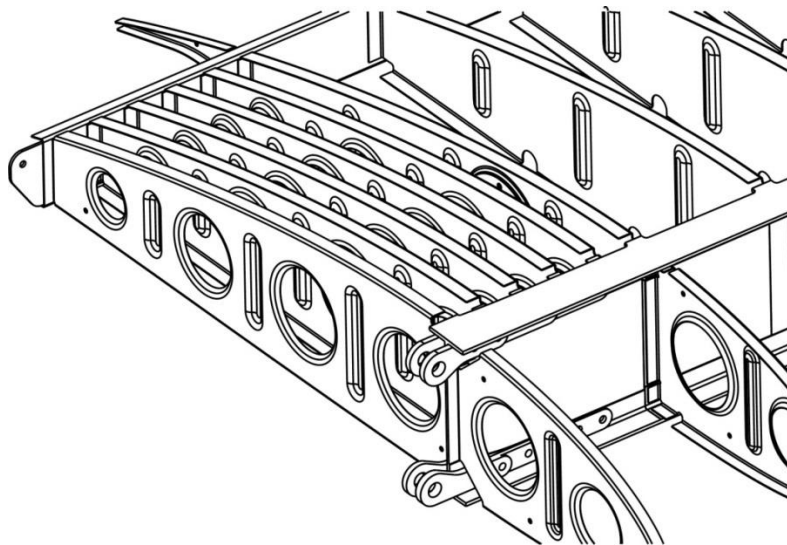


### 3.9 Nastupovanie

Časť krídla pri koreni, ktorá slúži na nastupovanie osôb do lietadla musí byť z hľadiska pevnosti zosilnená. Čo môže byť prevedené zhustením rebier, alebo umiestnením priečných nosníkov tesne pod pot'ahom krídla.

Zhustenie rebier:

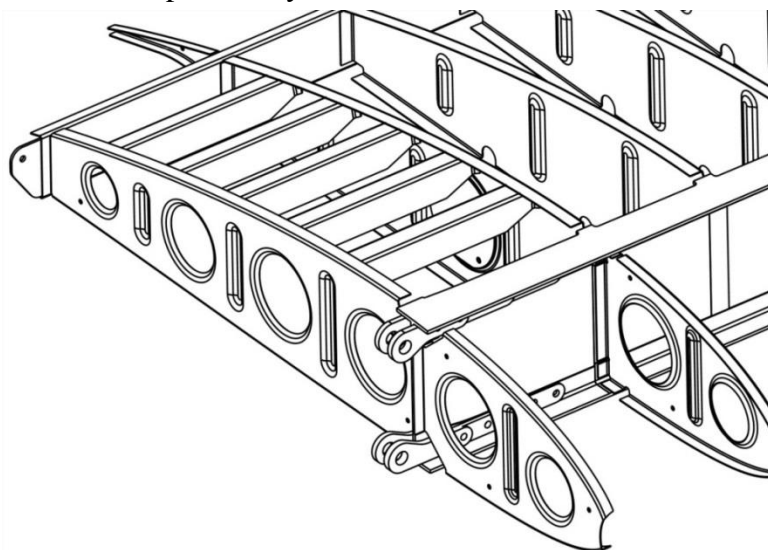
- výhody:
  - možnosť použitia rebier z krídla
- nevýhody:
  - vyššia hmotnosť



Obrázok 24: Nastupovanie prevedené zhustením rebier

Priečne nosníky:

- výhody:
  - nižšia hmotnosť
- nevýhody:
  - potreba vyrobiť nové časti

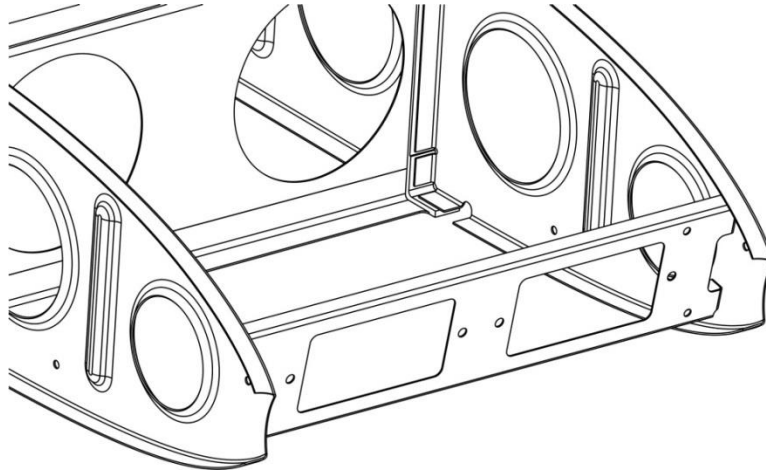


Obrázok 25: Nastupovanie vyhotovené priečnymi nosníkmi

Pořah křídla v této části musí být opatřený povrchem který zabrání pošmyknutí osob při nastupování alebo vystupování z lietadla.

### 3.10 Svetlo

Svetlo sa nachádza na držiaku medzi dvomi koncovými rebrami. V tomto mieste musí byť v pořahu otvor, ktorý je prekrytý organickým sklom. Drôty pre napájanie svetla vedú cez odľahčovacie otvory v rebrách a prichytené pri ich lemoch.



Obrázok 26: Držiak svetla

### 3.11 Pitotová trubica

Pitotová trubica je prichytená na spodnej časti pořahu. Hadičky pre meranie tlaku vedú cez odľahčovacie otvory v rebrách a sú prichytené pri ich lemoch.

[14][15][16]

## 4 Pevnostná kontrola konštrukcie krídla

V pevnostnej kontrole boli spracované návrhy, ktoré boli uvedené vyššie v konštrukčnom návrhu.

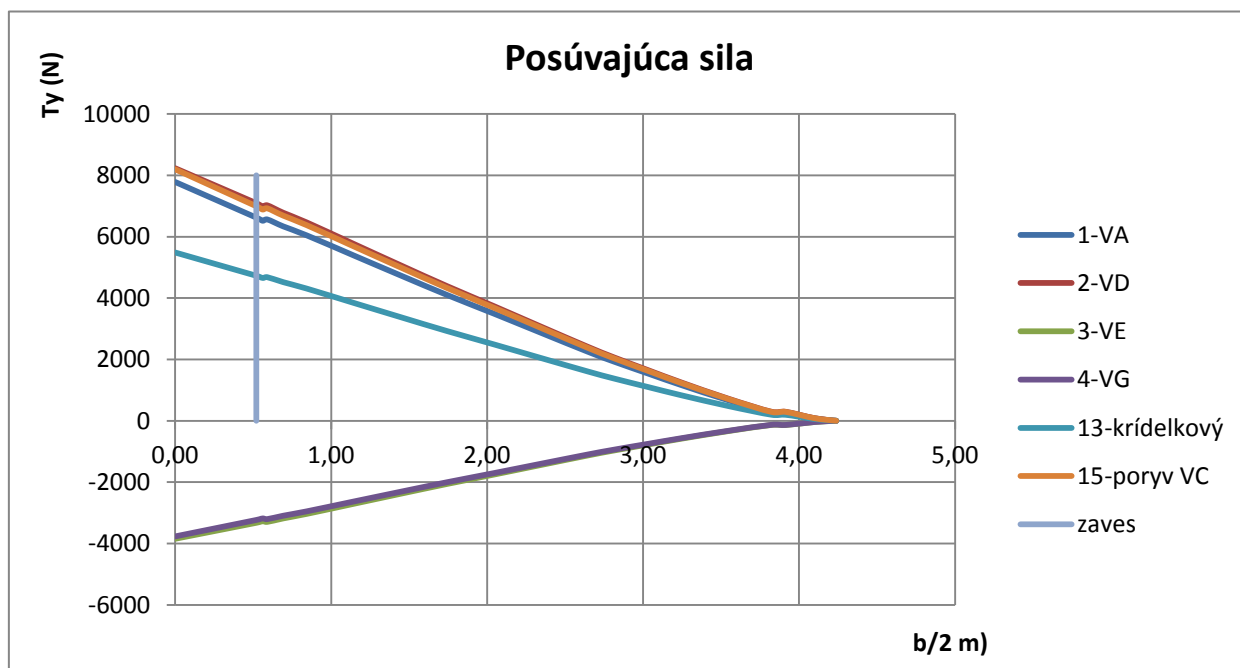
Pevnostná kontrola bola zameraná predovšetkým na hlavný nosník, ktorý bol počítaný pre frézovanú pásnicu, nosník vyhotovený z jedného integrálne frézovaného kusu a pásnicu z viacerých L-profilov, aby sa dosiahla kombinácia s čo najnižšou hmotnosťou. Pásnice z L-profilov boli počítané pre porovnanie hmotnosti a ceny materiálu s nosníkom vyhotoveného z frézovanej pásnice a nosníka z jedného integrálne frézovaného kusu.

Rebrá boli počítané s viacerými hrúbkami, z dôvodu zistenia, ktorá hrúbka bude najvhodnejšie z hľadiska váhy krídla, keďže sa v nich nachádzajú odľahčovacie otvory. Taktiež bola počítaná časť krídla, ktorá slúži na nastupovanie pre zhustené rebrá a priečne nosníky.

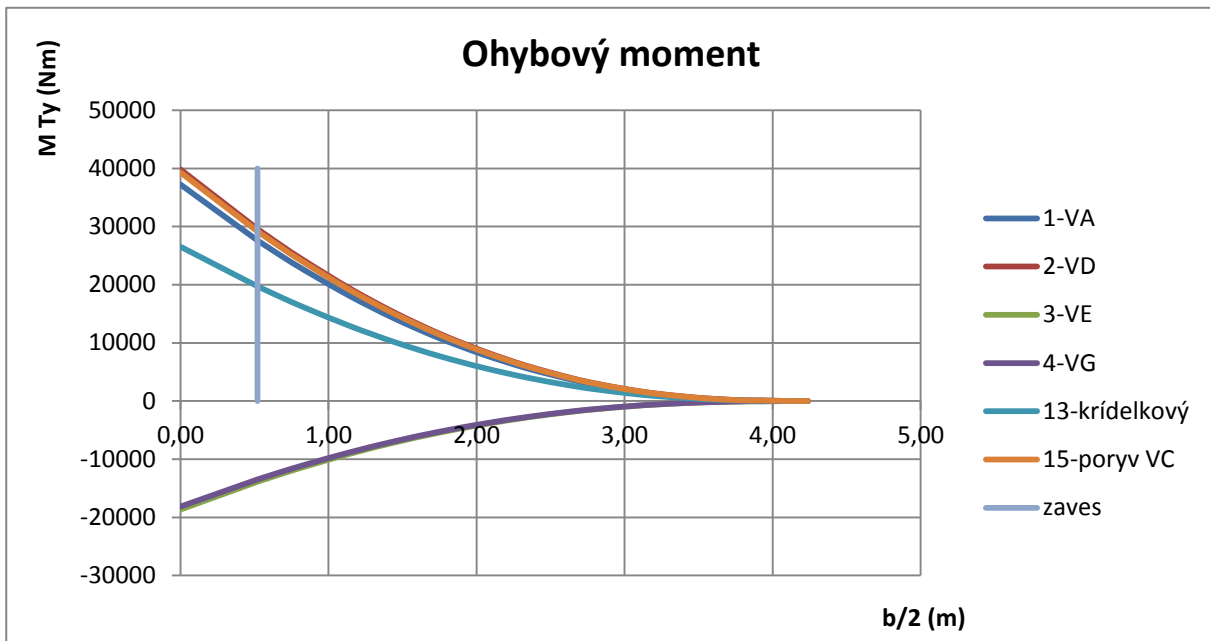
Pre rozsiahlosť výpočtov bude následne uvedené iba zaťaženia krídla, hlavné rozmery počítanej súčasti krídla, napätie v nej a koeficient rezervy. Všetky ostatné výpočty sú zverejnené v prílohu diplomovej práce.

### 4.1 Zaťaženie krídla

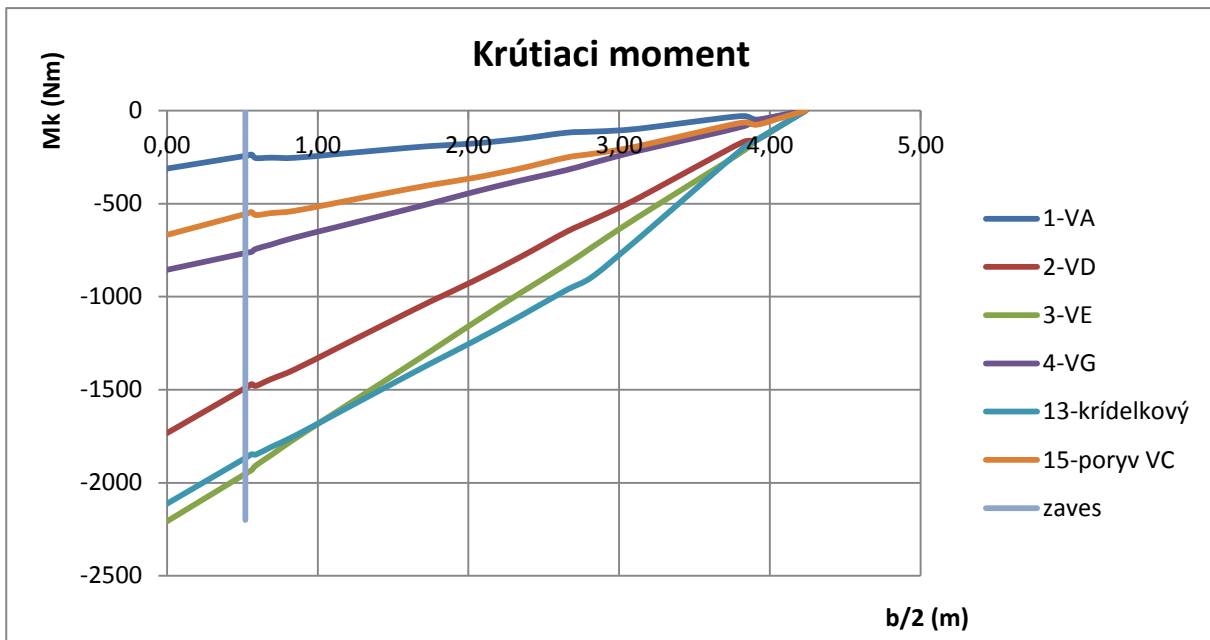
Zaťaženie krídla od posúvajúcej sily [25]:



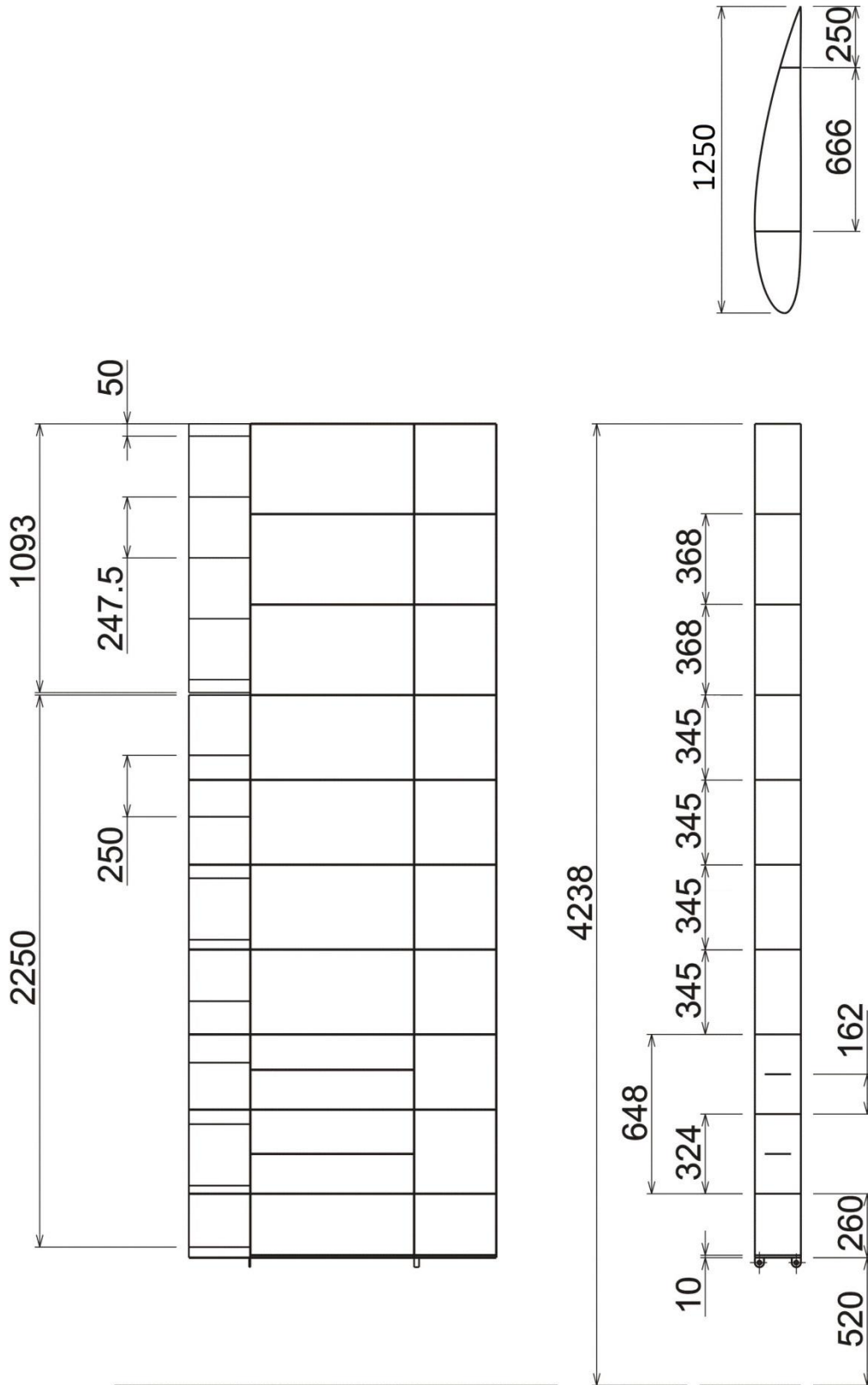
Zařazení křídla od ohybového momentu [25]:



Zařazení křídla od krútiaceho momentu [25]:



## 4.2 Systémový model krídla



Obrázok 27: Systémový model krídla

### 4.3 Pevnostná kontrola nosníka

Pásnice hlavného nosníku boli kontrolované na pevnosť a tvarovú stabilitu. Pásnice pomocného nosníka boli kontrolované iba na pevnosť, pretože na pomocný nosník pôsobí malé zaťaženie.

Stojna hlavného nosníka bola kontrolovaná na stratu stability a únosnosť. Stojna pomocného nosníka iba na stratu stability.

Rozmery pomocného nosníka sa po rozpätí nemenia, preto jeho parametre budú uvedené hneď v úvode pevnostnej kontroly. Pomocný nosník je pre všetky druhy hlavného nosníka rovnaký.

Tabuľka 1: Výška nosníkov

Výška hlavného nosníka:	$h_1 = 186,9\text{mm}$
Výška pomocného nosníka	$h_2 = 82,2\text{mm}$

#### 4.3.1 Parametre pomocného nosníka

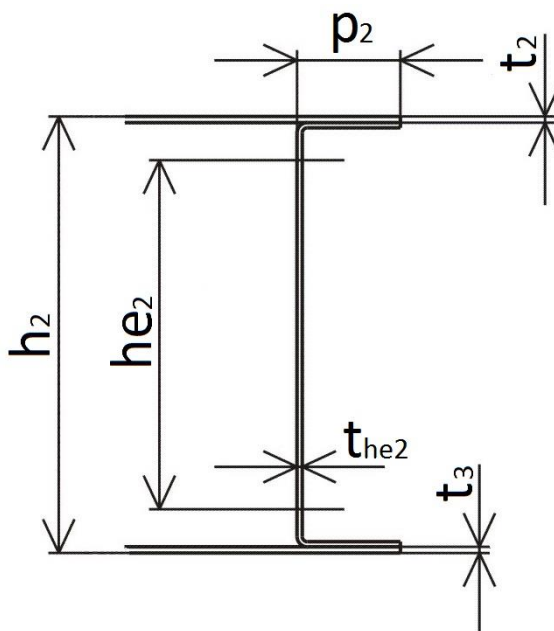
Materiál:

Plech: Dural 2024 T4-  $R_m = 461\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 353\text{Mpa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$

S hrúbkou  $t_{he1} = 1,0\text{mm}$

Tabuľka 2: Parametre pomocného nosníka

Zadný nosník:	
Efektívna výška:	$h_{e2} = 70,04\text{mm}$
Šírka pásnice:	$p_2 = 20\text{mm}$
Plocha pásnice:	$S_{pas2} = 37,925\text{mm}^2$
Kvadratický moment prierezu:	$J_2 = 49384,354\text{mm}^4$



Obrázok 28: Pomocný nosník

### 4.3.2 Hlavný nosník

#### 4.3.2.1 Nosník tvorený L-profilmi

Pevnostná kontrola bola prevedená v troch rezoch

#### Koreňový rez

Materiál:

Pásnica: Dural 2024 T351-  $R_m = 469\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 324\text{MPa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$

Stojna: Dural 2024 T4-  $R_m = 461\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 353\text{MPa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$ ,

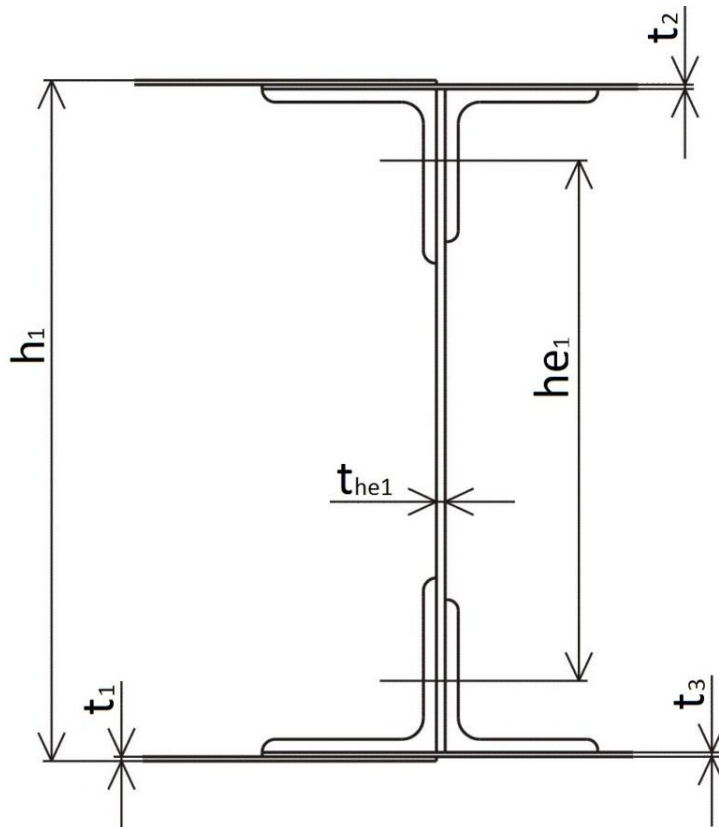
s hrúbkou  $t_{he1} = 2,0\text{mm}$

Rez  $b = 520\text{mm}$

Hlavný nosník:

Tabuľka 3: Parametre hlavného nosníka tvoreného L-profilmi

Efektívna výška:	$he_1 = 168,2\text{mm}$	$he_1 = 167,8\text{mm}$	$he_1 = 164,mm$
Profil pásnice1:	L 25 x 25 x 3	L 30 x 30 x 3	L 35 x 35 x 3
Profil pásnice2:	L 30 x 30 x 4	L 30 x 30 x 3	L 40 x 40 x3
Plocha pásnic:	$S_{pas1} = 368\text{mm}^2$	$S_{pas1} = 394\text{mm}^2$	$S_{pas1} = 434\text{mm}^2$
Kvadratický moment prierezu:	$J_1 = 1115250,833\text{mm}^4$	$J_1 = 1220830,833\text{mm}^4$	$J_1 = 1173490,83\text{mm}^4$
Hrúbka poľahu:	$t_1 = t_2 = t_3 = 0,8\text{mm}$		



Obrázok 29: Koreňový rez hlavného nosníka vytvoreného L-profilmi

### Stojna

Kontrola na stratu stability:

Hlavný nosník:

Tabuľka 4: Kontrola na stratu stability stojny hlavného nosníka

$\tau_{he}$ (Mpa)	77,575	78,023	79,545
$\eta_{st}$	1,194	1,192	1,222

Pomocný nosník:

Tabuľka 5: Kontrola na stratu stability stojny pomocného nosníka

$\tau_{he}$ (Mpa)	20,496	19,011	19,516
$\eta_{st}$	6,099	6,612	6,441

### Kontrola pásnic

Rozdelenie zaťaženia podľa ohybovej tuhosti:

Hlavný nosník:

Tabuľka 6: Kontrola pásnic hlavného nosníka

$\sigma_{pas}$ (MPa)	462,491	434,819	403,546
$\eta_{pas}$	1,014	1,079	1,162



Pomocný nosník:

Tabuľka 7: Kontrola pásnic pomocného nosníka

$\sigma_{pas}$ (MPa)	409,404	440,381	457,429
$\eta_{pas}$	1,145	1,065	1,025

Kontrola na tvarovú stabilitu:

Hlavný nosník:

Tabuľka 8: Kontrola pásnic na tvarovú stabilitu hlavného nosníka

$\sigma_{krit}$ (MPa)	421,082	449,666	419,009
$\eta_{pas}$	1,120	1,278	1,276

### Stredový rez

Materiál:

Pásnica: Dural 2024 T351-  $R_m = 469\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 324\text{Mpa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$

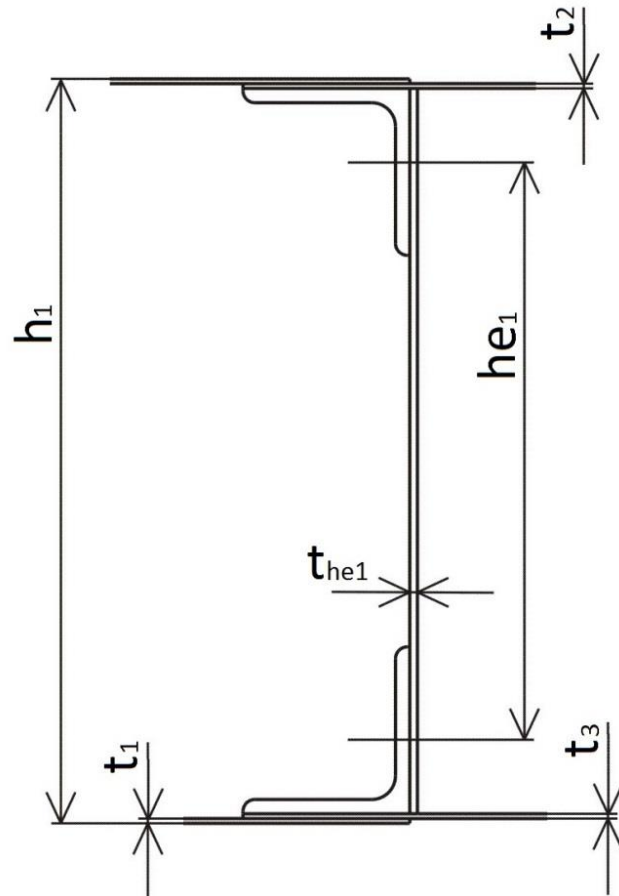
Stojna: Dural 2024 T4-  $R_m = 461\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 353\text{Mpa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$ ,

s hrúbkou  $t_{he1} = 1,6\text{mm}$

Hlavný nosník:

Tabuľka 9: Parametre hlavného nosníka tvoreného L-profilmi

Rez:	$b = 2210\text{mm}$	$b = 2080\text{mm}$	$b = 1420\text{mm}$	$b = 1740\text{mm}$	$b = 1520\text{mm}$
Efektívna výška:	$he_1 = 170,6\text{mm}$	$he_1 = 170,2\text{mm}$	$he_1 = 168,3\text{mm}$	$he_1 = 165,6\text{mm}$	$he_1 = 163,3\text{mm}$
Profil pásnice:	L 25 x 25 x 3	L 30 x 30 x 3	L 30 x 30 x 4	L 35 x 35 x 3	L 40 x 40 x 3
Plocha pásnice:	$S_{pas1} = 142\text{mm}^2$	$S_{pas1} = 172\text{mm}^2$	$S_{pas1} = 226\text{mm}^2$	$S_{pas1} = 226\text{mm}^2$	$S_{pas1} = 232\text{mm}^2$
Kvadratický moment prierezu:	$J_1 = 867236,667\text{mm}^4$	$J_1 = 648\,182,5\text{mm}^4$	$J_1 = 881176,667\text{mm}^4$	$J_1 = 891456,667\text{mm}^4$	$J_1 = 915\,796,667$
Hrúbka poľahu:	$t_1 = t_2 = t_3 = 0,8\text{mm}$				
Odlahčovací otvor:	$D_1 = 119\text{mm}$	$D_1 = 106\text{mm}$	$D_1 = 96\text{mm}$	$D_1 = 93\text{mm}$	$D_1 = 80\text{mm}$



Obrázok 30: Stredový rez hlavného nosníka vytvoreného L-profilmi

### Stojna

Kontrola na stratu stability:

Hlavný nosník:

Tabuľka 10: Kontrola na stratu stability stojny hlavného nosníka

$\tau_{he}$ (Mpa)	22,379	59,816	70,548	72,093	83,210
$\eta_{st}$	2,581	1,257	1,213	1,235	1,341

Pomocný nosník:

Tabuľka 11: Kontrola na stratu stability stojny pomocného nosníka

$\tau_{he}$ (Mpa)	7,003	18,342	20,951	21,366	24,658
$\eta_{st}$	17,749	6,780	5,936	5,821	5,044

Kontrola na únosnosť:

Hlavný nosník

Tabuľka 12: Kontrola na únosnosť stojny hlavného nosníka

$q_p$ (N/m)	36,295	44,412	51,174	52,601	61,212
$\eta_{stoj}$	1,014	1,029	1,01	1,010	1,011

## Kontrola pásnic

Rozdelenie zaťaženia podľa ohybovej tuhosti:

Hlavný nosník:

Tabuľka 13: Kontrola pásnic hlavného nosníka

$\sigma_{pas}$ (MPa)	465,717	466,133	468,250	468,381	467,931
$\eta_{pas}$	1,007	1,006	1,002	1,001	1,002

Pomocný nosník

Tabuľka 14: Kontrola pásnic pomocného nosníka

$\sigma_{pas}$ (MPa)	241,794	287,327	373,718	326,729	359,894
$\eta_{pas}$	1,940	1,632	1,255	1,435	1,303

Kontrola na tvarovú stabilitu:

Hlavný nosník:

Tabuľka 15: Kontrola pásnic na tvarovú stabilitu hlavného nosníka

$\sigma_{krit}$ (MPa)	468,029	420,006	450,202	436,669	401,560
$\eta_{pas}$	1,593	1,422	1,658	1,547	1,468

## Koncový rez

Materiál:

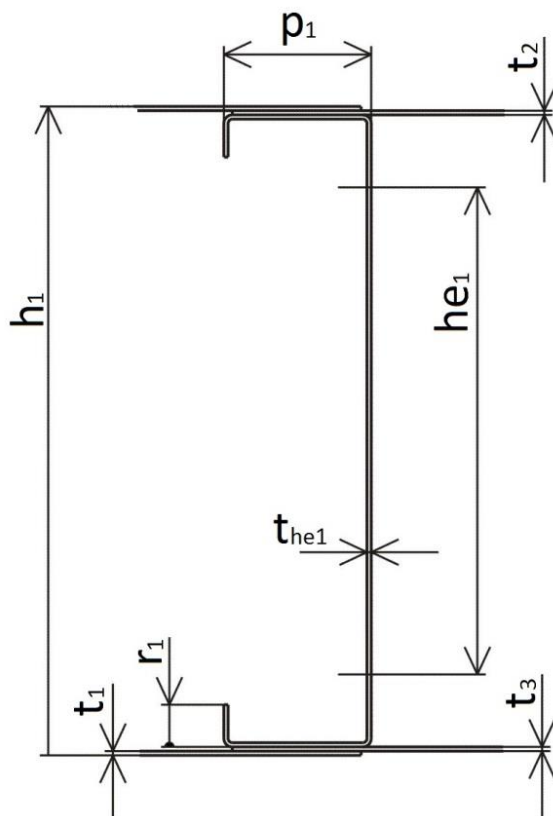
Plech s hrúbkou  $t_{he1} = 1,0\text{mm}$

Dural 2024 T351-  $R_m = 469\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 324\text{MPa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$

Hlavný nosník:

Tabuľka 16: Parametre hlavného nosníka tvoreného ohnutým plechom

Rez:	$b = 3060\text{mm}$	$b = 3010\text{mm}$	$b = 2940\text{mm}$	$b = 2930\text{mm}$
Efektívna výška:	$he_1 = 171,1\text{mm}$	$he_1 = 173,3\text{mm}$	$he_1 = 175,5\text{mm}$	$he_1 = 177,7\text{mm}$
Šírka pásnice:	$p_1 = 25\text{mm}$	$p_1 = 30\text{mm}$	$p_1 = 35\text{mm}$	$p_1 = 40\text{mm}$
Lem:	$r_1 = 10\text{mm}$			
Plocha pásnice:	$S_{pas1} = 52,85\text{mm}^2$	$S_{pas1} = 57,85\text{mm}^2$	$S_{pas1} = 62,85\text{mm}^2$	$S_{pas1} = 67,85\text{mm}^2$
Kvadratický moment prierezu:	$J_1 = 545685,4\text{mm}^4$	$J_1 = 545695,4\text{mm}^4$	$J_1 = 545705,4\text{mm}^4$	$J_1 = 545715,4\text{mm}^4$
Hrúbka poľahu:	$t_1 = t_2 = t_3 = 0,6\text{mm}$			
Odlahčovací otvor:	$D_1 = 112\text{mm}$	$D_1 = 110\text{mm}$	$D_1 = 125\text{mm}$	$D_1 = 125\text{mm}$



Obrázok 31: Koncový rez tvorený ohnutým plechom

### Stojna

Kontrola na stratu stability:

Hlavný nosník:

Tabuľka 17: Kontrola na stratu stability stojny hlavného nosníka

$\tau_{he}$ (Mpa)	35,1	39,0	30,56	38,5
$\eta_{st}$	1,068	1,256	1,03	1,004

Pomocný nosník:

Tabuľka 18: Kontrola na stratu stability stojny pomocného nosníka

$\tau_{he}$ (Mpa)	7,9	10,0	9,6	9,8
$\eta_{st}$	15,744	12,437	12,955	12,691

Kontrola na únosnosť:

Hlavný nosník:

Tabuľka 19: Kontrola na únosnosť stojny hlavného nosníka

$q_p$ (N/m)	16,579	17,532	13,049	13,049
$\eta_{stoj}$	1,049	1,019	1,052	1,019

### Kontrola pásnic

Rozdelenie zaťaženia podľa ohybovej tuhosti:

Hlavný nosník:

Tabuľka 20: Kontrola pásnic hlavného nosníka

$\sigma_{pas}$ (MPa)	466,851	460,985	465,597	468,594
$\eta_{pas}$	1,004	1,017	1,007	1,001

Pomocný nosník

Tabuľka 21: Kontrola pásnic pomocného nosníka

$\sigma_{pas}$ (MPa)	142,681	142,681	175,058	159,999
$\eta_{pas}$	3,287	3,287	2,679	2,931

Kontrola na tvarovú stabilitu:

Hlavný nosník:

Tabuľka 22: Kontrola pásnic na tvarovú stabilitu hlavného nosníka

$\sigma_{krit}$ (MPa)	36,357	39,025	42,692	44,205
$\eta_{pas}$	1,366	1,404	1,436	1,652

#### 4.3.2.2 Nosník tvorený frézovanou pásnicou

Pevnostná kontrola bola urobená v šiestich rezoch

Materiál:

Pásnica: Dural 2024 T351-  $R_m = 469\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 324\text{Mpa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$

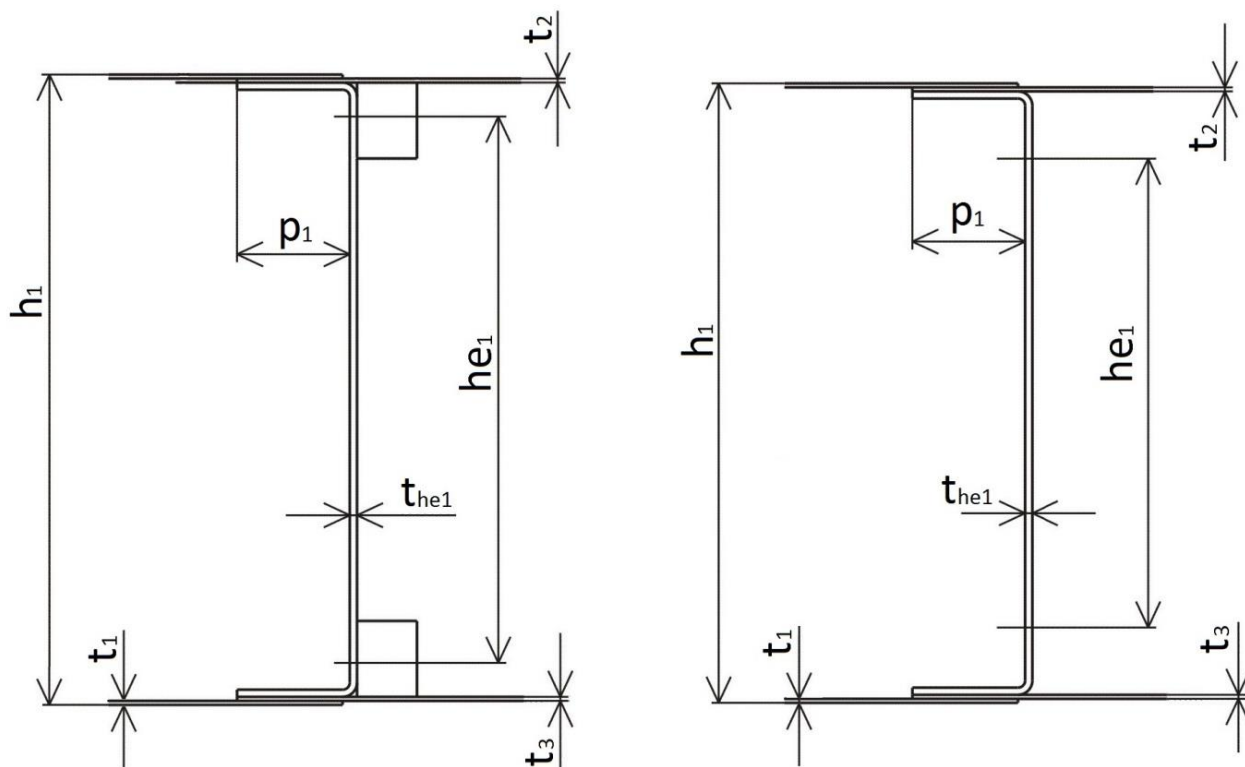
Stojna: Dural 2024 T4-  $R_m = 461\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 353\text{Mpa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$ ,

s hrúbkou  $t_{he1} = 1,6\text{mm}$

Hlavný nosník:

