

**Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera**

Přístroj pro ofukování letové dráhy

Bc. Lukáš Tláskal

**Diplomová práce
2011**

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš TLÁSKAL**
Osobní číslo: **D09664**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**
Název tématu: **Přístroj pro ofukování letové dráhy**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

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

1. Úvod
2. Návrh konstrukčního řešení
3. Nosné zařízení přístroje
4. Způsob obsluhy
5. Závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

**Z.Horák,F.Kupka,V.Šindelář.:Technická Fysika.Státní nakladatelství
technické literatury,Praha1960.**

**Profikompresory [online]. Poslední revize 15.12.2010 [cit.2010-12-15]. Do-
stupné z: <http://www.profikompresory.cz>**

**Trysky pro průmysl [online]. Poslední revize 15.12.2010 [cit.2010-12-15].
Dostupné z:<http://www.akp.cz/trysky/>**

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Gabriela Koreisová, Ph.D.

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce: **25. února 2011**

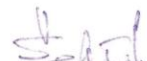
Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2011**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



Ing. Ivo Šefčík, Ph.D.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. února 2011

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jménem subjektu je Univerzita Pardubice oprávněna ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 10. 5. 2011

Bc. Lukáš Tláškal

ANOTACE

Diplomová práce je zaměřena na konstrukční návrh zařízení určeného k čištění letové dráhy. Práce se zabývá čištěním letové dráhy pomocí proudu stlačeného vzduchu. Konstrukční řešení je modelováno pomocí programu ProEngineer. Součástí práce jsou výrobní výkresy některých součástí přístroje.

KLÍČOVÁ SLOVA

kompresor, vzduchové trysky, vzduchová lišta, vysokotlaká hadice, letová dráha, letiště

TITLE

Device for blowing the runway

ANNOTATION

The thesis is focused on the engineering design of an equipment intended for the airport runway cleaning. This work is concerned with the runway cleaning through the use of compressed air. The machine design is modeled by ProEngineer software. There are also manufacturing drawings of certain parts of the device inside the thesis.

KEYWORDS

Compressor, air nozzles, air strip, high pressure hose, runway, airport

Poděkování

Tímto způsobem bych chtěl poděkovat svojí vedoucí diplomové práce, paní Ing. Gabriele Koreisové, Ph.D. za její cenné rady, které mi při zpracování této práce velmi pomohly.

Dále bych chtěl touto cestou poděkovat svým rodičům, kteří mě při studiích podporovali a byli mi oporou.

OBSAH

ÚVOD	8
1 Současný způsob čištění	9
2 Návrh konstrukčního řešení	12
2.1 Volba vzorku nečistoty	12
2.1.1 Výpočet minimální potřebné rychlosti vzduchu k uvedení vzorku do pohybu..	12
2.2 Výběr vhodné trysky	13
2.3 Výběr kompresoru	16
2.3.1 Kompresory	17
2.3.2 Možné varianty kompresorů.....	22
2.4 Konstrukce lišty s tryskami	24
2.4.1 Pevnostní kontrola lišty na namáhání vnitřním přetlakem.....	26
3 Nosné zařízení přístroje	27
3.1 Konstrukce podvozku	27
3.1.1 Výběr kol.....	28
3.1.2 Uchycení lišty s tryskami k rámu	30
3.1.3 Sběrač nečistot.....	30
3.1.4 Oj a připojovací zařízení	32
4 Kontrolní výpočty	34
4.1 Stanovení potřebné tažné síly	34
4.2 Výpočet tahového napětí v oji.....	34
4.3 Výpočet ohybového napětí v oji.....	35
4.4 Výpočet tahového napětí v tažném oku	35
4.5 Výpočet ohybového napětí v připojovacím zařízení	36
4.6 Napětí v rámu	37
4.7 Výpočet ohybového napětí v nábojích kol.....	38
4.8 Výpočet napětí v zavěšení transportního kola.....	39
5 Pevnostní kontrola v programu ProEngineer	40
5.1 Metoda konečných prvků	40
5.2 Pevnostní kontrola napětí pomocí MKP	42
6 Způsob obsluhy	44
6.1 Sestavení přístroje.....	44
6.2 Seřízení lišty s tryskami	44
6.3 Čištění sběrače nečistot a způsob jízdy	45
6.4 Hlavní rozměry přístroje	46
ZÁVĚR	47
SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	48
SEZNAM OBRÁZKŮ	49
SEZNAM TABULEK.....	50
SEZNAM ZKRATEK.....	51
SEZNAM PŘÍLOH.....	52

ÚVOD

Úkolem této práce je navrhnout konstrukční řešení přístroje, který bude sloužit pro čištění letové dráhy od drobných nečistot. Pro bezpečný a plynulý provoz letiště je nutné, aby byla letová dráha zbavena nečistot, jako jsou například šrouby, kamínky a listí. Pokud by se stalo, že by proudový motor nasál tyto nečistoty, mohl by se velmi vážně poškodit. Nemluvě o tom, že by se poškození motoru mohlo projevit až při letu letadla. Následná oprava je finančně velmi náročná, a proto je výhodnější investovat finanční prostředky do čistoty letové dráhy. Bezpečnost provozu je jeden z nejdůležitějších parametrů, a proto je třeba poruchám zapříčiněným jakýmkoliv způsobem předcházet. Oproti silničnímu provozu jsou následky havárie letadla mnohem tragičtější a nákladnější. Bude-li tedy letová dráha zbavena všech nečistot, bude tím ovlivněna i bezpečnost letového provozu.

Jak z názvu práce vyplývá, čištění letové dráhy by mělo být prováděno pomocí proudu vzduchu (ofuku). Pro dodržení tohoto požadavku je nutné zvolit zdroj dodávky vzduchu. V podstatě se nabízejí pouze dva způsoby, jakými lze dráhu ofukovat. První a v praxi více rozšířený způsob je ofukování letové dráhy pomocí ventilátoru. Jedná se o způsob využívající ustáleného proudění velkého množství vzduchu. Většinou se jako ventilátor používá proudový motor, který je připevněný na nákladním automobilu. Nevýhodou tohoto řešení však je, že nečistoty zůstávají na okrajích letové dráhy. Ventilátor nečistoty sice z dráhy odstraní, ale neposbírá je. Pak stačí pouhé zafoukání větru nebo jedno přistání letadla a nečistoty se opět objeví na dráze. Druhý způsob využívá energie stlačeného vzduchu. Zde se jako zdroj vzduchu používá kompresor. Jedná se tedy o způsob čištění pomocí stlačeného vzduchu. Pomocí trysek lze proud vzduchu přesně směřovat do požadovaných míst. Díky tomu je možné nečistoty odfukovat do sběrače. Tím odpadá problém se sběrem nečistot. Proto se následující konstrukční řešení ubírá směrem ofukování letové dráhy pomocí kompresoru.

Tato práce je vyhotovena ve spolupráci s firmou Letecké služby Hradec Králové a.s., která je provozovatelem letiště v Hradci Králové.

1 Současný způsob čištění

Údržba tak velké plochy jakou je letová dráha, si vyžaduje specifické přístroje. Tomu odpovídají i pořizovací náklady těchto přístrojů, které se pohybují od osmi do patnácti milionů korun. Ukázka přístroje je na obrázku č. 1.

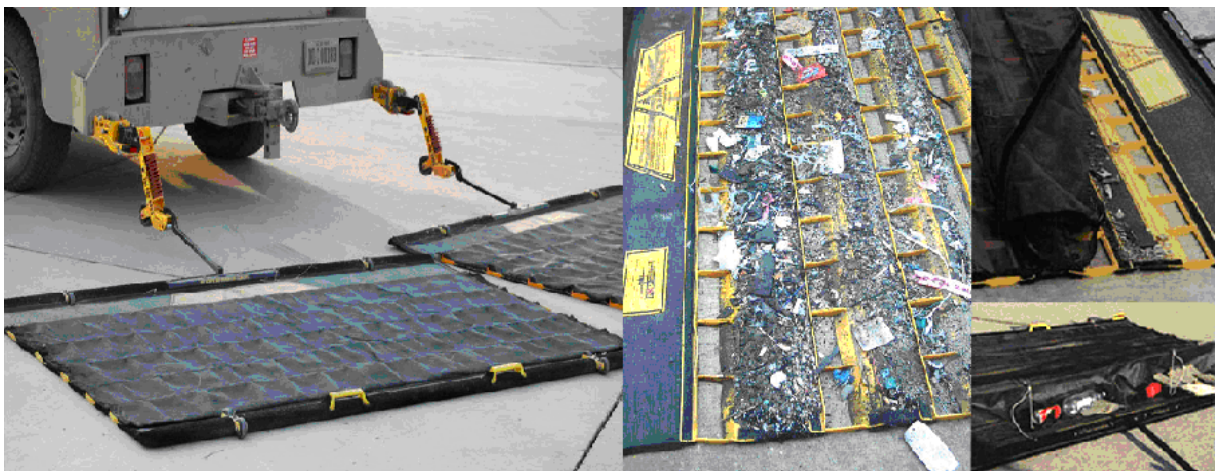


Obrázek 1. Přístroj pro čištění letové dráhy od firmy BOSCHUNG

Zdroj: [1]

Pro malá letiště je tedy velice obtížné si tyto přístroje pořídit. Proto se většinou používají různé samosběrné zametače, které jsou konstruované jako přívěs za traktor. Na některých menších letištích se i dnes čistí letová dráha tím, že se vytvoří rojnice lidí, projdou celou letovou dráhu a nečistoty posbírají ručně.

Velmi zajímavou novinkou v odvětví čištění letových drah je sběrací rohož FOD BOSS. Rohož dokáže posbírat různé druhy nečistot, jako jsou šrouby, podložky, nýty, kameny, písek, atd. Výhodou této rohože je efektivní a velmi rychlé čištění. Další výhodou je také její nízká hmotnost, která je pouhých 40 kg. Rohož je tedy možné táhnout i za osobním automobilem. Jednotlivé rohože se dají spojovat do sebe a tím lze zajistit jejich široký záběr. Na povrchu rohože je prodyšná textilie, která zajišťuje, aby se nečistoty nedostávaly ven. Tato textilie propouští i vodu. Rohož lze tedy použít i na mokřem povrchu. Po skončení čištění se sejme vrchní textilie a nečistoty se jednoduše vyklepou ven. Tím je rohož připravena pro další použití. Rohož je vyobrazena na obrázku č. 2.



Obrázek 2. Sběrací rohož FOD BOSS

Zdroj: [2]

Letiště v Hradci Králové je vybaveno samosběrným zametačem. Záběr zametače je 2,6 m. Jako pohonnou jednotku používají tažné vozidlo Case IH 95 (obrázek č. 3), které má všestranné využití. Vozidlo je vybaveno transportními vidlemi. Používá se například pro posunování menších letadel po letové dráze, udržování zatravněné letecké dráhy nebo pro čištění betonové letové dráhy. Lze ho tedy použít i jako tažné vozidlo pro navrhovaný přístroj.



Obrázek 3. Tažné vozidlo Case IH 95

Sběrač (obrázek č. 4) je vybaven plastovým kartáčem. Na letišti v Hradci Králové mají i sběrač s ocelovým kartáčem, který používali dříve. Problém tohoto sběrače však byl, že z něho vypadávaly ocelové dráty, z nichž je kartáč tvořen. Proto přešli na používání sběrače s plastovým kartáčem. Jak je z obrázku vidět, nejedná se o žádný přístroj speciálně vyvinutý pro používání na letišti. Tyto sběrače jsou běžně používány na pozemních komunikacích.



Obrázek 4. Samosběrný zametač

2 Návrh konstrukčního řešení

Pro správný konstrukční návrh je nejprve třeba stanovit jaké nečistoty je třeba z letové dráhy odstranit. Je to velice důležitý parametr pro návrh potřebného výkonu vzduchového zařízení.

2.1 Volba vzorku nečistoty

Jako vzorek nečistoty, kterou je třeba pomocí proudu vzduchu odstranit z letové dráhy byl zvolen křemen o průměru 0,01 m a měrné hmotnosti $2600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

2.1.1 Výpočet minimální potřebné rychlosti vzduchu k uvedení vzorku do pohybu

$$V = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot d^3 = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot 0,01^3 = 5,236 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$$

V – objem vzorku [m^3],

d – průměr vzorku [m].

$$m = \rho \cdot V = 2600 \cdot 5,236 \cdot 10^{-7} = 1,361 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

m – hmotnost vzorku [kg],

ρ – měrná hmotnost vzorku [kg/m^3].

$$F_n = m \cdot g = 1,361 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 = 13,3 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

F_n – normálová síla [N],

g – gravitační zrychlení [m/s^2].

$$F_t = F_n \cdot f = 13,3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 = 6,68 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

F_t – třecí síla (síla kterou je třeba překonat pro uvedení vzorku do pohybu) [N],

f – součinitel adheze (volím 0,5) [-].

$$F_x = \frac{1}{2} C_x \cdot S_\xi \cdot \rho_v \cdot v^2 [N]$$

F_x – síla odporu vzduchu [N],

C_x – součinitel odporu vzduchu (volím 0,4) [-],

S_ξ – čelní plocha vzorku [m^2],

ρ_v – měrná hmotnost vzduchu (volím $1,2047 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],

v – rychlost vzduchu [m/s].

$$S_\xi = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 0,005^2 = 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

r – poloměr vzorku [m].

