

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství

Studijní zaměření: Stavba energetických strojů a zařízení

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Návrh a pevnostní kontrola nosného rámu ventilátoru

Autor: **Lukáš Hrych**

Vedoucí práce: **Ing. Zdeněk Jůza, Ph.D., MBA**

Akademický rok 2014/2015

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš HRYCH**  
Osobní číslo: **S12B0151P**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Stavba energetických strojů a zařízení**  
Název tématu: **Návrh a pevnostní kontrola nosného rámu ventilátoru**  
Zadávací katedra: **Katedra energetických strojů a zařízení**

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

Máte za úkol:

1. Provést rešerši z oblasti pevnostních výpočtů ventilátoru.
2. Navrhnout 2 - 3 varianty nosných rámu ventilátoru na izolátorech chvění.
3. Provést konstrukčně-technologické porovnání navržených variant.
4. Připravit výrobní výkresovou dokumentaci zvolené varianty.

Rozsah grafických prací: **10 - 20 stran**  
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

- **Jan Čermák a kolektiv: Ventilátory**
- **Prof. Ing. Jan Macek, DrSc.: Spalovací turbíny, turbodmychadla a ventilátory**
- **Kaminský J., Kolarčík K., Pumprla O.: KOMPRESORY, Ostrava, 2004**
- **Podniková norma ZVVZ Machinery**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Jůza, Ph.D., MBA**  
Katedra energetických strojů a zařízení  
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Karel Horský**  
ZVVZ Milevsko  
Ostatní konzultanti: **Ing. Marián Humený**  
ZVVZ Milevsko  
**Dušan Švehla**  
ZVVZ Milevsko

Datum zadání bakalářské práce: **3. listopadu 2014**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. června 2015**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.  
děkan

L.S.

Ing. Zdeněk Jůza, Ph.D., MBA  
vedoucí katedry

V Plzni dne 30. října 2014

# ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Hrych	Lukáš
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	Stavba energetických strojů a zařízení	
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	Ing. Jůza, Ph.D., MBA	Zdeněk
<b>PRACOVIŠTĚ</b>	ZČU – FST – KKE	
<b>DRUH PRÁCE</b>	BAKALÁŘSKÁ	
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Návrh a pevnostní kontrola nosného rámu ventilátoru	

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKE	<b>ROK ODEVZD.</b>	2015
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	55	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	30	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	10
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<b>STRUČNÝ POPIS</b>	Tato bakalářská práce je zaměřena na rámovou konstrukci jednoho konkrétního ventilátoru od firmy ZVVZ Machinery, a.s. Cílem je navrhnout dvě až tři varianty rámové konstrukce, které jsou složeny z různých typů ocelových nosičů. Všechny navrhované varianty rámu byly podrobeny výpočtům tuhosti, která je hlavním kritériem pro výběr výsledné varianty. Pro získání daných tuhostí rámu byla použita metoda konečných prvků. Zvolená varianta rámu vykazuje nejvyšší tuhost při daném zatížení a zároveň největší hmotnost konstrukce.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>	ventilátor, rámová konstrukce, tuhost, konstrukční profil

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Hrych	Lukáš
<b>FIELD OF STUDY</b>	Design of Power Machines and Equipment	
<b>SUPERVISOR</b>	Ing. Jůza, Ph.D., MBA	Zdeněk
<b>INSTITUTION</b>	ZČU – FST – KKE	
<b>TYPE OF WORK</b>	BACHELOR	
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Concept and Strength Control of Supporting Fan Frame	

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Power System Engineering	<b>SUBMITTED IN</b>	2015
----------------	------------------------	-------------------	--------------------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	55	<b>TEXT PART</b>	30	<b>GRAPHICAL PART</b>	10
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>	<p>This thesis is focused on the frame structure of one particular fan from the company ZVVZ Machinery a.s. The aim is to design two to three variants of the frame structure, which consist of various steel beam types. All proposed variants of the frame were subjected to calculation of the stiffness, which is the main criterion for the final option selection. To obtain the stiffness of the frames, the Final Element Method was used. The selected option has the highest frame stiffness under given load and the greatest structure weight.</p>
<b>KEY WORDS</b>	fan, frame construction, stiffness, construction profile

## **Prohlášení o autorství**

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

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

V Plzni dne 23. 6. 2015

---

podpis autora

## **Poděkování**

Chtěl bych tímto poděkovat všem pedagogům ze Západočeské univerzity v Plzni, kteří mi po dobu mého studia předávali nové znalosti, cenné připomínky a svou odbornou pomocí pomáhali při tvorbě této bakalářské práce.

Především však patří dík vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Zdeňku Jůzovi, Ph.D., MBA, z KKE-ZČU a konzultantům Ing. Karlu Horskému, Ing. Mariánu Humenému a Kamilu Úradníku z firmy ZVVZ Machinery, a.s. za obětavou pomoc při překonávání problémů a vstřícnost při poskytování informací potřebných pro sepsání bakalářské práce.

## OBSAH

1	ÚVOD .....	1
2	VENTILÁTORY .....	3
2.1	Obecný popis .....	3
2.2	Užití .....	3
2.3	Rozdělení ventilátorů .....	4
2.3.1	Základní rozdělení ventilátorů .....	4
2.3.2	Další rozdělení ventilátorů .....	6
2.4	Hlavní části ventilátoru .....	8
3	RADIÁLNÍ VYSOKOTLAKÉ VENTILÁTORY FIRMY ZVVZ Machinery a.s.....	13
3.1	Obecný popis .....	13
3.2	Užití .....	14
3.3	Pracovní podmínky .....	14
3.4	Systém značení ventilátorů v ZVVZ Machinery, a.s.....	14
4	VENTILÁTOR RVM 2500 8P-P180°-0°-740 .....	15
4.1	Schéma ventilátoru .....	15
4.2	Popis ventilátoru .....	16
5	RÁM VENTILÁTORU RVM 2500 8P-P180°-0°-740 .....	18
5.1	Zatížení rámu ventilátoru .....	18
5.2	Metoda konečných prvků .....	19
5.3	Návrhové varianty .....	19
5.3.1	První varianta .....	19
5.3.2	Druhá varianta .....	21
5.3.3	Třetí varianta .....	23
6	PEVNOSTNÍ VÝPOČTY .....	25
6.1	Výpočtové modely .....	25
6.1.1	Výpočet uložení rámu .....	25
6.2	Zatížení modelu .....	26
6.3	Vytvoření sítě konečných prvků na modelu .....	27
7	PEVNOSTNÍ ANALÝZA .....	29
7.1	Vyhodnocení tuhosti jednotlivých variant .....	34
8	MODIFIKACE A VYZTUŽENÍ RÁMŮ .....	35



8.1	Zhodnocení tuhosti s výztužemi .....	36
9	ZÁVĚR.....	37
9.1	Vyhodnocení jednotlivých variant.....	37
9.2	Zvolená konstrukce rámu.....	37
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	39
10.1	Tištěné zdroje.....	39
10.2	Elektronické zdroje .....	39
10.3	Publikace na Internetu .....	39
10.4	Zdroje obrázků.....	39
11	SEZNAM PŘILOŽENÝCH DOKUMENTŮ .....	40
11.1	Výkresová dokumentace.....	40
11.2	Rozvržení izolátorů chvění dle PUV programu.....	40
12	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	41
13	SEZNAM TABULEK .....	42

# 1 ÚVOD

Dnešní svět je z technického hlediska na velmi vysoké úrovni a pro běžného člověka existuje řada věcí, které běžně v životě považuje za samozřejmost. Nenapadne nás, že každý výrobek se musí nějakým způsobem vymyslet, prakticky a funkčně navrhnout a v neposlední řadě vyrobit. To znamená zvážit možnosti jednotlivých podniků z hlediska dostupnosti materiálů a technického zázemí, aby cena výrobku byla atraktivní pro potencionálního zákazníka a výrobek si získal své místo na trhu.

Strojní výrobky nás obklopují doslova všude. Ať už myslíme přímo, například automobily, motocykly a mostní konstrukce nebo nepřímo jako kotle v elektrárnách, nádoby reaktoru nebo právě ventilátory.

Ventilátory jsou součástí našeho života již od nepaměti. Už staří Peršané používali tak zvané „chytače větru“, což byly vysoké věže, které vedly proud vzduchu přes cisternu s vodou, kde se vzduch ochlazoval.[4] Každý z nás si určitě pod slovem ventilátor představí kulatý větrák v rohu místnosti, který při velmi vysokých teplotách zajišťuje cirkulaci vzduchu v místnosti. Strojní význam slova ventilátor se od této běžné představy příliš neliší. Ventilátor je rotační stroj s lopatkovým kolem nebo vrtulí pro dopravu a stlačování plynů<sup>1</sup> a par. Pracuje v rozmezí kompresního poměru od 1,01 až do poměru 1,5. Většina ventilátorů pracuje s poměrem stlačení mezi 1,01 až 1,1. Jedná se tedy spíše o dopravu plynů a par než o jejich stlačení. Stroje s kompresním poměrem 1,5 – 3 se nazývají dmyhadla a stroje s kompresním poměrem větším než 3 se nazývají kompresory. [2]

Ventilátory jsou důležitou součástí téměř všech vzduchotechnických zařízení. Oblast použití je velmi široká a zahrnuje jak větrací a klimatizační zařízení pro občanské i průmyslové účely, tak i různá průmyslová technologická zařízení, zejména v energetice, hutnictví a chemickém i dřevařském průmyslu. Ventilátory se vyskytují také ve stavebnictví, textilním a sklářském průmyslu, v zemědělství i elektronice.

Jedná se výhradně o lopatkové stroje, které mají sací a výtlačný prostor navzájem stále spojený. Ke stlačování plynu dochází v důsledku dynamického působení lopatek na plyn. Tento účinek je závislý na relativní rychlosti plynu vůči lopatkám, a projevuje se tedy pouze při pohybu rotoru. [2]

Tato bakalářská práce je zaměřena na rámovou konstrukci jednoho konkrétního ventilátoru, od firmy ZVVZ Machinery, s označením RVM 2500 8P-P180°-0°-740. Jedná se o radiálně, jednostranně sací ventilátor o průměru oběžného kola 2500 mm.

Úkolem této práce je navrhnout dvě až tři varianty rámové konstrukce, která bude složena z různých typů ocelových nosičů. Ocelové nosiče, též zvané ocelové profily, mají několik základních tvarů a typů. Základní použité typy profilů v této práci jsou tyče U, I a L. Tyto profily jsou k sobě svařeny do jednotné pevné konstrukce- rámu. Tato práce se zabývá určením tuhostí těchto konstrukcí jako celků, v závislosti na velikosti a typu jednotlivých konstrukčních prvků. Výpočty tuhostí jednotlivých variant byly prováděny v programu ANSYS ve spolupráci s výpočtáři firmy ZVVZ Machinery a.s.

---

<sup>1</sup> Plynem se v tomto případě rozumí plyny, směsi plynů, páry a směsi plynů a par, které dále mohou ještě obsahovat v menších koncentracích kapalné a pevné částice.

Bakalářská práce je rozdělena do kapitol. Hlavními kapitolami jsou „Ventilátory“, kde je ventilátorové zařízení popsáno, jsou zde uvedeny typy ventilátorů a jejich hlavní části. Dále kapitola „Radiální vysokotlaké ventilátory firmy ZVVZ Machinery a.s.“, která uvádí obecný popis, užití, pracovní podmínky a systém značení pro ventilátory od firmy ZVVZ Machinery a.s. Následuje kapitola „Ventilátor RVM 2500 8P-P180°-0°-740“, kde už je zmíněno konkrétní zařízení, pod které je rámová konstrukce navrhována. Také jsou zde představeny jednotlivé varianty rámových konstrukcí. Následující kapitola „Pevnostní výpočty“ se týká nastavení pevnostních výpočtů v programu Ansys a nutných úkonů k získání věrohodných výsledků. Na tuto část přímo navazuje kapitola „Pevnostní analýzy“, kde jsou jednotlivé varianty hodnoceny dle poskytnutých výsledků. Následně je popsána úprava konstrukcí a opětovné určení jejich tuhostí. V poslední kapitole pak probíhá vyhodnocení jednotlivých variant a práce je uzavřena výběrem výsledné varianty.

Výsledkem bakalářské práce je pak výkresová dokumentace ke zvolené variantě rámu a rozmístění izolátorů chvění pod rámem. Dalším výstupem této práce je porovnání a zhodnocení jednotlivých variant a také jejich následných úprav.

## 2 VENTILÁTORY

### 2.1 Obecný popis

Ventilátory se vyskytují ve většině zařízení typu klimatizace, větrací zařízení a u podobných strojů, kde zajišťují proudění plynu. Úkolem ventilátoru je dopravovat, popřípadě tlakovat plyn pomocí vlastního zařízení, jako je například potrubí, klimatizační zařízení, filtry a podobně. [6]

Jsou to rotační lopátkové stroje, které pracují při malých kompresních poměrech. Hodnota tohoto poměru je obvykle v rozmezí 1,01 až 1,1, zřídka 1,3 a zcela výjimečně u vícestupňových ventilátorů až 1,5. [2]

Ventilátory jsou charakterizovány následujícími způsoby:

- objemovým průtokem vzduchu
- celkovým dopravním tlakem, což je hodnota udávající také tlakovou ztrátu v potrubí
- výkonem, příkonem a také změnou teploty vzduchu ve ventilátoru. [5]

Dodávaná mechanická energie z pohonu ventilátoru je v průtočné části ventilátoru předávána oběžnému kolu. Kolo pak předá energii dopravovanému či stlačovanému plynu. O pohon ventilátoru se starají hlavně elektromotory, ale také turbíny na stlačený vzduch a různé benzinové či dieselové agregáty. Protože ventilátorem dopravovaný plyn je stlačitelný, a protože se průchodem ventilátoru zvyšuje jeho tlak, mění se měrná hmotnost plynu. Pro kompresní poměry menší než 1,03 se obvykle změna měrné hmotnosti zanedbává a jedná se tedy o izochorickou změnu. Při větších kompresních poměrech se obvykle změna stavu plynu uvádí jako adiabatická. [2]

S provozem ventilátorů je spojeno mnoho aspektů, které ovlivňují jejich výběr pro daný účel. Míra hluku může být od téměř neslyšitelného přístroje v místnosti až po zařízení, jenž produkuje více hluku, než je lidské ucho schopné snést. Na tento i další aspekty, jako jsou například vibrace, rozměry, kompresní poměr apod., je třeba brát ohled při užití ventilátoru.

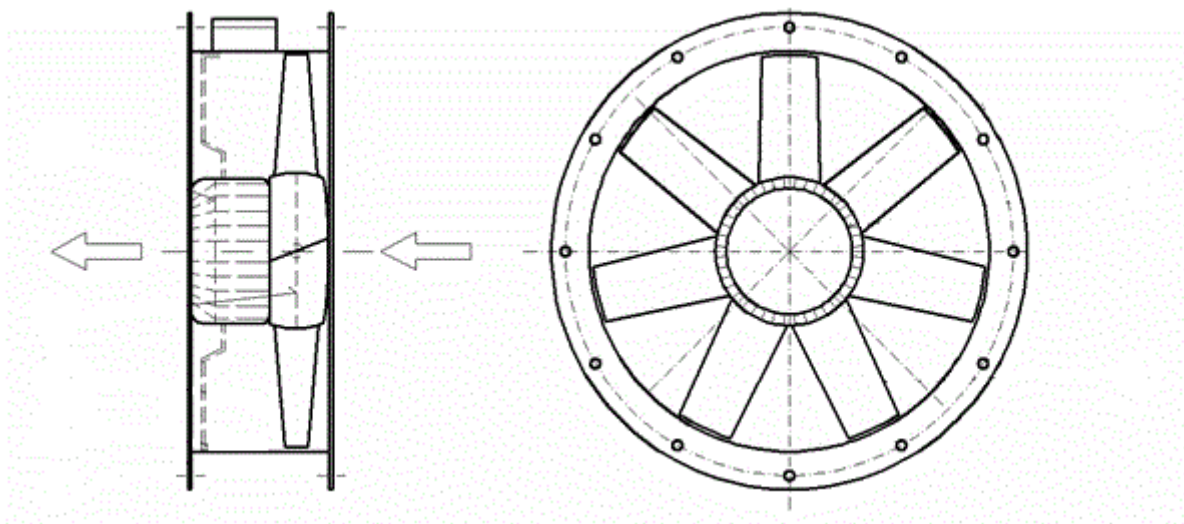
### 2.2 Užití

Možností užití ventilátorů je velice mnoho. Jedná-li se o ventilátory pracující pouze s čistým vzduchem, patří mezi jejich hlavní úkony ochlazování, přečerpávání plynů a větrání. Ovšem ventilátory jsou využívány i k dopravě plynů s příměsí tuhých či kapalných látek, jako je tomu například v hutích, dolech, spalovnách, elektrárnách, kotelnách atp. Proto mohou mít i ventilátory o podobných parametrech velice rozdílnou konstrukci. Velice totiž záleží na látce, která bude procházet skrz ventilátor. [5,6] Z tohoto důvodu neexistuje pouze jeden typ ventilátoru, ale existuje několik různých typů, které jsou používány dle svých konkrétních vlastností.

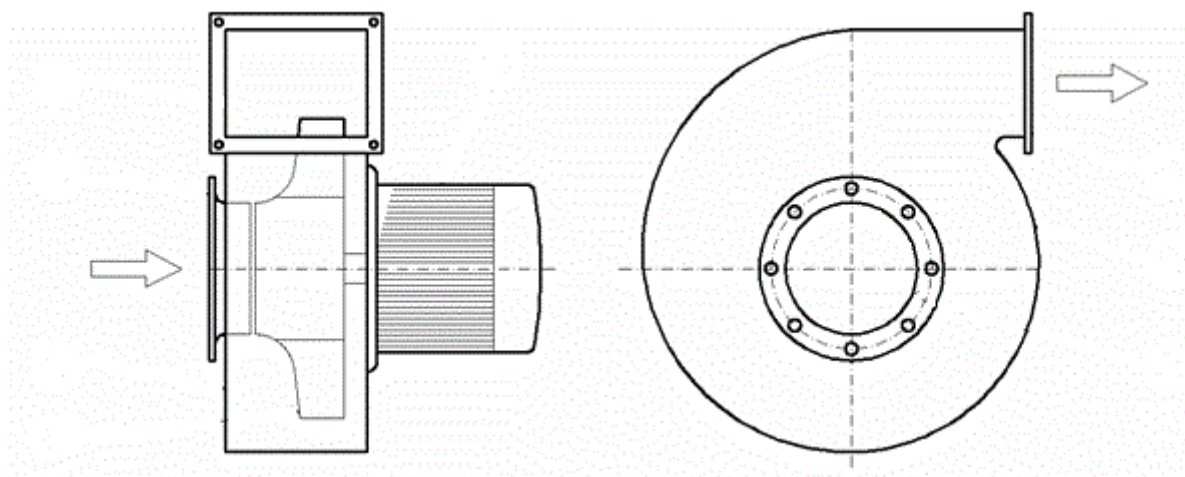
## 2.3 Rozdělení ventilátorů

### 2.3.1 Základní rozdělení ventilátorů

Při klasifikaci ventilátorů je základním hlediskem směr proudění plynu oběžným kolem v jeho meridiánové<sup>2</sup> rovině. Podle toho je možno ventilátory rozdělit na ventilátory axiální, radiální, diagonální a diametrální.

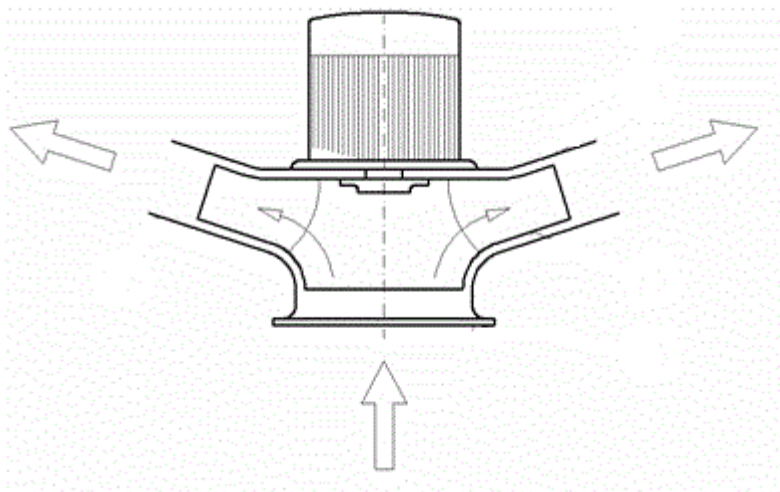


Obr. 1 Axiální ventilátor [9]

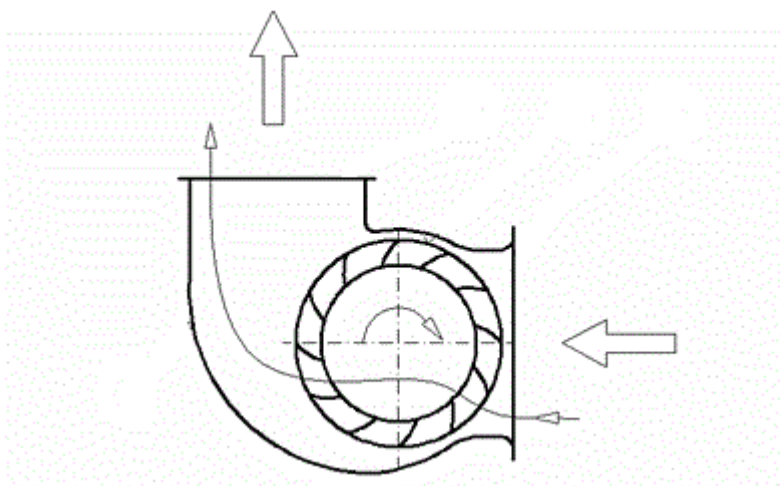


Obr. 2 Radiální ventilátor [9]

<sup>2</sup> Meridiánová rovina je taková rovina, která prochází osou rotace.



Obr. 3 Diagonální ventilátor [9]



Obr. 4 Diametrální ventilátor [9]

Hlavními částmi axiálních ventilátorů (obr. 1) jsou rotor s oběžnými lopatkami a stator. Plyn uvnitř ventilátoru proudí ve směru osy otáčení oběžného kola. Tento typ se používá tam, kde je požadován velký průtok vzduchu bez vysokých nároků na dopravní tlak. U ventilátorů s vyššími výkony je také běžné použití difuzoru, který může být vnějšího nebo vnitřního provedení. Difuzor slouží k přeměně kinetické energie plynu na tlakovou energii. Axiální ventilátory lze rozdělit na rovnotlaké (plyn získává pouze vyšší rychlost) a přetlakové (statický tlak za oběžným kolem je vyšší než před ním). [5]

Radiální ventilátor (obr. 2) má oběžné kolo, sací a výtlačná hrdla, dále spirální skříň, která zajišťuje přeměnu kinetické energie plynu na energii tlakovou. Plyn, který získal kinetickou energii od lopatek oběžného kola, má nyní vyšší tlak. Tomuto ději také napomáhá výše zmíněný difuzor. Podle tvaru lopatek oběžného kola se radiální ventilátory dělí na ventilátory s dopředně zahnutými lopatkami, zpětně zahnutými lopatkami a radiálně zakončenými lopatkami. [5]

Diagonální systém (obr. 3) představuje přechod mezi radiálním a axiálním systémem. Plyn proudí do ventilátoru v axiálním směru, tedy ve směru osy rotace

oběžného kola, avšak výtlak z ventilátoru není pod úhlem  $90^\circ$ , jako je tomu u radiálních ventilátorů, ale úhel mezi osou rotace a výtlakem je menší než  $90^\circ$ . [5]

Poslední zmíněné provedení je diametrální ventilátor (obr. 4). Ten nasává plyn na vnějším obvodu oběžného kola v sacím hrdle. Plyn prochází oběžným kolem napříč, a tudíž ke kontaktu s oběžnými lopatkami dojde hned dvakrát, jako je znázorněno na obrázku. Jde tedy o dvoustupňové urychlování dopravované látky. Plyn vystupuje na vnějším obvodu, odkud je dále vyfukován do výtlačného hrdla. Oběžné kolo tohoto typu zařízení má po obvodě rozmístěné dopředu zahnuté lopatky. Tento typ umožňuje sběr plynu z širokého vstupního hrdla a má vysokou produktivitu. Funkce tohoto ventilátoru je vlastně opačná, než u Bánkiho turbíny. [5]

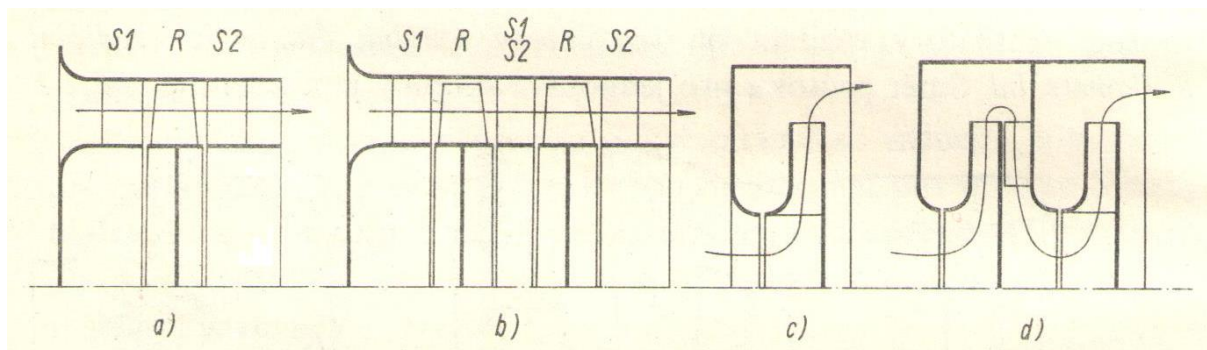
Všechny typy těchto ventilátorů lze rozdělit podle mnoha dalších hledisek. Není předmětem této práce obsáhnout celou teorii o lopatkových strojích, konkrétně ventilátorech, proto jsou zde uvedeny jen jejich základní typy.