Tabuľka 23: Parametre hlavného nosníka tvoreného frézovanou pásnicou

Rez:	b = 520mm	b = 590mm	b = 1140mm	b = 1740mm	b = 2220mm	b = 2750mm
Efektívna výška:	$he_1 = 168,7\text{mm}$	$he_1 = 168,7\text{mm}$	$he_1 = 168,7\text{mm}$	$he_1 = 168,7\text{mm}$	$he_1 = 168,7\text{mm}$	$he_1 = 168,8\text{mm}$
Profil pásnice:	19 x 15	19 x 12	19 x 9	19 x 6	19 x 3	-
Zahnutie:	$r_1 = 30\text{mm}$	$r_1 = 30\text{mm}$	$r_1 = 30\text{mm}$	$r_1 = 30\text{mm}$	$r_1 = 30\text{mm}$	$r_1 = 30\text{mm}$
Plocha pásnice:	$S_{pas1} = 376,789\text{mm}^2$	$S_{pas1} = 319,789\text{mm}^2$	$S_{pas1} = 262,789\text{mm}^2$	$S_{pas1} = 205,789\text{mm}^2$	$S_{pas1} = 148,789\text{mm}^2$	$S_{pas1} = 91,789\text{mm}^2$
Kvadratický moment prierezu:	$J_1 = 1141581,875\text{mm}^4$	$J_1 = 1138152,375\text{mm}^4$	$J_1 = 870905,167\text{mm}^4$	$J_1 = 867475,667\text{mm}^4$	$J_1 = 864046,167\text{mm}^4$	$J_1 = 860616,667\text{mm}^4$
Hrúbka poťahu:	$t_1 = t_2 = t_3 = 0,8\text{mm}$				$t_1 = t_2 = t_3 = 0,6\text{mm}$	
Odláhčovací otvor:	-	$D_1 = 50\text{mm}$	$D_1 = 86\text{mm}$	$D_1 = 102\text{mm}$	$D_1 = 124\text{mm}$	$D_1 = 136\text{mm}$



Obrázok 32: Rezy hlavného nosníka tvoreného frézovanou pásnicou

### Stojna

Kontrola na stratu stability:

Hlavný nosník:

Tabuľka 24: Kontrola na stratu stability stojny hlavného nosníka

$\tau_{he}$ (Mpa)	72,179	53,244	39,827	32,077	21,100	9,323
$\eta_{st}$	1,407	1,908	1,481	1,838	2,795	6,325

Pomocný nosník:

Tabuľka 25: Kontrola na stratu stability stojny pomocného nosníka

$\tau_{he}$ (Mpa)	18,710	14,773	11,828	9,621	6,393	3,065
$\eta_{st}$	6,644	8,415	10,509	12,921	19,230	40,103

Kontrola na únosnosť:

Hlavný nosník:

Tabuľka 26: Kontrola na únosnosť stojny hlavného nosníka

$q_p$ (N/m)	-	112,579	63,729	51,399	34,446	23,657
$\eta_{stoj}$	-	1,007	1,000	1,001	1,020	1,586

### Kontrola pásnic

Rozdelenie zaťaženia podľa ohybovej tuhosti:

Hlavný nosník:

Tabuľka 27: Kontrola pásnic hlavného nosníka

$\sigma_{pas}$ (MPa)	451,253	463,034	453,294	450,613	466,683	464,260
$\eta_{pas}$	1,039	1,013	1,035	1,041	1,005	1,010

Pomocný nosník

Tabuľka 28: Kontrola pásnic pomocného nosníka

$\sigma_{pas}$ (MPa)	231,821	202,496	212,891	166,383	124,373	124,841
$\eta_{pas}$	2,023	2,316	2,203	2,819	3,771	3,757

Kontrola na tvarovú stabilitu:

Hlavný nosník:

Tabuľka 29: Kontrola pásnic na tvarovú stabilitu hlavného nosníka

$\sigma_{krit}$ (MPa)	440,879	460,704	334,548	295,180	144,023	95,652
$\eta_{pas}$	1,251	1,265	1,328	1,264	1,658	1,616

#### 4.3.2.3 Nosník tvorený ohýbaným plechom:

Pevnostná kontrola bola urobená v piatich rezoch

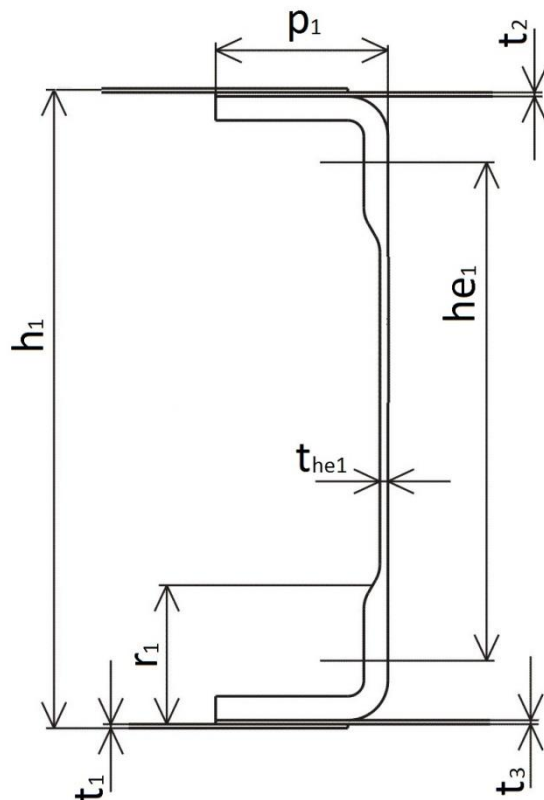
Materiál:

Plech: Dural 2024 T351-  $R_m = 469\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 324\text{Mpa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$ ,  
s hrúbkou  $t_{he1} = 5\text{mm}$

Hlavný nosník:

Tabuľka 30: Parametre hlavného nosníka vytvoreného ohýbaným plechom

Rez:	$b = 520\text{mm}$	$b = 840\text{mm}$	$b = 1740\text{mm}$	$b = 2040\text{mm}$	$b = 3050\text{mm}$
Efektívna výška:	$he_1 = 169,9\text{mm}$	$he_1 = 171,3\text{mm}$	$he_1 = 173,6\text{mm}$	$he_1 = 173,9\text{mm}$	$he_1 = 168,8\text{mm}$
Hrúbka stojny	$t_{he1} = 2,0\text{mm}$	$t_{he1} = 1,8\text{mm}$	$t_{he1} = 1,6\text{mm}$	$t_{he1} = 1,3\text{mm}$	$t_{he1} = 1,0\text{mm}$
Profil pásnice:	30 x 51 x 5	28 x 48 x 4	25 x 46 x 3	23 x 40 x 2	20 x 30 x 1
Plocha pásnice:	$S_{pas1} = 363,875\text{mm}^2$	$S_{pas1} = 274,24\text{mm}^2$	$S_{pas1} = 193,035\text{mm}^2$	$S_{pas1} = 169,035\text{mm}^2$	$S_{pas1} = 54,915\text{mm}^2$
Kvadratický moment prierezu:	$J_1 = 1062315,37\text{mm}^4$	$J_1 = 954295,628\text{mm}^4$	$J_1 = 846632,715\text{mm}^4$	$J_1 = 687729,180\text{mm}^4$	$J_1 = 528815,708\text{mm}^4$
Hrúbka poľahu:	$t_1 = t_2 = t_3 = 0,8\text{mm}$			$t_1 = t_2 = t_3 = 0,6\text{mm}$	
Odláhčovací otvor:	-	-	$D_1 = 76\text{mm}$	$D_1 = 96\text{mm}$	$D_1 = 137\text{mm}$



Obrázok 33: Rez hlavného nosníka vytvoreného ohýbaným plechom

### Stojna

Kontrola na stratu stability:

Hlavný nosník:

Tabuľka 31: Kontrola na stratu stability stojny hlavného nosníka

$\tau_{he}$ (Mpa)	75,405	47,700	31,415	30,794	16,664
$\eta_{st}$	1,207	1,520	1,780	1,189	1,384

Pomocný nosník:

Tabuľka 32: Kontrola na stratu stability stojny pomocného nosníka

$\tau_{he}$ (Mpa)	19,937	14,099	9,759	8,905	4,665
$\eta_{st}$	6,235	8,816	12,737	13,804	26,350

Kontrola na únosnosť:

Hlavný nosník:

Tabuľka 33: Kontrola na únosnosť stojny hlavného nosníka

$q_p$ (N/m)	-	-	50,595	40,442	16,879
$\eta_{stoj}$	-	-	1,007	1,010	1,013

### Kontrola pásnic

Rozdelenie zaťaženia podľa ohybovej tuhosti:



Hlavný nosník:

Tabuľka 34: Kontrola pásnic hlavného nosníka

$\sigma_{pas}$ (MPa)	462,655	466,931	466,256	441,658	467,724
$\eta_{pas}$	1,014	1,004	1,006	1,062	1,003

Pomocný nosník

Tabuľka 35: Kontrola pásnic pomocného nosníka

$\sigma_{pas}$ (MPa)	248,350	212,131	170,254	173,620	75,136
$\eta_{pas}$	1,888	2,211	2,755	2,701	6,242

Kontrola na tvarovú stabilitu:

Hlavný nosník:

Tabuľka 36: Kontrola pásnic na tvarovú stabilitu hlavného nosníka

$\sigma_{krit}$ (MPa)	490,997	381,951	287,968	154,308	99,025
$\eta_{pas}$	1,187	1,295	1,205	1,688	1,635

#### 4.3.2.4 Nosník tvorený integrálne frézovaný profilom

Pevnostná kontrola bola prevedená v štyroch rezoch

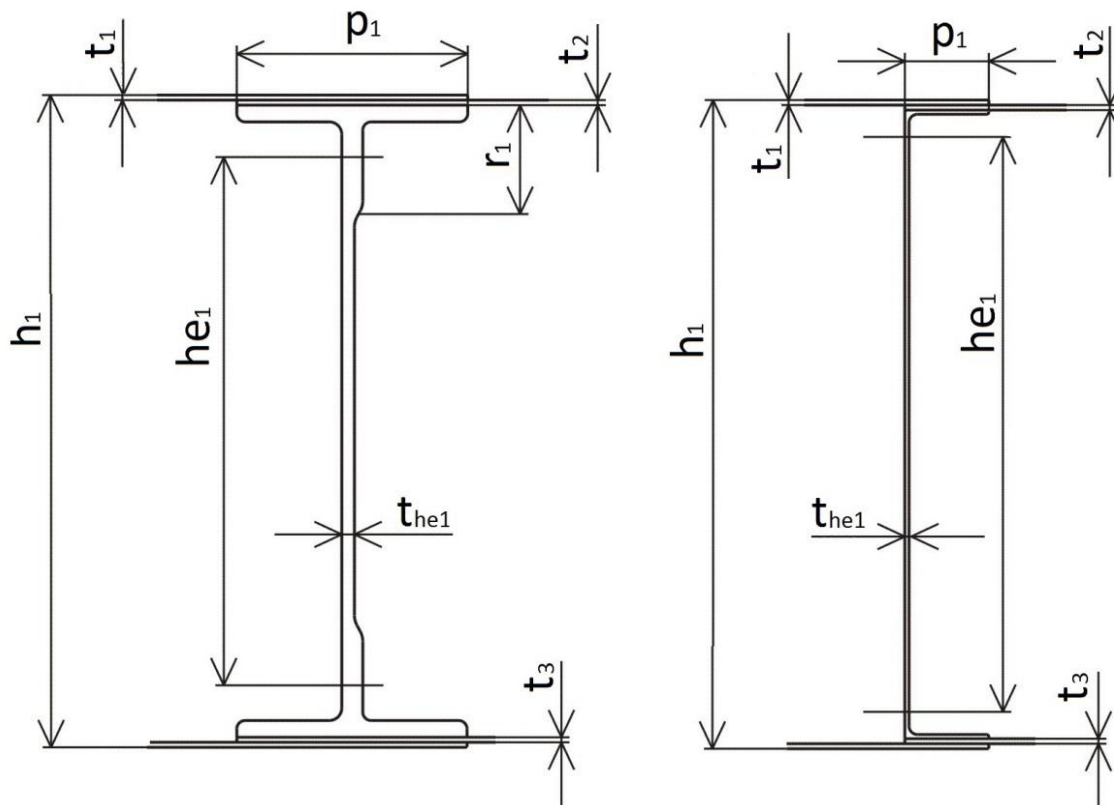
Materiál:

Profil: Dural 2024 T351-  $R_m = 469\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 324\text{MPa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$

Hlavný nosník:

Tabuľka 37: Parametre hlavného nosníka tvoreného integrálne frézovaným nosníkom

Rez:	$b = 520\text{mm}$	$b = 590\text{mm}$	$b = 1\,740\text{mm}$	$b = 3\,030\text{mm}$
Efektívna výška:	$h_{e1} = 169,0\text{mm}$	$h_{e1} = 175,4$	$h_{e1} = 176,4$	$h_{e1} = 177,9$
Hrúbka stojny:	$t_{he1} = 3\text{mm}$	$t_{he1} = 2\text{mm}$	$t_{he1} = 1,2\text{mm}$	
Profil pásnice:	T55x38x4	T50x26x4	T43,68x 24,1x3	T22,2x36,67x 1
Plocha pásnice:	$S_{pas1} = 372,6\text{mm}^2$	$S_{pas1} = 304,1\text{mm}^2$	$S_{pas1} = 203,3\text{mm}^2$	$S_{pas1} = 58,8\text{mm}^2$
Kvadratický moment prierezu:	$J_1 = 1582906,25\text{mm}^4$	$J_1 = 1055270,833\text{mm}^4$	$J_1 = 635382,68\text{mm}^4$	$J_1 = 633729,3\text{mm}^4$
Hrúbka poľahu:	$t_1 = t_2 = t_3 = 0,8\text{mm}$			$t_1 = t_2 = t_3 = 0,6\text{mm}$
Odľahčovací otvor:	$D_1 = 149\text{mm}$	$D_1 = 150\text{mm}$	$D_1 = 117\text{mm}$	$D_1 = 146\text{mm}$



Obrázok 34: Rezy hlavného nosníka vytvoreného frézovaným profilom

## Stojna

Kontrola na stratu stability:

Hlavný nosník:

Tabuľka 38: Kontrola na stratu stability stojny hlavného nosníka

$\tau_{he}$ (Mpa)	74,040	13,277	20,514	10,513
$\eta_{st}$	2,790	6,457	1,488	2,859

Pomocný nosník:

Tabuľka 39: Kontrola na stratu stability stojny pomocného nosníka

$\tau_{he}$ (Mpa)	21,253	37,074	42,761	27,248
$\eta_{st}$	5,850	3,583	2,906	4,563

Kontrola na únosnosť:

Hlavný nosník:

Tabuľka 40: Kontrola na únosnosť stojny hlavného nosníka

$q_p$ (N/m)	22,370	27,201	24,918	13,271
$\eta_{stoj}$	1,002	1,024	1,012	1,052

## Kontrola pásnic

Rozdelenie zaťaženia podľa ohybovej tuhosti:

Hlavný nosník:

Tabuľka 41: Kontrola pásnic hlavného nosníka

$\sigma_{pas}$ (MPa)	461,661	467,096	427,724	426,505
$\eta_{pas}$	1,016	1,004	1,097	1,100

Pomocný nosník

Tabuľka 42: Kontrola pásnic pomocného nosníka

$\sigma_{pas}$ (MPa)	338,521	437,047	448,785	447,317
$\eta_{pas}$	1,385	1,073	1,045	1,048

Kontrola na tvarovú stabilitu:

Hlavný nosník:

Tabuľka 43: Kontrola pásnic na tvarovú stabilitu hlavného nosníka

$\sigma_{krit}$ (MPa)	482,863	745,206	254,158	86,845
$\eta_{pas}$	1,170	1,185	1,383	1,567

#### 4.4 Pevnostná kontrola rebra

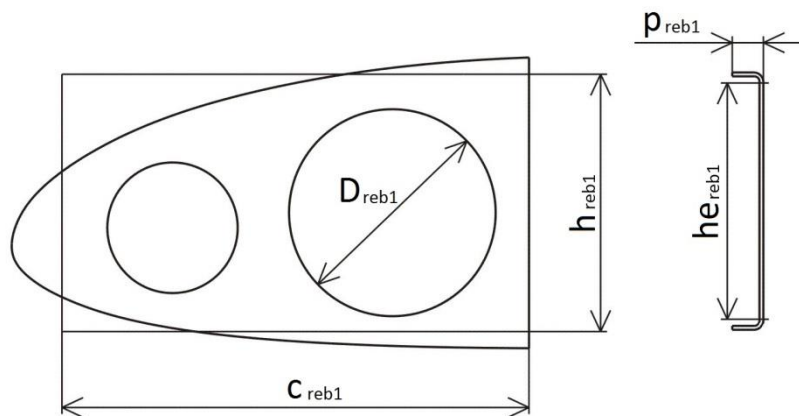
Rebrá boli kontrolované na stratu stability a únosnosť a lemy rebier na maximálne napätie. Taktiež bol kontrolovaný nitový spoj rebra so stojnou hlavného nosníka.

Materiál:

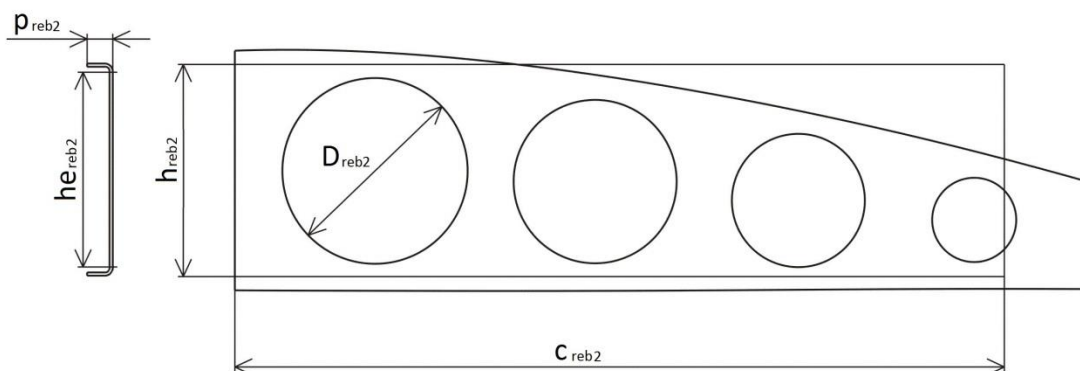
Dural 2024 T4-  $R_m = 461\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 353\text{MPa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$

Tabuľka 44: Základné rozmery rebra

	Predné rebro:	Zadné rebro:
$c_{reb}$ (mm)	298,8	601,8
$h_{reb}$ (mm)	167,2	168,9
$M_{O_{reb}}$ (Nm)	958,009	1929,432



Obrázok 35: Predné rebro



Obrázok 36: Zadné rebro

Parametre rebra:

Tabuľka 45: Parametre predného rebra

Hrúbka rebra:	$t_{reb1} = 1,0\text{mm}$	$t_{reb1} = 1,2\text{mm}$
Efektívna výška:	$he_{reb1} = 158,9\text{mm}$	$he_{reb1} = 158,8\text{mm}$
Profil pásnice:	12 x 12 x 1	10 x 10 x 1,2
Plocha pásnice:	$S_{pas1} = 22,356\text{mm}^a$	$S_{pas1} = 21,633\text{mm}^a$
Odl'ahčovací otvor:	$D_1 = 105\text{mm}$	$D_1 = 122\text{mm}$

Zadné rebro:

Tabuľka 46: Parametre zadného rebra

Hrúbka rebra:	$t_{reb2} = 1,0\text{mm}$	$t_{reb2} = 1,2\text{mm}$
Efektívna výška:	$he_{reb2} = 159,2\text{mm}$	$he_{reb2} = 159,0\text{mm}$
Profil pásnice:	15 x 15 x 1	13 x 13 x 1,2
Plocha pásnice:	$S_{pas1} = 28,356\text{mm}^a$	$S_{pas1} = 28,833\text{mm}^a$
Odl'ahčovací otvor:	$D_2 = 104\text{mm}$	$D_2 = 124\text{mm}$

**Stojna**

Kontrola na stratu stability:

Předné rebro:

Tabuľka 47: Kontrola na stratu stability stojny predného rebra

$\tau_{reb}$ (MPa)	19,175	15,979
$\eta_{st}$	1,610	2,781

Zadné rebro:

Tabuľka 48: Kontrola na stratu stability stojny zadného rebra

$\tau_{reb}$ (MPa)	18,985	15,821
$\eta_{st}$	1,596	2,446

Kontrola na únosnosť:

Předné rebro

Tabuľka 49: Kontrola na únosnosť stojny predného rebra

$q_p$ (N/mm)	19,199	19,465
$\eta_{stoj}$	1,001	1,015

Zadné rebro:

Tabuľka 50: Kontrola na únosnosť stojny zadného rebra

$q_p$ (N/mm)	19,209	19,134
$\eta_{stoj}$	1,012	1,008

**Kontrola pásnic**

Předné rebro

Tabuľka 51: Kontrola pásnic predného rebra

$\sigma_{pas}$ (MPa)	369,538	408,901
$\eta_{pas}$	1,245	1,125

Zadné rebro:

Tabuľka 52: Kontrola pásnic zadného rebra

$\sigma_{pas}$ (MPa)	427,512	420,708
$\eta_{pas}$	1,076	1,093

Nitové spoje rebra so stojinou:

Tabuľka 53: Nitový spoj rebra so stojinou

	Předné rebro:	Zadné rebro:
$d_{nit}$ (mm)	3,0	3,0
$n$	5	
$F_n$ (N)	572,960	816,064
$\eta_n$	2,306	1,594

## 4.5 Pevnostná kontrola časti krídla, určenej na nastupovanie

Priečne nosníky boli kontrolované na ohyb a pri prevedení pomocou z zhustenia rebier, boli rebrá kontrolované na stratu stability a únosnosť a lemy na maximálne napätie.

Pri oboch dvoch prevedeniach boli kontrolované taktiež nitové spoje.

Materiál:

Dural 2024 -  $R_m = 220\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 140\text{MPa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$

Plech s hrúbkou  $t = 1,0\text{mm}$

Parametre:

Tabuľka 54: Parametre časti krídla určenej na nastupovanie

Hmotnosť človeka:	$m=80\text{kg}$
Šírka nástupu:	$l_{\text{nas}}=250\text{mm}$

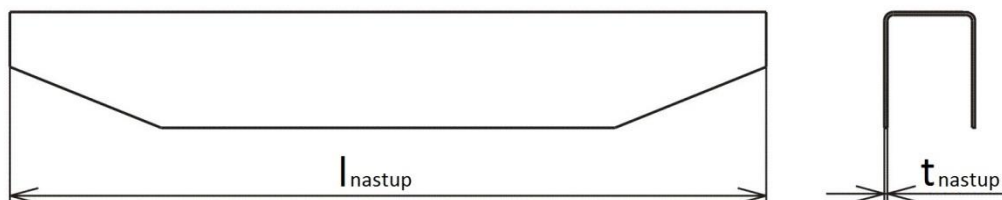
Profil: Dural 2024 T4-  $R_m = 461\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 353\text{MPa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$

Prevedenie nosníkovou konštrukciou:

Ohyb nosníkov:

Tabuľka 55: Požadované parametre na priečny nosník

$M_{\text{Onas}}$ (Nm)	294,3
$W_{\text{O}}$ ( $\text{mm}^3$ )	638,395



Obrázok 37: Priečny nosník

Vyhovuje:

Tabuľka 56: Vyhovujúce profily pre priečne nosníky

	$W_{\text{O}}$ ( $\text{mm}^3$ )	$\eta_{\text{nas}}$
2x L 19 x 32 x 1,5	373,545	1,170
2x U 20 x 28 x 1	347,150	1,034
1x U 38 x 30 x 1	658,711	1,032

Únosnosť nitov:

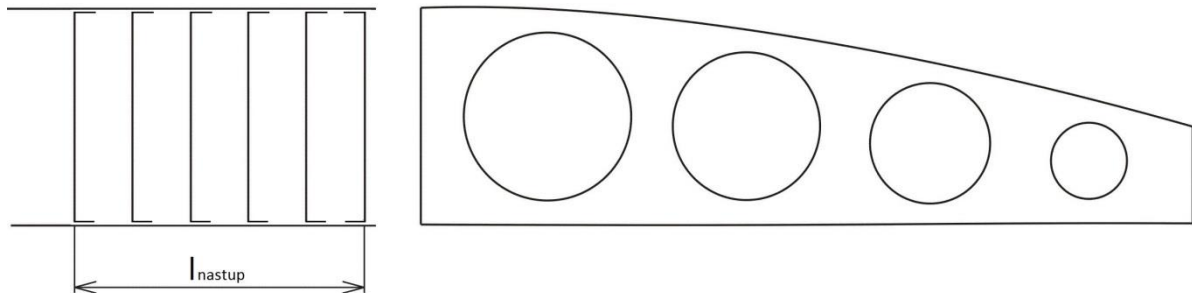
Tabuľka 57: Únosnosť nitov priečných nosníkov

$F_{\text{člov}}$ (N)	1177,2
$n$	2
$\eta_{\text{nit}}$	2,382

Prevedenie zhustením rebier:

Tabuľka 58: Rozmery rebra

$c_{reb}$ (mm)	601,8
$h_{reb}$ (mma)	168,9



Obrázok 38: Zhustenie rebier

Tabuľka 59: Parametre rebra

Hrúbka rebra:	$t_{reb2} = 1,0\text{mm}$
Efektívna výška:	$he_{reb2} = 159,2\text{mm}$
Profil pásnice:	12 x 12 x 1
Plocha pásnice:	$S_{pas1} = 22,356\text{mm}^a$
Odľahčovací otvor:	$D_2 = 156\text{mm}$

Stojna:

Kontrola na stratu stability:

Tabuľka 60: Kontrola na stratu stability stojny rebra

$\tau_{reb}$ (MPa)	3,485
$\eta_{st}$	7,711

Kontrola na únosnosť:

Tabuľka 61: Kontrola na únosnosť stojny rebra

$q_p$ (N/mm)	3,813
$\eta_{stoj}$	1,094

Kontrola pásnic:

Tabuľka 62: Kontrola pásnic rebra

$\sigma_{pas}$ (MPa)	430,605
$\eta_{pas}$	1,068

Kontrola nitov:

Nitové spoje rebra a stojiny:

Tabuľka 63: Kontrola nitov rebra

$d_{nit}$ (mm)	2,6
n	5
$F_n$ (N)	1048,709
$\eta_n$	1,337

#### 4.6 Pevnostná kontrola vztlakovej mechanizácie

U vztlakovej mechanizácii bol kontrolovaný poťah na priehyb pri zaťažení tlakom, nosník a rebro na ohybový moment.

Materiál:

Poťah:

Dural 2024 -  $R_m = 220\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 140\text{Mpa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$

Nosník:

Dural 2024 -  $R_m = 220\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 140\text{Mpa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$

Rebro:

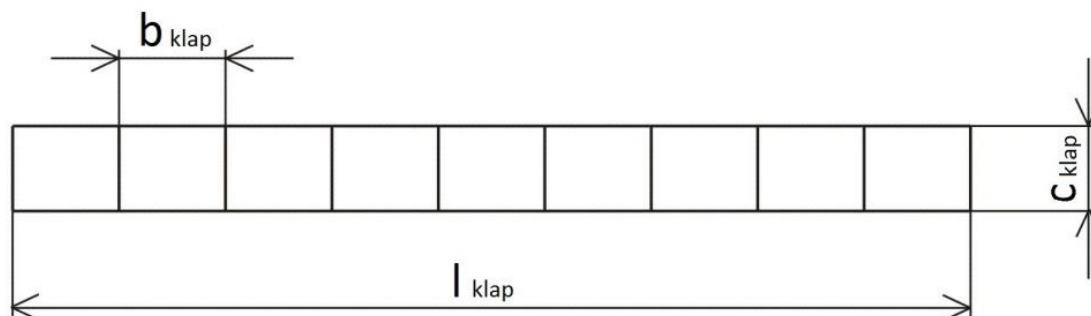
Dural 2024 -  $R_m = 220\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 140\text{Mpa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$

Plech s hrúbkou 0,8mm

Parametre:

Tabuľka 64: Parametre vztlakovej mechanizácie

Hmotnosť lietadla:	$m = 600\text{kg}$	$m = 1322,76\text{lb}$
Plocha krídla:	$S = 10,6\text{m}^2$	$S = 114,10\text{ft}^2$
Dĺžka krídelka:	$l_{klap} = 2,25\text{m}$	
Hĺbka krídelka:	$c_{klap} = 0,23\text{m}$	$\overline{c_{klap}} = 18,4\%$
Zaťaženie krídelka:	$\bar{w} = 983,295\text{Pa}$	
Sila pôsobiaca na krídelko:	$F_{klap} = 508,885\text{N}$	



Obrázok 39: Vztlaková mechanizácia



Priehyb poťahu:

Tabuľka 65: Priehyb poťahu vztlakovej mechanizácie

$T_{\text{klap}}$ (mm)	0,6	0,8
$\sigma_{\text{krid}}$ (MPa)	28,107	20,444
f (mm)	3,577	2,457

Krútiaci moment:

Tabuľka 66: Krútiaci moment nosníka vztlakovej mechanizácie

Profil nosníka:	20 x 35 x 2
$W_{O \text{ nos}}$ (mm <sup>3</sup> )	770,667
$\sigma_{\text{klap nos}}$ (MPa)	434,255
$\eta_{\text{klap nos}}$	1,059

Rebro:

Tabuľka 67: Parametre rebra v klapke

Profil rebra:	12 x 12 x 0,8
$W_{O \text{ reb klap}}$ (mm <sup>3</sup> )	38,4
$\sigma_{\text{reb klap}}$ (MPa)	462,843
$\eta_{\text{reb klap}}$	1,006

#### 4.7 Pevnostná kontrola krídelka

Pri krídelku bol kontrolovaný poťah rovnako ako klapky na priehyb pri zaťažení tlakom, tiaha ovládania na tvarovú stabilitu. U prepákovania diferenciálneho mechanizmu ovládania krídeliek boli kontrolované oká na uchytenie tiahiel, samotné uchytenie prepákovania a uchytenie tiaha na krídelku.

Materiál:

Poťah:

Dural 2024 -  $R_m = 220\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 140\text{Mpa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$

Tiaha:

Dural 2024 -  $R_m = 220\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 140\text{Mpa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$

Ukončenie tiahiel:

Dural 2024 -  $R_m = 220\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 140\text{Mpa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$

Uchytenie tiahiel, a prepákovanie:

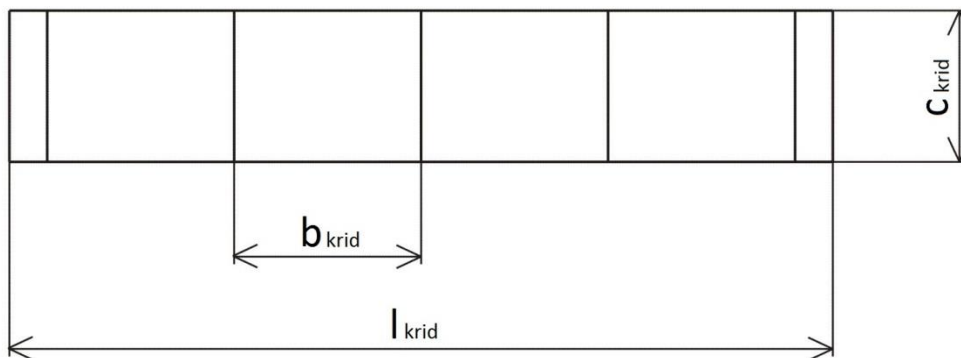
Dural 2024 -  $R_m = 220\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 140\text{Mpa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$ ,

Plech s hrúbkou  $t=1,0\text{mm}$

Parametre krídelka:

Tabuľka 68: Parametre krídelka

Hmotnosť lietadla:	$m = 600\text{kg}$	$m = 1322,76\text{lb}$
Plocha krídla:	$S = 10,6\text{m}^2$	$S = 114,10\text{ft}^2$
Dĺžka krídelka:	$l_{kr} = 1,09\text{m}$	
Hĺbka krídelka:	$c_{kríd} = 0,23\text{m}$	$\bar{c}_{kríd} = 18,4\%$
Zaťaženia krídelka:	$\bar{w} = 983,295\text{Pa}$	
Sila pôsobiaca na krídelko:	$F_{kríd} = 246,512\text{N}$	



Obrázok 40: Krídelko

Priehyb poťahu:

Tabuľka 69: Priehyb poťahu krídelka

$t_{kríd}$ (mm)	0,6	0,8
$\sigma_{kríd}$ (MPa)	31,946	19,820
$f$ (mm)	3,288	2,219

Tiahla ovládania krídelok:

Tabuľka 70: Parametre tiahiel ovládania krídeliek

	Dlhé:	Krátke:
Profil:	28x1	14x1
$J_{tiah}$ (mm <sup>4</sup> )	7740,092	876,860
$\eta_{tiah}$	1,033	1,142

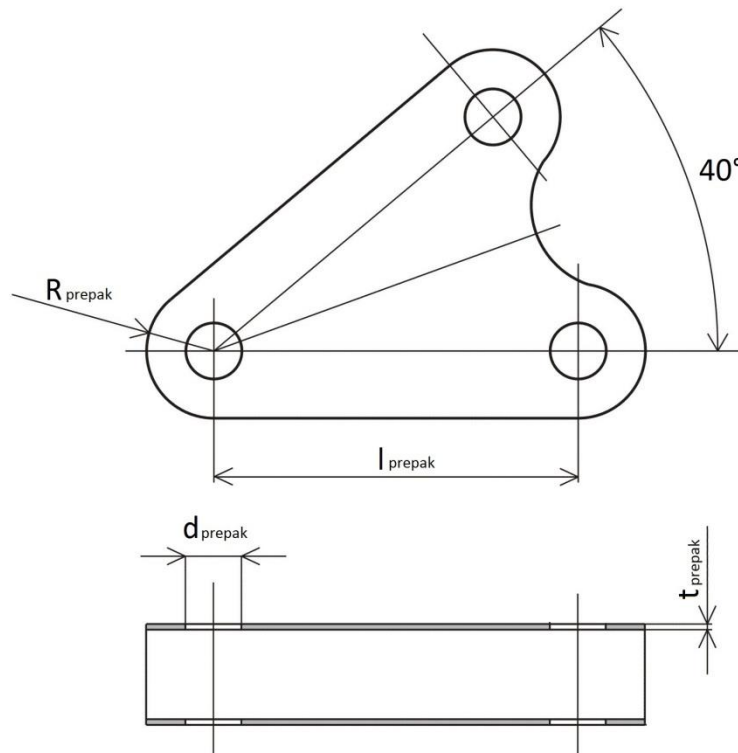
Nitové spoje koncovky a tiaha:

Tabuľka 71: Nitové spoje tiaha ovládania krídeliek

	Dlhé:	Krátke:
$n$	4	4
$F_{nit\ tiah}$ (N)	2720	2720
$\eta_{nit\ tiah}$	2,760	2,760

Prepákovanie mechanizmu ovládania krídeliek:

Materiál: hliník 2024, tepelne nespracovaný



Obrázok 41: Prepákovanie diferenciálneho ovládania krídeliek

Otlačenie oka:

Tabuľka 72: Otláčenie oka prapákovania

$t_{\text{ovlad}}$ (mm)	1
$d_{\text{ovlad}}$ (mm)	6
$\sigma_{\text{ovlad}}$ (MPa)	82,125
$\eta_{\text{ovlad}}$	2,679

Roztrhnutie oka:

Tabuľka 73: Roztrhnutie oka prepákovania

$\sigma_{\text{ovlad}}$ (MPa)	21,432
$\eta_{\text{ovlad}}$	4,434

Otlačenie uchytenia prepákovania:

Tabuľka 74: Otláčenie oka uchytenia prapákovania

$F_{\text{ovlad otoč}}$ (N)	1241,175
$t_{\text{ovlad}}$ (mm)	1
$d_{\text{ovlad}}$ (mm)	8

$\sigma_{\text{ovlad}}$ (MPa)	51,715
$\eta_{\text{ovlad}}$	4,254

Roztrhnutie uchytenia prepákovania:

Tabuľka 75: Roztrhnutie oka uchytenia prepákovania

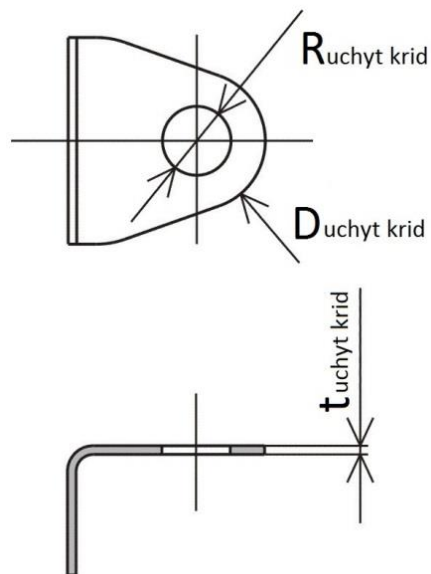
$\sigma_{\text{ovlad}}$ (MPa)	19,702
$\eta_{\text{ovlad}}$	4,822

Skrut prepákovania:

Tabuľka 76: Skrut prepákovania

Profil osi:	8x1
$W_K$ (mm <sup>3</sup> )	20,762
$l_{\text{ovlad}}$ (mm)	65
$\sigma_{\text{otoč skr}}$ (MPa)	3,085
$\eta_{\text{otoč skr}}$	30,790

Nitový spoj uchytenia mechanizmu prepákovania krídeliek:



Obrázok 42: Úchyt tiahla ovládania krídeliek

Tabuľka 77: Nitový spoj prapákovania krídeliek

n	4
$F_{\text{uchyt ovl}}$ (N)	7412
$\eta_{\text{uchyt ovl}}$	5,977

Nitový spoj uchytenia tiahla na krídelku:

Tabuľka 78: Nitový spoj tiahla ovládania krídeliek

n	4
$F_{\text{uchyt krid}} \text{ (N)}$	2720
$\eta_{\text{uchyt krid}}$	2,760

#### 4.8 Pevnostná kontrola závesov

U závesu boli kontrolované oká na uchytenie čapu a samotný strukový spoj závesu s nosníkom krídla.

