

# **Modelování v programu Autodesk Inventor**

Simulation in programme Autodesk Inventor

Petr Staněk

---

Bakalářská práce  
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav aplikované informatiky

akademický rok: 2006/2007

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr STANĚK**

Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**

Studijní obor: **Informační technologie**

Téma práce: **Modelování v programu Autodesk Inventor**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na zadané téma. Ta bude obsahovat vývoj 3D počítačové grafiky a možnosti jejího uplatnění. Součástí bude i bližší charakteristika CAD systémů.
2. Seznamte se s programem Autodesk Inventor. Popište jeho historický vývoj, programové možnosti a porovnejte jej s konkurenčními programy (např. Catia nebo Solidworks).
3. Proveďte návrh modelu kompresoru. Na základě tohoto návrhu tento kompresor vytvořte v programu Autodesk Inventor.
4. V práci podrobně popište postup tvorby modelu kompresoru.
5. Vytvořte výkresovou dokumentaci k jednotlivým dílům kompresoru a současně realizujte animaci montážního postupu celé sestavy.



Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Petr Fořt, Jaroslav Kletečka: Autodesk Inventor: Adaptivní modelování v průmyslové praxi. Computer Press, Brno 2004. (ISBN 80-251-0389-7)**

**Valný Michal: Autodesk Inventor efektivně – Inventor Series 6 až 8, Inventor Professional. CCB, Brno 2004. (80-85825-53-8)**

**Bečka Jan: Konstruktor a počítač – CAD. Montanex, Ostrava 1999. (80-7225-029-9)**

**Jaroslav Kletečka, Petr Fořt: Technické kreslení. Computer Press, Brno 1999. (ISBN 80-7226-542-3)**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Pavel Pokorný, Ph.D.**

Ústav aplikované informatiky

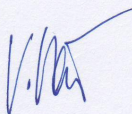
Datum zadání bakalářské práce:

**13. února 2007**

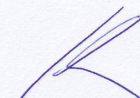
Termín odevzdání bakalářské práce:

**24. května 2007**

Ve Zlíně dne 13. února 2007



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Ivan Zelinka, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá technologií zaměřenou na CAD systémy. Práce se věnuje využití této technologie ve strojírenské praxi, a to v oblasti konstrukce.

Teoretická část práce popisuje využití CAD systémů pro různá odvětví průmyslu, poukazuje na nové možnosti nastupující moderní metody 3D tisku. Práci jsem zaměřil na 3D modelovací program Autodesk Inventor 11 Professional.

Praktickou část jsem věnoval vytvoření 3D modelu pístového kompresoru. Kompresor jsem vymodeloval do jednotlivých komponentů, vytvořil podsestavy a sestavu. Pro montážní postup jsem vytvořil animaci. Všechny komponenty kompresoru jsou doplněny o kompletní výkresovou dokumentaci. Celou praktickou část jsem uskutečnil v 3D modelovacím programu - Autodesk Inventor 11 Professional.

Klíčová slova: konstrukční prvek, pomocná pracovní rovina, pomocná pracovní osa, pracovní náčrt

## **ABSTRACT**

Bachelor thesis deals with a technology intended on CAD systems. The thesis goes in for an usage of this technology in engineering practice, especially the construction area.

Theoretic part describes the usage of CAD systems for different communication industry, points to new possibilities ingoing modern method of 3D printing. I intended my thesis on 3D model programme Autodesk Inventor 11 Professional.

I devoted practical part to a creation of 3D model of a piston compressor. The compressor was shaped to the single components, made subassemblies and a group. To assembly the progress was formed an animation. All components of compressor are supplemented about full graphical documentation. Whole practical part I carried out in 3D plasticine programme - Autodesk Inventor 11 Professional.

Keywords: a structural member, a associated production working plane, a associated production working axis, a working sketch

UTB ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky, 2007

Za poskytnutí cenných rad a zkušeností při vypracování bakalářské práce, bych chtěl touto cestou poděkovat Ing. Pavlu Pokornému, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně 16.5.2007

.....

Podpis diplomanta

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>9</b>
<b>1 PŘEHLED GRAFICKÝCH SYSTÉMŮ</b> .....	<b>10</b>
1.1 APLIKACE POČÍTAČOVÉ GRAFIKY .....	10
1.2 NÁVRH POMOCÍ POČÍTAČE.....	10
1.3 POČÍTAČOVÁ ANIMACE.....	11
1.4 CAD SYSTÉMY .....	12
1.4.1 Rozdělení CADů .....	13
1.4.2 Využití 3D modelů .....	14
<b>2 AUTODESK INVENTOR</b> .....	<b>15</b>
2.1 TECHNICKÉ VYBAVENÍ PC PRO MODELOVÁNÍ V PROGRAMU AUTODESK INVENTOR .....	15
2.2 HISTORICKÝ VÝVOJ AUTODESK INVENTORU .....	15
2.3 PROGRAMOVÉ MOŽNOSTI AUTODESK INVENTOR .....	16
<b>3 MODELOVÁNÍ V PROGRAMU AUTODESK INVENTOR 11     PROFESSIONAL</b> .....	<b>17</b>
3.1 PARAMETRICKÉ MODELOVÁNÍ.....	17
3.2 ADAPTIVNÍ MODELOVÁNÍ V SESTAVÁCH .....	17
3.3 NÁSTROJE PRO MODELOVÁNÍ V AUTODESK INVENTOR 11 PROFESSIONAL .....	18
3.4 PRACOVNÍ PROSTŘEDÍ AUTODESK INVENTOR 11 PROFESSIONAL .....	18
3.4.1 Pracovní plocha pro modelování.....	18
3.4.2 Pracovní plocha pro tvorbu výkresů .....	19
3.5 VYTVOŘENÍ SOUBORU .....	19
<b>4 SROVNÁNÍ PROGRAMU AUTODESK INVENTOR 11     PROFESSIONAL S KONKURENČNÍMI PROGRAMY</b> .....	<b>20</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>23</b>
<b>5 MODELOVÁNÍ PÍSTOVÉHO KOMPRESORU V PROGRAMU     AUTODESK INVENTOR 11 PROFESSIONAL</b> .....	<b>24</b>
5.1 MODELOVÁNÍ SOUČÁSTÍ .....	24
5.2 SEZNAM SOUČÁSTÍ PÍSTOVÉHO KOMPRESORU VYTVOŘENÝCH OBJEMOVÝM MODELOVÁNÍM.....	24
5.2.1 Blok kompresoru .....	25
5.2.2 Kliková hřídel.....	28
5.2.3 Ojnice .....	32
5.2.4 Pracovní válec .....	33
5.2.5 Ventilová soustava .....	35

5.3	SEZNAM SOUČÁSTÍ KOMPRESORU VLOŽENÝCH Z OBSAHOVÉHO CENTRA NORMALIZOVANÝCH PRVKŮ .....	35
5.3.1	Výběr normalizovaných součástí z obsahového centra Autodesk Inventor 11 Professional .....	36
5.4	TVORBA PODSESTAV KOMPRESORU .....	36
5.4.1	Podsestava Píst – ojnice .....	37
5.5	TVORBA SESTAVY KOMPRESORU .....	39
5.5.1	Základní součást sestavy .....	40
5.6	TVORBA PREZENTACE MONTÁŽNÍHO POSTUPU .....	41
5.6.1	Prezentace montážního postupu podsestavy Píst – ojnice, podsestavy ventilové soustavy a kompletní sestavy kompresoru .....	42
5.7	TVORBA VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE NENORMALIZOVANÝCH SOUČÁSTÍ.....	43
5.7.1	Tvorba výkresové dokumentace součástí.....	44
5.8	TVORBA VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE PODSESTAV A KOMPLETNÍ SESTAVY .....	45
5.8.1	Výkresová dokumentace podsestav pístového kompresoru.....	45
5.8.2	Výkresová dokumentace sestavy kompresoru .....	46
5.8.3	Výkresová dokumentace montážního postupu.....	47
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>49</b>
	<b>CLOSE .....</b>	<b>51</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>53</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>54</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>55</b>

## ÚVOD

Aplikace na bázi 3D modelování mají v dnešní moderní, technicky vyspělé době stále větší rozsah použití, a to jak v průmyslu stavebním, strojním, elektrotechnickém, tak i v odvětvích dalších, jako jsou kriminalistika, lékařství a farmaceutika atd..