### 2.3.2 Další rozdělení ventilátorů

Podle počtu stupňů se ventilátory dělí na jednostupňové a vícestupňové (obr. 5). Úplný stupeň axiálního ventilátoru se skládá z oběžného kola s rotorovými lopatkami a statoru se statorovými lopatkami. Jedny z nich jsou umístěny ve směru axiálního proudu plynu před oběžným kolem (rotorem) a druhé za ním. Někdy se používají axiální stupně pouze s jedním statorovým lopatkovým věncem, výjimečně i bez statorových lopatek. Obecně ovšem platí, že realizace vícestupňových axiálních ventilátorů je spíše výjimečná. [2]

Obdobně je to i u radiálních ventilátorů. Na rozdíl od axiálních mají však radiální vícestupňové ventilátory převáděcí kanály, kterými proudí plyn z obvodu jednoho oběžného kola do vstupu následujícího oběžného kola. V převáděcích kanálech bývají někdy umístěny rovněž statorové lopatky. [2]

Vícestupňový ventilátor je soustava několika jednostupňových ventilátorů pracujících na společné ose uspořádaných tak, že jimi plyn postupně protéká. Ventilátory s více než dvěma stupni jsou zcela výjimečné. [2]



*R = rotorové lopatky; S1 = statorové lopatky před rotorem; S2 = statorové lopatky za rotorem*

Obr. 5 a) jednostupňový axiální ventilátor b) dvoustupňový axiální ventilátor c) jednostupňový radiální ventilátor d) dvoustupňový radiální ventilátor [2]

Ventilátory můžeme také rozdělit podle hodnoty maximálního dosažitelného celkového tlaku ventilátoru:

- nízkotlaké – s tlakem nižším než 1000 Pa
- středotlaké – s tlakem v rozmezí 1000 až 3500 Pa
- vysokotlaké – s tlakem přesahujícím 3500 Pa. [2]

Z hlediska tlaku je ještě možné ventilátory rozdělit na přetlakové, u nichž je statický tlak za oběžným kolem vyšší než před ním, a rovnotlaké, u nichž je statický tlak před i za oběžným kolem přibližně shodný. [2]

Dále lze ventilátory dělit podle druhu pohonu. Nejčastěji se setkáváme s pohonem pomocí elektromotorů asynchronních, a to hlavně u menších ventilátorů. V průmyslové výrobě se velmi často využívá tzv. pneumatický pohon, který je nejčastěji realizován pomocí turbíny na stlačený vzduch. Pohon však může být zajištěn nejrůznějšími způsoby, jako například spalovacími motory, parní nebo plynovou turbínou a nakonec i ručním pohonem. [2]

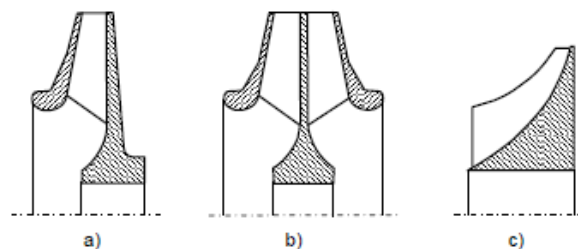
Dle způsobu spojení rotoru ventilátoru s pohonem se rozlišují provedení napřímo, na spojku a s převodovým ústrojím. V provedení napřímo je oběžné kolo ventilátoru přímo nasazeno na čep pohonu. Je-li použito provedení na spojku, je oběžné kolo nasazeno na čep samostatného hřídele. Ten je s pohonem spojen prostřednictvím pružné spojky. Při provedení s převodovým ústrojím je oběžné kolo nasazeno na čep samostatného hřídele, který je s pohonem spojen prostřednictvím převodového ústrojí, nejčastěji klínovými řemeny. [2]

Ventilátory lze dále dělit podle polohy osy rotoru ventilátoru vzhledem k vodorovné rovině. Rozeznávají se ventilátory horizontální, u nichž osa rotoru leží přibližně ve vodorovné rovině, a vertikální, u nichž je osa rotoru přibližně svislá, tj. kolmá na vodorovnou rovinu. Většina ventilátorů je však vyrobena v horizontálním provedení, a proto se toto označení obvykle ani neuvádí. [2]

Vícestupňové axiální ventilátory mohou mít všechna oběžná kola otáčející se ve stejném smyslu, tj. se souběžnými rotory, nebo s rotory protiběžnými. To znamená, že bezprostředně za sebou následující oběžná kola se otáčejí v opačných směrech. Tímto lze dosáhnout opačného směru proudění plynu uvnitř ventilátoru. Ovšem stejného efektu lze také docílit změnou polohy lopatek při zachování původního směru otáčení oběžného kola. Takové ventilátory se nazývají reverzní ventilátory. [2]

Radiální ventilátory mohou být jednostranně nebo oboustranně sací podle toho, zda plyn vstupuje do oběžného kola ve směru osy jeho rotace z jedné nebo obou stran. [2]

Na následujícím obrázku jsou tři ukázky nejpoužívanějších oběžných kol.



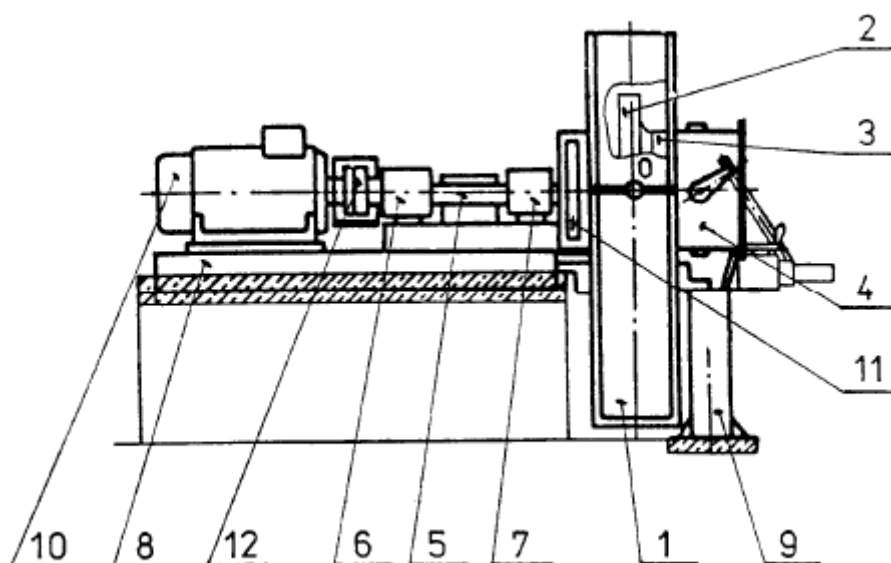
Obr. 6 a) kolo sestávající se z nosného kotouče, lopatek a kotouče krycího b) kolo s oboustranným sáním c) kolo bez krycího kotouče [3]



Na obr. 6 a) je znázorněné kolo běžné konstrukce, obsahující nosný kotouč, lopatky a krycí kotouč. Na obr. 6 b) je kolo uzpůsobené pro oboustranné sání. Pro speciální úkoly se zhotovují kola z lehkých slitin bez krycího kotouče (obr. 6 c) rotující obvodovou rychlostí až 500 m.s-1. [3]

## 2.4 Hlavní části ventilátoru

Ventilátor se zpravidla skládá z těchto základních částí: rotor, sací skříň, spirální skříň, nosný rám, stoličky, pohon, popřípadě převodové ústrojí. Na následujícím obrázku je znázorněno obecné schéma ventilátoru. [1]

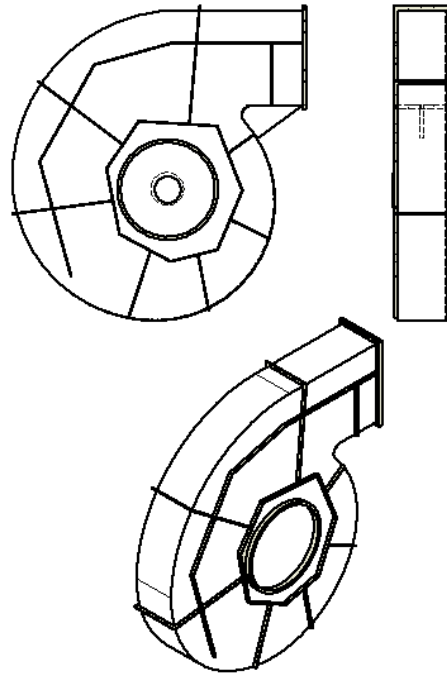


Obr. 7 Radiální ventilátor vysokotlaký jednostranně sací [1]

- |                      |                     |
|----------------------|---------------------|
| 1. Spirální skříň    | 7. Volné ložisko    |
| 2. Oběžné kolo       | 8. Rám              |
| 3. Sací hrdlo        | 9. Podpěra          |
| 4. Regulační ústrojí | 10. Elektromotor    |
| 5. Hřídel            | 11. Chladicí kotouč |
| 6. Pevné ložisko     | 12. Spojka          |

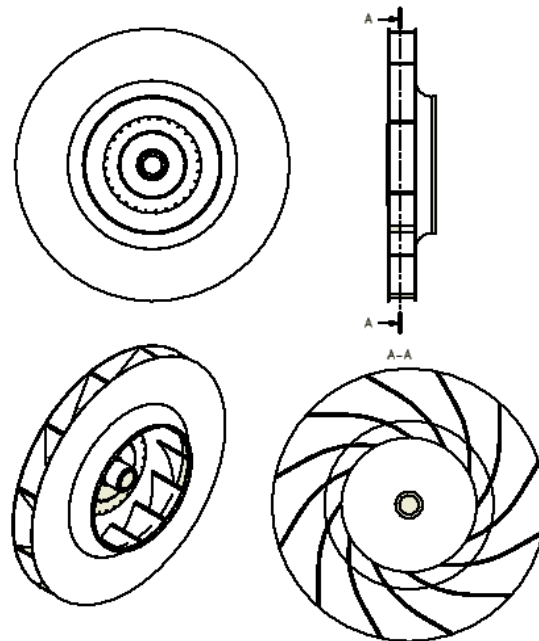
Rotor ventilátoru se skládá z jednoho či více oběžných kol, hřídele a řemenice nebo poloviny spojky. Oběžné kolo je umístěno uvnitř spirální skříň ventilátoru. Nosný rám nese spirální, popřípadě i sací skříň, ložiskové a motorové stoličky a slouží k uložení ventilátoru na základ. [2]

Spirální skříň (Obr. 8) jsou většinou zhotoveny ze tří velkých plechů, které jsou po bocích vyztuženy. Boční plechy mají tvar logaritmické spirály a mezi nimi je třetí plechový díl, který je spojuje pevně pomocí svaru. Tvar logaritmické spirály se pro jednoduchost nahrazuje čtyřmi kružnicemi o různých poloměrech, přičemž jejich středy jsou umístěny v blízkosti středu otáčení hřídele. [2]



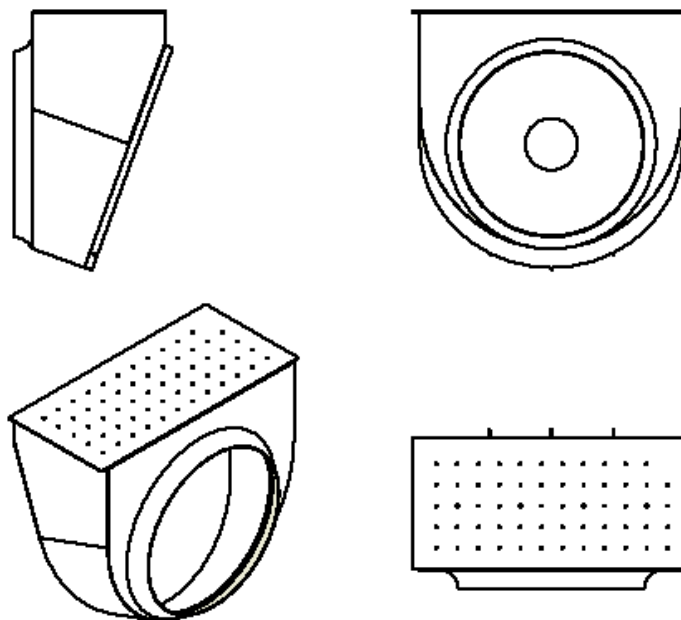
Obr. 8 Spirální skříň

Oběžné kolo je velmi důležitá součást celého soustrojí. Tato součást musí být dobře zkonstruována jak z hlediska pevnosti, z důvodu působení velkých odstředivých sil, tak také z hlediska aerodynamických vlastností. Kolo může pracovat ve vyšších teplotách, nemusí dopravovat čistý plyn a toto vše se musí při jeho konstrukci vzít v úvahu. Kolo jako celek pak musí splňovat bezpečnostní limity, dostatečnou životnost, ale také hlukové či vibrační omezení. [2]



Obr. 9 Oběžné kolo

Sací komora může mít velice rozdílné provedení, které záleží na typu ventilátoru. Na obr. 7 vidíme, že sací komora je pouze jakési sací hrdlo. Tak tomu bývá hlavně u axiálních ventilátorů. Naopak radiální ventilátory mají převážně konstrukci celé sací skříň. Viz. Obr. 10 [2]



Obr. 10 Sací skříň

Regulace ventilátoru se provádí několika způsoby. Mezi ty nejvíce používané patří regulace škrcením, kde je cílem zvýšit odpor ventilátoru, a to například přivřením klapky ve výtlaku, v sacím potrubí apod. Druhý nejrozšířenější způsob je natáčení oběžných lopatek, které se provádí pouze u konstrukcí velkých průmyslových zařízení. [2]

Hřídele ventilátorů jsou většinou rozdělovány na válcové, osazené a duté hřídele. Pro hřídel jsou určujícími faktory výkon ventilátoru, otáčky a pevnost. Hřídel je namáhána nejen v krutu, ale také v ohybu. U hřídelí se také zjišťují jejich kritické otáčky. [2]



Obr. 11 Hřídel

Hřídel bývá uložena buď na valivá ložiska, nebo kluzná ložiska. V dnešní době se používají hlavně valivá ložiska, a to z důvodu jednoduchých oprav a výměn. Ložiska kluzná se používají v menších zařízeních, jako jsou například klimatizace v automobilech, ventilátory v domácnosti apod., nebo naopak tam, kde je vysoká hmotnost nebo vysoké otáčky rotoru. [2]

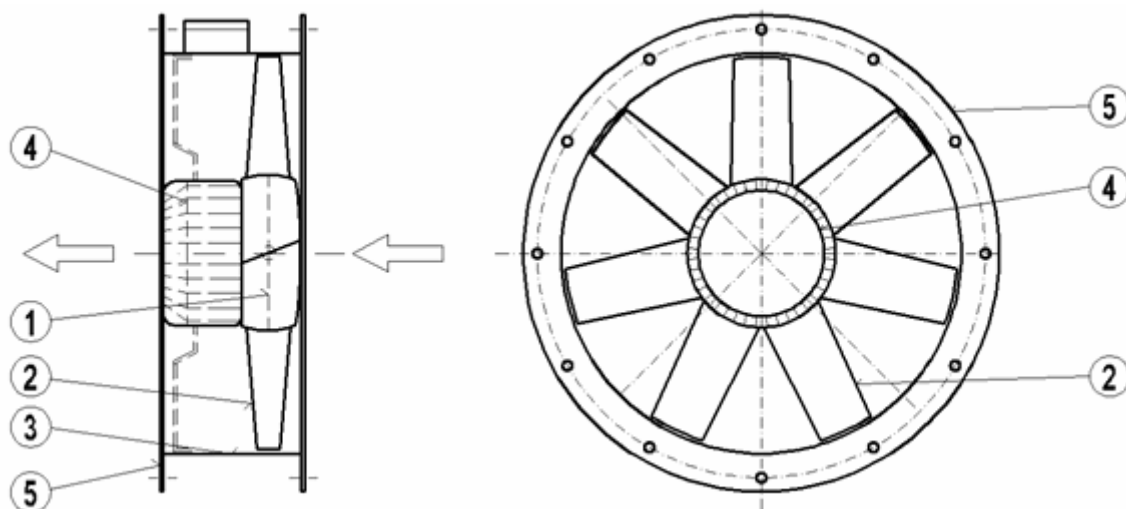
Základní rám je většinou svařenec, na kterém jsou uloženy jednotlivé části ventilátoru. Při jeho konstrukci je velmi důležitá jeho pevnost. Samotný rám je pak přichycen k betonovému základu buď na pevno pomocí šroubů, nebo přes izolátory chvění. Rám může podepírat pouze rotor se sací skříní a spirální skříní, nebo na něm může být uložen i motor s podpěrami pod obě ložiska. První varianta se používá u extrémně velkých konstrukcí, zejména kvůli transportu. [1]

Podpěry pod elektromotor a obě ložiska se mohou lišit podle provedení ventilátoru. Podpěra je většinou svařenec, který nese díly: elektromotor, ložisko pevné i ložisko volné; a pevně tyto části spojuje s nosným rámem. [1]

Za nejvíce používaný pohon je označován asynchronní elektromotor, a to především pro jeho jednoduchost, nízkou cenu a malé nároky na obsluhu. Nejčastěji se provádí tzv. použití s „kotvou na krátko“. [2]

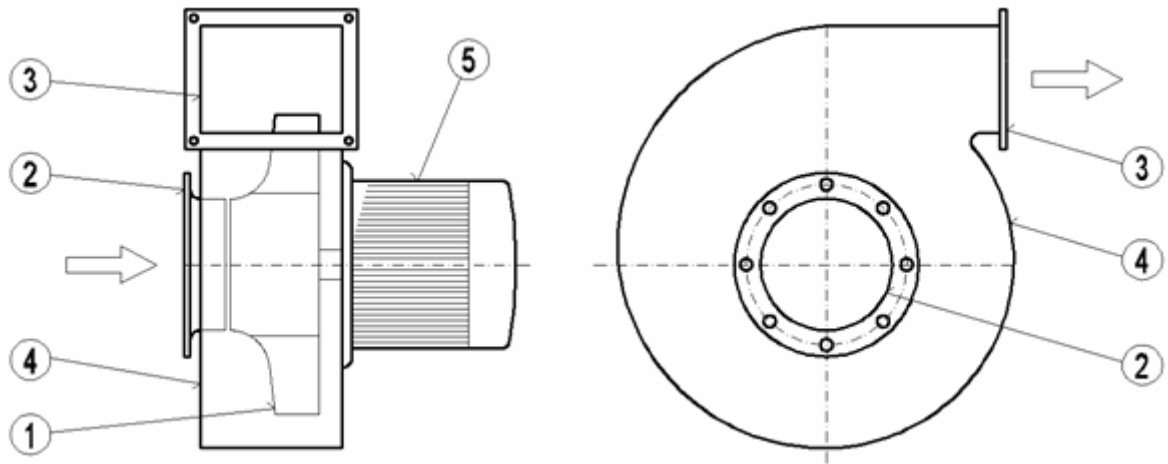
Spojky se používají převážně pružné, které jsou schopny vyrovnat určité nepřesnosti polohy a tlumit torzní kmity. Nepřesnosti se do systému mohou dostat například chybnou montáží, nebo dilatací vlivem teploty. Tam, kde je požadována regulace otáček a zároveň je zde velký záběrový moment, se používají hydrodynamické spojky. [2]

Oběžné kolo axiálních ventilátorů se skládá z nosného kotouče a lopatek. Axiální přetlakové ventilátory s malým nábojovým poměrem, které se pro podobnost s lodním šroubem někdy označují jako ventilátory šroubové, jsou většinou lopatky připevněny přímo k náboji. [2]



Obr. 12 Axiální ventilátor ( 1 - oběžné kolo/rotor, 2 - lopatky oběžného kola, 3 - plášť/skříní, 4 - elektromotor, 5 - příruba k nosnému rámu) [9]

Oběžné kolo radiálního ventilátoru se skládá z nosného a krycího kotouče a lopatek, jak je naznačeno na Obr. 13 [2]

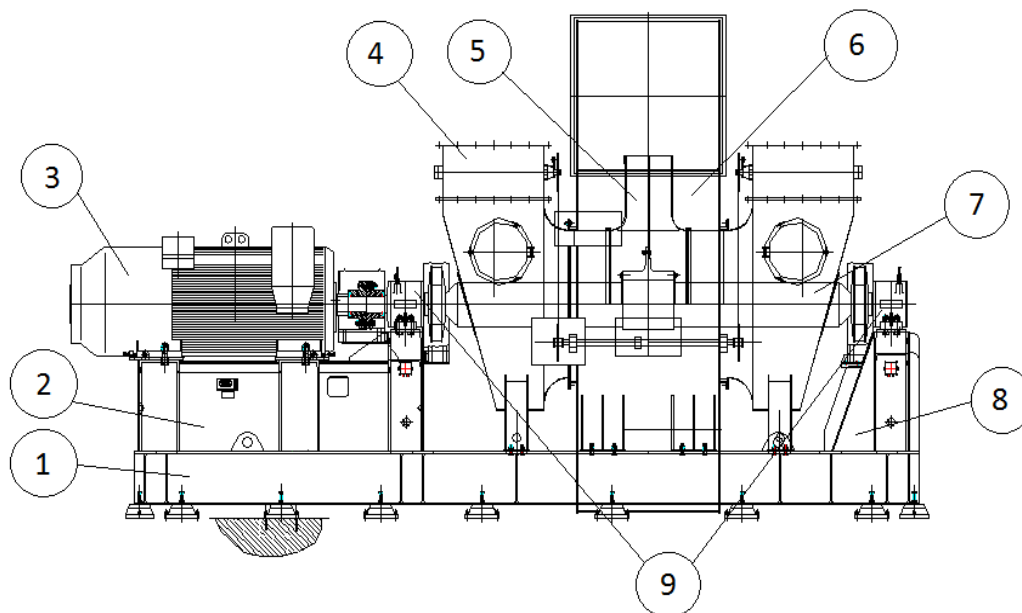


Obr. 13 Radiální ventilátor ( 1 - oběžné kolo, 2 - sací hrdlo, 3 - výtlačné hrdlo, 4 - spirální skříň, 5 - elektromotor) [9]

Axiálních ventilátory mají vlastní stupeň uložený ve skříni, na kterou obvykle navazuje přímý difuzor kruhového průřezu. Oproti tomu je oběžné kolo radiálních ventilátorů umístěno zpravidla ve spirální skříni. [2]

### 3 RADIÁLNÍ VYSOKOTLAKÉ VENTILÁTORY FIRMY ZVVZ MACHINERY a.s.

Obecně vypadají radiální vysokotlaké ventilátory podle následujícího schématu:



Obr. 14 Schéma ventilátoru uloženého na rámu [1]

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| 1. Rám                 | 6. Spirální skříň      |
| 2. Podpěra pod motorem | 7. Hřídel              |
| 3. Elektromotor        | 8. Podpěra pod ložisko |
| 4. Sací skříň          | 9. Ložiska             |
| 5. Oběžné kolo         |                        |

#### 3.1 Obecný popis

Radiální vysokotlaké ventilátory (dále jen RVM) se mohou dělit na jednostranně nebo oboustranně sací. Ventilátory se vyrábějí ve velikostech 1600 mm, 2000 mm a 2500 mm a to buď v klasickém, nebo v tzv. pancéřovém provedení. Pro zajištění širokého rozsahu výkonu je možné u každé velikosti ventilátoru použít osm různých oběžných kol označených čísly 1 až 8. Oběžné kolo je upevněno na konci hřídele. Hřídel ventilátoru je uložena ve valivých ložiskách v dělených ložiskových skříňích. Při teplotě dopravovaných plynů nad 100°C jsou ložiska chlazena chladícím kotoučem nasazeným na hřídel mezi spirální skříň a volné ložisko. U ventilátorů dopravujících plyny o teplotě nad 250°C až 400°C se ložiska chladí chladícím kotoučem a oběhovým mazáním s chlazením oleje. Ložiska jsou opatřena odporovými teploměry. Ventilátory lze uložit dvěma způsoby. První z nich je uložení dílů ventilátoru přímo na vodorovný betonový základ, vyrobený na míru pro daný typ a velikost ventilátoru. Druhou, častější, ale také složitější možností je uložení dílů ventilátoru na rám, který je ukotvený na vodorovnou betonovou podlahu pomocí izolátorů chvění, jejichž počet závisí na konkrétním typu ventilátoru. Toto provedení je nazýváno pružným uložením ventilátoru. V případě

kombinace pružného uložení s možností regulací otáček ventilátoru je nutné celé soustrojí naladit na dostatečný frekvenční odstup od regulačního rozsahu. [1]

### 3.2 Užití

Ventilátory klasického provedení se používají pro dopravu čistého plynu, ventilátory pancéřovaného provedení pro dopravu plynu s abrazivními příměsemi. Ventilátory nelze použít pro dopravu výbušných plynů, plynů s korozivním charakterem a plynů obsahujících vláknitý prach. Ventilátory nejsou plynotěsné a nelze je tudíž použít pro dopravu plynů škodlivých a zapáchajících. Výkon ventilátoru pro provozní stav je možné měnit regulačním ústrojím v rozsahu minimálně 60% celkového aerodynamického výkonu, popřípadě v provozně ověřeném rozmezí. [1]

### 3.3 Pracovní podmínky

Ventilátory klasického provedení mohou dopravovat plyn bez abrazivních příměsí o teplotě -20°C až plus +400°C. Při teplotách nad 100°C nastává nutnost použití chladícího kotouče a při teplotách přesahujících 250°C ještě navíc oběhového mazání s chladícím olejem. Ventilátory pancéřového provedení mohou dopravovat plyny s abrazivními příměsemi o teplotách stejných jako u klasického provedení. Přípustné množství příměsí záleží na jejich druhu a abrazivních vlastnostech. [1]

### 3.4 Systém značení ventilátorů v ZVVZ Machinery, a.s.

Systém značení ventilátorů ve firmě ZVVZ Machinery, a.s. je popsán zde:

Radiální vysokotlaký jednostranně sací ventilátor s oběžným kolem č. 8/1.00 (2500 mm), v klasickém provedení s polohou spirální skříně (pravá) P180°, s otáčkami 980 min<sup>-1</sup>, pro dopravu do 100°C bez abrazivních příměsí se značí takto:

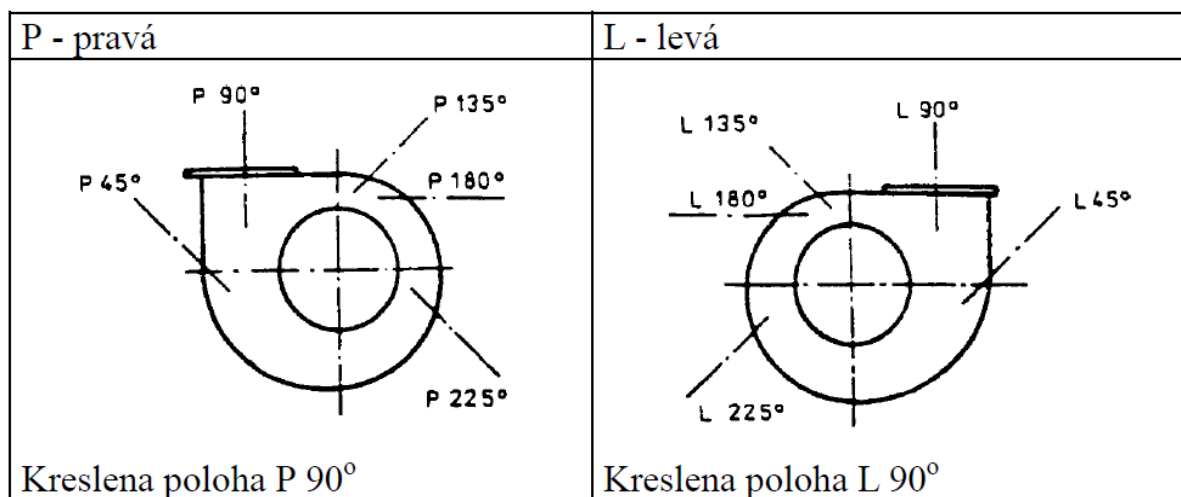
**Ventilátor RVM 2500 - 8 / 1.00 - N - P 180° - 980 PM 12 3336 . 2**

Název -	Ventilátor
Typ-	RVM (Radiální vysokotlaký jednostranně sací ventilátor)
Velikost -	2500 [mm]
Číslo oběžného kola -	8
Poměrná šířka oběžného kola-	1.00
Provedení -	N/P (klasické/pancéřové)
Poloha spirální skříně -	P 180°
Otáčky ventilátoru -	980 [min <sup>-1</sup> ]
Číslo normy-	PM 12 3336
Chlazení ložisek -	2

[1]

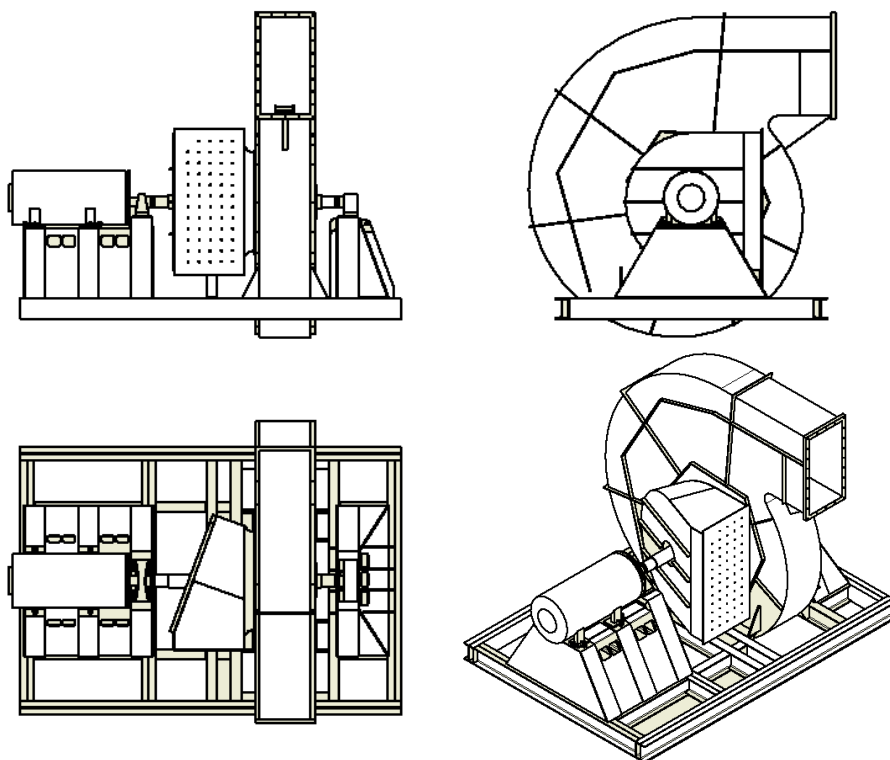
## 4 VENTILÁTOR RVM 2500 8P-P180°-0°-740

Předmětem této bakalářské práce je rám ventilátoru s označením **RVM 2500 8P-P180°-0°-740** (dále jen ventilátor). V předcházející kapitole jsme určili, že se jedná o ventilátor vysokotlaký jednostranně sací o velikosti 2500 mm s oběžným kolem číslo 8. Jde o pancéřové provedení s polohou spirální skříně P180° (Obr. 15). Otáčky ventilátoru jsou 740 otáček za minutu a nepotřebuje žádné chlazení ložisek.



