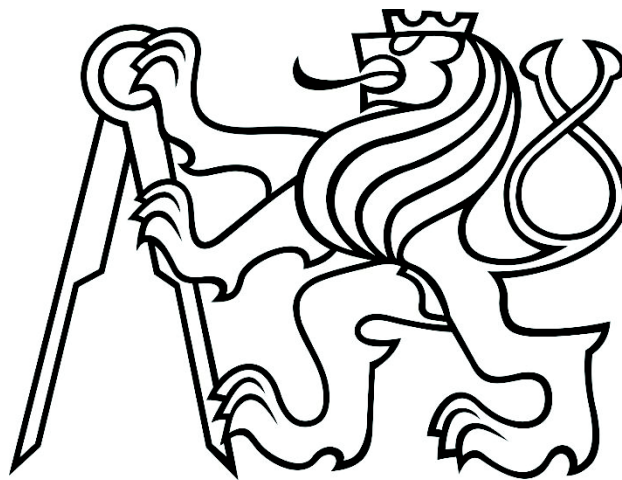


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta stavební**

**Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Návrh deflektoru výtokových plynů**

**Design of exhaust gas deflector**

Vedoucí práce: prof. Ing. František Wald, CSc.

Katedra: Ocelových a dřevěných konstrukcí

Leden 2019

Bc. Leoš Hanousek



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Hanousek</u>	Jméno: <u>Leoš</u>	Osobní číslo: <u>423165</u>
Zadávací katedra: <u>Ocelových a dřevěných konstrukcí</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce a dopravní stavby</u>		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Návrh deflektoru výtokových plynů</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Design of exhaust gas deflector</u>	
Pokyny pro vypracování: Shrnutí poznatků, literární rešerše, normy, software Vypracování návrhu ocelové části Statický výpočet, zatížení, globální analýza, pruty, styčníky Výkresová dokumentace, přehledná, výrobní, detaily Zkouška in-situ, podklady, v případě provedení vyhodnocení, validace modelu Shrnutí	
Seznam doporučené literatury: US5429324A - Split exhaust jet blast deflector fence ... US4970859A - Exhaust gas deflector for truck exhaust ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, účinnost od 1. 1. 2007 ČSN EN 1993-1-2 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru, účinnost od 1. 1. 2007 ČSN EN 1993-1-5 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.5: Boulení stěn, účinnost od 1. 3. 2008 ČSN EN 1993-1-8 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.8: Navrhování styčníků, účinnost od 1. 1. 2007	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>prof. Ing. František Wald, CSc.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>1.10.2018</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>6.1.2019</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-----------------------	---------------------

**Čestné prohlášení:**

*Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího diplomové práce prof. Ing. Františka Walda, CSc. Dále prohlašuji, že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.*

.....

V Praze dne 6.ledna 2019

## **Poděkování:**

Rád bych poděkoval prof. Ing. Františku Waldovi, CSc. za odborné vedení, trpělivost a optimismus, se kterým mi velmi pomohl vypracovat tuto diplomovou práci. Dále děkuji odborným konzultantům Ing. Lukáši Morávkovi a doc. Ing. Stanislavu Pospíšilovi, Ph.D. Za pomoc s realizací pilotní konstrukce děkuji kolegům Ing. Lukáši Radilovi, Tomáši Jirákovvi, Jiřímu Boháčovi, Martinu Kománkovi, Petru Kománkovi, Radku Petrkovvi a Davidu Dulínkovi.

Zvláště děkuji mé rodině a přítelkyni Elišce za to, že za mnou stáli a podporovali mě během celého studia.

## **Anotace**

Tématem práce je návrh konstrukce deflektoru výtokových plynů. Jedná se o konstrukci, která cloní a odklání rychle se pohybující výtokové plyny, jejichž proudění je vytvářeno chodem motorů letadla. Název lze přeložit jako odražeč/ohýbač výtokových plynů/větru. V české technické praxi se užívá deflektor výtokových plynů. Hlavním účelem deflektoru je chránit letištní prostor, kde se pohybují osoby, automobily a jiné objekty, které jsou přímo ohroženy rychle proudícím vzduchem. V práci jsou popsány různé konstrukční řešení stávajících odražečů a shrnuty poznatky této problematiky, jako zatížení větrem, návrh spojů atd. Samotný návrh konstrukce vychází z požadavků, které byly stanoveny konzultantem Ing. Lukášem Morávkem z Letiště Praha. V příloze práce je in-situ zkouška navržené konstrukce, kterou se podařilo uskutečnit 17.12.2018 na Letišti Praha.

## **Klíčová slova**

Ocelové konstrukce, Deflektor, Zatížení větrem, Návrh prutů, Návrh styčnicků, Odražeč, Výtokové plyny

## **Notation**

The thesis is focussed to the design of the vent gas deflector. It is a structure that shields and deflects rapidly moving outflow gases, which flow is generated by the operation of aircraft engines. In Czech technical practice, a deflector is used. The main purpose of deflector is protection the area where people, cars and other objects are directly exposed, which are directly threatened by rapidly flowing air. The thesis describes various design solutions of existing reflectors and summarizes the knowledge of this issue, such as wind load, design of connections, etc. The design itself is based on the requirements set by the consultant Ing. Lukáš Morávek from Prague Airport. The In Annex of the thesis is an in-situ experiment of designed structure, which was accomplished at Prague Airport on 17.12.2018.

## **Keywords**

Steel structures, Deflector, Wind load, Member design, Connection design, Reflector, Exhaust gases

# Obsah:

<b>1 Úvod .....</b>	<b>- 1 -</b>
1.1 Motivace .....	- 1 -
1.2 Rozsah práce .....	- 1 -
<b>2 Konstrukční řešení .....</b>	<b>- 2 -</b>
2.1 Historie.....	- 2 -
2.2 Historická řešení .....	- 4 -
2.2.1 Shrnutí.....	- 10 -
2.3 Současná řešení .....	- 11 -
2.3.1 Kotvené konstrukce .....	- 12 -
2.3.2 Mobilní konstrukce .....	- 21 -
2.3.3 Hydraulicky ovládané konstrukce .....	- 26 -
2.3.4 Speciální konstrukce .....	- 27 -
<b>3 Podklady pro návrh .....</b>	<b>- 28 -</b>
3.1 Zatížení větrem .....	- 28 -
3.2 Zatížení při manipulaci .....	- 29 -
<b>4 Cíle práce .....</b>	<b>- 30 -</b>
<b>5 Návrh .....</b>	<b>- 31 -</b>
5.1 Tížný blok .....	- 31 -
5.2 Ocelová konstrukce.....	- 33 -
5.3 Zatížení větrem .....	- 34 -
5.3.1 Rychlost a tlak větru .....	- 34 -
5.3.2 Tlak větru na povrch .....	- 37 -
5.3.3 Síly od větru na konstrukci.....	- 39 -
5.1 Zatížení při manipulaci .....	- 42 -
5.2 Posouzení.....	- 44 -
5.2.1 Překlopení (MSÚ) .....	- 44 -
5.2.2 Posunutí (MSP) .....	- 45 -

5.2.3	Kotvení .....	- 46 -
5.2.4	Vyztužení.....	- 50 -
5.2.5	Pruty.....	- 52 -
5.2.6	Styčníky .....	- 55 -
<b>6</b>	<b>Shrnutí .....</b>	<b>- 56 -</b>
	<b>Literatura.....</b>	<b>- 57 -</b>
	<b>Příloha A – Výroba deflektoru .....</b>	<b>- 59 -</b>
	<b>Příloha B – Experimentální ověření.....</b>	<b>- 67 -</b>
	<b>Příloha C – Druhá verze deflektoru .....</b>	<b>- 73 -</b>

# 1 Úvod

## 1.1 Motivace

V areálech letišť se nachází plochy nebo prostory (staveniště, pozemní komunikace, budovy a další objekty), které jsou přímo vystaveny působení vysokou rychlostí proudícím vzduchem. Jedná se o výtokové plyny, které vytváří motory startujících letadel. Tyto plyny mohou způsobit zranění osob nebo velké poškození objektů. Je známo, že působením výtokových plynů letadel došlo např. k vykořenění stromů, rozbití oken, převrácení osobních nebo nákladních automobilů, deformacím konstrukcí a zraněním lidí. Existují také zmínky o poškození lehkých letadel, které byly “odfouknuty” výtokovými plyny. Za největšími tryskami poháněnými letadly ve vzdálenosti větší než 60 m byly naměřeny hodnoty proudů vzduchu hurikánu pohybující se rychlostí 190 km/h. Boeing 777 má 2 motory General Electric GE90, které dohromady vytvářejí tah přibližně o síle 900 000 N. Jedná se o účinek, který je dostatečně velký, aby dokázal zabít člověka.

## 1.2 Rozsah práce

V práci jsou shrnuty a popsány konstrukční řešení konstrukcí deflektorů. Jedná se o historické návrhy, kterými jsou americké patentované konstrukce a také o současná řešení výrobců moderních deflektorů. Pro návrh nového mobilního deflektoru jsou stanovena zatížení větrem a manipulací. Samotný návrh zahrnuje popis konstrukce, výpočet zatížení a posouzení. V přílohách je zdokumentována realizace navržené konstrukce a její experimentální ověření při zkoušce in-situ.



## 2 Konstrukční řešení

### 2.1 Historie

První deflektory se na letištích objevily v padesátých letech minulého století. Letiště v šedesátých letech používala tryskové deflektory s výškou 1,8 až 2,4 m. Postupem času, v devadesátých letech, již letiště potřebovala deflektory, které byly dvakrát vyšší, některé z nich dosahovaly výšky až 11 m. Takto vysoké odražeče se používaly pro proudová letadla, např. McDonnell Douglas DC-10 a MD-11, které mají motory v ocasu nad trupem.



Obrázek 1-Letadlo McDonnell DC-10 [17]

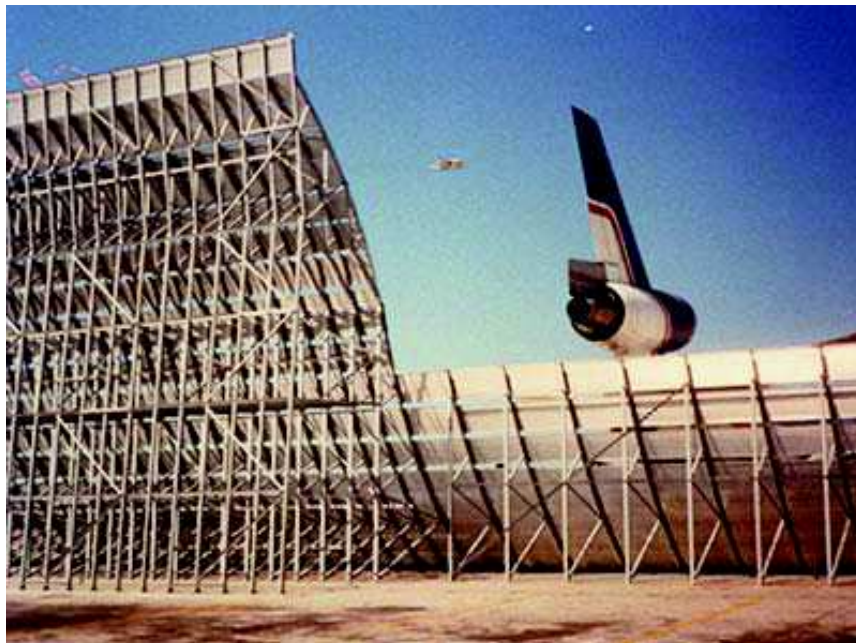
Letiště umísťují deflektory na začátek přistávacích drah, zejména pokud jsou dráhy u přilehlých silnic nebo staveb. Letiště v hustých městských oblastech mají deflektory mezi pojezdovými dráhami a hranicemi letišť. Výtokové plyny se obvykle směřují směrem nahoru. Za odražeči může vzniknout nízkotlaká zóna, která způsobuje, že okolní vzduch a nečistoty jsou taženy vzhůru proudem výfukových horkých plynů, které cirkulují za odražečem. Deflektory se proto navrhují z více panelů, s různými úhly náklonu konstrukce a s různými povrchy stěn. [1]



Obrázek 2-Umístění deflektorů podél obslužné komunikace u stání letadel na letišti v Bruselu [Vlastní zdroj]



Obrázek 3-Umístění deflektorů podél obslužné komunikace u stání letadel na letišti v Bruselu [Vlastní zdroj]



Obrázek 4-Konstrukce vysokého deflektoru, kotvená do letištní plochy [7]

## 2.2 Historická řešení

V této kapitole jsou shrnuty americká patentovaná řešení předchůdců moderních konstrukcí deflektorů výtokových plynů. Popisy konstrukcí jsou brány z patentových dokumentů, ve kterých jsou popsány i odůvodnění pro navržení konstrukcí. Popis samotných konstrukcí je vyjádřen formou výkresů a skic.

### Americký patent (US2726830A) - Blast fence for jet engines

Zadavatel: Armco Steel Corporation, (Middletown, Ohio)

Autor: Edward L. Brown, John M. Robertson a George E. Shafer

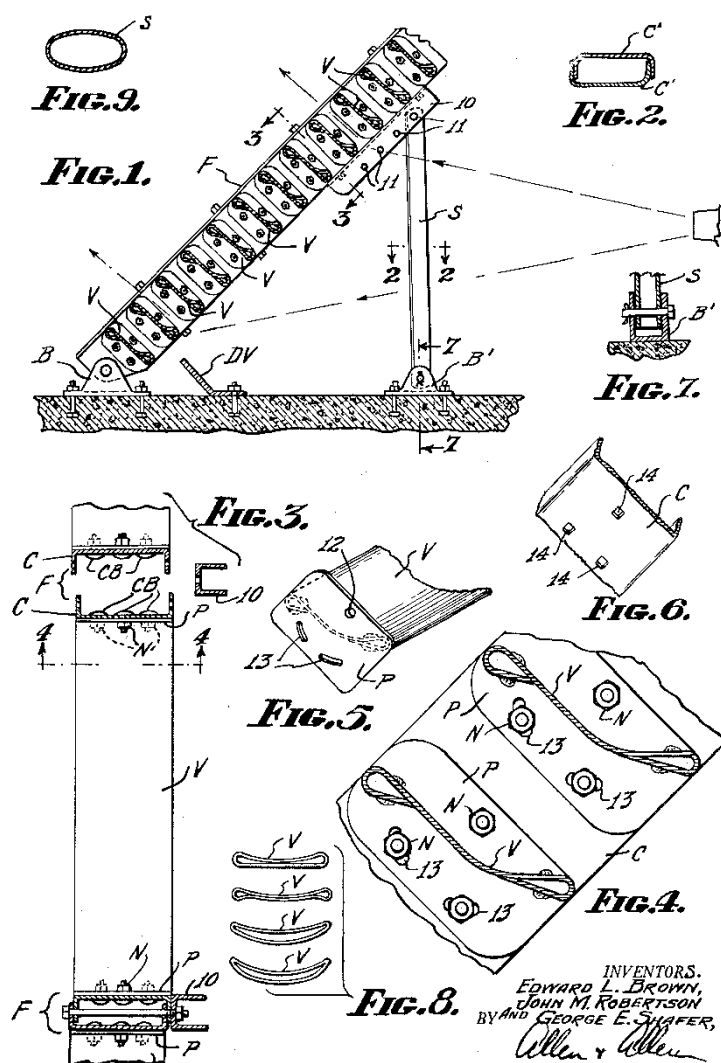
Dec. 13, 1955

E. L. BROWN ET AL

2,726,830

BLAST FENCE FOR JET ENGINES

Filed June 11, 1953



Obrázek 5-Konstrukce patentovaného vynálezu deflektoru z roku 1955 [2]

Vynález se týká vylepšeného plotu pro tryskové motory. Rychlý vývoj proudových motorů pro použití v letadlech a jiných vozidlech způsobil řadu problémů, z nichž závažnější je kontakt s veřejností. Motory vytváří hluk a vývody z nejstarších tryskových motorů vytváří velké množství prachu, tepla a kouře. Byly podniknuty kroky k překonání těchto problémů v závodech tryskových motorů, kde byly pro tento účel vybudovány speciální zkušební buňky.

Byly navrženy ploty, které tvoří rošt. Lamely jsou zakřivené kovové lopatky skloněné v opačném směru ke sklonu rámové konstrukce, aby směřovalo proudění z motoru směrem vzhůru. Cílem vynálezu je vysokotlaký plot, který je opatřen optimální lopatkovou konstrukcí. Lopatky jsou aerodynamicky účinnější než stěna a jsou cenově srovnatelné.

Předmětem vynálezu je i rám pro opěru konstrukce plotu, který zvyšuje účinnost. Úhel plotu vůči zemi může být měněn. Plot může být upraven tak, aby zachytil plyny proudových motorů v proměnné výšce od země.

Ochranný plot lze použít k ochraně budov, osob nebo zařízení před povětrnostními účinky všech druhů, včetně rázových vln a radioaktivních paprsků atomových výbuchů.

[2]

## Americký patent (US2826382A) – Jet engine exhaust deflector

Zadavatel: Boeing Corporation

Autor: Harold J. Hayden

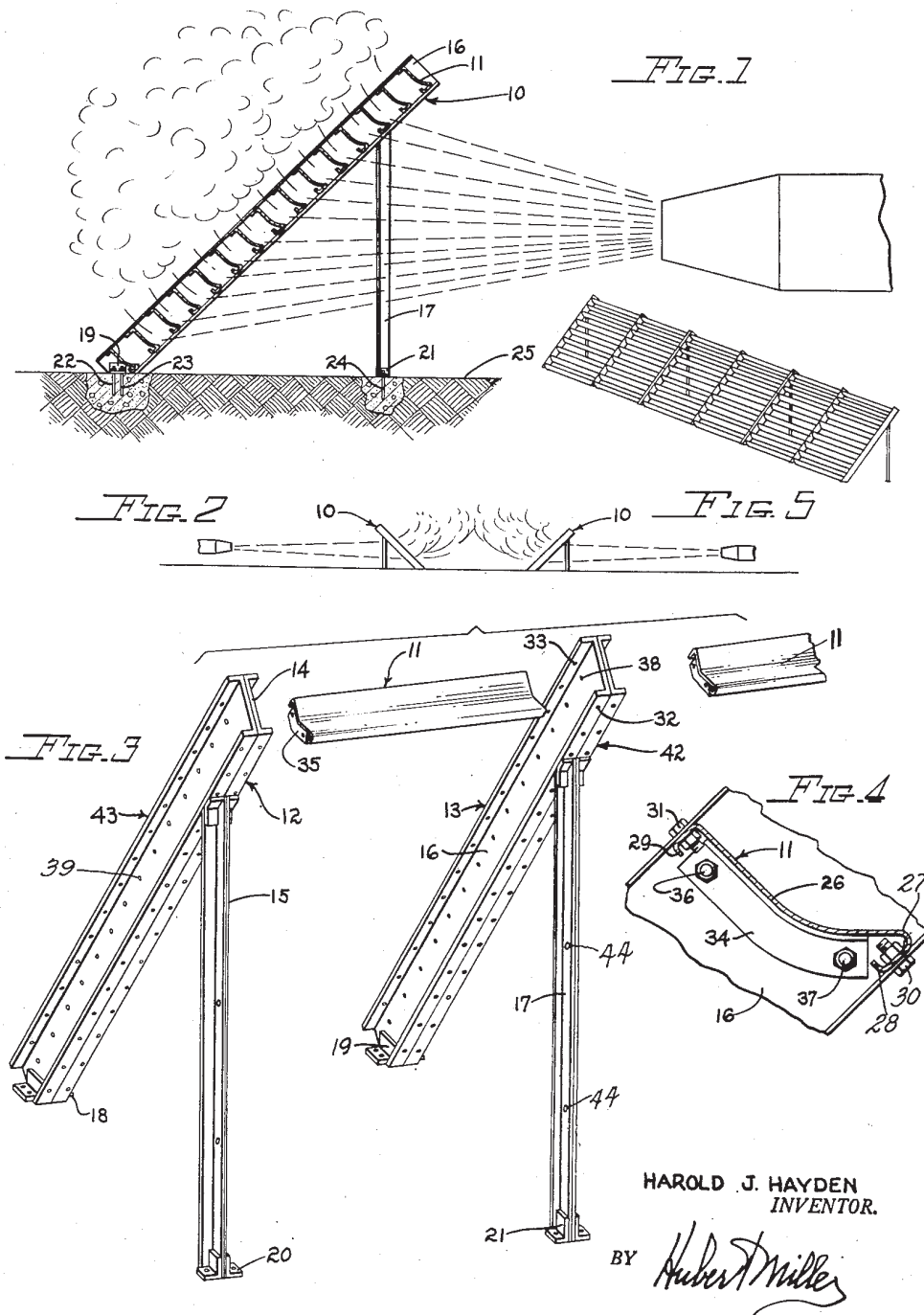
March 11, 1958

H. J. HAYDEN

2,826,382

JET ENGINE EXHAUST DEFLECTOR

Filed March 6, 1953



Obrázek 6-Konstrukce patentovaného vynálezu deflektoru z roku 1958 [3]

Vynález obsahuje zařízení pro odvádění proudu plynů z trysek turbínových a turbovrtulových motorů letadel.