Materiál:

Záves č.1 a č.2:

Okó: Oceľ - L-CVD (15260):  $R_m = 1\,270\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 1\,080\text{MPa}$

Spoj: M8, trieda pevnosti 8,8

Záves č.3:

Okó: Dural 2024 T351-  $R_m = 469\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 324\text{MPa}$

Spoj: nit  $\varphi=3,0\text{mm}$

Tabuľka 79: Zadané rozmery závesov

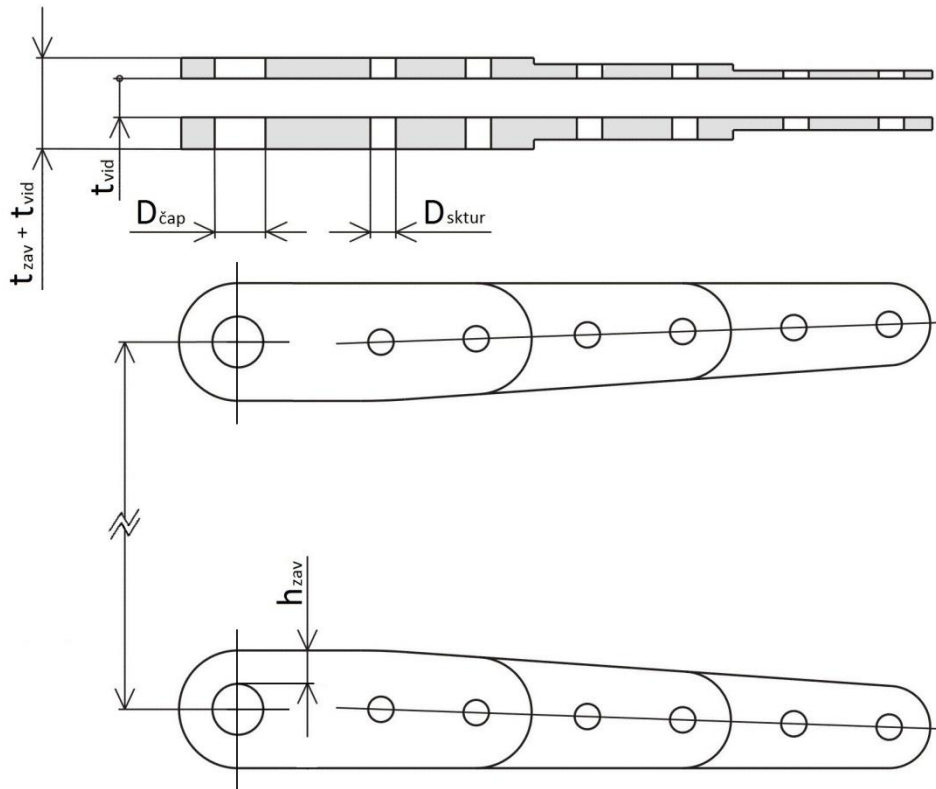
Efektívna výška:	$h_{\text{zav}} = 150\text{mm}$
Vzdialenosť medzi nosníkmi:	$b = 666\text{mm}$
Medzera medzi vidlicami na hlavnom nosníku	$t_{\text{vid}} = 12,2\text{mm}$
Priemer čapov na hlavnom nosníku:	$D_{\text{cap}} = 16\text{mm}$

Tabuľka 80: Momenty pôsobiace na závesy krídla

$M_{O_{\text{cel}}} \text{ (Nm)}$	29 920,70
$M_D \text{ (Nm)}$	9 062,70
$M_k \text{ (Nm)}$	7 982,45

Tabuľka 81: Rozmery závesov krídla

	Záves č.1:	Záves č.2:	Záves č.3:
$h_{\text{zav}} \text{ (mm)}$	10,5	10,5	9,0
$t_{\text{zav}} \text{ (mm)}$	16,5	16,5	4,0



Obrázok 43: Závesy krídla na hlavnom nosníku

Otlačenie oka:

Tabuľka 82: Kontrola na otlačenie oká závesov

	Záves č.1:	Záves č.2:	Záves č.3:
$\sigma_{zav}$ (MPa)	1188,610	1269,526	447,741
$\eta_{zav\ otl}$	1,068	1,000	1,027

Roztrhnutie oka:

Tabuľka 83: Kontrola na roztrhnutie oká závesov krídla

	Záves č.1:	Záves č.2:	Záves č.3:
$\sigma_{čap}$ (MPa)	1153,426	1231,837	447,741
$\eta_{zav\ roz}$	1,101	1,031	1,027

Strih spojenia:

Tabuľka 84: Kontrola strihu skrutkového spojenia závesov

	Záves č.1:	Záves č.2:
n	6	6
$\tau_{spoj}$ (MPa)	507,132	541,607
$\eta_{zav\ str}$	1,262	1,182

Tabuľka 85: Kontrola strihu nitového spojenia závesu

	Záves č.3:
n	40
$F_{cel}$ (N)	56080
$\eta_{zav\ str}$	3,093

Otlačenie závesu:

Tabuľka 86: Kontrola na otlačenie závesu v mieste spoja

	Záves č.1:	Záves č.2:	Záves č.3:
$\sigma_{zav}$ (MPa)	1175,477	1255,387	453,338
$\eta_{zav\ otl}$	1,080	1,012	1,015

Otlačenie nosníka:

Tabuľka 87: Kontrola na otlačenie nosníku v mieste závesu krídla

	Záves č.1:	Záves č.2:	Záves č.3:
$\sigma_{nos}$ (MPa)	446,051	461,739	453,338
$\eta_{nos\ otl}$	1,051	1,015	1,014

## 4.9 Pevnostná kontrola svetla

Uchytenie svetla bolo kontrolované iba na ohyb držiaka svetla od váhy samotného svetla.

Materiál:

Dural 2024 -  $R_m = 220\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 140\text{MPa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$ ,

Plech s hrúbkou  $t_{svet} = 0,8\text{mm}$

Tabuľka 88: Rozmery držiaka svetla

Vzdialenosť medzi rebrami:	$l_{reb} = 369\text{mm}$
Výška panelu:	$h_{pan} = 100\text{mm}$
Zahnutie panelu:	$p_{pan} = 10\text{mm}$
Hmotnosť svetla:	$m_{svet} = 180\text{g}$
Vzdialenosť medzi nitmi:	$l_{nit} = 75\text{mm}$
Maximálny násobok	$n_{max} = 5,28$

Tabuľka 89: Hmotnosť zostavy svetiel

Hmotnosť panelu:	$m_{pan} = 106,7\text{g}$
Celková hmotnosť svetiel zostavy svetla:	$m_{cel} = 466,7\text{g}$

Tabuľka 90: Kontrola nitového spojenia držiaka svetiel

$F_{\text{svet}} \text{ (N)}$	36,259
$M_{\text{Osvet}} \text{ (Nm)}$	6,526
$F_{\text{nit svet}} \text{ (N)}$	87,022

#### 4.10 Pevnostná kontrola poťahu

Poťah bol kontrolovaný na stratu stability. Tento výpočet je prevádzaný pre hodnoty k integrálne frézovanému nosníku.

Materiál:

Dural 2024 -  $R_m = 220\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} = 140\text{MPa}$ ,  $E = 73100\text{MPa}$ ,  $G = 28\text{MPa}$

Kontrola polomeru nábežnej hrany na stratu stability:

Tabuľka 91: Kontrola nábežnej hrany krídla

$t \text{ (mm)}$	0,8	0,8	0,8	0,6
$\tau_{\text{NH}} \text{ (MPa)}$	18,947	13,977	6,416	2,486
$\eta_{\text{NH}}$	8,157	11,058	24,091	50,108

Kontrola poťahu na stratu stability:

Predná dutina:

Vrchný poťah:

Tabuľka 92: Kontrola vrchného poťahu prednej dutiny

$\tau_{\text{kr}} \text{ (MPa)}$	13,930	13,930	13,390	9,467
$\eta_{\text{pot}}$	1,229	1,160	1,185	1,597

Spodný poťah:

Tabuľka 93: Kontrola spodného poťahu prednej dutiny

$\tau_{\text{kr}} \text{ (MPa)}$	10,893	8,980	8,980	6,179
$\eta_{\text{pot}}$	0,824	0,778	0,795	1,043

Zadnáá dutina:

Vrchný poťah:

Tabuľka 94: Kontrola vrchného poťahu zadnej dutiny

$\tau_{\text{kr}} \text{ (MPa)}$	5,525	5,525	5,252	3,408
$\eta_{\text{pot}}$	0,983	0,958	0,948	1,172



Spodný poťah:

Tabuľka 95: Kontrola spodného poťahu zadnej dutiny

$\tau_{kr}$ (MPa)	5,342	3,922	3,922	2,659
$\eta_{poť}$	0,734	0,692	0,708	0,915

**Nitový spoj pásnice a poťahu:**

Hlavný nosník:

Tabuľka 96: Kontrola nitového spojenia poťahu a hlavného nosníka

$d_{nit}$ (mm)	2,6			
$l_{roz}$ (mm)	20	22	29	41
$\eta_n$	1,029	1,050	1,277	3,208

Pomocný nosník:

Tabuľka 97: Kontrola nitového spojenia poťahu a pomocného nosníka

$d_{nit}$ (mm)	2,6			
$l_{roz}$ (mm)	35	37	38	42
$\eta_n$	1,460	2,470	3,869	1,019

Kontrola na stabilitu poťahu medzi nitmi:

Hlavný nosník:

Tabuľka 98: Kontrola zvlnenia poťahu medzi nitmi na hlavnom nosníku

$\eta_{nit}$	3,130	1,855	1,018	1,005
--------------	-------	-------	-------	-------

Pomocný nosník:

Tabuľka 99: Kontrola zvlnenia poťahu medzi nitmi na pomocnom nosníku

$\eta_{nit}$	1,047	1,038	1,031	1,028
--------------	-------	-------	-------	-------

[3][13][18]

#### 4.11 Zhodnotenie pevnostnej kontroly

Súčiniteľ rezervy pásnice hlavného nosníka na tvarovú stabilitu je viac ako 1, pretože nosník bol navrhnutý s hornou a dolnou pásnicou zhodnou, pre jednoduchšiu výrobu. Zadný nosník, ako pásnica, tak aj stojna, je predimenzovaný, pretože bol navrhnutý z ohnutého plechu a pásnice slúžia zároveň na uchytenie závesov krídelka a klapky. Ďalšie predimenzovanie je pri ovládaní krídeliek, z dôvodu menších síl v ovládaní a minimálnych rozmerov kĺbovej hlavy. U poťahu sú súčinitele rezervy pod 1, z toho dôvodu dôjde pri maximálnom zaťažení k zvlneniu poťahu. Nábežna hrana je z dôvodu veľkej tuhosti malého polomeru tiež predimenzovaná. Niektoré nitové spoje sú predimenzované, pretože nie sú silne namáhané.

## 5 Cena a hmotnost' hlavného nosníka

### Nosník tvorený L-ptoformi

Tabuľka výslednej hmotnosti:

Tabuľka 100: Hmotnosť a cena hlavného nosníka tvoreného L-profilmi

Pásnice pre koreňový rez:	Pásnica pre stredový rez:	m (g)	Cena (Kč)
25x25x3 a	25x25x3	7 803,119	960,7
30x30x4	30x30x4	7 485,149	995,7
35x35x3 a	35x35x3	7 813,930	780,2
40x40x3	40x40x3	7 854,602	736,7
30x30x3 a	30x30x3	7 590,622	994,4

### Nosník tvorený frézovanou pásnicou

Tabuľka 101: Hmotnosť a cena nosníka tvoreného frézovanú pásnicou

m (g)	Cena (Kč)
4 736,438	798,6

### Nosník tvorený ohýbaným plechom

Tabuľka 102: Hmotnosť a cena nosníka tvoreného ohýbaným plechom

m (g)	Cena (Kč)
5 139,921	1 420,0

### Nosník tvorený presne vytiahnutým profilom

Tabuľka 103: Hmotnosť a cena nosníka tvoreného integrálne frézovaným nosníkom

m (g)	Cena (Kč)
4 768,444	1 008

### Rebro

Tabuľka 104: Hmotnosť rebier

	Predné rebro:	Zadné rebro:
	m (g)	m (g)
1,0mm	134,438	295,857
1,2mm	161,326	355,023
1,4mm	188,213	414,200

## Nastupovanie

Tabuľka 105: hmotnosť časti určenej na nastupovanie

	profil	m (g)
Priechne nosníky:	2x L 19 x 32 x 1,5	865,275
	2x U 20 x 28 x 1	528,200
	1x U 38 x 30 x1	368,350
Rebro:	1,0	1 479,285

Cený sú iba orientačne!

Ceny sú použité od jedného predajcu, aby bol zachovaný pomer rozdielu v cenách.

V cene je zahrnutý aj nepoužitý materiál (odpad).

## 6 Optimalizácia konštrukcie krídla

Vo vyššie uvedených výpočtoch boli zistené ceny materiálu a hmotnosť nosníka krídla.

Výsledné rozhodnutie o konštrukcii krídla:

- hlavný nosník: integrálne frézovaný pretláčaný profil
  - pri zostavovaní nie sú za potreby žiadne prípravky
- rebrá: plech s hrúbkou 1,0mm
  - nižšia hmotnosť
- nastupovanie: priečne nosníky - plech s hrúbkou 1,0mm a U-profilom 38x30
  - nižšia hmotnosť
- vztlaková mechanizácia a krídelká: plech s hrúbkou 0,8mm
  - menší priehyb pot'ahového plechu
- pot'ah: tvorený z viacero častí
  - menšie polotovary
  - lepšia možnosť zostavovania

Všetky ostatné časti krídla sú uvažované ako bolo popísané v konštrukčnom návrhu.

## 7 Technologický návrh výroby krídla

Pri technologickom návrhu sa vychádzalo z poznatkov uvedených v teoretickej časti diplomovej práce a z odporúčaní firmy EVEKTOR spol. r. o.

V konštrukčnom návrhu bolo vytvorených niekoľko možností konštrukcie hlavných častí krídla. Technologický návrh sa zaoberal už iba jedným, vhodne vybraním podľa písaných výhod a nevýhod v konštrukčnom návrhu.

### 7.1 Obrábanie materiálu

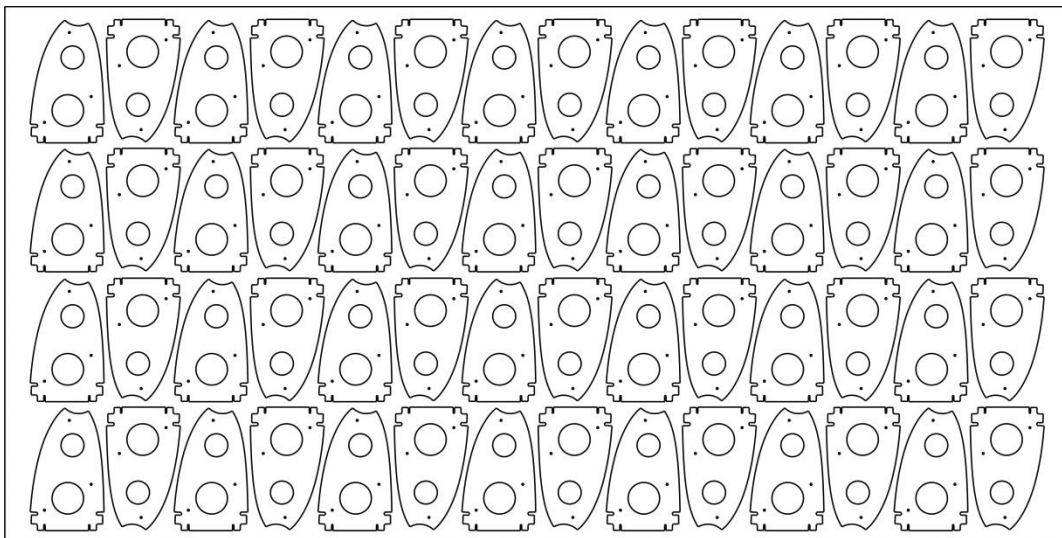
Prvým krokom je delenie materiálu. K tomuto procesu sa použije vodný lúč pre jeho hlavné výhody, ako napríklad vyššia rezná rýchlosť, malé deformačné napätie v opracovanej vrstve, bezprašné rezanie a nie je za potreby upínanie obrobku. A tak isto aj pre odporúčanie firmy EVEKTOR spol. r. o.

Nosník vyhotovený z jedného kusu, bol integrálne frézovaný, čím sa zabezpečilo jeho odľahčenie. Závesy tiež sú frézované.

U zakončenia tiahel ovládania krídeliek je vhodné použiť sústruženie, keďže zakončenie má kuželovitý tvar.

#### Nástrihový plán

Keďže je použitá technológia rezania vodným lúčom, medzery medzi jednotlivými dielmi môžu byť veľmi malé, čoho následkom je veľké percentuálne využitie plechu, pretože nie je za potreby prídavný materiál.

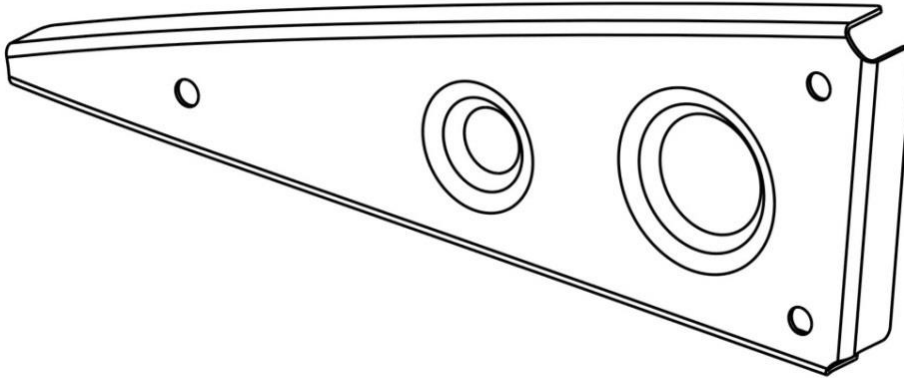


Obrázok 44: Nástrihový plán predného rebra

Profilované polotovary, ktoré sa obrábajú na fríze alebo sústruhu musia byť delené z príslušným prebytkom materiálu. Preto nie je potrebné presné delenie polotovaru a môže byť rezané na klasickej listovej, alebo kotúčovej pile.

## 7.2 Tvarovanie materiálu

Tvárnené sú skoro všetky plechové časti krídla. Ohyb vnútorných a vonkajších lemov boli prevedené metódou WHEELON, pretože je možné ťahať viacero výťahkov naraz, a jedinou časťou ktorá vykonáva prácu je gumový vak s kvapalinou.



Obrázok 45: Tvarovanie rebra v krídelku

Pre priame lemy väčších rozmerov, je vhodné použiť ohraňovací lis, nakoľko tvárnenie nepevným nástrojom by pri lemoch zložených s niekoľkými ohybom bolo príliš zložité.

Pre tvarovanie poľahu, respektíve nábežnej hrán, je použitá metóda dvojvalcového zakružovania.

### Rozloženie pri formovaní

Keďže metóda WHEELON umožňuje ťahať viacero výťahkov na jednu operáciu, je tiež dôležité umiestnenie tieto polotovary vhodne do zariadenia. Ale zároveň treba dbať na vhodnú kombináciu ťahaných plechov, aby nebolo za potreby príliš veľké množstvo ťažníkov a taktiež tvarovať plechy podobných parametrov.

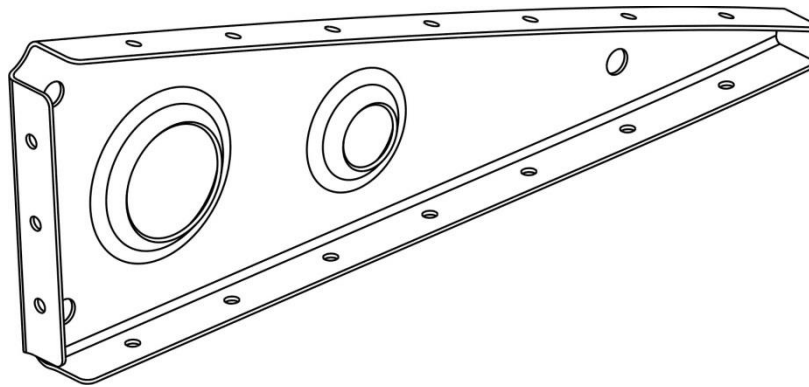
Diely ktoré sú lemované na ohraňovacom lise, alebo sú zakružované, nie je za potreby robiť plán rozloženia, pretože každý z týchto dielov je tvarovaný samostatne.

## 7.3 Začistenie hrán

Nasledujúcou operáciou je začistenie všetkých hrán plechových dielov na brúske. Začistenie hrán sa prevádza z bezpečnostných dôvodov pri montáži a údržbe.

## 7.4 Otvory pre nity

Otvory pre nity sa vyvrtávajú po tvarovaní dielov, aby sa predišlo zdeformovaniu otvorov.



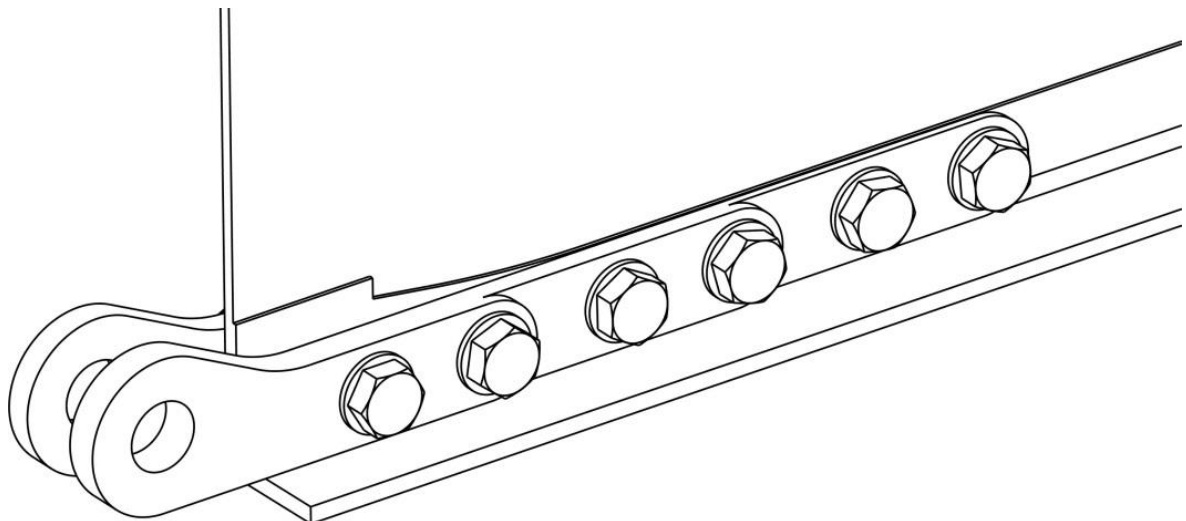
Obrázok 46: Vítane otvory pre nity na rebre v krídelku

## 7.5 Povrchová úprava

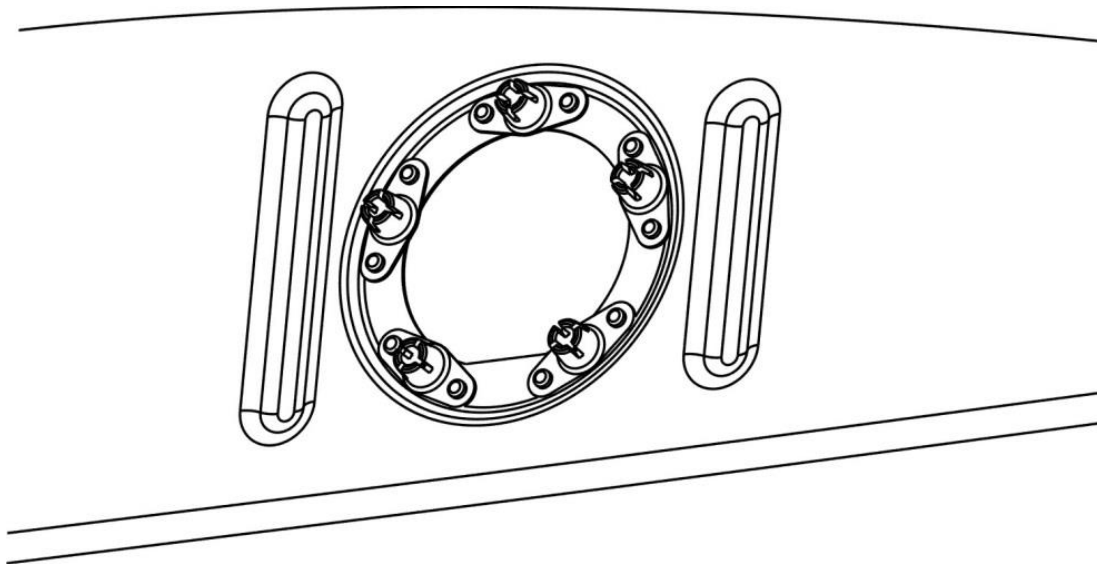
Posledným procesom pred montážou je úprava povrchu jednotlivých dielov antikoroúznou farbou.

## 7.6 Spoje

Všetky spoje boli riešené nitovými spojmami, okrem spojenia závesu s hlavným nosníkom, ktorý je riešený skrutkovým spojom. A všetky technologické a údržbové otvory sú zakryté vekami, ktoré sú prichytené prinitovacími maticami.



Obrázok 47: Skrutkový spoj závesu krídla



Obrázok 48: Spoj prinitovacími maticami

Pri spojoch v nádrži treba brať do úvahy tesnosť jednotlivých spojení, preto je nutné pri montáži použiť epoxidový tmel.

#### **Druhy nitov**

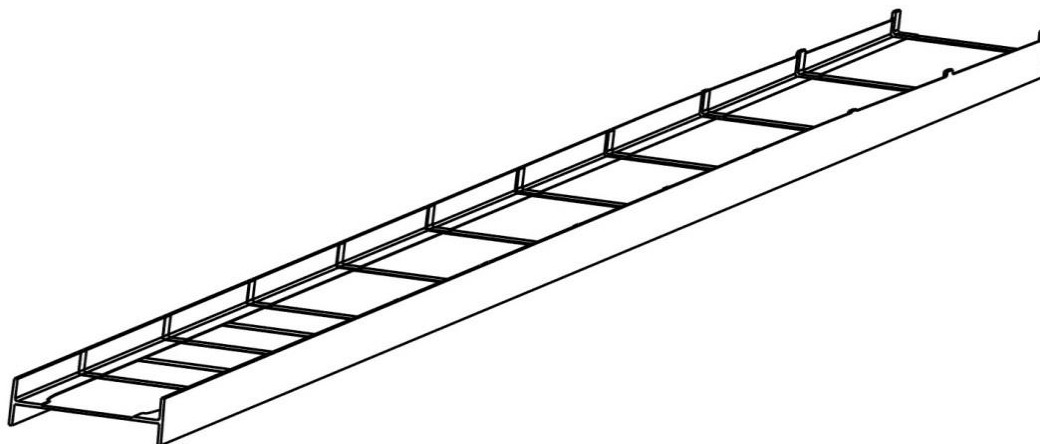
Plné nity: použitie pri spoji rebier so stojnou

Tříňove nity: použitie pri spojoch s pot'ahom

## **7.7 Technológia výroby niektorých dielov**

### **Hlavný nosník**

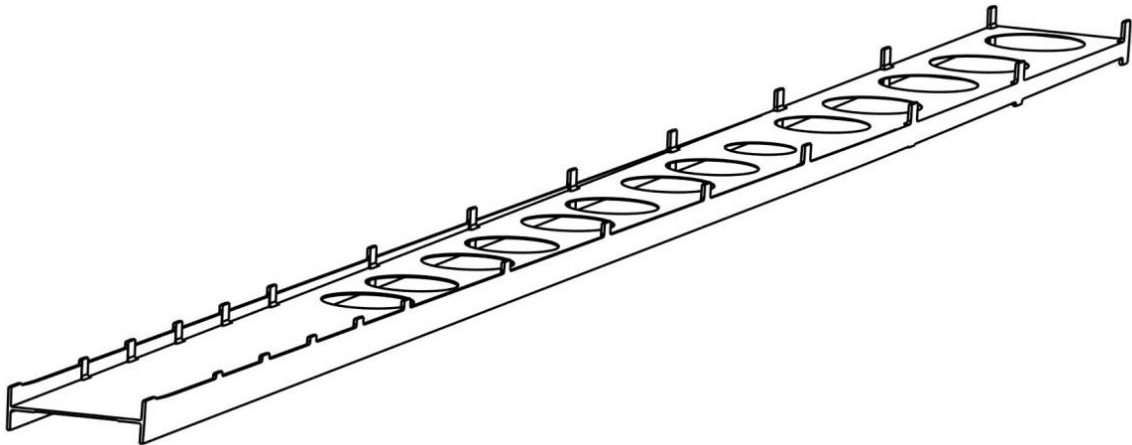
1. Delenie materiálu: profil s dĺžkou 3725mm
2. Integrované frézovanie pásnic a stojny



Obrázok 49: Integrované frézovanie pásnic a stojny hlavného nosníka



### 3. Integrálne frézovanie pásnic a obľahčovacích otvorov

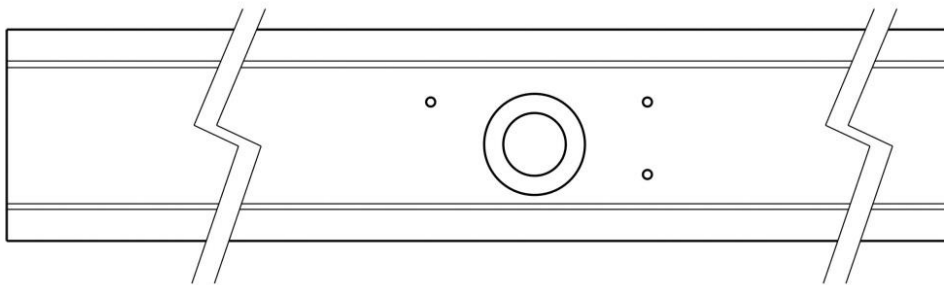


Obrázok 50: Integrálne frézovanie pásnic a obľahčovacích otvorov hlavného nosníka

4. Vítanie otvorov pre nity a závesy
5. Povrchová úprava antikoróznou farbou

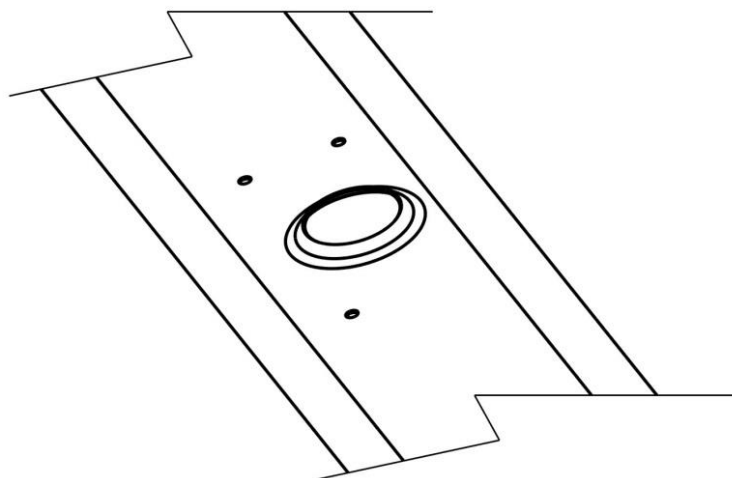
### Pomocný nosník

1. Delenie materiálu s otvorom pre tiahlo ovládania krídeliek a troch umiestňovacích dier: plech s hrúbkou 1mm



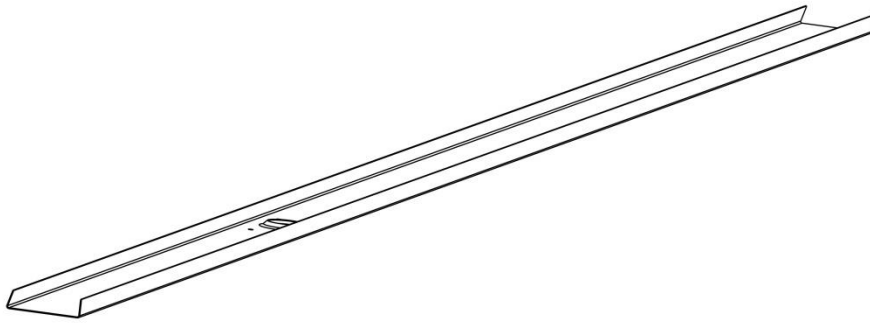
Obrázok 51: Delenie materiálu s otvorom pre tiahlo ovládania krídeliek

2. Olemovanie otvoru pre tiahlo ovládania krídeliek



Obrázok 52: Olemovanie otvoru pre tiahlo ovládania krídeliek

3. Lemy nosníka ohýbané na ohraňavacom lise

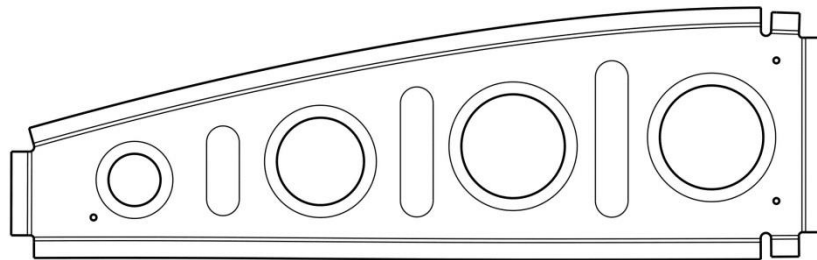


Obrázok 53: Lemy pomocného nosníka ohýbané na ohraňavacom lise

4. Začistenie hrán
5. Vyvrtanie otvorov pre nity
6. Povrchová úprava antikoróznou farbou

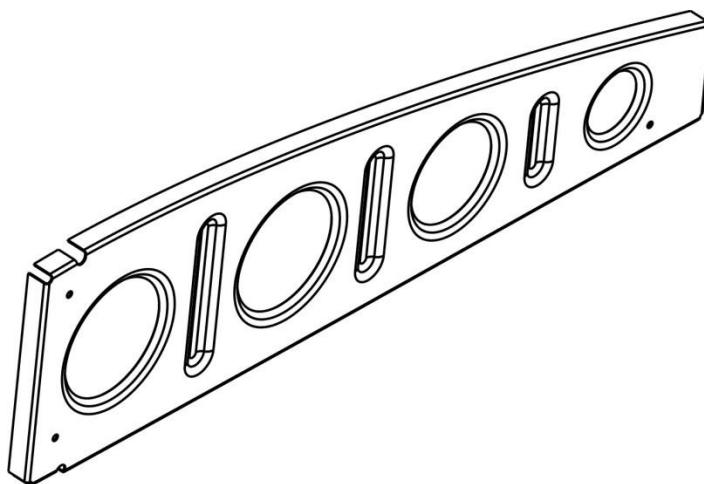
**Rebro**

1. Delenie materiálu aj s odľahčovacými otvormi a umiestňovacími dierami: plech s hrúbkou 1mm



Obrázok 54: Delenie materiálu aj s odľahčovacými otvormi

2. Tvarovanie celého rebra na jedno operáciu



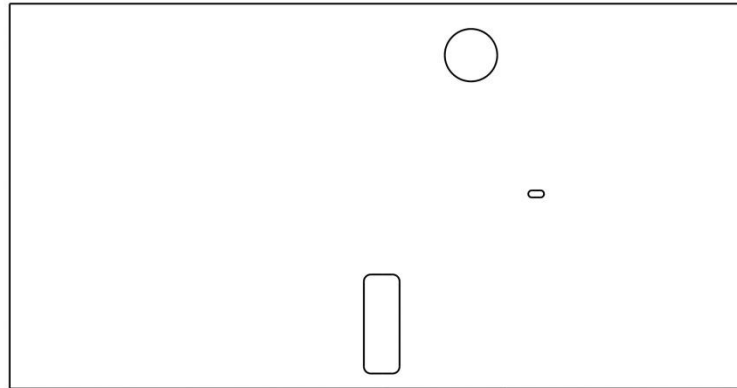
Obrázok 55: Tvarovanie zadného rebra

3. Začistenie hrán
4. Vyvrtanie otvorov pre nity

## 5. Povrchová úprava antikoróznou farbou

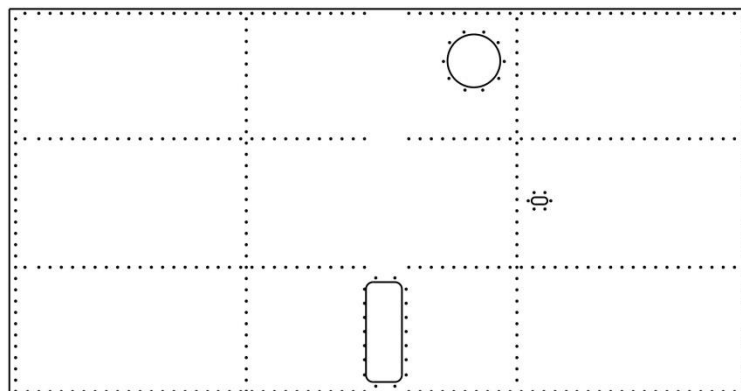
### Poťah

1. Delenie materiálu: plech s hrúbkou 0,6mm



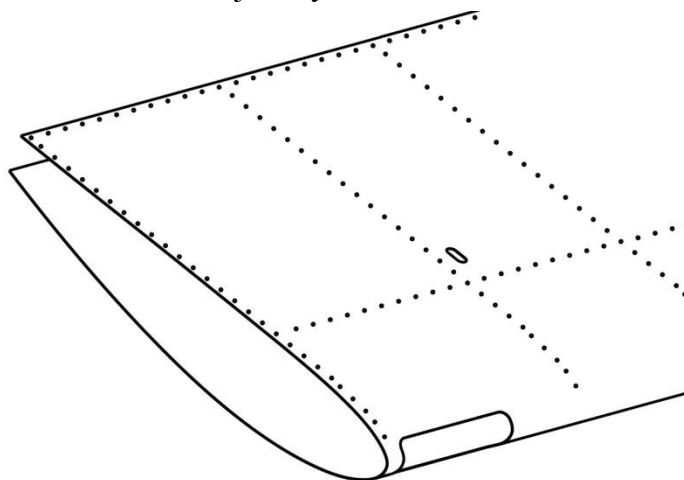
Obrázok 56: Delenie poťahového plechu

2. Začistenie hrán
3. Vrtanie otvorov pre nity



Obrázok 57: Vrtanie otvorov pre nity na poťahovom plechu

4. Tvarovanie nábežnej hrany

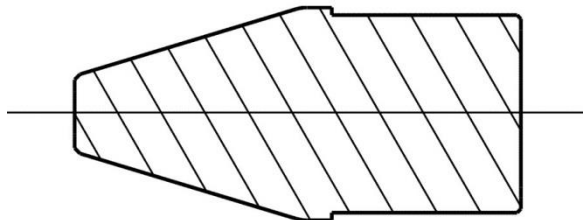


Obrázok 58: Tvarovanie nábežnej hrany

## 5. Povrchová úprava antikoróznou farbou

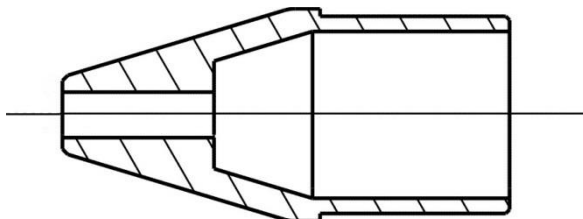
### Ukončenie tiahiel ovládania krídeliek:

1. Delenie materiálu: kruhová tyč s prierezom  $\varnothing 30 \times 62$
2. Sústruženie vonkajšieho tvaru koncového kužela



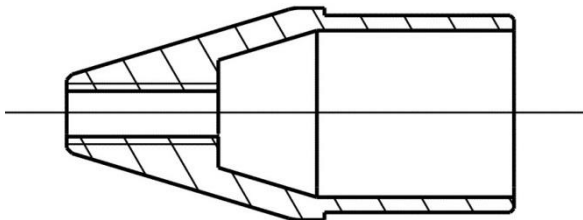
Obrázok 59: Sústruženie vonkajšieho tvaru koncového kužela