Pro pohyb vzorku musí platit:

$$F_x \geq F_t$$

tedy

$$\frac{1}{2} C_x \cdot S_\xi \cdot \rho_v \cdot v^2 \geq F_n \cdot f$$

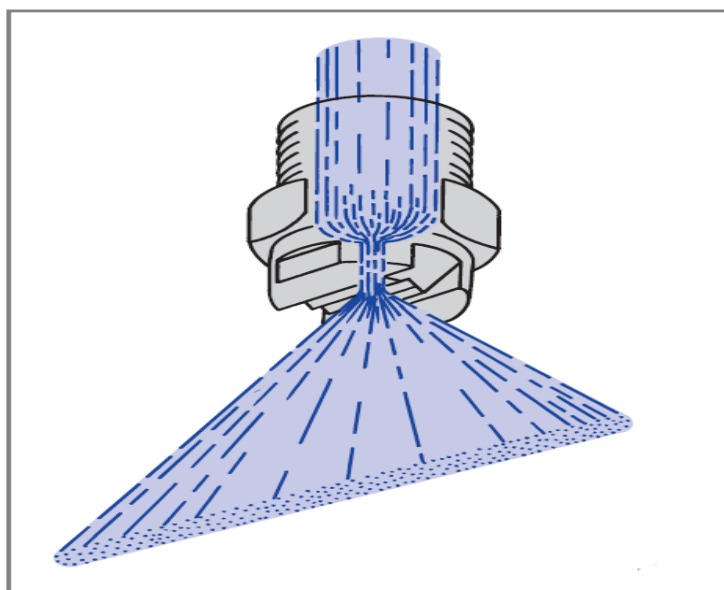
a z toho vyplývá že:

$$v \geq \sqrt{\frac{2 \cdot F_n \cdot f}{C_x \cdot S_\xi \cdot \rho_v}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 13,3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5}{0,4 \cdot 7,854 \cdot 10^{-5} \cdot 1,2047}} = 18,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Minimální rychlost vzduchu tedy volím $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

2.2 Výběr vhodné trysky

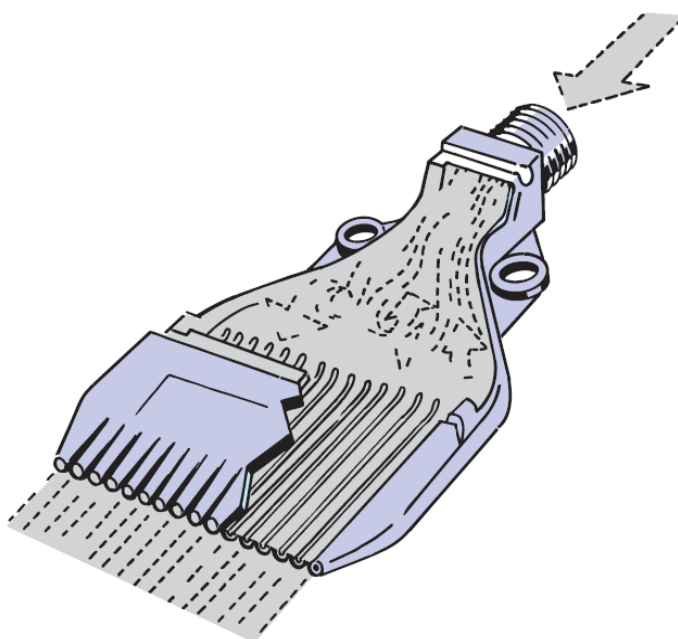
Na trhu je veliké množství trysek, které je možné využít při odstraňování nečistot proudem vzduchu. Výrobci nabízejí trysky různých velikostí a také trysky s různým druhem paprsku vzduchu. Pro výkonnější efekt je vhodnější použít trysky s plochým rozstříkem (obrázek č. 5). Paprsek vzduchu je lépe využít v celém svém záběru. Proto se výběr zúží o trysky, které mají tvar paprsku v podobě kužele nebo jiných prostorových útvarů. Dále jsou pro toto použití nevhodné trysky, které vytváří pouze úzký paprsek vzduchu. Jejich použití by bylo sice možné, ale bylo by jich zapotřebí velké množství, čímž by se velice zvedly náklady na konstrukci zařízení. Trysky s plochým rozstříkem jsou konstruovány s různým úhlem rozstříku, který se pohybuje od 20° do 120° . Je tedy třeba zvážit jak široký záběr je vhodný a podle toho určit i počet trysek umístěných vedle sebe.



Obrázek 5. Tryska s plochým paprskem

Zdroj: [3]

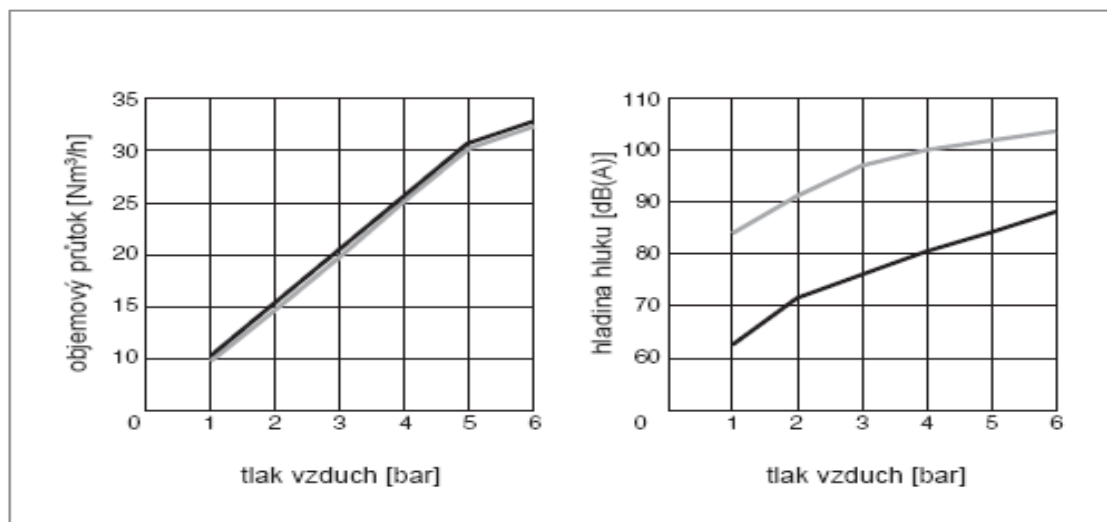
V zásadě lze každou trysku s plochým paprskem použít jak pro kapalinu, tak i pro stlačený vzduch. Nejlepšího efektu se však docílí použitím trysek speciálně vyvinutých pro stlačený vzduch. Speciálně vyvinuté trysky pro ofukování stlačeným vzduchem jsou vícekanálové trysky s plochým rozstříkem (obrázek č. 6). [3]



Obrázek 6. Vícekanálová tryška s plochým rozstříkem

Zdroj: [3]

V místech, kde je používán stlačený vzduch, dochází často ke vzniku vysokofrekvenčního „pískavého“ zvuku. Tento zvuk vzniká při výstupu vzduchu z trysky a následných turbulencích. Tyto vícekanálové trysky jsou konstruovány tak, aby k těmto nežádoucím jevům nedocházelo. Tím se sníží hladina hluku (obrázek č. 7). [3]



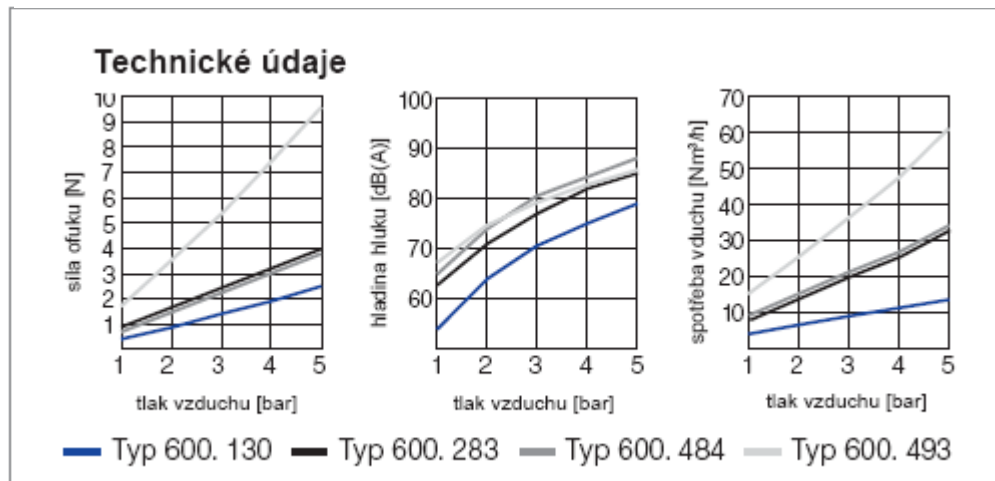
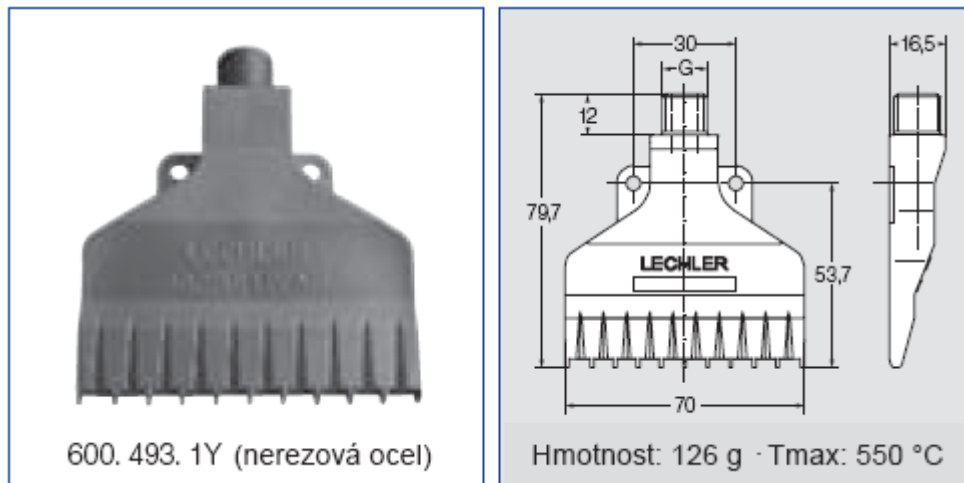
— Lechler vícekanálová tryska s kruhovým uspořádáním
 — původní jednootvorová tryska

Obrázek 7. Objemový průtok a hladina hluku trysek

Zdroj: [3]

Jejich konstrukce rozděluje vstupující paprsek vzduchu na několik malých vzduchových paprsků, které jsou cíleně směřovány. Nedochází proto k odklonění paprsku vzduchu a paprsek je mnohem lépe využit. Tímto cíleným směřováním paprsku se také dosáhne snížení spotřeby vzduchu. Pro případ ofukování nečistot je tento druh trysky lepší, než jednakanálová tryska s plochým rozstříkem vzduchu.

Výrobcem těchto trysek je firma LECHLER. Nejvhodnější tryskou ze sortimentu vícekanálových trysek je tedy tryska LECHLER typ 600.493.1Y.



Obrázek 8. Technické parametry trysek

Zdroj: [3]

Z uvážených technických údajů (obrázek č. 8) vyplývá, že již při tlaku vzduchu pouhých 1,5 bar bude síla ofuku 2,8 N, což je pro zvolený vzorek nečistoty mnohonásobně dostačující. Hladina hluku je 70 dB. Způsob napojení této trysky je pomocí normalizovaného závitu G ¼ A ISO 228. Také materiál trysky z nerezové oceli je pro venkovní použití velice vhodný.

2.3 Výběr kompresoru

Pro dodávku stlačeného vzduchu je jediným možným řešením kompresor poháněný spalovacím motorem. Na liště, která bude ofukovat letovou dráhu je rozmístěno 25 vzduchových trysek. Je tedy nutné vybrat kompresor, který bude dodávat dostatečné

množství stlačeného vzduchu pro všechny trysky. Stavbě a principu funkce kompresoru je věnována následující kapitola.

2.3.1 Kompresory

Archeologické nálezy dokládají, že využití stlačeného vzduchu bylo pravděpodobně známo již 3 000 let př. n. l. Babyloňané jej museli používat při výrobě bronzových nástrojů. Existují doklady o stlačování vzduchu ve starém Egyptě (asi 1 500 let př. n. l.). V Řecku Platon a Aristoteles kolem roku 400 až 350 př. n. l. sestrojili vzduch stlačující přístroje pro ozvučení píšťaly nebo pro dodávání vzduchu potápěčům. Využití stlačeného vzduchu, a tedy i existenci kompresorů, bychom mohli průběžně sledovat od těchto nejstarších dob přes středověk až k dnešku.

Průmyslová výroba kompresorů u nás začala ve 40. letech minulého století. Byly to firmy Breitfeld, Ruston, později i První brněnská strojírna, ČKD, První českomoravská továrna na stroje aj. K výrobě stlačeného vzduchu se používá kompresorů, které stlačují vzduch z tlaku okolního prostředí na požadovaný pracovní tlak. Jsou to:

- pístové stroje – kompresory poháněné přes spojku spalovacím motorem nebo elektromotorem,
- rotační stroje – turbokompresory, axiální kompresory.

Počet otáček dnešních pístových kompresorů bývá 300 až 3000 *ot/min*. S větším počtem otáček účinnost kompresorů klesá. Cena, váha a rozměry rychloběžných kompresorů jsou ovšem menší než u strojů pomaloběžných. Velké stroje obvykle mají nižší počet otáček než malé stroje, protože u nich spíše záleží na co největší dosažené účinnosti, než na nízkých pořizovacích nákladech. Nejmenší rozměry mají turbokompresory, které však také dosahují jen velmi malé účinnosti. Stroje na malé dopravované množství mají účinnost často jen 55 až 60 %. Turbokompresory na velká dopravovaná množství dosahují však dnes účinnosti až přes 80 % a axiální kompresory na velmi velké výkony dokonce přes 90 %. Přesto jsou pístové kompresory i při velké spotřebě stlačeného vzduchu vzhledem ke své účinnosti výhodnější než rotační kompresory. Významnou předností pístových kompresorů je i možnost plynulé regulace, při níž se proti rotačním kompresorům jejich pracovní účinnost ani při částečném zatížení zvláště nezhoršuje. Křídlové kompresory dosahují i při malém dopravovaném množství poměrně dobré účinnosti. Často se uplatňují též pro malou potřebu místa a malé kolísání tlaku v potrubí, kdežto malé turbokompresory a axiální kompresory jsou

hospodárné jen tam, kde mohou být jen poměrně krátkou dobu v činnosti, jako např. u nouzových agregátů nebo u strojů k vyrovnání krátkodobé špičkové spotřeby.

V kompresorech se mění mechanická nebo kinetická energie v energii tlakovou, při čemž se vyvíjí teplo. Kompresory jsou stroje tepelné, se zřetelem na změnu energie, která v nich probíhá, jsou to stroje konverzní.