Značné uplatnění těchto 3D modelovacích programů vzrostlo s nárůstem potřeby stále složitějších efektů pro filmové triky v prostředí kinematografie. V neposlední řadě tyto modelovací programy našly také uplatnění v oblasti genového inženýrství.

3D modeláře dnes stále více vytlačují dříve všudypřítomné 2D kreslicí programy typu AutoCAD. Příčinou je právě široké měřítko záběru těchto 3D programů s možností využití pro prakticky všechna odvětví průmyslu. Dnešní vyspělá technologie obráběcích strojů a obráběcích metod plně využívá dat 3D programů, čímž je maximálně urychlena výroba součástí, a po ekonomické stránce šetřena jak pracovní síla, tak i provozní energie spojené s tímto procesem.

Dalším velkým kladem ve využití 3D modelovacích programů je maximální kontrola nad budoucími produkty, snadná a rychlá modifikace změn ve 3D modelech a celých sestavách. Což opět vede ke značné úspoře času, materiálních a technických zdrojů.

Cílem mé bakalářské práce je praktické využití jednoho z těchto, v praxi často používaných 3D modelářů Autodesk Inventor 11 Professional. Důvodem pro výběr tohoto 3D programu jsou mé předešlé zkušenosti z oblasti strojírenství. Výhodou tohoto 3D programu je nabídka firmy Autodesk. Výrobce nabízí bezplatné poskytnutí Studentské licence k užívání tohoto programu po dobu 2 let. Tato licence není po technické stránce funkcí programu nijak omezená.

V práci se chci pokusit využít všechny možnosti a schopnosti programu při konstrukci a modelování konkrétního výrobku, a to pístového kompresoru určeného pro přeplňování dieselového agregátu. Dalším cílem je možnost využití modelů součástí a výkresové dokumentace při eventuální sériové výrobě.



## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 PŘEHLED GRAFICKÝCH SYSTÉMŮ

Počítačová grafika je jednou z neúspěšněji a nejrychleji se rozvíjejících oblastí počítačových věd. Mnoho špičkových výpočetních systémů je dnes určeno pro vytváření obrazů a výkresů. Hodnota obrazu jako efektivního prostředku pro komunikaci je všeobecně známa a možnost konverzace s počítačem pomocí grafických prostředků je zvratem téměř ve všech aplikacích počítačů. Pro počítačovou grafiku jsou nacházeny nové a rychlejší algoritmy a vyvíjeny specializované technické prostředky [12].

### 1.1 Aplikace počítačové grafiky

Počítače jsou ideálním prostředkem pro rychlou a relativně jednoduchou tvorbu obrazů. V dnešní době je těžké najít oblast, ve které by využití grafických programů nepřineslo nějakou výhodu. V minulosti byla počítačová grafika vázána na drahá speciální zařízení. V současnosti díky vývoji a pokroku v moderních technologiích se počítačová grafika běžně používá v různých a sobě vzdálených oblastech jako jsou například obchod, průmysl, řízení, umění, hry, reklama, výuka, věda a výzkum, lékařství [12].

### 1.2 Návrh pomocí počítače

Již řadu let je těžiště počítačové grafiky v pomoci konstruktérům v nejrůznějších oborech. Všeobecně známý pojem CAD – návrh pomocí počítače (Computer Aided Design) zahrnuje užitečné prostředky pro konstruktérskou praxi. Návrhy součástí jsou vytvářeny interaktivně a zobrazovány formou jednoduchých čárových nákresů nebo v podobě věrných obrázků, blízcích se kvalitě fotografie. Při vytváření prostorových modelů pomocí systému CAD může konstruktér sledovat na obrazovce navrhovaný objekt z libovolné strany tak, jako kdyby tento objekt byl již vyroben. Vzhledem k vysoké rychlosti počítačů je možné provádět i experimentální změny tvaru objektů k dosažení co nejlepších funkčních, či estetických kritérií. Také je možné podrobit model nejrůznějším fyzikálním výpočtům, a ověřit tak jeho schopnosti a funkčnost. Pomocí těchto systémů lze zobrazit také proces obrábění navrhovaných součástí [12].

Přínosem jsou také systémy CAD v oblasti elektrotechniky, např. návrh elektrických obvodů. Systém umožňuje vyzkoušet různé varianty uspořádání prvků obvodu, simulovat jejich skutečnou činnost, optimalizovat počet nebo prostor, který zabírají. Podobné metody jsou používány při návrhu vodovodní a elektrické instalace nebo telefonního vedení.

Také konstruktéři automobilů, lodí, letadel nebo kosmických lodí používají metody CAD v různých pohledech a řezech. Detaily karoserií nebo jednotlivé díly vozidel mohou být konstruovány samostatně a později spojeny do výsledného tvaru objektu. Často jsou počítače využívány pro testování chování vozidel a simulaci operací při jejich řízení. Realistické obrázky umožňují konstruktérům posoudit celkový vzhled výsledku jejich návrhu.

Dalšími oblastmi využití CAD jsou stavebnictví a architektura. Architekti modelují nejen celkové tvary budov, ale i interaktivně vytvářejí plány jednotlivých podlaží a rozmístění oken a dveří. Podle těchto plánů je navrhována elektrická instalace, klimatizace a požární signalizace. Pomocí dalších specializovaných programů lze posoudit využití prostoru v kancelářích nebo výrobních halách.

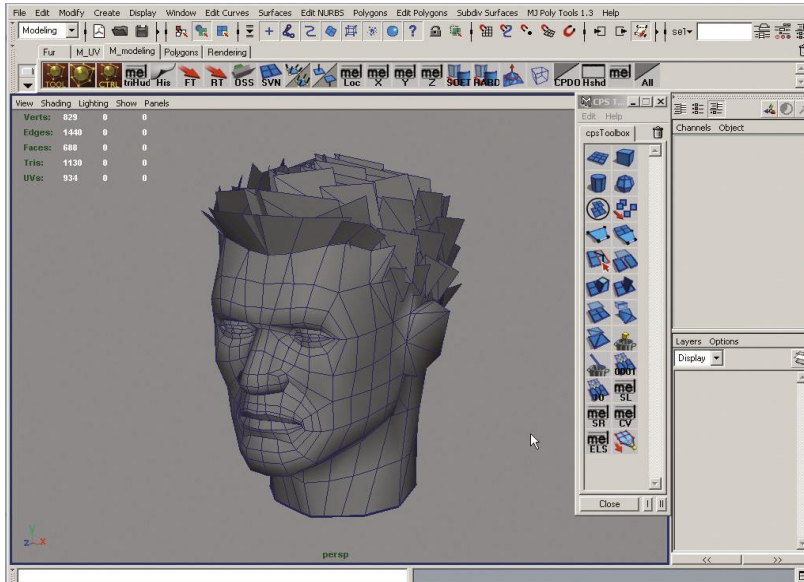
Trojrozměrné modely budov umožňují architektům studovat vzhled nejen jednotlivých staveb, ale i stavebních celků, jakými mohou být např. areály vysokých škol nebo průmyslové komplexy. Dokonalé grafické programy poskytují návrhářům možnost simulovat na obrazovce procházku různými místnostmi budovy nebo jejím okolím tak, aby architekt získal co nejvěrnější představu o všech detailech budoucí stavby. Mnoho systémů také kombinuje informace o terénu s modely nových staveb [12].