Obr. 15 Schéma uložení spirální skříně [1]

### 4.1 Schéma ventilátoru



Obr. 16 Schéma celého ventilátoru



## 4.2 Popis ventilátoru

Ventilátor se skládá z těchto základních dílů:

- asynchronní elektromotor
- podpěry pod motor a ložisko
- ložiska
- hřídel
- sací a spirální skříň
- oběžné kolo
- rám

[7]

Elektromotor zajišťuje energii, která se následně předává plynu skrze oběžné kolo. Použitý elektromotor dodala firma Siemens a má následující parametry:

- typ: 1LA 357 - 8PM80 - Z
- výkon: 290kW
- otáčky: 743 rpm
- účinnost:  $\approx 95,7\%$
- maximální krouticí moment: 3723 Nm
- váha: 2200 kg

[7]

Podpěry pod ložiska a motor jsou svařence. Zajistí přesné usazení hřídele a všeho, co je s ní spojeno. Obě podpěry jsou pevně, svarem spojeny s rámem, a tím zvyšují jeho tuhost. Proto při výpočtech pevnosti rámu musíme vzít v potaz i tyto podpěry o celkové hmotnosti 1867 kg. [7]

Ložiska jsou použita valivá a jsou uložena na již zmíněných podpěrách. Jedná se o radiální a radiálně-axiální ložiska o celkové hmotnosti 353,7 kg. [7]

Hřídel plného profilu s odstupňováním musí být dostatečně tuhá, aby unesla oběžné kolo o velikosti 2500 mm a dosahovala požadované životnosti. Hřídele se u tohoto typu zařízení mění jen velice výjimečně, proto by její životnost měla být stejná, jako životnost celého zařízení po celou dobu provozu. Tato hřídel rám zatíží vahou 688,5 kg. [7]

Další částí je sací skříň. Jedná se o plechový díl, vyztužený po celé své vnější ploše, přes který je nasáván vzduch do spirální skříně. Sací otvor má předem definované rozměry a nemá žádnou možnost škrčení. Sací skříň je zakončena přírubou, která dále navazuje na spirální skříň, potažmo oběžné kolo. Hmotnost sací skříně je přibližně 564 kg. [7]

Jak již bylo zmíněno, sací skříň navazuje na spirální skříň. Jedná se opět o plechový díl, který je také vyztužený po celé své vnější ploše. Spirální skříň je vyšší než 4,5 m a do šířky dosahuje přibližně 4 m. Její konstrukce připomíná logaritmickou spirálu, ale ve skutečnosti se jedná o čtyři kružnice o různých poloměrech, kdy jejich středy tvoří čtverec kolem středu pomyslné spirály. Spirální skříň váží 3796 kg a je opět uložena přímo na rámu. [7]

Uvnitř spirální skříně se nachází oběžné kolo velikosti číslo 8. Pro tento typ ventilátoru to odpovídá průměru kola 2500 mm. Pokud jsou kladeny vyšší hygienické

nároky na hlučnost nebo vibrace, lze to u takto velkých oběžných kol řešit potřebnou izolací. Oběžná kola se vyrábějí z oceli třídy 11, přičemž toto kolo váží přibližně 1479 kg. [7]

Poslední částí zařízení je rám ventilátoru, který je předmětem této bakalářské práce. Je však potřeba zmínit, že se vždy jedná o svařenec různých konstrukčních profilů.

## 5 RÁM VENTILÁTORU RVM 2500 8P-P180°-0°-740

Rám ventilátoru musí být navrhnout tak, aby jeho konstrukce odolala statickému namáhání od jednotlivých dílů ventilátoru. Konstrukce rámu musí také odolávat dynamickému zatížení způsobenému rotací jednotlivých dílů. Toto zatížení ale není předmětem této bakalářské práce. Celý rám představuje svařenou konstrukci z různých konstrukčních profilů, které nejvíce ovlivňují tuhost dané varianty rámu. Výsledkem jsou celkem tři varianty řešení, z nichž každá je zaměřena na jiný druh požadavků. První je zkonstruována s ohledem na největší možnou tuhost, druhá varianta je zaměřena na redukci hmotnosti a třetí vykazuje nejmenší vnější rozměry rámu.

Konstrukce rámu musí navazovat na zbytek celé sestavy ventilátoru. Z tohoto důvodu byly podle výkresové dokumentace vytvořeny v programu Autodesk Inventor modely všech dílů ventilátoru RVM 2500 8P - P180° - 0° - 740. Jedná se o tyto díly: podpěry pod elektromotor a pod ložisko, které jsou také pevně přivařeny k rámu a tím zvýší jeho výslednou tuhost, sací skříň, spirální skříň a v neposlední řadě izolátory chvění pod rámem. Tyto díly jsou nejdůležitější pro následné pevnostní výpočty.

Díky složené sestavě bylo možné zjistit, kde se budou jednotlivé díly ventilátoru uchycovat k rámu. Uchycení jednotlivých dílů je pevně dáno jejich konstrukcí. Výjimkou je uchycení, respektive rozmístění izolátorů chvění mezi rámem a betonovým základem, které je velice variabilní. Postup určování polohy jednotlivých izolátorů je popsán v kapitole 6.1.1. Aby byly podmínky pro porovnání tuhostí rámu nejvíce shodné, byly zvoleny vždy čtyři izolátory chvění. U všech tří variant jsou izolátory rozmístěny velice podobně, a to co nejbližší k rohům rámové konstrukce.

### 5.1 Zatížení rámu ventilátoru

Rám ventilátoru se jako tuhé těleso – svařenec skládá ze samotného rámu, podpěry pod elektromotor a podpěry pod ložisko. Tyto tři části jsou k sobě pevně svařeny a na zjištění celkové tuhosti celé konstrukce použijeme, pomocí programu Ansys, výpočtovou metodu konečných prvků.

Po výčtu jednotlivých dílů ventilátoru s jejich hmotnostmi z přechozích kapitol vychází součet celkové statické hmotnosti, která bude působit na rám, přibližně 10 871 kg. Tyto hodnoty jsou odečteny z programu Autodesk Inventor, ve kterém byla celá sestava modelována. Dokumentace k tomuto typu ventilátoru z firmy ZVVZ Machinery udává hmotnost ventilátoru RVM 2500 v klasickém provedení, bez elektromotoru, přibližně 7500 kg. Protože se v našem případě jedná o pancéřové provedení, dosahuje hmotnosti asi 8750 kg. Samotný elektromotor má výrobcem garantovanou hmotnost do 2200 kg. Na rám bude tedy působit statická síla od 10 950 kg. Tyto hodnoty lze považovat za totožné z toho důvodu, že do celkové hmotnosti našeho vymodelovaného modelu nejsou zahrnuty hmotnosti menších součástí, jako například: napínáky na přesné uložení elektromotoru, opěrné podložky pod sací a spirální skříň apod. Na rám bude tedy působit statická síla od téměř 11 tun. [1]

## 5.2 Metoda konečných prvků

Přestože není metoda konečných prvků předmětem této bakalářské práce<sup>3</sup>, je nutné zmínit, jakým způsobem byla práce vypočítána a vyhodnocena.

Metoda konečných prvků je metoda sloužící k simulaci průběhů napětí, vlastních frekvencí, proudění tepla, ale také deformací, což je pro náš případ nejdůležitější. Jedná se o numerickou metodu, jejíž princip spočívá v diskretizaci fyzikálního modelu do určitého (konečného) počtu prvků. Na fyzikálním modelu, v našem případě rámu s oběma podpěrami, se nejprve vytvoří síť konečných prvků, a po následném výpočtu budou zjišťované parametry určovány v jednotlivých uzlových bodech sítě konečných prvků. Hustota prvků ovlivňuje kvalitu výsledků. [8]

Pro náš výpočet jsou nejdůležitější celkové deformace modelu. Zajímají nás tedy hodnoty posuvů jednotlivých bodů na rámu.

S výběrem metody je také pevně spjatý výpočtový program, ve kterém byla bakalářská práce zhotovena. Jedná se o program Ansys. Výpočet byl proveden v sekci „Static structural“, statika. Tento program plně spolupracuje s CAD programem Autodesk Inventor, ve kterém byly varianty rámu vymodelovány a ve formátu .IGS vyexportovány do programu Ansys. Více informací o tomto programu lze dohledat na internetových stránkách [www.ansys.com](http://www.ansys.com).

## 5.3 Návrhové varianty

Dle zadání má bakalářská práce za úkol navrhnout alespoň dvě varianty řešení rámu. Autor práce se pokusí o navržení celkem tří variant rámu. První varianta je zaměřena především na dostatečnou tuhost a odolnost proti danému zatížení. Druhá varianta byla zkonstruována s ohledem na co největší možnou úsporou hmotnosti rámu a u třetí je kladen důraz na nejmenší vnější rozměry rámu.

Při studii používaných materiálů ohledně konstrukčních rámu obecně, ať už k ventilátorům nebo k ostatním energetickým strojům, bylo zjištěno, že se nejvíce využívají konstrukční profily typu U, I, L a různé druhy trubek a jácklů. Konkrétní rozměry a typy profilů byly zvoleny na základě prostudování firemních výkresových dokumentací v ZVVZ Machinery. Dle těchto informací byly vybrány konkrétní konstrukční profily pro jednotlivé varianty. U všech použitých profilů se jedná o materiál S235JR, což dle českých technických norem odpovídá oceli ČSN 11 373. Pouze bezešvá výtuhová trubka první varianty rámu je vyrobena z oceli S355J2H (ČSN 42 5715).

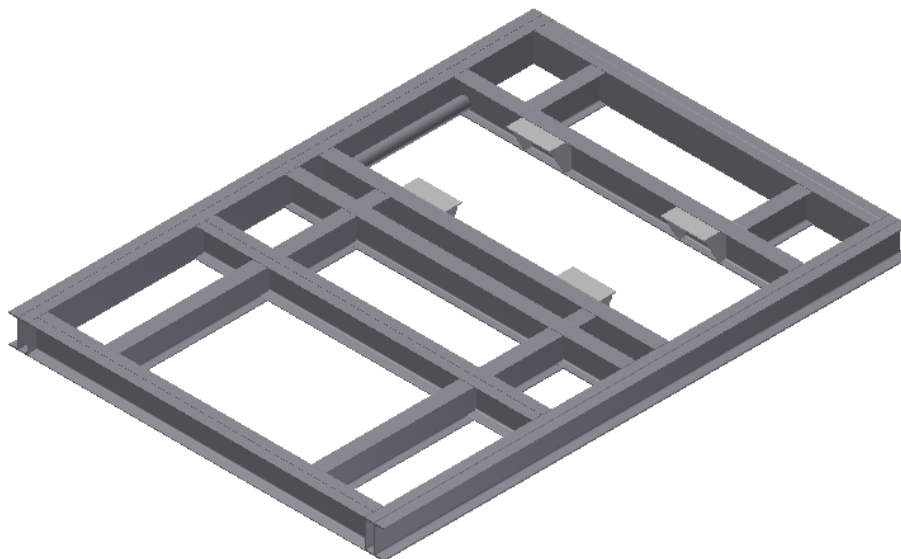
### 5.3.1 První varianta

První varianta, s výpočtovým a výkresovým označením „VAR1“, byla od počátku konstruována tak, aby byla dostatečně tuhá pro dané zatížení od dílů ventilátoru. Při jejím konstruování byly použity profily U a I, které rozměrově předčí obě následující varianty.

---

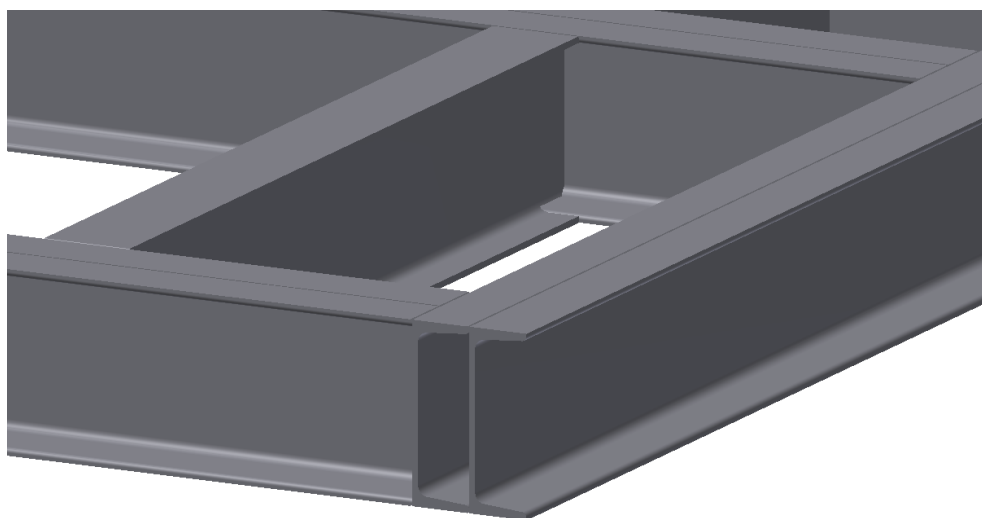
<sup>3</sup> Více informací o metodě konečných prvků lze dohledat například v literatuře s názvem Metoda konečných prvků, od autorů Petra Sváčka a Miroslava Feistauera.

Na obrázku číslo 17 a) je možno vidět pohled na celou rámovou konstrukci. Obvodové vedení je zhotoveno pomocí U profilů o rozměrech 300 mm výška a 100 mm šířka. Nejdelší U profil měří 5455 mm a příčnický mezi nimi mají délku 3497 mm. Celková šířka je pak 3897 mm.



Obr. 17 a) Rám ventilátoru, návrhová varianta VAR1

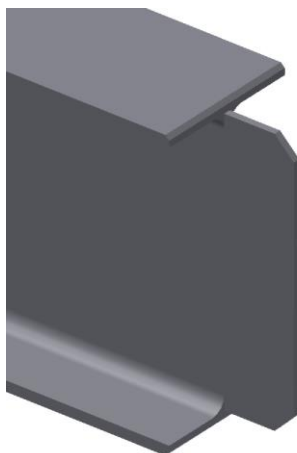
Na obrázku 17 b) je znázorněn systém propojení jednotlivých profilů a příprava na svaření. Obvodové vedení rámu tvoří dva U profily přiléhající k sobě. Po jejich celé délce jsou k sobě pevně přivařeny svarem 1/2V o velikosti 5 mm. Mezi obvodovým vedením se nachází několik příčníků. Hlavní z nich můžeme vidět na stejném obrázku v pravé horní části. Je to příčník tvořený dvěma složenými U profily. Dále se zde nacházejí I profily, které tvoří všechny zbývající příčky v rámu.



Obr. 17 b) Detail rámu ventilátoru, návrhová varianta VAR1

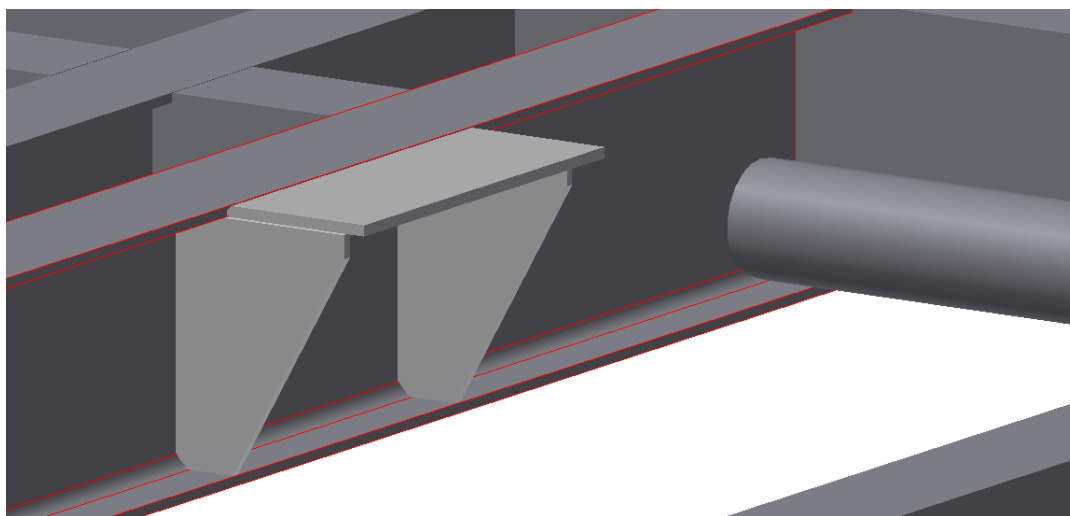
Tento I profil má rozměry 300 mm (výška) a 150 mm (šířka). Na koncích jsou pak I profily upraveny do tvaru, aby bylo možné jejich pevné spojení s protikusem. Výsledný tvar je naznačen na následujícím obrázku. I profil je pak zasazen kolmo na U profil

a přivařen. Na rovných stěnách není zapotřebí speciální úprava tvaru příčnicku. Pro spojení těchto dvou kusů jsou používány koutové svary velikosti 5 mm.



Obr. 17 c) Detail zkosení I profilu

Poslední zajímavou částí této varianty rámu je příprava na uchycení spirální skříňe. Spirální skříň se do rámu opírá ve čtyřech místech. Jelikož je oběžné kolo velmi velkých rozměrů, spirální skříň zasahuje do prostoru rámu po celé jeho šířce. Z tohoto důvodu, jak si můžeme všimnout na obrázku 17 d), byl rám vyztužen dvěma trubkami na vnitřní straně. Samotná spirální skříň je uchycena na vodorovný plech o rozměrech 450×172 mm a tloušťce 12 mm. Tento plech je podepřen dalšími dvěma tvarovými plechy také o tloušťce 12 mm.

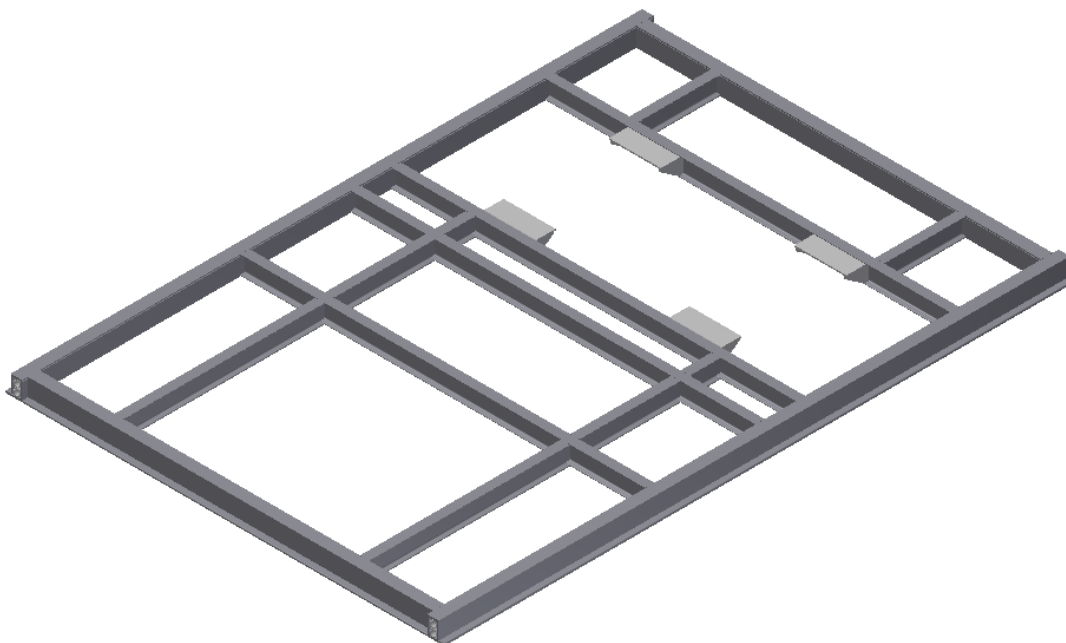


Obr. 17 d) Detail uchycení spirální skříňe

### 5.3.2 Druhá varianta

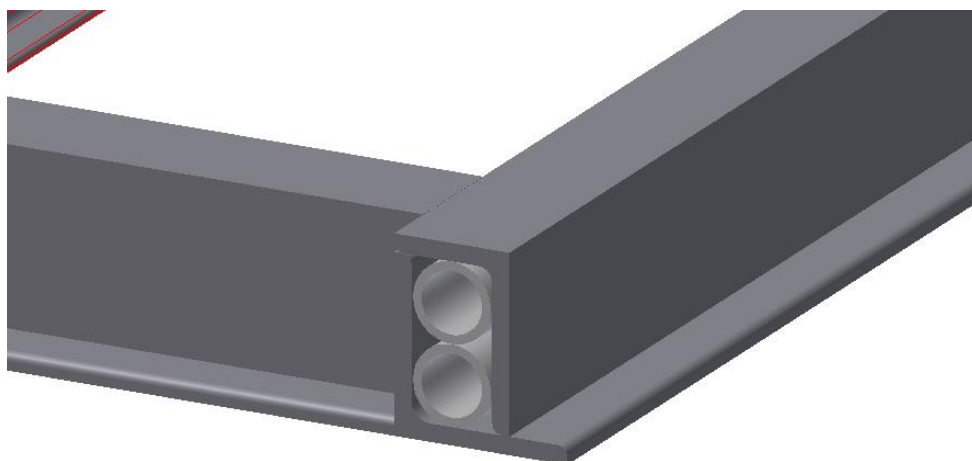
Druhá varianta, s výpočtovým a výkresovým označením „VAR2“, je zaměřena na úsporu hmotnosti rámu, respektive celého zařízení. Tato rámová konstrukce je složena z jiných typů profilů a jejich rozměry jsou menší. Z následujícího obrázku je patrné, že tuhost tohoto rámu nedosahuje stejných hodnot jako u první varianty. Záměrem je tedy

určení, zda jsou hodnoty deformací po zatížení rámu dostatečně malé, nebo zda se rám zdeformuje příliš.



Obr. 18 a) Rám ventilátoru, návrhová varianta VAR2

Detailní pohled na roh rámu nám odhalí konstrukci obvodového vedení. Jedná se o jeden větší L profil o vnějších rozměrech obou ramen 150 mm a o menší, nesymetrický L profil o rozměrech ramen 150 mm a 100 mm. V prostoru mezi těmito profily jsou vloženy dvě bezešvé trubky o vnějším průměru 67,5 mm s tloušťkou 15 mm.



Obr. 18 b) Detail rámu ventilátoru, návrhová varianta VAR2

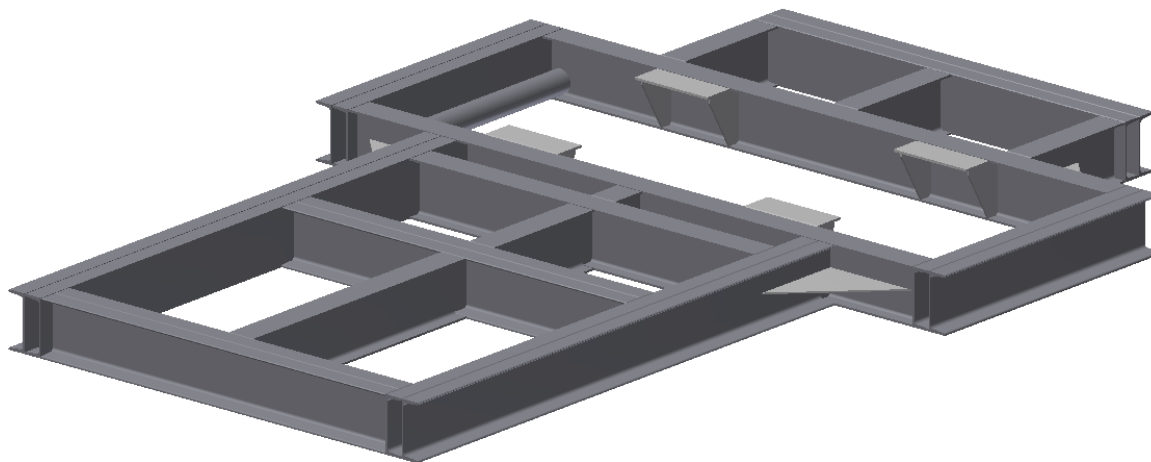
Stejně jako v první variantě jsou i zde použity příčnickové profily I, které jsou 160 mm vysoké a 80 mm široké.