Základní hodnoty charakterizující kompresor:

- tlakový poměr

$$\left(\pi = \frac{p_v}{p_s} = \frac{p_2}{p_1} \right), \text{ tj. poměr výtlačného tlaku } p_v (p_2) \text{ k tlaku sacímu } p_s (p_1) \quad (1)$$

- výkonnost (nasávaný objem plynu) $V [m^3 \text{ min}^{-1}]$
- příkon na hřídeli kompresoru $P_{ef} [W]$

Podle principu činnosti se kompresory dělí na dva základní typy:

- První typ kompresorů pracuje na objemovém principu, stlačení se dosahuje nasátím vzduchu do prostoru, který je pak uzavřen a zmenšován. Na tomto principu pracují např. pístové kompresory.
- Druhý typ je založen na rychlostním principu, kdy nasátý vzduch je urychlován a jeho kinetická energie je v difuzoru transformována na tlakovou energii. Kompresory, které pracují na tomto principu, se nazývají turbokompresory.

Rozdělení podle pracovního způsobu:

- Pro dodávku malých a středních množství plynu (do $6000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, někdy až $25000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) jsou vhodné kompresory objemové, u nichž se dosahuje stlačování periodickým zmenšováním objemu plynu v uzavřeném prostoru pohybem pístu nebo pružné stěny.
- Pro stlačování nasátého plynu v množství od $6000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (pro husté plyny i od menších množství) jsou účelné kompresory rychlostní (dynamické). Plynu se v nich udělí vysoká rychlost a jeho kinetická energie se pak v difuzoru přemění v energii tlakovou. Tyto stroje pracují s téměř ustáleným tokem.

- Pojem objemové kompresory se vztahuje na kompresory pístové, rotační a membránové.
- Pístový kompresor má písty konající přímočarý vratný pohyb
- Rotační kompresor má jeden či dva rotory otáčející se kolem osy rovnoběžné s osou válce.
- Membránový kompresor je vhodný jen pro malá množství plynu, nasává a stlačuje jej hydraulickým nebo mechanickým prohýbáním membrány, buď kovové, nebo z jiného pružného materiálu.
- Mezi rychlostní kompresory patří turbokompresory (kompresory lopatkové) a proudové kompresory (ejektory).
- Turbokompresory jsou, buď radiální (odstředivé), nebo axiální (osové). Plynu se v nich uděluje oběžnými lopatkami šroubového tvaru pohyb ve směru osy do difuzoru, kde se jeho kinetická energie přemění v energii tlakovou.
- V proudovém kompresoru se využívá tlakové energie páry (nejčastěji vodní) nebo vzduchu k udělení vysoce nadkritické rychlosti (řádově $1000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) v Lavalově hubici. Z ní vystupuje pracovní médium do směšovací komory, kdy se mísí se stlačovaným plynem a pak vstupuje do difuzoru, kde se kinetická energie směsi mění v energii tlakovou. Z difuzoru vystupuje směs s poměrně nízkou rychlostí do kondenzátoru, kde se zkapalněná pára odloučí od stlačeného plynu. V proudových vývěvách se při malých stlačovaných množstvích plynu používá místo pracovní páry voda a pak přístroj nemá Lavalovu hubici.

Rozdělení podle výtlačného tlaku:

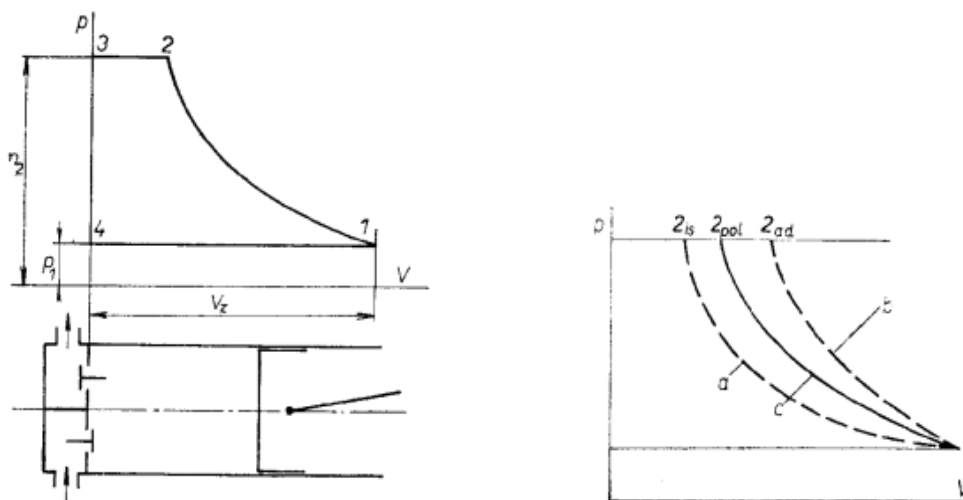
- nízkotlaký, není-li výtlačný tlak vyšší než $2,5 \text{ bar}$,
- středotlaký pro výtlačný tlak mezi $2,5$ a 10 bar ,
- vysokotlaký pro výtlačný tlak 10 až 250 bar .

Ideální diagram jednostupňového objemového kompresoru (obrázek č. 9)

U jednostupňového kompresoru nastává stlačení nasávaného plynu z tlaku sacího na konečný tlak v jednom pracovním prostoru při jednom pracovním zdvihu pístu. Pracovní oběh ideálního kompresoru sledujeme v diagramu o souřadnicích tlak-objem (je to diagram $p - V$, nebo indikátorový).

Ideální kompresor je takový, který:

- pracuje s ideálním plynem,
- nemá žádné tlakové ani mechanické ztráty,
- je naprosto těsný a všechny plyn se z válce vytlačí,
- pracuje bez sdílení tepla s okolím a exponent křivky komprese je stálý.



Obrázek 9. Tlakový diagram ideálního kompresoru

Zdroj: [4]

Při pohybu pístu z levé krajní polohy, v níž píst úplně vyplňuje prostor válce, se do válce nasává plyn o sacím tlaku p_1 . V druhé krajní poloze sání končí (bod 1) a při zpětném pohybu pístu se plyn stlačuje (křivka 1-2) až na tlak p_2 , který je v prostoru nad výtlačným ventilem. Při tomto tlaku se plyn z válce vytlačuje (úsečka 2-3). Protože se u ideálního kompresoru vytlačí všechny plyn (plyn úplně vyplní prostor válce), klesne na začátku dalšího sacího zdvihu v jednom okamžiku tlak z hodnoty p_2 na sací tlak p_1 a oběh se opakuje. Oběh kompresoru je oběh otevřený, protože v každém pracovním oběhu se nasává nový objem plynu.

Kompresce (křivka 1-2) může být:

- izotermická, jestliže se veškeré teplo při kompresi vzniklé odvádí a teplota plynu se nemění. Závislost tlaku na objemu je vázána vztahem (2):

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (2)$$

- adiabatická (též izoentropická, křivka b, jestliže se plynu při kompresi teplo nepřivádí ani neodvádí a entropie zůstává stálá - proces probíhá podle vztahu (3):

$$p_1 V_1^\chi = p_2 V_2^\chi \quad (3)$$

kde χ je adiabatický exponent (pro vzduch $\chi=1,4$)

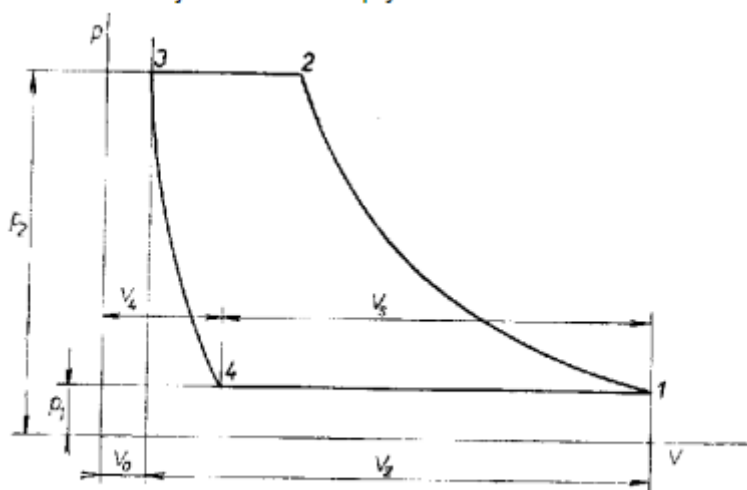
- polytropická (křivka c), viz vztah (4):

$$p_1 V_1^n = p_2 V_2^n \quad (4)$$

kde n je polytropický exponent.

Tlakový diagram skutečného kompresoru (obrázek č. 10)

U skutečného kompresoru (na rozdíl od kompresoru ideálního) nevyplní píst v úvrati na konci vytlačování celý prostor válce. Malá část komprimovaného plynu zůstane v mezeře mezi pístem a hlavou a v kanálcích pod destičkami ventilů. Z tohoto tzv. škodlivého prostoru expanduje toto malé množství stlačeného plynu na začátku sacího zdvihu pístu a tím se zmenší objem nasátého plynu.



Obrázek 10. Tlakový diagram skutečného kompresoru

Zdroj: [4]

Poměr objemu V_o škodlivého prostoru k objemu zdvihovému V_z se nazývá poměrný škodlivý prostor a udává se v procentech.

Jeho velikost závisí na rozměrech válce, a na velikosti a druhu ventilů, na druhu stroje, a bývá asi 3 až 10%. [4]

2.3.2 Možné varianty kompresorů

Z grafu na obrázku č. 8 lze odečíst, že spotřeba vzduchu jedné trysky činí $Q_t = 20 \text{ m}^3/h$ při tlaku $p = 1,5 \text{ bar}$.

$$Q_{celk} = Q_t \cdot k = 20 \cdot 25 = 500 \text{ m}^3 \cdot h^{-1}$$

Q_{celk} – celkové množství vzduchu spotřebované tryskami [m^3/h],

Q_t - spotřeba vzduchu jedné trysky [m^3/h],

k – počet trysek.

Při splnění požadavku výkonu kompresoru $500 \text{ m}^3/h$ se výběr zúží pouze na stavební kompresory, které jsou konstruovány jako přípojná vozidla za osobní automobily nebo traktory. Tyto kompresory jsou většinou šroubové nebo pístové a jsou poháněny vznětovými motory. Menší stabilní kompresory se vzduchojemy požadavkům výkonu nevyhovují. Na českém trhu jsou k dostání především kompresory značek Atlas Copco (obrázek č. 11), Atmos (obrázek č. 12), Kaeser. Cenové relace těchto kompresorů jsou však poněkud vysoké, a pohybují se okolo 400 000 Kč.



Technické parametry

Výkon:	Hmotnost:	Pracovní tlak:	Výkon:
104 kW	1883 kg	12 bar	11m3/min

Obrázek 11. Kompresor ATLAS COPCO: XAS 186 Dd

Zdroj: [5]



Technické parametry

Výkon:	Hmotnost:	Palivová nádrž:	Pracovní tlak:
80 kW	2000 kg	127 l - nafta	0,8 MPa
Výkon kompresoru:	Maximální otáčky motoru:		
10,5 m ³ /min	2300/min		

Obrázek 12. Kompresor ATMOS: PD 85

Zdroj: [5]

Vhodnou alternativou by snad mohl být např. kompresor DK 661 (obrázek č. 13), který se sice již nevyrobí, ale lze ho zakoupit jako zánovní z armádních zásob. Cena tohoto kompresoru se pohybuje kolem 100 000 Kč.



Obrázek 13. Kompresor DK 661

Zdroj: [6]

Kompresor DK 661 slouží jako zdroj stlačeného vzduchu pro pneumatické přístroje. Je to jednonápravový přívěs vybavený regulátorem, který upravuje chod stroje v závislosti na množství odebíraného vzduchu. K ovládání a sledování činnosti přístroje slouží přístrojová deska.

Technická data

Kompresor:	typ	DK 661
	doprovované množství vzduchu	660 m^3/h
	provozní přetlak	7 bar
	otáčky	1500/min
Motor:	typ	T – 928 – 63
	druh	naftový s přímým vstřikem paliva
	objem válců	11762 ccm
	objem nádrže	100 litrů

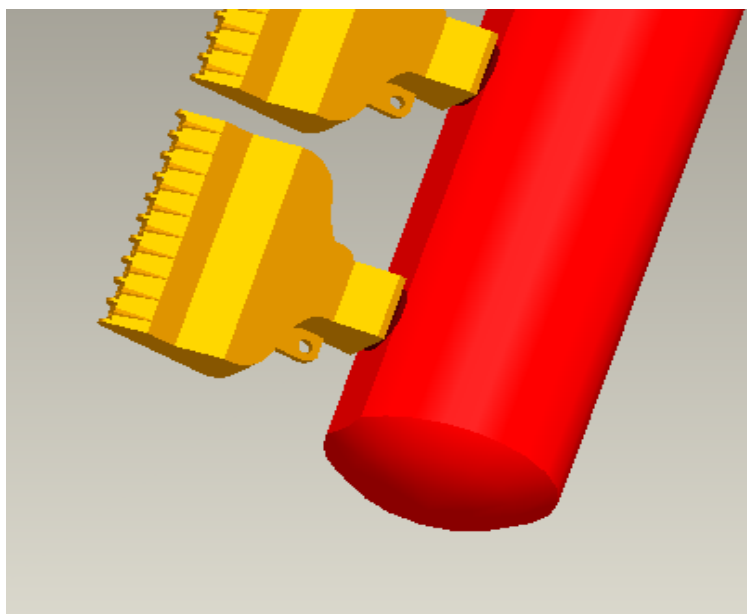
Zdroj: [6]

Je tedy na zvážení jakou variantu kompresoru je vhodné zvolit. Jak je z cen kompresorů patrné, bude mít při výběru kompresoru rozhodující vliv především ekonomická stránka. Pozitivní na celé věci je však fakt, že kompresor nemusí sloužit pouze pro ofukovač. Je možné od něho ofukovač kdykoliv odpojit a kompresor použít k jiným účelům, pro něž je konstruován. Tímto víceúčelovým využitím kompresoru by se náklady na jeho pořízení měly vrátit dříve, než kdyby byl kompresor používán pouze ve spojení s ofukovačem.