Při zkoušení motorů jsou jejich výfukové plyny nebezpečné pro osoby pracující v okolí, a to nejen kvůli extrémně vysoké teplotě, ale také kvůli intenzitě zvukových jevů. Výrobci letadel navrhli a testovali pro tento účel různé deflektory a deflektorové ploty. Deflektor je navržen tak, že jehož části mohou být prefabrikovány a dopravovány do požadovaného místa montáže. Sestává z relativně malých kompletních prvků pro snadné přemístění do místa instalace, kde mohou být snadno spojeny. [3]

### Americký patent (US4471924A) – Blast deflecting fence

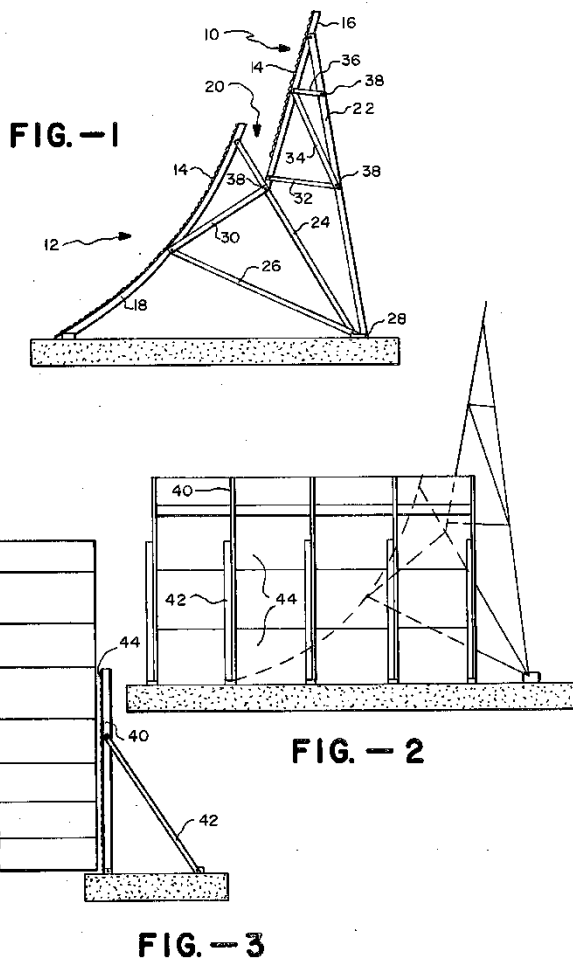
Zadavatel: LFP-I Nevada LLC

Autor: B. Stanley Lynn

U.S. Patent

Sep. 18, 1984

4,471,924



Obrázek 7- Konstrukce patentovaného vynálezu deflektoru z roku 1984 [4]

Pevný deflektorový plot podle vynálezu sestává z překrývající se stíněné štěrbiny mezi horním vychylovacím povrchem a zakřiveným spodním vychylovacím povrchem plotu a koncových uzávěrů kolmo k uvedeným povrchům. Horní vychylovací plocha je plochá a je svislá nebo skloněná 30°. Dolní vychylovací plocha je konkávní, čímž směřuje proud vzduchu směrem nahoru. Mezi horním povrchem a zakřiveným spodním povrchem je vytvořena stíněná štěrbina tím, že se horní vychylovací plocha rozkládá pod horní část spodní vychylovací plochy a zajišťuje vodorovné posunutí mezi oběma. Spodní plocha je blíže k původu výbuchu, než je horní povrch. Opěrné a kotevní prostředky jsou uspořádány tak, aby mohly být pevně instalovány. [4]

### Americký patent (US5429324A) - Split exhaust jet blast deflector fence

Zadavatel: LFP-I Nevada LLC

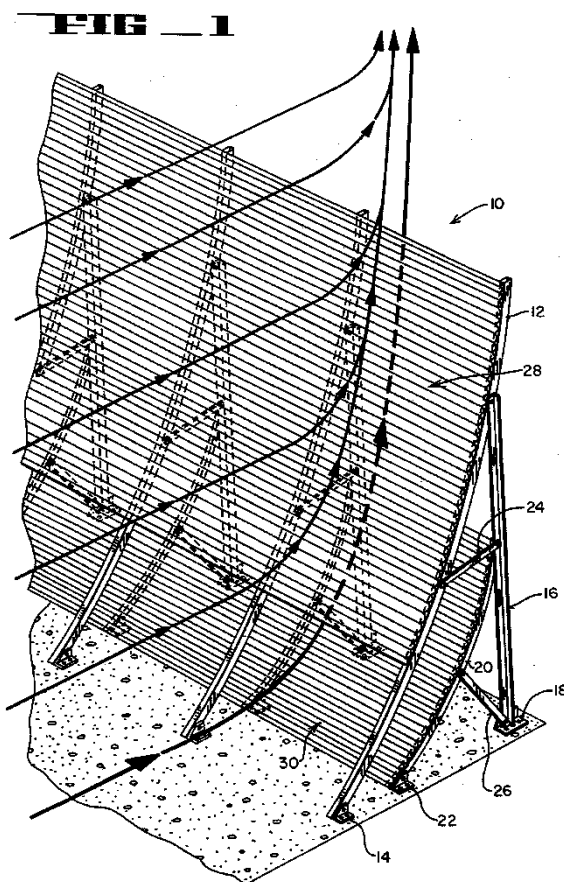
Autor: B. Stanley Lynn

U.S. Patent

July 4, 1995

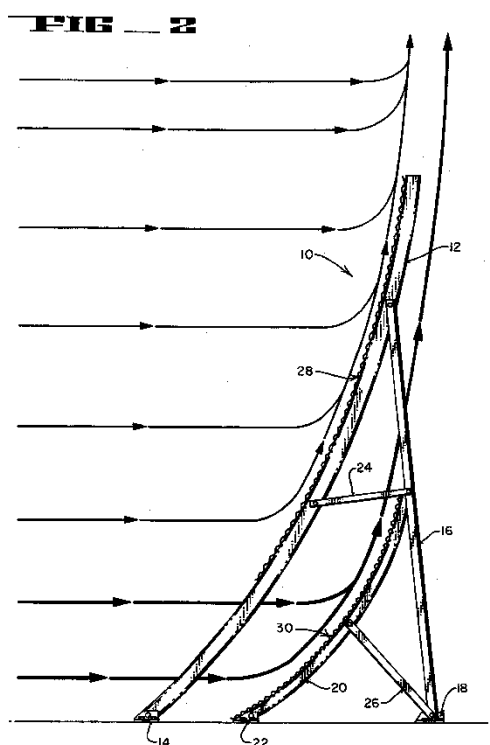
Sheet 1 of 4

5,429,324

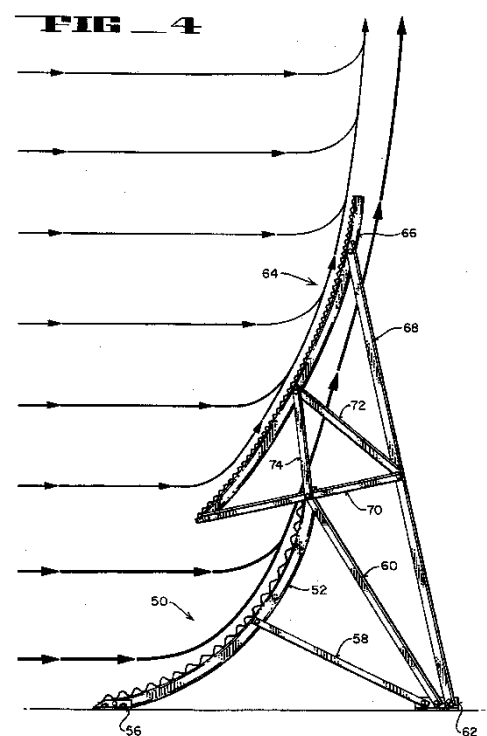


Obrázek 8-Konstrukce patentovaného vynálezu deflektoru z roku 1995 [5]

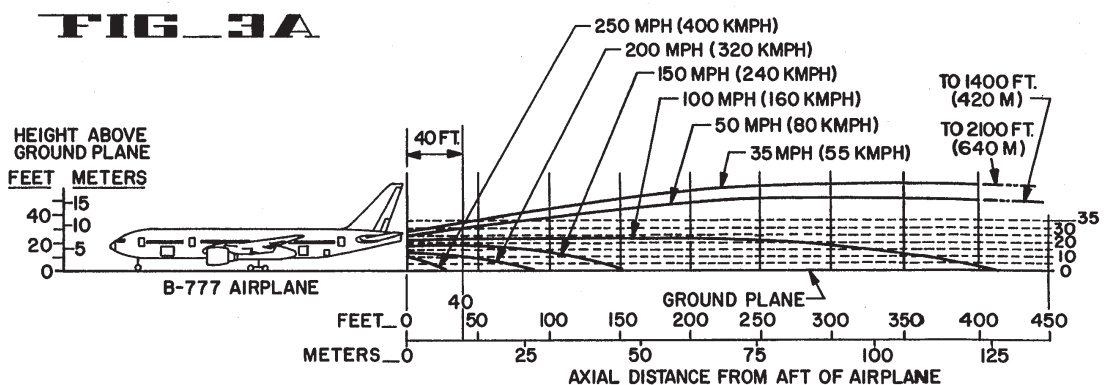
Konstrukce deflektoru obsahuje dvě zakřivené vlnité vychylovací plochy oddělené od sebe ve společném konstrukčním rámu, který je připevněn k betonovému podkladu. Vyšší čelní vychylovací plocha je otevřena v dolní části, aby rozdělila základní vrstvy výfukových plynů a umožnila jejich proudění otvorem tak, aby narazily na kratší zadní vychylovací plochu, která vychyluje proudící vzduch svisle směrem vzhůru. Obě dělící vrstvy spojují proudící vzduch svislým směrem na výstupním okraji vyššího povrchu za účelem vytvoření svislé vzduchové clony, což aerodynamicky zvyšuje účinnou výšku deflektoru. [5]



Obrázek 9-Řez 1. typu konstrukce [5]



Obrázek 10-Řez 2. typu konstrukce [5]



Obrázek 11-Znázornění oblastí podle rychlosti proudění výfukových plynů za motory letadla Boeing 777 [5]



### 2.2.1 Shrnutí

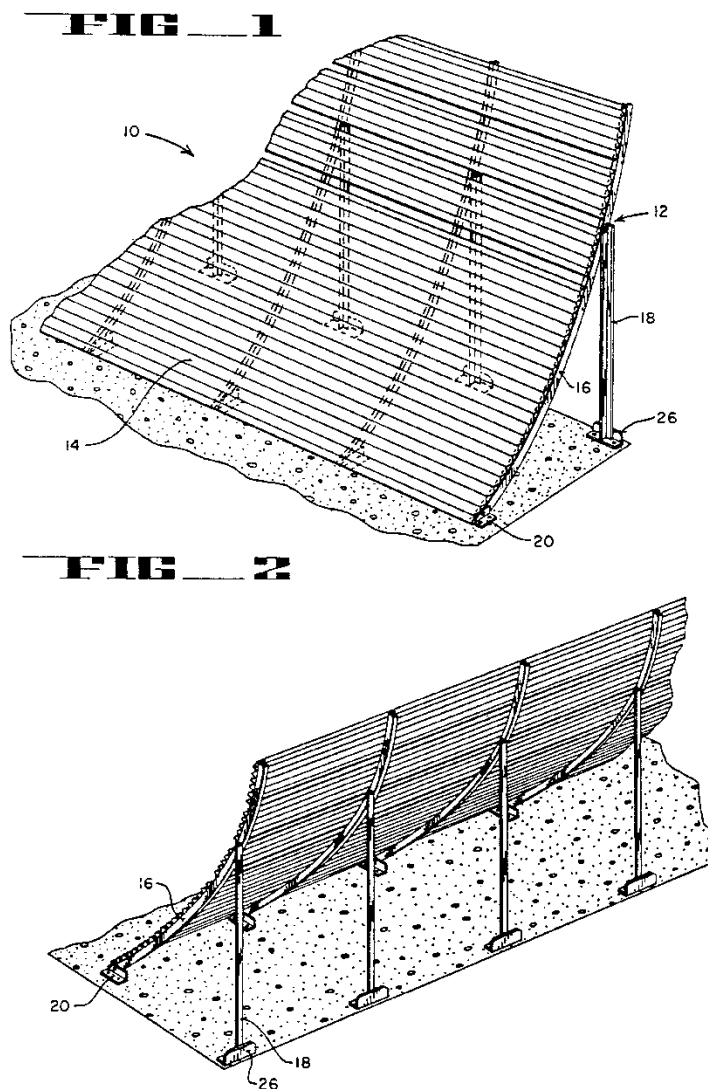
Vynálezy řešily bezpečnost v areálech letišť. Konstrukční řešení se lišila. V patentovaných konstrukcích lze nalézt deflektory, které sloužily jako hlukové odražeče a pohlcovače. Dříve obtěžovalo velké množství prachu a kouře z motorů starších typů letadel. Ve většině případů se jednalo o konstrukce kotvené přímo k ploše areálu. Jsou publikovány ale i plně mobilní řešení.

U.S. Patent

July 7, 1992

Sheet 1 of 4

5,127,609



Obrázek 12-Příklad další z patentovaných konstrukcí deflektoru od autora B. Stanley Lynna z roku 1992 [15]

## 2.3 Současná řešení

Dnes tvoří konstrukce deflektorů speciální zařízení, která jsou nabízena řadou výrobců. Dále jsou stručně popsány současné konstrukce deflektorů výtokových plynů letadel od neznámějších výrobců. Jedná se o konstrukce, které jsou kotveny k ploše letišť. Publikovány jsou ale i mobilní a hydraulicky ovládané deflektory, které se používají na palubách letadlových lodí.



Obrázek 14-Obsluha deflektoru na palubě letadlové lodi před letovými operacemi [1]



Obrázek 13-Zdvížení hydraulicky ovládaného deflektoru pro ochranu jiného letouny před výtokovými plyny [1]

### 2.3.1 Kotvené konstrukce

Dále jsou seřazeny návrhy výrobců deflektorů.

#### **Blast deflector, Inc. (USA)**

Společnost BDI již více než 60 let hledá inovativní řešení pro letecký průmysl. Stala se světovým lídrem v oblasti projektování, výroby, dodávky a instalace bezpečnostních zařízení jako jsou deflektory výtokových plynů. [6]

#### **Ocelová série**

Deflektory řady Ocelové série jsou navrženy pro taxi napájení nebo vysokorychlostní běh motorů. Deflektory slouží k ochraně pozemní obsluhy, silnic, parkovišť, budov a lidí před proudícím vzduchem. Modely konstrukcí, které jsou k dispozici v zakřivených a vertikálních konfiguracích, jsou navrženy tak, aby odolaly tryskovým silám ze všech typů letadel. Používají se obvykle v oblastech údržby, kde se pravidelně provádějí dobíjení motorů s vysokým výkonem. [7]



Obrázek 15-Příklad konstrukce kotveného deflektoru z řady Ocelová série [7]

### Série FIBERGLASS

Série spolehlivých deflektorů ze sklolaminátu byla speciálně navržena pro umístění na konci přistávací dráhy před přístrojové přistávací systémy (ILS). Plastový deflektor z neželezného materiálu zesílený sklolaminátem neinterferuje s ILS a zároveň poskytuje ochranu před proudem vzduchu z motoru. Zakřivená aerodynamická konstrukce byla upravena po vzoru ocelové řady BDI, která má za sebou více než 60 let úspěšnosti.