Vnější rozměry rámu jsou mírně jiné, než u předcházející varianty. Délka je 5455 mm, ale celková šířka je 3797 mm. Hlavním rozdílový aspektem je ovšem hmotnost. Zatímco u první varianty byla hmotnost rámu kolem 2850 kg, tady je hmotnost o více než 1000 kg nižší. Úspora materiálu bude tedy značná, ovšem na úkor tuhosti konstrukce. Jestli se jedná o úsporu přiměřenou, nebo zda se tím stane konstrukce nepoužitelná, zjistíme pomocí již zmíněných výpočtů.

### 5.3.3 Třetí varianta

Třetí varianta, s výpočtovým a výkresovým označením „VAR3“, je zaměřena na co nejmenší vnější rozměry rámu. Aby i tak byla tato konstrukce schopná odolávat statickému zatížení téměř 11 tun, byly použity stejně masivní profily jako u první varianty. Očekávaná tuhost této varianty rámu je nižší díky menšímu počtu příčníků v rámu a také tomu, že boční nosníky nejsou z jednoho kusu ocele. Nejširší místo je pod spirální skříní a všude jinde byl rám zmenšen pouze na rozměry potřebné k uchycení daných dílů (podpěry pod elektromotor a podpěry pod ložisko).

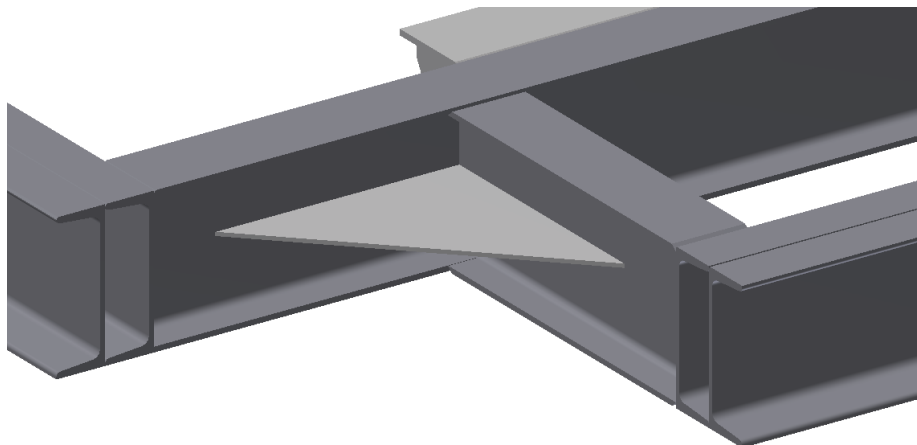
Celková délka musela zůstat stejná kvůli komponentám uloženým na rámu, ale šířku obou konců rámu se podařilo zmenšit na 2537 mm, respektive 2294 mm u konce s podpěrou pod ložisko. Toto místo je na obrázku 19 a) znázorněno jako vzdálenější konec rámu v pravém horním rohu.



Obr. 19 a) Rám ventilátoru, návrhová varianta VAR3

Na dalším obrázku 19 b) je vyobrazen detail vyztužení rámu právě v místě, kde je boční nosník přerušen. Toto vyztužení se nachází ve všech čtyřech rozích konstrukce a mimo jiné také slouží k pevnějšímu spojení dvou na sebe kolmých I profilů.





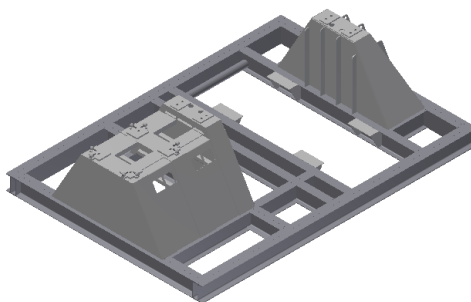
Obr. 19 b) Detail rámu ventilátoru, návrhová varianta VAR3

## 6 PEVNOSTNÍ VÝPOČTY

### 6.1 Výpočtové modely

Modely, které umožňují poskytnout reálné výsledky výpočtů, musely být značně upraveny oproti reálnému tvaru rámu z předešlých obrázků. Jelikož se jedná o svařenec, každý jednotlivý díl byl při výrobě připraven na budoucí přítomnost svárů. Jedná se hlavně o sražené hrany, ale také o mírné úpravy konců jednotlivých profilů (I profily). Pro výpočtové modely bylo nutné podobné detaily odstranit a upravit model tak, aby v místě svarů na sebe dané plochy přímo navazovaly, bez jakýchkoli mezer. Program Ansys to posléze pevnostně vyhodnotí jako svár.

U všech tří variant bylo provedeno toto zjednodušení a vložení geometrie do programu. Každá varianta byla vložena ve formě sestavy, a proto bylo nutné zanedbat určité části sestav, které nebudou mít žádný vliv na výpočet, ale zvyšovaly by časovou náročnost procesu. Prakticky se jednalo pouze o napínače, sloužící k přesnému umístění elektromotoru na podpěře. Vše ostatní, tudíž i podpěry pod elektromotor a podpěry pod ložisko, bylo součástí velkého svařence rámu. Proto bylo nutné zahrnout i tyto díly do výpočtu, protože svár mezi podpěrami a rámem ovlivní tuhost celé konstrukce. Výsledný výpočtový model je zobrazen na obrázku 20.



Obr. 20 Výpočtový model VAR1

Další důležitá část výpočtového modelu jsou opěrné body - plochy. Jde o plošky, na které jsou uloženy jednotlivé díly ventilátoru a také plošky, na kterých je celá sestava ventilátoru i s rámem připevněna k betonovému základu. Přesná místa opěrných ploch pro jednotlivé díly jsou zadaná již výkresem sestavy, stačilo je tedy v modelu naznačit nízkou podložkou, ke které se pak v programu Ansys umístí příslušný „Mass point“, hmotný bod simulující daný díl. Avšak opěrné plochy, za které se rám uchytí k betonovému základu, se musí určit pro každou variantu rámu zvlášť.

Takto bylo provedeno zjednodušení geometrie modelu pro výpočtové účely, dále je potřeba zajistit uložení celé konstrukce rámu na izolátory chvění.

#### 6.1.1 Výpočet uložení rámu

Firma ZVVZ Machinery používá pro tyto výpočty speciální interní program s názvem PUV. Jedná se o soukromý program sloužící k přesnému určení typu a polohy izolátoru pod daným typem rámu. Vstupní hodnoty do tohoto programu byly získány z modelů všech variant rámu, tentokrát bez podpěr pod elektromotor a pod ložisko,

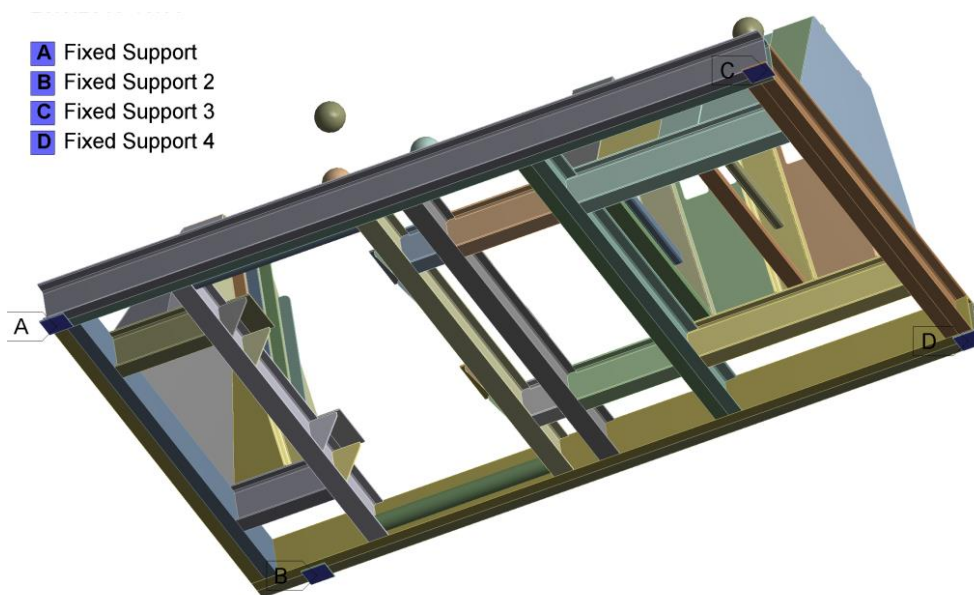
v programu Autodesk Inventor. Jedná se o hodnoty rozměrů rámu, souřadnice těžiště rámu, jeho celková hmotnost a vzdálenost izolátoru od kraje rámu, ve které je možné jej umístit. Přehled hodnot se nachází v tabulce číslo 1.

Tab. 1 – Hodnoty vstupující do programu PUV

	Hmotnost [kg]	Délka [mm]	Šířka [mm]	$X_T$ [mm]	$Y_T$ [mm]	A [mm]	B [mm]
VAR1	2846,8	5455	3897	2737,3	1948,5	60	60
VAR2	1733,0	5455	3797	2764,2	1898,5	82	82
VAR3	2146,6	5455	2537	2725,2	1268,5	60	60

V tomto programu lze dále zvolit typ izolátorů, na kterých bude rám uložen. Každý typ má jinou nosnost, a proto zde bylo možné kombinovat mnoho možností uložení. Aby byl výpočet tuhosti rámu co nejméně ovlivněn, byl zvolen co nejpodobnější druh uložení pro všechny varianty rámu. To znamená čtyři izolátory v rozích pro každou z variant a typ izolátorů dle shodné velikosti opěrné plochy na každém izolátoru. Jelikož má každá varianta rámu jinou hmotnost, musel být použit pokaždé jiný druh izolátoru, aby se zachovaly výše zmíněné podmínky.

Bylo nutné vyřešit rozmístění izolátorů po obvodu každého rámu tak, aby se pokud možno co nejvíce shodovalo u všech variant. Výsledky konečného rozmístění pro výslednou variantu jsou uvedeny v příložených dokumentech, ale lze je názorně vidět na následujícím obrázku.



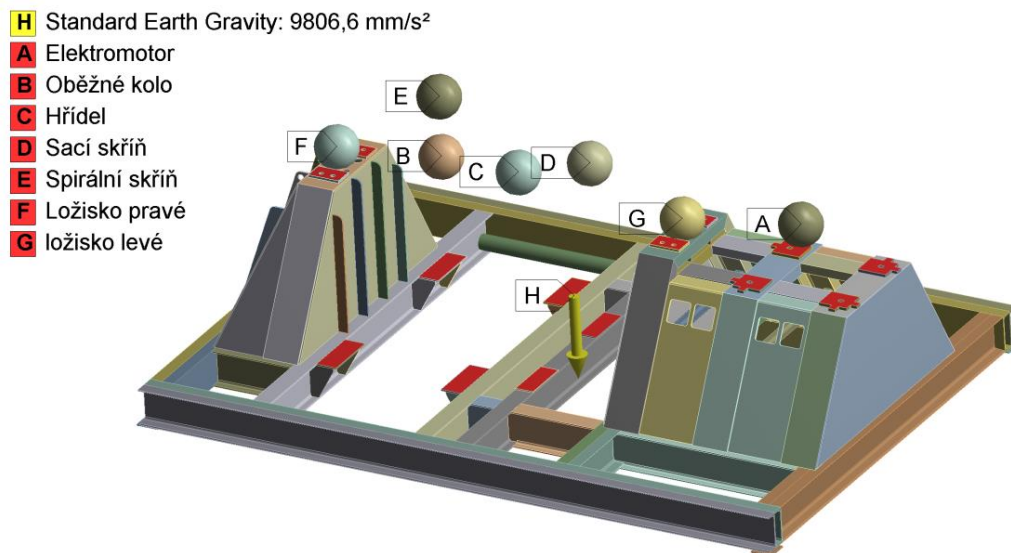
Obr. 21 Uchycení výpočtového modelu VAR1

Následující krok provádí zatížení rámu pomocí hmotných bodů, které simulují přítomnost všech částí celého ventilátorového zařízení.

## 6.2 Zatížení modelu

Aby byla geometrie kompletní, je zapotřebí nasimulovat uložení jednotlivých dílů ventilátoru na rám. Toto se uskuteční pomocí již zmíněných „Mass point“ hmotných bodů.

Do každé varianty je nutné vložit sedm hmotných bodů, které simulují přítomnost radiálního a radiálně - axiálního ložiska, hřídele, oběžného kola, spirální a sací skříň a nakonec elektromotoru. Každý hmotný bod je určen plochami, o které se díl opírá, dále hmotností, souřadnicemi těžiště dílu a také setrvačnými účinky. Důležitým krokem je vložení účinku od vlastní váhy modelu „Standard Earth Gravity“ ve správném směru gravitace.



Obr. 22 Schéma zatížení výpočtového modelu VAR1

Hodnoty hmotných bodů jsou pro názornost uvedeny v následující tabulce číslo 2:

Tab. 2 – Hodnoty hmotných bodů v programu Ansys

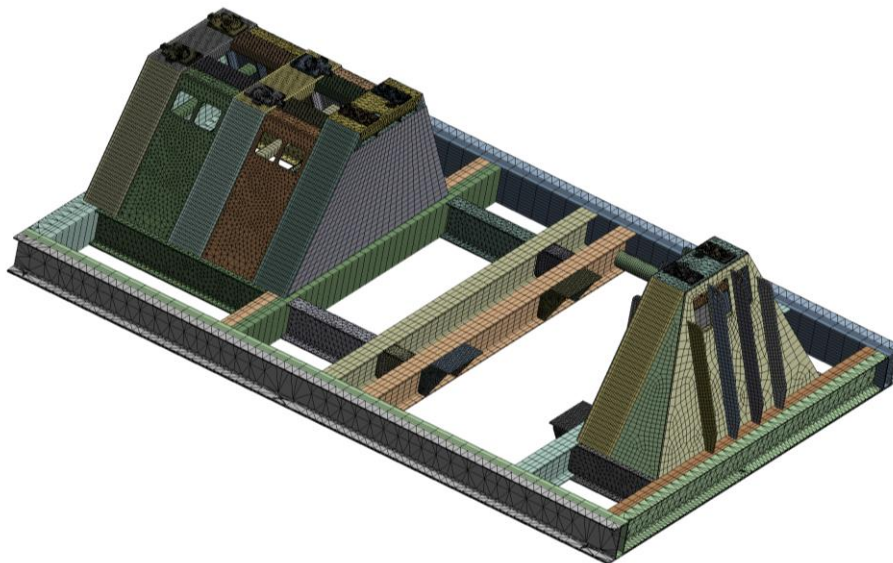
	Elektromotor	Hřídel	Sací skříň	Spirální skříň	Oběžné kolo	Levé ložisko	Pravé ložisko
Hmotnost [kg]	2200,0	684,0	556,5	3767,0	1569,0	135,0	162,0
$X_T$ [mm]	1948,5	1948,5	1600,0	1986,6	1948,5	1948,5	1948,5
$Y_T$ [mm]	1746,0	1700,0	1700,0	2232,5	1700,0	1584,9	1602
$Z_T$ [mm]	707,0	3154,0	2729,0	3791,0	3822,5	1741,0	4733

Výpočtový model má tedy správnou geometrii, je patřičně uchycen i zatížen působením gravitace a hmotných bodů. V následující kapitole se tedy budeme zabývat vytvořením sítě konečných prvků na výpočtovém modelu.

### 6.3 Vytvoření sítě konečných prvků na modelu

Vytvoření sítě konečných prvků bylo vypracováno ve spolupráci s výpočtáři firmy ZVVZ Machinery. Autorovi bylo doporučeno použít síť konečných prvků přesně takovou, jakou si ji program Ansys sám vygeneruje. Výsledky budou pro náš výpočet dostatečné a porovnáním jednotlivých variant získáme dobrý přehled o tom, jaký rám je nejtužší a jaký naopak nejméně tuhý. Tato síť konečných prvků měla přibližně 175 000 elementů. Model byl vložen do výpočtového programu jako sestava, a proto bylo vytvoření sítě

konečných prvků nastaveno tak, aby se elementy generovaly pro každý díl sestavy zvlášť. Takto navržená síť konečných prvků vypadá následovně: obrázek 23.



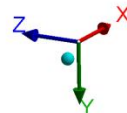
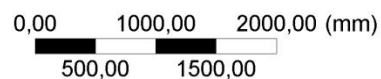
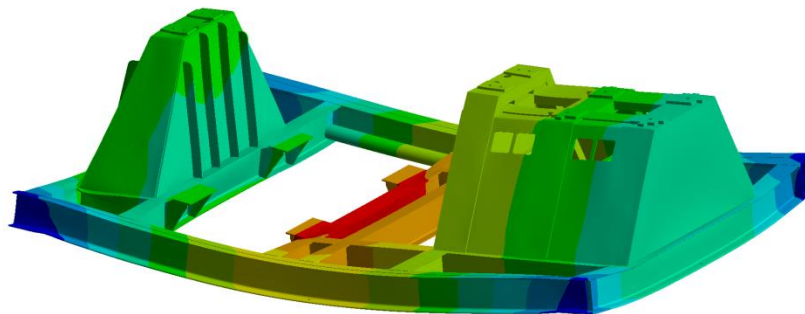
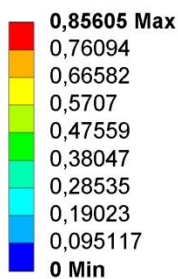
Obr. 23 Základní návrh sítě konečných prvků VAR1

Takto je výpočetní model zcela připraven a zbývá jen nastavit formu výsledku, kterou od programu požadujeme. Nastavením „Total deformation“ v sekci „Solution“ se rozumí, že program vyhodnotí celkové deformace rámu od zatížení. Nyní už nic nebrání ve spuštění prvního výpočtu tuhosti rámové konstrukce, tedy pevnostní analýze.

## 7 PEVNOSTNÍ ANALÝZA

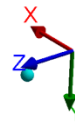
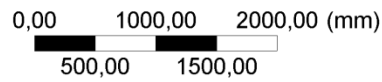
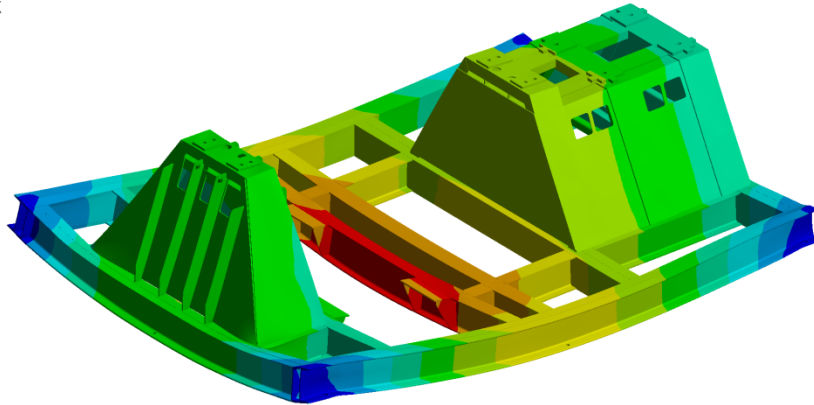
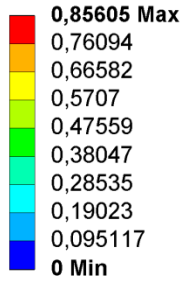
Pomocí pevnostní analýzy zjistíme celkové hodnoty deformací rámové konstrukce. Porovnáním těchto hodnot zjistíme, která z variant je nejvíce tuhá a která se naopak nejvíce zdeformuje. Zatížení i fixace všech variant jsou shodné. Výsledky jsou prezentovány pomocí následujících barevných diagramů. U každého diagramu je velice důležitá stupnice v levé části obrázku, která přiřazuje dané barvě reálnou hodnotu deformace. Tyto hodnoty deformací jsou pro nás určující. Na následujících stránkách jsou uvedeny obrázky pevnostních analýz pro všechny tři varianty rámové konstrukce.

H: var 1. prestress TUHOST  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
9.5.2015 15:47



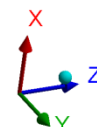
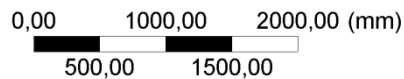
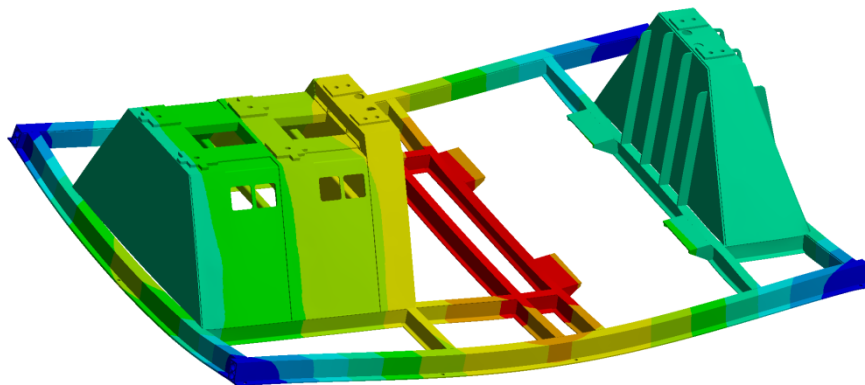
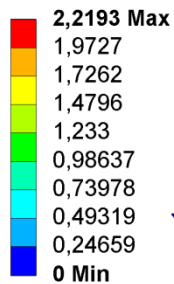
Obr. 24 a) Pevnostní analýza VAR1

**H: var 1. prestress TUHOST**  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
9.5.2015 15:51



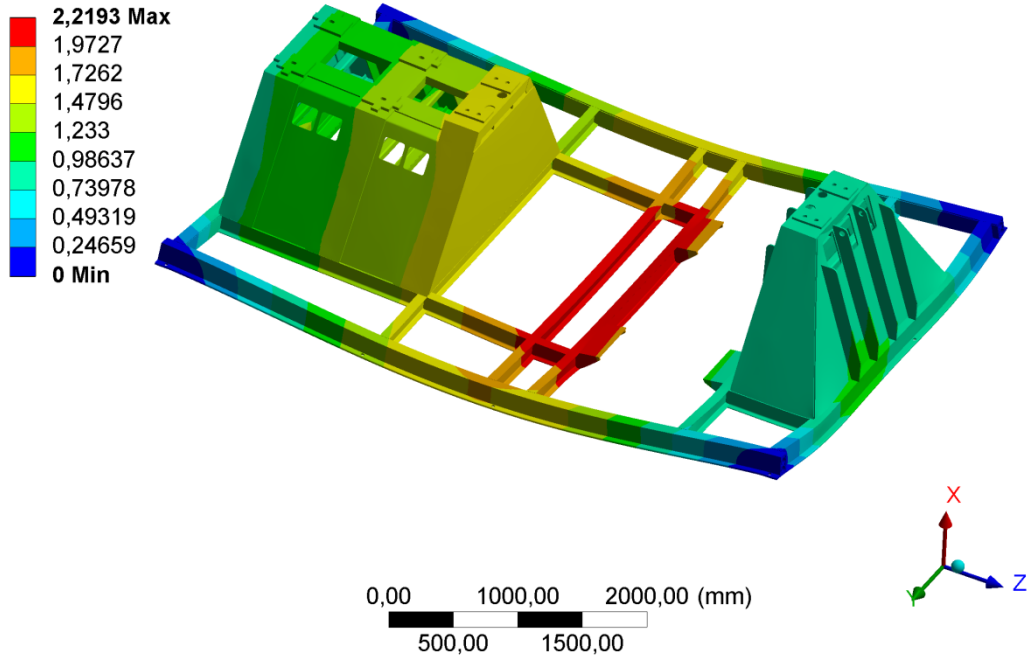
Obr. 24 b) Pevnostní analýza VAR1

**N: var 2. prestress TUHOST**  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
21.5.2015 10:50



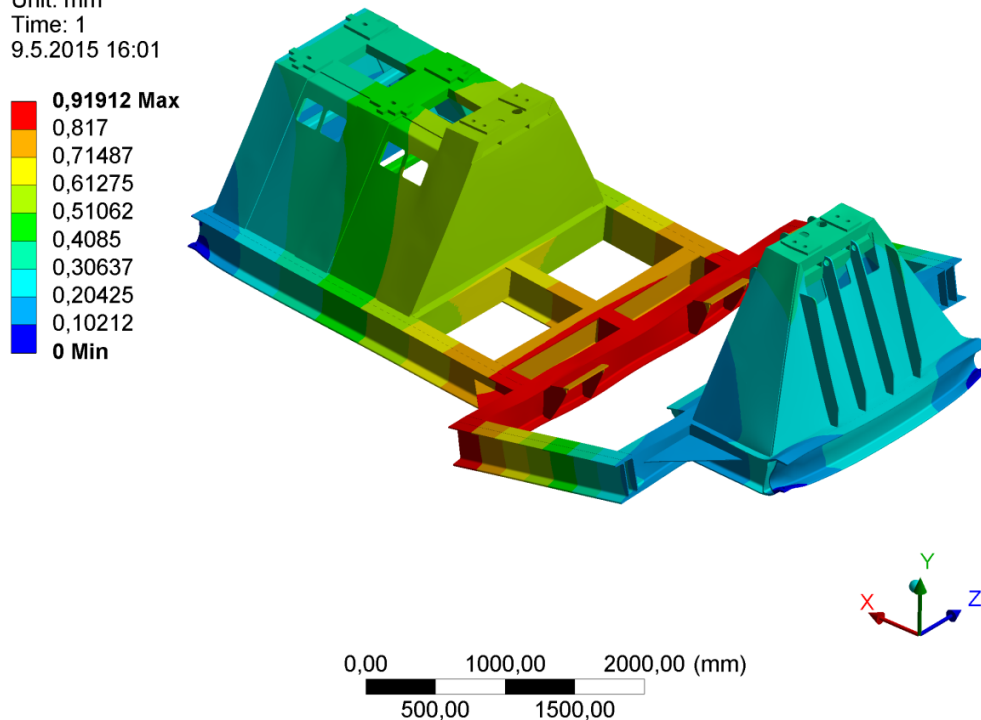
Obr. 25 a) Pevnostní analýza VAR2

**N: var 2. prestress TUHOST**  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
9.5.2015 15:58



Obr. 25 b) Pevnostní analýza VAR2

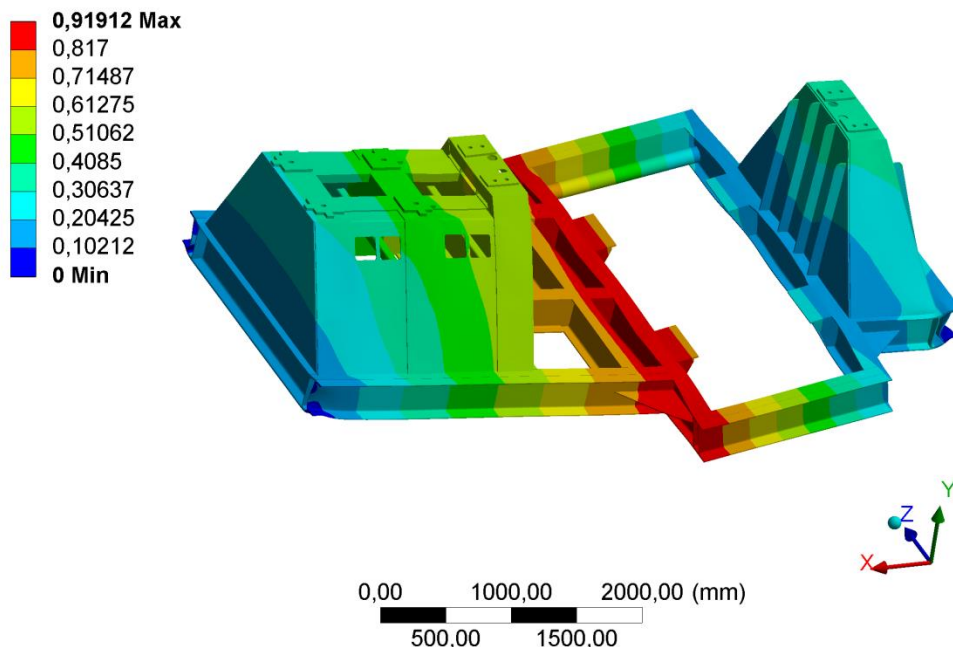
**I: var3 tuhost**  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
9.5.2015 16:01



Obr. 26 a) Pevnostní analýza VAR3



I: var3 tuhost  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
21.5.2015 10:54



Obr. 26 b) Pevnostní analýza VAR3

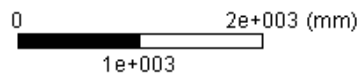
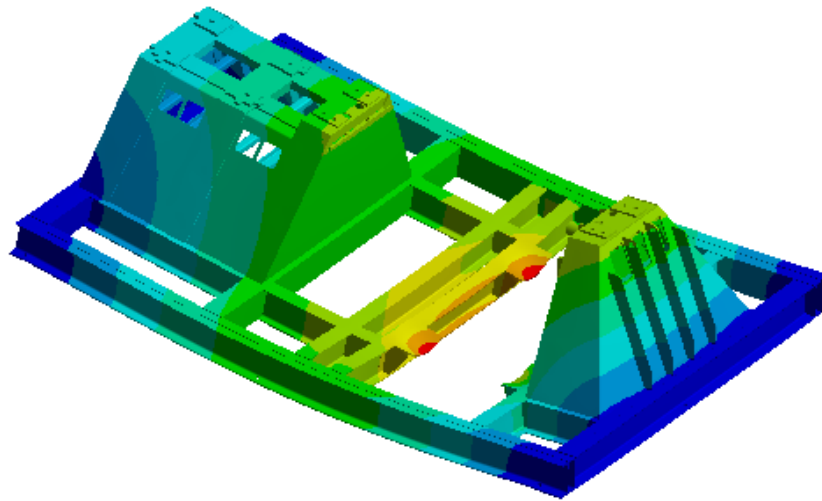
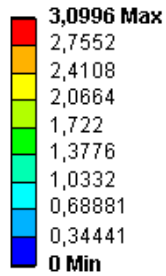
V dalším kroku byly provedeny výpočty se změnou v nastavení. Bylo nutné zjistit hodnotu deformace také tehdy, pokud se mohou deformovat i plochy, ke kterým jsou vázány zátěžné hmotné body.