3. Vrtania vnútornej diery pre odľahčenie koncového kužela



Obrázok 60: Vrtania vnútornej diery pre odľahčenie koncového kužela

4. Vyrezanie závitú pre uchytenie pre kľbovú hlavu

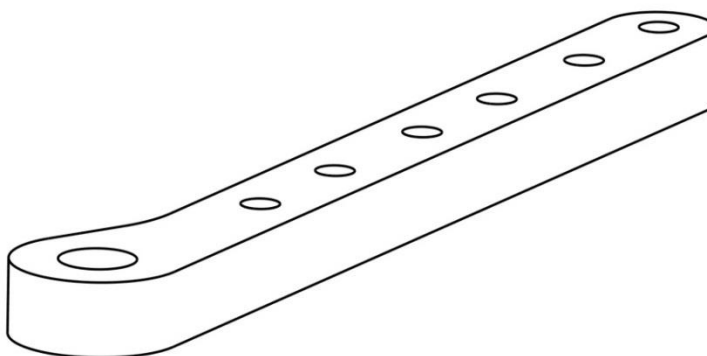


Obrázok 61: Vyrezanie závitú pre uchytenie pre kľbovú hlavu

5. Povrchová úprava antikoróznou farbou

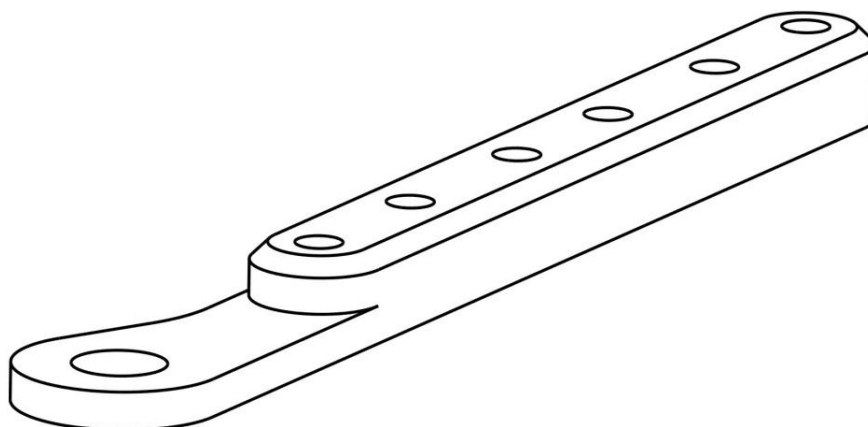
### Závesy

1. Delenie materiálu: plech s hrúbkou 16mm
2. Opracovanie obvodových tvarov a vrtanie dier pre skrutky a čap závesu



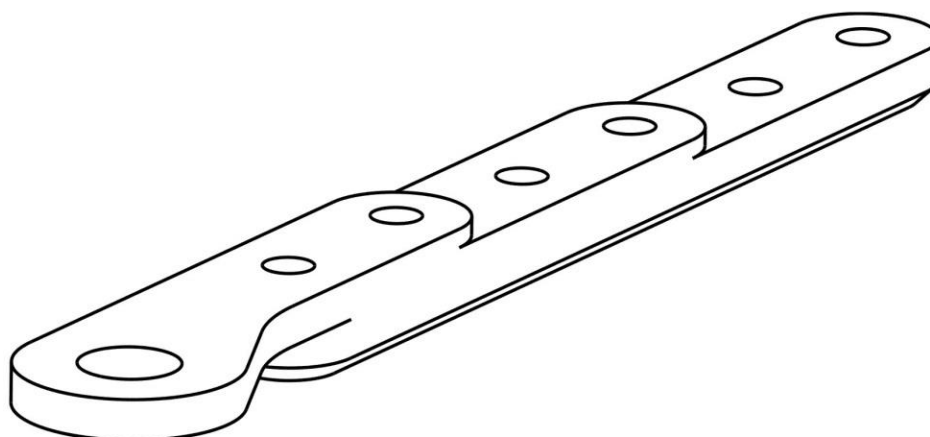
Obrázok 62: Opracovanie hlavných rozmerov závesu krídla

### 3. Obrobenie vnútornej strany závesu



Obrázok 63: Obrobenie vnútornej strany závesu hlavného nosníka

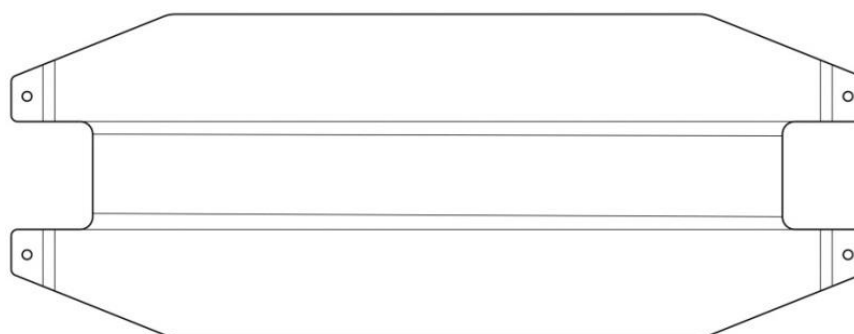
### 4. Obrobenie vonkajšej strany závesu pre odľahčenie



Obrázok 64: Obrobenie vonkajšej strany závesu pre odľahčenie

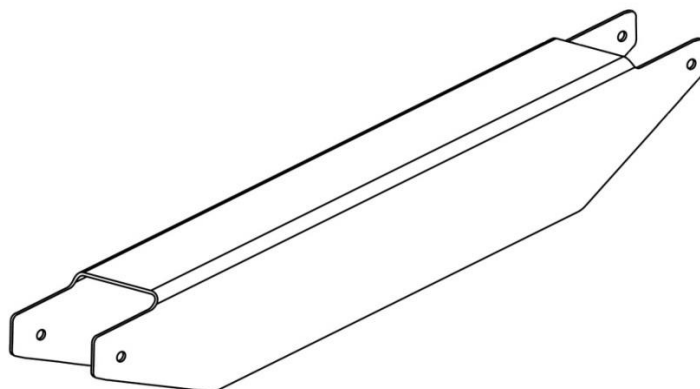
## Priečne nosníky v časti krídla určenej na nastupovanie

### 1. Delenie materiálu: plech s hrúbkou 1mm



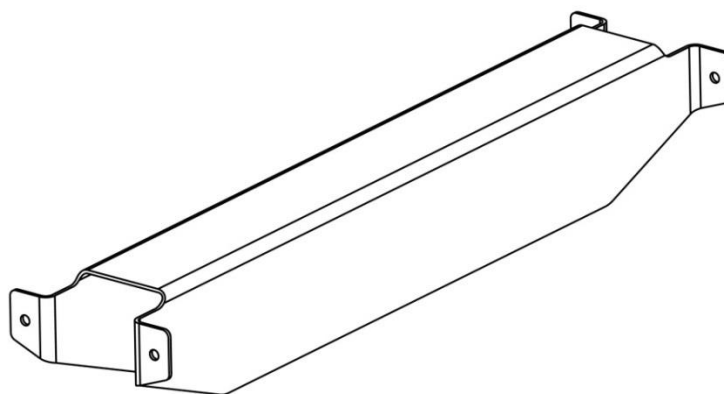
Obrázok 65: Delenie materiálu priečného nosníka

## 2. Len priečneho nosíku



Obrázok 66: Len priečneho nosníka

## 3. Lem úchytovej priečnej nosníka



Obrázok 67: Lem úchytovej priečnej nosníka

## 4. Povrchová úprava antikoróznou farbou

Technologická výroba ostatných plechových dielov je zhodná s dielmi vyššie uvedenými, preto nie je nutné ich ďalej uvádzať.

## 8 Kontrola lemov plechovej konštrukcie krídla

Pri výrobe lisovaný dielcov je potrebné dbať na deformáciu materiálu, aby nedošlo k prekročeniu kritických hodnôt. Preto je dôležité kontrolovať všetky lemy na plechových súčiastiach krídla. Taktiež je dôležité brať do úvahy minimálne polomery ohybov a odpruženie materiálu pri tvorbe tažníka.

### 8.1.1 Minimálny polomer

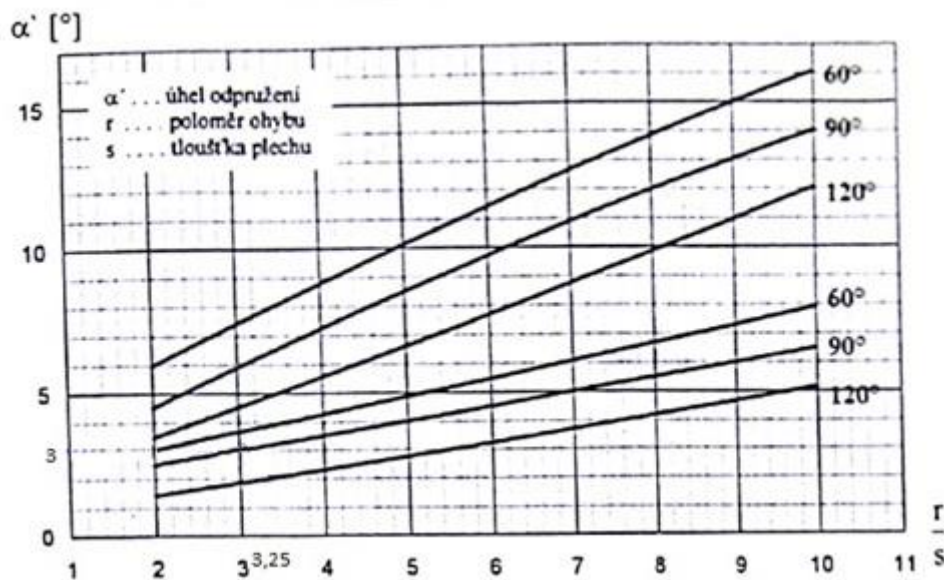
Minimálny polomer sa určí z tabuľky ONL 1520

Type of alloy	Sheet thickness, mm																
	0.2	0.25	0.32	0.4	0.5	0.63	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0
2024 O	0.3	0.4	0.6		0.8	1.0	1.2	1.6	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	10.0	12.0	16.0	20.0
2024 T4	1.0		1.6	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	12.0	16.0	20.0	25.0	30.0	40.0

### 8.1.2 Uhol odpruženia

Uhol odpruženia sa určí z diagramu pre spätné odpruženie

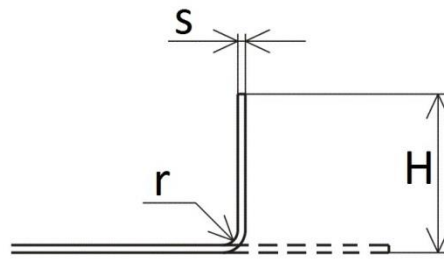
$$\frac{r}{s} \Rightarrow \alpha$$



### 8.1.3 Kontrola na presahujúci lem

$$H = h - 0,43 \cdot r - 0,215 \cdot s$$

$$h_{min} = r_{min} + 5 \cdot s$$



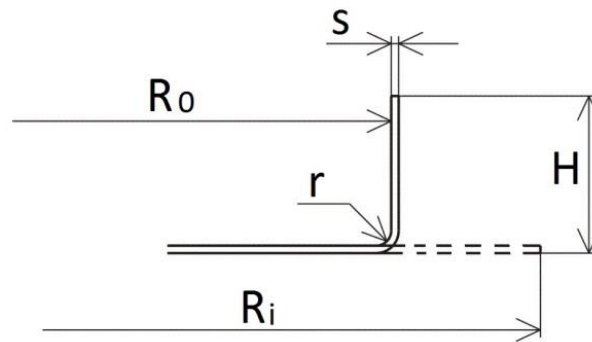
Obrázok 68: Presahujúci lem

#### 8.1.4 Kontrola vonkajšieho lemu

$$R_i = R_0 + H$$

$$\frac{h}{s}$$

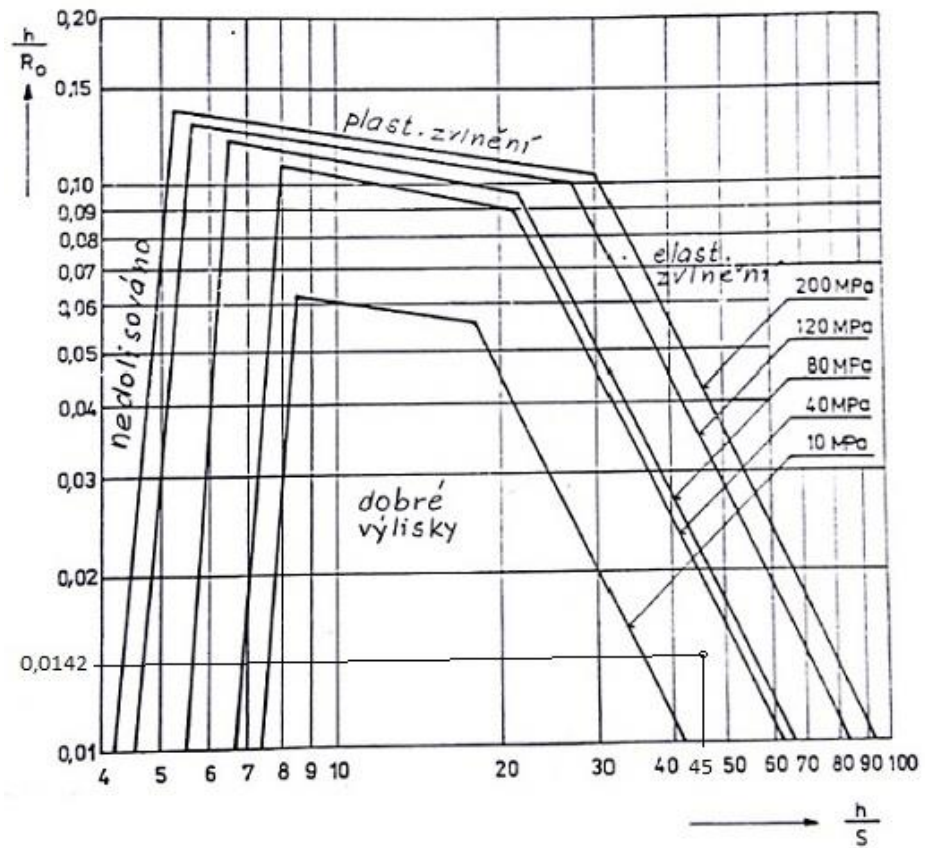
$$\frac{h}{R_0}$$



Obrázok 69: Vonkajší lem

Pre kontrolu kvality výlisku sa použije diagram medzného pretvorenia podľa Wooda.





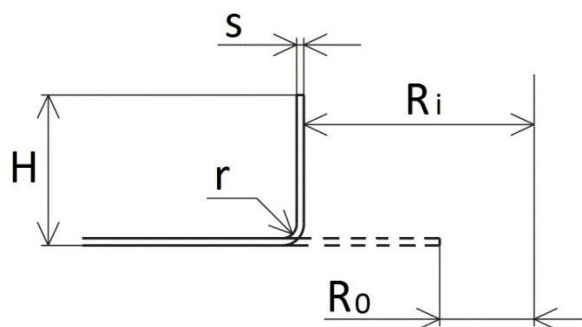
### 8.1.5 Kontrola vnitřního lemu

$$h_{min} = r_{min} + 5 \cdot s$$

$$H = h - 0,43 \cdot r - 0,215 \cdot s$$

$$R_i = R_f - H$$

$$\varepsilon = \frac{R_i - R_0}{R_i} \cdot 100$$



Obrázek 70: Vnitřní lem

### 8.1.6 Kontrola otvoru

$$\varepsilon = \frac{R_i - R_0}{R_i} \cdot 100$$

### 8.1.7 Kontrola pretlačku

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_i} \cdot 100$$

## 8.2 Kontrola lemov jednotlivých plechových částí

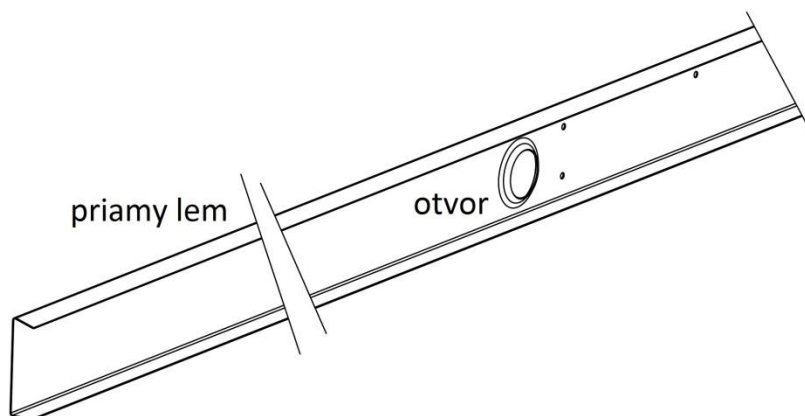
Keďže na jednotlivých plechových dieloch sú rôzne vnútorné a vonkajšie lemy, budú kontrolované každý jednotlivito a tak isto ja priame lemy.

### 8.2.1 Zadný nosník

Parametre tvárneného plechu:

Tabuľka 106: Parametre plechu zadného nosníka

Hrúbka plechu:	t = 1mm
Presahujúci lem:	h = 20mm



Obrázok 71: Kontrola lemov pomocného nosníka

Priamy lem:

Tabuľka 107: Kontrola priameho lemu na zadnom nosníku

$r_{\min}$ (mm)	1,6
r/s	1,6
$\alpha$ (°)	2,8
H (mm)	19,097
$h_{\min}$ (mm)	6,6

Je splnená podmienka  $h_{\min} < H$  a preto len vyhovuje.

Otvor:

Tabuľka 108: Kontrola olemovania otvoru na zadnom nosníku

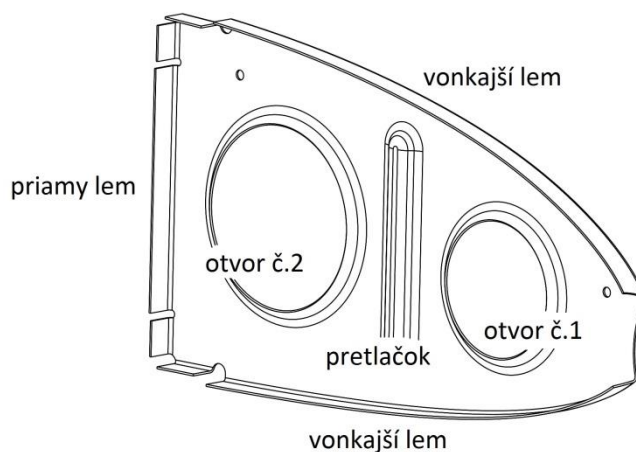
$R_0$ (mm)	20,134
$R_i$ (mm)	21,707
$\varepsilon$ (%)	7,813

### 8.2.2 Predné rebro

Parametre tvárneného plechu:

Tabuľka 109: Parametre plechu predného rebra

Hrúbka plechu:	$t = 1\text{mm}$
Presahujúci lem:	$h = 12\text{mm}$



Obrázok 72: Kontrola lemov predného rebra

Priamy lem:

Tabuľka 110: Kontrola priameho lemu na predom rebre

$r_{\min}$ (mm)	1,6
$r/s$	1,6
$\alpha$ ( $^\circ$ )	2,8
$H$ (mm)	11,097
$h_{\min}$ (mm)	6,6

Je splnená podmienka  $h_{\min} < H$  a preto lem vyhovuje.

Vonkajší lem:

Tabuľka 111: Kontrola vonkajšieho lemu na prednom rebre

$R_0$ (mm)	164,9
$R_i$ (mm)	176,9
$h/s$	12
$h/R_0$	0,073

Výlisky podľa diagramu medzného pretvorenia podľa Wooda budú v kategórii dobré výlisky.

Otvor č.1:

Tabuľka 112: Kontrola olemovania otvoru č.1 na prednom rebre

$R_0$ (mm)	32,306
$R_i$ (mm)	34,0
$\varepsilon$ (%)	5,244

Otvor č.2:

Tabuľka 113: Kontrola olemovania otvoru č.2 na zadnom rebre

$R_0$ (mm)	44,306
$R_i$ (mm)	46,0
$\varepsilon$ (%)	3,823

Pretlačok:

Tabuľka 114: Kontrola pretlačku na prednom rebre

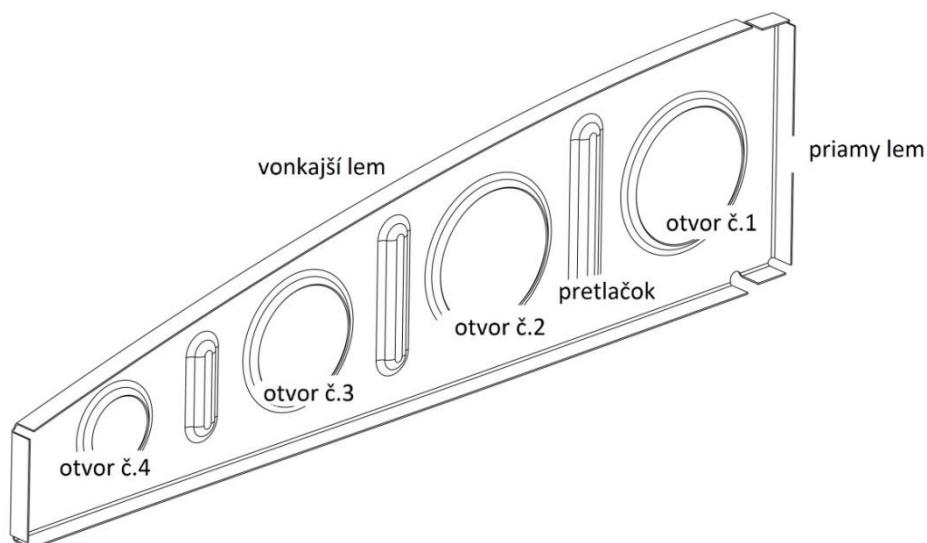
$l_i$ (mm)	29,083
$l_0$ (mm)	25,799
$\varepsilon$ (%)	11,292

### 8.2.3 Zadné rebro

Parametre tvárneného plechu:

Tabuľka 115: Parametre plechu zadného rebra

Hrúbka plechu:	$t = 1,0\text{mm}$
Presahujúci lem:	$h = 15\text{mm}$



Obrázok 73: Kontrola lemov zadného rebra

Priamy lem:

Tabuľka 116: Kontrola priameho lemu na zadnom rebre

$r_{\min}$ (mm)	1,6
r/s	1,6
$\alpha$ (°)	2,8
H (mm)	14,097
$h_{\min}$ (mm)	6,6

Je splnená podmienka  $h_{\min} < H$  a preto len vyhovuje.

Vonkajší lem:

Tabuľka 117: Kontrola vonkajšieho lemu na zadnom rebre

$R_0$ (mm)	2 419,6
$R_i$ (mm)	2 434,6
h/s	15
$h/R_0$	0,006

Výlisky podľa diagramu medzného pretvorenia podľa Wooda budú v kategórii dobré vylisky.

Otvor č.1 a č.2:

Tabuľka 118: Kontrola olemovania otvoru č.1 a č.2 na zadnom rebre

$R_0$ (mm)	44,306
$R_i$ (mm)	46
$\varepsilon$ (%)	3,823

Otvor č.3:

Tabuľka 119: Kontrola olemovania otvoru č.3 na zadnom rebre

$R_0$ (mm)	37,306
$R_i$ (mm)	39
$\varepsilon$ (%)	4,541

Otvor č.4:

Tabuľka 120: Kontrola olemovania otvoru č.4 na zadnom rebre

$R_0$ (mm)	22,306
$R_i$ (mm)	24
$\varepsilon$ (%)	7,594

Pretlačok:

Tabuľka 121: Kontrola pretlačku na zadnom rebre

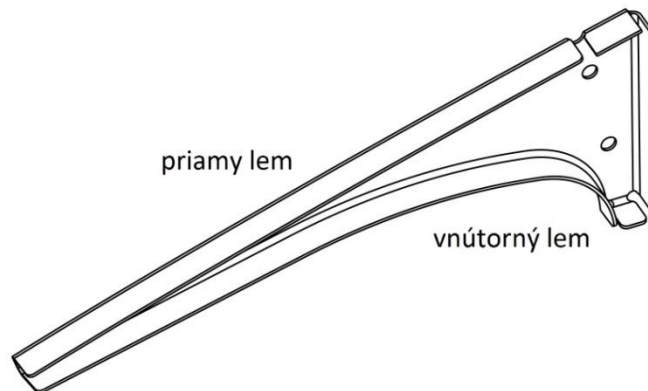
$l_i$ (mm)	29,083
$l_0$ (mm)	25,799
$\varepsilon$ (%)	11,292

## 8.2.4 Koncové rebro

Parametre tvárneného plechu:

Tabuľka 122: Parametre plechu koncového rebra

Hrúbka plechu:	$t = 0,8\text{mm}$
Presahujúci lem:	$h = 8\text{mm}$



Obrázok 74: Kontrola lemov koncového rebra

Priamy lem:

Tabuľka 123: Kontrola priameho lemu na koncovom rebre

$r_{\min}$ (mm)	1,2
$r/s$	1,5
$\alpha$ (°)	2,8
$H$ (mm)	7,312
$h_{\min}$ (mm)	5,2

Je splnená podmienka  $h_{\min} < H$  a preto lem vyhovuje.

Vnútorný lem:

Tabuľka 124: Kontrola vnútorného lemu koncového rebra

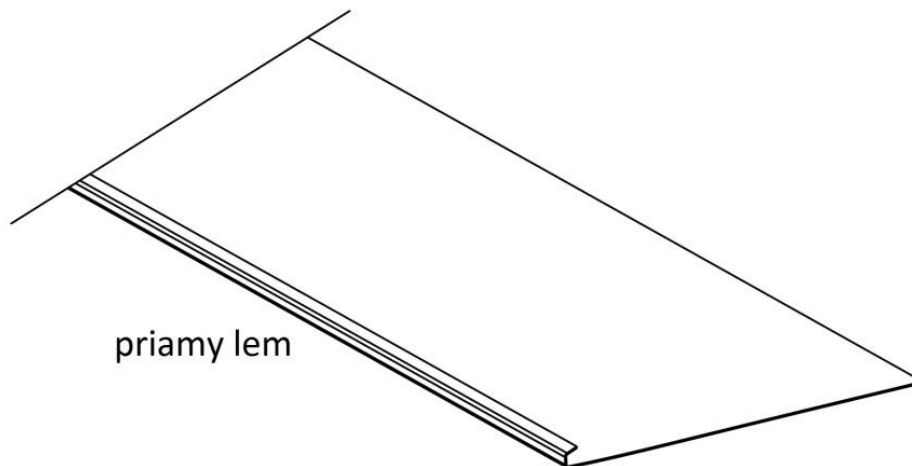
$h_{\min}$ (mm)	5,2
$H$ (mm)	7,312
$R_0$ (mm)	55
$R_i$ (mm)	47
$\varepsilon$ (%)	11,307

### 8.2.5 Poťah na klapke a krídelku

Parametre tvárneného plechu:

Tabuľka 125: Parametre plechu poťahového plechu krídelka a klapky

Hrúbka plechu:	$t = 0,8\text{mm}$
Presahujúci lem:	$h = 7\text{mm}$



Obrázok 75: Kontrola klapky a krídelka

Priamy lem:

Tabuľka 126: Kontrola priameho lemu na klapke a krídelku

$r_{\min}$ (mm)	1,2
r/s	1,5
$\alpha$ (°)	2,8
H (mm)	6,312
$h_{\min}$ (mm)	5,2

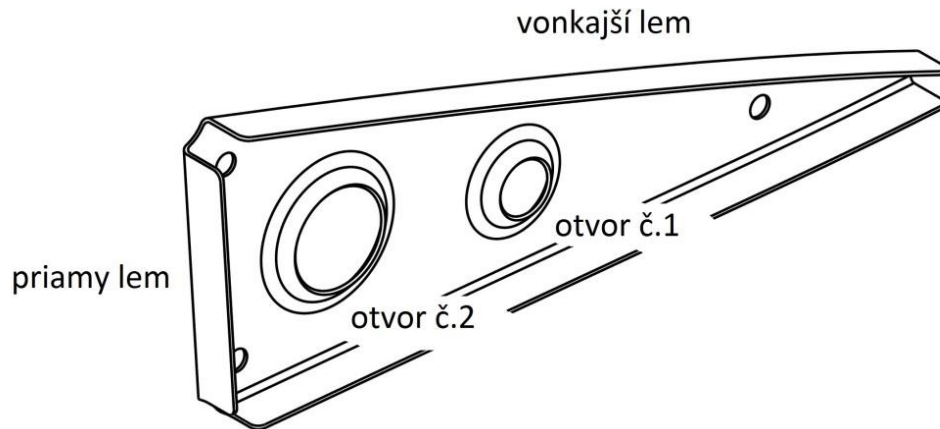
Je splnená podmienka  $h_{\min} < H$  a preto len vyhovuje.

### 8.2.6 Rebro v krídelku

Parametre tvárneného plechu:

Tabuľka 127: Parametre plechu rebra v krídelku

Hrúbka plechu:	$t = 0,8\text{mm}$
Presahujúci lem:	$h = 10\text{mm}$



Obrázok 76: Kontrola lemov rebra v krídelku

Priamy lem:

Tabuľka 128: Kontrola priameho lemu na rebre v krídelku

$r_{\min}$ (mm)	1,2
r/s	1,5
$\alpha$ (°)	2,8
H (mm)	9,312
$h_{\min}$ (mm)	5,2

Je splnená podmienka  $h_{\min} < H$  a preto len vyhovuje.

Vonkajší lem:

Tabuľka 129: Kontrola vonkajšieho lemu na rebre v krídelku

$R_0$ (mm)	2475
$R_i$ (mm)	2485
h/s	12,5
$h/R_0$	0,004

Výlisky podľa diagramu medzného pretvorenia podľa Wooda budú v kategórii dobré výlisky.

Otvor č.1:

Tabuľka 130: Kontrola olemovania otvoru č.1 na rebre v krídelku

$R_0$ (mm)	6,360
$R_i$ (mm)	7,0
$\varepsilon$ (%)	10,063



Otvor č.2:

Tabuľka 131: Kontrola olemovania otvoru č.2 na rebre v krídelku

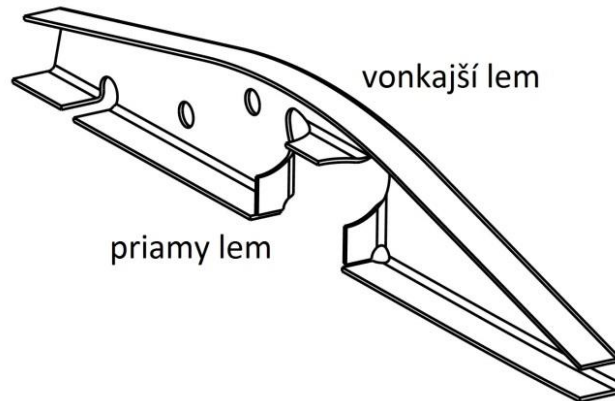
$R_0$ (mm)	9,946
$R_i$ (mm)	11,0
$\varepsilon$ (%)	10,597

### 8.2.7 Rebro v klapke

Parametre tvárneného plechu:

Tabuľka 132: Parametre plechu rebra v klapke

Hrúbka plechu:	$t = 0,8\text{mm}$
Presahujúci lem:	$h = 10\text{mm}$



Obrázok 77: Kontrola lemov rebra v klapke

Priamy lem:

Tabuľka 133: Kontrola priameho lemu na rebre v klapke

$r_{\min}$ (mm)	1,2
$r/s$	1,5
$\alpha$ ( $^\circ$ )	2,8
$H$ (mm)	9,312
$h_{\min}$ (mm)	5,2

Je splnená podmienka  $h_{\min} < H$  a preto lem vyhovuje.

Vonkajší lem:

Tabuľka 134: Kontrola vonkajšieho lemu na rebre v klapke

$R_0$ (mm)	148
$R_i$ (mm)	158
$h/s$	12,5
$h/R_0$	0,068

Výlisky podľa diagramu medzného pretvorenia podľa Wooda budú v kategórii dobré vylisky.

### 8.2.8 Prepákovanie mechanizmu ovládania krídeliek

Parametre tvárneného plechu:

Tabuľka 135: Parametre plechu prepákovania ovládania krídeliek

Hrúbka plechu:	$t = 1\text{mm}$
Presahujúci lem:	$h = 14\text{mm}$

Priamy lem:

Tabuľka 136: Kontrola priameho lemu na prepákovani ovládania krídeliek

$r_{\min}$ (mm)	1,6
r/s	1,6
$\alpha$ (°)	2,8
H (mm)	13,097
$h_{\min}$ (mm)	6,6

Je splnená podmienka  $h_{\min} < H$  a preto len vyhovuje.

### 8.2.9 Nastupovanie

Parametre tvárneného plechu:

Tabuľka 137: Parametre plechu priečného nosníka

Hrúbka plechu:	$t = 1\text{mm}$
Presahujúci lem:	$h = 10\text{mm}$

Priamy lem:

Tabuľka 138: Kontrola priameho lemu na priečnom nosníku

$r_{\min}$ (mm)	1,6
r/s	1,6
$\alpha$ (°)	2,8
H (mm)	9,097
$h_{\min}$ (mm)	6,6

Je splnená podmienka  $h_{\min} < H$  a preto len vyhovuje.

### 8.2.10 Svetlo

Parametre tvárneného plechu:

Tabuľka 139: Parametre plechu držiaka svetla

Hrúbka plechu:	$t = 0,8\text{mm}$
Presahujúci lem:	$h = 10\text{mm}$

Priamy lem:

Tabuľka 140: Kontrola priameho lemu na držiaku svetla

$r_{\min}$ (mm)	1,2
r/s	1,5
$\alpha$ (°)	2,8
H (mm)	9,312
$h_{\min}$ (mm)	5,2

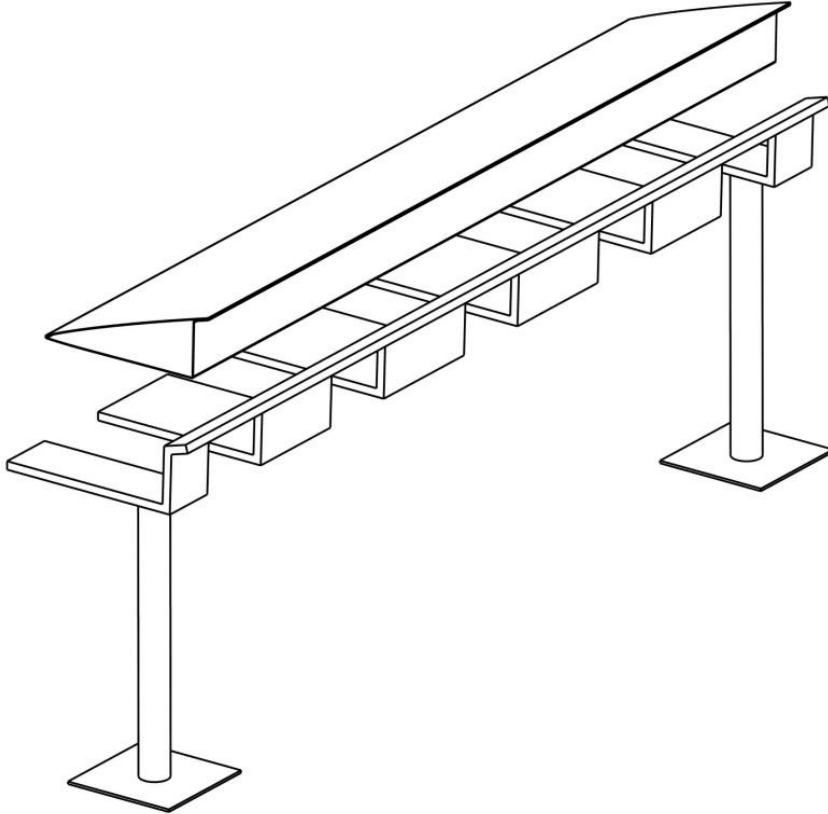
Je splnená podmienka  $h_{\min} < H$  a preto lem vyhovuje.

[1][8][24]

## 9 Montážny postup krídla

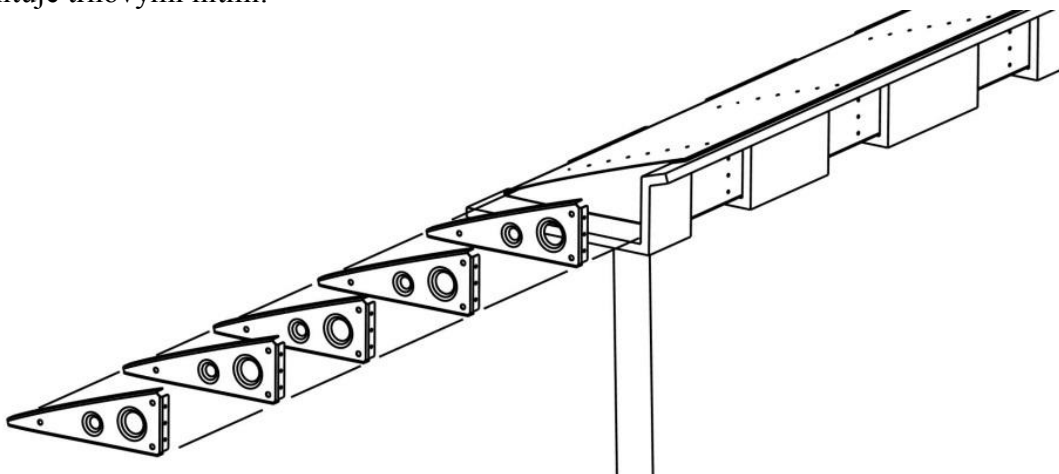
### 9.1 Montážny postup krídelka

1. Upnutie poľahového plechu do prípravku.



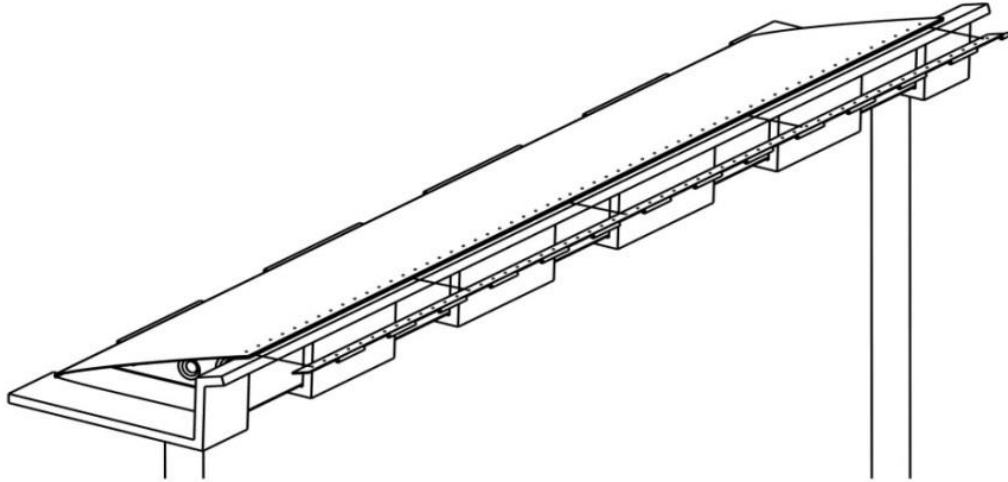
Obrázok 78: Upnutie poľahového plechu krídelka

2. Vloženie rebier krídelka, spodná strana sa upne pružinovými svorkami, a následne znituje trňovými nitmi.



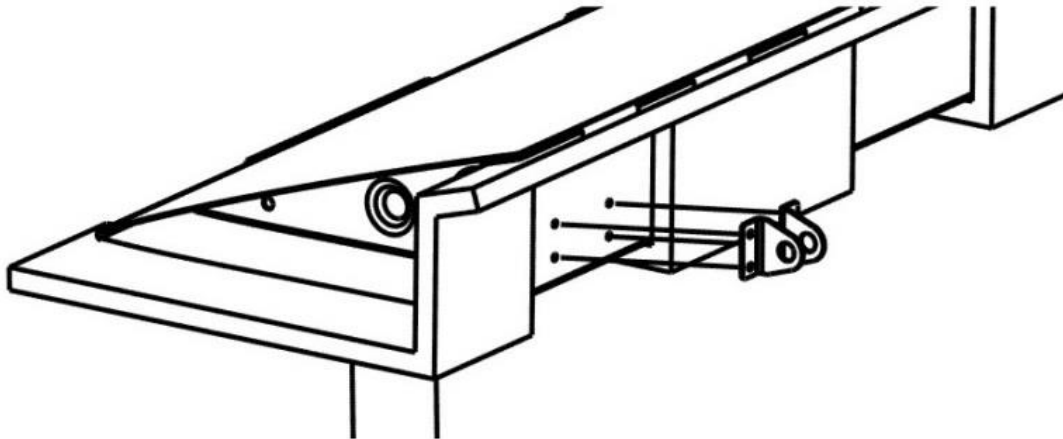
Obrázok 79: Vloženie rebier do krídelka

3. Vloženie klavírového závesu krídelka, upnutie pružinovými svorkami, a následne znotovanie trňovými nitmi.



Obrázok 80: Uchytenie klavírového pántu na krídelko

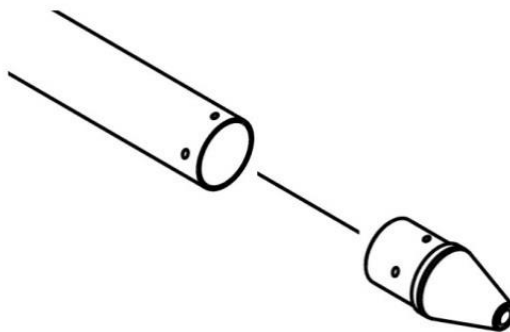
4. Prichytenie ovládania krídeliek pružinovými svorkami a následne znitovanie.