Výhody série FIBERGLASS jsou: kompatibilní s ILS a radarem, bezúdržbový, odolnost proti UV záření, estetické možnosti, snadná instalace a propracovaná aerodynamika. [7]



Obrázek 16- Příklad konstrukce kotveného deflektoru ze série FIBERGLASS [7]

### Série TAXI POWER

Deflektory řady TAXI power se používají k ochraně pozemní obsluhy, silnic, parkovišť, budov a lidí před proudícím vzduchem. Modely konstrukcí jsou k dispozici v zakřivených nebo vertikálních provedeních a jsou navrženy tak, aby odolaly motorům všech typů letadel. [7]



Obrázek 17-Zadní pohled na deflektor z řady TAXI POWER [7]



Obrázek 18-Přední pohled na deflektor z řady TAXI POWER [7]

### Série HIGH POWER

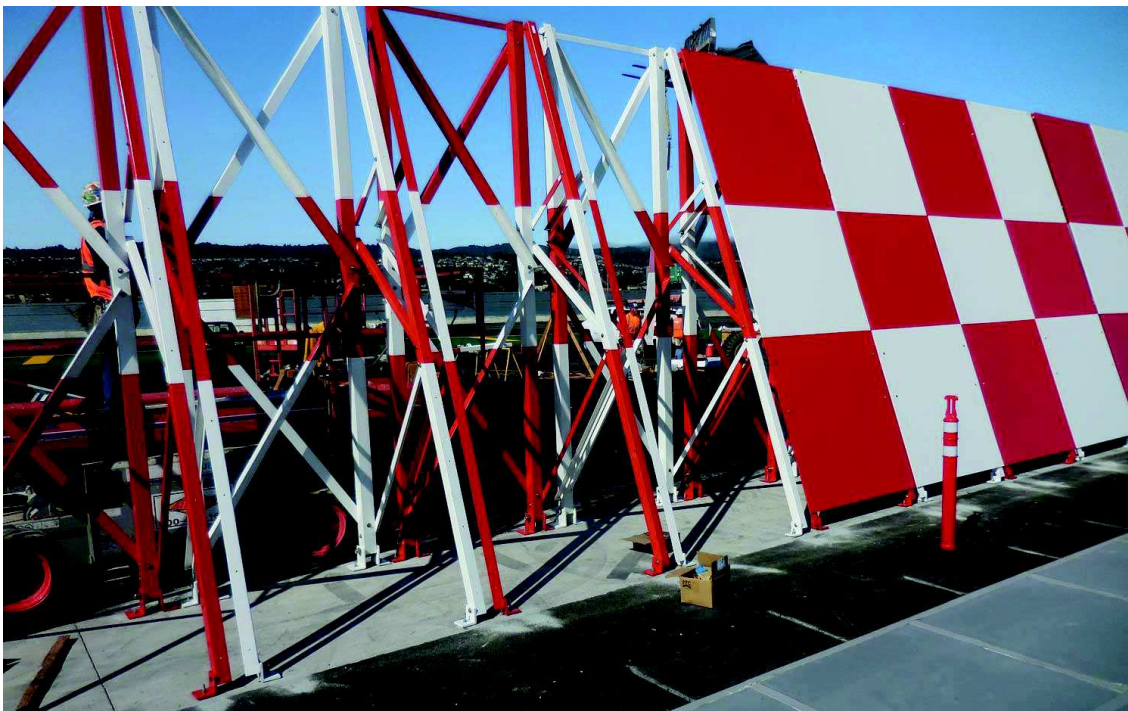
Modely série HIGH POWER se používají v oblastech údržby, kde se dobíjí motory s vysokým výkonem, nebo na koncích dráhy. Tyto deflektory mohou odolat tlaku trysky přesahujícím 115 000 liber ISO jednotky, což je v současné době maximální hodnota vyvinutá komerčním tryskovým motorem. [7]



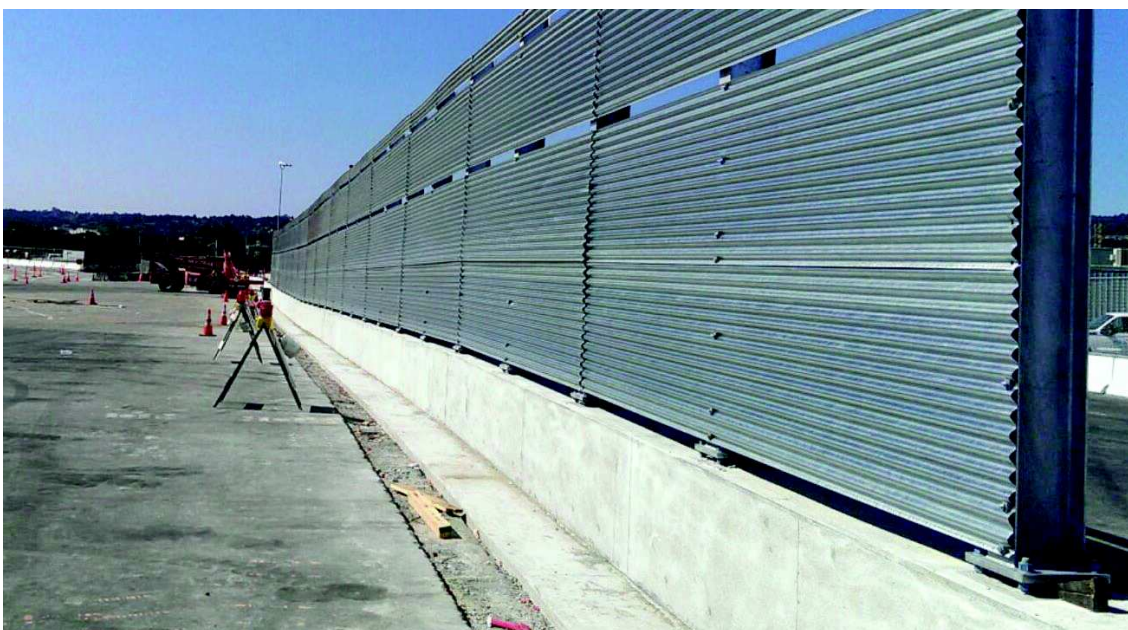
Obrázek 19-Konstrukce deflektoru ze série HIGH POWER odolávající maximálnímu zatížení výtokovými plyny [7]

**Blastwall Ltd. (USA, Kanada)**

Společnost vyrábí konstrukce deflektorů jako ocelové nebo radarově neviditelné sklolaminátové plotové těleso (Blastwall). Verze ze sklolaminátových vláken zůstává neviditelná pro radarové a rádiové přenosy a je navržena tak, aby odklonila proud vzduchu rychlosti 160 km/h. Je křehká, aby se při nárazu zhroutila bez poškození letadla nebo stěny. [8]



Obrázek 20-Instalace ocelové Blastwall konstrukce na mezinárodním letišti v San Franciscu [8]



Obrázek 21- Instalace ocelové Blastwall konstrukce na mezinárodním letišti v San Franciscu [8]

Komponenty jsou vyrobeny z tvarovaného skelného vlákna, čímž vzniká lehká a trvanlivá konstrukce bez kovových součástí. Pigmentové a UV stabilizátory jsou zabudovány do pryskyřice, aby byly odolné proti korozi a bezúdržbové. Konstrukce byly schváleny pro instalaci na letištích v Kanadě. [8]



Obrázek 22-Montáž sklolaminátové Blastwall konstrukce na mezinárodním letišti Chattrapati Shivaji v Bombaji [8]

Sklolaminátový Blastwall deflektor poskytuje oproti tradičním stěnovým konstrukcím z oceli tyto klíčové výhody:

Sklolaminátová konstrukce, nosníky a šrouby nabízí provozní životnost s téměř nulovou údržbou po mnoho let. Výkon pozemních radarových a rádiových majáků není ovlivněn, protože Blastwall neobsahuje žádné ocelové komponenty. Instalace je prováděna posádkami bez potřeby jeřábů, které blokují přístup k přistávacím drahám. Vyrovnání a umístění betonových montážních bodů pomocí šroubů na úrovni země je jedinou potřebnou přípravou. Pigmentové a UV stabilizátory zabudované do pryskyřice vytvářejí odolnost vůči korozi a UV záření. [8]

Obr. 24 až 27 ilustrují části konstrukce deflektoru ze sklolaminátových vláken, která byla instalována na mezinárodním letišti Chatrapati Shivaji v Mumbaji.



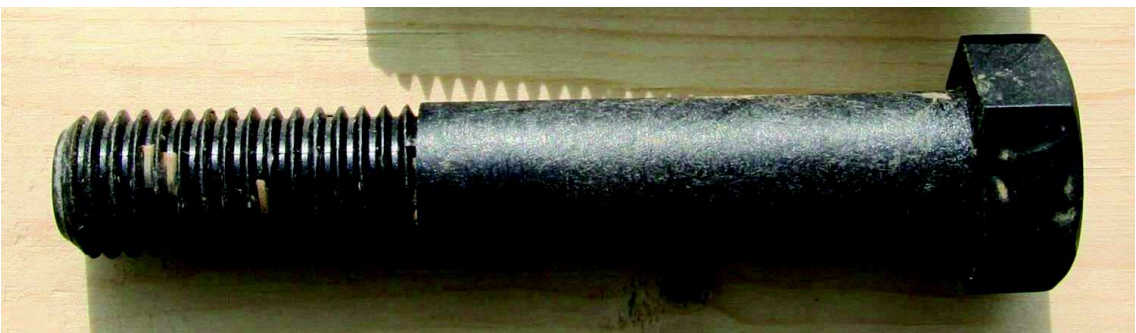
Obrázek 26- Montáž horní rámové desky [8]



Obrázek 24- Centrální styčkový plech pro stabilizaci [8]



Obrázek 23- Boční stabilizační nosník vyrobený ze sklolaminátových vláken [8]



Obrázek 25- Všechny šrouby a matice jsou vyrobeny ze sklených vláken [8]



**Blast-Ex (Německo)**

Nabízí řešení plotových deflektorů. Průhlednost oplocení zajišťuje dobrou viditelnost nad letištěm a všemi oblastmi manévrování. Ploty jsou vyrobeny buď z pozinkované oceli nebo z plastu vyztuženého vláknem. [9]



Obrázek 27-Montáž nových deflektorů na mezinárodním letišti v Muscatu [10]



Obrázek 28-Montáž nových deflektorů na mezinárodním letišti v Muscatu [10]

Opatření deflektorů výtokových plynů v poušti na Blízkém východě zvyšuje teplo, vítr, písek, slaná voda a plyny z motorů. Na mezinárodním letišti v Muscatu byly namontovány tři úseky deflektorů s celkovou délkou 162,5 metrů a výškou 4,30 metrů, viz obr. 30 a 31. [10]



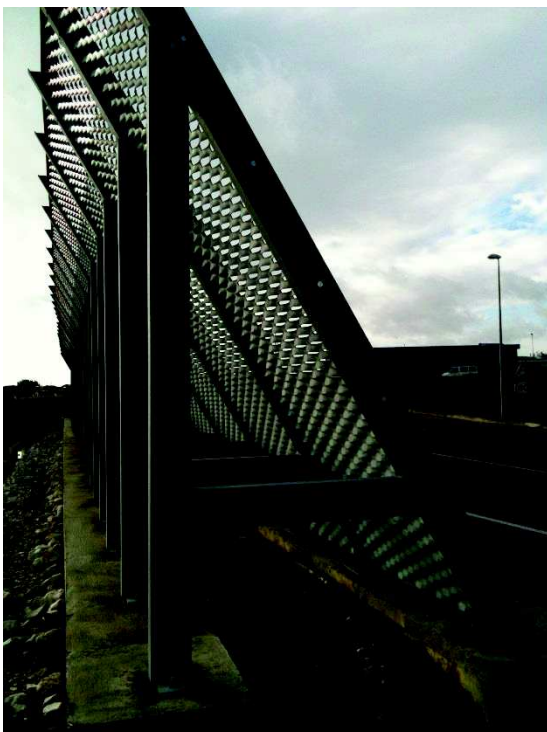
Obrázek 29-Další příklad konstrukce plotového deflektoru od firmy Blast-Ex [10]



Obrázek 30-Dokončení montáže deflektorů na jednom z úseků mezinárodního letiště v Muscatu [10]

### Vális-Engenharia e Inovação, S.A. (Portugalsko)

Společnost nabízí neprůhledné deflektory, které tvoří skloněná stěna s mírným zakřivením a průhledné deflektory vyrobené z kovové síťoviny. Síťové struktury jsou částečně průhledné a umožňují pohled z jedné strany. Síťové konstrukce mohou být šikmé, v takovém případě je konstrukce skloněná pod úhlem 60 °, nebo mohou být ve svislé poloze. Deflektory vyrobené ze skleněných vláken a vyztužených plastových profilů, které neovlivňují pozemní radarové vysílání. [11]



*Obrázek 31- Boční pohled na konstrukci kotveného průhledného deflektoru, kde jeho povrch tvoří kovová síťovina (tahokov) [11]*

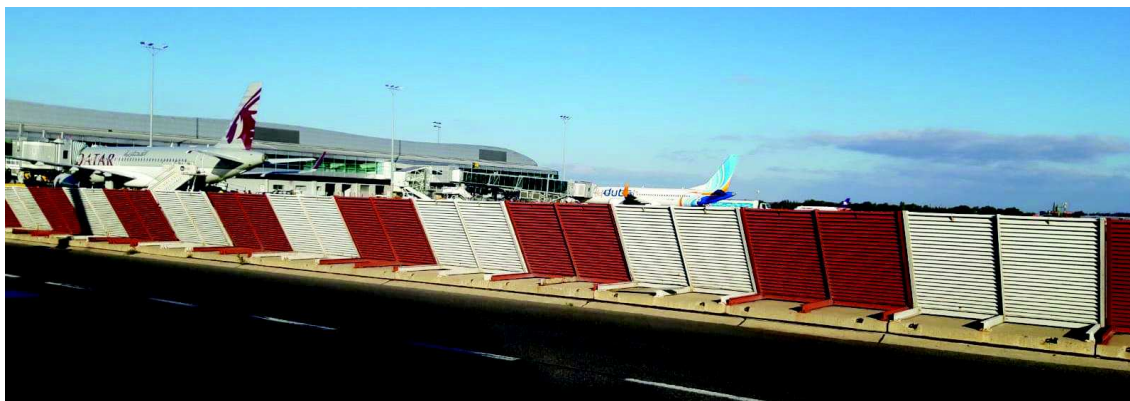


*Obrázek 32- Pohled na deflektor ze přední strany [11]*

### 2.3.2 Mobilní konstrukce

Konstrukce mobilních deflektorů jsou charakteristické tím, že se skládají ze dvou hlavních částí. Jedná se o tížný blok a o ocelovou část tvořenou nosnou konstrukcí a plochou deflektoru, která je spojena s blokem. Tížné bloky se vyrábějí v různých rozměrech a tvarech tak, aby bylo možné s celou konstrukcí deflektoru co nejsnadněji manipulovat. K tomu slouží manipulační úchyty, které jsou součástí bloku, nebo je samotný blok vytvarován tak, aby se dal transportovat pomocí manipulačních vidlí.

Mobilní deflektory jsou v porovnání s kotvenými odražeči rozměrově menší konstrukce, hlavně ve výšce.



Obrázek 34-Mobilní odražeče umístěné na Letišti Václava Havla v Praze [Vlastní zdroj]



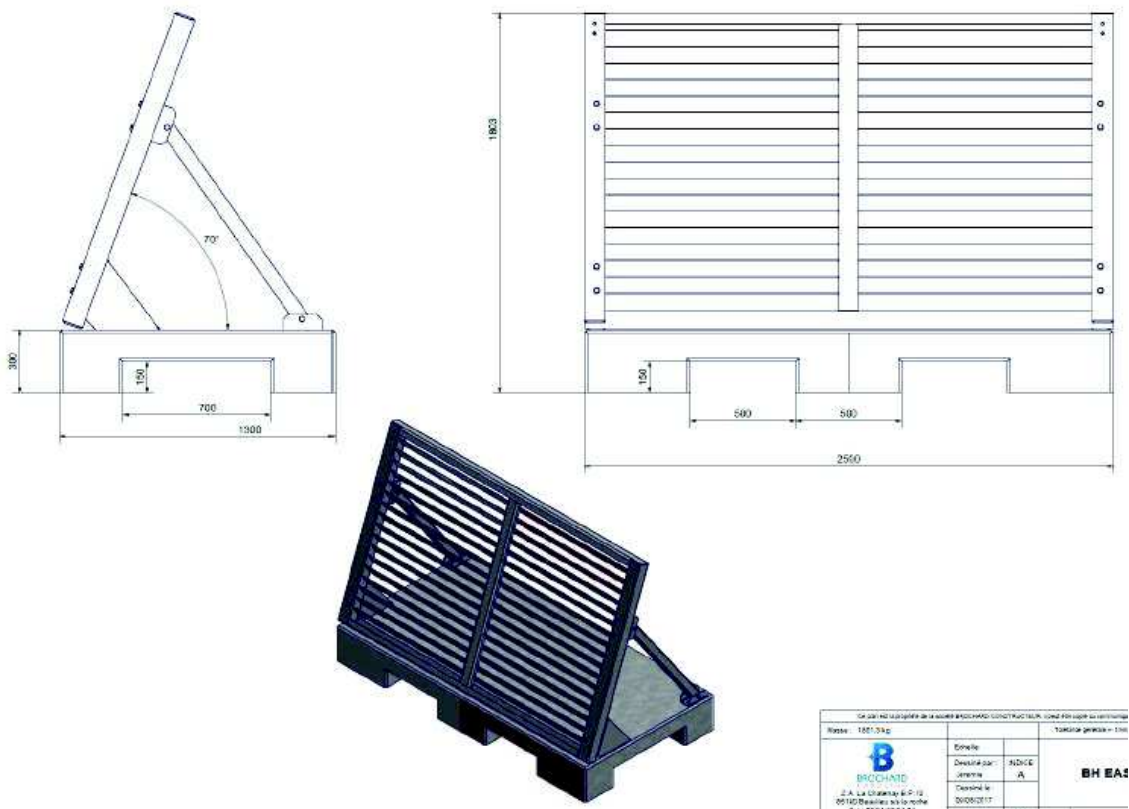
Obrázek 33- Mobilní odražeče umístěné na Letišti Václava Havla v Praze [Vlastní zdroj]

### **Brochard Handling S.A.R.L. (Francie)**

Společnost vyrábí mobilní odražeče, jejichž železobetonový blok je tvarově navržen tak, aby bylo deflektor možno transportovat pomocí manipulačních vidlí. Ocelová část sestává z rámu, jehož plocha je tvořena žaluziemi z pásovin, které jsou k rámu přivařeny. Celý rám je pak podepřen jednou vzpěrou na každé straně a je skloněn pod úhlem 70°. Ocelová část je uchycena k železobetonovému tížnému bloku pomocí kotevnicích šroubů. Povrchovou úpravu všech ocelových prvků firma provádí buď jako pozinkovanou, nebo jako nátěr. Brochard Handling vyrábí tyto dva typy odražečů:

#### **Typ BH-EAS 18:**

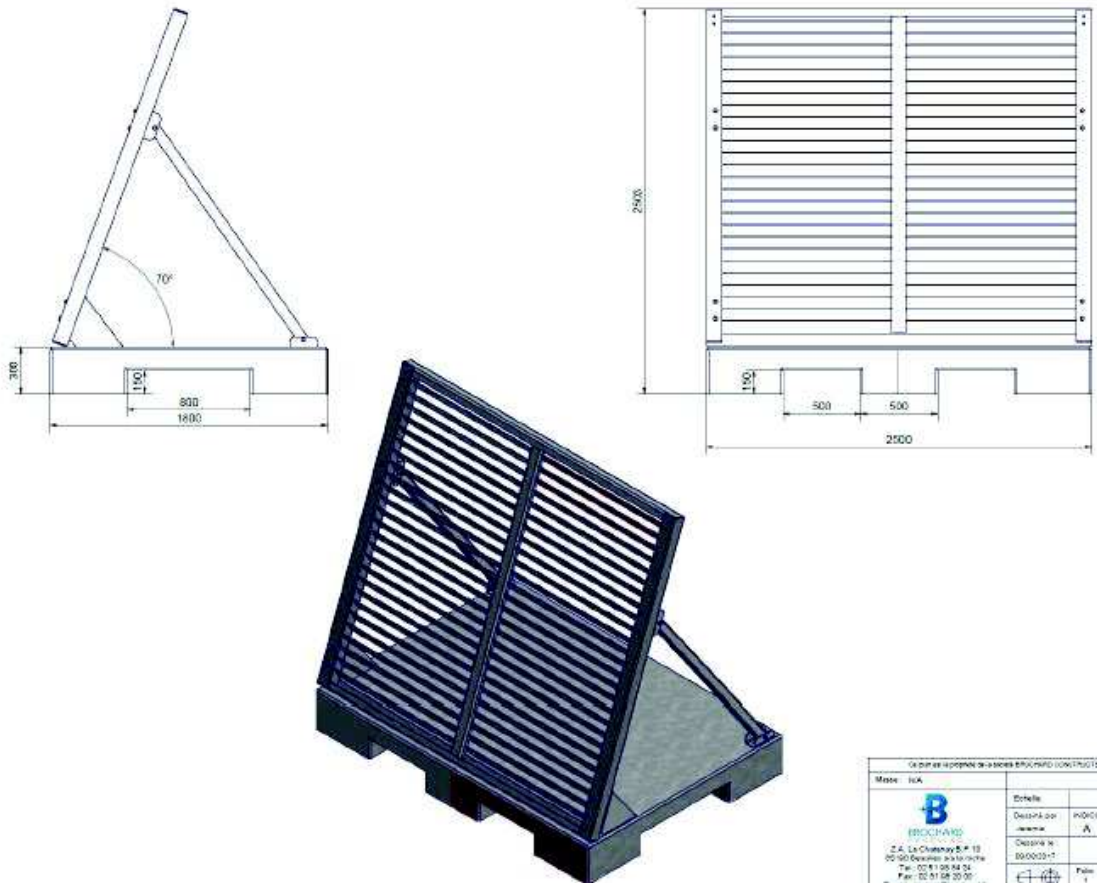
Celková výška je 1800 mm, šířka 1300 mm, délka 2500 mm a tíha +/- 2600 kg.