Každý hmotný bod prezentuje jednu součást celého ventilátorového zařízení. A každá tato část se při montáži pevně spojí s rámem ventilátoru. Předchozí výpočty byly provedeny pod podmínkou, že jsou tyto spoje pevné a nelze je deformovat, což ovšem nelze obecně říci. Například při přivaření sací skříně se rám mírně vyztuží, ale zároveň se v místech, kde je sací skříň přichycena, i zdeformuje.

Je tedy nutné změnit nastavení výpočtu. U každého hmotného bodu v sekci „Definition“ se položka „Behavior“ změnila z „Rigid“ na „Deformable“. Toto nastavení zajistí, že je možná deformace i ploch, ke kterým jsou hmotné body navázány. Reálné hodnoty deformací jsou však někde mezi těmito dvěma možnostmi.

**J: var 1. prestress TUHOST- DEFORMABLE**

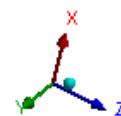
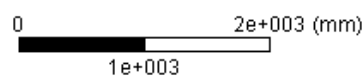
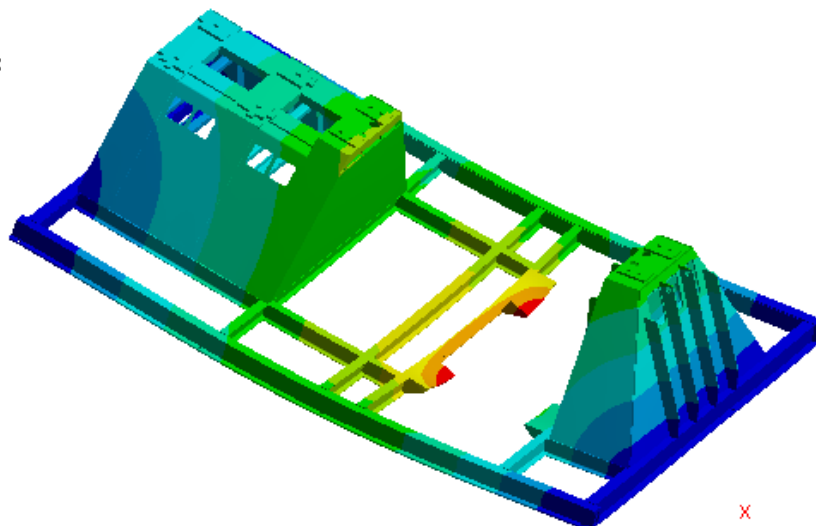
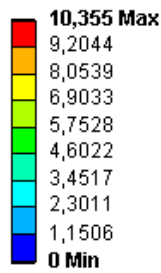
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
9.5.2015 16:05



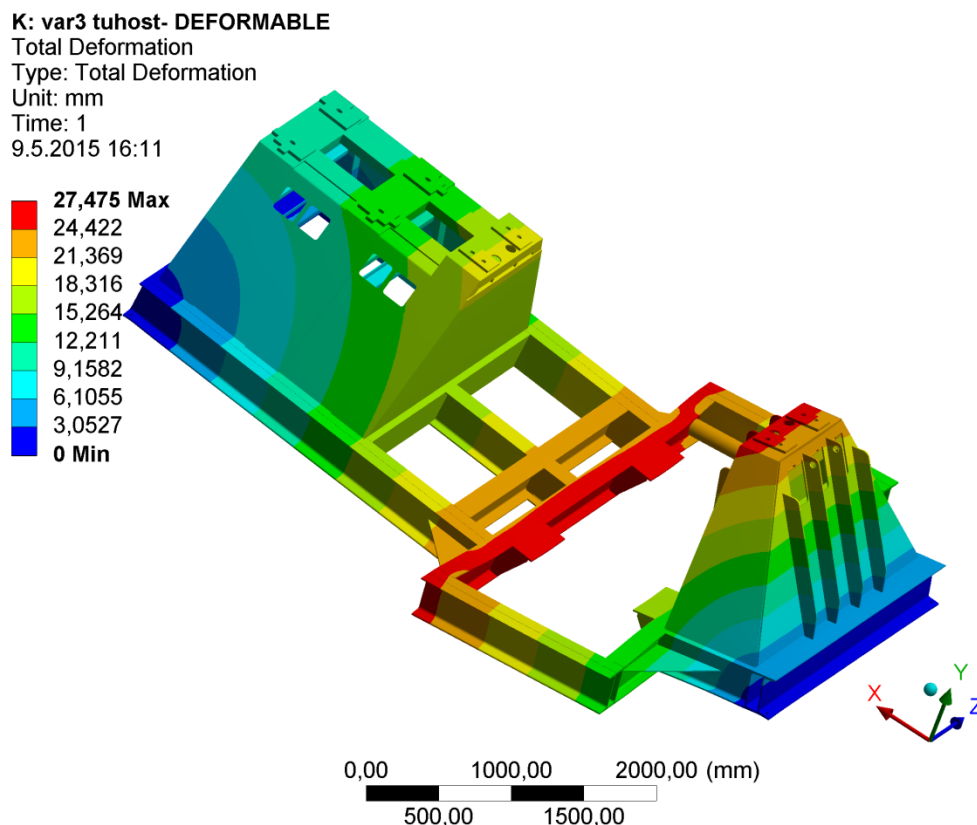
Obr. 27 Pevnostní analýza- deformovatelná VAR1

**O: var 2. prestress TUHOST- DEFORMABLE**

Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
9.5.2015 16:14



Obr. 28 Pevnostní analýza - deformovatelná VAR2



Obr. 29 Pevnostní analýza - deformovatelná VAR1

## 7.1 Vyhodnocení tuhosti jednotlivých variant

Z první části pevnostní analýzy se zdálo, že varianty 1 a 3 jsou výborné a varianta 2 dopadla nejhůře. Ovšem v druhém výpočtu se ukázalo, že je varianta 3 nepoužitelná. Přerušení obvodového vedení je totiž tak velký zásah do tuhosti celé konstrukce, že v tomto místě, po celé šířce rámu, je deformace neslučitelná s funkcí rámu. Varianta 3 byla vyřazena z následujících kroků.

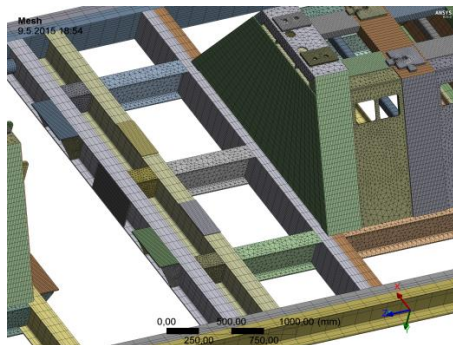
Naopak, varianta číslo 1 v obou případech vykazala nejpříznivější výsledky. Toto tvrzení se slučuje také s původním záměrem autora při návrhu všech variant. VAR1 dosahuje velmi malých deformací a výrazně předčí druhou, úspornou konstrukci rámu.

Na druhém rámu označovaném VAR2 se projevilo hlavně použití slabších profilů při jeho konstrukci. Výrazná úspora hmotnosti také výrazně snížila tuhost. Samotná konstrukce rámu ovšem neukázala vyloženě slabé místo, na rozdíl od třetí varianty. V následujících úpravách se tedy pokusíme druhou variantu vyztužit přidáním dalších profilů. Z opětovného výpočtu pak vyhodnotíme, zda lze i s nižší hmotností dosáhnout stejné tuhosti jako u první varianty rámu. Pro možnost srovnání přidanych profilů je i rám VAR1 mírně vyztužen.

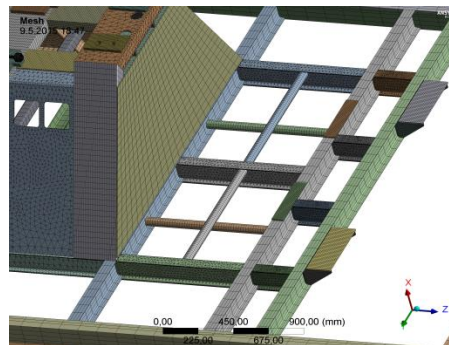
## 8 MODIFIKACE A VYZTUŽENÍ RÁMŮ

Úpravy obou rámových konstrukcí spočívaly v přidání dalších příčniců do míst, kde docházelo k největším deformacím. Jak u první, tak i u druhé varianty se jednalo hlavně o část rámu mezi spirální a sací skříní. Tento prostor vykazoval nejvyšší hodnoty deformací. Druhá varianta rámu dokonce vykazovala deformace v řádu několika milimetrů. Proto nás zajímá, zda se po přidání výztuh zvýší tuhost konstrukce VAR2, či nikoli. U varianty jedna jsou výsledné deformace zřetelně menší, a proto i vyztužení tohoto rámu bude provedeno v menší míře než u druhého rámu. Na následujících obrázcích jsou obě úpravy vyobrazeny.

Konstrukce VAR1 byla vyztužena dvěma profily tvaru I uprostřed v ose rámu a dvěma plechy o tloušťce 10 mm. Tyto plechy budou přivařeny uprostřed nejvíce namáhaných I profilů v konstrukci. Jedná se o I profily pod spirální skříní. Hmotnost celé konstrukce se takto zvýšila přibližně o 78 kg. U druhé varianty jsou výztuhy zřetelnější. Byly přidány také profily tvaru I, ale místo dvou tři. Navíc byl prostor v rámu mezi sací skříní a elektromotorem vyztužen čtyřmi trubkami o průměru 60,3 mm a tloušťce stěny 16 mm. Celková hmotnost konstrukce se zvýšila o zřetelných 200 kg.

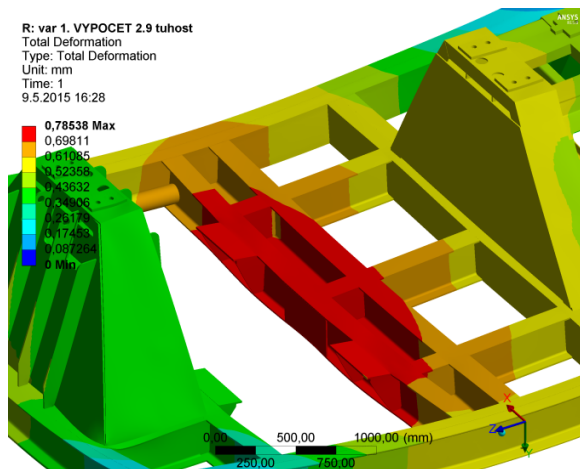


Obr. 30 Detail vyztužení rámu VAR1

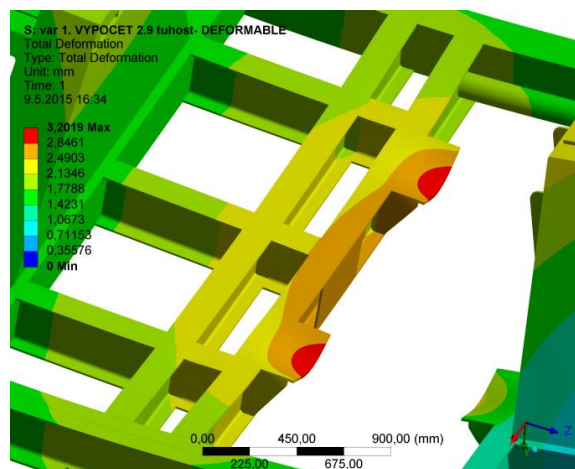


Obr. 31 Detail vyztužení rámu VAR2

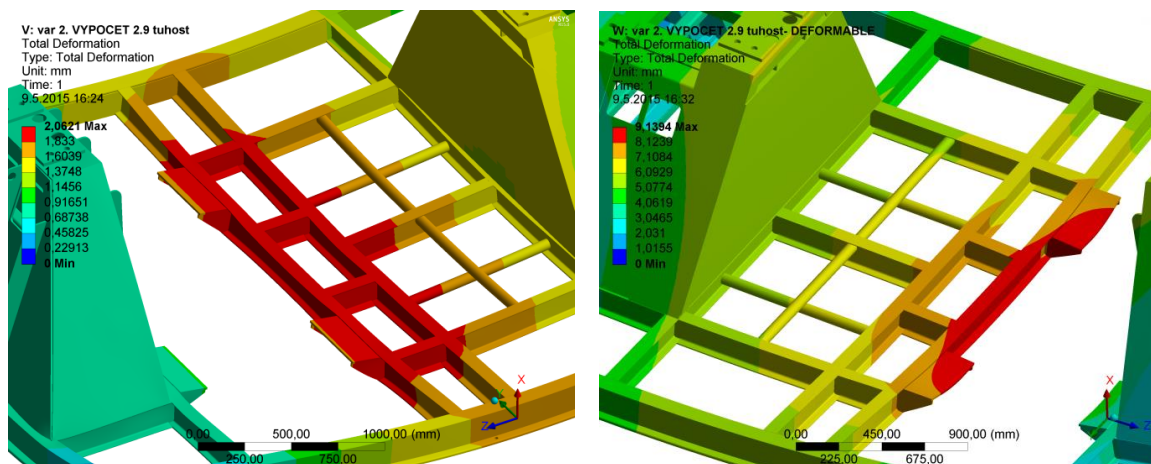
Oba tyto modely byly znovu upraveny, uchyceny, zatíženy a zajišťovány. Opět byly nastaveny podmínky výpočtů pro obě možnosti „Rigid“, tedy pevnou i „Deformable“, tedy deformovatelnou. Výsledky těchto výpočtů jsou znázorněny na následujících obrázcích.



Obr. 32 VAR1- Pevnostní analýza s výztužemi



Obr. 33 VAR1- Pevnostní analýza deformable s výztužemi



Obr. 34 VAR2- Pevnostní analýza s výztužemi Obr. 35 VAR2- Pevnostní analýza deformable s výztužemi

## 8.1 Zhodnocení tuhosti s výztužemi

Z porovnání deformací, které jsou u viditelné u vyztužené a nevyztužené konstrukce, lze jednoduše zjistit, že provedené úpravy napomohly celkové tuhosti rámu. Deformace se u obou variant zmenšily, a to v obou případech výpočtu.

U první varianty, v případě pevného „rigid“ výpočtu, se hodnota deformace snížila o velmi malých 0,071 mm. Zvýšení tuhosti je tedy přibližně 6 %. Pokud porovnáme tuhosti deformovatelné konstrukce, pak se nárůst tuhosti dá považovat za téměř nulový. A to z toho důvodu, že nejvíce deformovaná část je v tomto případě 12 mm tlustý plech, na který se kotví spirální skříň. Okolí tohoto plechu je ztlačně tužší a deformace jsou zde až o 0,8 mm menší.

U druhé konstrukce rámu s označením VAR2 se pohybujeme ve vyšších hodnotách deformací. Maximální deformace bez výztuží byla 2,22 mm pro pevnou, respektive 10,36 mm pro deformovatelnou verzi výpočtu. Po přidání zpevňujících profilů bylo dosaženo čísel 2,06 mm pro pevnou a 9,14 mm pro deformovatelnou variantu. U pevného „rigid“ výpočtu se deformace snížila o 7,2 % a u „deformable“ výpočtu dokonce téměř o 12 %.

Výztuže měly obecně velice příznivý dopad a zároveň dokázaly jeden velmi známý fakt. Ze vzorce pro výpočet ohybového momentu (rovnice 1) jasně vyplývá, že je při ohybu výhodnější užívat profily vyšší s menší šířkou, nežli naopak. Je to z důvodu, že právě výškový rozměr  $h$  je ve třetí mocnině, zatímco šířka  $b$  dílu pouze v první mocnině.

Rovnice 1:

$$\sigma_o = \frac{M_{o_{max}}}{W_o}; W_{o_{obdelníkového\ průřezu}} = \frac{1}{6} b * h^3$$

Tato rovnice pak vysvětluje to, že použití 78 kg výztuží u první varianty zvýšilo tuhost o 6 %. A použití 200 kg výztuží u varianty druhé zvýšilo tuhost o 7,2 %. V první variantě byly použity jako výztuže profily I o rozměrech 150 mm šířky a 300 mm výšky a svisle umístěné plechy. V druhé variantě byly použity profily I o rozměrech 80 mm šířky a 160 mm výšky, ale také tlustostěnné trubky. Tuhost těchto trubek se nemohla rovnat tuhosti profilů tvaru I.

## 9 ZÁVĚR

### 9.1 Vyhodnocení jednotlivých variant

Nejdříve je velmi důležité nastínit, jak byla celá práce zpracována a také jak bude vyhodnocována. Všechny výsledky v této práci jsou pouze orientační a nemohou představovat přesnou hodnotu deformace. Jak bylo již zmíněno, vedly se zde dva druhy výpočtů: jeden s povolenými deformacemi v místech ukotvení hmotných bodů („deformable“) a druhý bez deformací v těchto místech („rigid“). Skutečná realita je mezi těmito dvěma možnostmi. Elektromotor se za každé situace chová vždy jako pevný. Pokud budeme ve výpočtu chtít zohlednit i tuhost hřídele, měla by se i ta považovat za pevnou apod. Tímto chce autor naznačit, že primárně nejsou důležité konkrétní hodnoty deformací, ale porovnání těchto hodnot mezi jednotlivými variantami. Jelikož byly všechny varianty počítány totožně, lze jejich výsledky porovnávat. Z tohoto srovnání lze jednoduše určit, která z konstrukcí je nejméně tuhá a která naopak nejméně.

Jak dobře víme, na počátku byly brány v úvahu celkem tři varianty rámových konstrukcí. Třetí z nich, s výpočtovým označením VAR3, byla vyřazena pro její nedostatečnou tuhost. Nízká tuhost konstrukce byla způsobena hlavně nevhodným návrhem celé konstrukce. V místech, kde na základní nosníky celého rámu působilo největší namáhání, byly nosníky nevhodně přerušeny. Bylo tak učiněno z důvodu úspory prostoru pro uložení zařízení na betonový základ. Díky tomu mohlo v rámu docházet k deformacím o velikosti až 27 mm, což je hodnota asi třikrát vyšší než u druhé varianty a dokonce devětkrát vyšší než u varianty třetí.

Zbylé dvě konstrukce byly dále vyztuženy přidáním dalších příčniců. U druhé varianty, s pracovním označením VAR2, bylo takto dosaženo výsledných hodnot deformací kolem 9 mm. Tato hodnota platí pro výpočet typu „deformable“ a víme tedy, že reálná hodnota deformace by se mohla pohybovat až o 30 – 40 % níže. Tento odhad pramení z druhého výpočtu („rigid“), kde se deformace pohybovaly kolem 2 mm a také ze zkušeností výpočtářů firmy ZVVZ Machinery. I tak ale tato konstrukce dosahovala příliš velkých deformací a nemohla být tedy označena jako vyhovující.

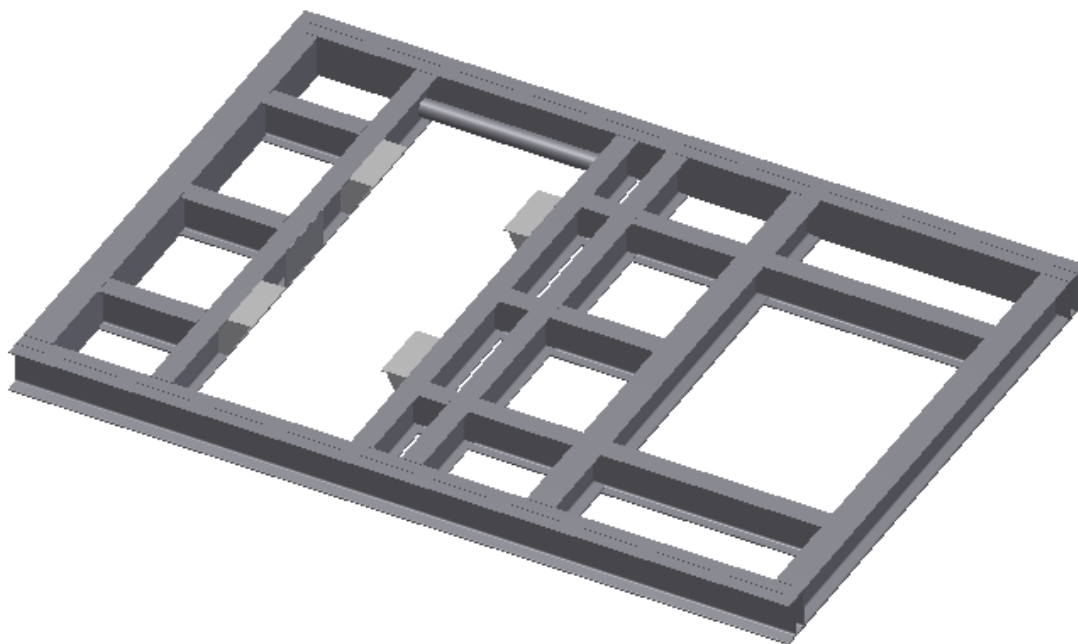
Bylo by ovšem velice zajímavé propočítat obě výše zmíněné konstrukce pro rozdílné uložení izolátorů chvění pod nimi. Je totiž pravděpodobné, že druhá varianta rámu by při použití vyššího množství izolátorů chvění dosahovala uspokojivých výsledků. Přitom celková hmotnost rámové konstrukce je přibližně o 1 000 kg nižší nežli první varianta. To ale není předmětem zkoumání této bakalářské práce.

### 9.2 Zvolená konstrukce rámu

Jelikož jediným posuzovaným parametrem byla tuhost konstrukce, zvolená varianta je varianta první s výztužemi. Tuhost této konstrukce je nejvyšší a vzniklé deformace nejnižší. Celková hmotnost této rámové konstrukce je 2928 kg, je to tedy nejtěžší varianta. S vnějšími rozměry 5455 mm délky a 3897 mm šířky je to také největší varianta. Nejslabším místem této konstrukce byly zjištěny 12 mm tlusté plechy, na které je uložena spirální skříň. Tyto plechy se nechají velice jednoduše nahradit silnějšími, které by vykazovaly nižší hodnoty deformací. Stávající plechy vykazovaly nejvyšší hodnoty deformací pouze kolem 3,2 mm. Zbytek rámové konstrukce byl deformován maximálně o 2,7 mm. Při výpočtu, kdy byly plochy hmotných bodů nastaveny na pevné („rigid“),

deformace nepřesáhly hodnotu 0,8 mm. Podle zkušeností konzultantů ve firmě ZVVZ Machinery jsou tyto výsledky dostačující a dokonce velice dobré. Odhadují, že reálné deformace by se mohly pohybovat někde kolem 1 až 1,3 mm. Opět zde platí, že pokud by se zvolilo uložení na více než pouze 4 izolátory chvění, výsledné deformace by mohly být mnohonásobně menší.

Veškerá výkresová dokumentace zvolené varianty a textové dokumenty k umístění izolátorů chvění jsou přiloženy v příloze této práce.



Obr. 36 Výsledná varianta rámové konstrukce

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

### 10.1 Tištěné zdroje

- [1] Podniková norma PM 12 3336, ZVVZ Machinery, a.s.
- [2] ČERMÁK, Jan a kolektiv. *Ventilátory*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1974
- [3] KAMINSKÝ, Jaroslav, Kamil KOLARČÍK a Oto PUMPRLA. *Kompresory*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004, 122 s. ISBN 80-248-0704-1.
- [6] NOVÝ, Richard. *Ventilátory*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1993, 101 s. ISBN 80-01-00987-4.
- [7] Výkresová dokumentace firmy, ZVVZ Machinery, a.s.