2.4 Konstrukce lišty s tryskami

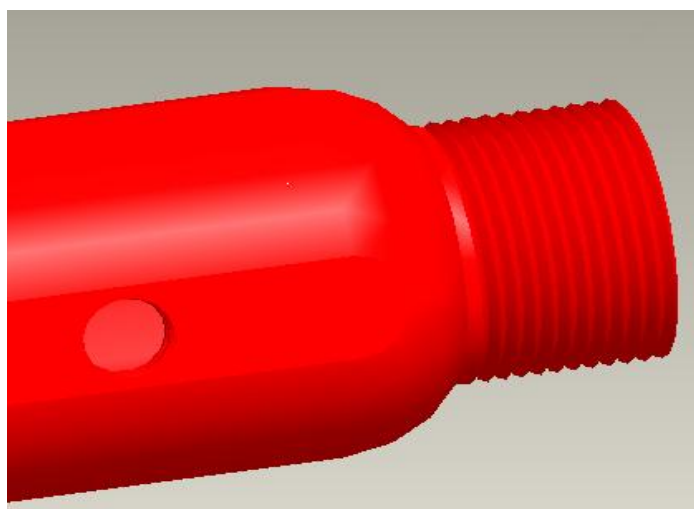
Kvůli širšímu záběru přístroje je nutné trysky připevnit v řadě vedle sebe. K tomu slouží lišta, která nejenže rovnoměrně rozloží trysky na celou šířku záběru přístroje, ale bude také sloužit jako přívod stlačeného vzduchu přímo k tryskám. Pokud by byla každá tryska zásobována stlačeným vzduchem zvlášť, vznikl by problém s rozdělovačem stlačeného vzduchu. Kompresory jsou totiž vybaveny rozdělovači, které mají většinou maximálně 6 výstupů. Tento počet by tudíž byl nevyhovující. Lišta je konstruována jako vzduchojem,

v němž jsou vyvrtané otvory. Otvory jsou osazeny závity G ¼ A ISO 228. Jelikož se jedná o závit netěsnící ve spoji, je nutné mezi lištu a trysku vložit těsnící kroužek, jehož označení je 13×20 ČSN 02 9307.4. V liště je vyvrtáno celkem 25 otvorů, to znamená, že lišta je osazena celkem 25 vzduchovými tryskami. Osazení lišty tryskou s těsněním je patrné na obrázku č. 14.



Obrázek 14. Osazení lišty tryskami

Přívod stlačeného vzduchu do lišty je řešen otvorem na konci lišty. Lišta je na konci opatřena závitem G 1¼ A ISO 228 (obrázek č. 15). Zde se pomocí převlečné matice připojí vysokotlaká hadice a její druhý konec se připojí přímo ke kompresoru.



Obrázek 15. Připojení tlakové hadice

2.4.1 Pevnostní kontrola lišty na namáhání vnitřním přetlakem

Lišta je vyrobena z trubky TR Ø 60×8 – ČSN 425715.01 – 11353.0 – ČSN 420250.11. Jedná se tedy o trubku s vnějším průměrem 60 mm, tloušťkou stěny 8 mm, vyrobené z materiálu 11 353. Dovolené statické tlakové napětí pro tento druh materiálu je dle strojnických tabulek [7] 90 až 125 MPa. Maximální možný přetlak, který dokáže kompresor vyvinout je 1,2 MPa.

Pro kontrolu jsou použity kotlové vzorce: Zdroj:[8]

$$\sigma_D = 90 - 125 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = \frac{p \cdot r}{t} = \frac{1 \cdot 0,03}{0,008} = 4,5 \text{ MPa} \leq \sigma_D \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

σ_t – obvodové napětí válce [MPa],

p – maximální přetlak uvnitř válce [MPa],

r – poloměr válce [m],

t – tloušťka stěny válce [m].

$$\sigma_a = \frac{p \cdot r}{2 \cdot t} = \frac{1 \cdot 0,03}{2 \cdot 0,008} = 2,25 \text{ MPa} \leq \sigma_D \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

σ_a – osová napětí válce [MPa].

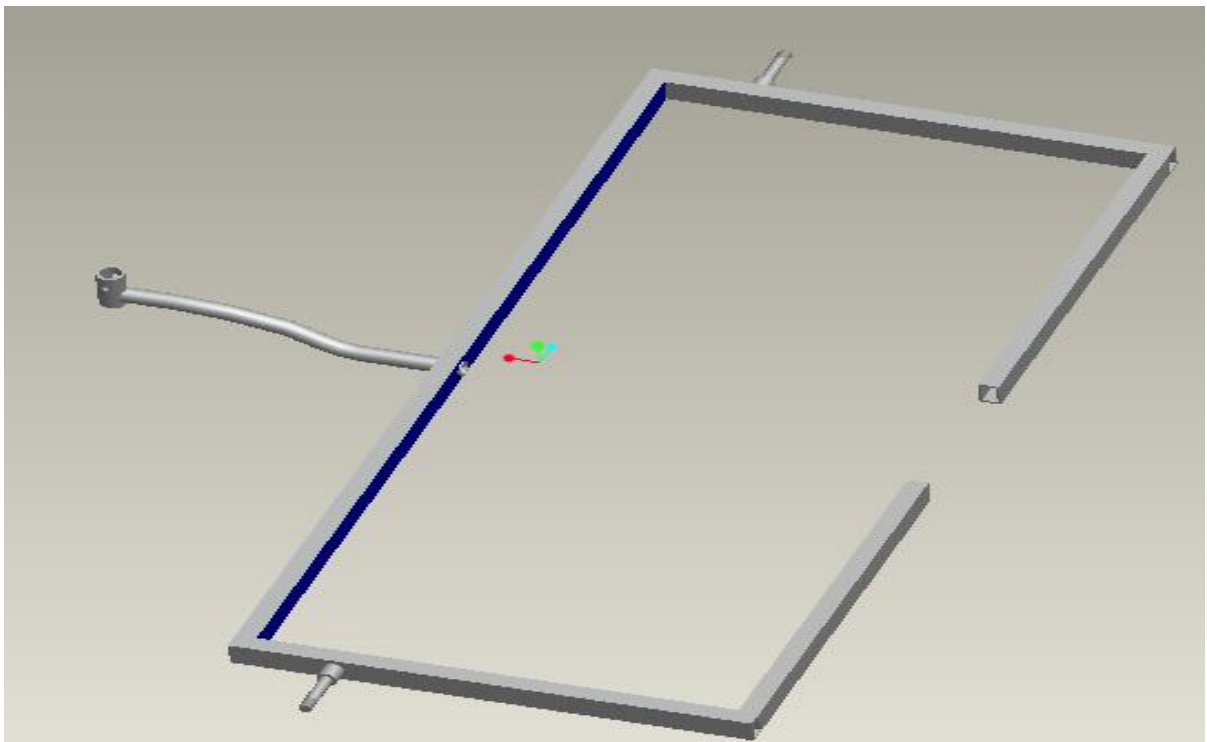
Jak je z pevnostního výpočtu vidět, spočítané napětí je mnohonásobně menší než dovolené napětí. Mohlo by se tedy zdát, že je součást naddimenzovaná. Tloušťka stěny lišty by mohla být menší. Tato tloušťka stěny je však nezbytně nutná kvůli závitů, který je vytvořen ve stěně lišty. Pokud by se tloušťka stěny snížila, snížil by se tím i počet závitů, což by mělo za následek snížení utahovacího momentu trysek. Tím pádem by mohlo dojít k porušení těsnosti mezi lištou a tryskou.

3 Nosné zařízení přístroje

Aby byla zajištěna stále stejná výška trysek nad letovou dráhou, je nutné, aby přístroj měl svůj vlastní podvozek. Pokud by byl přístroj připevněn k rámu kompresoru, docházelo by při propérování kompresoru k nárazům trysek do letové dráhy. Z tohoto důvodu je nutné zkonstruovat tuhý podvozek, k němuž bude lišta s tryskami připevněna. Tím se zamezí kontaktu trysek s letovou dráhou. Podvozek musí být konstruován jako vlečné zařízení, které bude připojeno ke kompresoru.

3.1 Konstrukce podvozku

Podvozek je řešen jako svařenec z různých profilů, na nějž je třeba připevnit lištu s tryskami a sběrací zařízení. Hlavní rám je tvořen obdélníkovými profily o rozměrech $40 \times 60 \text{ mm}$ (obrázek č. 16). Tloušťka stěny je $3,5 \text{ mm}$. Profil je orientován na výšku. K bokům rámu jsou přivařeny náboje, na nichž budou nasazena kola. V přední části rámu je umístěna oj, pomocí níž bude přístroj tažen za kompresorem.



Obrázek 16. Nosný rám

3.1.1 Výběr kol

Rozhodujícím faktorem při výběru kol pro přístroj je jejich nosnost. Předpokládaná maximální hmotnost přístroje je 300 kg. Do hmotnosti je započítána i hmotnost nečistot, které se budou hromadit ve sběrači. Přístroj budou nést celkem tři kola. Dvě přední kola jsou bantamová a zadní kolo je transportní. Toto zadní kolo musí být nutně transportní, aby byl zajištěn plynulý průjezd zatáčkou, a aby bylo možné s přístrojem couvat. Pokud by bylo místo transportního kola použito kolo pevné, docházelo by při průjezdu zatáčkou ke smýkání kola. Tyto kola není nutné konstruovat, jelikož jich je na trhu k dostání celá řada. Pro přístroj byla vybrána kola od firmy Ambra. Dvě přední bantamová kola s ocelovým diskem typu 3069.01 mají rozměry uvedené v tabulce č. 1.

Tabulka 1. Rozměry bantamového kola

ø kola	šířka kola	rozměr pláště	typ ložiska	ø náboje	typ náhradní duše	šířka náboje	hmotnost	nosnost
350 mm	145 mm	15x5.00-6	kuličkové ložisko	25 mm	6008.09	80 mm	4,9 kg	250 kg

Zdroj: [9]

Zadní transportní kolo má vidlice i disk vyrobeny z pozinkovaného ocelového plechu. Obruč je pryžová a kolo je uloženo v jehlovém ložisku. Jeho rozměry jsou uvedeny v tabulce č. 2. Jedná se o kolo s označením CIN 200/GR.

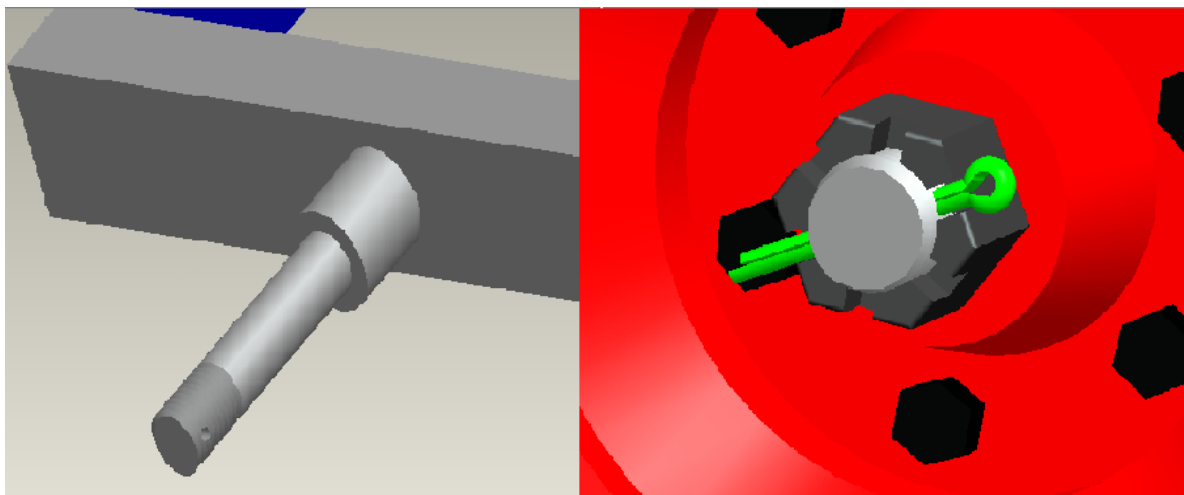
Tabulka 2. Rozměry transportního kola

TYP								
CIN 080/GR	80	24	30	108	104x80	76x56	9x14	50
CIN 100/GR	100	28	35	128	104x80	76x56	9x14	70
CIN 125/GR	125	35	40	159	116x98	85x65	9x14	100
CIN 160/GR	160	38	47	195	138x114	105x85	11x15	135
CIN 200/GR	200	49	51	240	138x114	105x85	11x15	200

Zdroj: [9]

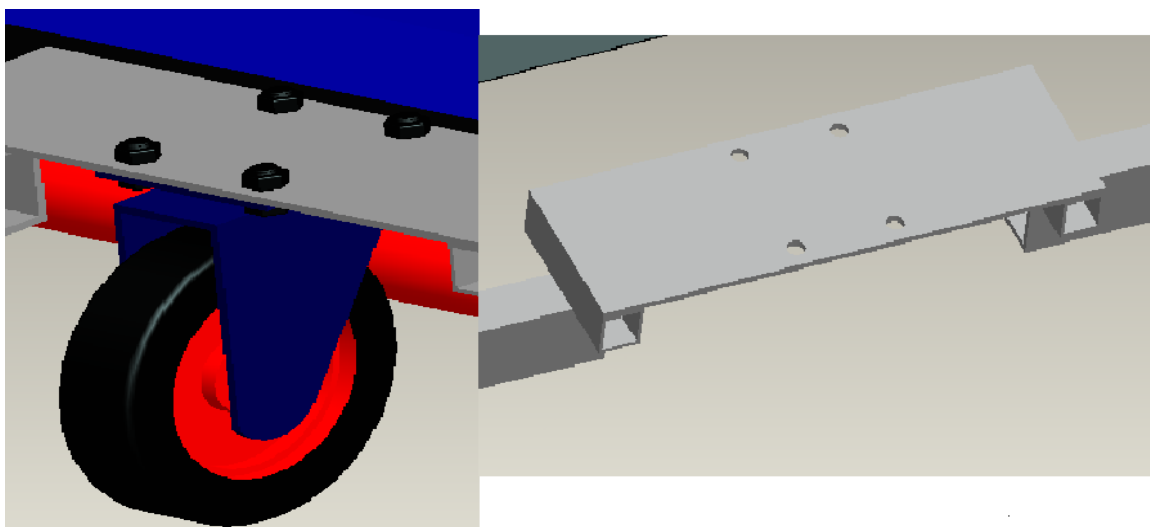
Cena bantamového kola je 1268 Kč. Cena transportního kola je 334 Kč

Přední bantamová kola jsou uložena v nábojích, které jsou přivařeny k nosnému rámu konstrukce (obrázek č. 17). Náboj má délku 190 mm a jeho průměr je 25 mm. Náboj je na konci opatřen závitem M24×2 – 6 g. Pro zajištění kola na náboji slouží korunová MATICE M24×2 ČSN 02 1411.20. Do náboje je na jeho konci vyvrtaná díra o průměru 5 mm. Do této díry je vložena ZÁVLAČKA 4,6×50 ISO 1234 St, která zajistí korunovou matici proti povolení.