### 1.3 Počítačová animace

Běžnou součástí moderních filmových studií jsou výkonné grafické systémy (3D Max Studio, Maya, Cinema 4D atd.), které slouží animátorům a výtvarníkům při poloautomatickém vytváření filmových sekvencí. Přestože pro každé filmové políčko musí být počítačem vytvořen nový obrázek, výpočetní technika nejen významně zkracuje přípravu filmu, ale umožňuje zobrazovat efektní a neskutečné scény a kombinovat skutečné záběry s počítačem připravenými sekvencemi. Většina současných vědeckofantastických filmů využívá trikových a animačních postupů zpracovávaných počítači (Obrázek č. 1).

Další úspěch zaznamenala počítačová grafika při kolorování starých černobílých filmů. Práce při obarvování desetitisíců filmových políček se díky počítačům redukuje na obarvení jednoho políčka pro celý další záběr. Počítač rozpoznává na následujících snímcích stejné pozadí a postavy v rozfázovaném pohybu. Pro jejich obarvení je použito informací z předchozích filmových polí.

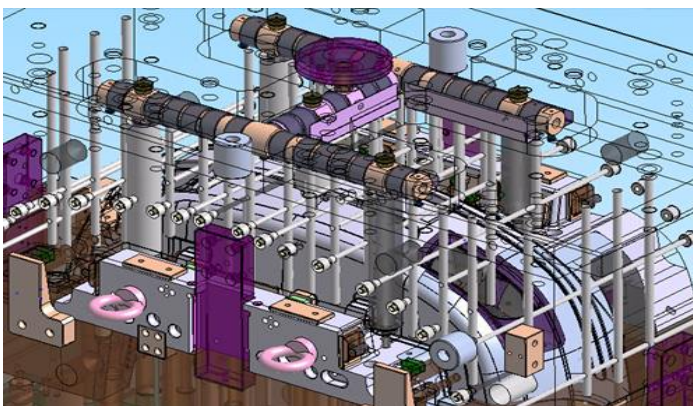
Počítačová animace je také používána ve výuce, ve vědeckých aplikacích. Pro některé výukové aplikace byly vytvořeny specializované systémy. Příkladem mohou být trenažéry pro výcvik kapitánů námořních lodí a pilotů letadel [12].



Obrázek č. 1- Ukázka prostředí pro tvorbu počítačové animace

## 1.4 CAD systémy

Využití 3D CAD v oblasti strojírenství je v současnosti standardem. Postupně nahrazují 2D modeláře a značně rozšiřují možnosti samotného návrhu. Výhodou je, že samotný 3D model je možné použít pro simulace chování dílů v sestavě, pro simulace výrobních procesů, pro posouzení tvaru, povrchu, barvy, ergonomie, designu (Obrázek č. 2).



Obrázek č. 2 - Ukázka 3D sestavy v parametrickém modeláři

### 1.4.1 Rozdělení CADů

Dle jednotlivých oblastí nasazení CADu

- Strojírenství: Autodesk Inventor, ProEngineer, Catia, SolidWorks, SolidEdge, TurboCAD, VariCAD, Unigraphics, I-DEAS, AutoCad a další.
- Stavebnictví: Architectural Desktop, Archicad, Argon, Autodesk Revit, Microstation
- Reklama, animace, design: 3DS MAX, Maya, Softimage, Rhinoceros
- Elektrotechnika: Eagle, CADDY
- Univerzální: pracují s oborovými nadstavbami

Dle způsobu modelování

- Objemové modeláře: starší verze Autodesk Inventor
- Plošné modeláře: např. Rhinoceros
- Hybridní (kombinace obou způsobů modelování)

Dle historického rozdělení

- 2D CAD, bez vizualizace, (AutoCad LT, SolidEdge Layout)
- 2D, 3D, vizualizace
- 3D <-> 2D, vizualizace, parametrické
- Velké, 3D,parametrické, vizualizace, dodávány jako moduly, CAD/CAM/CAE, PDM, tvorba velkých sestav (CATIA, ProEngineer, I-DEAS)

Dle jádra modeláře

- Jádro ACIS: Mechanical Desktop
- Jádro Parasolid: ProEngineer, SolidWorks, SolidEdge
- Vlastní jádra: Autodesk ShapeManager

[4]

### 1.4.2 Využití 3D modelů

3D modely umožňují nejen samotnou vizualizaci budoucí součásti, ale i použití geometrie pro inženýrské výpočty a simulace. Data lze využít pro metody Rapid Prototypingu (Obrázek č. 3).

Oblasti využití:

- Vizualizace, reklama
- Animace, kinematografie
- Inženýrské výpočty
- Simulace výrobních procesů
- Rapid Prototyping

[4]



Obrázek č. 3 - Plastové součásti vytvořené metodou Rapid Prototypingu



## 2 AUTODESK INVENTOR

### 2.1 Technické vybavení PC pro modelování v programu Autodesk Inventor

- PC s procesorem Pentium 4/Xeon/Athlon/Opteron 2GHz a vyšším (doporučeno P-4), 3GHz pro větší sestavy
- Windows 2000 sp4 (a novější) nebo Windows XP Professional sp2/sp1 (ne Home) nebo XP x64
- 1GB RAM pro střední nebo 2-3GB pro větší sestavy (pro výukové účely i 512MB)
- 3,5GB na disku (pro výukové účely i 850MB, v síti)
- OpenGL grafická karta s 128MB VRAM
- Ukazovací zařízení (ideální 3D-mouse)
- Exel97 nebo vyšší

Pro Autodesk Inventor se doporučuje použít certifikované pracovní stanice a grafické karty [1].

### 2.2 Historický vývoj Autodesk Inventoru

- Uvedení verze R1 – září 1999 („Mustang“)
- Uvedení verze R2 – březen 2000 (Thunderbird“)
- Verze R3 – červenec 2000 („Camaro“)
- Verze R4 – Prosinec 2000 („Corvette“)
- Verze R5 – září 2001 („Durango“)
- Verze R5.3 (součást Inventor Series 5) – únor 2002 („Prowier“)
- Verze R6 – říjen 2002 („Viper“)
- Inventor Series R7 – červen 2003 („Wrangler“)
- Inventor Series R8 – listopad 2003 („Cherokee“)
- Inventor Series R9 – červenec 2004 („Crossfire“)

- Inventor Series R10 – duben 2005 („Freestyle“)
- Inventor Series R11 – duben 2006 („Faraday“)
- Inventor 2008 – duben 2007 („Goddart“)

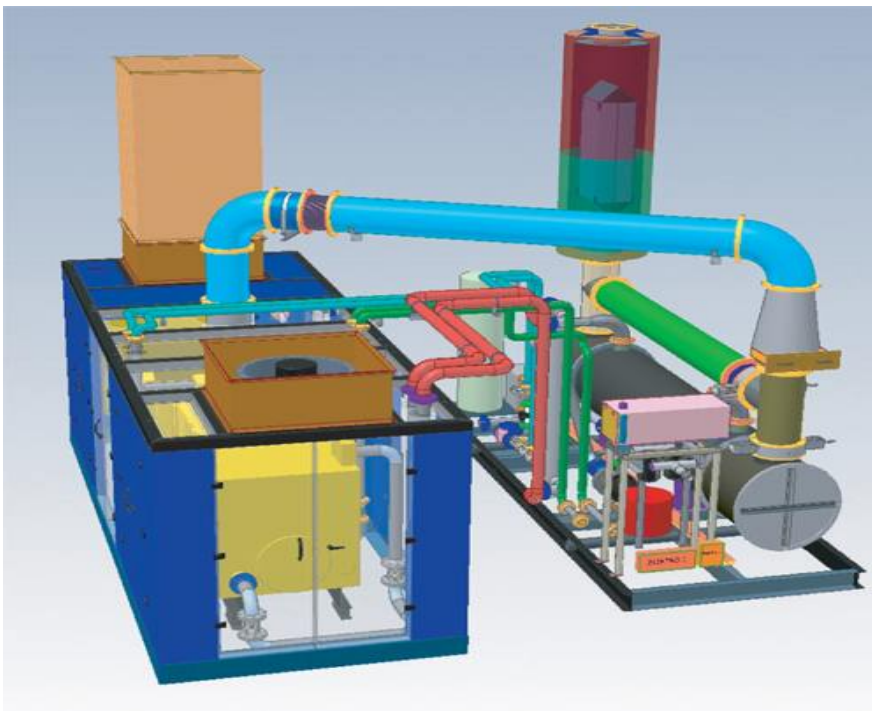
[1]