Obrázek 35-Mobilní odražeč BH-EAS 18 [18]

**Typ BH-EAS 25:**

Celková výška je 2500 mm, šířka 1800 mm, délka 2500 mm a tíha +/- 3800 kg.



Obrázek 36- Mobilní odražeč BH-EAS 25 [18]		
Masse: 3800 kg	Etiketa:	INDEX: A
 Z.Š. La Čalovský s.r.l. s.r.o. 250 00, Dobruška, ul. A. S. Nováka Tel: 00 48 48 54 54 Fax: 00 48 54 20 20	Deska pro lamina:	00000317
	Deska H:	00000317
		Průřez: 1

Obrázek 36- Mobilní odražeč BH-EAS 25 [18]

### **Blast deflector, Inc. (USA)**

Na obrázcích 37 a 38 jsou dva typy konstrukcí společnost BDI. Na obrázku 37 je odraz deflektoru tvořen zakřivenou plochou. Konstrukce na obrázku 38 je navržena jako svislá stěna. Plochy u obou typů konstrukcí jsou tvořeny vlnitými plechy, které jsou přišroubovány k nosné konstrukci s malými mezerami.



Obrázek 37-Mobilní deflektory od výrobce BDI [7]



Obrázek 38-Mobilní deflektory od výrobce BDI [7]

### **Blast-Ex (Německo)**

Mobilní odražeče, které nabízí Blast-Ex jsou konstrukčně podobné odražečům BH EAS. Na obrázku 39 je betonový tížný blok deflektoru tvarován tak, aby měla konstrukce po celé své výšce sklon.



Obrázek 39-Mobilní odražeče od výrobce Blast-Ex [10]

## Letiště Praha

Na Letišti Václava Havla v Praze se používají mobilní deflektory, které tvoří blok o rozměrech 2,5 x 1,8 x 0,15 m. V bloku jsou zabetonovány čtyři manipulační oka pro převoz konstrukce. K bloku je kotvená ocelová část deflektoru kotevními šrouby. Výška deflektoru je 1,6 m. Celková tíha je cca 2000 kg.



Obrázek 42-Konstrukce starých deflektorů [Vlastní zdroj]



Obrázek 40-Nové deflektory vyrobené podle starých konstrukcí [Vlastní zdroj]



Obrázek 41- Nové deflektory vyrobené podle starých konstrukcí [Vlastní zdroj]



### 2.3.3 Hydraulicky ovládané konstrukce

Deflektory, které jsou ovládány hydraulicky pomocí pístů se používají na letadlových lodích, viz obrázky 42 až 44. Na lodích je rozjezdová dráha pro vzlet letounu omezená. Letadlo se při startu postaví před deflektory. Stěna z deflektorů za motory letounu umožňuje vzlet na krátké dráze letadlové lodi. Deflektor chrání ostatní letouny před výtokovými plyny, které směřuje nahoru. [1]



Obrázek 43- Zvedání deflektoru pomocí hydraulicky řízeného systému [1]



Obrázek 44- Letoun Sukhoi Su-33 se připravuje na vzlet pomocí deflektoru [1]



Obrázek 45-Deflektor chrání ostatní letouny na letadlové lodi před výtokovými plyny [1]

### 2.3.4 Speciální konstrukce

Ground run up enclosure GRE, zemní skříň, je speciální konstrukce na obrázku 47 a 48, která pohlcuje hluk od letadla na zemi. Běh motoru při údržbě letadel obvykle vytváří větší hluk než skutečné odlety. Údržba je potřebná v noci. Konstrukce GRE je ze tří stran uzavřená vysoká ocelová rámová konstrukce, která je osazena akusticky tlumícími panely. [6]



Obrázek 47-Konstrukce GRE na letišti Billyho Bishopa v Torontu [19]



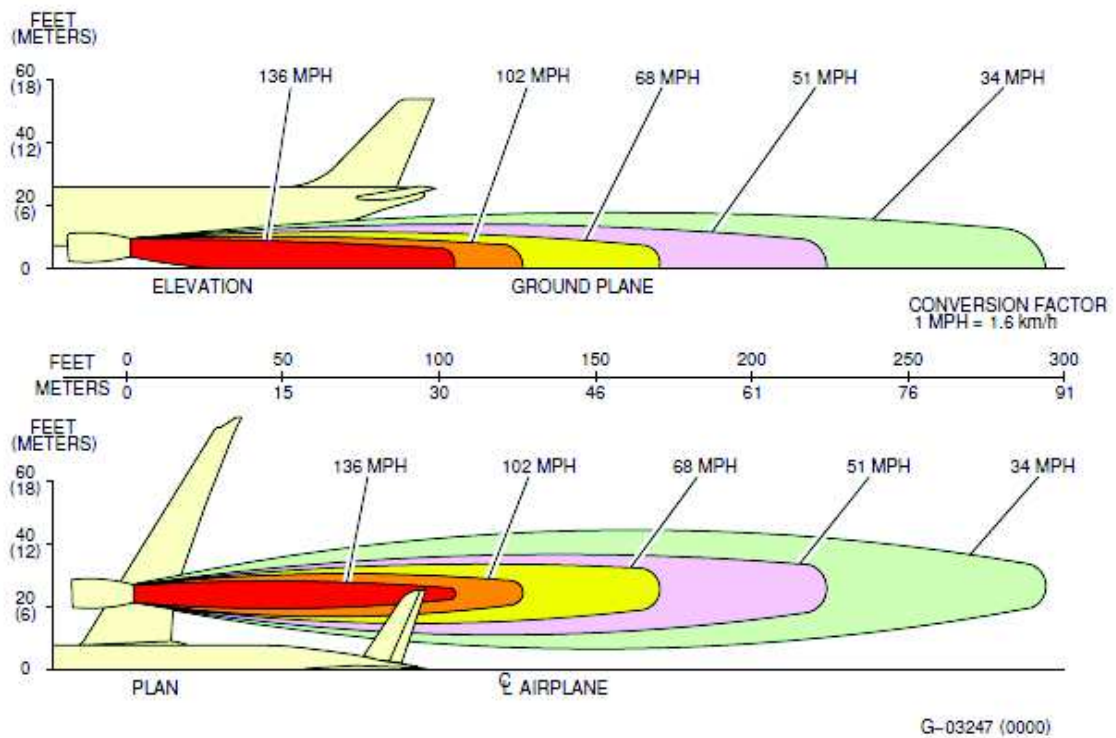
Obrázek 46-Testování (údržba) motorů letadla v „uzemňovací skříni“ [7]

## 3 Podklady pro návrh

Pro návrh mobilního deflektoru je rozhodující zatížení výfukovými plyny, viz obrázek 48, a větrem, popřípadě vlastní tíhou konstrukce při manipulaci.

### 3.1 Zatížení větrem

Podle požadavků Letiště Praha je rychlost proudícího vzduchu pro návrh nového deflektoru stanovena na 160 km/h. Při této rychlosti by se konstrukce neměla překlomit ani vodorovně posunout. Zatížení větrem na konstrukci lze uvažovat podle normy ČSN EN 1991-1-4: 2004.



Obrázek 48-Rychlost výfukových plynů Airbusu A330 v závislosti na vzdálenosti od motorů [Manuál letadla]

### 3.2 Zatížení při manipulaci

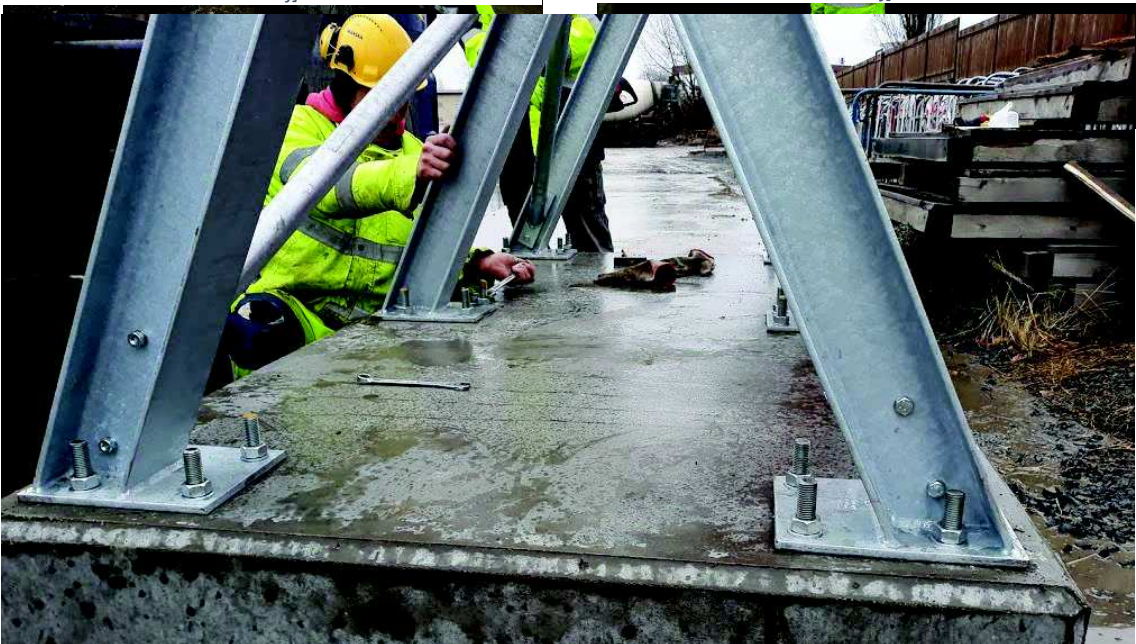
S konstrukcí se manipuluje dvěma způsoby. Hydraulickou rukou, kdy se uvazuje kurtami a zdvihá. Kotvení deflektoru je namáháno tíhou tížného bloku. Při manipulaci paletizačními vidlemi je tížný blok namáhán ohybem.



Obrázek 49-Manipulace pomocí úvazků [Vlastní zdroj]



Obrázek 50-Manipulace pomocí úvazků [Vlastní zdroj]



Obrázek 51-Montáž ocelové části k tížnému bloku [Vlastní zdroj]

## 4 Cíle práce

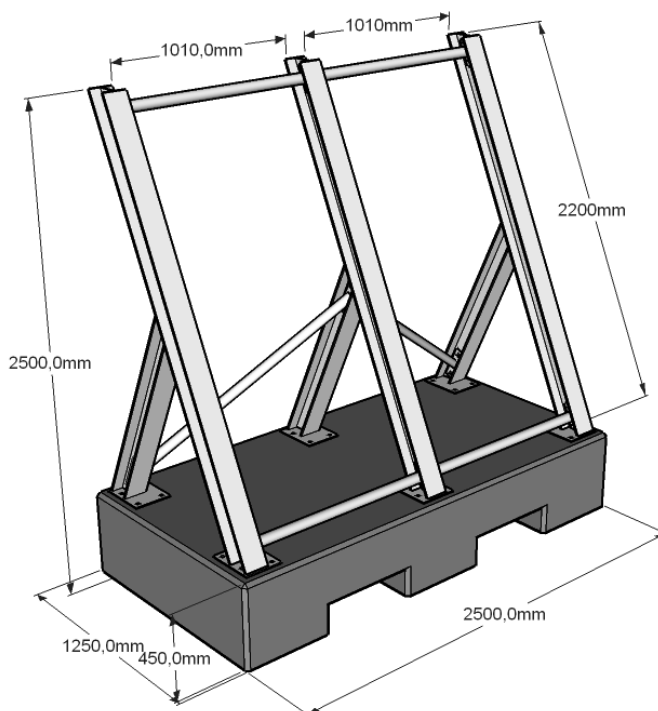
Cílem práce je návrh pilotní konstrukce mobilního deflektoru výtokových plynů pro dopravní letadla třídy C. Návrh pilotní konstrukce deflektoru splní technické zadání Letiště Václava Havla v Praze.

Základním požadavkem je výška konstrukce odražeče, která byla stanovena 2,5 m, aby odklonila výfukové plyny běžných letadel třídy C. Mezi ně patří i např. Airbus A320, jehož motor je ve výšce 2,05 m. Dalším požadavkem je mobilnost. Konstrukci bude možno naložit a přepravit pomocí běžných manipulačních a přepravních prostředků letiště. Dalším požadavkem je životnost. Požaduje se, aby konstrukce odolala teplu a vysokým rychlostem proudu plynů, prachu a nečistot při turbulenci za letadlem, bez nutné údržby a kontroly jeho stavu. Konstrukce bude namáhána manipulací.

Na závěr práce bude pilotní konstrukce ověřena zkouškou in-situ. Konstrukce by se při zkoušce neměla posunout ani překloupat při zatížení výfukovými plyny rychlosti 160 km/h. Při zkoušce se odražeč umístí v návrhové vzdálenosti 38 m od motoru letadla. Podle výsledků zkoušky bude pilotní konstrukce upravena pro případnou výrobu.

## 5 Návrh

Konstrukci mobilního deflektoru tvoří tížný blok, na který je kotvena ocelová konstrukce. Její rozměry jsou vidět na obrázku 53. Tíha celé konstrukce je 3 400 kg.



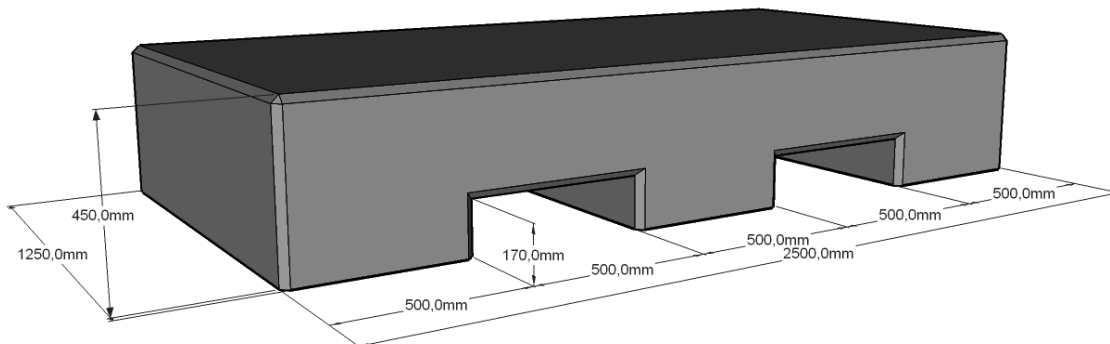
Obrázek 52-Model navržené konstrukce

### 5.1 Tížný blok

Tvar bloku je navržen na manipulaci paletizačními vidlemi. Má tvar kvádrů se dvěma drážkami pro přístup vidlí. Zkosení všech hran bloku je 20 mm. Rozměry bloku jsou ilustrovány na obrázku 54. Blok je navržen z vláknobetonu. Jeho receptura je popsána v tabulce 1.

Označení betonu		C 30/37 XF4				
Kamenivo		Cement a plnivo		Příspěvy a příměsi		Voda
Frakce	[kg]	Druh	[kg]	Druh	[kg]	[kg]
0-4	1219	52,5R	446	S 33	3,26	153
8-16	567	VAPD7	52	MICROP	0,25	
16-22	458					

Tabulka 1-Receptura použitého betonu



Obrázek 53-Tvar a rozměry modelu bloku

Do betonu, jehož receptura je popsána v tabulce 1 bylo rozptýleno 5 kg strukturálních polypropylenových vláken MasterFiber 230.

MasterFiber 230 je vlákno extrudované z polymeru polypropylenu a vytvarováno do zvlněného profilu ke zlepšenému ukotvení v cementové matrici. Tím dochází k dalšímu vyztužení betonu a zlepšení trvanlivosti a tuhosti. Vlákno je vhodné do alkalického prostředí, kde je požadována vysoká odolnost vůči chemické agresi, do korozivního i agresivního prostředí. [12]

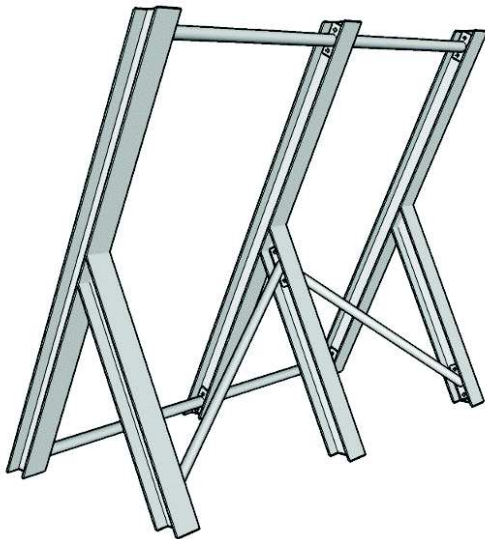
Blok je vyztužen kari sítí 8 x 150 x 150 mm ve dvou řadách s minimálním krytím 50 mm. První síť je umístěna 100 mm od horního povrchu bloku, druhá 200 mm. Obě sítě jsou uloženy na plotnách uchycených na kotevních závitových tyčích a jsou k nim přidráťovány. Na obrázku 54 je zobrazeno rozmístění výztuže.



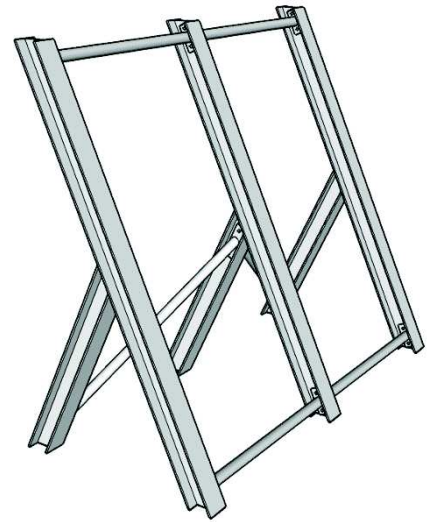
Obrázek 54-Rozmístění výztuže bloku

## 5.2 Ocelová konstrukce

Ocelovou část deflektoru tvoří tři tuhé svařované příčné vazby z válcovaných profilů HEA 120, viz obrázek 56. Podélně jsou vazby spojeny dutými uzavřenými průřezy ve vrcholu a v patě deflektoru. Ztužení tvoří dvě diagonály mezi vazbami. Styčníky vazeb a podélníků/diagonál jsou řešeny jako šroubové. Konstrukce je pozinkovaná.

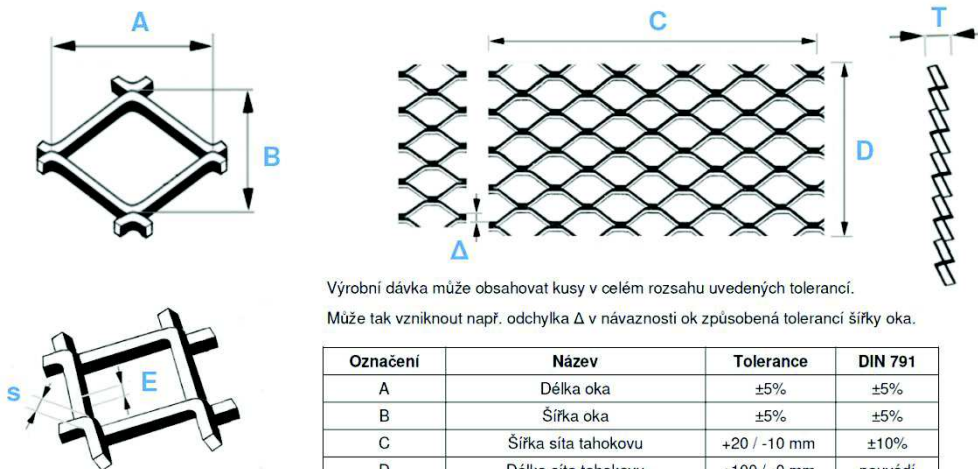


Obrázek 55-Model ocelové části



Obrázek 56-Model ocelové části

Výplň plochy odražeče je navržena z tahokovu TR 62,5x23x7 o tloušťce plechu 3 mm (s). Jedná se o tahokov s kosočtvercovým okem a délkou oka 62,5 mm (A), šířkou oka 23 mm (B) a posuvem 7 mm (E). Výplň tvoří dvě sítě tahokovu o šířce 1100 mm (C) a délce 2200 mm (D). Sítě jsou přišroubovány k pásnicím vazeb úhelníky, které svírají po délce tahokovu k pásnicím.