Obrázek 17. Náboj kola a zajištění kola

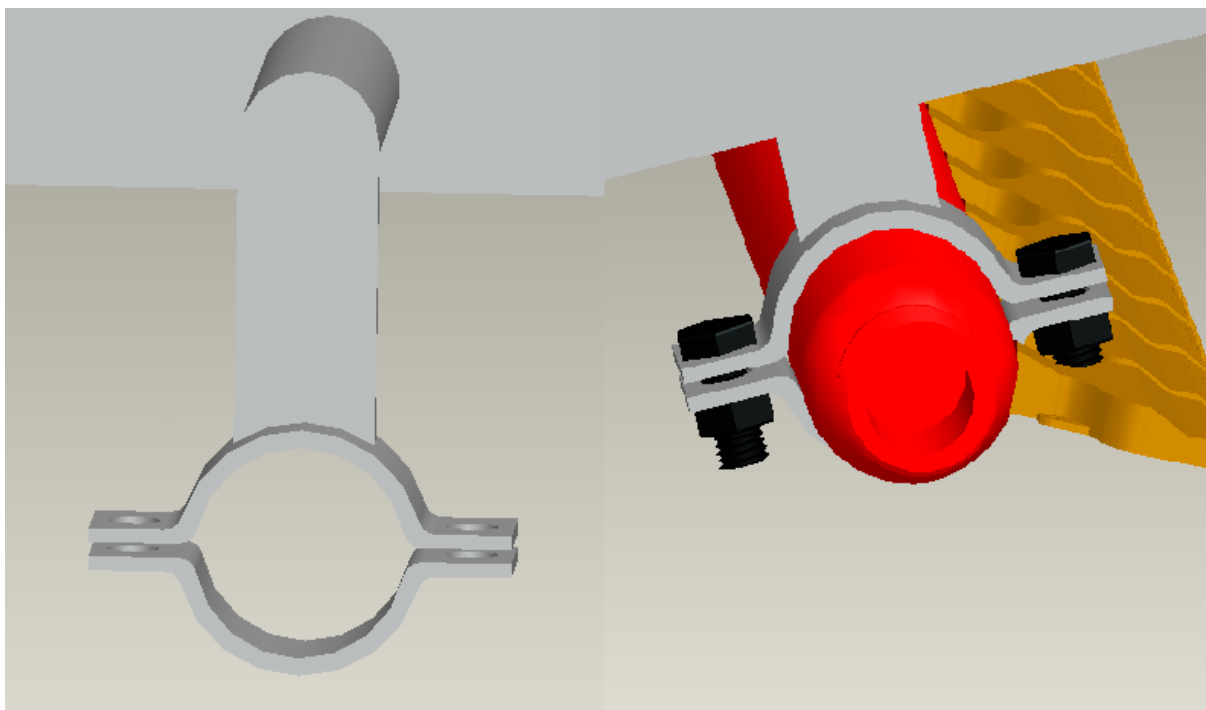
Zadní transportní kolo je k rámu připevněno pomocí desky, v níž jsou vyvrtané čtyři otvory o průměru 15 mm (obrázek č. 18). Deska má rozměry 140×430 mm. Tloušťka stěny je 8 mm. Kolo je k desce uchyceno pomocí čtyř šroubů ŠROUB M14×1,5×30 ISO 8676 – 8.8, které jsou dotaženy maticemi MATICE M14×1,5 ČSN 02 1402.2.



Obrázek 18. Transportní kolo a jeho uchycení

3.1.2 Uchycení lišty s tryskami k rámu

Aby mohly trysky správně plnit svou funkci, je důležité zajistit jejich správnou polohu vůči letové dráze. K tomuto účelu slouží dva úchyty, které jsou přivařené k rámu (obrázek č. 19). Každý z úchytů je rozdělen na dvě části. Jsou jimi spodní a horní miska. Obě misky jsou spojeny dvojicí šroubů ŠROUB M14×1,5×30 ISO 8676 – 8.8 a matic M14×1,5 ČSN 02 1402.2. Montáž lišty je tedy velmi jednoduchá. Stačí na každé straně povolit dvojici šroubů a odejmout spodní misku. Lišta s tryskami se vloží do horní misky a pomocí spodní misky a dvou šroubů se přichytí k rámu. Díky této konstrukci je také možné měnit úhel naklonění trysek vůči letové dráze. To je velmi výhodné při seřizování přístroje.

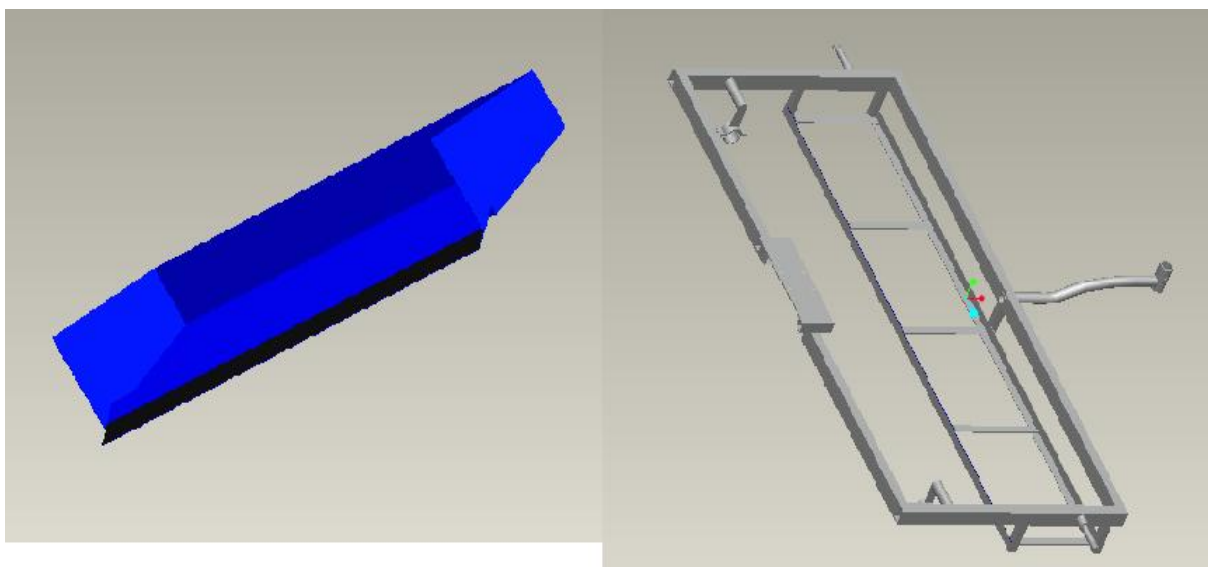


Obrázek 19. Uchycení lišty s tryskami

3.1.3 Sběrač nečistot

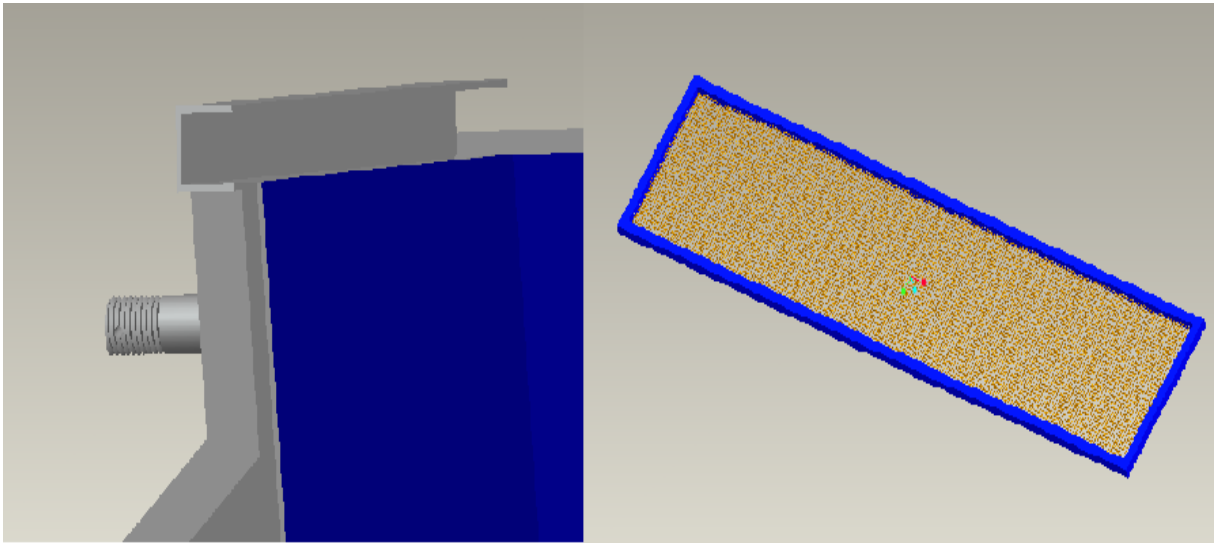
Pro dodržení počátečního požadavku sbírání nečistot je nutné zkonstruovat sběrné zařízení na nečistoty. Sběrač je konstruován jako svařenec z plechu o tloušťce 2 mm. Pozinkovaný plech je vyroben z materiálu 11 331. Dno a všechny tři stěny sběrače jsou konstruovány jako jeden celek (obrázek č. 20). Aby nedocházelo k vypadávání nečistot zpět na letovou dráhu, je dno dvouúrovňové. Výškový rozdíl mezi dnem a jeho předním okrajem je 30 mm.

Tím je zajištěno, že se nečistoty budou hromadit uvnitř sběrače a nebudou vypadávat ven. V přední části sběrače je na jeho náběžnou hranu nalepen tenký pryžový pás. Pás slouží k tomu, aby se již odfouknuté nečistoty nemohly dostávat zpátky pod sběrač. Oproti tomu nečistoty, které se dostanou pod pryžový pás, ho nadzvednou a dostanou se přímo před trysky, které je ihned odfouknou do sběrače. K rámu je přivařena konstrukce, která nese sběrač. Skládá se ze dvou příčníků profilu L a z pěti podélníků. K hlavnímu rámu je konstrukce přichycena pomocí čtvercových profilů.



Obrázek 20. Sběrač a jeho nosná konstrukce

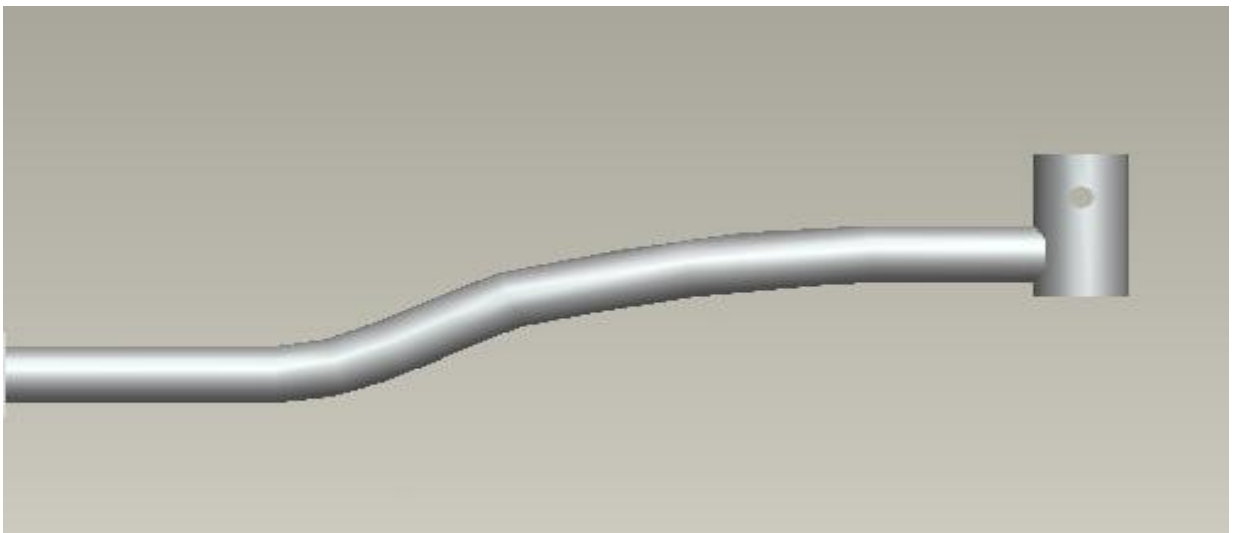
Vrchní víko sběrače tvoří jeden samostatný díl. Tvoří ho rám, v němž je umístěn prodyšný materiál např. textilie (obrázek č. 21). Vzduch, pomocí něhož jsou do sběrače vháněny nečistoty, je třeba ze sběrače odvést. K tomuto účelu slouží právě textilie, která tvoří víko sběrače. Vháněný vzduch projde přes textilií ven a ta zachytí i drobné nečistoty. Druhým důležitým úkolem textilie je pohlcovat pohybovou energii nečistot, které se odrazí od zadní stěny sběrače. Při čištění se může stát, že proud vzduchu udělí některé nečistotě příliš velkou rychlost. Ta by se pak mohla odrazit od zadní stěny a vylétnout ze sběrače ven. Proto je konstruován tak, že nečistoty, které se odrazí od zadní stěny, narazí na vrchní víko. Textilie, která je ve víku pak nečistoty zbrzdí a ony spadnou dolů do sběrače. Aby bylo možné nečistoty ze sběrače odstraňovat, je vrchní víko odnímatelné. K rámu je připevněno pomocí dvou profilů tvaru U, v nichž je zasunuto.