### 2.3 Programové možnosti Autodesk Inventor

Pro uživatele programu AutoCAD je ideální volba pro přechod k navrhování ve 3D Autodesk Inventor. Díky své jednoduchosti a rychlosti přechodu ke 3D je Autodesk Inventor neprodávanějším systémem pro strojírenské navrhování ve 3D.

Produktová řada Autodesk Inventor dává konstruktérům úplnou tvůrčí svobodu při využití jejich 2D dat pro navrhování ve 3D prostředí.

Autodesk Inventor poskytuje širokou škálu nástrojů, které usnadňují přechod z 2D k navrhování ve 3D. Součástí programu Autodesk Inventor je nová filozofie modelování, nazvaná funkční navrhování. V plně 3D prostředí se tak mohou uživatelé soustředit na problémy, které konstruktéři reálně řeší, nikoliv jen na tvorbu geometrie, již jsou jejich návrhy tvořené (Obrázek č. 4) [7].



Obrázek č. 4 – Návrh potrubního systému

### **3 MODELOVÁNÍ V PROGRAMU AUTODESK INVENTOR 11 PROFESSIONAL**

Jádrum vyspělých CAD systémů je parametrický modelář. Při modelování součástí může být využito načrtnutých a umístovaných konstrukčních prvků, generátorů součástí nebo databáze normálí. Zobrazení součástí na výkresu v pravoúhlém promítání lze odvodit přímo z prostorového modelu systémem pohledů a řezů.

Prostorový parametrický model součásti poskytuje řadu informací nejen o geometrických charakteristikách, ale také o vzájemných polohách a vazbách součástí v sestavách. Konstrukteur, nebo návrhář nemusí být již omezen pouhým použitím 2D pohledů vytvořených na základě ortogonálního promítání [5].

#### **3.1 Parametrické modelování**

Za parametrický model je považován takový, který je matematicky popsán pomocí parametrů. Na modelu jsou definovány charakteristiky jeho geometrických částí a vzájemné vztahy s jinými součástmi pokud je v sestavě. U takto vytvořeného modelu nejsou rozměry a další charakteristiky určeny konkrétními hodnotami, ale pomocí proměnných, výrazů a rovnic, které spolu vzájemně souvisí. Po dosazení několika základních hodnot dojde k výpočtu skutečných rozměrů součástí.

Model je vytvořen obdobnými technikami jako u klasického modelování, často pomocí náčrtů a prvků bez ohledu na prvotní rozměry všech geometrických prvků.

Náčrty konstrukčních prvků se skládají z jednotlivých objektů (oblouky, úsečky), které jsou svázány pomocí geometrických vazeb. Vazby omezují stupně volnosti při tvorbě náčrtu a definují jeho geometrii, například vzájemnou rovnoběžnost, kolmost nebo soustředěnost objektů. Rozměry náčrtů a prvků popisují a řídí rozměrové parametry (kóty) [5].

#### **3.2 Adaptivní modelování v sestavách**

Modifikované algoritmy umožňují definovat a modifikovat součásti přímo v sestavách bez nutnosti jejich přesné definice pomocí geometrických vazeb a rozměrových parametrů. V praxi to znamená především minimalizaci času, který je potřebný pro návrh funkčnosti nového výrobku již ve fázi vlastního návrhu zařízení [5].

### 3.3 Nástroje pro modelování v Autodesk Inventor 11 Professional

Nástroje pro modelování v Autodesk Inventor poskytují intuitivní možnosti pro tvorbu součástí a sestav. Jedná se o tradiční postupy optimalizované z uživatelského hlediska do tří základních skupin:

- Nástroje pro tvorbu součástí pomocí parametrických a adaptivních náčrtů
- Nástroje pro modelování pomocí konstrukčních prvků
- Nástroje pro modelování pomocí uživatelsky definovaných konstrukčních prvků

Všechny skupiny nástrojů lze libovolně při modelování kombinovat. Je pouze na uživateli aplikace jaký postup a metodiku tvorby modelu zvolí.

Velmi výkonným nástrojem jsou především uživatelsky definované konstrukční prvky. Autodesk Inventor je označuje názvem iPrvky. Jsou použitelné především při konstrukci odvozených tvarů a prvků modelovaných součástí. Lze tak například efektivně vytvořit složitou tvarovou drážku na součásti včetně možnosti modifikace jejich rozměrů a polohy. Navíc mohou být prvky uloženy do centrální databáze pro využití v jiných projektech [5].

### 3.4 Pracovní prostředí Autodesk Inventor 11 Professional

Autodesk Inventor je navržen jako aplikace poskytující vysoký komfort obsluhy jednotlivých funkcí. Na jednotlivých prvcích obsluhy a funkcích je zřetelný směr vývoje k tzv. „jednodenní produktivitě“.

Obslužné prvky Inventoru jsou navrženy tak, aby poskytovaly maximálně intuitivní ovládání všech modelovacích operací.

- Prohlížeč součástí je typickým nástrojem používaným ve většině aplikací pro modelování. Je nezbytnou pomůckou využívanou v průběhu tvorby modelu součástí a sestav. Vlastní rozložení pracovní plochy a zobrazené nástroje jsou sestaveny do skupin. [5].

#### 3.4.1 Pracovní plocha pro modelování

Obslužné prvky jsou zobrazeny již při aktivaci příslušného módu aplikace založením nového souboru. Je tak výrazně potlačena existence nepoužívaných nástrojů a tím zjednodušeno pracovní prostředí pouze na využívané nástroje [5].

### 3.4.2 Pracovní plocha pro tvorbu výkresů

Obdobně jako AutoCAD využívá pro tvorbu výkresů speciálního pohledového výkresového prostoru i v Autodesk Inventor je zvolena obdobná koncepce tvorby výkresu. Za výkres považuje soustavu pohledů a řezů, které jsou asociativně provázány s modelem a jsou z něj prakticky odvozeny pomocí předem definovaného promítání. Veškeré modifikace modelu jsou automaticky zobrazovány ve výkresu [5].

### 3.5 Vytvoření souboru

Autodesk Inventor 11 Professional má rozvrženy jednotlivé moduly do samostatných celků, řešících problematiku modelování a tvorbu výkresové dokumentace. Jedná se o tradiční podobu běžnou v moderních aplikacích pro modelování. Usnadňuje se tak obsluha, licencování produktu při rozsáhlejším množství modulů. Autodesk Inventor 11 Professional poskytuje tyto základní moduly aktivované v průběhu zakládání nového souboru:

- Modelování součástí umožňuje vytvářet součásti pomocí objemů a ploch
- Pro modelování součástí z plechu je speciálně vytvořený modul pro plechy
- Modelování sestav se využívá pro tvorbu sestav nebo adaptivních součástí
- Pro modelování svarů je určen modul pro tvorbu svařovaných sestav
- Tvorba prezentace se využívá pro animaci prezentací a montážních postupů
- Výkresová dokumentace se vytváří ze všech modelů - pohledy, řezy a výkresy

[5]

## 4 SROVNÁNÍ PROGRAMU AUTODESK INVENTOR 11 PROFESSIONAL S KONKURENČNÍMI PROGRAMY

Pro srovnání s programem Autodesk Inventor 11 Professional jsem vybral tři 3D modelovací softwary, které jsou v současné praxi nejpoužívanější.