Obrázok 81: Montáž ovládania krídeliek

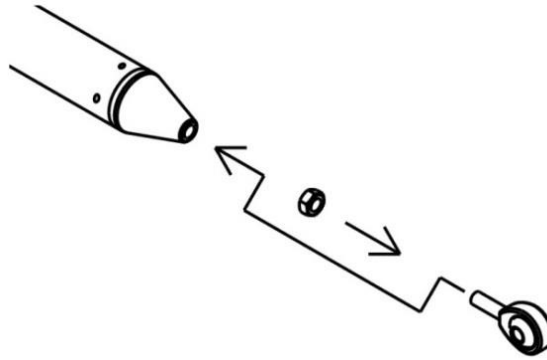
## 9.2 Montážny postup ovládania krídeliek

1. Do tiahla sa vloží koncový kužeľ, ktorý sa prinituje trňovými nitmi.



Obrázok 82: Uloženie koncového kužeľa do tiahla ovládania krídeliek

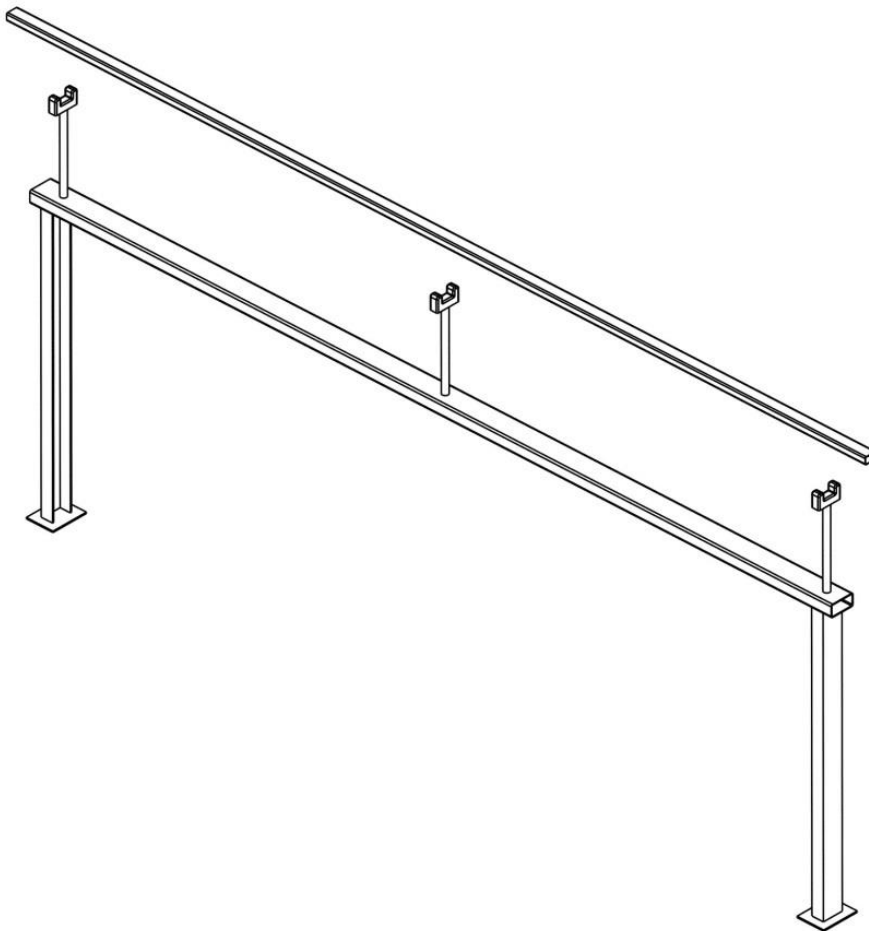
2. Na klíbovou hlavu sa naskrutkuje poistná matica a hlava sa naskrutkuje do koncového kužela.



Obrázok 83: Naskrutkovanie klíbovej hlavy a poistnej matice do kužeľovej hlavy tiahla ovládania krídeliek

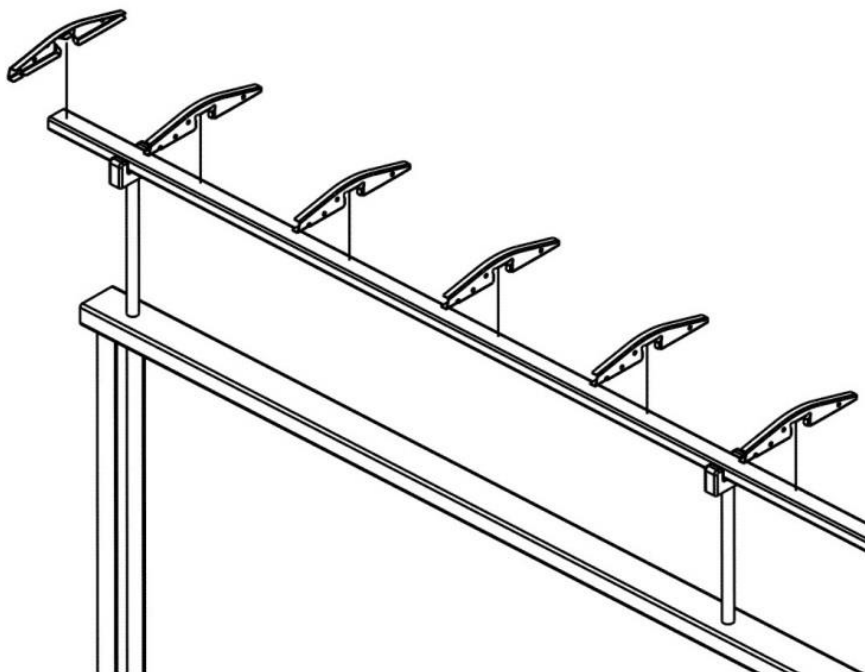
### 9.3 Montážny postup vztlakovej mechanizácie

1. Uchytenie nosníka klapky do stojana.



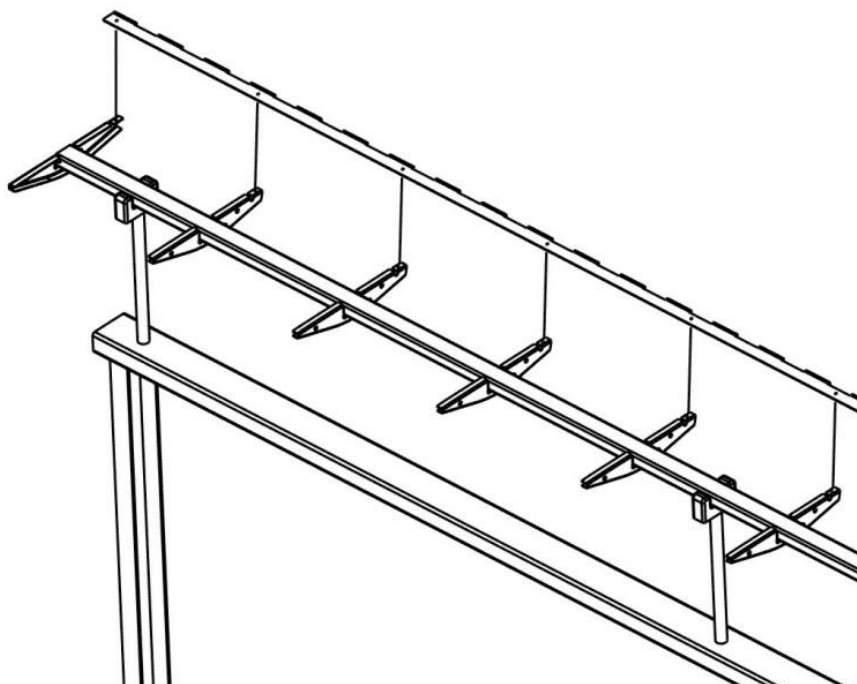
Obrázok 84: Uchytenie nosníka vztlakovej mechanizácie do stojana

2. Rebrá klapky sa prichytia pružinovými svorkami, a následne znitujú trňovými nitmi.



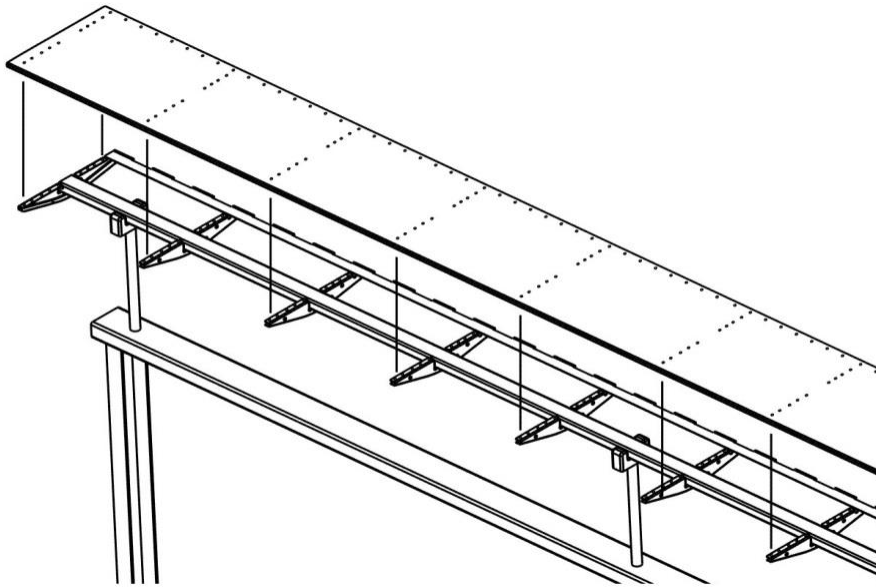
Obrázok 85: Montáž rebier klapiek

3. Otočenie nosníka a uchytenie klavírového závesu klapky pružinovými svorkami.



Obrázok 86: Montáž klavírového pántu na klapku

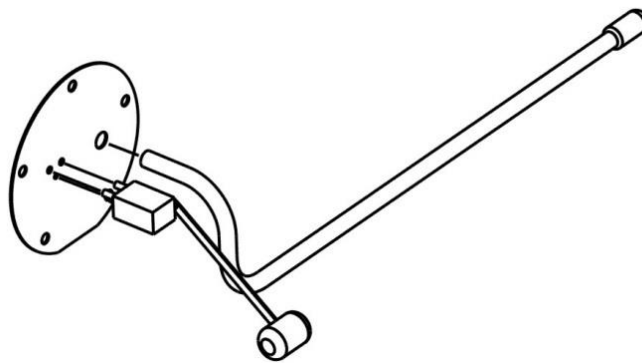
4. Prichytenie pružinovými svorkami potáhu klapky a následne znitovanie tříňovými nitmi.



Obrázok 87: Montáž potáhového plechu na klapku

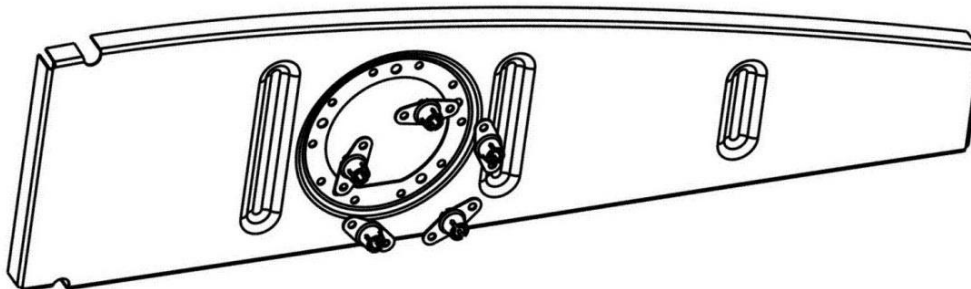
#### 9.4 Montážny postup prvého rebra ohraničujúceho nádrž

1. Do bočného veka nádrže sa prichytí palivový plavák a sacie potrubie, ktoré sa uchytia maticami.



Obrázok 88: Úchyt plaváku a sacieho potrubia

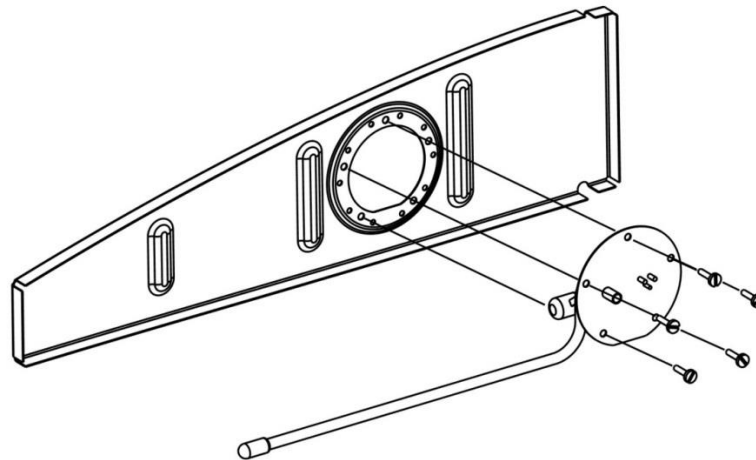
2. Do prvého rebra ohraničujúceho nádrž sa prichytia prinitovanie matice plnými nitmi so zápusťou hlavou.



Obrázok 89: Uchytie prinitovacích matic



3. Bočné veko so sacím potrubím a plavákom sa uchytiť maticami skrutkami o prvé rebro ohraničujúce nádrž. Pri spoji treba brať do úvahy tesnosť spojov, preto je dôležité veko a rebro v mieste spojov natrieť epoxidovým tmelom, a taktiež je nutné nitové spoje pretrieť epoxidovým tmelom, aby sa zaistila aj tesnosť nitového spojenia.



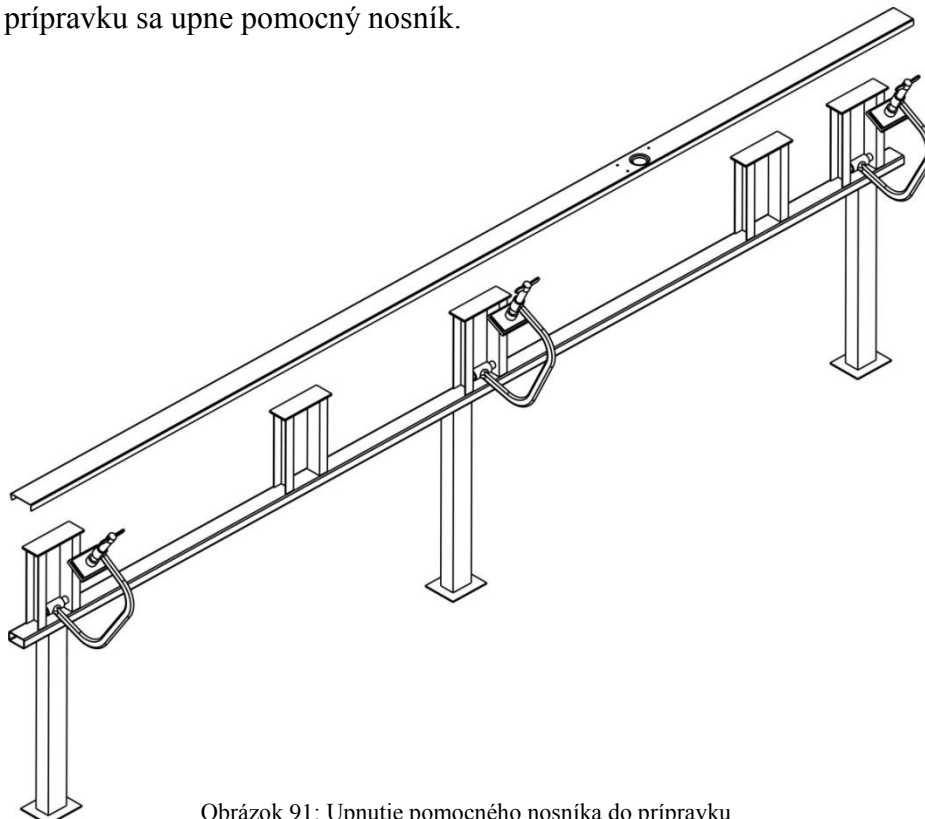
Obrázok 90: Montáž bočného veka nádrže na prvé rebro nádrže

### 9.5 Montážny postup poťahového plechu

1. Na poťahový plech, v ktorom sa nachádzajú otvory, sa pre lepšiu montáž prichytia určené veká pomocou pružinových príchytiek a následne znitujú. Pri veku nádrži a odkal'ovacom ventilu treba použiť na utesnenie spoja epoxidový tmel.

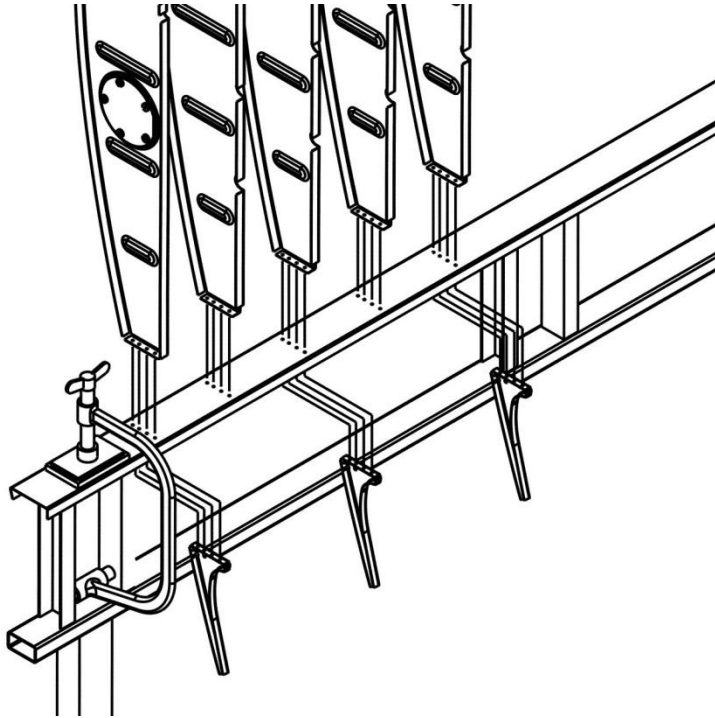
### 9.6 Montážny postup nosnej časti krídla

1. Do prípravku sa upne pomocný nosník.



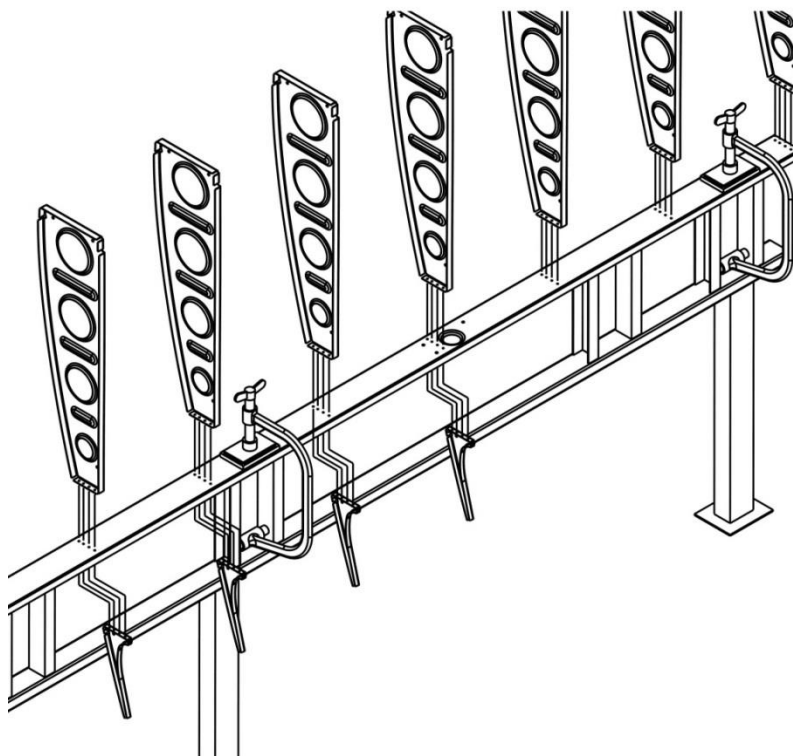
Obrázok 91: Upnutie pomocného nosníka do prípravku

2. Uchytenie zadného rebra v mieste nádrži a koncových rebier pružinovými svorkami. Pri rebrách treba znova dbať na tesnosť spojov, preto je potrebné rebrá a nosník v mieste spojenia natrieť epoxidovým tmelom. Následné znitovanie rebier plnými nitmi, a ich pretretie epoxidovým tmelom.



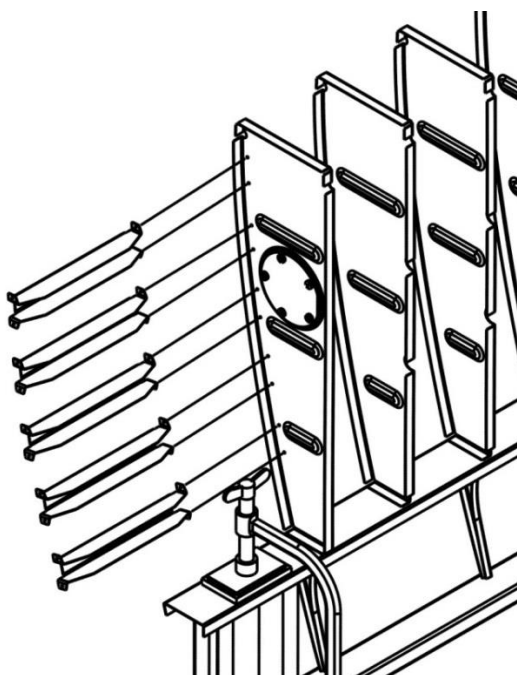
Obrázok 92: Prichytenie zadných rebier v mieste nádrže

3. Prichytenie zadných a koncových rebier pružinovými svorkami a následné ich znitovanie plnými nitmi.



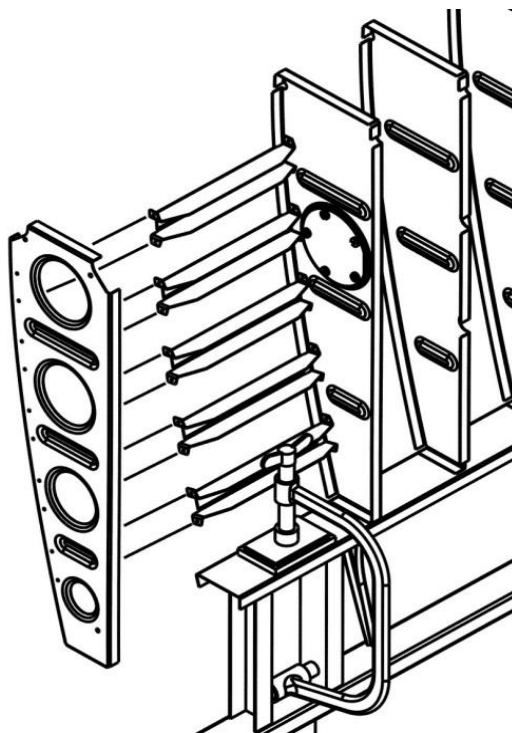
Obrázok 93: Uchytenie zadných rebier

4. Na prvé rebro ohraničujúce nádrž sa prichytia priečne nosníky pružinovými svorkami, a následne znitovanie plnými nitmi. Nitové spoje sa znova musia pretrieť epoxidovým tmelom.



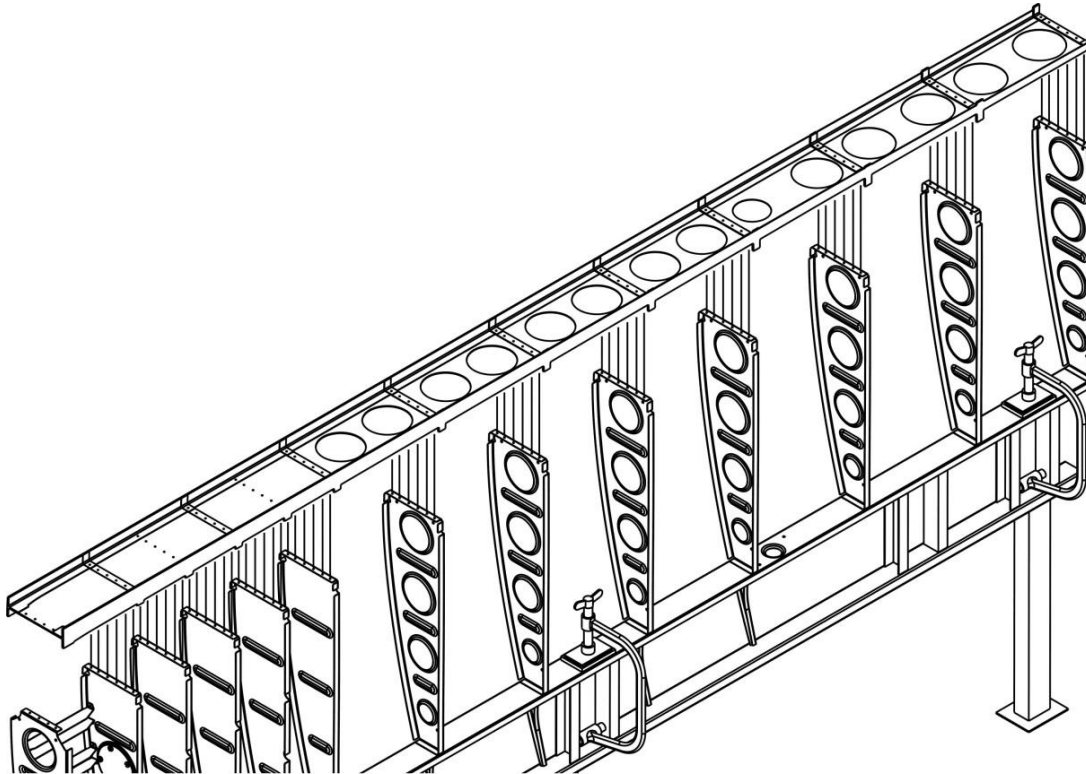
Obrázok 94: Montáž priečných nosníkov

5. Umiestnenie koreňového rebra pružinovými svorkami a následne jeho znitovanie plnými nitmi.



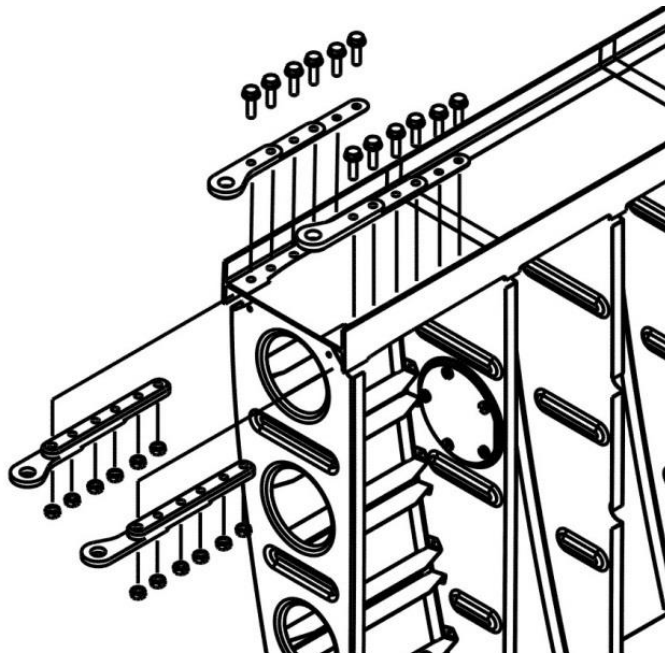
Obrázok 95: Prichytenie koreňového rebra

6. Umiestnenie hlavného nosníka a prichytenie pružinovými svorkami. V mieste nádrže je znova dôležité dbať na tesnosť spojenia, preto je nutné spoje medzi rebrom a hlavným nosníkom natrieť epoxidovým tmelom.



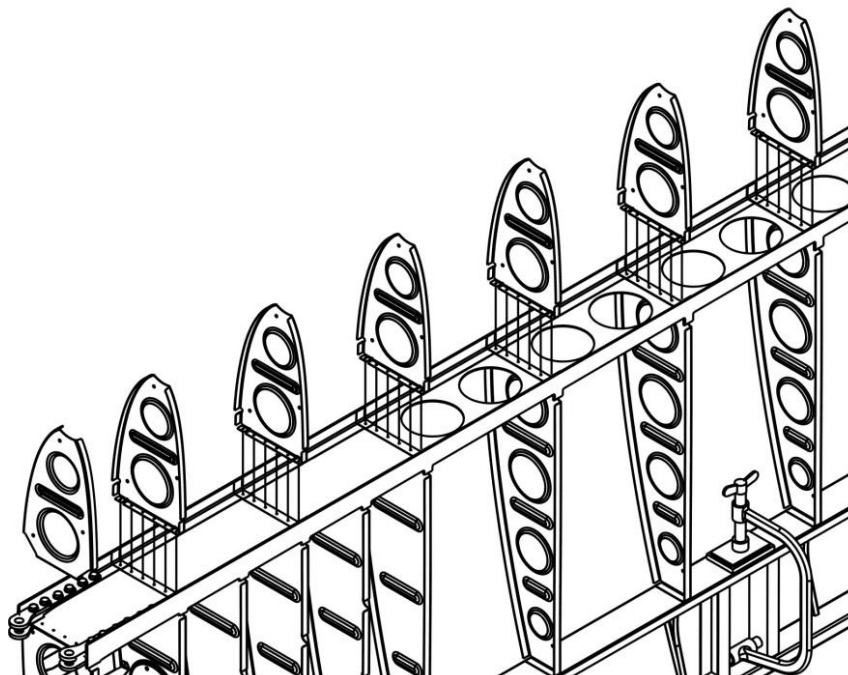
Obrázok 96: Montáž hlavného nosníka

7. Osadenie závesov krídla pomocou skrutkového spoja a zaistenie pomocou drôtu.



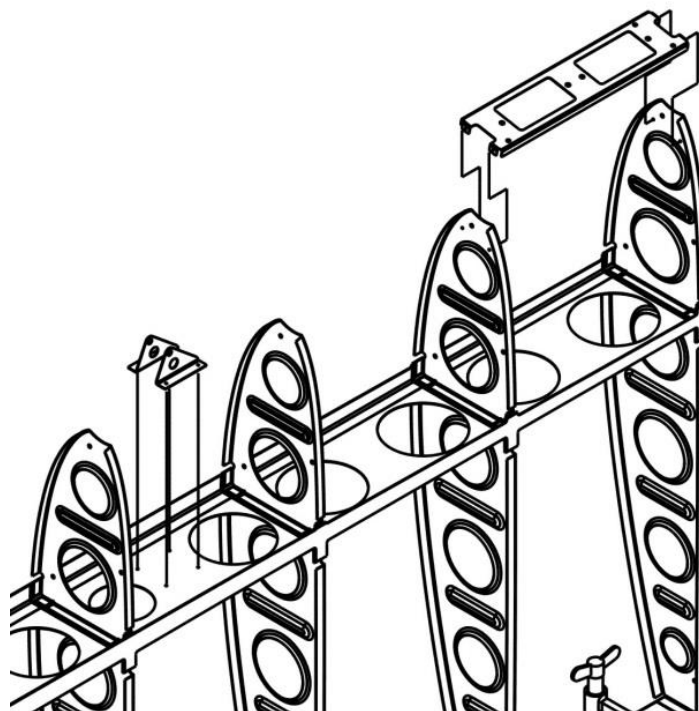
Obrázok 97: Montáž závesov krídla

8. Prichytenie pružinovými svorkami predné rebrá, a ich znitovanie plnými nitmi. V mieste nádrže pretretie nitových spojov epoxidovým tmelom.



Obrázok 98: Uchytenie predných rebier

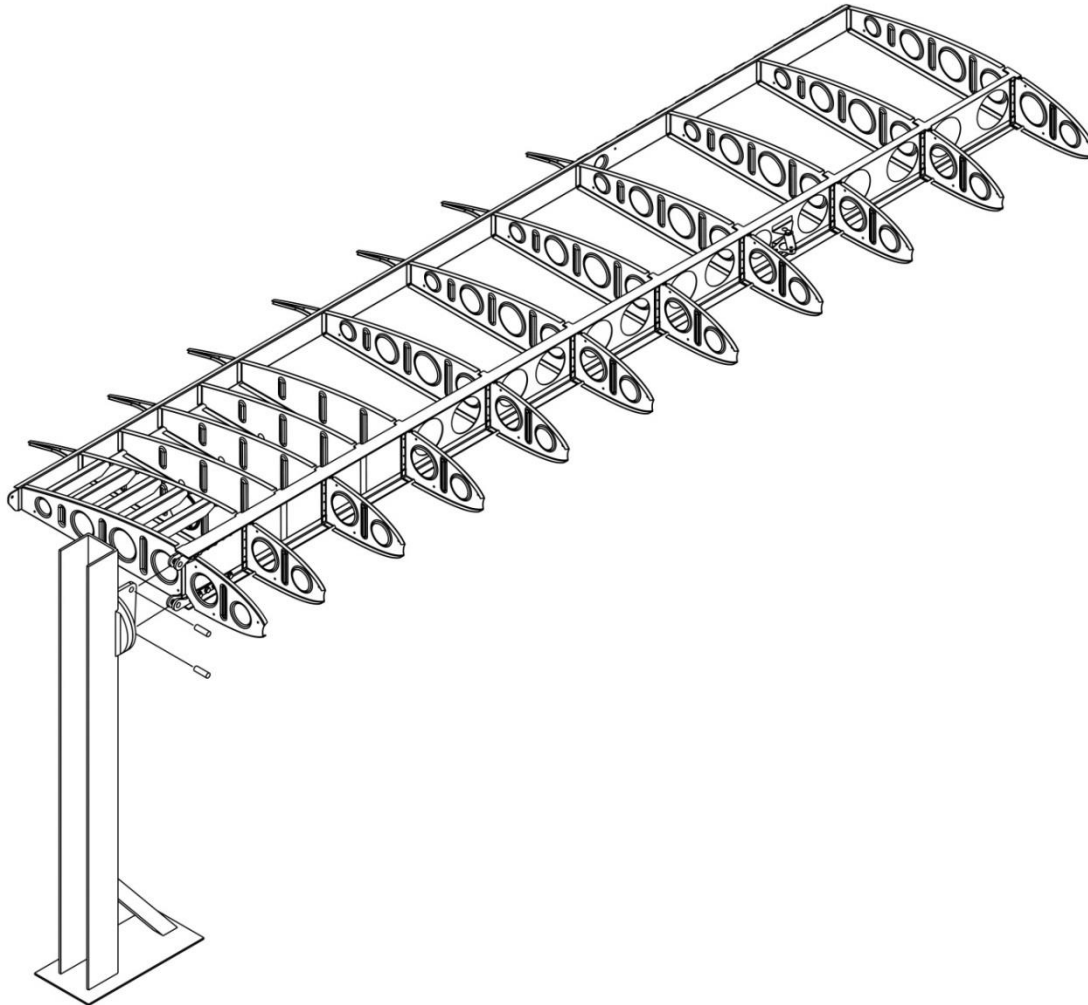
9. Prichytenie pružinovými svorkami uchytenia prepákovanie krídeliek a držiaku svetla. Ich znitovanie pomocou trňových nitov.



Obrázok 99: Uchytenie držiaka svetiel a úchytu prepákovania ovládania krídeliek

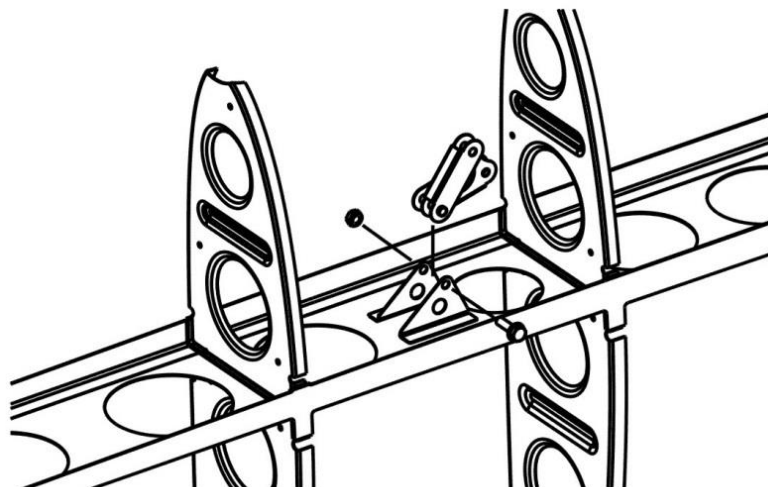
## 9.7 Kompletizácia krídla

1. Uchytenie krídla na stojan pomocou čapov.



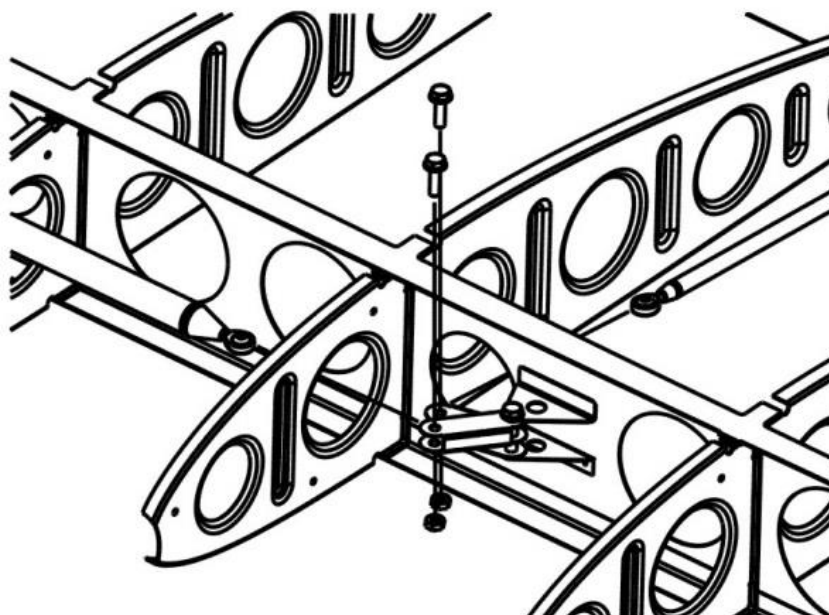
Obrázok 100: Upanutie krídla do držiaku

2. Uchytenie prepákovania mechanizmu ovládania krídeliek pomocou skrutkového spoja a prevlečenie skrutky zaistným drôtom.