### 10.2 Elektronické zdroje

- [4] COMANDER s.r.o. [Online] [Citace: 12. 3. 2015.] Dostupné z <<http://www.comander.cz/content/54-historie-ventilatoru-a-klimatizaci>>
- [5] WIKIPEDIA [Online] [Citace: 21. 4. 2015.] Dostupné z <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Ventil%C3%A1tor>>

### 10.3 Publikace na Internetu

- [8] VRBKA, Martin, VAVERKA, Michal. *Metoda konečných prvků*. Dostupné z <[http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/MKP/prednaska1\\_mkp.pdf](http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/MKP/prednaska1_mkp.pdf)> Brno: VUT, FME, UK

### 10.4 Zdroje obrázků

- [9] ZMRHAL, Vladimír. *Prvky větracích a klimatizačních zařízení (I) - 1. Část, Ventilátory*. Dostupné z <<http://www.tzb-info.cz/3733-prvky-vetracich-a-klimatizacnich-zarizeni-i-1-cast>> Praha: ČVUT, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí, 4. 12. 2006



## **11 SEZNAM PŘILOŽENÝCH DOKUMENTŮ**

### **11.1 Výkresová dokumentace**

LH-0001

LH-0001-100

LH-0001-101

LH-0001-102

LH-0001-103

LH-0001-104

LH-0001-105

LH-0001-106

LH-0001-107

LH-0001-108

LH-0001-109

LH-0001-110

LH-0001-111

LH-0001-112

### **11.2 Rozvržení izolátorů chvění dle PUV programu**

Rozvržení pro VAR1

Rozvržení pro VAR2

Rozvržení pro VAR3

## 12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Axiální ventilátor

Obr. 2 Radiální ventilátor

Obr. 3 Diagonální ventilátor

Obr. 4 Diametrální ventilátor

Obr. 5 a) jednostupňový axiální ventilátor b) dvoustupňový axiální ventilátor c) jednostupňový radiální ventilátor d) dvoustupňový radiální ventilátor

Obr. 6 a) kolo sestávající se z nosného kotouče, lopatek a kotouče krycího b) kolo s oboustranným sáním c) kolo bez krycího kotouče

Obr. 7 Radiální ventilátor vysokotlaký jednostranně sací

Obr. 8 Spirální skříň

Obr. 9 Oběžné kolo

Obr. 10 Sací skříň

Obr. 11 Hřídel

Obr. 12 Axiální ventilátor (1 - oběžné kolo/rotor, 2 - lopatky oběžného kola, 3 - plášť/skříň, 4 - elektromotor, 5 - příruba k nosnému rámu)

Obr. 13 Radiální ventilátor (1 - oběžné kolo, 2 - sací hrdlo, 3 - výtlačné hrdlo, 4 - spirální skříň, 5 - elektromotor)

Obr. 14 Schéma ventilátoru uloženého na rámu

Obr. 15 Schéma uložení spirální skříně

Obr. 16 Schéma celého ventilátoru

Obr. 17 a) Rám ventilátoru, návrhová varianta VAR1

Obr. 17 b) Detail rámu ventilátoru, návrhová varianta VAR1

Obr. 17 c) Detail zkosení I profilu

Obr. 17 d) Detail uchycení spirální skříně

Obr. 18 a) Rám ventilátoru, návrhová varianta VAR2

Obr. 18 b) Detail rámu ventilátoru, návrhová varianta VAR2

Obr. 19 a) Rám ventilátoru, návrhová varianta VAR3

Obr. 19 b) Detail rámu ventilátoru, návrhová varianta VAR3

Obr. 20 Výpočtový model VAR1

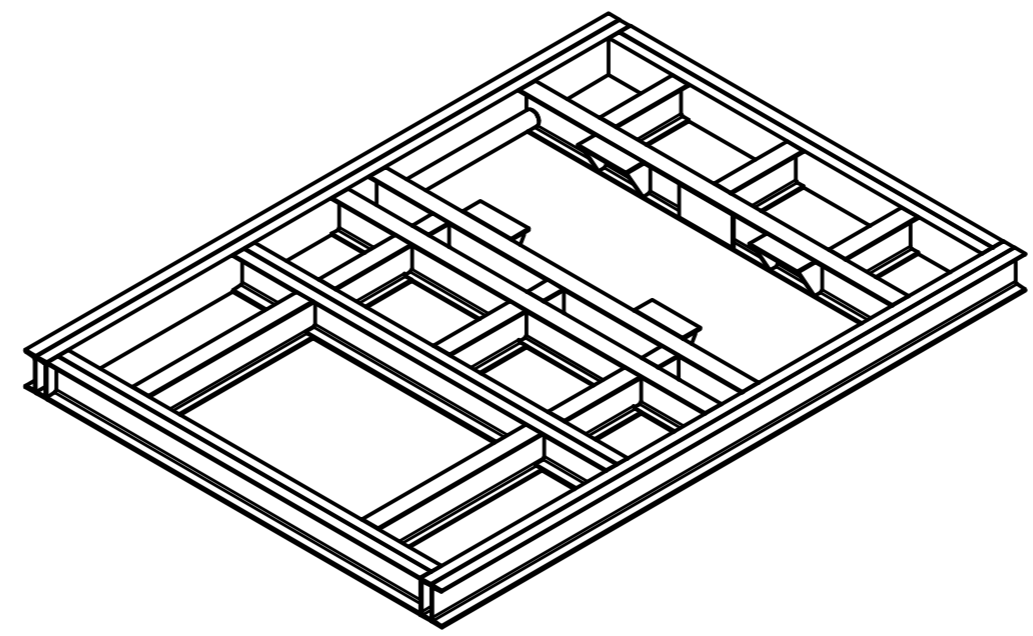
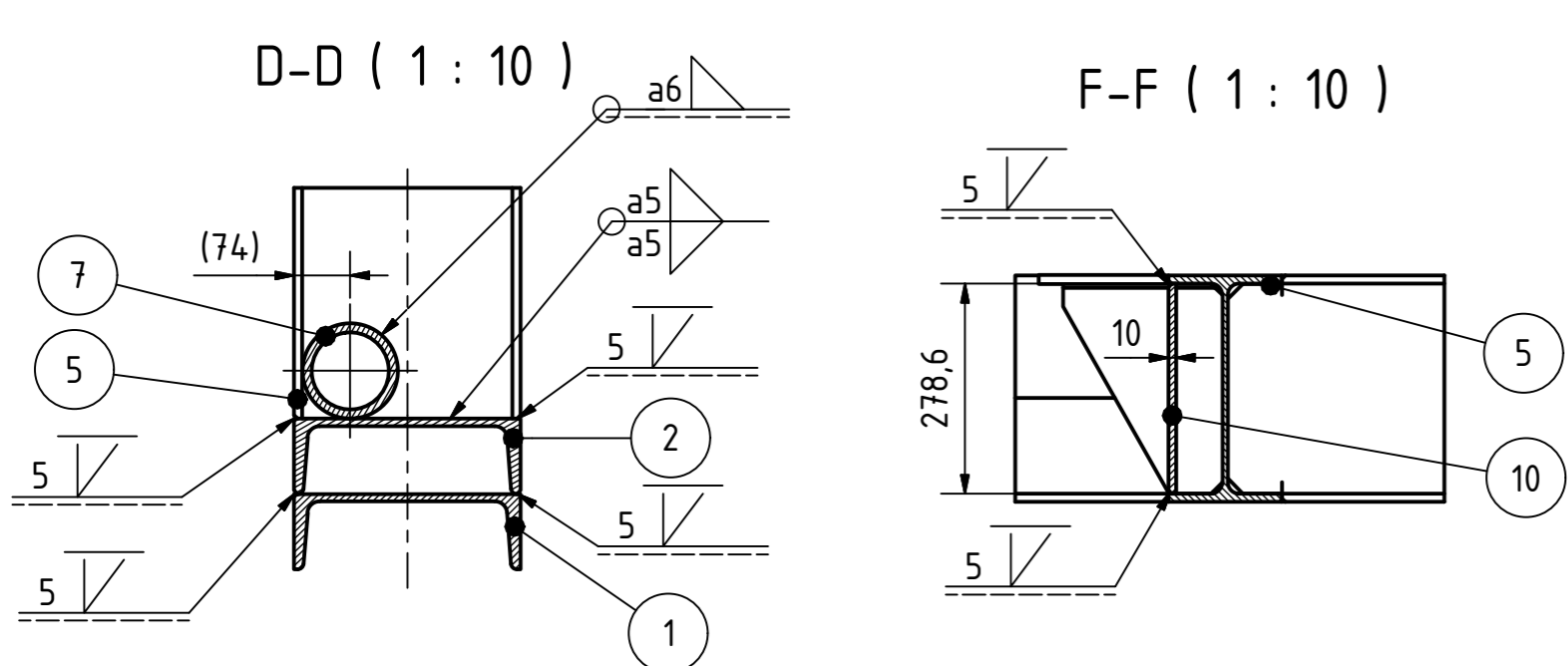
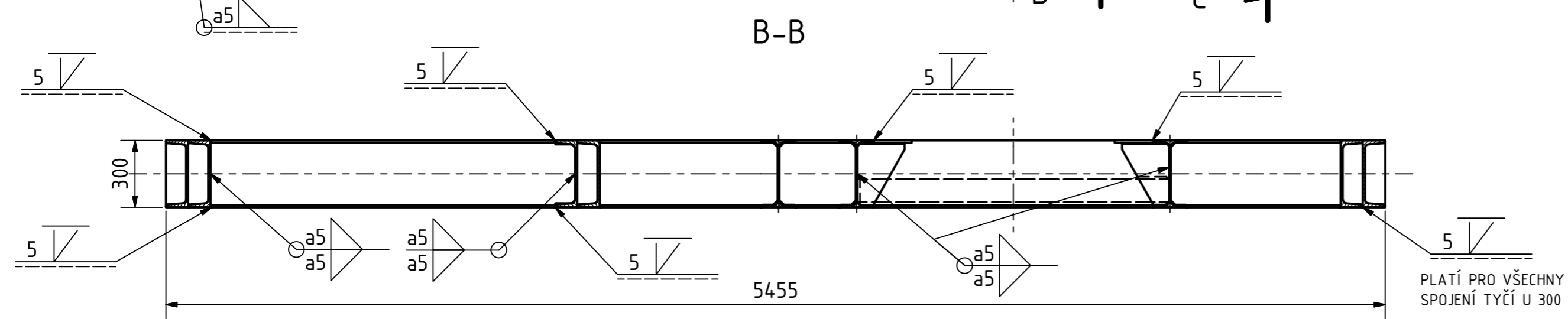
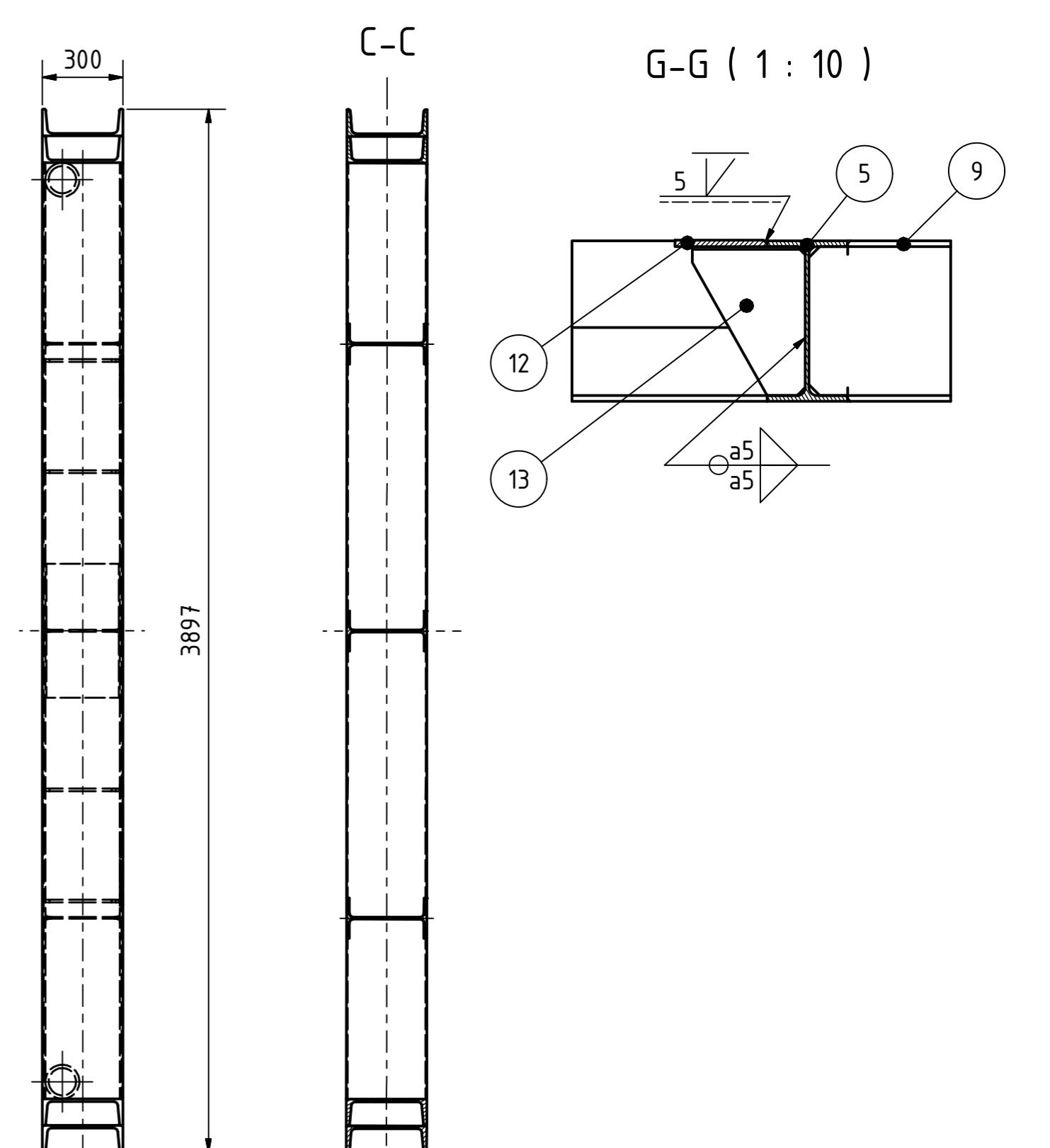
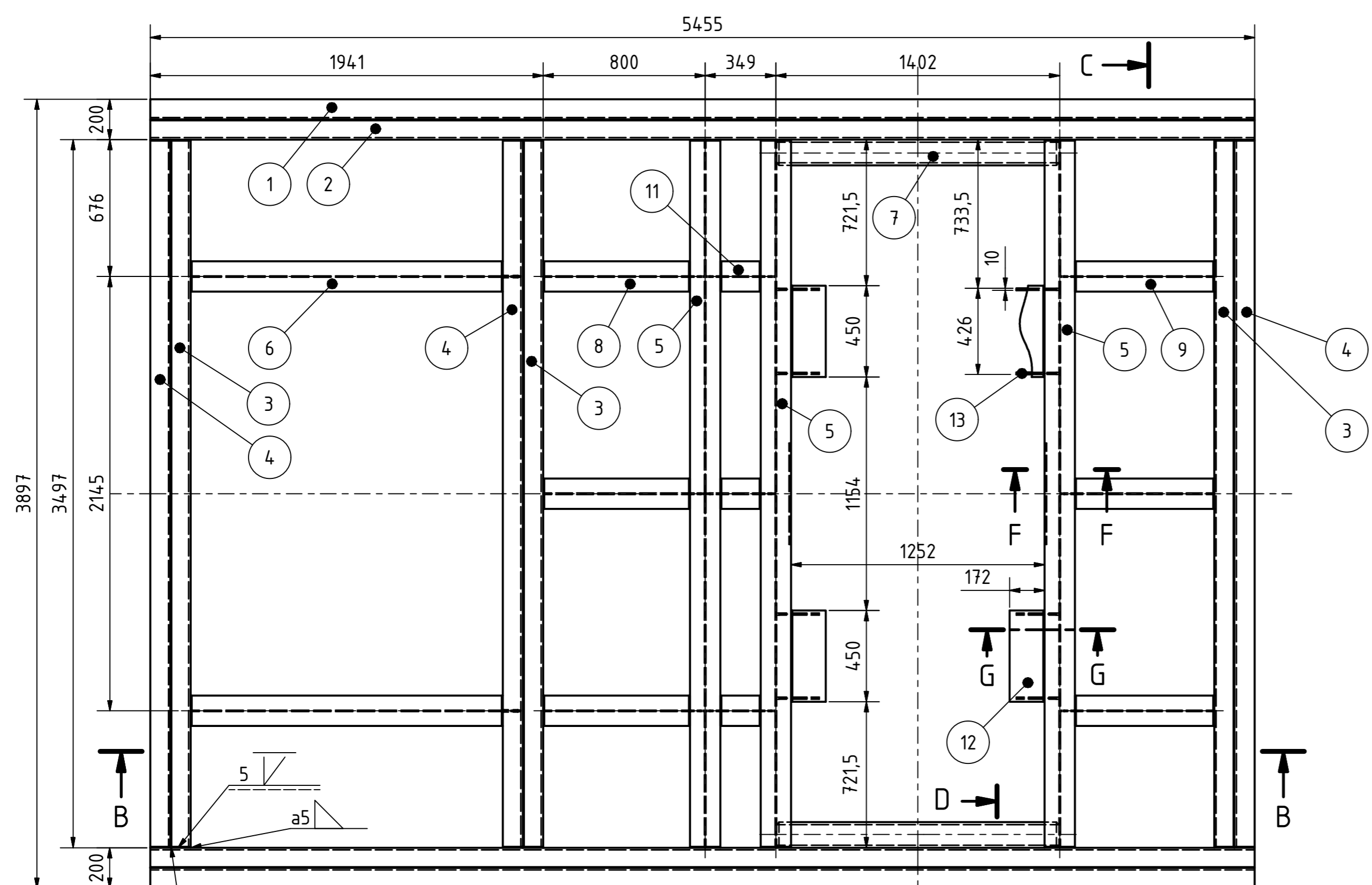
Obr. 21 Uchycení výpočtového modelu VAR1

- Obr. 22 Schéma zatížení výpočtového modelu VAR1  
Obr. 23 Základní návrh sítě konečných prvků VAR1  
Obr. 24 a) Pevnostní analýza VAR1  
Obr. 24 b) Pevnostní analýza VAR1  
Obr. 25 a) Pevnostní analýza VAR2  
Obr. 25 b) Pevnostní analýza VAR2  
Obr. 26 a) Pevnostní analýza VAR3  
Obr. 26 b) Pevnostní analýza VAR3  
Obr. 27 Pevnostní analýza- deformovatelná VAR1  
Obr. 28 Pevnostní analýza - deformovatelná VAR2  
Obr. 29 Pevnostní analýza - deformovatelná VAR1  
Obr. 30 Detail vyztužení rámu VAR1  
Obr. 31 Detail vyztužení rámu VAR2  
Obr. 32 VAR1- Pevnostní analýza s vyztuženími  
Obr. 33 VAR1-Pevnostní analýza deformable s vyztuženími  
Obr. 34 VAR2- Pevnostní analýza s vyztuženími  
Obr. 35 VAR2- Pevnostní analýza deformable s vyztuženími  
Obr. 36 Výsledná varianta rámové konstrukce

## **13 SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 – Hodnoty vstupující do programu PUV

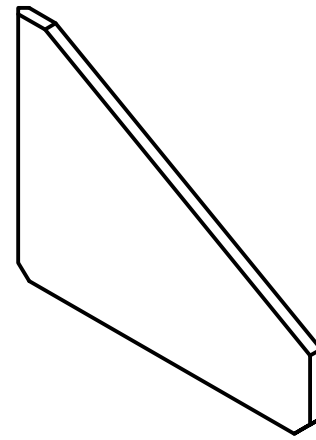
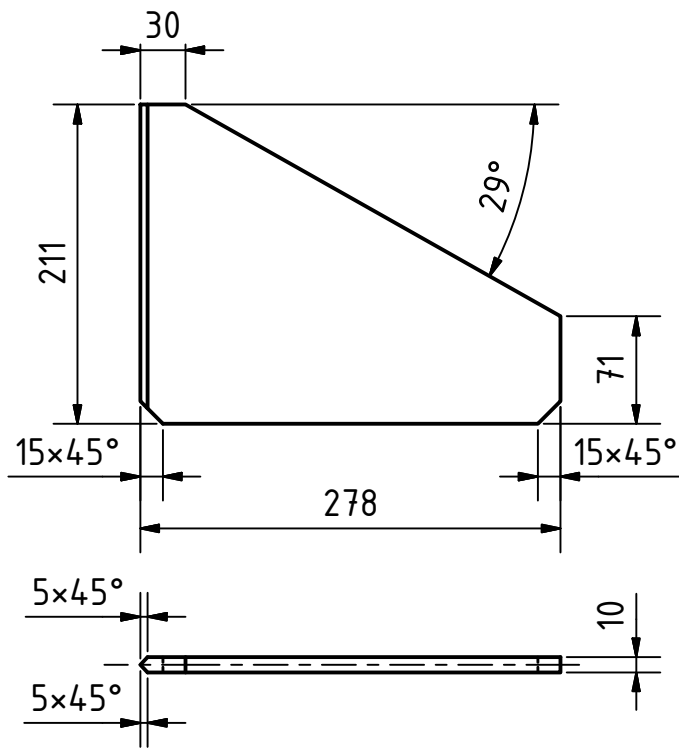
Tab. 2 – Hodnoty hmotných bodů v programu Ansys



SVARENÉ 135 EN ISO 14341-A-G 42 Z M21 3Si1  
 STUPĚŇ JAKOSTI DLE EN ISO 5817C  
 TOLERANCE SVÁŘENCE ČSN EN ISO 13920-BF

POZICE	POPIS	ČÍSLO VÝKRESU	MATERIÁL	HMOTNOST	KS
13	PLECH	LH-0001-100		3,2 kg	8
12	PLECH	LH-0001-101		7,2 kg	4
11	TYČ IPE	LH-0001-103		10,5 kg	3
10	PLECH	LH-0001-109		10,9 kg	2
9	TYČ IPE	LH-0001-110		30,1 kg	3
8	TYČ IPE	LH-0001-105		31,7 kg	3
7	TRUBKA	LH-0001-102		48,8 kg	2
6	TYČ IPE	LH-0001-104		66,5 kg	2
5	TYČ IPE	LH-0001-106		14,7 kg	3
4	TYČ U	LH-0001-112		161 kg	3
3	TYČ U	LH-0001-107		161 kg	3
2	TYČ U	LH-0001-108		251 kg	2
1	TYČ U	LH-0001-111		252 kg	2

KUSOVNÍK				HMOTNOST: 2941, 5 kg	
ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI DEPARTMENT OF POWER SYSTEM ENGINEERING KATEDRA ENERGETICKÝCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ		Datum: 19.6.2015 Jméno: Lukáš Hrych		1 : 20	
RÁM				LH-0001	
ISO 8015 ISO 2768mK				1	
Stav	Změny	Datum	Jméno		




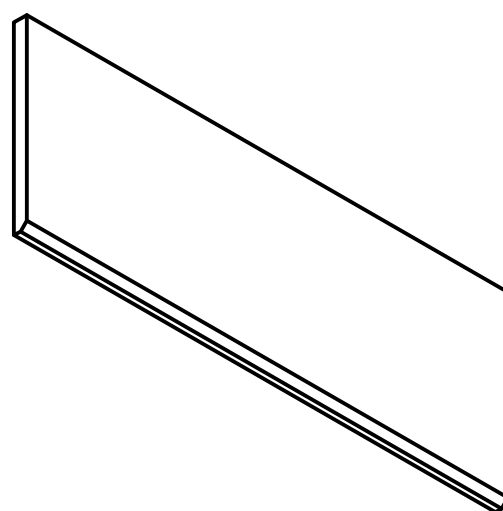
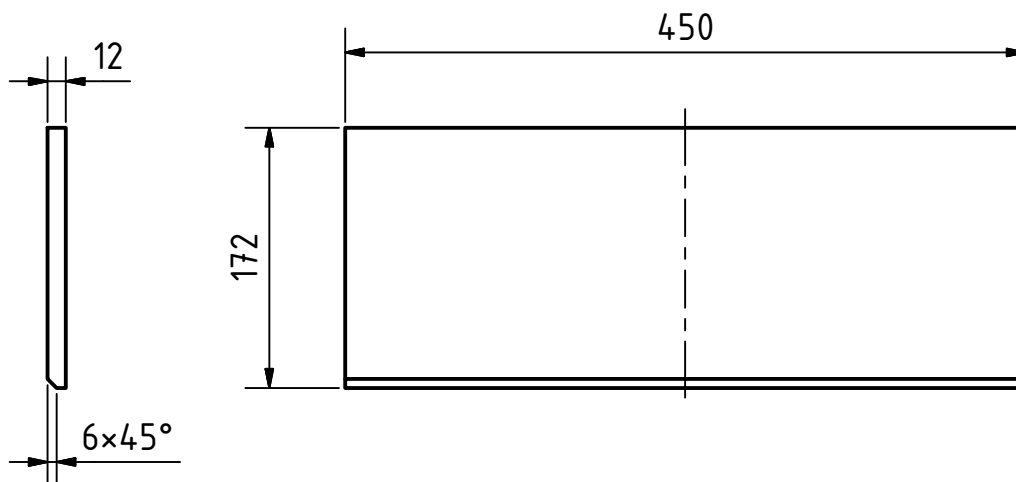
VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

1	PLECH 10x211x278	EN 10051	S235JR		3,185 kg	1
POZICE	POPIS	NORMA	MATERIÁL	POZNÁMKY	HMOTNOST	KS

KUSOVNÍK

 <b>ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI</b>	KATEDRA ENERGETICKÝCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ		1 : 5	HMOTNOST: 3,2 kg		
	DEPARTMENT OF POWER SYSTEM ENGINEERING					
			Datum	Jméno	PLECH	
		Kreslil	4.2.2015	Lukáš Hrych		
		Schválil				
			ISO 8015 ISO 2768mK		LH-0001-100	
					1	
					A4	
Sřav	Změny	Datum	Jméno			




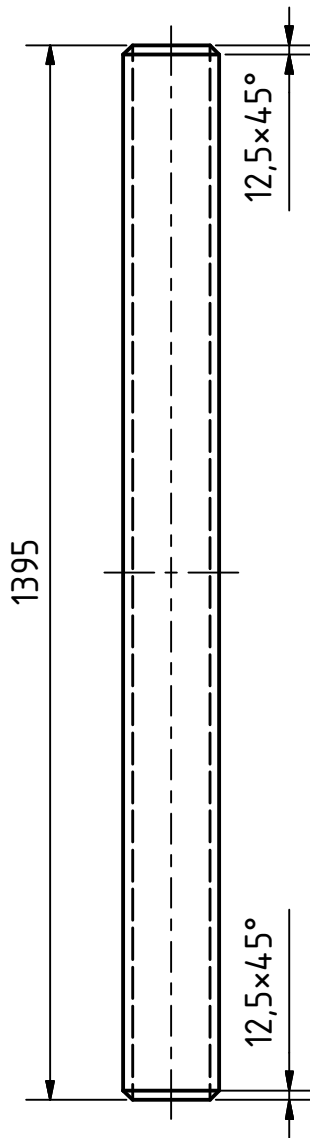
VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