*Název programu:* Catia V5R17

*Výrobce:* DESSAULT SYSTEMES

*Typ 3D aplikace:* Hybridní modelář – variační modelování v kombinaci s parametrizací.

*Využití v praxi:* Nejrozšířenější software v automobilovém průmyslu (Chrysler, BMW, VW, Škoda). Značné uplatnění v průmyslu leteckém (Boing), strojírenství, konstrukce forem, návrhy spotřebního zboží.

*Podporované operační systémy:* Windows, UNIX.

*Možnost české lokalizace:* Ne.

*Výhody programu:*

- Zpětná kompatibilita s nižšími verzemi
- Plná provázanost mezi výkresem a modelem
- Vynikající využití plošného modelování
- Přítomnost renderingu

*Nevýhody programu:*

- Složitější uživatelské rozhraní
- Absence české lokalizace

*Název programu:* ProEngineer WildFire 2

*Výrobce:* Parametric Technology Corporation (PTC)

*Typ 3D aplikace:* Obousměrně asociativní plně parametrický trojrozměrný CAD systém.

*Využití v praxi:* Automobilový průmysl, letectví, strojírenství, konstrukce forem atd.

*Podporované operační systémy:* Windows, Linux, SUN-Solaris.

*Možnost české lokalizace:* Ne.



***Výhody programu:***

- Více jak 90 speciálních softwarových modulů, podporující proces nového výrobku
- 100 % parametrizace a asociativa
- Rozsáhlé možnosti plošného modelování

***Nevýhody programu:***

- Problémy se zpětnou kompatibilitou s nižšími verzemi
- Složitě uživatelské rozhraní
- Absence české lokalizace

***Název programu:*** SolidWorks 2007

***Výrobce:*** DESSAULT SYSTEMES

***Typ 3D aplikace:*** Parametrický 3D modelář.

***Využití v praxi:*** Celá oblast strojírenství. Hlavní zaměření na konstrukci forem a nástrojů.

***Podporované operační systémy:*** Windows XP.

***Možnost české lokalizace:*** ANO – lokalizován přímo výrobcem.

***Výhody programu:***

- Možnost české lokalizace
- Přítomnost plošného modelování
- Integrované speciální nástroje určených pro konstrukci forem (součást každé licence)
- Přehledná a perfektně zpracovaná nápověda
- Vynikající uživatelské rozhraní
- Rozsáhlá knihovna normalizovaných součástí

***Nevýhody programu:***

- Kosmetický vzhled modelovaných součástí

**Název programu:** Autodesk Inventor 11 Professional

**Výrobce:** Autodesk

**Typ 3D aplikace:** Parametricko – variační 3D modelář.

**Využití v praxi:** Strojírenství, automobilový průmysl, spotřební výrobky.

**Podporované operační systémy:** Windows 2000 sp4 (a novější), Windows XP Professional sp2/sp1, Windows Vista.

**Možnost české lokalizace:** Ano.

**Výhody programu:**

- Přehledné ovládání programu
- Kvalitně zpracovaná nápověda
- Možnost české lokalizace
- Kosmetický vzhled modelovaných součástí
- Rozsáhlá knihovna normalizovaných součástí

**Nevýhody programu:**

- Velké nároky na operační paměť
- Omezené možnosti plošného modelování

Z důvodu rozsáhlosti této práce jsou podrobnější informace umístěny na CD.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## **5 MODELOVÁNÍ PÍSTOVÉHO KOMPRESORU V PROGRAMU AUTODESK INVENTOR 11 PROFESSIONAL**

V praktické části bakalářské práce jsem vytvořil 3D model pístového kompresoru v programu Autodesk Inventor 11 Professional. Práce se zabývá tvorbou jednotlivých komponentů kompresoru, podsestav a kompletní sestavy kompresoru, animaci sestavy jako montážního postupu, včetně vytvoření výkresové dokumentace k jednotlivým dílům, sestavě a montážního postupu.

Praktickou část jsem vypracoval systémem popisu obrázků dynamicky vytvářených při tvorbě jednotlivých komponentů.

Z důvodu rozsáhlosti této práce jsou podrobnější informace umístěny na CD.

### **5.1 Modelování součástí**

Při modelování jednotlivých dílů jsem využil základních stavebních prvků programu, především pak kreslení náčrtů, se kterými jsou úzce provázány geometrické vazby, a jsou pro parametrické modelování naprostá nutnost. Náčrty jsou využity pro tvorbu načrtnutých konstrukčních prvků. Náčrtem vždy tvorba součástí začíná. Jedná se o základní pilíř programu, který je dále doplňován umístěvanými konstrukčními prvky. Náčrt obsahuje vnořené smyčky, konstrukční osy, konstrukční body. Nutností je doplnění o geometrické vazby a kóty. Požadovaného tvaru modelu jsem docílil umístěním konstrukčních prvků, které doplňují základní tvar. Všechny vytvořené prvky lze posléze zpětně editovat, modifikovat, popřípadě změnit jejich proporce.

### **5.2 Seznam součástí pístového kompresoru vytvořených objemovým modelováním**

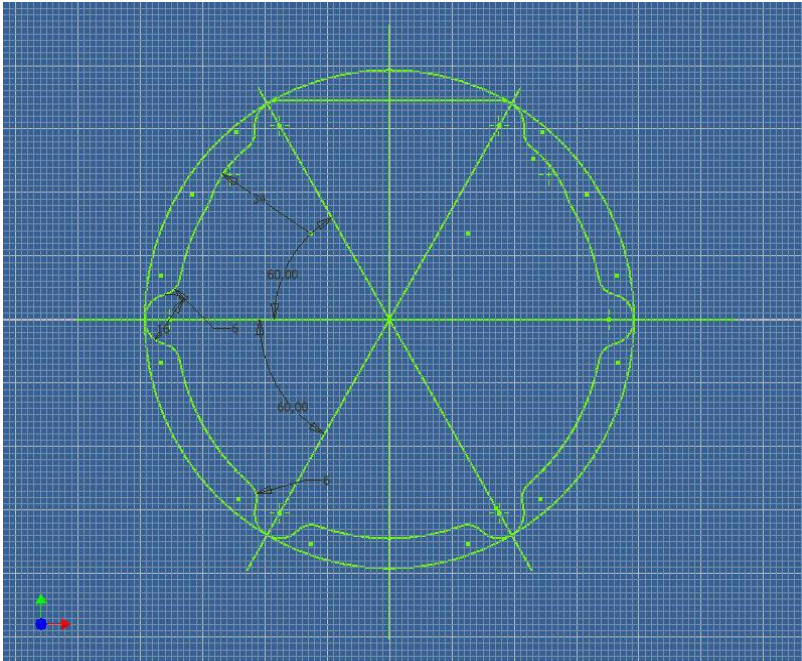
- Blok kompresoru
- Kliková hřídel
- Ojnice
- Portikus ojnice
- Píst

- Pístní kroužky
- Pouzdro ojnice
- Pístní čep
- Pracovní válec
- Těla ventilové soustavy
- Podložky ventilové soustavy
- Distanční váleček ventilové soustavy
- Šroub ventilové soustavy
- Hlava válce
- Víko bloku
- Sada těsnění
- Svorník M10 x 170