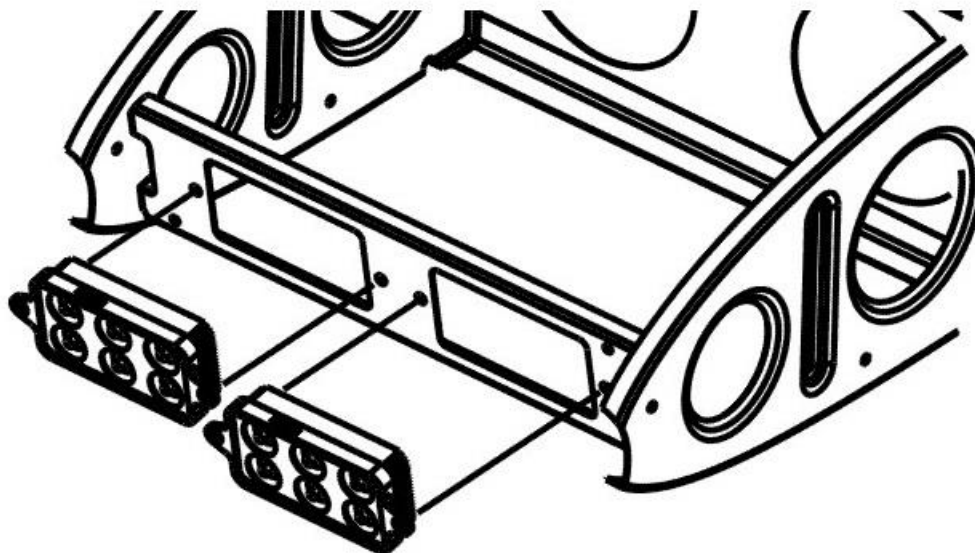
Obrázok 101: Uchytenie prepákovania ovládania krídeliek

3. K prepákovaniu pomocou skrutiek prichytiť tiahla ovládania krídeliek.



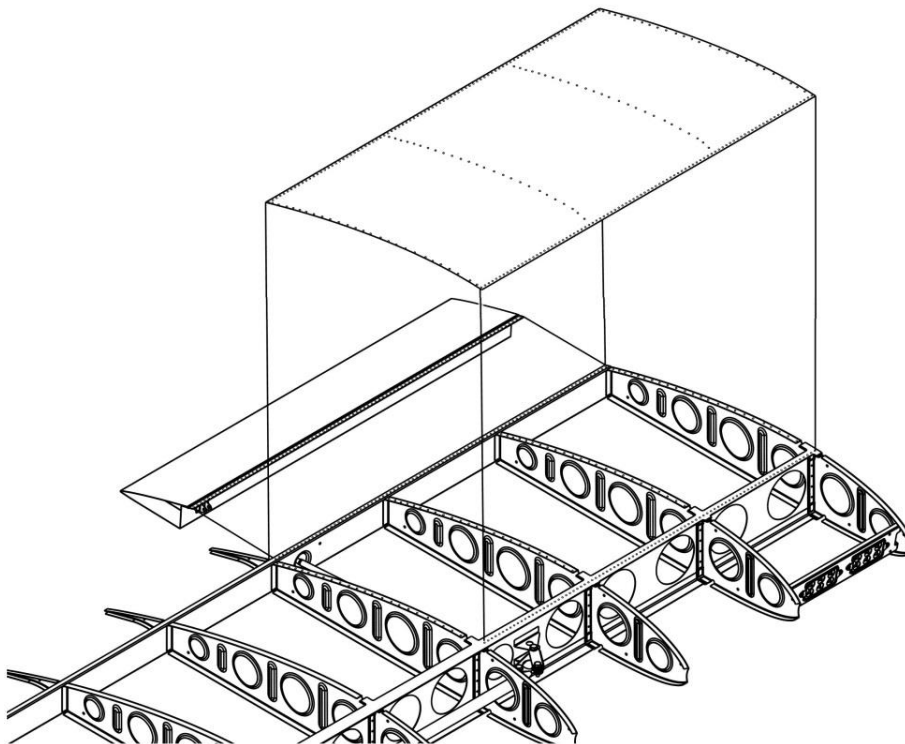
Obrázok 102: Uchytenie tiahiel ovládania krídeliek

4. Na držiak svetiel pomocou skrutiek pripevniť reflektory a cez odľahčovacie otvory v rebrách previesť drôty napájania.



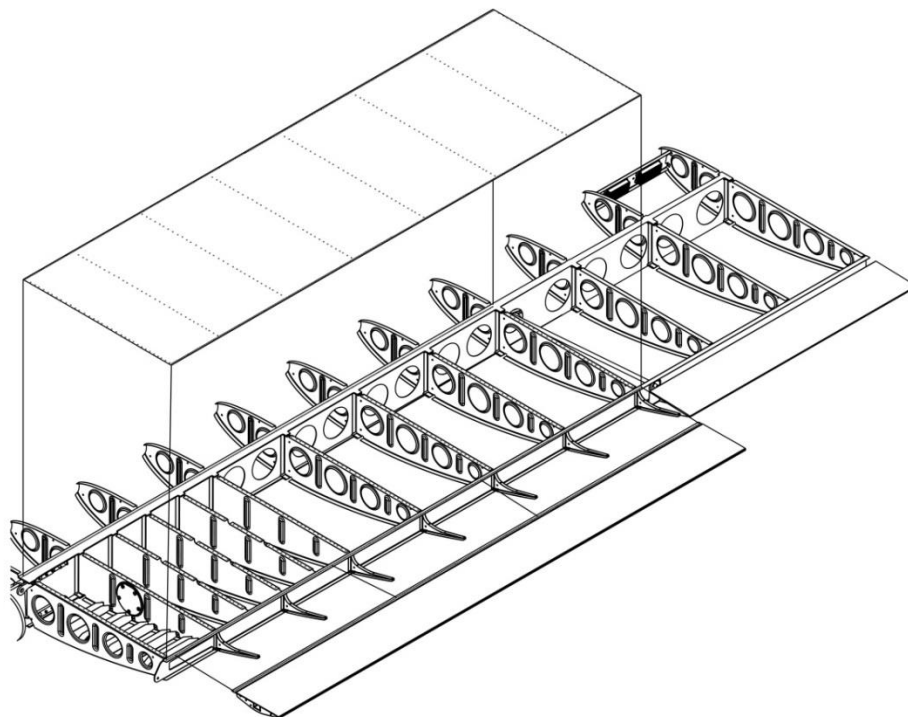
Obrázok 103: Montáž svetiel

5. Pomocou pružinových svoriek prichytenie závesu krídelka o hornú pásnicu pomocného nosníka a prichytenie poťahového plechu.



Obrázok 104: Montáž krídelka a poťahového plechu

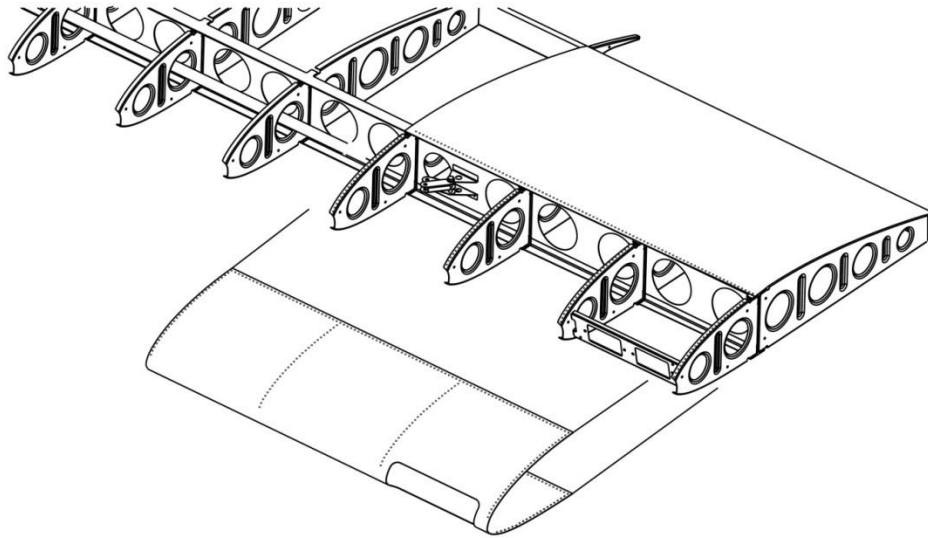
6. Prichytenie pružinovými svorkami koncového poťahového plechu na spodne strane krídla.
7. Pomocou pružinových svoriek prichytenie závesu klapky o dolnú pásnicu pomocného nosníka a prichytenie poťahového plechu. V miestach nádrže sa medzi rebrá a poťahový plechov použije epoxidový tmel na utesnenie medzier.



Obrázok 105: Montáž klapky a poťahového plechu



8. Prichytenie poťahového plechu na hornej časti krídla pomocou pružinových svoriek. V miestach nádrže sa medzi rebrá a poťahový plechov použije epoxidový tmel na utesnenie medzier.
9. Pomocou pružinových svoriek prichytenie plechu nábežnej hrany.



Obrázok 106: Montáž nábežnej hrany

10. Znitovanie poťahového plechu pomocou trňových nitov.
11. Pomocou skrutkového spoja prichytiť krídelko s tiahlom.

## 11 Závěr

Cíľom diplomovej práce bolo navrhnúť krídlo s výrazným znížením podielu manuálnej práce a počtu prípravkov pri zostavovaní dielov konštrukcie.

V teoretickej časti diplomovej práce bola objasnená problematika pokroku v obrábaní a tvárnení ohýbaných plechových konštrukcií a popísaný rozvoj CAD systémov. Spísaním výhod a nevýhod bola nasledovne vybratá vhodná metóda pre obrábanie a tvárnenie plechovej konštrukcie krídla.

V ďalších častiach boli opísané rôzne druhy konštrukcie krídla, podľa požiadaviek firmy EVEKTOR spol.r.o. a následne boli pevnostne skontrolované. Pevnostný výpočet bol urobený pre tri druhy hlavného nosníka, respektíve štyri. Štvrtý výpočet slúžil na porovnanie váhy a orientačnej ceny hlavného nosníka s nosníkom tvoreným L-profilmi.

Ďalším krokom bolo vybratie vhodnej konštrukcie krídla. Ako hlavné kritérium bola braná hmotnosť a jednoduchosť zostavovania krídla. Ako hlavný nosník bol vybratý variant nosníka tvoreného jedným kusom vytaženého profilu, ktorý je integrálne frézovaný. Takéto prevedenie má radu konštrukčných výhod, ako napríklad sfrezovanie stojny a pásnic do ideálnych rozmerov, aby sa predišlo zbytočnému predimenzovaniu. Absenciu tvarujúcich príložiek, keďže vrchná a spodná časť nosníku môže byť vytažená s potrebným zaoblením. V mieste spojenia nosníka a rebra môže mať nosník konštantnú hrúbku. Výsledkom toho, pri priebežne sa zužujúcom nosníku je rovnaký rozmer rebier po celom rozpätí krídla. Nevýhodou sa môže zdať zložitosť obrábania. To je možné odstrániť použitím CAD systémov, ktorých funkciou je aj tvorenie NC programov pre obrábanie. Ďalšie plechové časti boli vybraté podľa najnižšej hmotnosti.

V technologickom návrhu bol spracovaný postup výroby niektorých plechových a frézovaných dielcov krídla. U väčšiny plechových dielcov je postup výroby podobný, preto sa neuvádzajú všetky diely konštrukcie krídla. Ohýbané časti krídla boli skontrolované, či je možné ich z hľadiska vlastností materiálu vyrobiť.

Posledným krokom bol montážny postup zostavenia krídla, kde bol popísaný postup uchopenia jednotlivých dielov do prípravkov ako aj postup samotnej konštrukcie krídla.

Cieľ diplomovej práce bol splnený. Boli vypracované všetky požiadavky na diplomovú prácu, ako konštrukčný i technologický návrh. Konštrukciou hlavného nosníka sa dosiahlo veľké odstránenie manuálnej činnosti a počtu prípravkov pri samotnom zostavovaní krídla.

## 12 Zoznam použitej literatúry

- [1] Bača, J.; Bílik, J.: Technológia tvárnenia, 1.vyd., STU Bratislava, 2000, ISBN 80-227-1339-2
- [2] Buda, J.; Békés, J.: Teoretické základy obrábania kovov, 1.vyd., SVTL, Bratislava, 1967
- [3] Daněk, V.; Projektování letadel, VUT v Brně 1991
- [4] Engst, P.: Je možný technologický pokrok bez laseru, SV, 1992
- [5] Fukuzawa, Y.; Tani, T.; Mohri, N.: A new application of discharge phenomena for machining of insulating ceramics Ceramic Interface: Properties and Applications 1998
- [6] Holub, J.: Pryž jako konstrukční materiál, 1.vyd., Praha: SNTL
- [7] Kažimír, I.; Pae Pyo Sop: Obrábanie ťažkoobrobiteľných materiálov za tepla. Strojírenský výroba, 35/87 SNTL Praha 1987
- [8] Kostka, P. a kol: Technológia tvárnenia, STU Bratislava, 2004
- [9] Krajný, Z.: Vodný lúč v praxi – WJM, Bratislava, 1998, ISBN 80-8057-091-4
- [10] Lazarenko, B.R.: Lazarenková, N.I.: Elektroiskrivé obrábění kovu. 1.vyd., Praha 1952
- [11] Lipták, J.; Modrák, V.: Rezanie vodným lúčom, 1998
- [12] Maňková, I.: Nové smery v strojárskiej výrobe v klasifikácii vplyvu technologického režimu na stav kovových povrchu, VŠT Košice 1981
- [13] Mertl, V.; Konstrukce a projektování letadel, VUT v Brně 2000, ISBN 80-214-1789-7
- [14] Pávek, J.; Kopřiva, Z.: Konstrukce a projektování letadel I., České Vysoké učení technické v Praze, 1982
- [15] Petrásek, M.: Konstrukce letadel I, 2004, Vojenská Akadémia v Brne
- [16] Petrásek, M.; Krchňavý, V.: Konstrukce letadel II, 2006, Vojenská Akadémia v Brne
- [17] Petruželka, J.: Nekonenční metody tváření, 2.vyd, Ostrava: VŠB Ostrava 2000, ISBN 80-7078-727-9
- [18] Píštěk, A.; Mertl, V.; Čtverák J.: Soubor podkladu pro pevnostní výpočty leteckých konstrukcí, Letecký ústav, Brno, 1997
- [19] Pollák, L.; Hudák, J.; Polláková. G.: Progresívne konštrukcie tvárniacich nástrojov. Elfa s.r.o., Košice 1955, ISBN 80-88786-01-0
- [20] Prednáška: Doubek, P.: Technologie tažení výlisku z plechů

- [21] Schwarz, J.; Liška, J.: Řezání materiálu vysokotlakým kapalinovým paprskem, Strojírenská výroba, dec. 1990
- [22] Suryanarayanan, R.: Plasma Spraying; Theory and Application, 1.ed., CNRS London 1993
- [23] Šiman, I.: Technologie laservého dělení materiálu. SV, 1989
- [24] Špinlerová, M.: Technologie, 2007
- [25] WING LOAD: CASES SPORTSTAR RTC, SPORTSTAR MAX, Report No.: ERTC038-11-ST, Kunovice, 2011

### 13 Zoznam skratiek a značiek

$b$	vzdialenosť medzi nosníkmi	(mm)
$b$	rozpätie krídla	(mm)
$c_{\text{kríd}}$	hĺbka krídelka	(mm)
$c_{\text{klap}}$	hĺbka klapky	(mm)
$c_{\text{reb1}}$	dĺžka predného rebra	(mm)
$c_{\text{reb2}}$	dĺžka zadného rebra	(mm)
$D$	priemer otvoru	(mm)
$D_{\text{čap}}$	priemer čapov na hlavnom nosníku	(mm)
$d_{\text{nit}}$	priemer nitu	(mm)
$f$	priehyb plechu	(mm)
$F_{\text{člov}}$	sila od hmotnosti pasažiera	(N)
$F_{\text{kríd}}$	sila pôsobiaca na krídelko	(N)
$F_{\text{klap}}$	sila pôsobiaca na klapku	(N)
$F_n$	sila na jeden nit	(N)
$F_{\text{nit svet}}$	sila na nit na úchyte svetla	(N)
$F_{\text{nit tiah}}$	sila na nitové spoje tiahla	(N)
$F_{\text{ovlad}}$	sila v riadení	(N)
$F_{\text{ovlad otoč}}$	sila na záves prepákovania mechanizmu ovládania krídeliek	(N)
$F_{\text{tab}}$	únosnosť jedného nitu	(N)
$F_{\text{riad}}$	sila v riadení	(N)
$F_{\text{svet}}$	sila od hmotnosti svetla	(N)
$F_{\text{uchyt ovl}}$	sila na úchyt závesu ovládania mechanizmu ovládania krídeliek	(N)
$F_{\text{uchyt kríd}}$	sila na úchyt závesu tiahla na krídelku	(N)
$F_y$	sila v závесе v osy Y	(N)
$F_z$	sila v závесе v osy Z	(N)
$F_{\text{Mk}}$	sila v závесе v osy X	(N)
$F_{\text{zav1}}$	celková sila v závесе hlavného nosníka	(N)
$F_{\text{zav2}}$	celková sila v závесе pomocného nosníka	(N)
$h$	presahujúci lem	(mm)
$h_{\text{min}}$	minimálna dĺžka lemu	(mm)
$H$	vzdialenosť rovnej časti lemu	(mm)
$h_1$	výška predného nosníka	(mm)
$h_2$	výška zadného nosníka	(mm)
$h_{\text{reb1}}$	výška predného rebra	(mm)
$h_{\text{reb2}}$	výška zadného rebra	(mm)
$he_1$	efektívna výška predného nosníka	(mm)
$he_2$	efektívna výška zadného nosníka	(mm)
$he_{\text{reb1}}$	efektívna výška predného rebra	(mm)
$he_{\text{reb2}}$	efektívna výška zadného rebra	(mm)

$h_{e_{zav}}$	efektívna výška závesu	(mm)
$J_1$	kvadratický moment prierezu predného nosníka	(mm <sup>4</sup> )
$J_2$	kvadratický moment prierezu zadného nosníka	(mm <sup>4</sup> )
$J_{tiahD}$	kvadratický moment prierezu dlhého tiahla	(mm <sup>4</sup> )
$J_{tiahK}$	kvadratický moment prierezu krátkeho tiahla	(mm <sup>4</sup> )
$l_0$	dĺžka materiálu pre tvárnením	(mm)
$l_i$	dĺžka materiálu po tvárnení	(mm)
$l_{kr}$	dĺžka krídelka	(mm)
$l_{nas}$	šírka krídla ktorá slúži na nastupovanie	(mm)
$l_{roz}$	rozstup nitov	(mm)
$l_{tiahD}$	dĺžka dlhého tiahla ovládanie krídeliek	(mm)
$l_{tiahK}$	dĺžka krátkeho tiahla ovládanie krídeliek	(mm)
$m$	hmotnosť	(kg)
$M_D$	krútiaci moment od odporu krídla	(Nm)
$M_{kA}$	krútiaci moment k aerodynamickej osy	(Nm)
$M_{Ocel}$	celkový ohybový moment	(Nm)
$M_{Onas}$	ohybový moment od hmotnosti pasažiera	(Nm)
$n$	počet	(-)
$q_{v1}$	výsledný šmykový tok v prednej dutine	(N/mm)
$q_{v2}$	výsledný šmykový tok v zadnej dutine	(N/mm)
$r$	polomer ohybu	(mm)
$r_{min}$	minimálny polomer ohybu	(mm)
$R_m$	medza pevnosti	(mm)
$R_o$	polomer nerozvinutého lemu	(mm)
$R_i$	polomer nerozvinutého lemu	(mm)
$s$	hrúbka plechu	(mm)
$S$	plocha	(m <sup>2</sup> )
$S_{krid}$	plocha krídelka	(m <sup>2</sup> )
$S_{klap}$	plocha klapky	(m <sup>2</sup> )
$S_{pas1}$	prierez pásnice predného nosníka	(mm <sup>2</sup> )
$S_{pas2}$	prierez pásnice zadného nosníka	(mm <sup>2</sup> )
$T_Y$	sila od aerodynamického pôsobenia	(N)
$t_1$	hrúbka pot'ahu prednej dutiny	(mm)
$t_2$	hrúbka horného pot'ahu zadnej dutiny	(mm)
$t_3$	hrúbka dolného pot'ahu zadnej dutiny	(mm)
$t_{krid}$	hrúbka pot'ahov'ahu plechu krídelka	(mm)
$t_{klap}$	hrúbka pot'ahov'ahu plechu klapky	(mm)
$t_{reb1}$	hrúbka predného rebra	(mm)
$t_{reb2}$	hrúbka zadného rebra	(mm)
$t_{vid}$	medzera medzi vidlicami na hlavnom nosníku	(mm)
$t_{he1}$	hrúbka stojny predného nosníka	(mm)

$t_{he2}$	hrúbka stojny zadného nosníka	(mm)
$W_O$	kvadratický modul prierezu	(mm <sup>3</sup> )
$\bar{w}$	zaťaženie krídla	(kg/m <sup>2</sup> )
$Z_{kríd}$	stredná vzdialenosť krídelka	(mm)
$Z_{klap}$	stredná vzdialenosť klapky	(mm)
$\alpha$	uhol odpruženia	(°)
$\sigma_{klap\ nos}$	napätie v nosníku klapky	(MPa)
$\sigma_{reb\ klap}$	napätie v rebre klapky	(MPa)
$\sigma_{krit}$	kritické napätie v pásniciach a poťahu	(MPa)
$\sigma_{kr\ pas1}$	kritické napätie v pásniciach predného nosníka	(MPa)
$\sigma_{kr\ pas2}$	kritické napätie v pásniciach zadného nosníka	(MPa)
$\sigma_{ovlad}$	napätie v otláčení v prepákování mechanizmu ovládania krídeliek	(MPa)
$\sigma_{ovlad\ roz}$	napätie na roztrhnutie v prepákování mechanizmu ovládania krídeliek	(MPa)
$\sigma_{otoč\ otl}$	napätie v otláčení na závесе prepákovania mechanizmu ovládania krídeliek	(MPa)
$\sigma_{otoč\ roz}$	napätie na otláčenje na závесе prepákovania mechanizmu ovládania krídeliek	(MPa)
$\sigma_{za}$	napätie v čape závesu	(MPa)
$\varepsilon$	deformácia	(%)
$\eta_{klap\ nos}$	súčiniteľ rezervy nosníka v klapke	(-)
$\eta_{reb\ klap}$	súčiniteľ rezervy rebra v klapke	(-)
$\eta_n$	súčiniteľ rezervy nitového spoja pásnice a stojny	(-)
$\eta_n\ reb1$	súčiniteľ rezervy nitového spoja predného rebra a stojny	(-)
$\eta_n\ reb2$	súčiniteľ rezervy nitového spoja zadného rebra a stojny	(-)
$\eta_{nas}$	súčiniteľ rezervy priečneho nosníka	(-)
$\eta_{nit}$	súčiniteľ rezervy nitového spoja nosníka s poťahom	(-)
$\eta_{nit\ nas}$	súčiniteľ rezervy nitového spoja priečneho nosníka	(-)
$\eta_{nit\ reb1}$	súčiniteľ rezervy nitového spoja predného rebra s poťahom	(-)
$\eta_{nit\ reb2}$	súčiniteľ rezervy nitového spoja zadného rebra s poťahom	(-)
$\eta_{nit\ tiah}$	súčiniteľ rezervy spoja nitov tiahla	(-)
$\eta_{ovlad}$	súčiniteľ rezervy v prepákování mechanizmu ovládania krídeliek na otláčenje oka	(-)
$\eta_{ovlad\ rez}$	súčiniteľ rezervy v prepákování mechanizmu ovládania krídeliek na roztrhnutie oka	(-)
$\eta_{otoč\ otl}$	súčiniteľ rezervy v otláčení na závесе prepákovania mechanizmu ovládania krídeliek	(-)
$\eta_{otoč\ roz}$	súčiniteľ rezervy na roztrhnutie oka na závесе prepákovania mechanizmu ovládania krídeliek	(-)
$\eta_{pas1}$	súčiniteľ rezervy pásnice predného nosníka	(-)
$\eta_{pas2}$	súčiniteľ rezervy pásnice zadného nosníka	(-)
$\eta_{pas\ reb1}$	súčiniteľ rezervy pásnice predného rebra	(-)

$\eta_{pas\ reb2}$	súčiniteľ rezervy pásnice zadného rebra	(-)
$\eta_{pot}$	súčiniteľ rezervy potaahu	(-)
$\eta_{st1}$	súčiniteľ rezervy straty stability stojny predného nosníka	(-)
$\eta_{st2}$	súčiniteľ rezervy straty stability stojny zadného nosníka	(-)
$\eta_{st\ reb\ 1}$	súčiniteľ rezervy straty stability stojny predného rebra	(-)
$\eta_{st\ reb\ 2}$	súčiniteľ rezervy straty stability stojny zadného rebra	(-)
$\eta_{stoj1}$	súčiniteľ rezervy únosnosti stojny predného nosníka	(-)
$\eta_{stoj2}$	súčiniteľ rezervy únosnosti stojny zadného nosníka	(-)
$\eta_{stoj\ reb1}$	súčiniteľ rezervy únosnosti stojny predného rebra	(-)
$\eta_{stoj\ reb2}$	súčiniteľ rezervy únosnosti stojny zadného rebra	(-)
$\eta_{spoj}$	súčiniteľ rezervy strihu skrutiek v závese	(-)
$\eta_{tiahD}$	súčiniteľ rezervy dlhého tiahla	(-)
$\eta_{tiahK}$	súčiniteľ rezervy krátkeho tiahla	(-)
$\eta_{uchyt\ ovl}$	súčiniteľ rezervy uchytenia závesu ovládania mechanizmu ovládania krídeliek	(-)
$\eta_{uchyt\ krid}$	súčiniteľ rezervy uchytenia tiahla na krídelku	(-)
$\eta_{zav\ otl}$	súčiniteľ rezervy otláčenia čapu závesu	(-)
$\eta_{zav\ roz}$	súčiniteľ rezervy roztrhnutia oka závesu	(-)
$\eta_{NH}$	súčiniteľ rezervy nábežnej hrany	(-)
$\tau_{he1}$	šmykové napätie v stojne predného nosník	(MPa)
$\tau_{he2}$	šmykové napätie v stojne zadného nosníka	(MPa)
$\tau_{kr\ NH}$	kritické šmykové napätie nábežnej hrany	(MPa)
$\tau_{kr\ pot}$	kritické šmykové napätie potaahu	(MPa)
$\tau_{NH}$	šmykové napätie nábežnej hrany	(MPa)
$\tau_{reb1}$	šmykové napätie predného rebra	(MPa)
$\tau_{reb2}$	šmykové napätie zadného rebra	(MPa)
$\tau_{spoj}$	šmykové napätie v skrutkách závesu	(MPa)



## 14 Zoznam obrázkov

Obrázok 1: Obrábanie abrazívnym lúčom	13
Obrázok 2: Obrábanie abrazívnym vodným lúčom	15
Obrázok 3: Elektroerozívne obrábanie	16
Obrázok 4: Obrábanie laserovým lúčom	18
Obrázok 5: Obrábanie plazmovým lúčom	19
Obrázok 6: Metóda GUERIN	20
Obrázok 7: Metóda MARFORM	21
Obrázok 8: Dvojvalcové zakružvanie	21
Obrázok 9: Ohýbanie otvoreným nástrojom	22
Obrázok 10: Metóda HYDROFORM	22
Obrázok 11: Metóda WHEELON	23
Obrázok 12: Hydromechanické ťahanie – metóda HYDRO – MEC	23
Obrázok 13: Elektrohydraulické tvárnenie	24
Obrázok 14: Nosník tvorený L-profilmi	27
Obrázok 15: Nosník tvorený frézovanou pásnicou	28
Obrázok 16: Nosník tvorený jedným kusom	29
Obrázok 17: Rebro: predné, zadné	29
Obrázok 18: Rebrá v mieste nádrže	30
Obrázok 19: Vyhotovenie tvarujúcich príložiek	31
Obrázok 20: Vztlaková mechanizácia	31
Obrázok 21: Krídelko	32
Obrázok 22: Prepákovanie ovládania krídeliek	32
Obrázok 23: Záves krídla	32
Obrázok 24: Nastupovanie prevedené zhustením rebier	33
Obrázok 25: Nastupovanie vyhotovené priečnymi nosníkmi	33
Obrázok 26: Držiak svetla	34
Obrázok 27: Systémový model krídla	37
Obrázok 28: Pomocný nosník	39

Obrázok 29: Koreňový rez hlavného nosníka vytvoreného L-profilmi	40
Obrázok 30: Stredový rez hlavného nosníka vytvoreného L-profilmi	42
Obrázok 31: Koncový rez tvorený ohnutým plechom	44
Obrázok 32: Rezy hlavného nosníka tvoreného frézovanou pásnicou	46
Obrázok 33: Rez hlavného nosníka vytvoreného ohýbaným plechom	48
Obrázok 34: Rezy hlavného nosníka vytvoreného frézovaným profilom	50
Obrázok 35: Predné rebro	52
Obrázok 36: Zadné rebro	52
Obrázok 37: Priečny nosník	54
Obrázok 38: Zhustenie rebier	55
Obrázok 39: Vztlaková mechanizácia	56
Obrázok 40: Krídelko	58
Obrázok 41: Prepákovanie diferenciálneho ovládania krídeliek	59
Obrázok 42: Úchyt tiahla ovládania krídeliek	60
Obrázok 43: Závesy krídla na hlavnom nosníku	62
Obrázok 44: Nástrihový plán predného rebra	69
Obrázok 45: Tvarovanie rebra v krídelku	70
Obrázok 46: Vítane otvory pre nity na rebre v krídelku	71
Obrázok 47: Skrutkový spoj závesu krídla	71
Obrázok 48: Spoj prinitovacími maticami	72
Obrázok 49: Integrálne frézovanie pásnic a stojny hlavného nosník	72
Obrázok 50: Integrálne frézovanie pásnic a odľahčovacích otvorov hlavného nosníka	73
Obrázok 51: Delenie materiálu s otvorom pre tiahlo ovládania krídeliek	73
Obrázok 52: Olemovanie otvoru pre tiahlo ovládania krídeliek	73
Obrázok 53: Lemy pomocného nosníka ohýbané na ohraňavacom lise	74
Obrázok 54: Delenie materiálu aj s odľahčovacími otvormi	74
Obrázok 55: Tvarovanie zadného rebra	74
Obrázok 56: Delenie potáhového plechu	75
Obrázok 57: Vítanie otvorov pre nity na potáhovom plechu	75

Obrázok 58: Tvarovanie nábežnej hrany	75
Obrázok 59: Sústruženie vonkajšieho tvaru koncového kužela	76
Obrázok 60: Vrtania vnútornej diery pre odľahčenie koncového kužela	76
Obrázok 61: Vyrezanie závitú pre uchytenie pre kĺbovú hlavu	76
Obrázok 62: Opracovanie hlavných rozmerov závesu krídla	76
Obrázok 63: Obrobenie vnútornej strany závesu hlavného nosníka	77
Obrázok 64: Obrobenie vonkajšej strany závesu pre odľahčenie	77
Obrázok 65: Delenie materiálu priečného nosníka	77
Obrázok 66: Len priečného nosníka	78
Obrázok 67: Lem úchytovej priečného nosníka	78
Obrázok 68: Presahujúci lem	80
Obrázok 69: Vonkajší lem	80
Obrázok 70: Vnútorň lem	81
Obrázok 71: Kontrola lemov pomocného nosníka	82
Obrázok 72: Kontrola lemov predného rebra	83
Obrázok 73: Kontrola lemov zadného rebra	84
Obrázok 74: Kontrola lemov koncového rebra	86
Obrázok 75: Kontrola klapky a krídelka	87
Obrázok 76: Kontrola lemov rebra v krídelku	88
Obrázok 77: Kontrola lemov rebra v klapke	89
Obrázok 78: Upnutie potáhového plechu krídelka	92
Obrázok 79: Vloženie rebier do krídelka	92
Obrázok 80: Uchytenie klavírového pántu na krídelko	93
Obrázok 81: Montáž ovládania krídeliek	93
Obrázok 82: Uloženie koncového kužela do tiahla ovládania krídeliek	93
Obrázok 83: Naskrutkovanie kĺbovej hlavy a poistnej matice do kuželovej hlavy tiahla ovládania krídeliek	94
Obrázok 84: Uchytenie nosníka vztlakovej mechanizácie do stojana	94
Obrázok 85: Montáž rebier klapiek	95
Obrázok 86: Montáž klavírového pántu na klapku	95

---

Obrázok 87: Montáž poťahového plechu na klapku	96
Obrázok 88: Úchyt plaváku a sacieho potrubia	96
Obrázok 89: Uchytenie prinitovacích matíc	96
Obrázok 90: Montáž bočného veke nádrže na prvé rebro nádrže	97
Obrázok 91: Upnutie pomocného nosníka do prípravku	97
Obrázok 92: Prichytenie zadných rebier v mieste nádrže	98
Obrázok 93: Uchytenie zadných rebier	98
Obrázok 94: Montáž priečnych nosníkov	99
Obrázok 95: Prichytenie koreňového rebra	99
Obrázok 96: Montáž hlavného nosníka	100
Obrázok 97: Montáž závesov krídla	100
Obrázok 98: Uchytenie predných rebier	101
Obrázok 99: Uchytenie držiaka svetiel a úchytu prepákovania ovládania krídeliek	101
Obrázok 100: Upnutie krídla do držiaku	102
Obrázok 101: Uchytenie prepákovania ovládania krídeliek	102
Obrázok 102: Uchytenie tiahiel ovládania krídeliek	103
Obrázok 103: Montáž svetiel	103
Obrázok 104: Montáž krídelka a poťahového plechu	104
Obrázok 105: Montáž klapky a poťahového plechu	104
Obrázok 106: Montáž nábežnej hrany	105

## 15 Zoznam tabuliek

Tabuľka 1: Výška nosníkov	38
Tabuľka 2: Parametre pomocného nosníka	38
Tabuľka 3: Parametre hlavného nosníka tvoreného L-profilmi	39
Tabuľka 4: Kontrola na stratu stability stojny hlavného nosníka	40
Tabuľka 5: Kontrola na stratu stability stojny pomocného nosníka	40
Tabuľka 6: Kontrola pásnic hlavného nosníka	40
Tabuľka 7: Kontrola pásnic pomocného nosníka	41
Tabuľka 8: Kontrola pásnic na tvarovú stabilitu hlavného nosníka	41
Tabuľka 9: Parametre hlavného nosníka tvoreného L-profilmi	41
Tabuľka 10: Kontrola na stratu stability stojny hlavného nosníka	42
Tabuľka 11: Kontrola na stratu stability stojny pomocného nosníka	42
Tabuľka 12: Kontrola na únosnosť stojny hlavného nosník	42
Tabuľka 13: Kontrola pásnic hlavného nosníka	43
Tabuľka 14: Kontrola pásnic pomocného nosníka	43
Tabuľka 15: Kontrola pásnic na tvarovú stabilitu hlavného nosníka	43
Tabuľka 16: Parametre hlavného nosníka tvoreného ohnutým plechom	43
Tabuľka 17: Kontrola na stratu stability stojny hlavného nosníka	44
Tabuľka 18: Kontrola na stratu stability stojny pomocného nosníka	44
Tabuľka 19: Kontrola na únosnosť stojny hlavného nosník	44
Tabuľka 20: Kontrola pásnic hlavného nosníka	45
Tabuľka 21: Kontrola pásnic pomocného nosníka	45
Tabuľka 22: Kontrola pásnic na tvarovú stabilitu hlavného nosníka	45
Tabuľka 23: Parametre hlavného nosníka tvoreného frézovanou pásnicou	45
Tabuľka 24: Kontrola na stratu stability stojny hlavného nosníka	46
Tabuľka 25: Kontrola na stratu stability stojny pomocného nosníka	46
Tabuľka 26: Kontrola na únosnosť stojny hlavného nosník	46
Tabuľka 27: Kontrola pásnic hlavného nosníka	47
Tabuľka 28: Kontrola pásnic pomocného nosníka	47

Tabuľka 29: Kontrola pásnic na tvarovú stabilitu hlavného nosníka	47
Tabuľka 30: Parametre hlavného nosníka vytvoreného ohýbaným plechom	47
Tabuľka 31: Kontrola na stratu stability stojny hlavného nosníka	48
Tabuľka 32: Kontrola na stratu stability stojny pomocného nosníka	48
Tabuľka 33: Kontrola na únosnosť stojny hlavného nosník	48
Tabuľka 34: Kontrola pásnic hlavného nosníka	49
Tabuľka 35: Kontrola pásnic pomocného nosníka	49
Tabuľka 36: Kontrola pásnic na tvarovú stabilitu hlavného nosníka	49
Tabuľka 37: Parametre hlavného nosníka tvoreného integrálne frézovaným nosníkom	49
Tabuľka 38: Kontrola na stratu stability stojny hlavného nosníka	50
Tabuľka 39: Kontrola na stratu stability stojny pomocného nosníka	50
Tabuľka 40: Kontrola na únosnosť stojny hlavného nosník	50
Tabuľka 41: Kontrola pásnic hlavného nosníka	51
Tabuľka 42: Kontrola pásnic pomocného nosníka	51
Tabuľka 43: Kontrola pásnic na tvarovú stabilitu hlavného nosníka	51
Tabuľka 44: Základné rozmery rebra	51
Tabuľka 45: Parametre predného rebra	52
Tabuľka 46: Parametre zadného rebra	52
Tabuľka 47: Kontrola na stratu stability stojny predného rebra	53
Tabuľka 48: Kontrola na stratu stability stojny zadného rebra	53
Tabuľka 49: Kontrola na únosnosť stojny predného rebra	53
Tabuľka 50: Kontrola na únosnosť stojny zadného rebra	53
Tabuľka 51: Kontrola pásnic predného rebra	53
Tabuľka 52: Kontrola pásnic zadného rebra	53
Tabuľka 53: Nitový spoj rebra so stojnou	53
Tabuľka 54: Parametre časti krídla určenej na nastupovanie	54
Tabuľka 55: Požadované parametre na priečny nosník	54
Tabuľka 56: Vyhovujúce profily pre priečne nosníky	54
Tabuľka 57: Únosnosť nitov priečných nosníkov	54