1	PLECH 12x172x450	EN 10051	S235JR		7,237 kg	1
POZICE	POPIS	NORMA	MATERIÁL	POZNÁMKY	HMOTNOST	KS


KUSOVNÍK

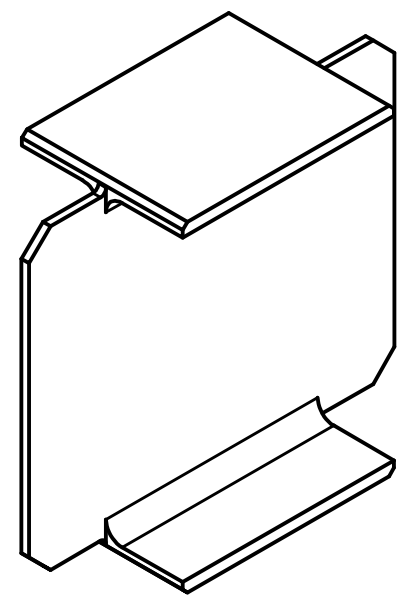
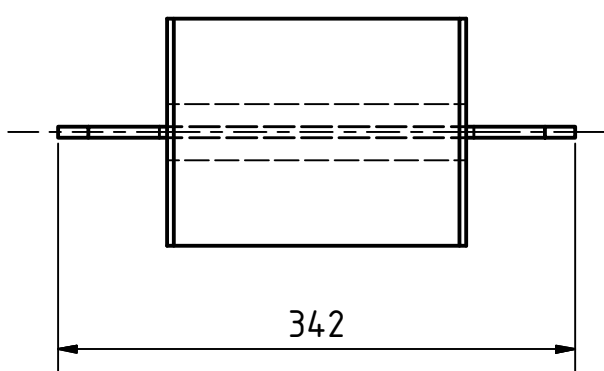
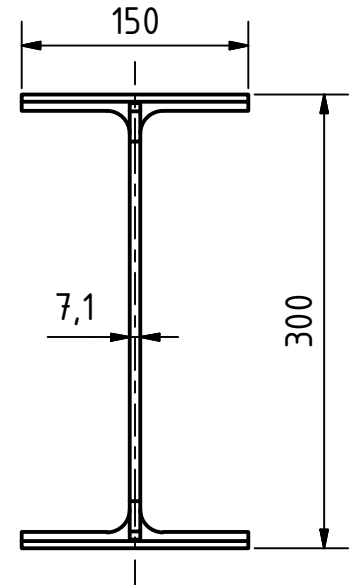
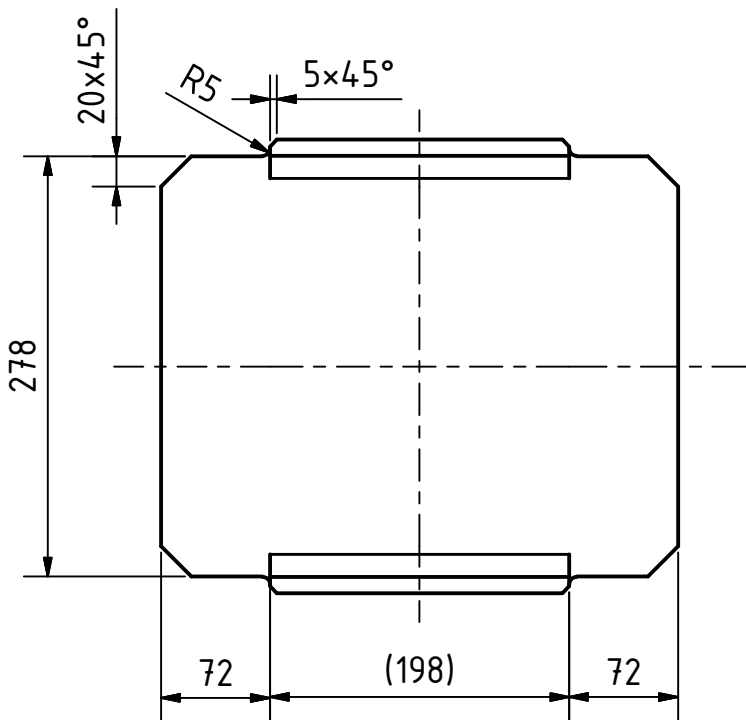
 <b>ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI</b>	KATEDRA ENERGETICKÝCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ		1 : 5	HMOTNOST: 7,2 kg		
	DEPARTMENT OF POWER SYSTEM ENGINEERING					
			Datum	Jméno	PLECH	
		Kreslil	4.2.2015	Lukáš Hrych		
		Schválil				
			ISO 8015 ISO 2768mK		LH-0001-101	
					1 A4	
Sřav	Změny	Datum	Jméno			



1	TRUBKA 127x12,5 - 1395	EN 10210	S355J2H		48,8 kg	1
POZICE	POPIS	NORMA	MATERIÁL	POZNÁMKY	HMOTNOST	KS

KUSOVNÍK

 <p>ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI</p>	KATEDRA ENERGETICKÝCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ		1 : 10	HMOTNOST: 48,8 kg		
	DEPARTMENT OF POWER SYSTEM ENGINEERING					
			Datum	Jméno	TRUBKA	
		Kreslil	4.2.2015	Lukáš Hrych		
		Schválil				
			ISO 8015		LH-0001-102	
			ISO 2768mK			
Sřav	Změny	Datum	Jméno			1
						A4




VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

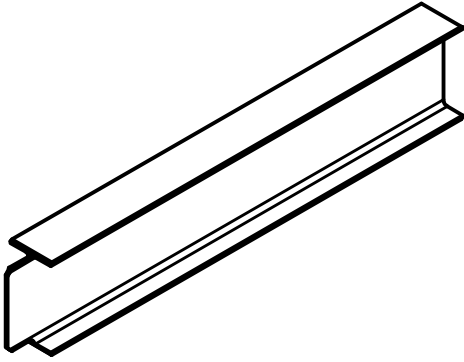
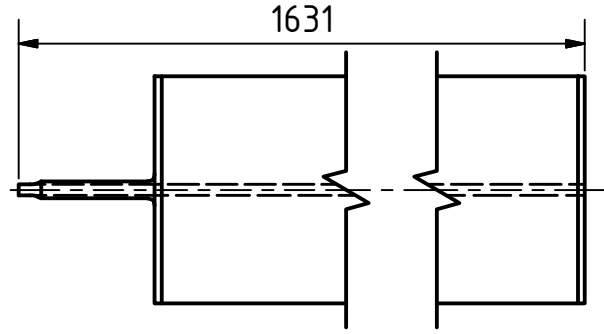
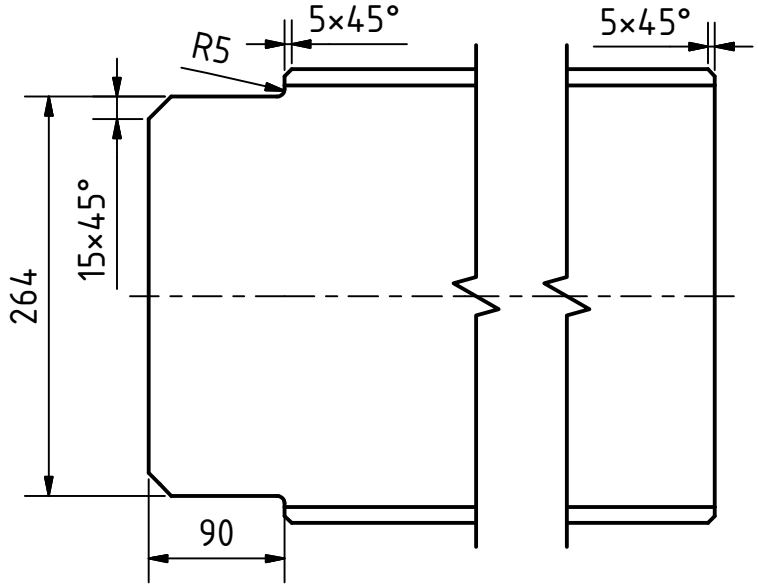
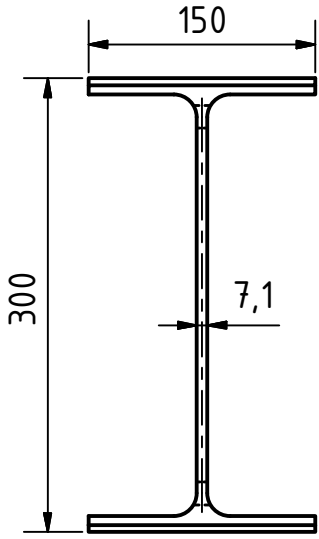
VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

1	TYČ IPE 300 - 342	DIN 1025-5	S235JR		10,5 kg	1
POZICE	POPIS	NORMA	MATERIÁL	POZNÁMKY	HMOTNOST	KS

KUSOVNÍK

 <p>ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI</p>	KATEDRA ENERGETICKÝCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ		1 : 5	HMOTNOST: 10,5 kg		
	DEPARTMENT OF POWER SYSTEM ENGINEERING					
		Datum	Jméno	TYČ IPE		
	Kreslit	4.2.2015	Lukáš Hrych			
	Schválit					
		ISO 8015		LH-0001-103		1
		ISO 2768mK				A4
Sřav	Změny	Datum	Jméno			






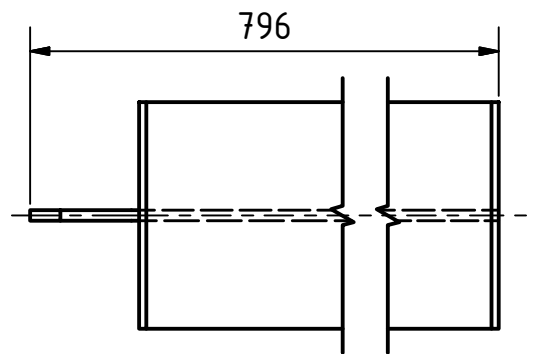
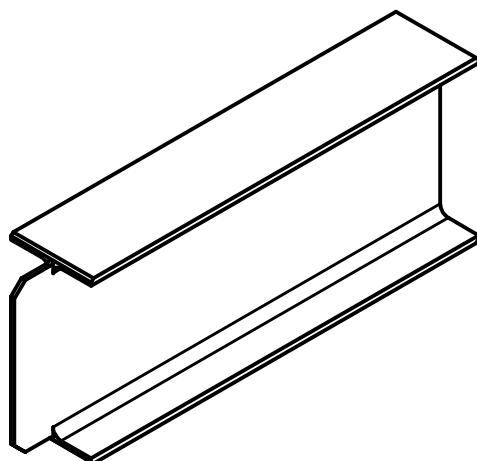
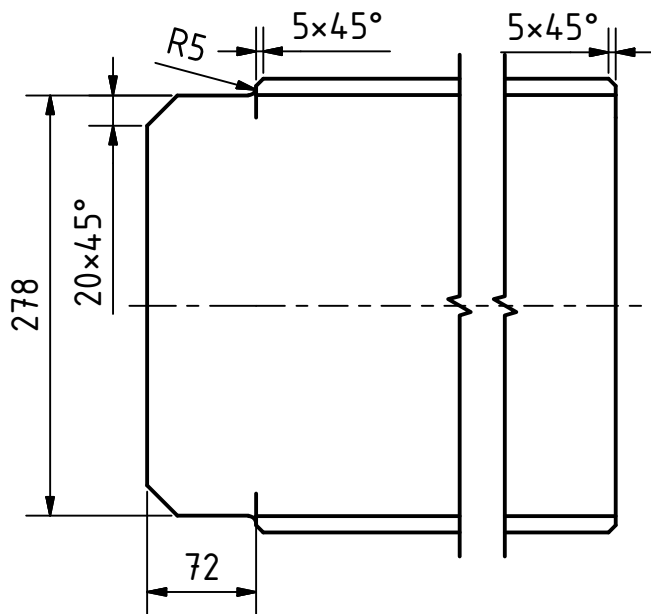
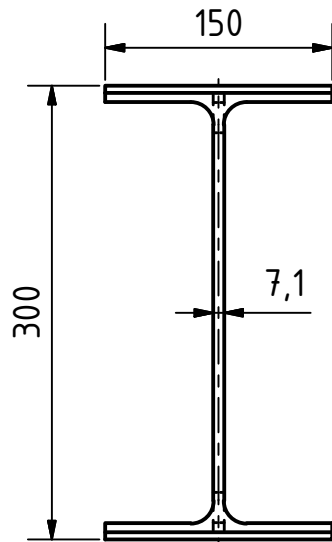
VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

1	TYČ IPE 300 - 1631	DIN 1025-5	S235JR		66,5 kg	1
POZICE	POPIS	NORMA	MATERIÁL	POZNÁMKY	HMOTNOST	KS

KUSOVNÍK

 <p>ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI</p>	KATEDRA ENERGETICKÝCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ  DEPARTMENT OF POWER SYSTEM ENGINEERING		1 : 5	HMOTNOST: 66,5 kg		
			Datum	Jméno	TYČ IPE	
		Kreslil	4.2.2015	Lukáš Hrych		
		Schválil				
			ISO 8015	LH-0001-104		1
			ISO 2768mK			A4
Sřav	Změny	Datum	Jméno			




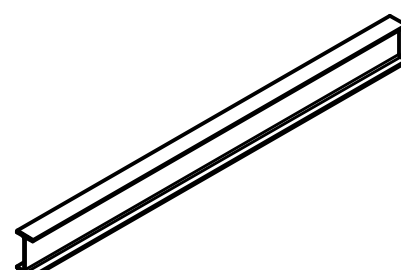
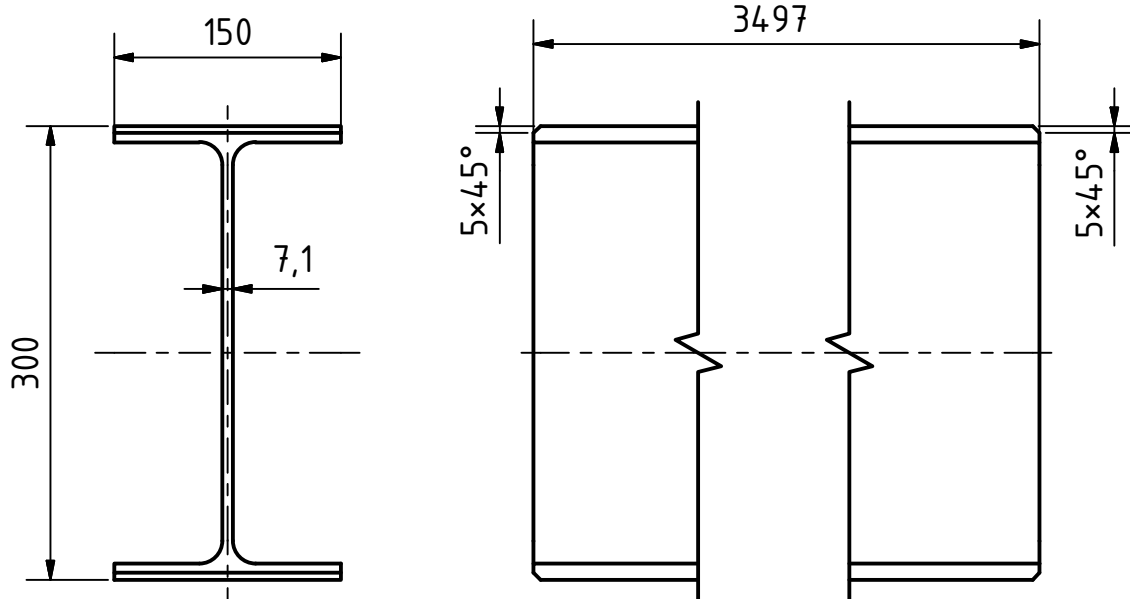
VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

1	TYČ IPE 300 - 796	DIN 1025-5	S235JR		31,7 kg	1
POZICE	POPIS	NORMA	MATERIÁL	POZNÁMKY	HMOTNOST	KS

KUSOVNÍK

 <b>ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI</b>	KATEDRA ENERGETICKÝCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ		1 : 5	HMOTNOST: 31,7 kg			
	DEPARTMENT OF POWER SYSTEM ENGINEERING						
		Datum	Jméno	TYČ IPE			
		Kreslil	4.2.2015				Lukáš Hrych
		Schválil					
		ISO 8015 ISO 2768mK		LH-0001-105		1	
						A4	
Sřav	Změny	Datum	Jméno				




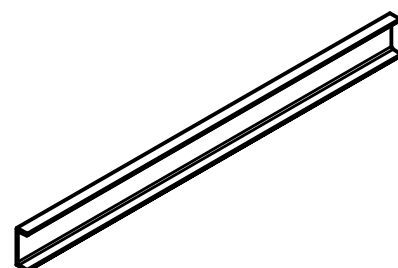
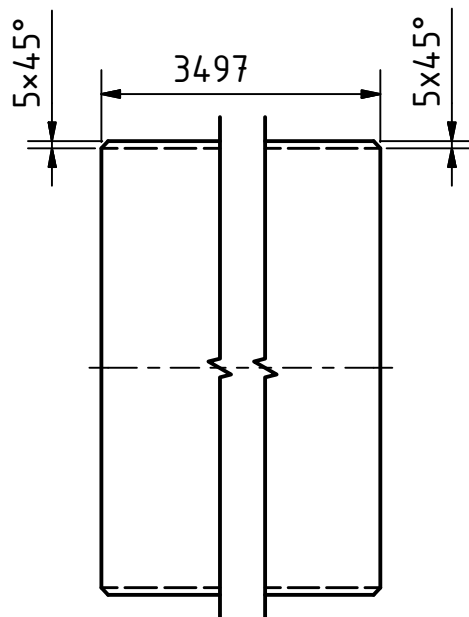
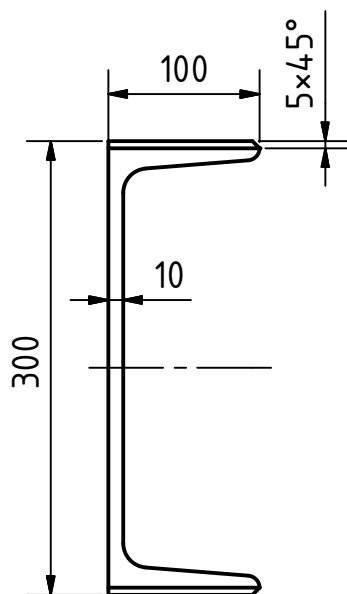
VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

1	TYČ IPE 300 - 3497	DIN 1025-5	S235JR		147,9 kg	1
POZICE	POPIS	NORMA	MATERIÁL	POZNÁMKY	HMOTNOST	KS

KUSOVNÍK

 <b>ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI</b>	KATEDRA ENERGETICKÝCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ		1 : 5	HMOTNOST: 147,9 kg		
	DEPARTMENT OF POWER SYSTEM ENGINEERING					
		Datum	Jméno	TYČ IPE		
	Kreslil	19.6.2015	Lukáš Hrych			
	Schválil					
		ISO 8015		LH-0001-106		1
		ISO 2768mK				A4
Sřav	Změny	Datum	Jméno			




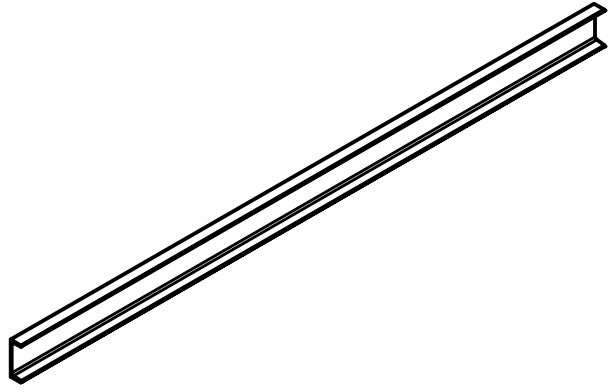
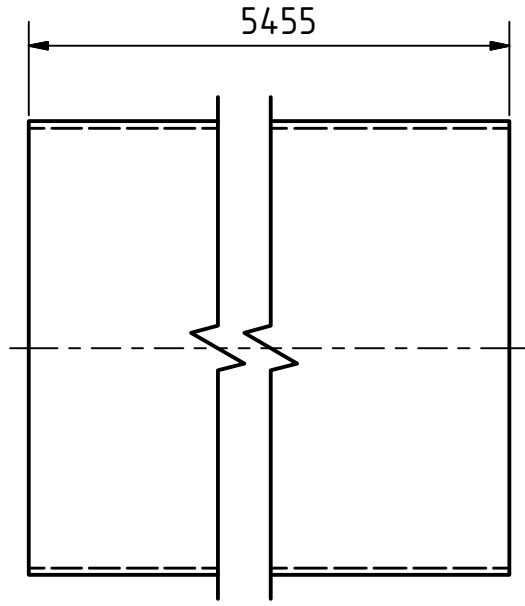
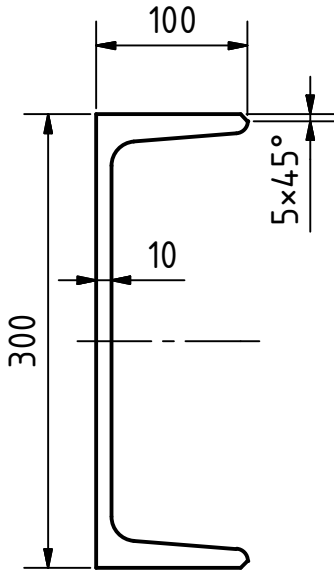
VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

1	TYČ U 300 - 3497	DIN 1026-1	S235JR		160,9 kg	1
POZICE	POPIS	NORMA	MATERIÁL	POZNÁMKY	HMOTNOST	KS

KUSOVNÍK

 <b>ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI</b>	KATEDRA ENERGETICKÝCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ		1 : 5	HMOTNOST: 160,9 kg			
	DEPARTMENT OF POWER SYSTEM ENGINEERING						
		Datum	Jméno	TYČ IPE			
		Kreslil	19.6.2015				Lukáš Hrych
		Schválil					
		ISO 8015 ISO 2768mK		LH-0001-107		1	
				A4			
Sřav	Změny	Datum	Jméno				




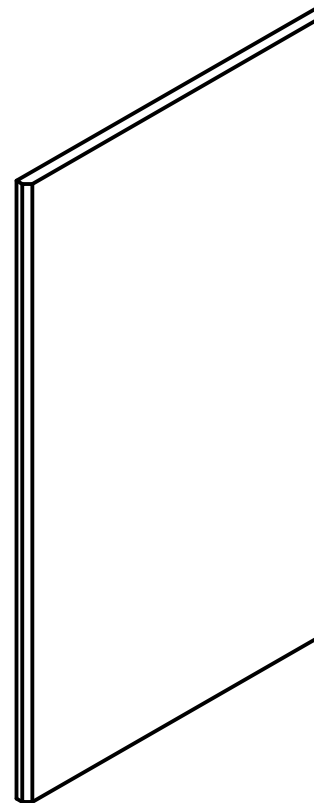
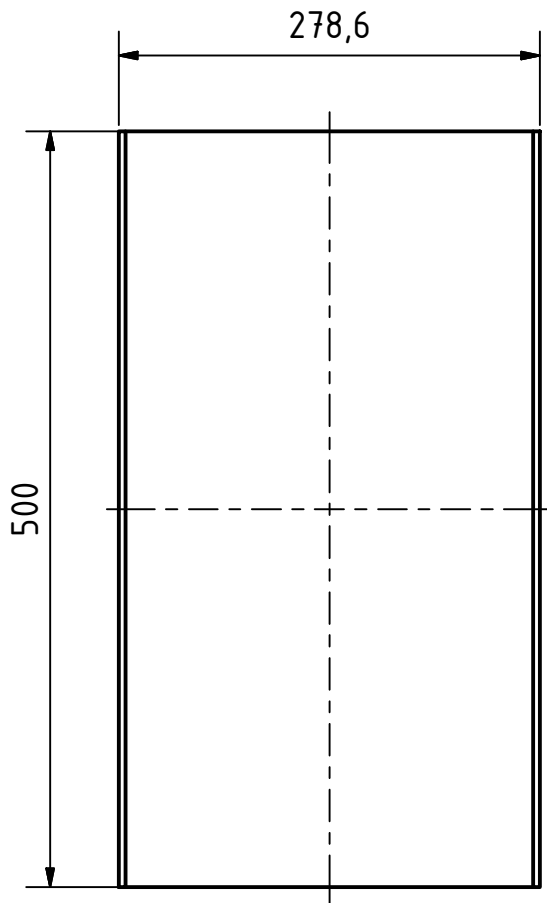
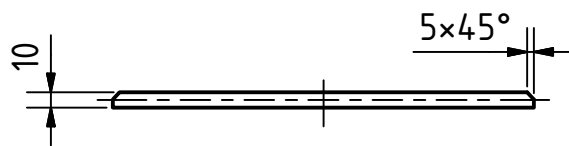
VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

1	TYČ U 300 - 5455	DIN 1026-1	S235JR		251,0 kg	1
POZICE	POPIS	NORMA	MATERIÁL	POZNÁMKY	HMOTNOST	KS

KUSOVNÍK

 <b>ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI</b>	KATEDRA ENERGETICKÝCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ		1 : 5	HMOTNOST: 251,0 kg		
	DEPARTMENT OF POWER SYSTEM ENGINEERING					
			Datum	Jméno	TYČ U	
		Kreslil	19.6.2015	Lukáš Hrych		
		Schválil				
			ISO 8015	LH-0001-108		1
			ISO 2768mK			A4
Stav	Změny	Datum	Jméno			




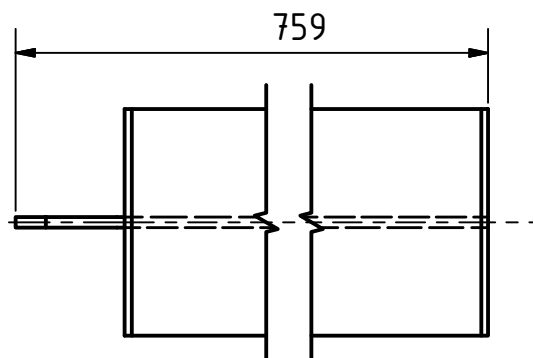
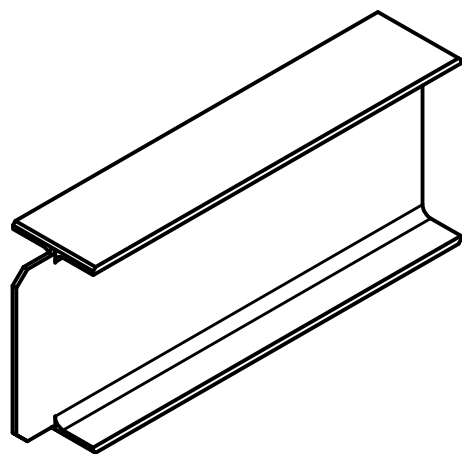
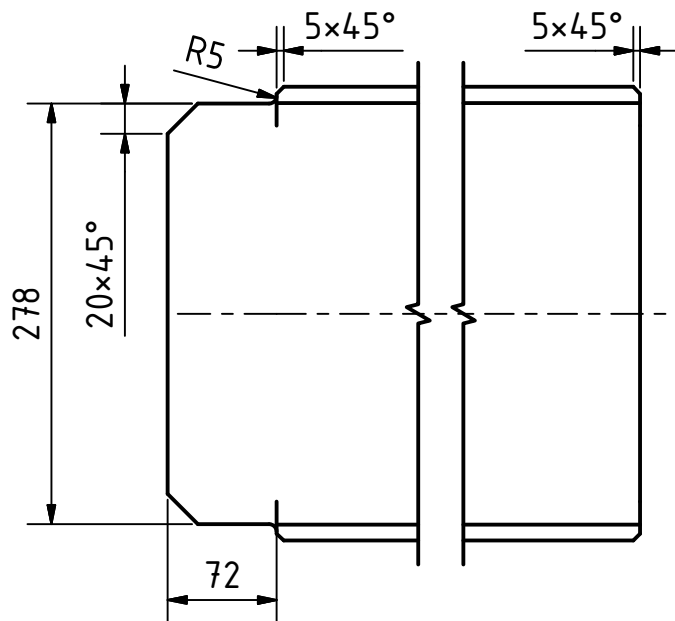
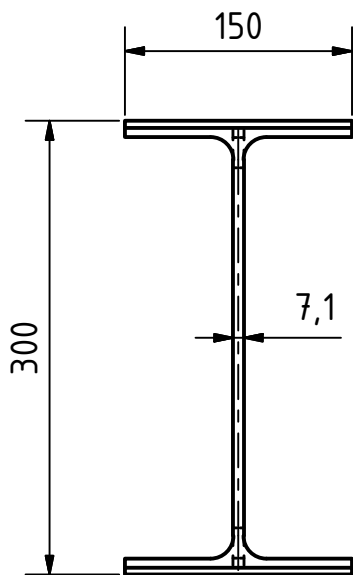
VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