Obrázek 21. Víko sběrače a jeho uložení

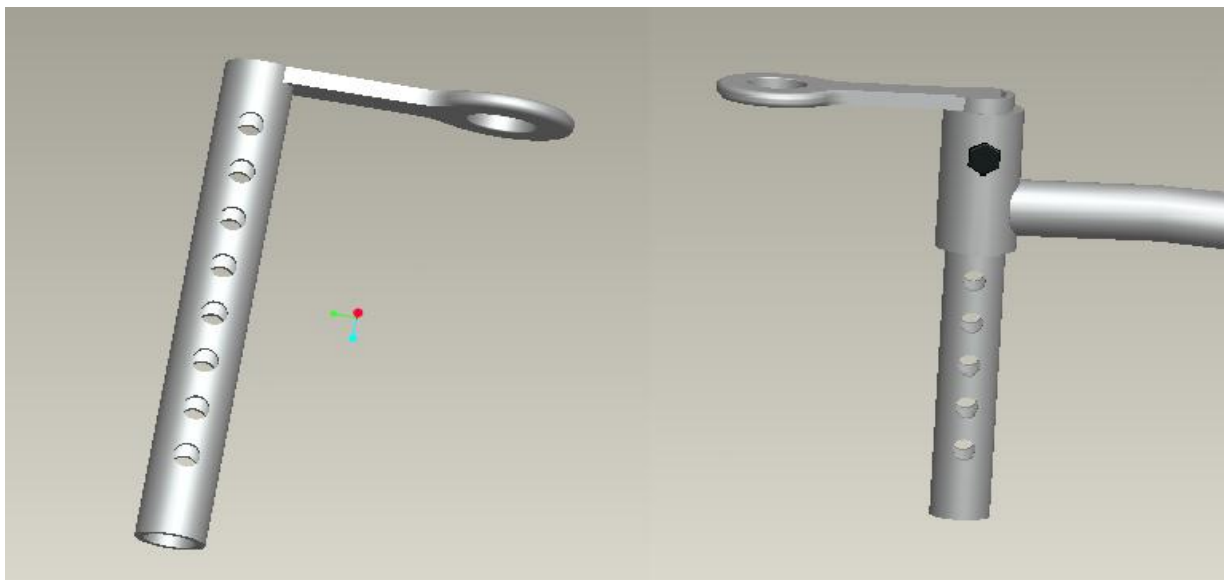
3.1.4 Oj a připojovací zařízení

Oj je vyrobena z trubky TR $\text{Ø } 40 \times 2,9$ – ČSN 42 5715.01 – 11 353.0 (obrázek č. 22). Na konci oje je přivařena trubka TR $\text{Ø } 54 \times 7$ – ČSN 42 5715.01 – 11 353.0. V této trubce je vyvrtaný otvor o průměru 15 mm. Otvor slouží pro zajištění připojovacího zařízení. Aby přístroj správně fungoval, je nutné zajistit stálý kontakt všech tří kol s vozovkou. Proto musí být připojovací zařízení výškově stavitelné, aby bylo možné připojit přístroj k různým druhům kompresorů.



Obrázek 22. Oj

Připojovací zařízení se skládá z oka, které je přivařené k trubce TR Ø 40×2,9 – ČSN 42 5715.01 – 11 353.0 (obrázek č. 23). V trubce je vyvrtáno celkem 8 otvorů o průměru 15 mm. Tyto jednotlivé otvory umožňují stavitelnou výšku zařízení v rozmezí od 365 do 575 mm nad vozovkou. Zajištění nastavené výšky se provádí pomocí šroubu ŠROUB M14×1,5×80 ISO 8676 – 8.8 a matice M14×1,5 ČSN 02 1402.2.



Obrázek 23. Připojovací zařízení

4 Kontrolní výpočty

4.1 Stanovení potřebné tažné síly

Maximální možná hmotnost přístroje i s nečistotami je 300 kg. Součinitel odporu valení pneumatiky po asfaltovém povrchu je 0,02. Pokud by ovšem došlo k tomu, že by se s přístrojem z nějakého důvodu najelo na nebezpečnou travnatou plochu letiště, změní se odpor valení pneumatiky na 0,2. Tento případ je nutné do výpočtu zahrnout, a proto bude součinitel valení pneumatiky uvažován 0,2. Vzorec pro výpočet potřebné tažné síly tedy bude totožný s vzorcem pro výpočet odporu valení přístroje.

$$F_v = m \cdot g \cdot f = 300 \cdot 9,81 \cdot 0,2 = 589 N$$

F_v – odpor valení kol [N],

m – hmotnost přístroje [kg],

g – gravitační zrychlení [m/s^2],

f – součinitel odporu valení [-].

4.2 Výpočet tahového napětí v oji

Oj je vyrobena z trubky. Materiál oje je 11 353. Vnější průměr trubky je 40 mm a vnitřní průměr je 34,2 mm. Oj je namáhána tahovou silou 589 N. Dovolené statické tahové napětí pro tento druh materiálu je dle strojnických tabulek [7] 90 až 125 MPa.

$$\sigma_D = 90 - 125 MPa$$

$$\sigma = \frac{F}{S_t} = \frac{589}{338} = 1,74 MPa \leq \sigma_D \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

F – tahová síla působící v oji – totožná s F_v [N],

S_t – plocha průřezu trubky [mm^2].

$$S_t = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (40^2 - 34,2^2)}{4} = 338 mm^2$$

D – vnější průměr trubky [mm],

d – vnitřní průměr trubky [mm].

4.3 Výpočet ohybového napětí v oji

Jelikož je oj zahnutá, působí v ní ohybové napětí. Síla působící na rameni 55 mm vytváří ohybový moment, který způsobuje ohybové napětí. Dovolené statické ohybové napětí pro tento druh materiálu je dle strojnických tabulek 100 až 135 MPa.

$$\sigma_{oD} = 100 - 135 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{32395}{2925,5} = 11,07 \text{ MPa} \leq \sigma_D \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

M_o – maximální ohybový moment [Nmm],

W_o – modul průřezu v ohybu [mm^3].

$$W_o = \frac{\pi}{32} \left(\frac{D^4 - d^4}{D} \right) = \frac{\pi}{32} \left(\frac{40^4 - 34,2^4}{40} \right) = 2925,5 \text{ mm}^3$$

D – vnější průměr trubky [mm],

d – vnitřní průměr trubky [mm].

$$M_o = F \cdot r = 589 \cdot 55 = 32395 \text{ Nmm}$$

F – síla působící v oji – totožná s F_v [N],

r – rameno, na kterém síla působí [mm].

4.4 Výpočet tahového napětí v tažném oku

Tažné oko i jeho prodloužená část jsou vyrobeny z materiálu 11 343. Obě tyto části jsou namáhány tahovým napětím. Dovolené statické tahové napětí pro tento druh materiálu je dle strojnických tabulek 90 až 125 MPa.

$$\sigma_D = 90 - 125 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{589}{400} = 1,47 \text{ MPa} \leq \sigma_D \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

F – síla působící v oku – totožná s F_v [N],

S – plocha průřezu oka [mm^2].

$$S = (80 - 40) \cdot 10 = 400 \text{ mm}^2$$

Výpočet tahového napětí v prodloužené části tažného oka

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{589}{300} = 1,96 \text{MPa} \leq \sigma_D \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

F – síla působící v oku – totožná s F_v [N],

S – plocha průřezu prodloužené části oka [mm^2].

$$S = 30 \cdot 10 = 300 \text{mm}^2$$

4.5 Výpočet ohybového napětí v připojovacím zařízení

Připojovací zařízení je tvořeno tažným okem s prodlouženou částí a trubkou s otvory, pomocí které lze nastavit výšku připojovacího zařízení. Vnější průměr trubky je 40 mm a vnitřní průměr je 34,2 mm. Bude-li toto zařízení nastaveno na nejvyšší možnou výšku, bude tažná síla F působit na rameni 210 mm, čímž vznikne ohybový moment a trubka bude namáhána ohybovým napětím. Trubka je vyrobena z materiálu 11 353. Dovolené statické ohybové napětí pro tento druh materiálu je dle strojnických tabulek 100 až 135 MPa.

$$\sigma_{oD} = 100 - 135 \text{MPa}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{123690}{2925,5} = 42,28 \text{MPa} \leq \sigma_D \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

M_o – maximální ohybový moment [Nmm],

W_o – modul průřezu v ohybu [mm^3].

$$W_o = \frac{\pi}{32} \left(\frac{D^4 - d^4}{D} \right) = \frac{\pi}{32} \left(\frac{40^4 - 34,2^4}{40} \right) = 2925,5 \text{mm}^3$$

D – vnější průměr trubky [mm],

d – vnitřní průměr trubky [mm].

$$M_o = F \cdot r = 589 \cdot 210 = 123690 \text{Nmm}$$

F – síla působící v připojovacím zařízení – totožná s F_v [N],

r – rameno, na kterém síla působí [mm].

4.6 Napětí v rámu

Rám je tvořen obdélníkovými profily o rozměrech $40 \times 60 \text{ mm}$. Tloušťka stěny je $3,5 \text{ mm}$. Profil je orientován na výšku. Tažná síla působící v oji se v rámu rozloží na dvě poloviny. Proto se při výpočtu ohybového momentu uvažuje pouze $F/2$. Vzdálenost oje od podélníku rámu je 1000 mm . Tudíž při výpočtu ohybového momentu dosazujeme rameno o délce 1000 mm . Materiál obdélníkových profilů je 11 353. Dovolené statické ohybové napětí pro tento druh materiálu je dle strojnických tabulek 100 až 135 MPa .

Ohybové napětí vyvolané od tažné síly

$$\sigma_{OD} = 100 - 135 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{294500}{8064} = 36,52 \text{ MPa} \leq \sigma_D \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

M_o – maximální ohybový moment [Nmm],

W_o – modul průřezu v ohybu [mm^3].

$$W_o = \frac{BH^3 - bh^3}{6H} = \frac{60 \cdot 40^3 - 53 \cdot 33^3}{6 \cdot 40} = 8064 \text{ mm}^3$$

B – vnější šířka profilu [mm],

H – vnější výška profilu [mm],

b – vnitřní šířka profilu [mm],

h – vnitřní výška profilu [mm].

$$M_o = F \cdot r = \frac{589}{2} \cdot 1000 = 294500 \text{ Nmm}$$

F – síla působící v rámu [N],

r – rameno, na kterém síla působí [mm].

Tahové napětí v rámu vyvolané od tažné síly

$$\sigma_D = 90 - 125 \text{MPa}$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{294,5}{651} = 0,45 \text{MPa} \leq \sigma_D \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

F – síla působící v rámu [N],

S – plocha průřezu rámu [mm^2].

$$F = \frac{F_v}{2} = \frac{589}{2} = 294,5 \text{N}$$

$$S = 60 \cdot 40 - 53 \cdot 33 = 651 \text{mm}^2$$

4.7 Výpočet ohybového napětí v nábojích kol

K rámu je přivařen náboj, na němž jsou nasazena kola. Aby kola nedrhlala o rám, musí být od něho odsazena. K tomu slouží část náboje o větším průměru. Právě v této části vzniká ohybové napětí. Náboj je vyroben z materiálu 11 343. Průměr je 40 mm. Dovolené statické ohybové napětí pro tento druh materiálu je dle strojnických tabulek 100 až 135 MPa.

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{58880}{6283} = 9,37 \text{MPa} \leq \sigma_D \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

M_o – maximální ohybový moment [Nmm],

W_o – modul průřezu v ohybu [mm^3].

$$W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 40^3}{32} = 6283 \text{mm}^3$$

d – průměr části náboje o větším průměru [mm].

$$M_o = F \cdot r = 1472 \cdot 40 = 58880 \text{Nmm}$$

F – síla působící v náboji [N],

r – rameno, na kterém síla působí [mm].

$$F = m \cdot g = 150 \cdot 9,81 = 1472 \text{N}$$

m – maximální hmotnost, kterou může být kolo zatěžováno [kg],

g – gravitační zrychlení [m/s^2].

4.8 Výpočet napětí v zavěšení transportního kola

Zadní transportní kolo je k rámu připevněno pomocí desky z materiálu 11 373. Deska má rozměry 140×430 mm. Tloušťka stěny je 8 mm. Dovolené statické ohybové napětí pro tento druh materiálu je dle strojnických tabulek 110 až 165 MPa.

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{158240}{1493} = 106 \text{ MPa} \leq \sigma_D \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

M_o – maximální ohybový moment [Nmm],

W_o – modul průřezu v ohybu [mm³].

$$W_o = \frac{hb^2}{6} = \frac{140 \cdot 8^2}{6} = 1493 \text{ mm}^3$$

h – šířka desky [mm],

b – tloušťka desky [mm].

$$M_o = F \cdot r = 736 \cdot 215 = 158240 \text{ Nmm}$$

F – síla působící na desku [N],

r – rameno, na kterém síla působí [mm].

$$F = m \cdot g = \frac{150 \cdot 9,81}{2} = 736 \text{ N}$$

m – maximální hmotnost, kterou může být kolo zatěžováno [kg],

g – gravitační zrychlení [m/s²].

5 Pevnostní kontrola v programu ProEngineer

Nadstavbou programu ProEngineer je i aplikace s názvem Mechanica. Tato aplikace umožňuje výpočty napětí v součástkách, které jsou namodelovány v programu ProEngineer. K určení napětí v součástkách využívá tato aplikace metody konečných prvků.