### 5.2.1 Blok kompresoru

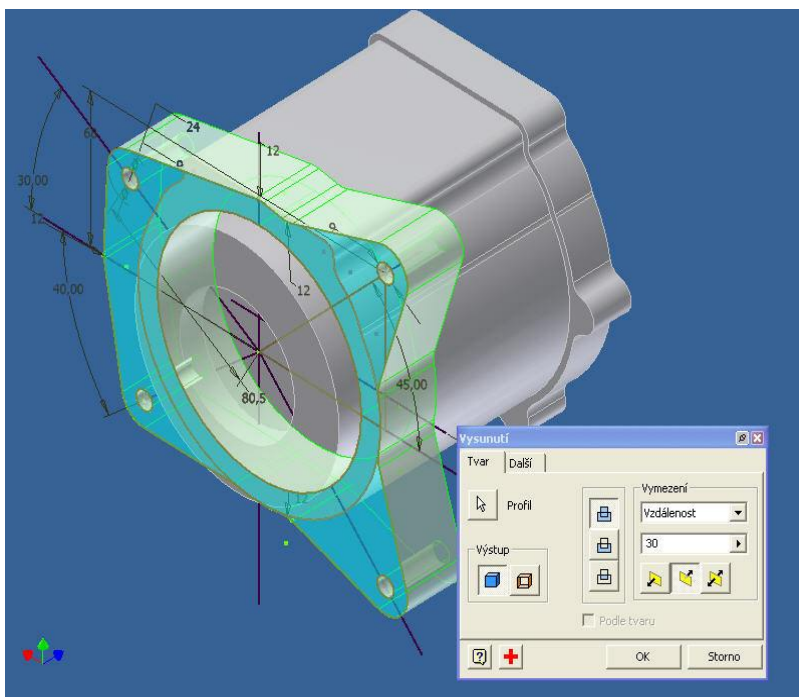
Jak jsem uvedl výše, základ každého konstrukčního prvku tvoří parametrický náčrt, pro který je Autodesk Inventor 11 Professional vybaven sadou klasických nástrojů. Při návrhu základního náčrtu bloku kompresoru jsem využil nástrojů 2D náčrtu - křivka, spline křivka, kružnice, oblouk se středovým bodem, obdelník, polygon a tečného oblouku (Obrázek č. 5). Po zakótování a vytvoření vazeb byl proveden ořez nadbytečných konstrukčních křivek tak, aby byl náčrt uzavřený. Dále bylo provedeno zrcadlení dříve vytvořené ořízlé poloviny náčrtu přes konstrukční osu.

Po dokončení náčrtu, jsem za pomoci konstrukčního prvku Vysunutí uskutečnil prvotní objem modelu.



Obrázek č. 5 - 2D parametrický náčrt

Na takto vytvořený základní 3D model jsem postupně přes pomocné pracovní roviny navázal pomocí nových pracovních náčrtů a konstrukčních prvků Vysunutí či Průniku další tvary (Obrázek č. 6).

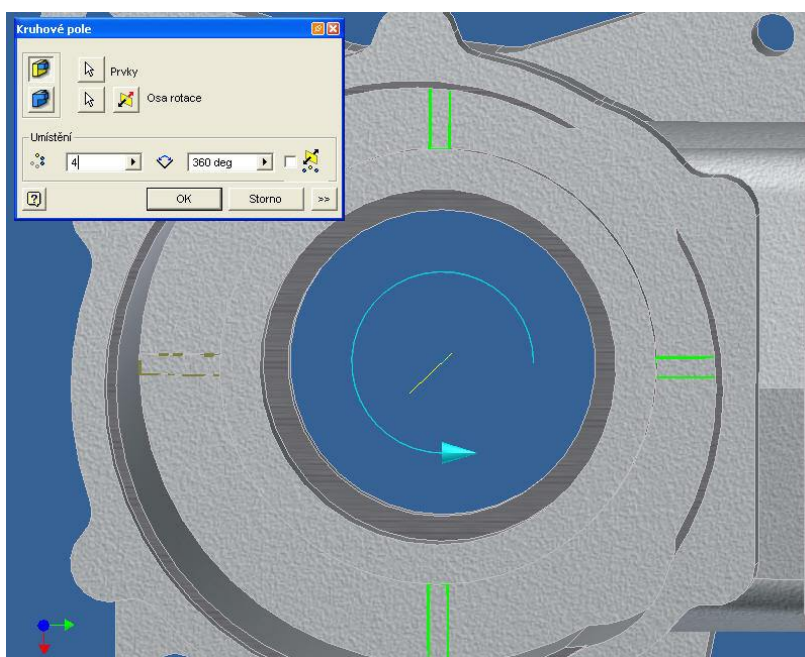


Obrázek č. 6 - Vysunutí navazujícího objemu

Po vytvoření již v podstatě tvarově odpovídajícího 3D modelu, jsem ve vnitřní části bloku vytvořil žebrování, kterým jsou napojeny dvě válcové části bloku. Nejprve jsem vytvořil



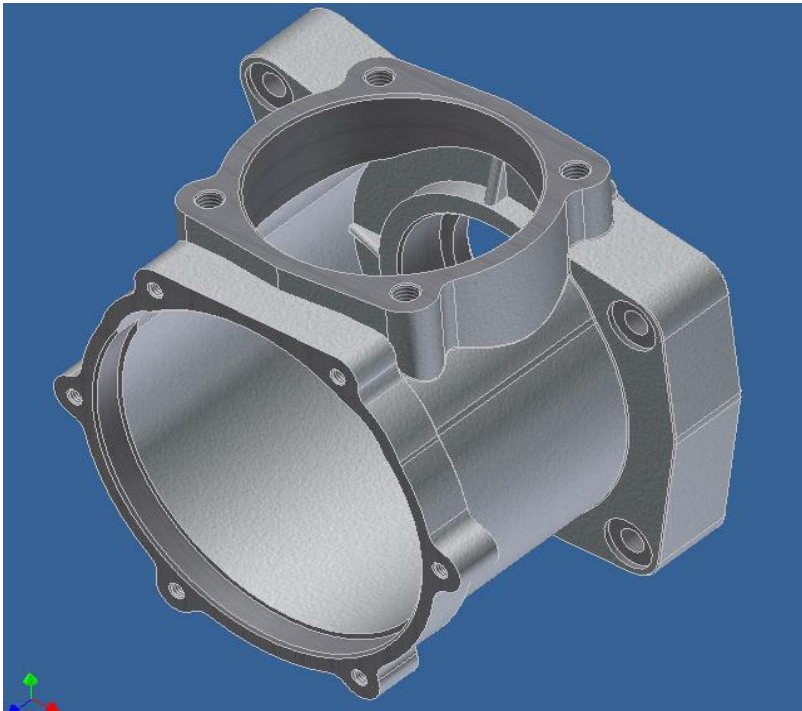
náčrt pro jedno žebro v nově vytvořené pracovní rovině, parametricky umístěné do bodů pro tvorbu tohoto prvku. Tento náčrt musí navazovat na přilehlé plochy a nebo je protínat, a oproti klasickému pracovnímu náčrtu pro vysunutí se zde pracuje s otevřenou křivkou. Po zadání rozměru pro tloušťku žebra jsem využil možnosti konstrukčního prvku Kruhové pole, a vytvořil tři další kopie tohoto prvku, které jsou rozmístěny v úhlu 360 stupňů mezi obvody stěn bloku. Jako řídicí reference pro kruhové pole jsem vybral hlavní pracovní osu bloku (Obrázek č. 7).