1	PLECH 10×278,6×500	EN 10051	S235JR		10,9 kg	1
POZICE	POPIS	NORMA	MATERIÁL	POZNÁMKY	HMOTNOST	KS

KUSOVNÍK

 <b>ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI</b>	KATEDRA ENERGETICKÝCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ		1 : 5	HMOTNOST: 10,9 kg		
	DEPARTMENT OF POWER SYSTEM ENGINEERING					
			Datum	Jméno	PLECH	
		Kreslil	19.6.2015	Lukáš Hrych		
		Schválil				
			ISO 8015	LH-0001-109		1
			ISO 2768mK			A4
Sřav	Změny	Datum	Jméno			




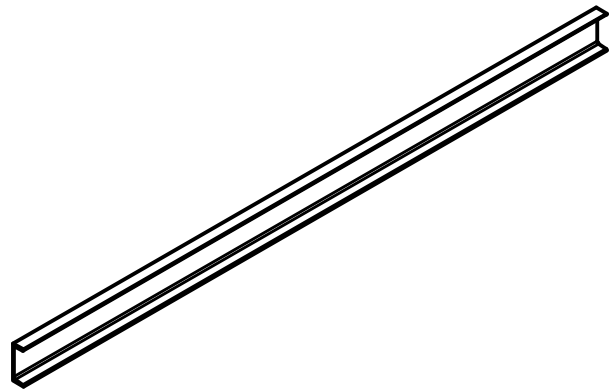
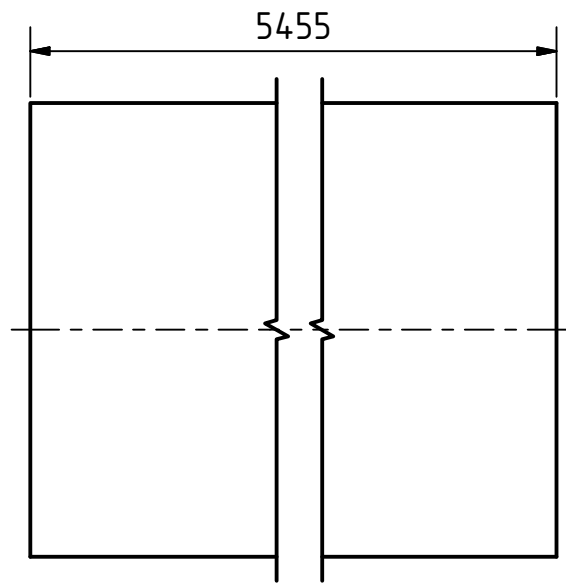
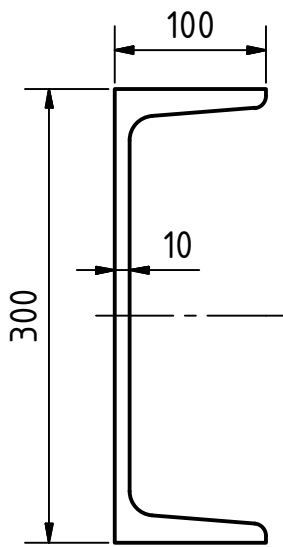
VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

1	TYČ IPE 300 - 5455	DIN 1025-5	S235JR		30,1 kg	1
POZICE	POPIS	NORMA	MATERIÁL	POZNÁMKY	HMOTNOST	KS

KUSOVNÍK

 <b>ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI</b>	KATEDRA ENERGETICKÝCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ		1 : 5	HMOTNOST: 30,1 kg			
	DEPARTMENT OF POWER SYSTEM ENGINEERING						
		Datum	Jméno	TYČ IPE			
		Kreslil	4.2.2015				Lukáš Hrych
		Schválil					
		ISO 8015 ISO 2768mK		LH-0001-110		1	
Sřav	Změny	Datum	Jméno	A4			




VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

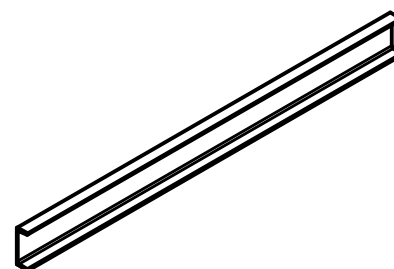
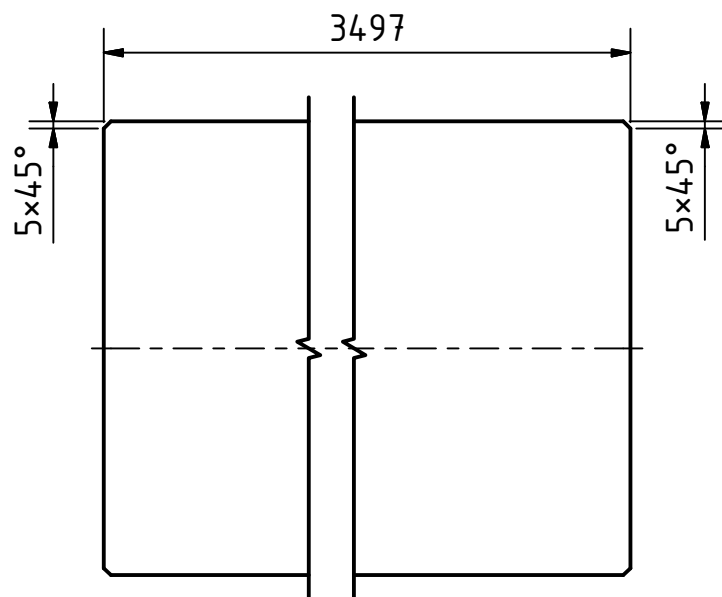
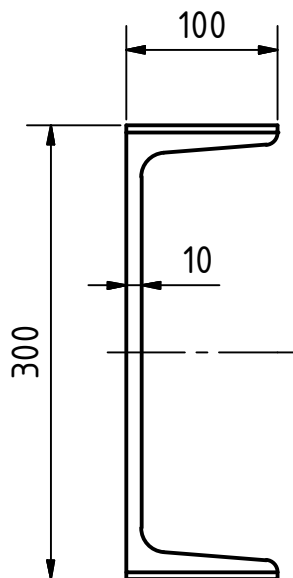
VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

1	TYČ U 300 - 5455	DIN 1026-1	S235JR		252 kg	1
POZICE	POPIS	NORMA	MATERIÁL	POZNÁMKY	HMOTNOST	KS

KUSOVNÍK

 <b>ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI</b>	KATEDRA ENERGETICKÝCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ		1 : 5	HMOTNOST: 252,0 kg		
	DEPARTMENT OF POWER SYSTEM ENGINEERING					
			Datum	Jméno	TYČ U	
		Kreslil	20.6.2015	Lukáš Hrych		
		Schválil				
			ISO 8015 ISO 2768mK		LH-0001-111	
					1 A4	
Sřav	Změny	Datum	Jméno			






VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

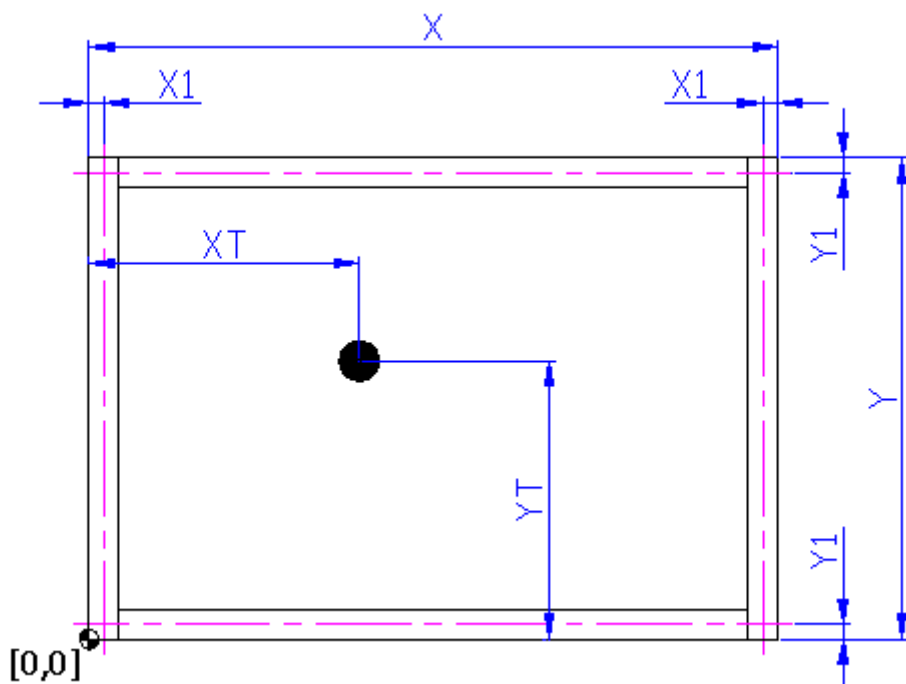
1	TYČ U 300 - 3497	DIN 1026-1	S235JR		161,5 kg	1
POZICE	POPIS	NORMA	MATERIÁL	POZNÁMKY	HMOTNOST	KS

KUSOVNÍK

 <b>ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI</b>	KATEDRA ENERGETICKÝCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ		1 : 5	HMOTNOST: 161,5 kg		
	DEPARTMENT OF POWER SYSTEM ENGINEERING					
			Datum	Jméno	TYČ U	
		Kreslil	19.6.2015	Lukáš Hrych		
		Schválil				
					LH-0001-112	
					1	
					A4	
Sřav	Změny	Datum	Jméno			

## VÝPOČET PRUŽNÉHO ULOŽENÍ VENTILÁTORŮ VAR1

### ZÁKLADNÍ PARAMETRY VÝPOČTU



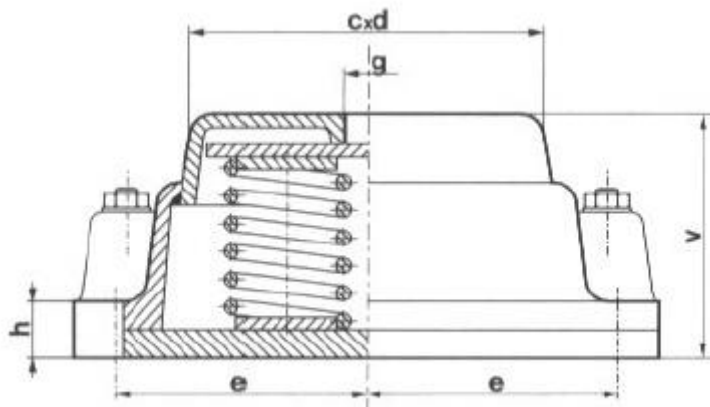
Parametr	Jednotka	Hodnota
Otáčky	1/min	740
X: délka rámu	mm	5455
Y: šířka rámu	mm	3897
X1: vzdálenost osy izolátorů od kraje rámu v ose X	mm	60
Y1: vzdálenost osy izolátorů od kraje rámu v ose Y	mm	60
X <sub>T</sub> : poloha těžiště v ose X	mm	2632
Y <sub>T</sub> : poloha těžiště v ose Y	mm	1949
Celková hmotnost	kg	4603

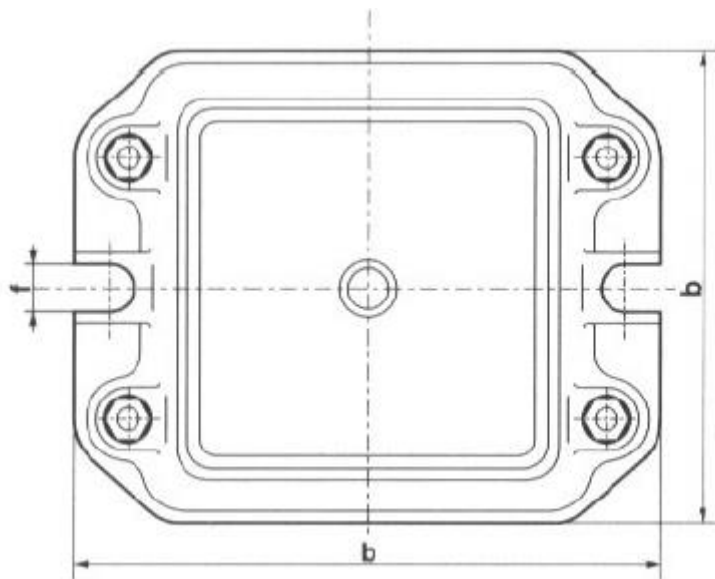
### INFORMACE O ZVOLENÉM IZOLÁTORU

Parametr	Jednotka	Hodnota
<b>ZÁKLADNÍ ÚDAJE</b>		
Typ izolátoru	---	P 812
Svislá tuhost	kN/m	773
Minimální statické zatížení	N	9320
Maximální statické zatížení	N	13735
Pracovní výška při minimálním zatížení	mm	116
Pracovní výška při maximálním zatížení	mm	110



Montážní výška	mm	125
Kritické otáčky	1/min	580
Hmotnost izolátoru	kg	17.5
Minimální rozteč izolátorů	mm	300
<b>ROZMĚRY</b>		
a	mm	250
b	mm	300
c	mm	180
d	mm	180
e	mm	135
f	mm	15
g	mm	M20
<b>DOPLŇUJÍCÍ ÚDAJE</b>		
Počet izolátorů	---	4
fo: otáčková frekvence	Hz	12.33
frez: rezonanční frekvence	Hz	4.12
Podmínka $f_o > \sqrt{2} * f_{rez}$	---	Splněna
Koeficient ladění	---	2.99
Skutečné zatížení jednoho izolátoru	N	11288.86
Skutečná výška izolátoru při zatížení	mm	113.32



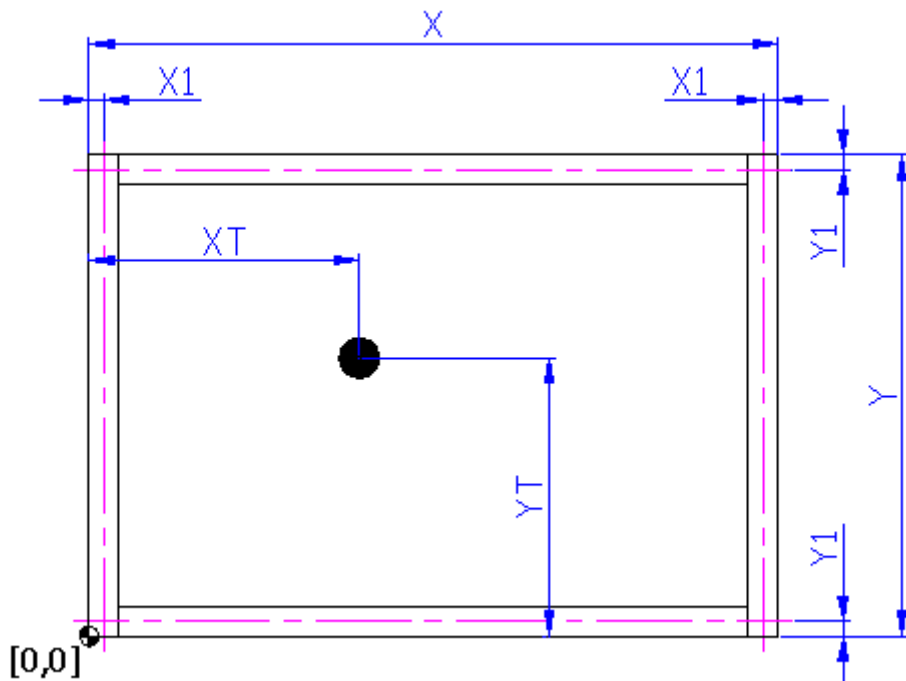


### INFORMACE O ROZMÍSTĚNÍ IZOLÁTORŮ

Číslo izolátoru	Vzdálenost v ose X [mm]	Vzdálenost v ose Y [mm]
1	60	3837
2	5395	3799
3	60	100
4	5013	60

## VÝPOČET PRUŽNÉHO ULOŽENÍ VENTILÁTORŮ VAR2

### ZÁKLADNÍ PARAMETRY VÝPOČTU



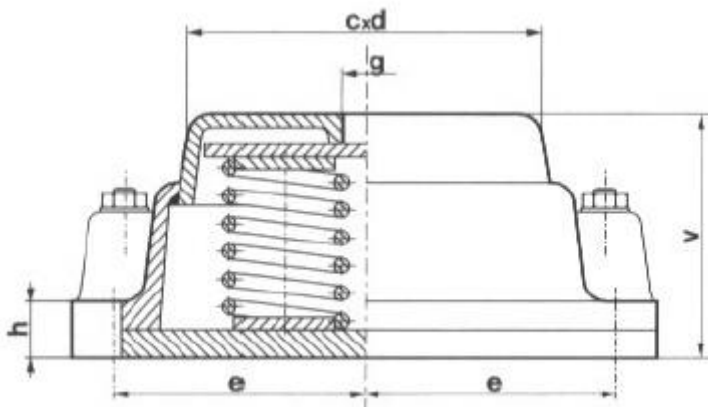
Parametr	Jednotka	Hodnota
Otáčky	1/min	740
X: délka rámu	mm	5455
Y: šířka rámu	mm	3797
X1: vzdálenost osy izolátorů od kraje rámu v ose X	mm	82
Y1: vzdálenost osy izolátorů od kraje rámu v ose Y	mm	82
X <sub>T</sub> : poloha těžiště v ose X	mm	2643
Y <sub>T</sub> : poloha těžiště v ose Y	mm	1849
Celková hmotnost	kg	3339

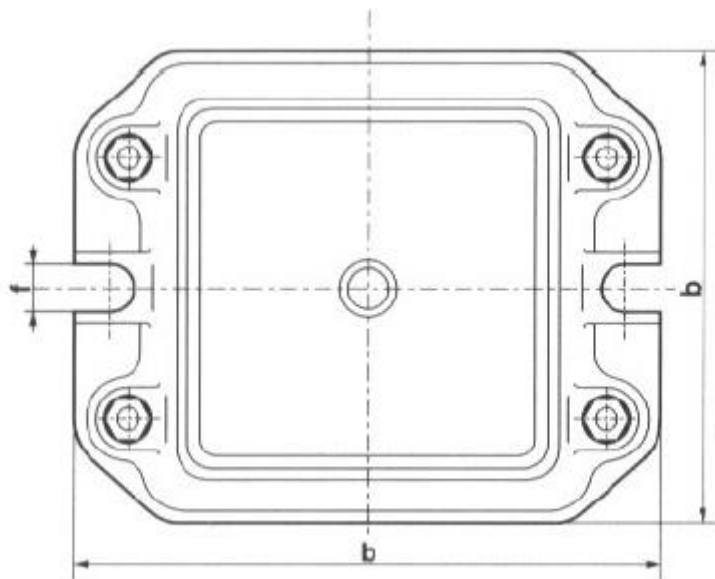
### INFORMACE O ZVOLENÉM IZOLÁTORU

Parametr	Jednotka	Hodnota
<b>ZÁKLADNÍ ÚDAJE</b>		
Typ izolátoru	---	P 811
Svislá tuhost	kN/m	530
Minimální statické zatížení	N	7355
Maximální statické zatížení	N	9320
Pracovní výška při minimálním zatížení	mm	102
Pracovní výška při maximálním zatížení	mm	96



Montážní výška	mm	115
Kritické otáčky	1/min	580
Hmotnost izolátoru	kg	16.3
Minimální rozteč izolátorů	mm	300
<b>ROZMĚRY</b>		
a	mm	250
b	mm	300
c	mm	180
d	mm	180
e	mm	135
f	mm	15
g	mm	M20
<b>DOPLŇUJÍCÍ ÚDAJE</b>		
Počet izolátorů	---	4
fo: otáčková frekvence	Hz	12.33
frez: rezonanční frekvence	Hz	4.01
Podmínka $f_o > \sqrt{2} * f_{rez}$	---	Splněna
Koeficient ladění	---	3.07
Skutečné zatížení jednoho izolátoru	N	8188.9
Skutečná výška izolátoru při zatížení	mm	99.45



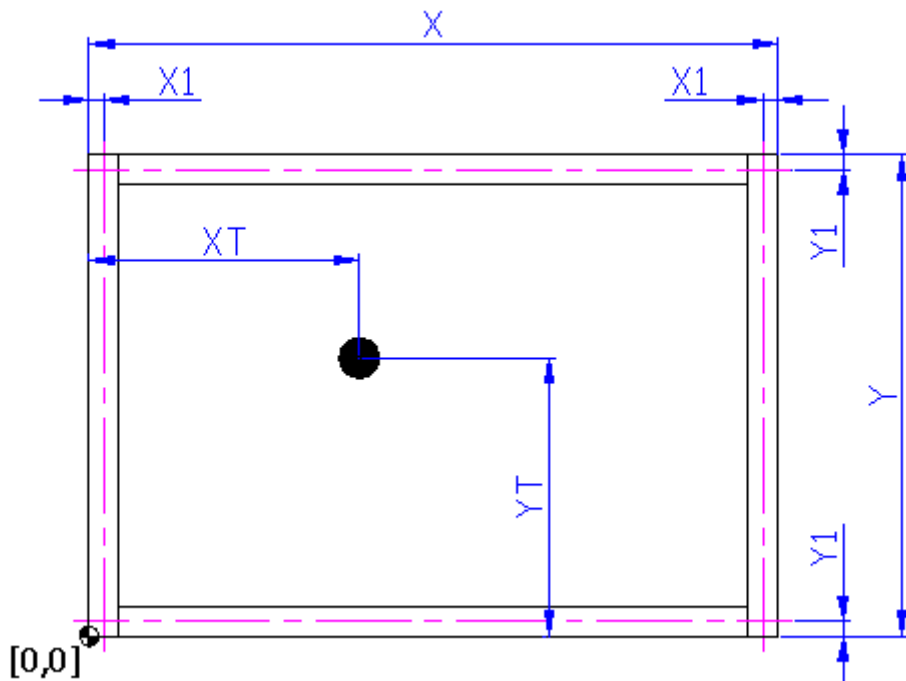


### INFORMACE O ROZMÍSTĚNÍ IZOLÁTORŮ

Číslo izolátoru	Vzdálenost v ose X [mm]	Vzdálenost v ose Y [mm]
1	100	82
2	100	3715
3	5373	3517
4	4999	82

## VÝPOČET PRUŽNÉHO ULOŽENÍ VENTILÁTORŮ VAR3

### ZÁKLADNÍ PARAMETRY VÝPOČTU



Parametr	Jednotka	Hodnota
Otáčky	1/min	740
X: délka rámu	mm	5455
Y: šířka rámu	mm	2537
X1: vzdálenost osy izolátorů od kraje rámu v ose X	mm	70
Y1: vzdálenost osy izolátorů od kraje rámu v ose Y	mm	70
XT: poloha těžiště v ose X	mm	2607
YT: poloha těžiště v ose Y	mm	1324
Celková hmotnost	kg	3953

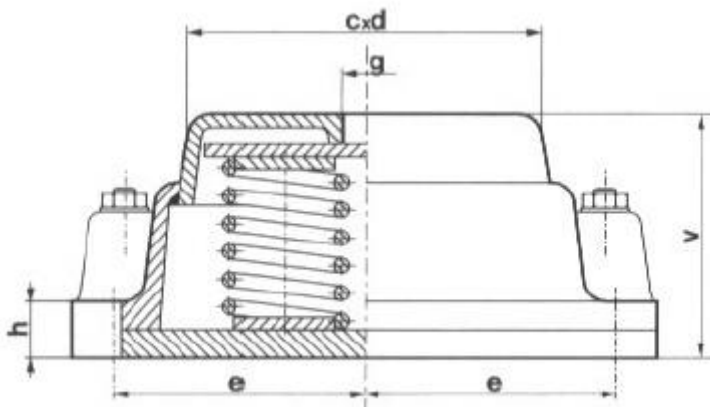
### INFORMACE O ZVOLENÉM IZOLÁTORU

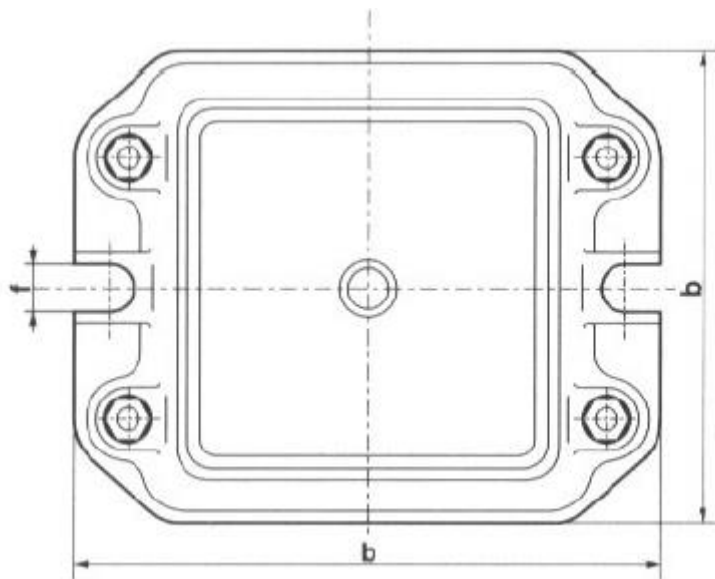
Parametr	Jednotka	Hodnota
<b>ZÁKLADNÍ ÚDAJE</b>		
Typ izolátoru	---	P 812
Svislá tuhost	kN/m	773
Minimální statické zatížení	N	9320
Maximální statické zatížení	N	13735
Pracovní výška při minimálním zatížení	mm	116
Pracovní výška při maximálním zatížení	mm	110





Montážní výška	mm	125
Kritické otáčky	1/min	580
Hmotnost izolátoru	kg	17.5
Minimální rozteč izolátorů	mm	300
<b>ROZMĚRY</b>		
a	mm	250
b	mm	300
c	mm	180
d	mm	180
e	mm	135
f	mm	15
g	mm	M20
<b>DOPLŇUJÍCÍ ÚDAJE</b>		
Počet izolátorů	---	4
fo: otáčková frekvence	Hz	12.33
frez: rezonanční frekvence	Hz	4.45
Podmínka $f_o > \sqrt{2} * f_{rez}$	---	Splněna
Koeficient ladění	---	2.77
Skutečné zatížení jednoho izolátoru	N	9694.73
Skutečná výška izolátoru při zatížení	mm	115.49





### INFORMACE O ROZMÍSTĚNÍ IZOLÁTORŮ

Číslo izolátoru	Vzdálenost v ose X [mm]	Vzdálenost v ose Y [mm]
1	70	181
2	70	2400
3	5384	248
4	4904	2467