Výrobní dávka může obsahovat kusy v celém rozsahu uvedených tolerancí.

Může tak vzniknout např. odchylka  $\Delta$  v návaznosti ok způsobená tolerancí šířky oka.

Označení	Název	Tolerance	DIN 791
A	Délka oka	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$
B	Šířka oka	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$
C	Šířka sítě tahokovu	+20 / -10 mm	$\pm 10\%$
D	Délka sítě tahokovu	+100 / -0 mm	neuvádí
E	Posuv	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$
s	Tloušťka plechu	$\pm 10\%$	$\pm 10\%$
T	Korigovaná výška tahokovu	$\pm 25\%$	neuvádí

Obrázek 57-Rozměry zvoleného tahokovu [19]



## 5.3 Zatížení větrem

Účinek větru závisí na velikosti, tvaru a dynamických vlastnostech konstrukce. Zatížení větrem se uvažuje soustavou sil, které mají ekvivalentní účinky s turbulencí větru. [13]

### 5.3.1 Rychlost a tlak větru

#### Rychlost větru [13]

Dynamický tlak  $q_p$  závisí na střední rychlosti větru a krátkodobé turbulenční složce větru. Maximální tlak je ovlivněn povětrnostními podmínkami příslušné oblasti, místními vlivy a výškou nad terénem.

#### **Povětrnostní podmínky**

Povětrnostní podmínky oblasti jsou vyjádřeny základní rychlostí větru  $v_b$ , která je dána vztahem

$$v_b = C_{dir} * C_{season} * v_{b,0}$$

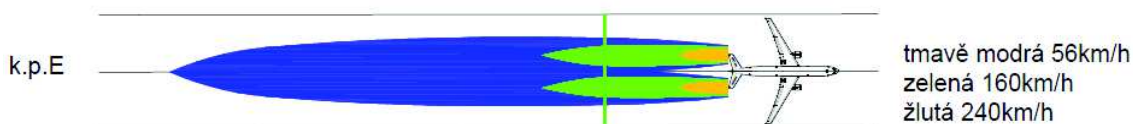
kde:

$v_{b,0}$  je výchozí základní rychlost větru ( $v_{b,0} = 160 \text{ km/h} = 44,444 \text{ m/s}$ )

$C_{dir}$  je součinitel směru větru (podle národní přílohy ČR  $C_{dir} = 1,0$ )

$C_{season}$  je součinitel ročního období (podle národní přílohy ČR  $C_{season} = 1,0$ )

Umístění konstrukce (zelená čára) neboli návrhová vzdálenost odražeče je uvažována podle obrázku. Konstrukce se tedy nachází v zelené zóně, kde se vítr pohybuje rychlostí 160 km/h. Proto je základní rychlost větru  $v_{b,0}$  uvažována  $v_{b,0} = 44,444 \text{ m/s}$ .



Obrázek 58-Oblasti rychlosti větru rozdělené podle barev

Výpočet základní rychlosti větru  $v_b$ :

$$v_b = 1,0 * 1,0 * 44,444 = 44,444 \text{ m/s}$$

## Místní vlivy

Střední rychlost větru  $v_m(z)$  ve výšce  $z=2,5$  m nad terénem je ovlivněna místními vlivy vyjádřenými součinitelem drsnosti terénu  $c_r(z)$  a součinitelem orografie  $c_o(z)$ . Vypočítá se ze vztahu:

$$v_m(z) = c_r(z) * c_o(z) * v_b$$

kde součinitel drsnosti  $c_r(z)$  lze zapsat jako:

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{pro } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

kde:

$z_0$  je parametr drsnosti terénu (uvažujeme kategorii terénu 0)

$z_{min}$  je minimální výška (viz tabulka)

$z_{max}$  je maximální výška ( $z_{max} = 200$  m)

$k_r$  je součinitel terénu závislý na parametru  $z_0$  podle vztahu:

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

kde:  $z_{0,II} = 0,05$

Terén se podle místa stavby zařadí do některé z kategorií terénu podrobně popsaných s ČSN EN 1991-1-4, příloha A. Součinitel orografie  $c_o(z)$  vyjadřuje vliv horopisu na střední rychlost větru, obvykle je roven jedné.

Tabulka 2-Kategorie terénu a jejich parametry [13]

Kategorie terénu	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
0- moře a přímořské oblasti	0,003	1
I – jezera nebo vodorovná plochá krajina bez překážek	0,01	1
II – krajina s nízkou vegetací, jako je tráva nebo izolované překážky	0,05	2
III – oblast pravidelně pokrytá vegetací, budovami nebo překážkami	0,3	5
IV – alespoň 15% povrchu je pokryto budovami, průměrná výška přesahuje 15m	1	10

Výpočet střední rychlosti větru  $v_m(z)$ :

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{0,003}{0,05}\right)^{0,07} = 0,156 \quad c_r(z) = 0,156 * \ln\left(\frac{2,5}{0,003}\right) = 1,049$$

$$v_m(z) = 1,049 * 1,0 * 44,444 = 46,64 \text{ m/s}$$

**Maximální dynamický tlak [13]**

Maximální dynamický tlak větru  $q_p(z)$  ve výšce  $z$ , který zahrnuje střední a krátkodobé fluktuační rychlosti větru, se stanoví ze vztahu:

$$q_p(z) = c_e(z) * q_b(z)$$

kde:

$c_e(z)$  je součinitel expozice, zohledňující vliv turbulencí větru, kterými se zvyšuje základní tlak větru. Určí se ze vztahu:

$$c_e(z) = [1 + 7 * l_v(z)]$$

kde  $l_v(z)$  je intenzita turbulence větru:

$$l_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

kde  $k_I$  je součinitel turbulence, většinou  $k_I=1,0$

Výpočet součinitele expozice  $c_e(z)$ :

$$l_v(z) = \frac{1,0}{1,0 * \ln\left(\frac{2,5}{0,003}\right)} = 0,149$$

$$c_e(z) = [1 + 7 * 0,149] = 2,04$$

$q_b(z)$  je základní dynamický tlak větru, který se určí ze vztahu:

$$q_b(z) = 0,5 * \rho * v_m^2$$

kde  $\rho$  je měrná hmotnost vzduchu, obvykle  $\rho=1,25 \text{ kg/m}^3$

Výpočet základního dynamického tlaku větru  $q_b(z)$ :

$$q_b(z) = 0,5 * 1,25 * 46,64^2 = 1360 \text{ N/m}^2 = 1,36 \text{ kN/m}^2$$

Výpočet maximálního dynamického tlaku větru  $q_p(z)$ :

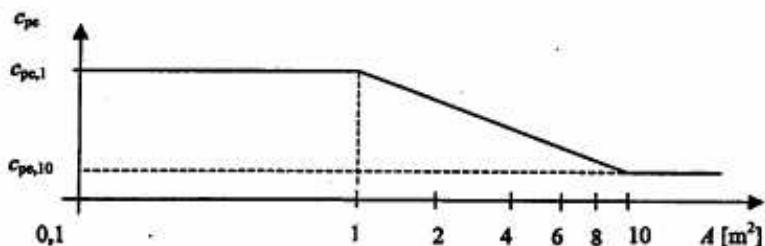
$$q_p(z) = 2,04 * 1,36 = 2,775 \text{ kN/m}^2$$

### 5.3.2 Tlak větru na povrch

Tlak větru  $w_e$  působící na vnější povrch konstrukce se vypočte jako součin maximálního dynamického tlaku  $q_p(z_e)$  a součinitele vnějšího tlaku  $c_{pe}$  ze vztahu:

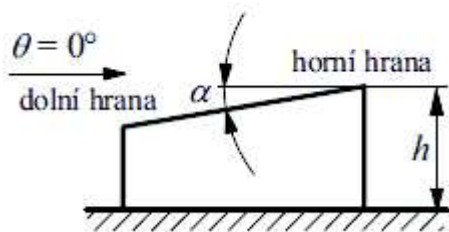
$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe}$$

Součinitel vnějšího tlaku  $c_{pe}$  závisí na velikosti zatížené plochy  $A$ , na tvaru konstrukce a na její orientaci ke směru větru. Součinitele tlaků jsou obecně dány dvěma hodnotami, a to pro malé zatěžovací plochy ( $<1 \text{ m}^2$ ) a pro velké zatěžovací plochy ( $>10 \text{ m}^2$ ), viz obrázek 59. Pro mezilehlé hodnoty je možné interpolovat.

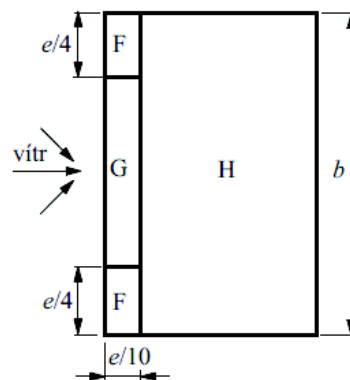


Obrázek 59 – závislost součinitele  $c_{pe}$  na ploše  $A$  [13]

Pro navrženou konstrukci odražeče lze uvažovat hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro pultové střechy z tabulky č. 3. [13]



Obrázek 60-Poloha vůči působení větru [13]



Obrázek 61-Oblasti pro pultové střechy [13]

Oblast:	Úhel sklonu $\alpha$		5°	15°	30°	45°	60°	75°				
pro směr větru $\theta = 0^\circ$	F	$c_{pe,10}$	-1.7	+0.0	-0.9	+0.2	-0.5	+0.7	-0.0	+0.7	+0.7	+0.8
		$c_{pe,1}$	-2.5		-2.0		-1.5					
	G	$c_{pe,10}$	-1.2	+0.0	-0.8	+0.2	-0.5	+0.7	-0.0	+0.7	+0.7	+0.8
		$c_{pe,1}$	-2.0		-1.5		-1.5					
	H	$c_{pe,10}$	-0.6	+0.0	-0.3	+0.2	-0.2	+0.4	-0.0	+0.7	+0.7	+0.8
		$c_{pe,1}$	-1.2									

Tabulka 3-Součinitele vnějšího tlaku pro pultové střechy [13]

Parametry konstrukce:

Poloha vůči působení větru  $\Theta=0^\circ$

Úhel sklonu  $\alpha=65^\circ$

Výška  $h=2,5$  m; šířka  $b=2,5$ m;  $e=\min(b;2*h)=\min(2,5;5)=2,5$  m

Zatížená plocha  $A=2,7*2,5=6,75$  m<sup>2</sup>

Výpočet součinitele vnějšího tlaku  $c_{pe}$  (pro  $1$  m<sup>2</sup> <  $A=6,75$  m<sup>2</sup> <  $10$  m<sup>2</sup>):

Hodnoty součinitelů vnějšího tlaku  $c_{pe,1}$  a  $c_{pe,10}$  jsou dle tabulky pro příslušné parametry konstrukce ve všech oblastech (F; G; H) stejné. Uvažujeme tedy zatíženou plochu jako jednu nerozdělenou oblast. [13]

$$c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10})\log A$$

$$c_{pe} = 0,7 - (0,7 - 0,7)\log 7,74 = +0,7$$

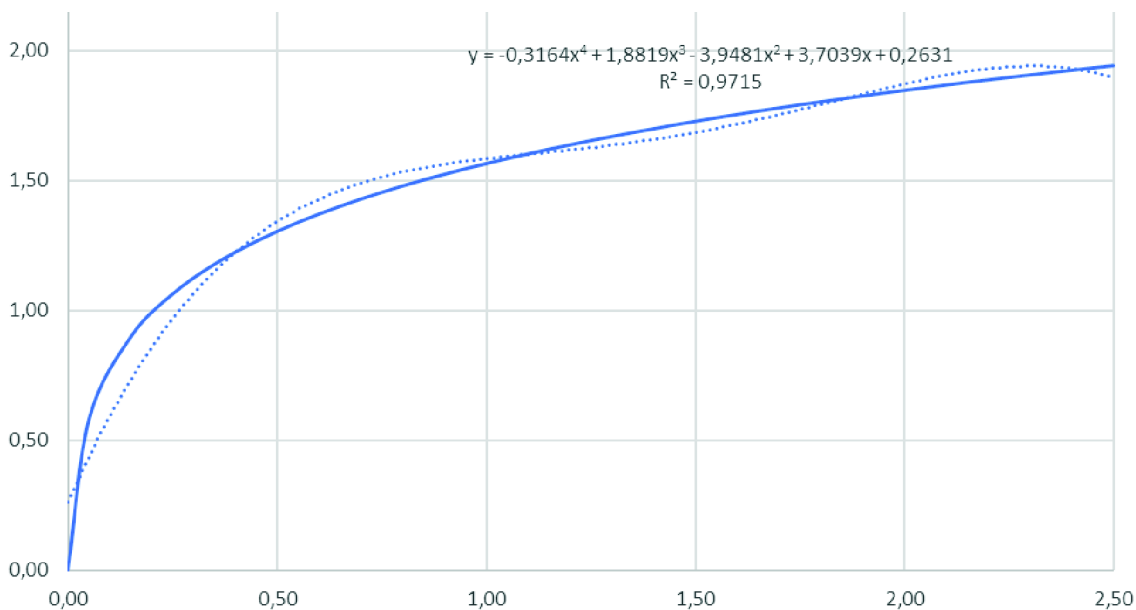
Výpočet tlaku větru  $w_e$  na konstrukci:

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe}$$

$$w_e = 2,775 * 0,7 = \mathbf{1,942\ kN/m^2}$$

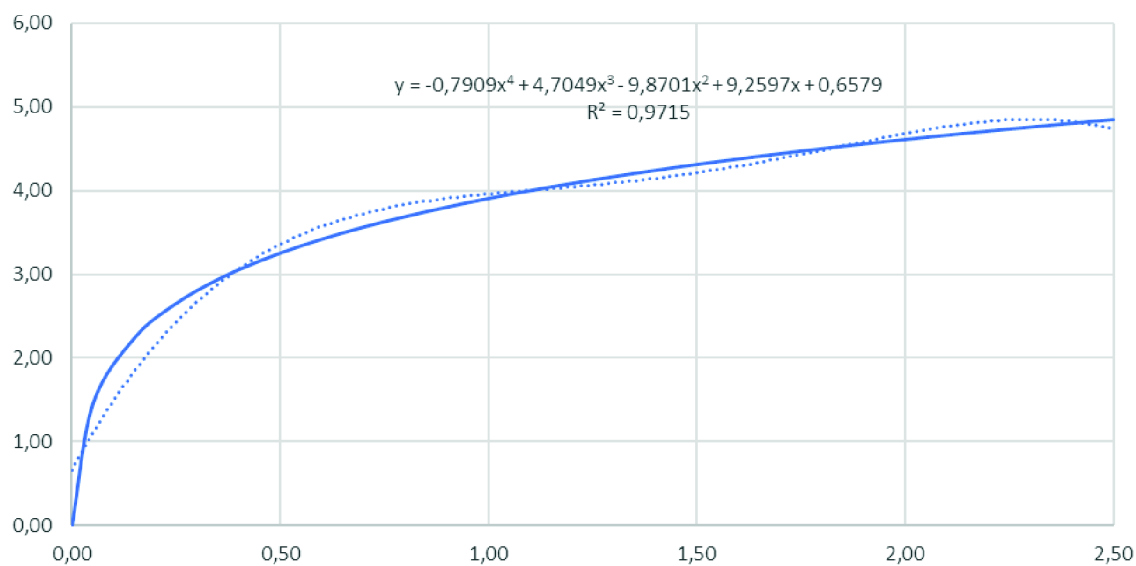
### 5.3.3 Síly od větru na konstrukci

Zatížení se uvažuje proměnné po výšce konstrukce. Předchozí výpočet tlaku větru na konstrukci je proveden stejným způsobem, a to po intervalech o velikosti 0,1 m, kde proměnná je referenční výška. Průběh tlaku větru v závislosti na výšce konstrukce je znázorněn na obrázku 62.



Obrázek 62-Tlak [kN/m²] v závislosti na výšce [m]

Tlaky jsou nahrazeny silami přenásobením hodnot zatěžovací šířkou  $b = 2,5$  m. Průběh zatížení konstrukce [kN/m] v závislosti na výšce je ilustrován na obrázku 63.



Obrázek 63- Zatížení [kN/m] v závislosti na výšce [m]

Síla působící na konstrukci  $F_w$  [kN] je rovna ploše pod křivkou. Křivka je funkce, která aproximuje průběh zatížení po výšce. Jedná se o polynom 4. stupně tvaru:

$$y = -7909x^4 + 4,7049x^3 - 9,8701x^2 + 9,2597x + 0,6579$$

Síla  $F_w$  se spočte jako určitý integrál v mezích od  $x=0$  m do  $x=2,5$  m z funkce  $y$ .

$$\begin{aligned} F_w &= \int_{x=0}^{x=2,5} y dx = \int_{x=0}^{x=2,5} -0,7909x^4 + 4,7049x^3 - 9,8701x^2 + 9,2597x + \\ &0,6579 dx = \left[ -0,7909 \frac{x^5}{5} + 4,7049 \frac{x^4}{4} - 9,8701 \frac{x^3}{3} + 9,2597 \frac{x^2}{2} + 0,6579x \right]_{x=0}^{x=2,5} = \\ &-0,7909 \frac{2,5^5}{5} + 4,7049 \frac{2,5^4}{4} - 9,8701 \frac{2,5^3}{3} + 9,2597 \frac{2,5^2}{2} + 0,6579 * 2,5. \end{aligned}$$

$$F_w = \mathbf{9,674 \text{ kN}}$$

Zatížení se neuvažuje konstantní a výslednice  $F_w$  působí v těžišti zatěžovacího obrazce.

Poloha těžiště zatěžovacího obrazce se vypočítá určitým integrálem.