---

Tabuľka 58: Rozmery rebra	55
Tabuľka 59: Parametre rebra	55
Tabuľka 60:: Kontrola na stratu stability stojny rebra	55
Tabuľka 61: Kontrola na únosnosť stojny rebra	55
Tabuľka 62: Kontrola pásnic rebra	55
Tabuľka 63: Kontrola nitov rebra	56
Tabuľka 64: Parametre vztlakovej mechanizácie	56
Tabuľka 65: Priehyb pot'ahu vztlakovej mechanizácie	57
Tabuľka 66: Krútiaci moment nosníka vztlakovej mechanizácie	57
Tabuľka 67: Parametre rebra v klapke	57
Tabuľka 68: Parametre krídelka	58
Tabuľka 69: Priehyb pot'ahu krídelka	58
Tabuľka 70: Parametre tiahiel ovládania krídeliek	58
Tabuľka 71: Nitové spoje tiahla ovládania krídeliek	58
Tabuľka 72: Otláčenie oka prapákovania	59
Tabuľka 73: Roztrhnutie oka prepákovania	59
Tabuľka 74: Otláčenie oka uchytenia prapákovania	59
Tabuľka 75: Roztrhnutie oka uchytenia prepákovania	60
Tabuľka 76: Skrut prepákovania	60
Tabuľka 77: Nitový spoj prapákovania krídeliek	60
Tabuľka 78: Nitový spoj tiahla ovládania krídeliek	61
Tabuľka 79: Zadané rozmery závesov	61
Tabuľka 80: Momenty pôsobiace na závesy krídla	61
Tabuľka 81: Rozmery závesov krídla	61
Tabuľka 82: Kontrola na otláčenie oká závesov	62
Tabuľka 83: Kontrola na roztrhnutie oká závesov krídla	62
Tabuľka 84: Kontrola strihu skrutkového spojenia závesov	62
Tabuľka 85: Kontrola strihu nitového spojenia závesu	63
Tabuľka 86: Kontrola na otláčenie zásevu v mieste spoja	63

Tabuľka 87: Kontrola na otláčenie nosníku v mieste závesu krídla	63
Tabuľka 88: Rozmery držiaka svetla	63
Tabuľka 89: Hmotnosť zostavy svetiel	63
Tabuľka 90: Kontrola nitového spojenia držiaka svetiel	64
Tabuľka 91: Kontrola nábežnej hrany krídla	64
Tabuľka 92: Kontrola vrchného potáhu prednej dutiny	64
Tabuľka 93: Kontrola spodného potáhu prednej dutiny	64
Tabuľka 94: Kontrola vrchného potáhu zadnej dutiny	64
Tabuľka 95: Kontrola spodného potáhu zadnej dutiny	65
Tabuľka 96: Kontrola nitového spojenia potáhu a hlavného nosníka	65
Tabuľka 97: Kontrola nitového spojenia potáhu a pomocného nosníka	65
Tabuľka 98: Kontrola zvlnenia potáhu medzi nitmi na hlavnom nosníku	65
Tabuľka 99: Kontrola zvlnenia potáhu medzi nitmi na pomocnom nosníku	65
Tabuľka 100: Hmotnosť a cena hlavného nosníku tvoreného L-profilmi	66
Tabuľka 101: Hmotnosť a cena nosníka tvoreného frézovanú pásnicou	66
Tabuľka 102: Hmotnosť a cena nosníka tvoreného ohýbaným plechom	66
Tabuľka 103: Hmotnosť a cena nosníka tvoreného integrálne frézovaným nosníkom	66
Tabuľka 104: Hmotnosť rebier	66
Tabuľka 105: hmotnosť časti určenej na nastupovanie	67
Tabuľka 106: Parametre plechu zadného nosníka	82
Tabuľka 107: Kontrola priameho lemu na zadnom nosníku	82
Tabuľka 108: Kontrola olemovania otvoru na zadnom nosníku	83
Tabuľka 109: Parametre plechu predného rebra	83
Tabuľka 110: Kontrola priameho lemu na predom rebre	83
Tabuľka 111: Kontrola vonkajšieho lemu na prednom rebre	83
Tabuľka 112: Kontrola olemovania otvoru č.1 na prednom rebre	84
Tabuľka 113: Kontrola olemovania otvoru č.2 na zadnom rebre	84
Tabuľka 114: Kontrola pretlačku na prednom rebre	84
Tabuľka 115: Parametre plechu zadného rebra	84



Tabuľka 116: Kontrola priameho lemu na zadnom rebre	85
Tabuľka 117: Kontrola vonkajšieho lemu na zadnom rebre	85
Tabuľka 118: Kontrola olemovania otvoru č.1 a č.2 na zadnom rebre	85
Tabuľka 119: Kontrola olemovania otvoru č.3 na zadnom rebre	85
Tabuľka 120: Kontrola olemovania otvoru č.4 na zadnom rebre	85
Tabuľka 121: Kontrola pretlačku na zadnom rebre	86
Tabuľka 122: Parametre plechu koncového rebra	86
Tabuľka 123: Kontrola priameho lemu na koncovom rebre	86
Tabuľka 124: Kontrola vnútorného lemu koncového rebra	86
Tabuľka 125: Parametre plechu poťahového plechu krídelka a klapky	87
Tabuľka 126: Kontrola priameho lemu na klapke a krídelku	87
Tabuľka 127: Parametre plechu rebra v krídelku	87
Tabuľka 128: Kontrola priameho lemu na rebre v krídelku	88
Tabuľka 129: Kontrola vonkajšieho lemu na rebre v krídelku	88
Tabuľka 130: Kontrola olemovania otvoru č.1 na rebre v krídelku	88
Tabuľka 131: Kontrola olemovania otvoru č.2 na rebre v krídelku	89
Tabuľka 132: Parametre plechu rebra v klapke	89
Tabuľka 133: Kontrola priameho lemu na rebre v klapke	89
Tabuľka 134: Kontrola vonkajšieho lemu na rebre v klapke	89
Tabuľka 135: Parametre plechu prepákovania ovládania krídeliek	90
Tabuľka 136: Kontrola priameho lemu na prepákovani ovládania krídeliek	90
Tabuľka 137: Parametre plechu priečneho nosníka	90
Tabuľka 138: Kontrola priameho lemu na priečnom nosníku	90
Tabuľka 139: Parametre plechu držiaka svetla	91
Tabuľka 140: Kontrola priameho lemu na držiaku svetla	91

## **16 Zoznam príloh**

Príloha č.1: Pevnostný výpočet (vzorce)

Príloha č.2: Pevnostný výpočet (hodnoty)

Príloha č.3: Obrázková príloha

Neviazaná príloha: Technické výkresy vybraných častí krídla

Diplomová práca v elektronickej podobe na CD médiu

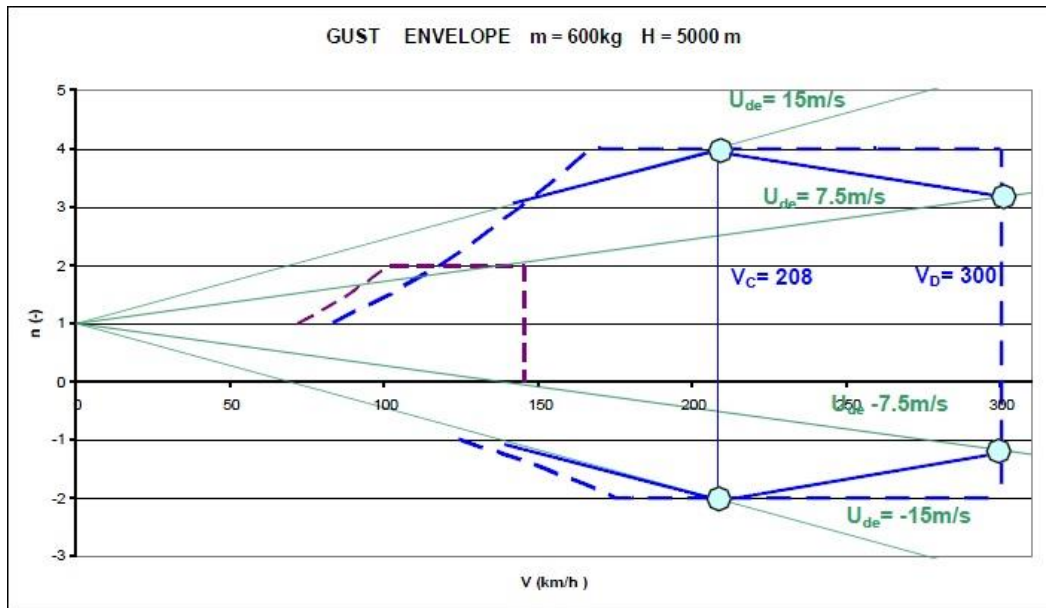
## Príloha č.1

### Pevnostný výpočet (vzorce):

Pevnostný výpočet bude vychádzať z hodnôt zaťaženia krídla, ktoré boli dodané firmou EVEKTOR spol. r. o.

Hodnoty zadané firmou EVEKTOR spol. r. o.:

	Description	Speed	V [km/h]	H [m]	Load factor [1]	Gust [m/s]	Weight [kg] / [lb]	Code*	Ail./flap defl. [deg]
1	Maneuvere at $V_A$	$V_A$	166	0	4		600 / 1323	A	
2	Maneuvere at $V_D$	$V_D$	300	0	4		600 / 1323	A	
3	Maneuvere at $V_E$	$V_E$	300	0	-2		600 / 1323	A	
4	Maneuvere at $V_G$	$V_G$	175	0	-2		600 / 1323	A	
5	Maneuvere with flaps	$V_F$	145	0	2		600 / 1323	A	50
6	Gust at $V_C$ (+)	$V_C$	208	0	3.74	15	600 / 1323	A	
7	Gust at $V_C$ (-)	$V_C$	208	0	-1.74	-15	600 / 1323	A	
8	Gust at $V_D$ (+)	$V_D$	300	0	2.97	7.5	600 / 1323	A	
9	Gust at $V_D$ (-)	$V_D$	300	0	-1.97	-7.5	600 / 1323	A	
10	Gust at $V_F$ (+)	$V_F$	145	0	1.97	7.5	600 / 1323	A	50
11	Aileron down at $V_A$	$V_A$	166	0	2.667		600 / 1323	A	15
12	Aileron up at $V_A$	$V_A$	166	0	2.667		600 / 1323	A	-20
13	Aileron down at $V_D$	$V_D$	300	0	2.667		600 / 1323	A	5
14	Aileron up at $V_D$	$V_D$	300	0	2.667		600 / 1323	A	-6.67
15	Gust at $V_C$ (+)	$V_C$	208	5000	4.02	15	600 / 1323	A	
16	Gust at $V_C$ (-)	$V_C$	208	5000	-2.02	-15	600 / 1323	A	
17	Gust at $V_C$ (+)	$V_C$	208	5000	5.28	15	390 / 860	T	
18	Gust at $V_C$ (-)	$V_C$	208	5000	-3.28	-15	390 / 860	T	
19	Gust at $V_D$ (+)	$V_D$	300	5000	4.09	7.5	390 / 860	T	
20	Gust at $V_D$ (-)	$V_D$	300	5000	-2.09	-7.5	390 / 860	T	

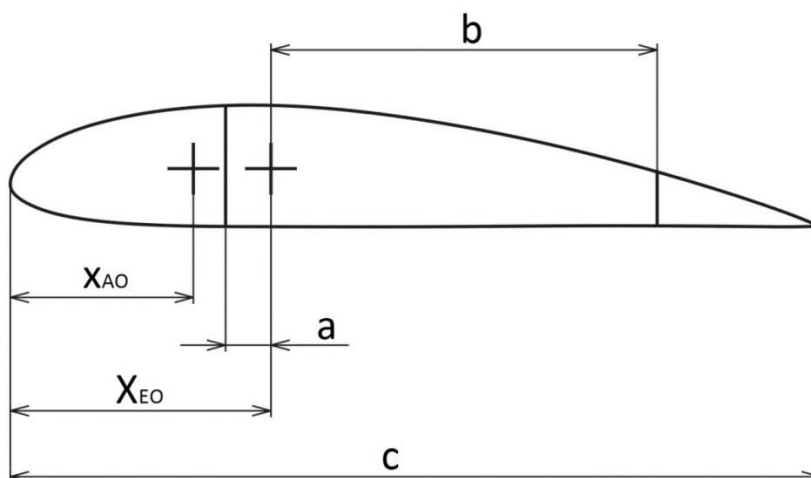


Kritické rezy sú stanovené podľa zmien v prierezu hlavného nosníka.

### Pevnostná kontrola krídla:

Hlavné parametre krídla:

	Dutina č.1	Dutina č.2
Plocha dutiny:	$U_1 = 49\,267,333\text{mm}^2$	$U_2 = 100\,472,275\text{mm}^2$
Dĺžky poťahu:	$s_1 = 731,589\text{mm}$	$s_2 = 671,845\text{mm}$ $s_3 = 666,972\text{mm}$
Vzdialenosť medzi nosníkmi :	$b = 666\text{mm}$	
Hĺbka profilu:	$c = 1\,250\text{mm}$	



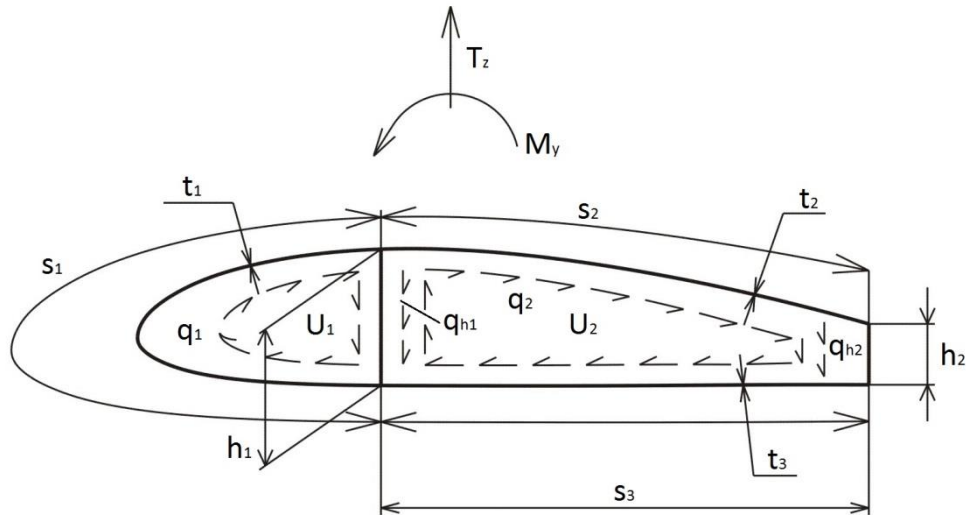
Poloha ohybovej elastickej osy:

$$a = b \cdot \frac{E_2 \cdot J_2}{E_1 \cdot J_1 + E_2 \cdot J_2}$$

$$x_{EO} = 0,35 \cdot c + a$$

$$x_{AS} = 0,25 \cdot c$$

$$x_T = 0,4 \cdot c$$



Krútiaci moment k elastickej osy:

$$M_{kEO} = 1,5 \cdot (M_{kA} + T_y \cdot \cos \alpha \cdot (x_{EO} - x_{AS}) + T \cdot \cos \alpha \cdot (x_T - x_{EO}) + T_z \cdot \sin \alpha \cdot (x_{EO} - x_{AS}))$$

Šmykový tok v stojne od posúvajúcich síl:

Hlavný nosník:

$$q_{h1} = \frac{T_y}{he_1} \cdot \frac{b-a}{b}$$

Zadný nosník:

$$q_{h2} = \frac{T_y}{he_2} \cdot \frac{a}{b}$$

Šmykový tok od krútiaceho momentu:

$$q_2 = \frac{M_{kEO} - 2 \cdot U_1 \cdot q_1}{he_1}$$

$$\frac{1}{2 \cdot U_1} \int_1 \frac{q_v \cdot ds}{G \cdot t} = \frac{1}{2 \cdot U_2} \int_2 \frac{q_v \cdot ds}{G \cdot t}$$

$$\frac{U_2}{U_1} \left( \frac{q_1 \cdot s_1}{G \cdot t_1} + \frac{(q_1 + q_{h1} - q_2) \cdot h_1}{G \cdot t_{sth}} \right) = \frac{q_2 \cdot s_{2H}}{G \cdot t_{2H}} + \frac{q_2 \cdot s_{2D}}{G \cdot t_{2D}} + \frac{(q_2 + q_{h2}) \cdot h_{e2}}{G \cdot t_{stz}} + \frac{(q_2 + q_1 - q_{h1}) \cdot h_{e1}}{G \cdot t_{sth}}$$

$$q_1 = \frac{M_{kEO} \cdot \left( \frac{s_2}{G \cdot t_{2H}} + \frac{s_3}{G \cdot t_{2D}} + \frac{h_{e2}}{G \cdot t_{stz}} + \frac{h_{e1}}{G \cdot t_{sth}} + \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{h_{e1}}{G \cdot t_{sth}} \right)}{2 \cdot U_2} - \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{q_{h1} \cdot h_{e1}}{G \cdot t_{sth}} - \frac{q_{h2} \cdot h_{e2}}{G \cdot t_{stz}} + \frac{q_{h1} \cdot h_{e1}}{G \cdot t_{sth}}$$

$$= \frac{\frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{s_1}{G \cdot t_1} + \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{h_{e1}}{G \cdot t_{sth}} + \frac{h_{e1}}{G \cdot t_{sth}} + \frac{U_1}{U_2} \cdot \left( \frac{s_2}{G \cdot t_{2H}} + \frac{s_3}{G \cdot t_{2D}} + \frac{h_{e2}}{G \cdot t_{stz}} + \frac{h_{e1}}{G \cdot t_{sth}} + \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{h_{e1}}{G \cdot t_{sth}} \right)}{U_2}$$

Výsledný šmykový tok:

$$q_{v1} = q_{h1} + q_1 - q_2$$

$$q_{v2} = q_{h2} + q_2$$

## Pevnostná kontrola nosníka:

Pásnica

Rozdelenie zaťaženia podľa ohybovej tuhosti:

Ohybový moment pásníc:

$$M_o = M_{ocel} \cdot \frac{J}{J_1 + J_2}$$

Sila v pásniciach:

$$F = \frac{M_o}{h_e}$$

Napätie v pásniciach:

$$\sigma_{pas} = \frac{F}{S_{pas}}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{pas} = \frac{Rm}{\sigma_{pas}}$$

Kontrola na tvarovú stabilitu:

Kritické napätie:

$$\sigma_{kr_{pas}} = k_{prof} \cdot E \cdot \left( \frac{t_{prof}}{h_{prof}} \right)^2$$

Stabilita s poťahom:

Kritické napätie v dutinách:

$$\sigma_{kr} = \frac{0,82 \cdot E}{\left(\frac{l_{prof}}{t_{prof}}\right)^2}$$

Plocha poťahu:

$$S_p = s \cdot t$$

Kritické napätie

$$\sigma_{kr_{cel}} = \frac{\sum \sigma_{kr} \cdot S}{\sum S}$$

Napätie v pásniciach a poťahu:

$$\sigma_{krit} = \frac{F}{\sum S}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{pas} = \frac{\sigma_{kr_{cel}}}{\sigma_{krit}}$$

Stojna:

Kontrola na stratu stability:

Koeficient kritického šmykového napätia:

$$\frac{he}{l_{reb}} \Rightarrow k_{\tau}$$

Kritické napätie:

$$\tau_{kr} = k_{\tau} \cdot E \cdot \left(\frac{t_{he}}{he}\right)^2$$

Šmykové napätie:

$$\tau_{he} = \frac{q_v}{t_{he}}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{st} = \frac{\tau_{kr}}{\tau_{he}}$$

Kontrola na únosnosť:

Únosnosť hladkej dosky:

$$\frac{he}{t_{he}} \Rightarrow q_{pt}$$

Únosnosť hladnej dosky:

$$q_p = q_{pt} \cdot \left(1 - \left(\frac{D}{h_e}\right)\right)$$

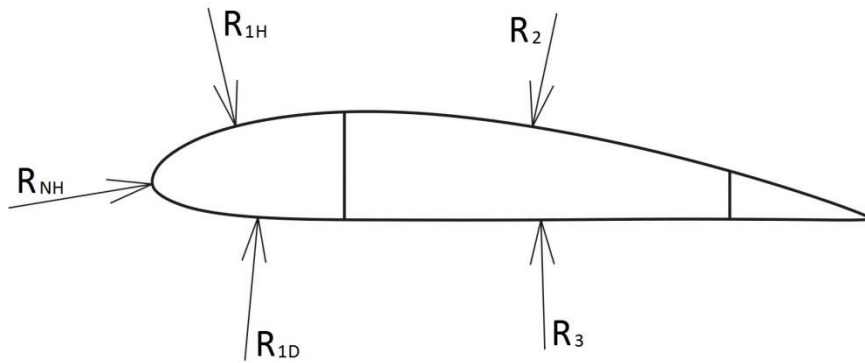
Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{stoj} = \frac{q_p}{q_v}$$

## Pevnostná kontrola poťahu

Polomer poťahu:

Predný poťah:	R <sub>NH</sub> =37mm	R <sub>IH</sub> =566,7mm	R <sub>ID</sub> =972,0mm
Zadný poťah:	R <sub>2</sub> =2 419,6mm		R <sub>3</sub> =72 103,1mm



Kontrola polomeru nábežnej hrany na stratu stability:

Koeficient kritického šmykového napätia:

$$\frac{l_{reb}}{\sqrt{R_{NH} \cdot t_1}} \cdot \frac{t_1}{R_{NH}} \Rightarrow k_{\tau_{NH}}$$

Kritické napätie:

$$\tau_{kr_{NH}} = k_{\tau_{NH}} \cdot E \cdot \frac{t_1}{R_{NH}} \cdot \sqrt{\frac{R_{NH} \cdot t_1}{l_{reb}}}$$

Šmykové napätie:

$$\tau_{NH} = \frac{q_1}{t_1}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{NH} = \frac{\tau_{kr_{NH}}}{\tau_{NH}}$$

Kontrola poľahu na stratu stability:

Dĺžka poľahu:

$$s_{pot} = s - p$$

$$\frac{l_{reb}}{s_{pot}} \Rightarrow k_{\tau_{pot}}$$

$$\tau_{kr_{pot}} = k_{\tau_{pot}} \cdot E \cdot \left(\frac{t}{l_{reb}}\right)^2$$

$$\tau_{kr} = \tau_{kr_{pot}} + 0,1 \cdot E \cdot \frac{t}{R}$$

$$\tau_{pot} = \frac{q}{t}$$

$$\eta_{pot} = \frac{\tau_{kr}}{\tau_{pot}}$$

Kontrola nitových spojov:

Nitové spoje stojny a pásnic:

Síla na jeden nit:

$$F_n = \frac{1}{n} \cdot q_h \cdot l_{roz}$$

súčiniteľ rezervy:



$$\eta_n = \frac{F_{tab}}{Fn}$$

Nitový spoj pásnice a potáhu:

Síla na jeden nit:

$$F_n = n \cdot q_h \cdot l_{roz}$$

súčiniteľ rezervy:

$$\eta_n = \frac{F_{tab}}{Fn}$$

Kontrola na stabilitu potáhu medzi nitmi:

Napätie v potáhu:

$$\sigma_{pot} = \frac{q}{l_{roz}}$$

Dĺžka potáhu medzi nitmi:

$$l_{pot} = l_{roz} - d_{nit}$$

Kritické napätie:

$$\sigma_{kr} = \frac{0,82 \cdot E}{\left(\frac{l_{pot}}{t}\right)^2}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{nit} = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma_{pot}}$$

## Pevnostná kontrola závesu krídla

Efektívna výška:	$he_{zav} = 150\text{mm}$
Vzdialenosť medzi nosníkmi:	$b = 666\text{mm}$
Medzera medzi vidlicami na hlavnom nosníku	$t_{vid} = 12,2\text{mm}$
Priemer čapov na hlavnom nosníku:	$D_{\text{čap}} = 16\text{mm}$

$M_{O_{cel}}$ (Nm)	29 920,70
$M_D$ (Nm)	9 062,70
$M_k$ (Nm)	7982,45

Sily pôsobiace na záves:

$$F_y = \frac{M_{O_{cel}}}{he_{zav}}$$

$$F_z = \frac{M_D}{b}$$

$$F_{M_k} = \frac{M_k}{b}$$

$$F_{zav1} = \sqrt{F_y^2 + F_{M_k}^2}$$

$$F_{zav2} = \sqrt{(F_y + F_z)^2 + F_{M_k}^2}$$

$$F_{zav3} = \sqrt{F_z^2 + F_{M_k}^2}$$

Keďže orientácia závesov určuje, že závesy sú staticky neurčité, sú do príslušných bodov závesu pripočítané všetky sily pôsobiace na tento záves.

$F_y$ (N)	199471,331
$F_z$ (N)	13607,663
$F_{M_k}$ (N)	11985,661
$F_{zav1}$ (N)	199831,098
$F_{zav2}$ (N)	213415,823
$F_{zav3}$ (N)	18133,520

Oko:

Otlačenie:

Prierez oka:

$$S_{zav} = D_{\check{c}ap} \cdot t_{zav}$$

Kritické napätie

$$\sigma_{zav} = \frac{F_{zav}}{S_{zav}}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{zav\ otl} = \frac{Rm}{\sigma_{zav}}$$

Roztrhnutie:

Prierez závesu:

$$S_{zav} = t_{zav} \cdot h_{zav}$$

Kritické napätie:

$$\sigma_{zav} = \frac{F_{zav}}{S_{zav}}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{zav\ roz} = \frac{Rm}{\sigma_{zav}}$$

Spoj závesu a nosníka:

Strih skrutiek:

Kritické šmykové napätie:

$$\tau_{spoj} = \frac{F_{zav}}{S_{skrut} \cdot n}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{spoj} = \frac{\tau_{skrut}}{\tau_{spoj}}$$

Otlačenie závesu:

Plocha závesu:

$$S_{zav} = D_{skrut} \cdot t_{zav}$$

Kritické napätie:

$$\sigma_{zav} = \frac{F_{zav}}{S_{zav}}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{zav\ otl} = \frac{Rm}{\sigma_{zav}}$$

Otlačenie skrutiek:

Plocha nosníka:

$$S_{zav} = D_{skrut} \cdot t_{zav} \cdot n$$

Kritické napätie:

$$\sigma_{zav} = \frac{F_{zav}}{S_{zav}}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{zav\ otl} = \frac{Rm}{\sigma_{zav}}$$

Otlačenie nosníka:

Plocha nosníka:

$$S_{nos} = D_{skrut} \cdot t_{nos} \cdot n$$

Kritické napätie:

$$\sigma_{nos} = \frac{F_{zav}}{S_{nos}}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{nos\ otl} = \frac{Rm}{\sigma_{nos}}$$

## Pevnostná kontrola rebra

	Predné rebro:	Zadné zedbro:
$c_{reb}$ (mm)	298,8	601,8
$h_{reb}$ (mma)	167,2	168,9

Kontrola pásnic:

Moment od vztlakovej sily:

$$M_{oreb} = T_y \cdot c_{reb}$$

Sila v pásniciach:

$$F_{reb} = \frac{M_{oreb}}{he_{reb}}$$

Napätie v pásniciach:

$$\sigma_{pas reb} = \frac{F_{reb}}{S_{pas}}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{pas reb} = \frac{Rm}{\sigma_{pas reb}}$$

Stojna:

Kontrola na stratu stability:

Koeficient kritického šmykového napätia:

$$\frac{h_{reb}}{c_{reb}} \Rightarrow k_{\tau}$$

Kritické napätie:

$$\tau_{kr reb} = k_{\tau} \cdot E \cdot \left( \frac{t_{he}}{he_{reb}} \right)^2$$

Šmykový tok:

$$q_{v reb} = \frac{T_y}{he_{reb}}$$

Šmykové napätie:

$$\tau_{reb} = \frac{q_v}{t_{reb}}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{st reb} = \frac{\tau_{kr reb}}{\tau_{reb}}$$

Kontrola na únosnosť:

Únosnosť hladkej dosky:

$$\frac{he_{reb}}{t_{reb}} \Rightarrow q_{pt}$$

Únosnosť hladnej dosky:

$$q_{p reb} = q_{pt} \cdot \left( 1 - \left( \frac{D}{he_{reb}} \right) \right)$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{stoj reb} = \frac{q_{p reb}}{q_v}$$

Kontrola nitov:

Nitové spoje rebra a stojiny:

Síla na jeden nit:

$$Fn = \frac{M_{oreb}}{2 \cdot h_{ereb} \cdot n}$$

súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{n reb} = \frac{F_{tab}}{Fn}$$

Nitový spoj rebra a poťahu:

Síla na jeden nit:

$$F_n = n \cdot q_h \cdot l_{roz}$$

súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{n reb} = \frac{F_{tab}}{Fn}$$

Kontrola na stabilitu poťahu medzi nitmi:

Napätie v poťahu:

$$\sigma_{pot reb} = \frac{q}{l_{roz}}$$

Dĺžka poťahu medzi nitmi:

$$l_{pot} = l_{roz} - d_{nit}$$

Kritické napätie:

$$\sigma_{kr reb} = \frac{0,82 \cdot E}{\left(\frac{l_{pot}}{t}\right)^2}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{nit reb} = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma_{pot}}$$

## Pevnostná kontrola krídelka

Hmotnosť lietadla:	m = 600kg	m = 1322,76lb
Plocha krídla:	S = 10,6m <sup>2</sup>	S = 114,10ft <sup>2</sup>
Dĺžka krídelka:	l <sub>kr</sub> = 1,09m	
Hĺbka krídelka:	c <sub>kríd</sub> = 0,23m	$\overline{c_{kríd}}$ = 18,4%

Zaťaženie krídla:

$$\bar{w} = 0,466 \cdot n_1 \cdot \frac{m}{S} = 20,530 \text{ lb/ft}^2 \Rightarrow 983,295 \text{ Pa}$$

$$\bar{x} = \frac{\overline{c_{kríd}^2} \cdot \frac{1}{2} + (1 - \overline{c_{kríd}}) \cdot \frac{1}{2} \cdot \left( (1 - \overline{c_{kríd}}) \cdot \frac{1}{3} + \overline{c_{kríd}} \right)}{\overline{c_{kríd}} + (1 - \overline{c_{kríd}}) \cdot \frac{1}{2}} = 34,286\%$$

Stred krídelka:

$$z_{kríd} = \frac{l_{kríd}}{2} = 545 \text{ mm}$$

Plocha krídelka:

$$S_{kríd} = c_{kríd} \cdot l_{kríd} = 0,2507m^2$$

Síla pôsobiaci na krídelko:

$$F_{kríd} = \bar{w} \cdot S_{kríd} = 246,512N$$

Šmykový tok v krídelku:

$$q_{kríd} = c_{kríd} \cdot \bar{w} = 0,266N/mm$$

Krútiaci moment na krídelku:

$$z_{kríd} = \frac{F}{q_{kríd}} = 1,09m$$

$$M_O = \frac{q}{z_{kríd}^2} = 14,174Nm$$

Kontrola na zaťaženie tlakom:

$$\frac{b}{a} \Rightarrow q_1, \varsigma_1$$

$$\frac{p}{E} \cdot \left(\frac{b}{t}\right)^4 \Rightarrow q_2, \varsigma_2$$

$$\sigma_{kríd} = g_1 \cdot g_2 \cdot p \cdot \left(\frac{b}{t}\right)^2$$

$$\frac{f}{b} = \varsigma_1 \cdot \varsigma_2 \cdot \frac{p}{E} \cdot \left(\frac{b}{t}\right)^3$$

Tiahlo na ovládanie krídelka:

Síla na riadenie podľa CS23:

$$F_{riad} = 133N$$

Dĺžky riadiacej páky:

$l_{rph}$ (mm)	420
$l_{rpd}$ (mm)	85

$$F_{ovlad} = 1,5 \cdot F_{riad} \cdot \frac{l_{rph}}{l_{rpd}} = 985,5N$$

Dĺžka tiahiel ovládania krídelok:

$l_{tiahD}$ (mm)	2342
$l_{tiahK}$ (mm)	746

Kvadratický moment:

$$J_{tiah} = \frac{F_{ovlad} \cdot l_{tiah}^2}{\pi^2 \cdot E}$$

$J_{tiahD}$ (mm <sup>4</sup> )	7492,280
$J_{tiahK}$ (mm <sup>4</sup> )	760,183

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{tiah} = \frac{J_{tiah}}{J_{skut}}$$

Nitový spoj tiahla a koncovky:

$$F_{nit\ tiah} = n \cdot F_{tab}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{nit\ tiah} = \frac{F_{nit\ tiah}}{F_{ovlad}}$$

Prepákovanie mechanizmu ovládania krídeliek:

Otlačenie oka:

$$\sigma_{ovlad} = \frac{F_{ovlad}}{2 \cdot S_{ovlad}}$$

$$\eta_{ovlad} = \frac{Rm}{\sigma_{ovlad}}$$

Roztrhnutie oka:

$$\sigma_{ovlad\ roz} = \frac{F_{ovlad}}{4 \cdot S_{ovlad\ roz}}$$

$$\eta_{ovlad\ roz} = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{ovlad\ roz}}$$

Otlačenie prepákovania ovládania:

$$F_{ovlado\ toč} = \sqrt{F_{ovlad}^2 + (\cos \alpha \cdot F_{ovlad})^2}$$

$$\sigma_{otoč} = \frac{F_{ovlado\ toč}}{3 \cdot S_{ovlad}}$$

$$\eta_{otoč\ otl} = \frac{Rm}{\sigma_{otoč}}$$

roztrhnutie oka ovládania:

$$\sigma_{otoč\ roz} = \frac{F_{ovlad}}{6 \cdot S_{ovlad\ roz}}$$

$$\eta_{otoč\ roz} = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{otoč\ roz}}$$

Skrut ovládania:

Krútiaci moment od riadenia:

$$M_{K\ otoč} = F_{ovlad} \cdot l_{ovlad}$$

Napätie v osi:

$$\sigma_{otoč\ skr} = \frac{M_{K\ otoč}}{W_{K\ otoč}}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{otoč\ skr} = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{otoč\ skr}}$$

Uchytenie mechanizmu prepákovania krídeliek:

$$F_{uchyt\ ovl} = n \cdot F_{tab}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{uchyt\ ovl} = \frac{F_{uchyt\ ovl}}{F_{ovlado\ toč}}$$

Uchytenie tiahla na krídelku:

$$F_{uchyt\ kríd} = n \cdot F_{tab}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{uchyt\ kríd} = \frac{F_{uchyt\ kríd}}{F_{ovlado}}$$

## Pevnostná kontrola klapky

Hmotnosť lietadla:	m = 600kg	m = 1322,76lb
Plocha krídla:	S = 10,6m <sup>2</sup>	S = 114,10ft <sup>2</sup>
Dĺžka krídelka:	l <sub>kr</sub> = 2,25m	
Hĺbka krídelka:	c <sub>kríd</sub> = 0,23m	$\overline{c_{kríd}} = 18,4\%$

Zaťaženie krídla:

$$\bar{w} = 0,466 \cdot n_1 \cdot \frac{m}{S} = 20,530 \text{ lb/ft}^2 \Rightarrow 983,295 \text{ Pa}$$

$$\bar{x} = \frac{\overline{c_{klap}^2} \cdot \frac{1}{2} + (1 - \overline{c_{klap}}) \cdot \frac{1}{2} \cdot \left( (1 - \overline{c_{klap}}) \cdot \frac{1}{3} + \overline{c_{klap}} \right)}{\overline{c_{klap}} + (1 - \overline{c_{klap}}) \cdot \frac{1}{2}} = 34,286\%$$

Stred krídelka:

$$z_{klap} = \frac{l_{klap}}{2} = 1\,125 \text{ mm}$$

Plocha krídelka:

$$S_{klap} = c_{klap} \cdot l_{klap} = 0,518 \text{ m}^2$$

Sila pôsobiaca na krídelko:

$$F_{klap} = \bar{w} \cdot S_{klap} = 508,855 \text{ N}$$

Šmykový tok v krídelku:

$$q_{klap} = c_{klap} \cdot \bar{w} = 0,266 \text{ N/mm}$$

Krútiaci moment na krídelku:

$$z_{klap} = \frac{F}{q_{klap}} = 2,25 \text{ m}$$



$$M_O = \frac{q}{z_{klap}^2} = 29,259 Nm$$

Kontrola na zaťaženie tlakom:

$$\frac{b}{a} \Rightarrow q_1, \varsigma_1$$

$$\frac{p}{E} \cdot \left(\frac{b}{t}\right)^4 \Rightarrow q_2, \varsigma_2$$

$$\sigma_{klap} = g_1 \cdot g_2 \cdot p \cdot \left(\frac{b}{t}\right)^2$$

$$\frac{f}{b} = \varsigma_1 \cdot \varsigma_2 \cdot \frac{p}{E} \cdot \left(\frac{b}{t}\right)^3$$

Nosník:

Sila pôsobiaca na nosník na klapke:

$$F_{klap nos} = M_{O_{klap}} \cdot c_{klap nos}$$

Ohybový moment:

$$M_{O_{klap nos}} = F_{klap nos} \cdot l_{klap}$$

Napätie v nosníku:

$$\sigma_{klap nos} = \frac{M_{O_{klap nos}}}{W_O}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{klap nos} = \frac{\sigma_{klap nos}}{Rm}$$

Rebro:

Ohybový moment:

$$M_{O_{reb klap}} = F_{klap} \cdot c_{klap}$$

Kritické napätie:

$$\sigma_{reb klap} = \frac{M_{O_{reb klap}}}{W_{O_{reb klap}}}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{reb klap} = \frac{\sigma_{reb klap}}{Rm}$$

## Nastupovanie

Hmotnosť človeka:	m=80kg
Šírka nástupu:	l <sub>nas</sub> =250mm

Nosníková konštrukcia:

Ohybový moment:

$$M_{O_{nas}} = 1,5 \cdot m \cdot g \cdot l_{nas}$$

Napätie v nosníku:

$$W_0 = \frac{M_{O_{nas}}}{\sigma_{nas} \cdot n}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{nas} = \frac{W_{O_{nas}}}{W_0}$$

Únosnosť nitov:

Síla od váhy človeka:

$$F_{\check{c}lov} = 1,5 \cdot m \cdot g$$

$$\eta_{nit\ nas} = \frac{F_{\check{c}lov}}{n \cdot F_{tab}}$$

Konštrukcia pomocou rebier:

Rebro s odľahčovacími otvormi:

Kontrola pásnic:

Moment od vztlakovej sily:

$$M_{O_{reb}} = T_y \cdot c_{reb}$$

Síla v pásniciach:

$$F_{reb} = \frac{M_{O_{reb}}}{h e_{reb}}$$

Napätie v pásniciach:

$$\sigma_{pas\ reb} = \frac{F_{reb}}{S_{pas}}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{pas\ reb} = \frac{Rm}{\sigma_{pas\ reb}}$$

Stojna:

Kontrola na stratu stability:

Koeficient kritického šmykového napätia:

$$\frac{h_{reb}}{c_{reb}} \Rightarrow k_{\tau}$$

Kritické napätie:

$$\tau_{kr\ reb} = k_{\tau} \cdot E \cdot \left( \frac{t_{he}}{h e_{reb}} \right)^2$$

Šmykový tok:

$$q_{v\ reb} = \frac{T_y}{h e_{reb}}$$

Šmykové napätie:

$$\tau_{reb} = \frac{q_v}{t_{reb}}$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{st\ reb} = \frac{\tau_{kr\ reb}}{\tau_{reb}}$$

Kontrola na únosnost:

Únosnost hladkej dosky:

$$\frac{he_{reb}}{t_{reb}} \Rightarrow q_{pt}$$

Únosnost hladnej dosky:

$$q_{p reb} = q_{pt} \cdot \left( 1 - \left( \frac{D}{he_{reb}} \right) \right)$$

Súčiniteľ rezervy:

$$\eta_{stoj reb} = \frac{q_{p reb}}{q_v}$$

## Pevnostná kontrola svetla

Vzdialenosť medzi rebrami:	$l_{reb} = 369\text{mm}$
Výška panelu:	$h_{pan} = 100\text{mm}$
Zahnutie panelu:	$p_{pan} = 10\text{mm}$
Hrúbka plechu:	$t_{pan} = 0,8\text{mm}$
Hmotnosť svetla:	$m_{svet} = 180\text{g}$
Vzdialenosť medzi nitmi:	$l_{nit} = 75\text{mm}$
Maximálny násobok	$n_{max} = 5,28$

Sila pôsobiaca od hmotnosti zostavy svetiel:

$$F_{svet} = m_{cel} \cdot g \cdot n_{max}$$

Ohybový moment:

$$M_{osvet} = F_{svet} \cdot \frac{1}{2} \cdot l_{reb}$$

Sila na nity od hmotnosti svetla:

$$F_{nit svet} = \frac{M_{osvet}}{l_{nit}}$$

## Príloha č.2

### Pevnostný výpočet (hodnoty)

#### Hlavný nosník

#### Nosník tvorený L-profilmi

Hlavný nosník:

Profil pásnice1:	L 25 x 25 x 3	L 30 x 30 x 3	L 35 x 35 x 3
Profil pásnice2:	L 30 x 30 x 4	L 30 x 30 x 3	L 40 x 40 x3

Krútiaci moment	$M_{kA} =$ -1636,6Nm	$M_{kA} =$ -681,93Nm	$M_{kA} =$ -681,932Nm
Posúvajúca sila od aerodynamických síl:	$T_y = 6386,9N$	$T_y = 6386,9N$	$T_y = 6386,9N$
Posúvajúca sila od zotrvačných síl:	$T_z = 209,8N$	$T_z = 94,48N$	$T_z = 94,48N$

Poloha ohybovej osy:

a (mm)	28,787	26,895	25,893
$x_{EO}$ (mm)	362,788	360,896	359,893
$x_{AS}$ (mm)	312,5	312,5	312,5
$x_T$ (mm)	420	420	420
$M_{kEO}$ (Nm)	-6172,37	-6172,4	-6148,42
$q_{h1}$ (N/mm)	141,4	155,0	155,5
$q_{h2}$ (N/mm)	-69,3	-76,0	-76,3
$q_1$ (N/mm)	11,0	11,0	11,0
$q_2$ (N/mm)	-5,4	-5,4	-5,4
$q_{v1}$ (N/mm)	155,2	159,1	156,1
$q_{v2}$ (N/mm)	20,5	19,5	19,0

Stojna:

kontrola na stratu stability:

Hlavný nosník.