Obrázek č. 7 - Kopírování žebra Kruhovým polem

Na takto vytvořený objem jsem aplikoval konstrukční prvek Díra, kterým jsem vytvořil sadu čtyř otvorů o průměru 9 mm, a to funkcí Od náčrtu. Závity M6x1 pro uchycení víka na čele bloku byly vytvořeny prvkem Závít, který je součástí tohoto nástroje. Pro parametrizaci jsem využil soustředné reference kruhových hran čela bloku. Čtveřice závitů M10x1.5 na ploše bloku pro usazení pracovního válce, byly opět vytvořeny pomocí soustředných referencí. Konečnou fází v modelování této součásti bylo vytvoření odpovídajícího zkosení a zaoblení na hranách modelu. Na závěr jsem v nástroji Vlastnosti ploch prvku vybral pro celý model vzhled - litý hliník a pro obrobené plochy vlastnost - kovobrobená (Obrázek č. 8). V prostoru 3D modeláře jsem dále nastavil v nástroji Vlastnosti - fyzikální materiál pro celý objem součásti, a pro typ materiálu jsem vybral hliník 6061. Tyto fyzikální výpočty jsem využil pro zadání hmotnosti jednotlivých součástí, podsestav

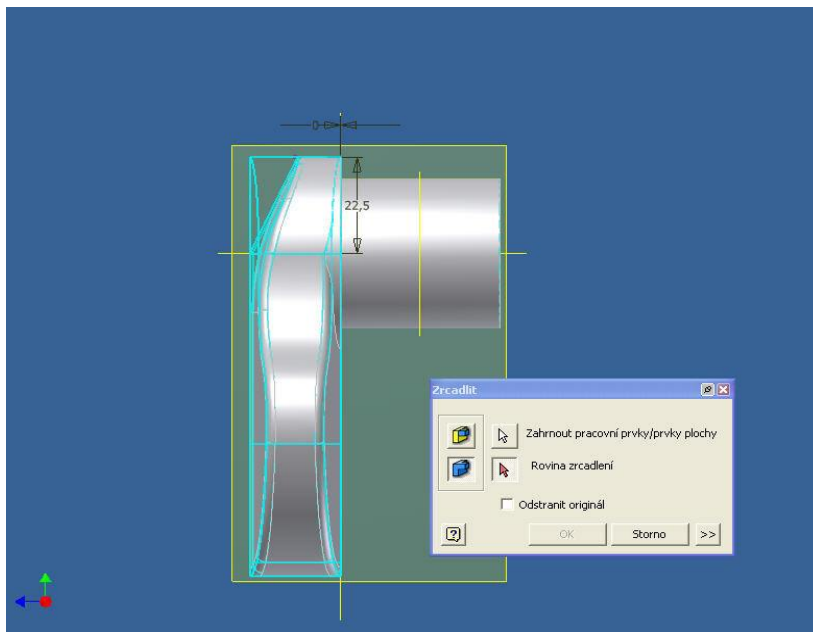
a kompletní sestavy kompresoru v rohovém razítku pro údaj hmotnosti, při tvorbě výkresové dokumentace .



Obrázek č. 8 - Finální vzhled modelu

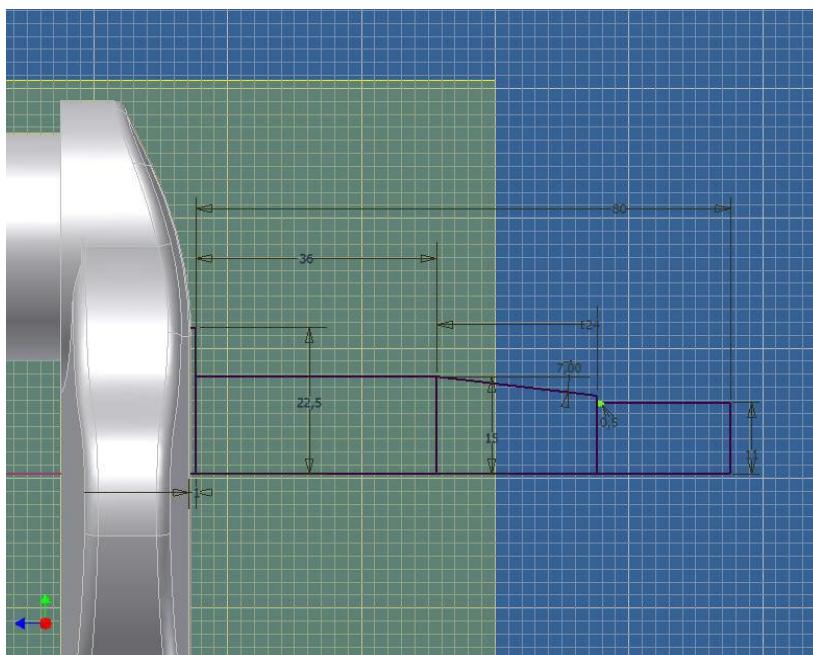
### 5.2.2 Kliková hřídel

U této součásti jsem využil kombinaci konstrukčních prvku Vysunutí a Rotace. Pro dvojici vahadel jsem nejprve nakreslil pracovní náčrt celého tvaru jednoho z vahadel. Dále jsem v tomto pracovním náčrtu provedl oříznutí a to tak, aby zbyla jen jedna polovina vahadla. Po vytvoření objemu tohoto náčrtu, byl na jednotlivé plochy použit konstrukční nástroj Nahradit plochy, přes parametricky definované pracovní roviny. Takto jsem uskutečnil potřebné zešíkmení objemu poloviny vahadla. Následně jsem provedl zrcadlení takto předem upravené poloviny vahadla přes rovinu zrcadlení. V tomto případě jsem použil jako rovinu zrcadlení střední plochu mezi stávající a zrcadlenou polovinou vahadla. Dále jsem upravil tvar vahadla do konečné podoby prvkem zaoblení a vysunul pracovní náčrt pro odsazení a ojnicí čep. Tyto části modelu jsem provázal referencemi na pracovní osu ojnicího čepu a vahadlo zrcadlil přes střední pracovní rovinu tohoto čepu (Obrázek č. 9).



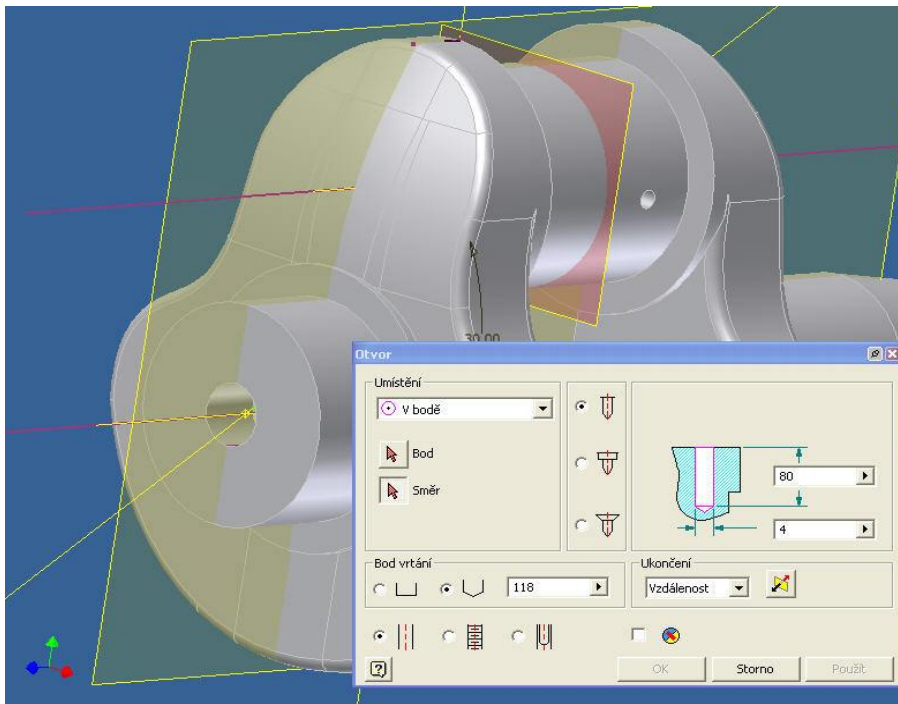
Obrázek č. 9 - Kopírování objemu vahadla zrcadlením

Dalším krokem bylo vymodelování hlavních ojničních čepů. Pro tyto prvky jsem nakreslil pracovní náčrt, jenž sestával s poloviny profilu těchto čepů (Obrázek č. 10). Po návratu do objemového modeláře jsem na takto vytvořený profil aplikoval konstrukční prvek Rotovat a tímto uskutečnil objemová rotační tělesa hlavních čepů. Jako osu pro rotaci jsem použil konstrukční osu pracovního náčrtu a úhel zvolil jako plný, a to 360 stupňů.