Pro posouzení překlopení konstrukce je poloha těžiště  $T$ :

$$T = [x; y] = \left[ \frac{S_y}{m}; \frac{S_x}{m} \right]$$

kde

$x$  je x-ová souřadnice polohy těžiště

$y$  je y-ová souřadnice polohy těžiště

$S_x$  statický moment křivočarého lichoběžníku k ose  $x$

$$S_x = \frac{1}{2} * \int_a^b f^2(x) dx$$

$S_y$  je statický moment křivočarého lichoběžníku k ose  $y$

$$S_y = \int_a^b x * (f(x)) dx$$

$m$  je hmotnost při uvažování jednotkové hustoty

$$m = \int_a^b f(x) dx$$

Stanoví se x-ová souřadnice těžiště zatěžovacího obrazce, která je ramenem  $r_{Fw}$ , na kterém působí výsledná síla  $F_w$

Výpočet ramene  $r_{Fw}$ :

$$r_{Fw} = x = \frac{S_y}{m}$$

$$\begin{aligned} S_y &= \int_a^b x * (f(x)) dx = \int_{x=0}^{x=2,5} (x * y) dx = \int_{x=0}^{x=2,5} (x * (-0,7909x^4 + 4,7049x^3 - \\ &9,8701x^2 + 9,2597x + 0,6579)) dx = \int_{x=0}^{x=2,5} (-0,7909x^5 + 4,7049x^4 - 9,8701x^3 + \\ &9,2597x^2 + 0,6579x) dx = \left[ -0,7909 \frac{x^6}{6} + 4,7049 \frac{x^5}{5} - 9,8701 \frac{x^4}{4} + 9,2597 \frac{x^3}{3} + \right. \\ &0,6579 \frac{x^2}{2} \left. \right]_{x=0}^{x=2,5} = -0,7909 \frac{2,5^6}{6} + 4,7049 \frac{2,5^5}{5} - 9,8701 \frac{2,5^4}{4} + 9,2597 \frac{2,5^3}{3} + 0,6579 * \\ &\frac{2,5^2}{2} = 13,607 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \int_a^b f(x) dx = \int_{x=0}^{x=2,5} y dx = \int_{x=0}^{x=2,5} -0,7909x^4 + 4,7049x^3 - 9,8701x^2 + \\ &9,2597x + 0,6579 dx = F_w = 9,674 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

$$r_{Fw} = x = \frac{S_y}{m} = \frac{13,607}{9,674} = \mathbf{1,407 \text{ m}}$$



## 5.1 Zatížení při manipulaci

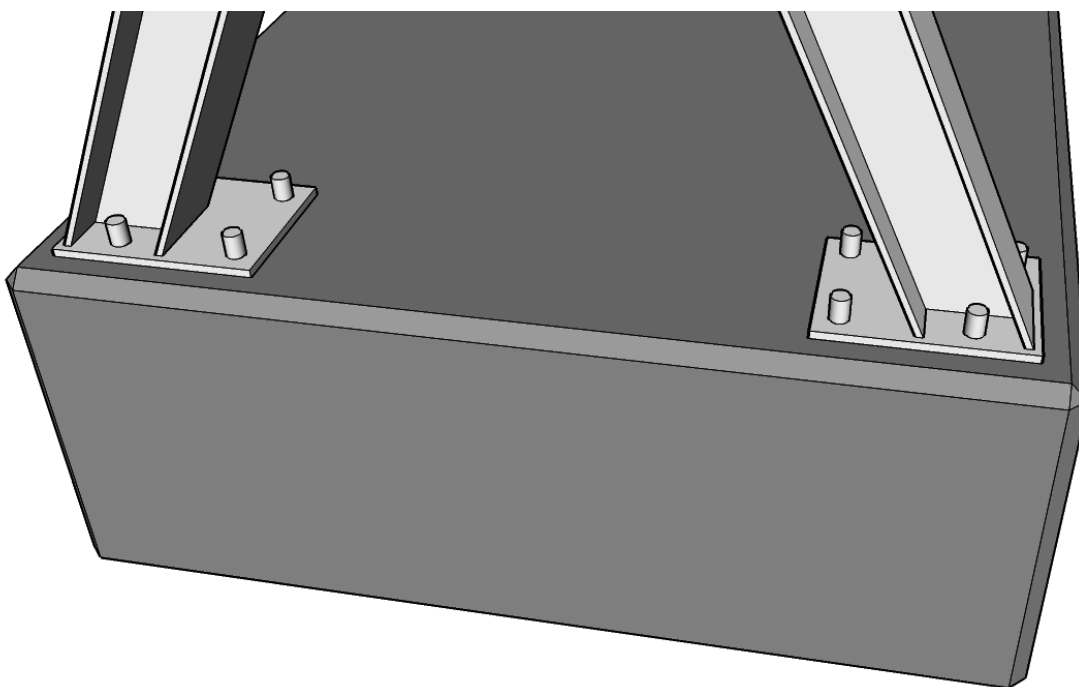
Zatížení se dělí na zatížení při manipulaci pomocí auta s hydraulickou rukou a na zatížení při manipulaci paletizačními vidlemi.

### Manipulace autem s hydraulickou rukou

Při této manipulaci je konstrukce deflektoru uvázána dvěma textilními kurtami za krajní vazby ocelové části konstrukce. Následně je zdvižena hydraulickou rukou a naložena na auto. Během manipulace vlastní tíha betonového bloku namáhá tahem spoje, které spojují ocelovou část s tížným blokem. Pro posouzení montážních spojů a kotvení je konzervativně uvažováno, že tíhu bloku přenáší pouze spoje (kotevní závitové tyče), které spojují krajní vazby. Manipulace a montážní spojení konstrukce deflektoru jsou ilustrovány v kapitole 2.3 na obrázcích 49 až 51.

### Výpočet zatížení

Tíha bloku  $G=3000$  kg. Při tíhovém zrychlení  $g=10,0$  m/s<sup>2</sup> je  $G=30$  kN. Uvažuje se, že tíhu přenáší čtyři spoje. Zatížení na jeden spoj, který je tvořen čtyřmi závitovými tyčemi M20 je tedy  $G/4$ . Každý spoj tedy přenáší sílu o charakteristické hodnotě  $F_{hr,k}=7,5$  kN.



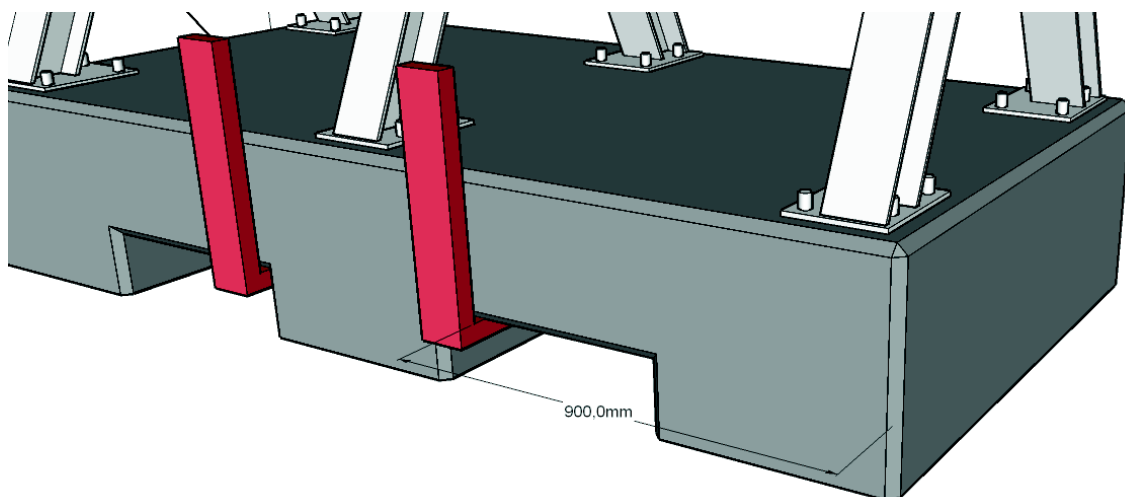
Obrázek 64-Dva krajní namáhané spoje

### Manipulace paletizačními vidlemi

Při manipulaci vidlemi je blok namáhán během zdvihání ohybem v průřezu, který je v místě polohy paletizačních vidlí. Síla (moment) způsobující namáhání bude tvořena tíhou přečnívající části bloku a tíhou části ocelové konstrukce. Konzervativně uvažujeme sílu, jako tíhu poloviny konstrukce  $F_{pv,k}=G/2=15$  kN, která působí na největším možném rameni  $r_{pv}=0,9$ m.

Charakteristická hodnota momentu působícího v průřezu ve vzdálenosti 0,9 m od kraje bloku se spočte jako:

$$M_{pv,k} = F_{pv,k} * r_{pv} = 15 * 0,9 = 13,5 \text{ kNm}$$

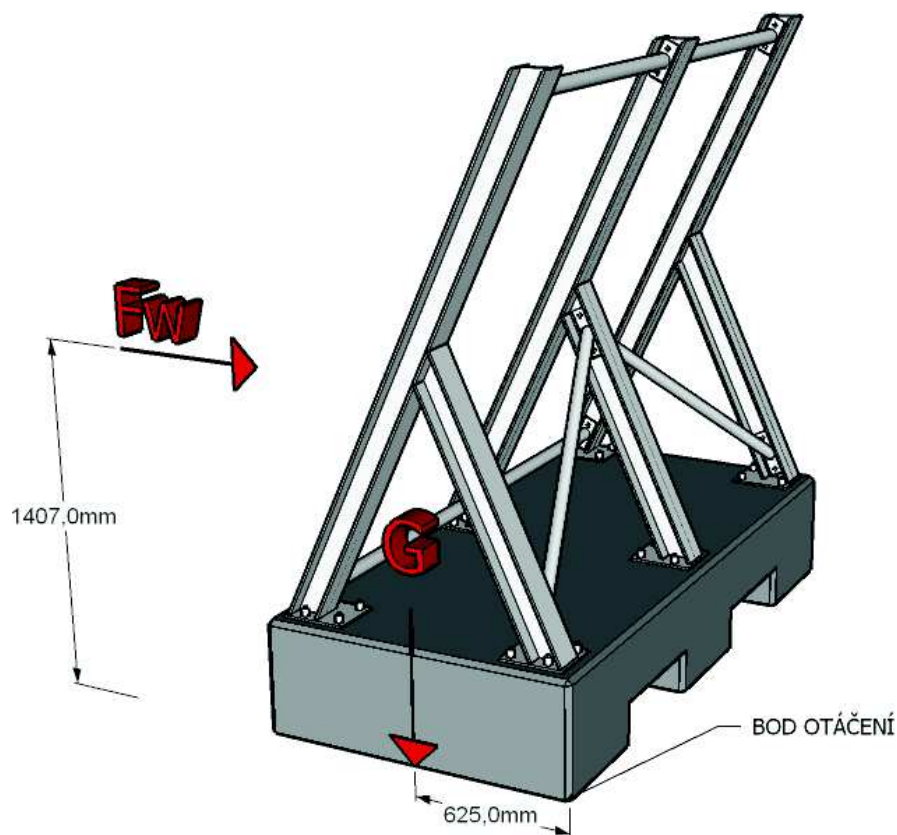


Obrázek 65-Poloha paletizačních vidlí v nejméně příznivé poloze

## 5.2 Posouzení

### 5.2.1 Překlopení (MSÚ)

Destabilizující moment, který způsobuje překlopení konstrukce, představuje výsledná síla  $F_{w,k}$  působící na rameni  $r_{Fw}$ . Stabilizační moment je reprezentován tíhou celé konstrukce  $G = 34$  kN, působící v polovině šířky konstrukce  $b = 1,25$  m. Poloha těžiště konstrukce ve směru její šířky je přibližně v jejím středu. Součinitel spolehlivosti proměnného zatížení  $\gamma_Q = 1,5$ .



Obrázek 66-Síly působící na konstrukci

Posouzení:

$$M_{DESTAB} \leq M_{STAB}$$

$$\gamma_Q * F_w * r_{Fw} \leq G * \frac{b}{2}$$

$$1,5 * 9,674 * 1,407 \leq 34 * \frac{1,25}{2}$$

$$M_{DESTAB} = 20,417 \text{ kNm} \leq M_{STAB} = 21,25 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 5.2.2 Posunutí (MSP)

Síla, která způsobuje posunutí, je výsledná síla  $F_{w,k}$ . Velikost síly vzdorující posunu  $G_T$  se stanoví z tíhy konstrukce  $G$  se násobením součinitelem statického tření  $\eta_s$ . Pro odhad hodnoty  $\eta_s$  se využije stávající konstrukce deflektoru z Letiště Václava Havla v Praze, která je popsána na straně 25. Její tíha je  $G_{stav} = 20$  kN. Díky tomu, že je známa geometrie, se spočte zatížení stejným způsobem jako v kapitole 5.3.3. Výsledná síla působící na tuto konstrukci je  $F_{stav} = 5,734$  kN. Maximální hodnota součinitele tření na stávající konstrukci se odhadne jako

$$\eta_{stav,max} = \frac{F_{stav}}{G_{stav}} = \frac{5,734}{20} = 0,287$$

U nově navržené konstrukce je na spodním povrchu tížného bloku provedeno zdrsnění, protiskluzná úprava povrchu zdrsněním rýžovým koštětem (striáž). Návrhová hodnota součinitele tření se zvolí  $\eta_{s,d}=0,3$ .



Obrázek 67-„Striáž“ na spodním povrchu tížného bloku

### Posouzení

$$F_{POS} \leq F_{STAB}$$

$$F_{w,k} \leq G_T$$

$$F_{w,k} \leq G * \eta_{s,d}$$

$$9,674 \leq 34 * 0,3$$

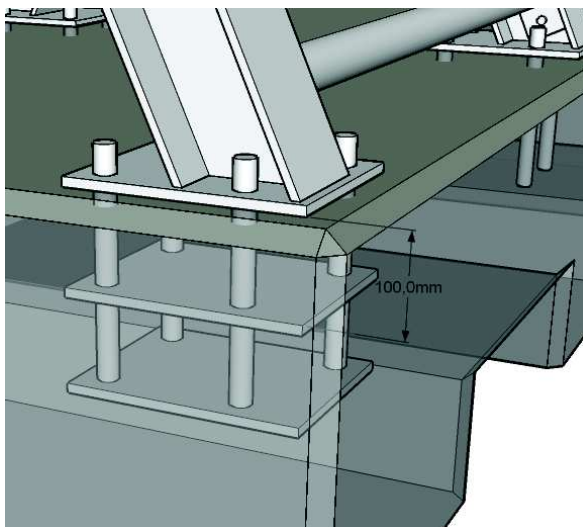
$$F_{POS} = 9,674 \text{ kN} \leq F_{STAB} = 10,2 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 5.2.3 Kotvení

Návrhová hodnota síly na jedno kotvení

$$F_{hr,d} = \gamma_G * F_{hr,k} = 1,35 * 7,5 = 10,125 \text{ kN}$$

Kotvení je řešeno čtyřmi závitovými tyčemi M20, které jsou společně s plechy o rozměrech 5 x 250 x 20 mm zabetonovány. Uspořádání ukotvení je zobrazeno na obrázku 68. Kotvy jsou převážně namáhány tahem. Posoudí se tahová únosnost materiálu skupiny a porušení vytržením betonového kužele.



Obrázek 68-Uspořádání skupiny kotev a plechů v místě jednoho spoje

#### Posouzení kotvy v tahu

$$F_{hr,d} \leq F_{t,Rd}$$

Únosnost v tahu skupiny čtyř kotev se stanoví jako

$$F_{t,Rd} = 4 * \frac{0,9 * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 4 * \frac{0,9 * 245 * 400}{1,25} = 282,24 \text{ kN}$$

kde:

$A_s$  je plocha jádra jedné závitové tyče ( $A_s = 245 \text{ mm}^2$ )

$f_{ub}$  mez pevnosti materiálu závitové tyče (pro třídu 4.6 je  $f_{ub} = 400 \text{ MPa}$ )

$\gamma_{M2}$  dílčí součinitel spolehlivosti pro šrouby ( $\gamma_{M2} = 1,25$ )

$$F_{hr,d} = 10,125 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 282,24 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Porušení vytržením betonového kužele [14]

Je uvažován beton bez trhlin třídy C 30/37. Charakteristická pevnost v tlaku na krychlích o hraně 150 mm je  $f_{c,cube} = 30$  MPa. Efektivní kotevní hloubka  $h_{ef}$  je zobrazena na obrázku 68 ( $h_{ef} = 100$  mm).

### Tvar betonového kužele a jeho teoretická čtvercová základna



Obrázek 69-Rozměry betonového kužele [14]

Strana čtverce základny je kritická osová vzdálenost

$$s_{cr,N} = 3 * h_{ef} = 3 * 100 = 300 \text{ mm}$$

Kritická vzdálenost kotvy od okraje betonu

$$c_{cr,N} = 1,5 * h_{ef} = 1,5 * 100 = 150 \text{ mm}$$

Plocha základny:  $A_{0,c,N} = (s_{cr,N})^2$

$$A^0_{c,N} = (s_{cr,N})^2 = (300)^2 = 90\,000 \text{ mm}^2$$

### Základní charakteristická únosnost kužele v betonu bez trhlin

$$N^0_{Rk,c} = 10,1 * f_{ck,cube} * h_{ef}^{1,5} = 10,1 * 30 * 100^{1,5} = 303\,000 \text{ N}$$

### Návrhová únosnost betonového kužele

Redukce únosnosti kuželu:

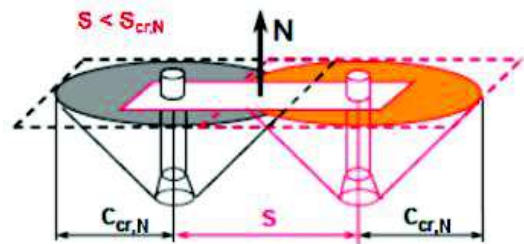
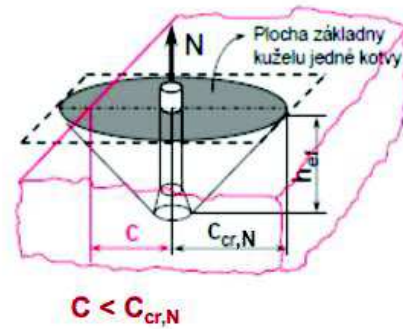
$$N_{Rk,c} = N^0_{Rk,c} * \frac{A_{c,N}}{A^0_{c,N}} * \psi_{s,N} * \psi_{re,N} * \psi_{ec,N} * \psi_{ucr,N}$$

Plocha redukované základny pro kotvy u okraje betonu

$$A_{c,N} = s_{cr,N} * (c + c_{cr,N})$$

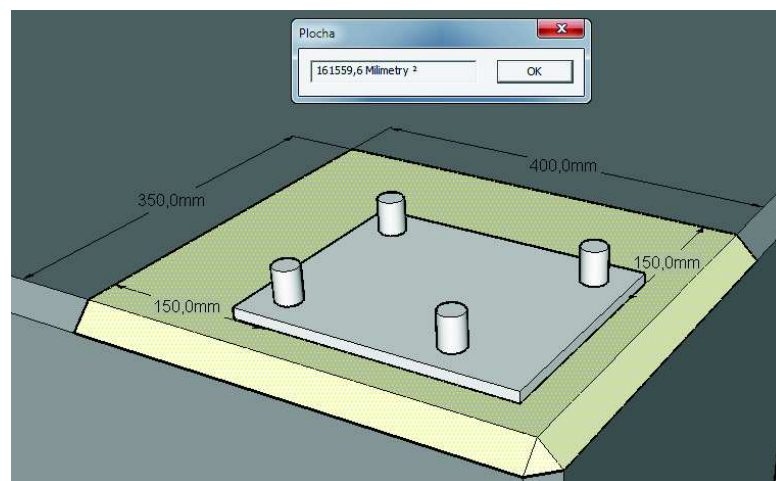
Plocha redukované základny kotev ležících blíže u sebe

$$A_{c,N} = s_{cr,N} * (2c_{cr,N} + s)$$



Obrázek 70-Plochy redukovaných základen pro dvě různé polohy kotev [14]

Pro navrženou skupinu kotev je redukovaná plocha znázorněna na obrázku 71. Její velikost je  $A_{c,N} = 161559,6 \text{ mm}^2$



Obrázek 71-Plocha redukované základny

Součinitel  $\psi_{s,N}$  uvažuje nepravidelnosti v rozložení napětí v betonu vlivem okrajů dílce. V případě kotvení s několika vzdálenostmi od okraje se do rovnice dosadí nejmenší vzdálenost od okraje  $c$  ( $c = 58 \text{ mm}$ ):

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 * \frac{c}{c_{cr,N}} = 0,7 + 0,3 * \frac{58}{150} = 0,816 \leq 1,0$$

Součinitel drolení povrchu  $\psi_{re,N}$  uvažuje účinek výztuže:

$$\psi_{re,N} = 0,5 + \frac{h_{ef}}{200} = 0,5 + \frac{100}{200} = 1,0 \leq 1,0$$

Součinitel  $\psi_{ec,N}$  uvažuje účinek skupiny, působí-li na jednotlivé kotvy skupiny různá zatížení tahem. Pro zjednodušení se uvažuje, že na jednotlivé kotvy působí stejná zatížení tahem

$$\psi_{ec,N} = 1,0 \leq 1,0$$

Součinitel  $\psi_{ucr,N}$  uvažuje polohu kotvení v betonu s trhlinami nebo bez trhlin.  $\psi_{ucr,N}=1,4$  pro kotvení v betonu bez trhlin.