$l_{reb}$ (mm)	345		
$h_e/l_{reb}$	0,421	0,410	0,420
$k_\tau$	9,96	8,934	8,96
$\tau_{kr}$ (MPa)	92,631	97,172	92,984
$\tau_{he}$ (Mpa)	77,575	79,545	78,023
$\eta_{st}$	1,194	1,222	1,192

Pomocný nosník:

$l_{reb}$ (mm)	345		
$h_e/l_{reb}$	0,174		
$k_r$	8,34		
$\tau_{kr}$ (MPa)	125,001	125,704	125,704
$\tau_{he}$ (Mpa)	20,496	19,516	19,011
$\eta_{st}$	6,099	6,441	6,612

Kontrola na únosnosť:

Hlavný nosník:

$h_e/t_{he}$	84,111	81,981	83,940
$q_{pt}$ (N/m)	188		
$q_p$ (N/m)	156,708	159,335	156,644
$\eta_{stoj}$	1,010	1,002	1,004

Kontrola pásnic:

Rozdelenie zaťaženia podľa ohybovej tuhosti:

Hlavný nosník:

$M_O$ (Nm)	28 630,96	28 715,97	28 761,01
F (N)	170196,962	175 138,839	171 318,873
$\sigma_{pas}$ (MPa)	462,491	403,546	434,819
$\eta_{pas}$	1,014	1,162	1,079

Pomocný nosník:

$M_O$ (Nm)	1 293,48	1 208,46	1 163,42
F (N)	18515,286	17 348,014	16 701,466
$\sigma_{pas}$ (MPa)	409,404	457,429	440,381
$\eta_{pas}$	1,145	1,025	1,065

### Stredový rez

Hlavný nosník:

Rez:	$b = 2210\text{mm}$	$b = 2080\text{mm}$	$b = 1420\text{mm}$	$b = 1740\text{mm}$	$b = 1520\text{mm}$
Profil pásnice:	L 25 x 25 x 3	L 30 x 30 x 3	L 30 x 30 x 4	L 35 x 35 x 3	L 40 x 40 x 3

Krútiaci moment	$M_{kA} = -681,9\text{Nm}$	$M_{kA} = -633,6\text{Nm}$	$M_{kA} = -1116,08\text{Nm}$	$M_{kA} = -962,1\text{Nm}$	$M_{kA} = 116,0\text{Nm}$
Posúvajúca sila od aerodynamických síl:	$T_y = 2874,8\text{N}$	$T_y = 2829,6\text{N}$	$T_y = 4496,473\text{N}$	$T_y = 3951,9\text{N}$	$T_y = 4584,2\text{N}$
Posúvajúca sila od zotrvačných síl:	$T_z = 94,5\text{N}$	$T_z = 92,9\text{N}$	$T_z = 147,7\text{N}$	$T_z = 129,8\text{N}$	$T_z = 150,6\text{N}$

a (mm)	35,882	35,658	35,344	34,958	43,613
$x_{EO}$ (mm)	369,882	369,757	369,344	368,958	377,613
$x_{AS}$ (mm)	312,5	312,5	312,5	312,5	312,5
$x_T$ (mm)	420	420	420	420	420
$M_{kEO}$ (Nm)	-1518,23	-1007,7	2082,845	1899,4	1960,4
$q_{h1}$ (N/mm)	37,9	45,2	52,3	53,2	78,7
$q_{h2}$ (N/mm)	-18,6	-19,24	-25,6	-26,1	-38,6
$q_l$ (N/mm)	7,2	8,6	8,9	9,0	13,3
$q_2$ (N/mm)	-3,5	-4,2	-4,34	-4,4	-6,5
$q_{v1}$ (N/mm)	35,8	43,1	50,7	52,1	64,7
$q_{v2}$ (N/mm)	7,0	8,3	9,4	9,5	13,9

Stojna:

Kontrola na stratu stability:

Hlavný nosník:

$l_{reb}$ (mm)	345				
$h_e/l_{reb}$	0,427	0,432	0,432	0,432	0,432
$k_\tau$	8,98				
$\tau_{kr}$ (MPa)	57,755	75,192	85,575	89,034	159,860
$\tau_{he}$ (Mpa)	22,379	59,816	70,548	72,093	132,664
$\eta_{st}$	2,581	1,257	1,213	1,235	1,205

Pomocný nosník:

$l_{reb}$ (mm)	345				
$h_e/l_{reb}$	0,174				
$k_\tau$	8,34				
$\tau_{kr}$ (MPa)	124,304	124,373	124,373	124,373	124,373
$\tau_{he}$ (Mpa)	7,003	18,342	20,951	21,366	31,781
$\eta_{st}$	17,749	6,780	5,936	5,821	3,913

Kontrola na únosnosť:

Hlavný nosník:

$h_e/t_{he}$	106,625	105,175	104,613	103,45	136,083
$q_{pt}$ (N/m)	120				74
$q_p$ (N/m)	36,295	44,412	51,174	52,601	64,936
$\eta_{stoj}$	1,014	1,029	1,01	1,010	1,004

Kontrola pásnic:

Rozdelenie zaťaženia podľa ohybovej tuhosti:

Hlavný nosník:

$M_O$ (Nm)	11 282,09	13 491	17412,9	15663,0	17614,8
F (N)	66131,816	80174,987	105824,564	974612	107867,8
$\sigma_{pas}$ (MPa)	465,717	466,133	468,250	468,381	464,947
$\eta_{pas}$	1,007	1,006	1,002	1,001	1,008

Pomocný nosník

$M_O$ (Nm)	642,45	763	992,7	867,9	1234,4
F (N)	9170,037	10896,877	14176,278	12391,221	17623,4
$\sigma_{pas}$ (MPa)	241,794	287,327	373,718	326,729	464,691
$\eta_{pas}$	1,940	1,632	1,255	1,435	1,009

### Koncový rez

Hlavný nosník:

Šírka pásnice:	$p_1 = 25\text{mm}$	$p_1 = 30\text{mm}$	$p_1 = 35\text{mm}$	$p_1 = 40\text{mm}$
----------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------

Krútiaci moment	$M_{kA} = -316,7\text{Nm}$	$M_{kA} = -321,3\text{Nm}$	$M_{kA} = 1085\text{Nm}$	$M_{kA} = 1095\text{Nm}$
Posúvajúca sila od aerodynamických síl:	$T_y = 1434\text{N}$	$T_y = 1484\text{N}$	$T_y = 1700\text{N}$	$T_y = 1630\text{N}$
Posúvajúca sila od zotrvačných síl:	$T_z = 47,2\text{N}$	$T_z = 48,8\text{N}$	$T_z = 54\text{N}$	$T_z = 54,5\text{N}$

a (mm)	55,270	55,270	55,268	55,268
$x_{EO}$ (mm)	389,270	389,270	329,27	329,27
$x_{AS}$ (mm)	312,5			
$x_T$ (mm)	420			
$M_{kEO}$ (Nm)	-489,2	-506,3	-582,5	-572,6
$q_{h1}$ (N/mm)	7,2	8	9	6,3
$q_{h2}$ (N/mm)	1,6	1,8	2,1	1,7
$q_1$ (N/mm)	5,8	6,2	6,3	6,4
$q_2$ (N/mm)	2,8	-3	-3,1	-3,2
$q_{v1}$ (N/mm)	15,8	17,2	18,4	15,9
$q_{v2}$ (N/mm)	-1,2	-1,2	-1	-1,5

Stojna:

Kontrola na stratu stability:

Hlavný nosník:

$l_{reb}$ (mm)	368			
$he/l_{reb}$	0,428	0,443	0,443	0,443
$k_\tau$	8,98	9,03		
$\tau_{kr}$ (MPa)	37,5	48,984	31,5	38,657
$\tau_{he}$ (Mpa)	35,1	39,0	30,56	38,5
$\eta_{st}$	1,068	1,256	1,03	1,004

Pomocný nosník:

$l_{reb}$ (mm)	368			
$h_e/l_{reb}$	0,175			
$k_r$	8,34			
$\tau_{kr}$ (MPa)	124,373	124,373	124,373	124,373
$\tau_{he}$ (Mpa)	7,9	10,0	9,6	9,8
$\eta_{st}$	15,744	12,437	12,955	12,691

Kontrola na únosnosť:

Hlavný nosník

$h_e/t_{he}$	177,7			
$q_{pt}$ (N/m)	48		44	
$q_p$ (N/m)	16,579	17,532	13,049	13,049
$\eta_{stoj}$	1,049	1,019	1,052	1,019

Kontrola pásnic:

Rozdelenie zaťaženia podľa ohybovej tuhosti:

Hlavný nosník:

$M_O$ (Nm)	4213,7	4612,8	5 224,6	5400
F (N)	24 547,049	26543,566	29 262,802	30 388,295
$\sigma_{pas}$ (MPa)	466,851	460,985	465,597	468,594
$\eta_{pas}$	1,004	1,017	1,007	1,001

Pomocný nosník

$M_O$ (Nm)	379,3	379,8	465,4	425
F (N)	5 411,193	5411,193	6 639,063	6 067,961
$\sigma_{pas}$ (MPa)	142,681	142,681	175,058	159,999
$\eta_{pas}$	3,287	3,287	2,679	2,931

### Nosník tvorený frézovanou pásnicou

Hlavný nosník:

Rez:	b = 520mm	b = 590mm	b = 1140mm	b = 1740mm	b = 2220mm	b = 2750mm
Profil pásnice:	19 x 15	19 x 12	19 x 9	19 x 6	19 x 3	-

Krútiaci moment	$M_{kA} = -1963,7\text{Nm}$	$M_{kA} = -1608,5\text{Nm}$	$M_{kA} = -1133,9\text{Nm}$	$M_{kA} = -962,1\text{Nm}$	$M_{kA} = -676,084\text{Nm}$	$M_{kA} = -405,56\text{Nm}$
Posúvajúca sila od aerodynamických síl:	$T_y = 7411,1\text{N}$	$T_y = 6324,6\text{N}$	$T_y = 4568,9\text{N}$	$T_y = 3951,9\text{N}$	$T_y = 3013,652\text{N}$	$T_y = 2014,784\text{N}$
Posúvajúca sila od zotrvačných síl:	$T_z = 243,5\text{N}$	$T_z = 207,8\text{N}$	$T_z = 150,1\text{N}$	$T_z = 129,8\text{N}$	$T_z = 98,96\text{N}$	$T_z = 66,192\text{N}$



a (mm)	27,616	27,696	35,739	35,872	36,007	36,143
$x_{EO}$ (mm)	361,616	361,696	369,739	369,872	370,007	370,143
$x_{AS}$ (mm)	312,5					
$x_T$ (mm)	420					
$M_{kEO}$ (Nm)	-3163,742	-4347,513	-2115,187	-1690,076	-1125,718	-741,670
$q_{h1}$ (N/mm)	111,8	86,0	63,2	53,3	30,4	14,4
$q_{h2}$ (N/mm)	-54,8	-42,2	-31,0	-26,1	-14,9	-7,0
$q_1$ (N/mm)	8,7	9,2	10,9	9,0	6,2	3,6
$q_2$ (N/mm)	-4,3	-4,5	-5,3	-4,4	-3,0	-1,7
$q_{v1}$ (N/mm)	151,6	111,8	63,7	51,3	33,8	14,9
$q_{v2}$ (N/mm)	18,7	14,8	11,8	9,6	6,4	3,1

Stojna:

Kontrola na stratu stability:

Hlavný nosník:

$l_{reb}$ (mm)	345				368	
$he/l_{reb}$	0,422				0,451	
$k_r$	8,968				8,968	
$\tau_{kr}$ (MPa)	101,588	101,588	58,972	58,972	58,972	58,972
$\tau_{he}$ (Mpa)	72,179	53,244	39,827	32,077	21,100	9,323
$\eta_{st}$	1,407	1,908	1,481	1,838	2,795	6,325

Pomocný nosník:

$l_{reb}$ (mm)	345				368	
$he/l_{reb}$	0,175				0,176	
$k_r$	8,347				8,349	
$\tau_{kr}$ (MPa)	124,304	124,304	124,304	124,304	122,928	122,928
$\tau_{he}$ (Mpa)	18,710	14,773	11,828	9,621	6,393	3,065
$\eta_{st}$	6,644	8,415	10,509	12,921	19,230	40,103

Kontrola na únosnosť:

Hlavný nosník

$he/t_{he}$	-	80,333	105,438	105,438	105,438	105,438
$q_{pt}$ (N/m)	-	160,000	130,000			
$q_p$ (N/m)	-	112,579	63,729	51,399	34,446	23,657
$\eta_{stoj}$	-	1,007	1,000	1,001	1,020	1,586

Kontrola pásnic:

Rozdelenie zaťaženia podľa ohybovej tuhosti:

Hlavný nosník:

$M_O$ (Nm)	28683,60	24979,94	20095,66	15643,77	11714,08	7188,98
F (N)	170027,245	148073,119	119120,696	92731,286	69437,337	42614,002
$\sigma_{pas}$ (MPa)	451,253	463,034	453,294	450,613	466,683	464,260
$\eta_{pas}$	1,039	1,013	1,035	1,041	1,005	1,010

Pomocný nosník:

$M_O$ (Nm)	1 240,84	1 083,88	1 139,52	890,58	669,52	672,04
F (N)	17711,110	15470,706	16264,873	12711,690	9502,064	9537,874
$\sigma_{pas}$ (MPa)	231,821	202,496	212,891	166,383	124,373	124,841
$\eta_{pas}$	2,023	2,316	2,203	2,819	3,771	3,757

**Nosník tvorený ohýbaným plechom:**

Hlavný nosník:

Rez:	b = 520mm	b = 840mm	b = 1740mm	b = 2040mm	b = 3050mm
Profil pásnice:	30 x 51 x 5	28 x 48 x 4	25 x 46 x 3	23 x 40 x 2	20 x 30 x 1

Krútiaci moment	$M_{kA} =$ -1963,7Nm	$M_{kA} =$ -1480Nm	$M_{kA} =$ -962,1Nm	$M_{kA} =$ -795,1Nm	$M_{kA} =$ -321,3Nm
Posúvajúca sila od aerodynamických síl:	$T_y =$ 7411,1N	$T_y =$ 5822,7N	$T_y =$ 2018,95N	$T_y =$ 3365,5N	$T_y =$ 1484N
Posúvajúca sila od zotrvačných síl:	$T_z =$ 243,5N	$T_z =$ =191,3N	$T_z =$ =66,35N	$T_z =$ 110,6N	$T_z =$ 48,8N

a (mm)	29,585	32,769	36,707	44,620	56,883
$x_{EO}$ (mm)	363,585	366,769	370,707	378,620	390,883
$x_{AS}$ (mm)	312,5				
$x_T$ (mm)	420				
$M_{kEO}$ (Nm)	-3163,696	-3160,139	-1690,072	-1329,338	-506,3
$q_{h1}$ (N/mm)	116,9	77,7	53,5	41,7	20,0
$q_{h2}$ (N/mm)	-57,3	-38,1	-26,2	-20,4	-9,8
$q_1$ (N/mm)	9,1	10,7	9,1	7,9	6,0
$q_2$ (N/mm)	-4,5	-5,3	-4,4	-3,9	-2,9
$q_{v1}$ (N/mm)	150,8	85,9	50,3	40,0	16,7
$q_{v2}$ (N/mm)	19,9	14,1	9,8	8,9	4,7

Stojna:

Kontrola na stratu stability:

Hlavný nosník:

$l_{reb}$ (mm)	345			368	
$he/l_{reb}$	0,425	0,428	0,434	0,436	0,422
$k_{\tau}$	8,977	8,988	9,004	9,010	8,968
$\tau_{kr}$ (MPa)	90,979	72,505	55,924	36,621	23,055
$\tau_{he}$ (Mpa)	75,405	47,700	31,415	30,794	16,664
$\eta_{st}$	1,207	1,520	1,780	1,189	1,384

Pomocný nosník:

$l_{reb}$ (mm)	345			368	
$he/l_{reb}$	0,175			0,176	
$k_{\tau}$	8,347			8,349	
$\tau_{kr}$ (MPa)	124,304	124,304	124,304	122,928	122,928
$\tau_{he}$ (Mpa)	19,937	14,099	9,759	8,905	4,665
$\eta_{st}$	6,235	8,816	12,737	13,804	26,350

Kontrola na únosnosť:

Hlavný nosník:

$he/t_{he}$	-	-	108,489	134,109	168,624
$q_{pt}$ (N/m)	-	-	90,000		
$q_p$ (N/m)	-	-	50,595	40,442	16,879
$\eta_{stoj}$	-	-	1,007	1,010	1,013

Kontrola pásnic:

Rozdelenie zaťaženia podľa ohybovej tuhosti:

Hlavný nosník:

$M_O$ (Nm)	28595,12	21941,20	15623,05	13015,60	4331,12
F (N)	168348,591	128051,041	90003,701	74655,598	25685,052
$\sigma_{pas}$ (MPa)	462,655	466,931	466,256	441,658	467,724
$\eta_{pas}$	1,014	1,004	1,006	1,062	1,003

Pomocný nosník

$M_O$ (Nm)	1 329,31	1 135,45	911,30	934,62	404,47
F (N)	18973,949	16206,775	13007,387	13264,576	5740,403
$\sigma_{pas}$ (MPa)	248,350	212,131	170,254	173,620	75,136
$\eta_{pas}$	1,888	2,211	2,755	2,701	6,242

**Nosník tvorený integrálne frézovaný profilom**

Hlavný nosník:

Rez:	b = 520mm	b = 590mm	b = 1740mm	b = 3030mm
Profil pásnice:	T55x38x4	T50x26x4	T43,68x 24,1x3	T22,2x36,67x 1

Krútiaci moment:	$M_{kA} =$ -1506,9Nm	$M_{kA} =$ -1610,8Nm	$M_{kA} =$ -962,1Nm	$M_{kA} =$ -321,3Nm
Posúvajúca sila od aerodynamických síl:	$T_y =$ 6386,9	$T_y =$ 4324,6N	$T_y =$ 3951,9N	$T_y =$ 1484,8N
Posúvajúca sila od zotrvačných síl:	$T_z =$ -209,8N	$T_z =$ -207,8N	$T_z =$ -129,8N	$T_z =$ -48,8N

a (mm)	20,018	29,673	29,673	48,147
$x_{EO}$ (mm)	354,018	363,673	363,673	382,147
$x_{AS}$ (mm)	312,5			
$x_T$ (mm)	420			
$M_{kEO}$ (Nm)	-3163,913	-4347,482	-1690,0	-506,3
$q_{h1}$ (N/mm)	80,7	90,3	68,5	22,2
$q_{h2}$ (N/mm)	-39,6	-44,3	-33,6	-10,9
$q_1$ (N/mm)	6,3	9,7	11,6	6,6
$q_2$ (N/mm)	-3,1	-4,8	-5,7	-3,3
$q_{v1}$ (N/mm)	22,2	26,6	24,6	12,6
$q_{v2}$ (N/mm)	-2,1	-3,4	-4,3	-2,7

Stojna:

Kontrola na stratu stability:

Hlavný nosník:

$l_{reb}$ (mm)	345			368
$he/l_{reb}$	0,423	9,018	0,441	0,445
$k_\tau$	8,971	8,732	9,025	9,037
$\tau_{kr}$ (MPa)	206,621	13,277	30,532	30,054
$\tau_{he}$ (Mpa)	74,040	9,233	20,514	10,513
$\eta_{st}$	1,790	1,438	1,488	2,859

Pomocný nosník:

$l_{reb}$ (mm)	345			368
$he/l_{reb}$	0,175			0,175
$k_\tau$	8,347			8,347
$\tau_{kr}$ (MPa)	124,304	124,304	124,304	124,304
$\tau_{he}$ (Mpa)	21,253	-33,534	4,276	2,724
$\eta_{st}$	5,850	-37,074	29,068	45,631

Kontrola na únosnosť:

Hlavný nosník:

$he/t_{he}$	56,336	87,687	146,998	148,255
$q_{pt}$ (N/m)	188,0		74	
$q_p$ (N/m)	22,370	27,201	24,918	13,271
$\eta_{stoj}$	1,002	1,024	1,012	1,052

Kontrola pásnic:

Rozdelenie zaťaženia podľa ohybovej tuhosti:

Hlavný nosník:

$M_O$ (Nm)	29 024,98	24 902,57	15 341,92	4466,91
F (N)	171737,785	141997,179	86973,482	25108,339
$\sigma_{pas}$ (MPa)	461,661	467,096	427,724	426,505
$\eta_{pas}$	1,016	1,004	1,097	1,100

Pomocný nosník:

$M_O$ (Nm)	899,46	1 161,24	1 192,43	1 195,32
F (N)	12838,399	16574,998	17020,154	16964,493
$\sigma_{pas}$ (MPa)	338,521	437,047	448,785	447,317
$\eta_{pas}$	1,385	1,073	1,045	1,048

### Pevnostná kontrola rebra

Parametre rebra:

Hrúbka rebra:	$t_{rebl} = 1,0\text{mm}$	$t_{rebl} = 1,2\text{mm}$
---------------	---------------------------	---------------------------

Stojna:

Kontrola na stratu stability:

Predné rebro:

n	2	
$he_{reb}/c_{ceb}$	1,119	
$k_\tau$	11,80	
$\tau_{kr}$ (MPa)	30,864	44,443
$q_v$ (N/mm)	19,175	19,175
$\tau_{reb}$ (MPa)	19,175	15,979
$\eta_{st}$	1,610	2,781

Zadné rebro:

n	4	3
$he_{reb}/c_{ceb}$	1,123	0,842
$k_\tau$	11,82	10,49
$\tau_{kr}$ (MPa)	30,299	38,702
$q_v$ (N/mm)	18,985	18,985
$\tau_{reb}$ (MPa)	18,985	15,821
$\eta_{st}$	1,596	2,446

Kontrola na únosnosť:

Predné rebro:

$h_{e_{reb}}/t_{reb}$	167,203	139,336
$q_{pt}$ (N/mm)	50	72
$q_p$ (N/mm)	19,199	19,465
$\eta_{stoj}$	1,001	1,015

Zadné rebro:

$h_{e_{reb}}/t_{reb}$	168,880	140,733
$q_{pt}$ (N/mm)	50	72
$q_p$ (N/mm)	19,209	19,134
$\eta_{stoj}$	1,012	1,008

Kontrola pásnic:

Predné rebro:

$M_{O_{reb}}$ (Nm)	958,009	
F (N)	6025,841	6033,431
$\sigma_{pas}$ (MPa)	369,538	408,901
$\eta_{pas}$	1,245	1,125

Zadné rebro:

$M_{O_{reb}}$ (Nm)	1929,432	
F (N)	12122,620	12130,242
$\sigma_{pas}$ (MPa)	427,512	420,708
$\eta_{pas}$	1,076	1,093

Nitové spoje rebra a stojiny:

$d_{nit}$ (mm)	Predné rebro:	Zadné rebro:
n	3	3
$F_n$ (N)	5	
$F_{tab}$ (N)	572,960	816,064
$\eta_n$	2,306	1,594

### Časť krídla určená na nastupovanie

Prevedenie nosníkovou konštrukciou:

Ohyb nosníkov:

$M_{Onas}$ (Nm)	294,3
$W_O$ (mm <sup>3</sup> )	638,395

Vyhovuje:

	$W_O$ (mm <sup>3</sup> )	$\eta_{nas}$
2x L 19 x 32 x 1,5	373,545	1,170
2x U 20 x 28 x 1	347,150	1,034
1x U 38 x 30 x1	658,711	1,032

Únosnosť nitov:

$F_{clov}$ (N)	1177,2
$F_{tab}$ (N)	1402
n	2
$\eta_{nit}$	2,382

Prevedenie zhustením rebier:

Stojna:

Kontrola na stratu stability:

n	3
$he_{reb}/c_{ceb}$	0,842
$k_\tau$	10,49
$\tau_{kr}$ (MPa)	26,877
$q_v$ (N/mm)	3,485
$\tau_{reb}$ (MPa)	3,485
$\eta_{st}$	7,711

Kontrola na únosnosť:

$he_{reb}/t_{reb}$	168,880
$q_{pt}$ (N/mm)	50
$q_p$ (N/mm)	3,813
$\eta_{stoj}$	1,094

Kontrola pásnic:

$M_{O_{reb}}$ (Nm)	708,423
F (N)	4459,425
$\sigma_{pas}$ (MPa)	430,605
$\eta_{pas}$	1,068

Kontrola nitov:

Nitové spoje rebra a stojiny:

	Zadný nosník:
$d_{nit}$ (mm)	2,6
n	5
$F_n$ (N)	1048,709
$F_{tab}$ (N)	1402
$\eta_n$	1,337

## Vztlaková mechanizácia

Priehyb potáhu:

$t_{\text{krid}} \text{ (mm)}$	0,6	0,8
$a \text{ (mm)}$	250	
$b_{\text{kla}} \text{ (mm)}$	200	
$a/b_{\text{klap}}$	0,888	
$q_1$	0,36	
$\zeta_1$	5	
$q_2$	0,75	0,58
$\zeta_2$	0,7	0,43
$\sigma_{\text{krid}} \text{ (MPa)}$	20,444	28,107
$f \text{ (mm)}$	2,457	3,577

Krútiaci moment:

Profil nosníka:	20 x 35 x 2
$W_{\text{O nos}} \text{ (mm}^3\text{)}$	770,667
$c_{\text{klap nos}} \text{ (mm)}$	120
$F_{\text{klap nos}} \text{ (N)}$	292,591
$M_{\text{O klap nos}} \text{ (Nm)}$	658,331
$\sigma_{\text{klap nos}} \text{ (MPa)}$	434,255
$\eta_{\text{klap nos}}$	1,059

Rebro:

Profil rebra:	12 x 12 x 0,8
$W_{\text{O reb klap}} \text{ (mm}^3\text{)}$	38,4
$F_{\text{reb klap}} \text{ (N)}$	50,885
$M_{\text{O reb klap}} \text{ (Nm)}$	17,555
$\sigma_{\text{reb klap}} \text{ (MPa)}$	462,843
$\eta_{\text{reb klap}}$	1,006

## Krídélka

Priehyb potáhu:

$t_{\text{krid}} \text{ (mm)}$	0,6	0,8
$a \text{ (mm)}$	247,5	
$b_{\text{krid}} \text{ (mm)}$	200	
$a/b_{\text{krid}}$	0,808	
$q_1$	0,43	
$\zeta_1$	6	
$q_2$	0,53	0,75
$\zeta_2$	0,8	0,5
$\sigma_{\text{krid}} \text{ (MPa)}$	31,946	19,820
$f \text{ (mm)}$	3,288	2,219



Tiahla ovládania krídeliek:

	Dlhé:	Krátke:
Profil:	28x1	14x1
$J_{\text{ťah}} \text{ (mm}^4\text{)}$	7740,092	876,860
$\eta_{\text{ťah}}$	1,033	1,142

Nitové spoje koncovky a tiahla:

	Dlhé:	Krátke:
n	4	4
$F_{\text{tab}} \text{ (N)}$	680	680
$F_{\text{nit tab}} \text{ (N)}$	2720	2720
$\eta_{\text{nit tab}}$	2,760	2,760

Prepákovanie mechanizmu ovládania krídeliek:

Otlačenie oka:

$t_{\text{ovlad}} \text{ (mm)}$	1
$d_{\text{ovlad}} \text{ (mm)}$	6
n	2
$S_{\text{ovlad}} \text{ (mm}^2\text{)}$	12
$\sigma_{\text{ovlad}} \text{ (MPa)}$	82,125
$\eta_{\text{ovlad}}$	2,679

Roztrhnutie oka:

$S_{\text{ovlad}} \text{ (mm}^2\text{)}$	46
$\sigma_{\text{ovlad}} \text{ (MPa)}$	21,432
$\eta_{\text{ovlad}}$	4,434

Otlačenie uchytenia prepákovania:

$F_{\text{ovlad otoč}} \text{ (N)}$	1241,175
$t_{\text{ovlad}} \text{ (mm)}$	1
$d_{\text{ovlad}} \text{ (mm)}$	8
n	3
$S_{\text{ovlad}} \text{ (mm}^2\text{)}$	24
$\sigma_{\text{ovlad}} \text{ (MPa)}$	51,715
$\eta_{\text{ovlad}}$	4,254

Roztrhnutie uchytenia prepákovania:

$S_{\text{ovlad}} \text{ (mm}^2\text{)}$	63
$\sigma_{\text{ovlad}} \text{ (MPa)}$	19,702
$\eta_{\text{ovlad}}$	4,822

Skrut prepákovania:

Profil osi:	8x1
$W_K$ (mm <sup>3</sup> )	20,762
$l_{ovlad}$ (mm)	65
$M_{K\ otoč}$ (Nm)	64,058
$\sigma_{otoč\ skr}$ (MPa)	3,085
$\eta_{otoč\ skr}$	30,790

Nitový spoj uchytenia mechanizmu prepákovania krídeliek:

n	4
$F_{tab}$ (N)	1853
$F_{uchyt\ ovl}$ (N)	7412
$\eta_{uchyt\ ovl}$	5,977

Nitový spoj uchytenia tiahla na krídelku:

n	4
$F_{tab}$ (N)	680
$F_{uchyt\ krid}$ (N)	2720
$\eta_{uchyt\ krid}$	2,760

## Závesy

Otlačenie oka:

	Záves č.1:	Záves č.2:	Záves č.3:
$h_{zav}$ (mm)	10,5		4,0
$S_{zav}$ (mm <sup>2</sup> )	168		36
$\sigma_{zav}$ (MPa)	1188,610	1269,526	447,741
$\eta_{zav\ otl}$	1,068	1,000	1,027

Roztrhnutie oka:

	Záves č.1:	Záves č.2:	Záves č.3:
$t_{zav}$ (mm)	16,5		9,0
$S_{zav}$ (mm <sup>2</sup> )	173,250		36,0
$\sigma_{čap}$ (MPa)	1153,426	1231,837	447,741
$\eta_{zav\ roz}$	1,101	1,031	1,027

Strih spojenia:

	Záves č.1:	Záves č.2:
$S_{skrut}$ (mm <sup>2</sup> )	32,83681	32,83681
n	6	6
$\tau_{spoj}$ (MPa)	507,132	541,607
$\eta_{zav\ str}$	1,262	1,182

	Záves č.3:
$d_{nit}$ (mm)	3,0
$F_{tab}$ (N)	1402
$n$	40
$F_{cel}$ (N)	56080
$\eta_{zav str}$	3,093

Otlačenie závesu:

	Záves č.1:	Záves č.2:	Záves č.3:
$t_{zav}$ (mm)	34		12
$S_{zav}$ (mm <sup>2</sup> )	170		40
$\sigma_{zav}$ (MPa)	1175,477	1255,387	453,338
$\eta_{zav otl}$	1,080	1,012	1,015

Otlačenie nosníka:

	Záves č.1:	Záves č.2:	Záves č.3:
$S_{nos}$ (mm <sup>2</sup> )	48		40
$\sigma_{nos}$ (MPa)	446,051	461,739	453,338
$\eta_{nos otl}$	1,051	1,015	1,014

### Svetlo

Vzdialenosť medzi rebrami:	$l_{reb} = 369\text{mm}$
Výška panelu:	$h_{pan} = 100\text{mm}$
Zahnutie panelu:	$p_{pan} = 10\text{mm}$
Hmotnosť svetla:	$m_{svet} = 180\text{g}$
Vzdialenosť medzi nitmi:	$l_{nit} = 75\text{mm}$
Maximálny násobok	$n_{max} = 5,28$
Hmotnosť panelu:	$m_{pan} = 106,7\text{g}$
Celková hmotnosť svetiel zostavy svetla:	$m_{cel} = 466,7\text{g}$

$F_{svet}$ (N)	36,259
$M_{Osvet}$ (Nm)	6,526
$F_{nit svet}$ (N)	87,022

### Potáh

Kontrola polomeru nábežnej hrany na stratu stability:

$\frac{l_{reb}}{\sqrt{R_{NH} \cdot t_1}} \cdot \frac{t_1}{R_{NH}}$	1,590	1,590	1,590	1,377
--	-------	-------	-------	-------

$k_{\tau_{NH}}$ (Mpa)	0,750			
$\tau_{kr_{NH}}$ (Mpa)	124,569			
$\tau_{NH}$ (Mpa)	18,947	13,977	6,416	2,486
$\eta_{NH}$	8,157	11,058	24,091	50,108

Kontrola počahu na stratu stability:

Předná dutina:

Vrchný počah:

$s_{pot}$ (mm)	338,097			
$l_{reb}/s_{pot}$	0,845			
$k_{\tau_{pot}}$	10,5			
$\tau_{kr_{pot}}$ (MPa)	3,070			1,727
$\tau_{kr}$ (MPa)	13,390			9,467
$\tau_{pot}$ (MPa)	10,893	11,541	11,295	5,927
$\eta_{pot}$	1,229	1,160	1,185	1,597

Spodný počah:

$s_{pot}$ (mm)	303,131			
$l_{reb}/s_{pot}$	0,758			
$k_{\tau_{pot}}$	10,136			
$\tau_{kr_{pot}}$ (MPa)	2,964			1,667
$\tau_{kr}$ (MPa)	8,980			6,179
$\tau_{pot}$ (MPa)	10,893	11,541	11,295	5,927
$\eta_{pot}$	0,824	0,778	0,795	1,043

Zadná dutina:

Vrchný počah:

$s_{pot}$ (mm)	621,845			
$l_{reb}/s_{pot}$	0,643			
$k_{\tau_{pot}}$	9,697			
$\tau_{kr_{pot}}$ (MPa)	2,835			1,595
$\tau_{kr}$ (MPa)	5,252			3,408
$\tau_{pot}$ (MPa)	5,342	5,660	5,539	2,907
$\eta_{pot}$	0,983	0,928	0,948	1,172

Spodný počah:

$s_{pot}$ (mm)	616,972			
$l_{reb}/s_{pot}$	0,648			
$k_{\tau_{pot}}$	9,715			

$\tau_{kripot}$ (MPa)	2,841			1,598
$\tau_{kr}$ (MPa)	3,922			2,659
$\tau_{pot}$ (MPa)	5,342	5,660	5,539	2,907
$\eta_{pot}$	0,734	0,692	0,708	0,915

Nitový spoj pásnice a potáhu:

Hlavný nosník:

$d_{nit}$ (mm)	2,6			
$l_{roz}$ (mm)	20	22	29	41
$n$	1	1	1	1
$F_n$ (N)	1801,644	1764,921	1097,845	394,297
$F_{tab}$ (N)	1853,000	1853,000	1402,000	1265,000
$\eta_n$	1,029	1,050	1,277	3,208

Pomocný nosník:

$d_{nit}$ (mm)	2,6			
$l_{roz}$ (mm)	35	35	42	38
$n$	1	1	1	1
$F_n$ (N)	866,172	512,220	326,934	1241,993
$F_{tab}$ (N)	1265,000	1265,000	1265,000	1265,000
$\eta_n$	1,460	2,470	3,869	1,019

Kontrola na stabilitu potáhu medzi nitmi:

Hlavný nosník:

$\sigma_{pot}$ (MPa)	111,781	86,006	53,312	14,369
$l_{pot}$ (mm)	10,400	17,400	26,400	38,400
$\sigma_{kr}$ (MPa)	349,849	159,553	54,293	14,435
$\eta_{nit}$	3,130	1,855	1,018	1,005

Pomocný nosník:

$\sigma_{pot}$ (MPa)	21,085	16,223	10,056	2,710
$l_{pot}$ (mm)	32,400	34,400	39,400	41,400
$\sigma_{kr}$ (MPa)	22,077	16,842	10,372	2,786
$\eta_{nit}$	1,047	1,038	1,031	1,028

**Príloha č.3**