5.1 Metoda konečných prvků

Metoda konečných prvků (MKP) vznikla kolem roku 1956 ve výzkumném ústavu aeronautické a kosmické mechaniky v Ohio, USA. Podnětem se stal „měsíční program“ Apollo, do kterého v té době vkládalo USA značné finanční prostředky. Důležité pro oblast raketové techniky byly nejen výpočty pevnosti, ale také stability, únavy, teplotní úlohy a úlohy proudění. Posléze se metoda rozšířila do oblasti vojenské a průmyslové. Do počátku 90. let 20. století platilo ze strategických důvodů v zemích východního bloku na software MKP embargo.

Většina praktických úloh není řešitelná analyticky, ale numericky. Metoda konečných prvků je spojena s rozvojem výpočetní techniky, neboť úlohy často vedou na rozsáhlé soustavy rovnic, které je třeba řešit v reálném čase. Metoda konečných prvků je numerická metoda vhodná pro získání přibližného řešení široké třídy inženýrských úloh, např.:

- lineární a nelineární mechaniky tuhých a poddajných těles,
- proudění kapalin a plynů,
- šíření tepla a záření,
- stacionární a nestacionární magnetické pole,
- modelování ekonomických problémů,
- vědecko-technické výpočty meteorologů.

Výpočtový model konstrukce se vytvoří tak, že se rozloží na fiktivní menší části, jejichž analýza je poměrně snadná a pro všechny části (anebo alespoň pro určitý soubor) stejná. Tím je provedena diskretizace kontinua. Je třeba formulovat podmínky, které zajišťují potřebnou interakci – rovnováhu a kompatibilitu – konečných prvků konstrukce, aby opět vytvořily souvislý celek.

Z těchto podmínek se vypočtou neznámé silové nebo deformační parametry, a to nejprve na hranicích jednotlivých prvků a poté i uvnitř. Důležité je opět poznamenat, že zatímco v klasických přímých variačních metodách se aproximuje náhradní funkce hledanou funkcí v celé řešené oblasti, je v MKP volena aproximační funkce pro jediný typický prvek. Pro ostatní prvky téže kategorie se pak už jen opakuje.

U MKP je třeba splnit základní požadavky na:

- rovnováhu tělesa jako celku nebo jakékoli z něho vyňaté části,
- vzájemnou kompatibilitu jednotlivých částí tělesa,
- splnění vzájemných vztahů napětí a deformace.

Diskretizace úloh

Základním krokem při řešení úlohy metodou konečných prvků je rozdělit mechanický systém na konečný počet prvků (úsečka, trojúhelník, obdélník, hranol, apod.). Dělením na prvky vzniká konečný počet bodů konstrukce, ležících zpravidla v rozích prvků, koncových bodech, uprostřed hran, ploch, apod. V těchto „uzlech“ se počítají prvotní neznámé veličiny, ve statických úlohách zpravidla posuvy. Z nich se počítají druhotné veličiny, ve statických úlohách zpravidla vnitřní síly a napětí. Dělení systému na prvky je ovlivněno zkušenostmi a citem výpočtáře. Děje se tak ručně nebo s použitím automatických generátorů sítí. Při použití automatického generátoru sítě je třeba provádět kontrolu, případně korekci sítě. Pro konstrukci jako celek nebo pro kteroukoliv její část je třeba sestavit systém rovnic.

$$\mathbf{K} \cdot \Delta = \mathbf{F} \tag{5}$$

kde \mathbf{K} – matice tuhosti;

Δ – vektor neznámých uzlových posunutí;

\mathbf{F} – vektor známých uzlových sil (diskrétní, povrchové, objemové);

Matici tuhosti nelze většinou sestavit přesně, ale pouze přibližně. Výjimku tvoří například nosníkový prvek a prutový prvek. Pro složky posunutí se volí aproximační funkce a požaduje se, aby na okrajích prvků měly hodnoty, odpovídající přibližně hodnotám posunutí sousedních prvků. Aproximační funkce se volí ve tvaru mnohočlenu s počtem argumentů odpovídajícím rozměru problému. S rostoucím stupněm polynomu se náhrada blíží exaktnímu

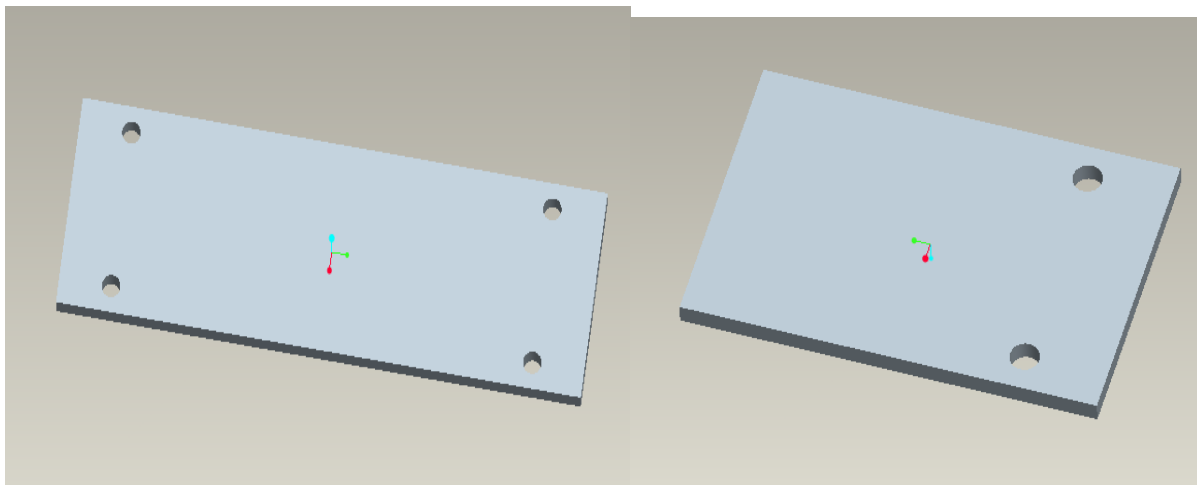
řešení. Lze však pracovat s polynomem konečného stupně. Také zvyšováním počtu prvků v dané oblasti se blížíme k přesnému řešení. [10]

5.2 Pevnostní kontrola napětí pomocí MKP

Jak je z pevnostních výpočtů patrné, je nejvíce namáhanou částí konstrukce deska, ke které je přichyceno zadní transportní kolo. Pro ověření správnosti výpočtu namáhání této části je tedy použito zmiňované aplikace. Při pevnostním výpočtu vyšlo, že maximální ohybové napětí je:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{158240}{1493} = 106 \text{MPa}$$

Jelikož je součást osově souměrná, lze pro výpočet použít pouze jednu její polovinu (obrázek č. 24). V druhé polovině součásti bude napětí totožné. Díky tomuto zjednodušení se doba výpočtu sníží.

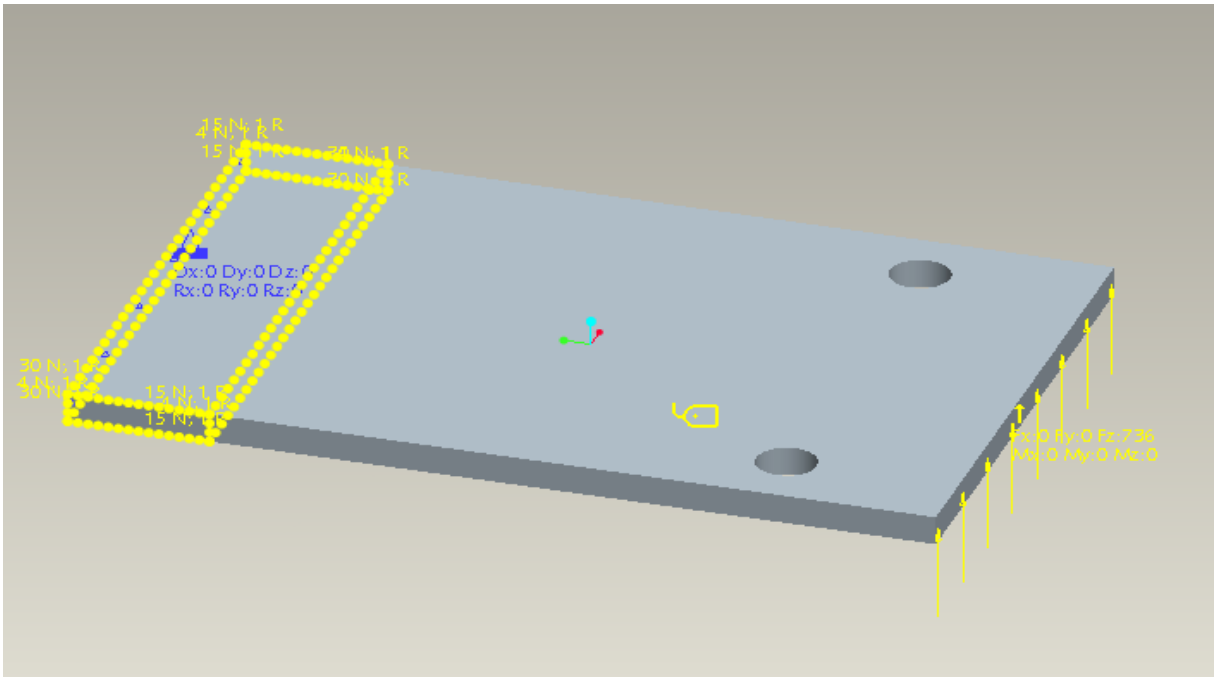


Obrázek 24. Rozdělení součásti

Zadané parametry:

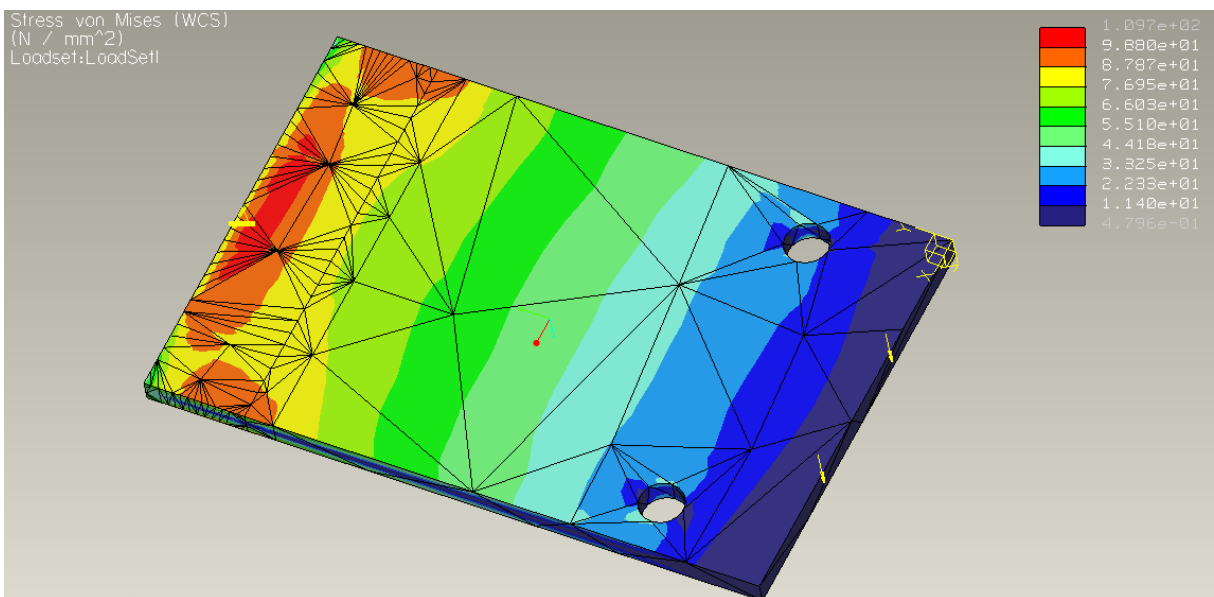
- materiál – obyčejná uhlíková ocel
- zatížení – 736 N
- uchycení – zakázané veškeré posuvy a rotace
- mesh – automaticky, v místě největšího napětí zhuštěna síť

Na obrázku č. 25 je zobrazen model s již zadanými parametry. Pro vyšší přesnost výpočtu je síť v místě největšího napětí zhuštěna.



Obrázek 25. Model se zadanými parametry

Po výpočtu lze barevně zobrazit napětí v součásti (obrázek č. 26). V pravém horním rohu obrázku je umístěna stupnice napětí. Označení e+02 znamená 10^2 . Udávané napětí je v *MPa*. Největší zjištěné napětí je tedy 109,7 *MPa*. Napětí zjištěné pevnostním výpočtem je 106 *MPa*. Rozdíl obou hodnot je 3,5 %.



Obrázek 26. Mapa výsledných napětí

6 Způsob obsluhy

Následující kapitola popisuje, jak s přístrojem manipulovat. Vysvětluje jak postupovat při sestavování přístroje a při jeho seřizování.