Návrhová únosnost betonového kužele

$$\begin{aligned} N_{Rk,c} &= N_{Rk,c}^0 * \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} * \psi_{s,N} * \psi_{re,N} * \psi_{ec,N} * \psi_{ucr,N} \\ &= 303000 * \frac{161559,6}{90000} * 0,816 * 1,0 * 1,0 * 1,4 = 621371,2 \text{ N} \\ &= 621,37 \text{ kN} \end{aligned}$$

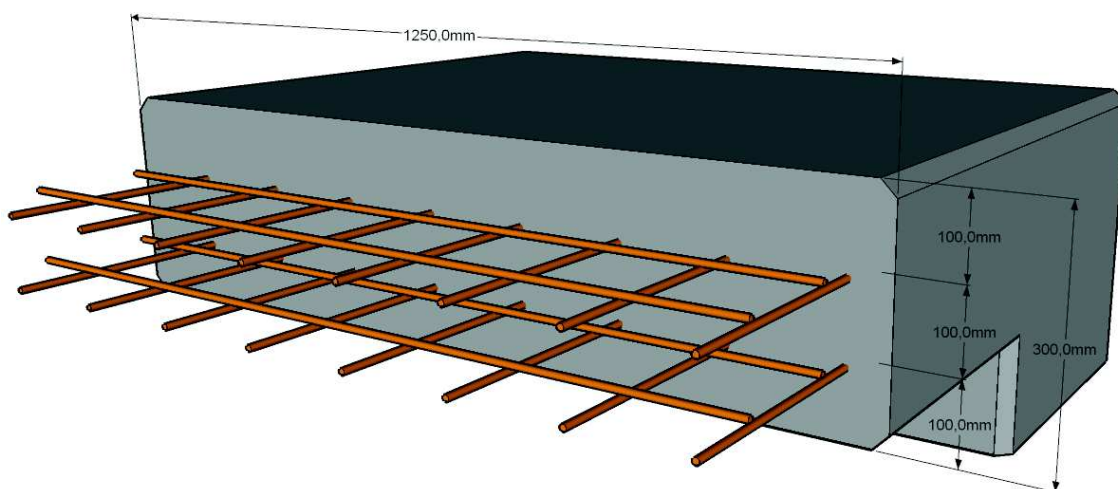
K porušení vytržením betonového kužele nedojde

$$N_{Rk,c} = 621,37 \text{ kN} \geq F_{hr,d} = 10,125 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



## 5.2.4 Vyztužení

Posuzovaný průřez má šířku  $b = 1\,250\text{ mm}$  a výšku  $h = 300\text{ mm}$  (zkosení hran se neuvažuje). Vyztuž tvoří kari síť  $8 \times 150 \times 150\text{ mm}$  ve dvou řadách s minimálním krytím  $50\text{ mm}$ . V jedné řadě je 8 profilů. Vyztužení a rozměry posuzovaného průřezu jsou ilustrovány na obrázku 72.



Obrázek 72-Vyztužení bloku

Návrhová pevnost betonu v tlaku

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20,0\text{ MPa}$$

Návrhová mez kluzu betonářské výztuže

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,8\text{ MPa}$$

Plocha výztuže

$$A_s = n * \frac{\pi * d^2}{4} = 16 * \frac{\pi * 8^2}{4} = 804,2\text{ mm}^2$$

Rozmístění výztuže je symetrické, proto je účinná výška průřezu stejná jako polovina výšky  $h$

$$d = \frac{h}{2} = \frac{300}{2} = 150\text{ mm}$$

Pro návrh a ověření výztuže se předpokládá rovnoměrné rozdělení napětí po 0,8 - násobku výšky tlačené oblasti  $x$ . Výška tlačené oblasti  $x$  se stanoví z podmínky rovnováhy sil

$$x = \frac{A_s * f_{yd}}{0,8 * f_{cd} * b} = \frac{804,2 * 434,8}{0,8 * 20 * 1250} = 17,5 \text{ mm}$$

Ověření výšky tlačené části

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{17,5}{150} = 0,117 \leq \xi_{max} = 0,45$$

Rameno vnitřních sil

$$z = d - 0,4 * x = 150 - 0,4 * 17,5 = 143 \text{ mm}$$

Moment únosnosti

$$M_{Rd} = A_s * z * f_{yd} = 804,2 * 143 * 434,8 = 50 \text{ kNm}$$

**Posouzení**

Návrhový moment

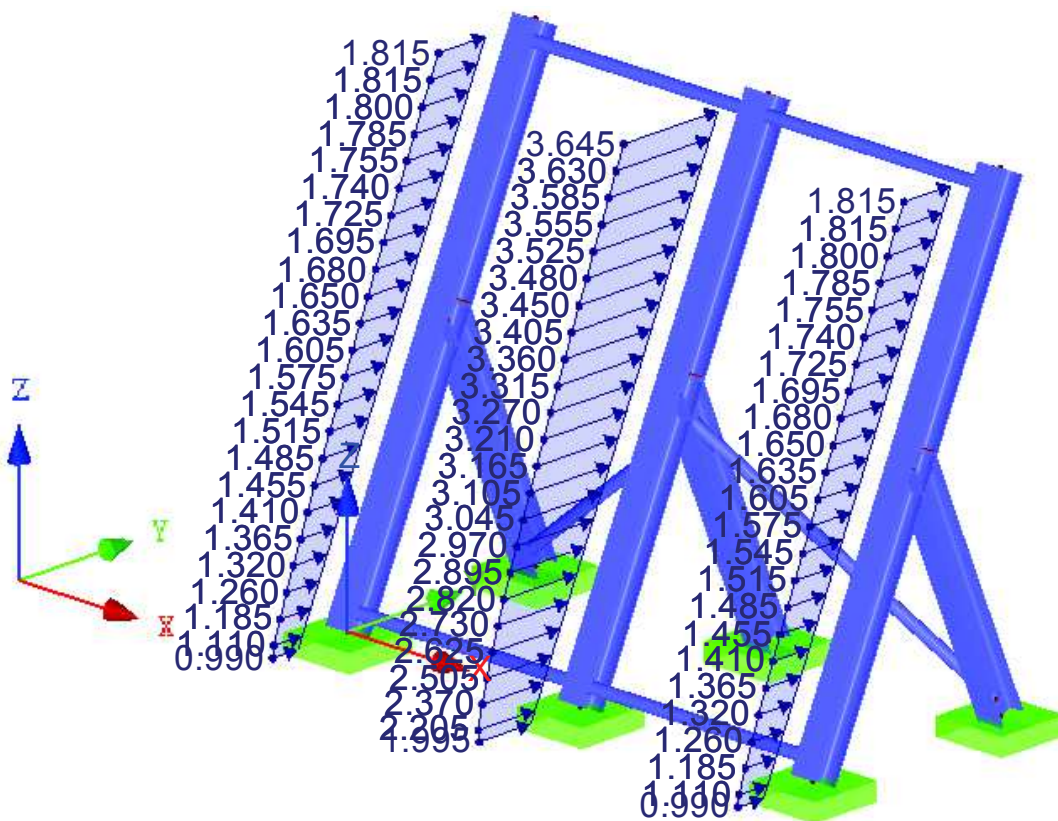
$$M_{pv,d} = \gamma_G * M_{pv,k} = 1,35 * 13,5 = 18,225 \text{ kNm}$$

$$M_{pv,d} = 18,225 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 50 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 5.2.5 Pruty

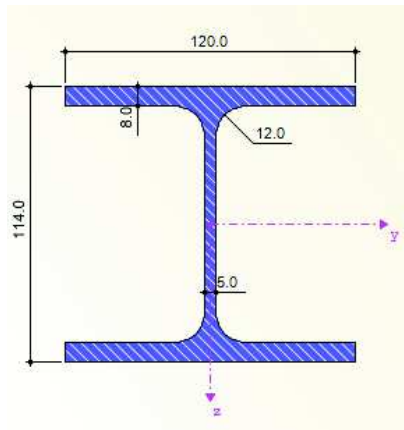
Pruty jsou posuzovány na zatížení větrem stanovené v kapitole 5.3.3. Zatěžovací šířka krajní vazby je uvažována jako  $\frac{1}{4}$  délky konstrukce odražeče. Prostřední vazba přebírá polovinu z celkového tlaku na konstrukci. Návrhové vnitřní síly jsou převzaty z výpočetního programu Dlubal RFEM.

Posuzován bude prostřední prut s průřezem HEA 120 a diagonála s průřezem RO 51x4. Pruty jsou z oceli třídy pevnosti S 235.



Obrázek 73-Výpočetní model a proměnné zatížení konstrukce [kN/m]

### Průřez 1 – HEA 120



Obrázek 74-Průřez 1

### Průřezové a materiálové charakteristiky

$$W_{pl,y}=119500 \text{ mm}^3 \quad f_y=235 \text{ MPa}$$

### Klasifikace průřezu – třída 1

### Návrhové vnitřní síly

$$N_{Ed}=1,222 \text{ (TAH)}$$

$$V_{z,Ed}=3,429 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed}=1,828 \text{ kNm}$$

Průřez je obecně namáhán ohybem, smykem a osovou silou. Průřezy byly navrženy z konstrukčního hlediska. Nebyly dimenzovány na využití, proto bude výpočet zjednodušen na posouzení jednoduchého ohybu. Dílčí součinitel spolehlivosti pro únosnost průřezů  $\gamma_{M0}=1,0$ .

### Posouzení

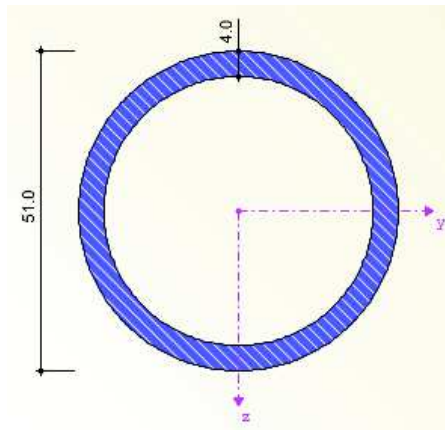
$$M_{pl,Rd} \geq M_{Ed}$$

Návrhová únosnost v ohybu pro průřez třídy 1

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{119500 * 235}{1,0} = 28,083 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 28,083 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 1,828 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

**Průřez 2 – RO 51 x 4**



Obrázek 75-Průřez 2

Průřezové a materiálové charakteristiky

$$A=590,6 \text{ mm}^2 \quad f_y=235 \text{ MPa}$$

Klasifikace průřezu – třída 1

Návrhové vnitřní síly

$$N_{Ed}=0,753 \text{ (TLAK)}$$

Průřez je namáhán prostým tlakem.

Posouzení

$$N_{c,Rd} \geq N_{Ed}$$

Návrhová únosnost průřezu v prostém tlaku

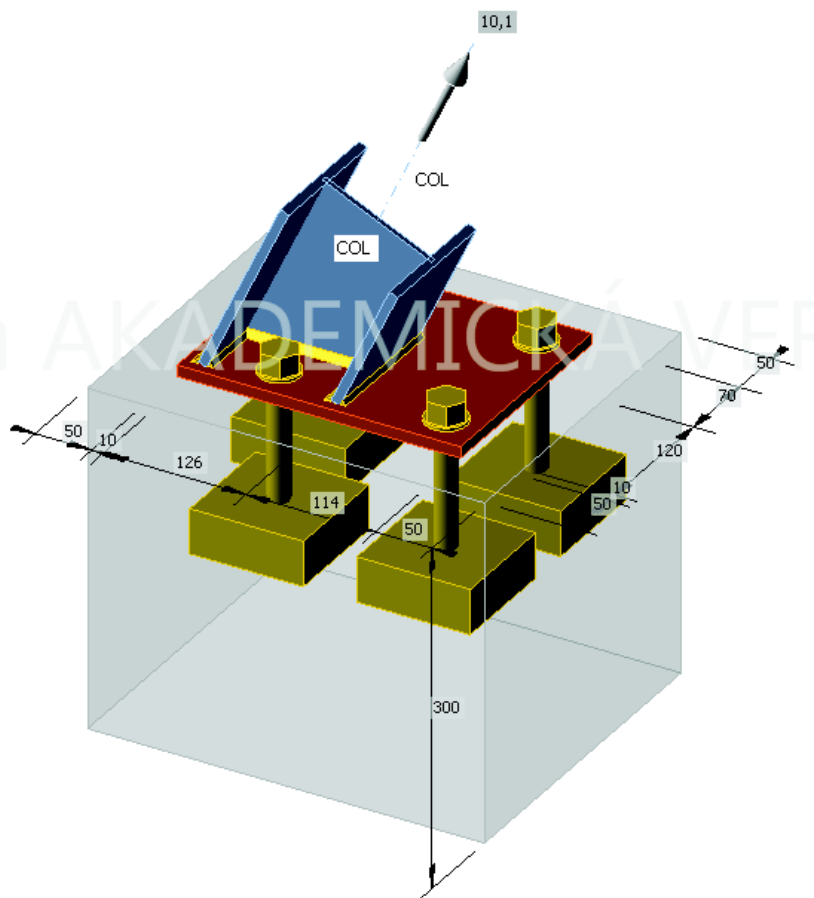
$$N_{c,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{590,6 * 235}{1,0} = 138,8 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 138,8 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 0,753 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

## 5.2.6 Styčníky

Posouzení se týká pouze nejvíce namáhaného styčníku, kterým je montážní přípoj ocelové části konstrukce deflektoru k tížnému bloku. Ostatní styčníky konstrukce jsou zatíženy zanedbatelnými silami. Posouzení styčníku je provedeno v programu IDEA Statica Connection. Styčník je posuzován na návrhovou tahovou sílu působící při zatížení manipulací

$$F_{hr,d} = 10,125 \text{ kN}$$



Obrázek 76-Výpočetní model a zatížení styčníku včetně kotvení v IDEA Statica

### Posudek z programu

Výpočet	✓	100,0%
Plechý	✓	0,0 < 5%
Kotvy	✓	51,9 < 100%
Svary	✓	4,6 < 100%

Obrázek 77-Výsledek posouzení komponent styčníku

## 6 Shrnutí

Pilotní konstrukce mobilního deflektoru výtokových plynů byla realizována, viz příloha A. Dopoledne 17.12.2018 byla vyzkoušena motorovou zkouškou letadla FINNAIR Airbus A320 OH-LXI na návrhové zatížení, kterým byly výtokové plyny letadla o rychlosti 160 km/h. Konstrukce se rozkolíbala a postupně překloupila.

Experiment a jeho vyhodnocení je popsáno v příloze B. Důvod poddimenzování účinků výfukových plynů je zřejmě nekonzervativně uvažované zatížení. Cílem návrhu bylo dosáhnout co nejmenší hmotnosti a šířky konstrukce 1,25 m, proto aby se vedle sebe daly podélně na přepravní auto umístit 2 deflektory. Šířka se ukázala malá. Pro výsledný výrobek ji bude třeba zvětšit. Druhé verze deflektoru je navržena v příloze C.

## Literatura

- [1] „Jet blast deflector,“ Říjen 2018. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Jet\\_blast\\_deflector](https://en.wikipedia.org/wiki/Jet_blast_deflector). [Přístup získán Listopad 2018].
- [2] E. Brown, J. Robertson a G. Shafer, „Blast fence for jet engines“. USA Patent US2726830A, 13 Prosinec 1955.
- [3] H. Hayden, „Jet engine exhaust deflector“. USA Patent US2826382A, 3 Březen 1958.
- [4] S. Lynn, „Blast deflecting fence“. USA Patent US4471924A, 18 Září 1984.
- [5] S. Lynn, „Split exhaust jet blast deflector fence“. USA Patent US5429324A, 4 Červen 1995.
- [6] BDI, „[www.blastdeflectors.com](http://www.blastdeflectors.com),“ Blast Deflectors Inc., [Online]. Available: <http://www.blastdeflectors.com/about-bdi/>. [Přístup získán Prosinec 2018].
- [7] BDI, „[www.blastdeflectors.com](http://www.blastdeflectors.com),“ Blast Deflectors Inc., [Online]. Available: <http://www.blastdeflectors.com/jet-blast-deflectors/>. [Přístup získán Prosinec 2018].
- [8] Blastwall, „[www.blastwall.com](http://www.blastwall.com),“ Blastwall Ltd., [Online]. Available: <https://www.blastwall.com/about-blastwall.shtml>. [Přístup získán Prosinec 2018].
- [9] Blast-Ex, „<http://www.blast-ex.com/>,“ Blast-Ex, [Online]. Available: <http://www.blast-ex.com/about/>. [Přístup získán Prosinec 2018].
- [10] Blast-Ex, „[www.blast-ex.com](http://www.blast-ex.com),“ Blast-Ex, [Online]. Available: <http://www.blast-ex.com/jet-blast-deflectors-in-the-desert-implementing-jet->



blast-protection-at-muscat-international-airport/. [Přístup získán Prosinec 2018].

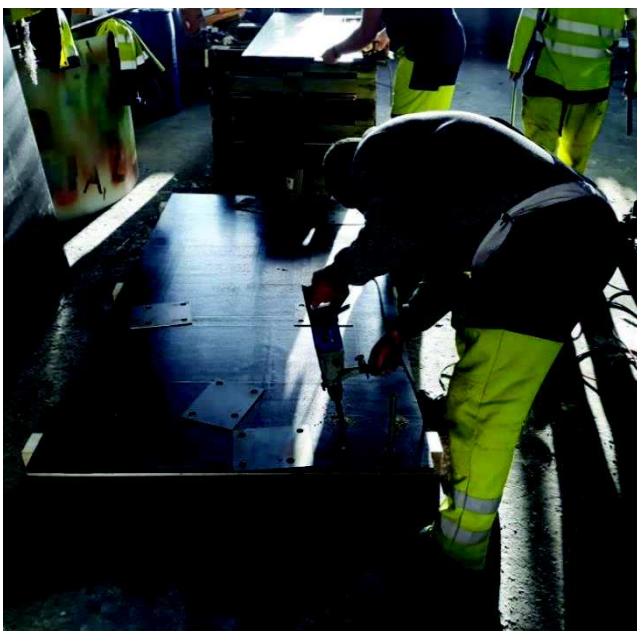
- [11] Vális, „[http://www.valis-inov.com/index\\_en.html](http://www.valis-inov.com/index_en.html),“ Vális- Engenharia e Inovação, S.A., [Online]. Available: [http://www.valis-inov.com/jetblast-deflectors\\_en.html](http://www.valis-inov.com/jetblast-deflectors_en.html). [Přístup získán Prosinec 2018].
- [12] „[www.master-builders-solutions.basf.cz](http://www.master-builders-solutions.basf.cz),“ [Online]. Available: <https://www.master-builders-solutions.basf.cz/cs-cz/products/masterfiber/masterfiber-230>. [Přístup získán Prosinec 2018].
- [13] ČSN EN 1991-1-5 Eurokód 1- Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem, 2004.
- [14] ETAG 001-Kovové kotvy dobetonu-Příloha C: Metody návrhu kotvení, 1997.
- [15] S. Lynn, „Jet blast deflector fence“. USA Patent US5127609A, 7 Červenec 1992.
- [16] „[g.cz](http://g.cz),“ [Online]. Available: <https://g.cz/13-nehod-mcdonnellu-douglas-dc-10/#>. [Přístup získán Listopad 2018].
- [17] „[www.brochardhandling.com/](http://www.brochardhandling.com/),“ [Online]. Available: <https://www.brochardhandling.com/>. [Přístup získán Listopad 2018].
- [18] „[www.perfolinea.cz](http://www.perfolinea.cz),“ [Online]. Available: <https://www.perfolinea.cz/tahokov/technicke-podminky-dodavek.html>. [Přístup získán Prosinec 2018].
- [19] „<http://www.travelweek.ca>,“ Travelweek Group, [Online]. Available: <http://www.travelweek.ca/news/less-noise-hopefully-billy-bishop-airport/>. [Přístup získán Prosinec 2018].