6.1 Sestavení přístroje

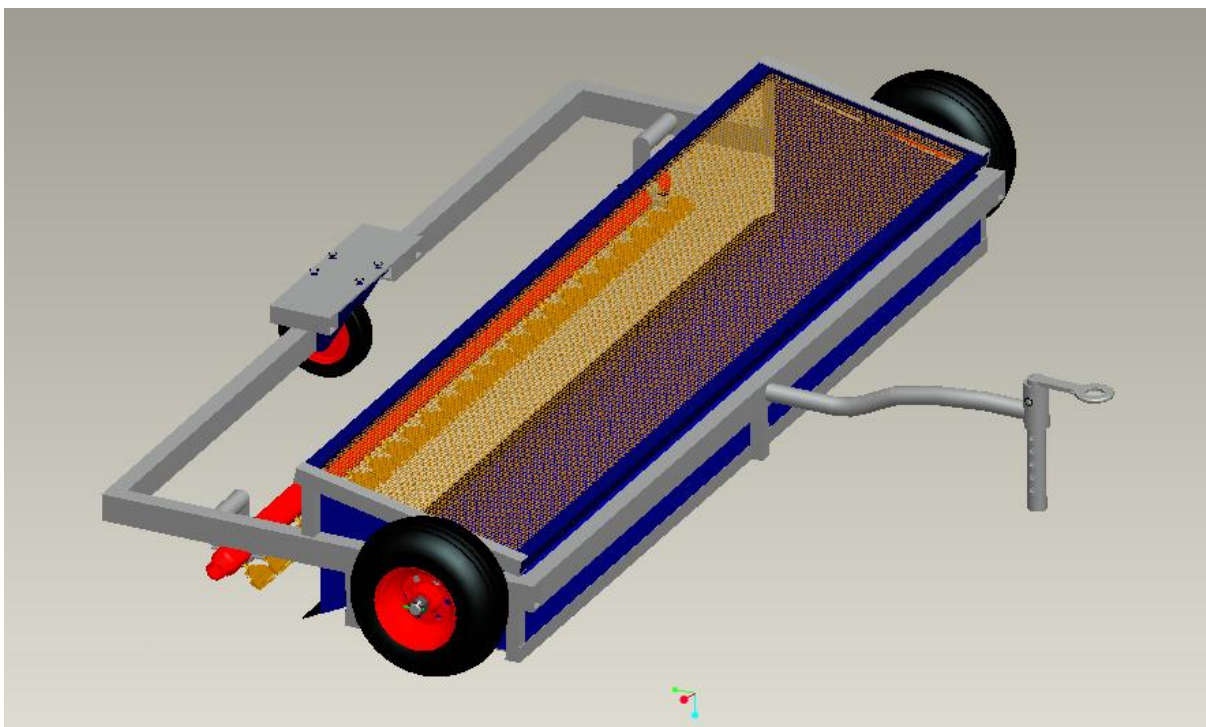
Před začátkem samotného čištění je třeba přístroj sestavit. K traktoru se připojí zvolený kompresor. Je nutné zkontrolovat stav paliva v nádrži kompresoru a další parametry, které výrobce kompresoru udává. Pak je možné kompresor nastartovat, aby byl při čištění zahřátý na provozní teplotu. Ke kompresoru se připojí ofukovač. Výškově stavitelné připojovací zařízení se musí nastavit do takové polohy, aby bylo možné ofukovač bez problému připojit ke kompresoru a zároveň, aby se všechna tři kola ofukovače dotýkala letové dráhy. Pro správnou funkci přístroje je zajištění neměnné výšky trysek nad letovou dráhou velmi důležité. U ofukovače je třeba zkontrolovat správné nahuštění bantamových pneumatik a překontrolovat správné dotažení všech vzduchových trysek. Dále je nutné připojit vysokotlakou hadici ke kompresoru na jedné straně a na straně druhé ji přišroubovat k liště se vzduchovými tryskami. Nyní je možné otevřít škrtecí ventil na kompresoru a tím pustit vysokotlaký vzduch do lišty s tryskami. Po té zkontrolujeme, jestli je celá vysokotlaká část utěsněná a jestli ze všech trysek proudí vzduch. Jestliže je vše v pořádku, může se přistoupit k seřízení přístroje.

6.2 Seřízení lišty s tryskami

Lišta s tryskami je uchycena pomocí závěsu, který se skládá ze dvou misek spojených šrouby. Pokud jsou šrouby povolené, je možné s celou lištou otáčet okolo její osy a tím měnit úhel natočení trysek vůči letové dráze. Tímto způsobem natočíme trysky tak, aby svíraly s letovou dráhou úhel cca 15°. Potom dotáhneme šrouby, které spojují misky. Nyní se s přístrojem můžeme rozjet. Po ujetí cca deseti metrů zastavíme a zkontrolujeme, jestli přístroj funguje správně a sbírá všechny nečistoty. Pokud tomu tak není, je nutné povolit lištu s tryskami a natočit jí o větší úhel vůči letové dráze např. na 20°. Tento postup opakujeme tak dlouho, dokud bude ofukovač zanechávat na letové dráze nečistoty.

6.3 Čištění sběrače nečistot a způsob jízdy

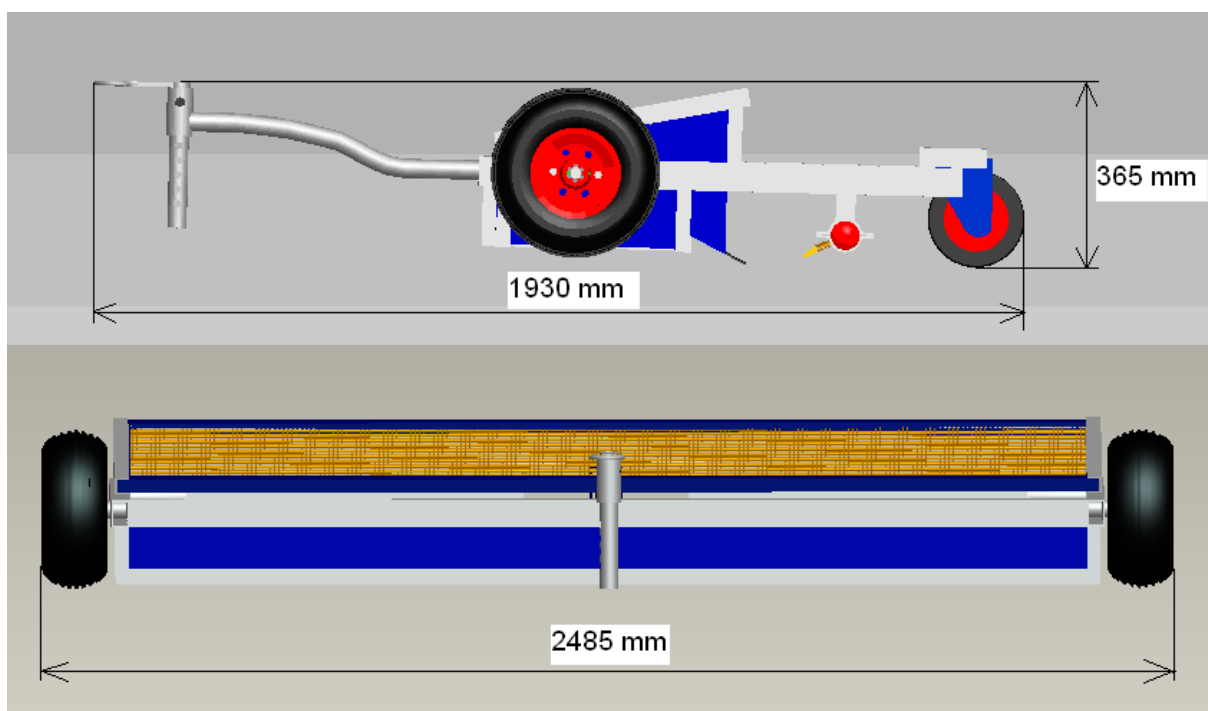
Pokud je přístroj seřízen, je možné začít čistit letovou dráhu. Při samotném čištění je třeba hlídat množství nečistot ve sběrači. Pokud by se v něm nahromadilo příliš nečistot, mohly by ze sběrače vypadávat ven. Když je sběrač plný, vysune se jeho vrchní víko a nečistoty lze vybrat lopatou. Poté vrchní víko zasuneme zpět a můžeme pokračovat v čištění. Při čištění dráhy je třeba mít na paměti, že je nutné dodržovat překrytí jízdních pruhů. Při jízdě tam a zpátky by se měly jízdní pruhy překrývat asi o 30 cm. Dále je třeba nepřekračovat maximální přípustnou rychlost, která je závislá na intenzitě znečištění dráhy. Z konstrukčního hlediska je maximální přípustná rychlost soustavy 20 km/h. Lepšího efektu čištění dosáhneme, pokud je dráha suchá. Celkový náhled na přístroj je na obrázku č. 27.



Obrázek 27. Celkový náhled na ofukovač

6.4 Hlavní rozměry přístroje

Celková délka přístroje je 1930 mm . Při couvání se ovšem jeho délka sníží na 1850 mm . Toto snížení délky je zapříčiněno tím, že se při couvání otočí transportní kolo o 180° okolo otočného čepu a celé se ukryje uvnitř rámu přístroje. Také výška přístroje je proměnlivá díky stavitelnému připojovacímu zařízení. A to od 365 mm do 575 mm . Šířka přístroje 2485 mm je neměnná. Všechny rozměry jsou uvedeny na obrázku č. 28. Výkres sestavení Sp_01 a výrobní výkresy součástí Vv_01, Vv_02, Vv_03 jsou na příloženém CD. Výkresy jsou vytvořeny pomocí programu AutoCAD 2007.



Obrázek 28. Hlavní rozměry přístroje

ZÁVĚR

Přístroj, který je v práci navrhován, je určen spíše pro letiště menších velikostí. Při záběru přístroje dva metry by bylo na velkém letišti časově náročné ošetřit celou letovou dráhu. Z hlediska provozu na letové dráze u velkého letiště nejsou časové intervaly pro úklid dráhy příliš velké. Své vhodné uplatnění by na velkém letišti mohl přístroj najít ve spolupráci s již zmiňovaným úklidem plochy od nečistot pomocí ventilátoru. Tyto fukary odfouknou nečistoty ke kraji letové dráhy. Po tomto ofukování by mohl nastoupit mnou navrhovaný přístroj a nečistoty z okraje dráhy posbírat. Zde by byl záběr přístroje dostatečný i pro velké letiště. Dalším využitím pro velké letiště by byl úklid pojezdových ploch. Tyto plochy nedosahují tak velkých rozměrů jako vzletová dráha, ale jejich čistota je také velmi důležitá. Jak je tedy vidět, přístroj najde své uplatnění nejen na malých letištích, ale dá se použít i pro úklid větších letišť.

Využitelnost přístroje nekončí pouze na letišti. Lze ho použít i pro úklid jakýchkoliv zpevněných rovinných ploch nebo pozemních komunikací. Musí však být zajištěna ideální rovina, aby nedocházelo ke kontaktu trysek s vozovkou.

SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- [1] *Fotografie letadel* [online]. Poslední revize 26. 4. 2011 [cit. 2011-04-26]. Dostupné z: <<http://www.planes.cz/cs/photo/>>.
- [2] *The FOD*BOSS* [online]. Poslední revize 10. 4. 2011 [cit. 2011-04-10]. Dostupné z: <<http://www.fodboss.com/fodboss/>>.
- [3] *Vzduchové trysky* [online]. Poslední revize 25. 4. 2011 [cit. 2011-04-25]. Dostupné z: <<http://www.hennlich.cz/produkty/trysky-vzduchove-trysky-whisperblast-vicekanalove-trysky-821/>>.
- [4] *Kompresory* [online]. Poslední revize 18. 3. 2011 [cit. 2011-03-18]. Dostupné z: <<http://www.umt.fme.vutbr.cz/~svechet/main/storage/vp2/kompresory.pdf/>>.
- [5] *Ramirent* [online]. Poslední revize 26. 4. 2011 [cit. 2011-04-26]. Dostupné z: <http://www.ramirent.cz/katalog_63_kompresory.htm>.
- [6] *Excaliburarmy* [online]. Poslední revize 15. 3. 2011 [cit. 2011-03-15]. Dostupné z: <<http://www.earmyshop.cz/eshop/vojenska-technika/kolova-technika/ostatni-2/kompresor-dk-661.html>>.
- [7] LEINVEBER, Jan; ŘASA, Jan; VÁVRA, Jaroslav. *Strojnické tabulky*. 3. doplněné vydání. Praha: Scientia spol. s r. o., 2000. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
- [8] *Pružnost a pevnost 2 – Materiály z přednášek od prof. Ing. Jaroslava Menčíka, CSc, UPCE DFJP Pardubice, 2009 – 2010.*
- [9] *Ambra* [online]. Poslední revize 25. 3. 2011 [cit. 2011-03-25]. Dostupné z: <<http://katalog.ambra.cz/pojzdova-kola-bantamova-kola-c95.htm>>.
- [10] *Metoda konečných prvků 1 – Materiály z přednášek od doc. Ing. Petra Paščenka, CSc., UPCE DFJP Pardubice, 2009 – 2010.*
- [11] Zákon č. 49/1997 Sb. o civilním letectví a o změně a doplnění zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Příklad pro čištění letové dráhy od firmy BOSCHUNG.....	9
Obrázek 3. Tažné vozidlo Case IH 95	10
Obrázek 4. Samosběrný zametač	11
Obrázek 6. Vícekanálová tryska s plochým rozstříkem.....	14
Obrázek 7. Objemový průtok a hladina hluku trysek	15
Obrázek 8. Technické parametry trysek.....	16
Obrázek 9. Tlakový diagram ideálního kompresoru	20
Obrázek 10. Tlakový diagram skutečného kompresoru.....	21
Obrázek 11. Kompresor ATLAS COPCO: XAS 186 Dd	22
Obrázek 12. Kompresor ATMOS: PD 85	23
Obrázek 13. Kompresor DK 661	23
Obrázek 14. Osazení lišty tryskami	25
Obrázek 15. Připojení tlakové hadice	25
Obrázek 16. Nosný rám.....	27
Obrázek 17. Náboj kola a zajištění kola.....	29
Obrázek 18. Transportní kolo a jeho uchycení.....	29
Obrázek 19. Uchycení lišty s tryskami	30
Obrázek 20. Sběrač a jeho nosná konstrukce	31
Obrázek 21. Víko sběrače a jeho uložení.....	32
Obrázek 22. Oj.....	32
Obrázek 23. Připojovací zařízení.....	33
Obrázek 24. Rozdělení součástí.....	42
Obrázek 25. Model se zadanými parametry	43
Obrázek 26. Mapa výsledných napětí.....	43
Obrázek 27. Celkový náhled na ofukovač	45
Obrázek 28. Hlavní rozměry přístroje.....	46

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Rozměry bantamového kola.....	28
Tabulka 2. Rozměry transportního kola.....	28

SEZNAM ZKRATEK

ČSN	Česká technická norma
ISO	Mezinárodní norma
DFJP	Dopravní fakulta Jana Pernera
UPCE	Univerzita Pardubice
USA	Spojené státy Americké
MKP	Metoda konečných prvků
a.s.	Akciová společnost
Sb.	Sbírka zákonů

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1. Výkres sestavení Sp_01(přiložené CD)

Příloha č. 2. Výrobní výkres Vv_01(přiložené CD)

Příloha č. 3. Výrobní výkres Vv_02(přiložené CD)

Příloha č. 4. Výrobní výkres Vv_03(přiložené CD)