## Příloha A – Výroba deflektoru

Proces realizace je dokumentován na následujících fotografiích.

### Výroba tížného bloku

#### Výroba bednění



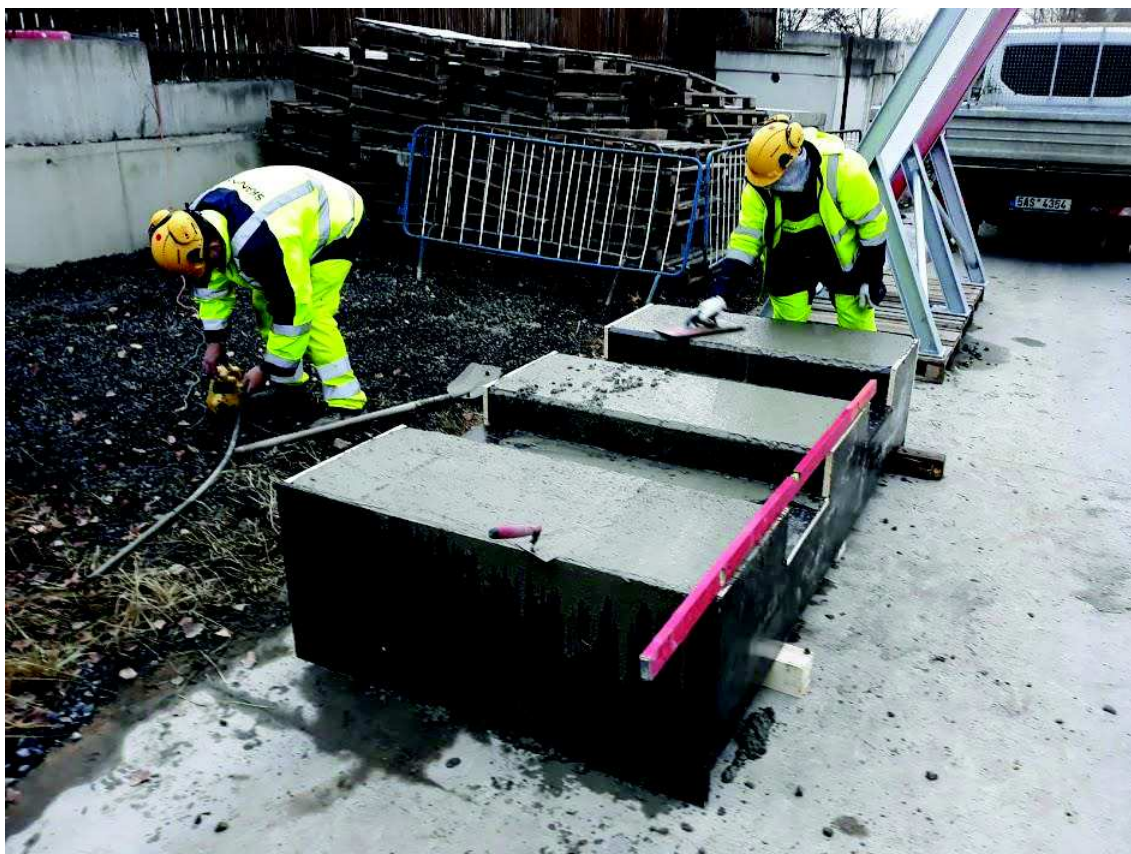




## Betonáž



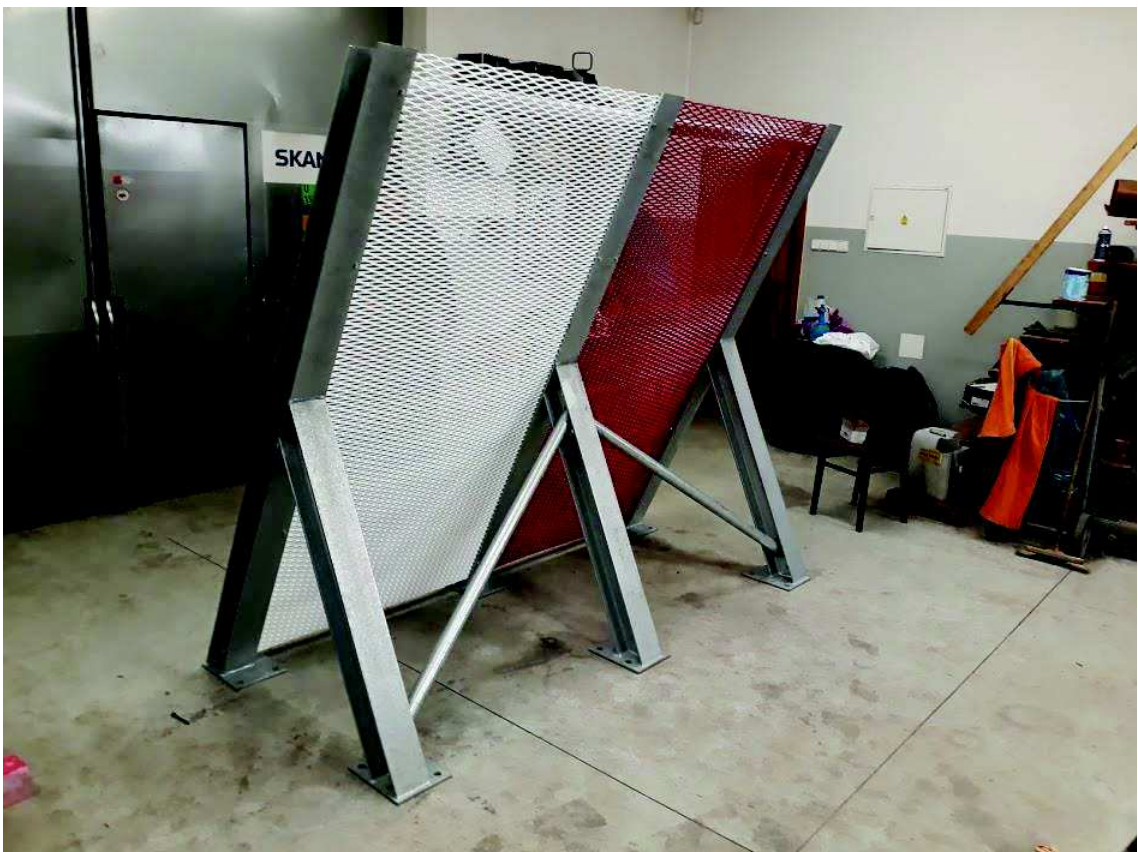




## Výroba ocelové konstrukce







## Příloha B – Experimentální ověření

### Popis experimentu

Konstrukce pilotního deflektoru byla umístěna na polohu vytyčenou geodetem, tak, aby se nacházela v místě za motorem letadla, kde budou výtokové plyny při plném výkonu motorů dosahovat návrhové rychlosti 160 km/h. Za nový deflektor byly umístěny po stranách dva 1,7 m vysoké deflektory vypůjčené od Letiště Praha. Ty sloužily jako ochrana strunových tenzometrů, měřících průhyb tahokovu, proto kdyby se nová konstrukce překlopila. Letadlo, na kterém byla motorová zkouška v rámci experimentu prováděna byl FINNAIR Airbus A320 OH-LXI.

### Průběh zatěžování

Pro zahřátí se výkon motorů nejdříve dostal do pojezdového režimu. Podle obalových křivek vykreslovaných letadlovým softwarem se pro tento režim měl odražeč nacházet v oblasti, kde se výtokové plyny pohybují rychlostí 80 km/h. Po zahřátí motorů se jejich výkon začal postupně zvyšovat až do doby, kdy měl dosáhnout vzletového režimu (160 km/h). Těsně před dosažením maximálního výkonu (cca při 80 %) se ale konstrukce nového deflektoru začala kolíbat a překlopila se na nižší deflektory ležící po stranách, které se účinkem výtokových plynů posunuly. Výkon motorů byl v tom okamžiku zeslaben, aby nedošlo k žádným škodám na měřících přístrojích.

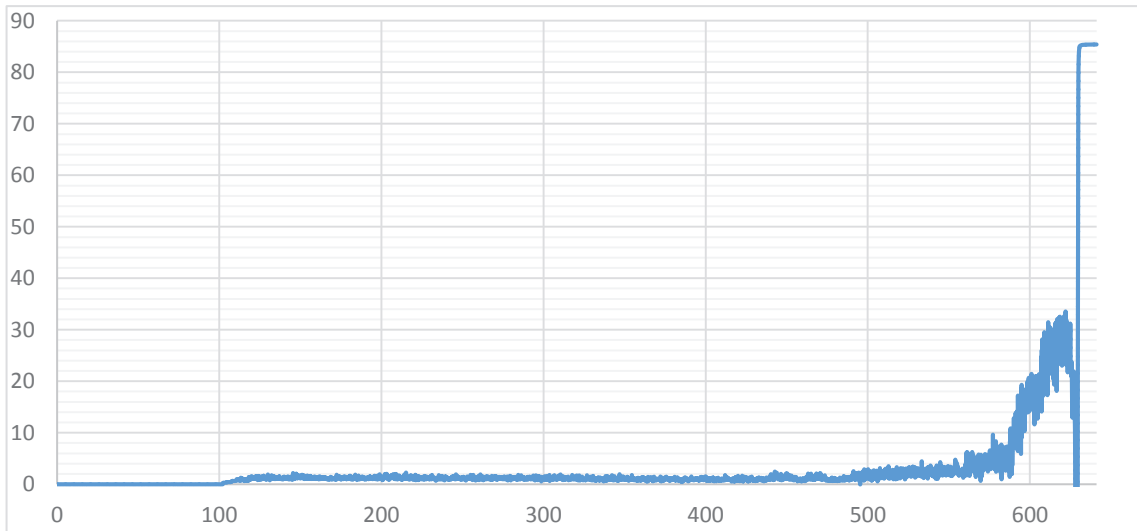
### Vyhodnocení

Konstrukce nevydržela zatížení, na které byla navržena. Lze předpokládat, že výtokové plyny se blížily návrhové rychlosti 160 km/h. Důvodem, proč se konstrukce překlopila může být nesprávně uvažované zatížení větrem. Zatížení bylo uvažováno po výšce konstrukce proměnné. Kdyby bylo zatížení uvažováno jako konstantní po výšce, rovnice pro posouzení překlopení by vypadala takto

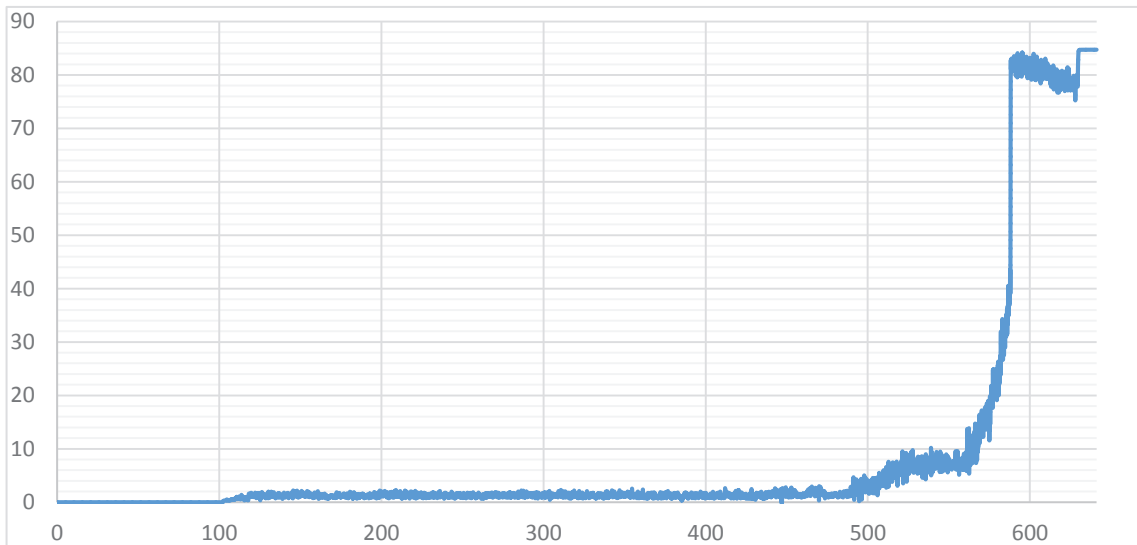
$$M_{DESTAB} = 25,36 \text{ kNm} \not\leq M_{STAB} = 21,25 \text{ kNm} \rightarrow \text{NEVYHOVUJE}$$

Měření průhybu konstrukce během zatížení se nezdařilo, protože struna tenzometru kmitala vlivem rychle proudícího vzduchu. Naměřené hodnoty jsou zkreslené. Na obrázcích níže jsou grafy na jejichž vodorovné ose je čas (s) a na svislé průhyb tahokovu (mm). Hodnoty průhybu byly měřeny na jednom poli tahokovu, v horní a spodní části.

#### Výsledek měření horního tenzometru



#### Výsledek měření spodního tenzometru



Následující fotografie a obrázky dokumentují výše zmíněný popis a průběh experimentu.



*Umístění odražečů na vytyčené místo*



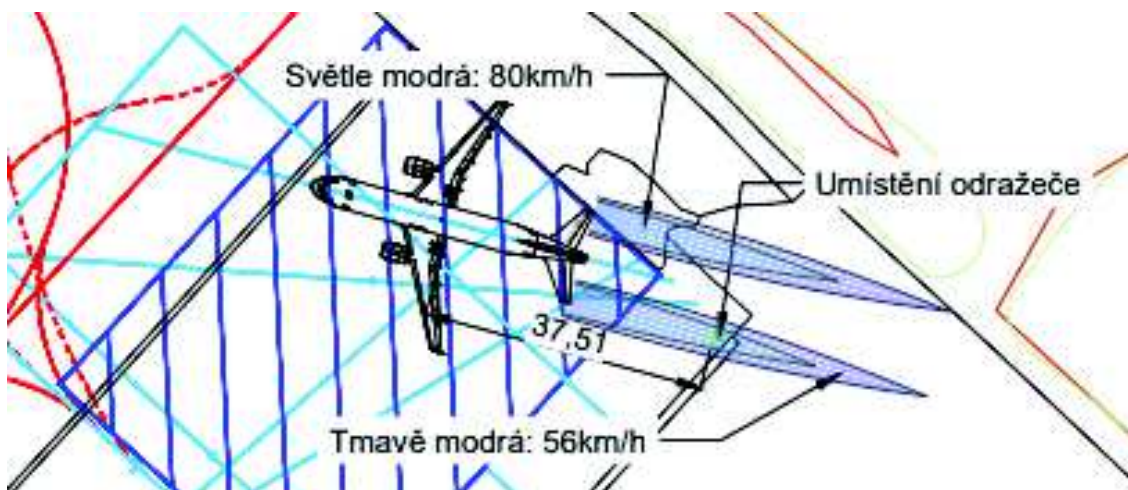
*Nový odražeč je umístěn přímo v ose motoru, tak aby byl vystaven největšímu zatížení výtakovými plyny*



*Instalace strunových tenzometrů měřících průhyb tahokovu ve dvou místech*



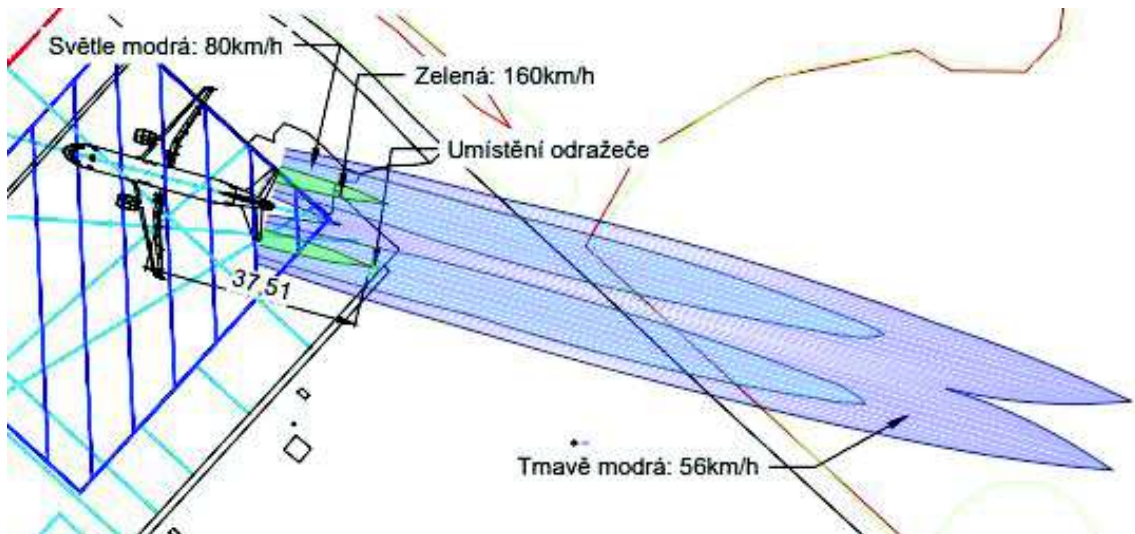
*Letadlo FINNAIR Airbus A320 OH-LXI, na kterém byla prováděna motorová zkouška*



*Situace výtokových plynů a umístění odražeče pro pojezdový režim letadla*



*Fotografie před spuštěním motorů do pojezdového režimu*



*Situace výtokových plynů a umístění odražeče pro vzletový režim letadla*



*Fotografie během zesilování výkonu motorů do vzletového režimu*

## Příloha C – Druhá verze deflektoru

Dále je popsán návrh nového deflektoru, který splní podmínku pro překlopení, podle vyhodnocení experimentu v příloze B. Ocelová konstrukce se zachová. Změní se pouze šířka tížného bloku. Při zvětšení šířky bloku na 1,5 m a zachování všech ostatních rozměrů pak vychází rovnice pro posouzení překlopení

$$M_{DESTAB} = 25,36 \text{ kNm} \leq M_{STAB} = 29,86 \text{ kNm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Je třeba ale ještě posoudit posunutí konstrukce

$$F_{POS} \leq F_{STAB}$$

$$F_{w,k} \leq G_T$$

$$F_{w,k} \leq G * \eta_{s,d}$$

$$13,575 \leq 39,8 * 0,3$$

$$F_{POS} = 13,575 \text{ kN} \not\leq F_{STAB} = 11,94 \text{ kN} \rightarrow \text{NEVYHOVUJE}$$

Posouzení na posunutí nevyhovuje. Součinitel tření  $\eta_{s,d} = 0,3$  je konzervativní odhad.

Pro  $\eta_{s,d} = 0,35$ , konstrukce by na posunutí vyhověla.

$$13,575 \leq 39,8 * 0,35$$

$$F_{POS} = 13,575 \text{ kN} \leq F_{STAB} = 13,93 \text{ kN} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Ověření proběhne experimentálně. Další možností je zvětšení tíhy konstrukce, což je nevhodné z hlediska přepravy a manipulace.