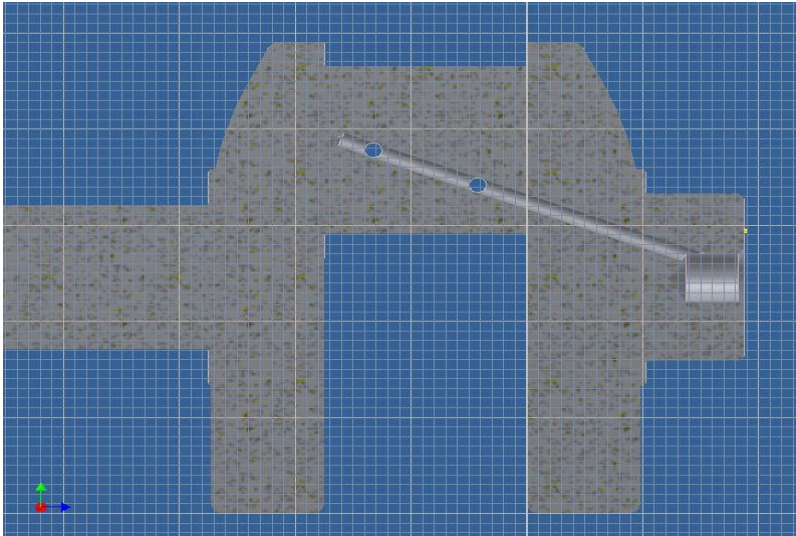
Obrázek č. 10 - Rotace profilu náčrtu

Pro odstranění objemu dvou otvorů mazání ojničního čepu, jsem vytvořil pracovní rovinu tečnou s plochou tohoto čepu a rovnoběžnou se střední rovinou procházející hlavními pracovními osy klikové hřídele. Pro tyto otvory jsem v pracovním náčrtu na této tečné rovině nakreslil profily, zakótoval a provedl vrtání otvorů od středů z náčrtu do zadané hloubky. Pro vstup mazací kapaliny bylo zapotřebí vrtání šikmé díry. Tato propojuje oba otvory v ojničním čepu a uskutečňuje mazání ojnice. Na střední pracovní rovině klikové hřídele jsem v pracovním náčrtu vytvořil pod daným úhlem přímku, která propojuje středy otvorů na ojničním čepu. Jako vstup pro vrtání jsem pak zadal na této přímce Pracovní bod. Tuto přímku jsem dále použil jako referenční osu pro konstrukční prvek Díra a provedl vrtání do definované vzdálenosti (Obrázek č. 11).



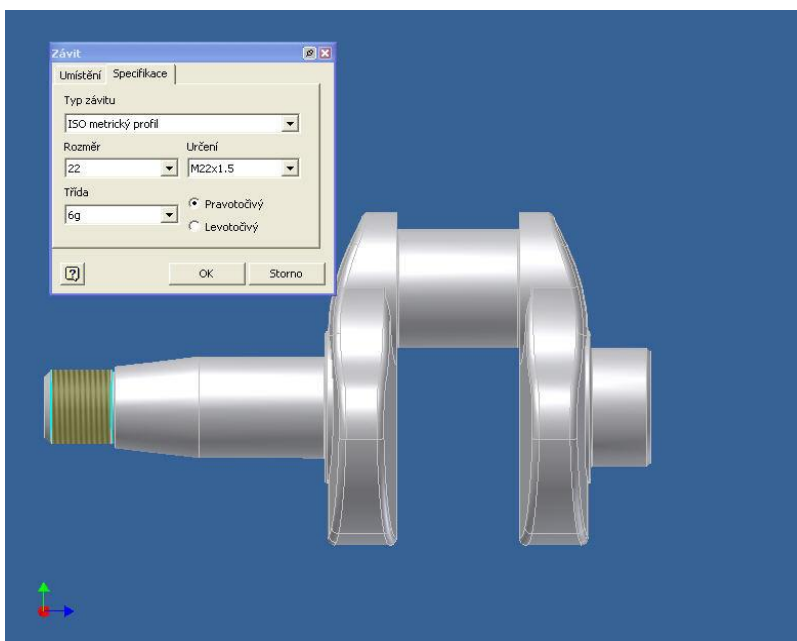
Obrázek č. 11 - Vrtání šikmé díry

Pro kontrolu funkčnosti mazání (zda na sebe tyto otvory navazují) jsem použil konstrukční prvek Vyřezání a přes střední pracovní rovinu jsem odstranil polovinu objemu tohoto tělesa. Další možností pro tuto kontrolu je přímé využití prostředí pracovního náčrtu. Zde jsem opět vybral střední pracovní rovinu pro tento náčrt a zvolil nástroj Zobrazit v řezu (Obrázek č. 12).



Obrázek č. 12 - Řez v prostředí pracovního náčrtu

Na závěr jsem provedl zaoblení a zkosení funkčních hran. Konstrukčním prvkem Závit jsem vytvořil vnější závit, který uskutečňuje upevnění řemenice za válcovou plochou hlavního čepu. U tohoto konstrukčního prvku však nedochází k opravdovému vyřezání závitů, jedná se pouze o kosmetickou úpravu. Pro závit jsem zvolil rozměr M22x1.5 s ohledem na průměr čepu. Pokud by nastala neshoda mezi průměrem hřídele a velikostí závitů, program Autodesk Inventor 11 Professional by na tuto situaci automaticky reagoval chybovým hlášením. Dále jsem zvolil tento konstrukční prvek jako pravotočivý a po vybrání plochy jsem zvolil plnou vzdálenost pro tento závit (Obrázek č. 13).



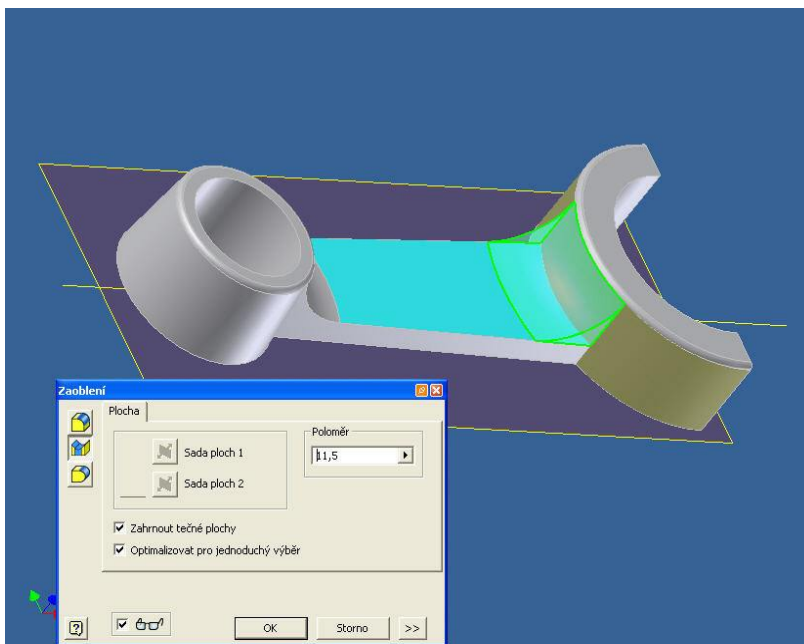
Obrázek č. 13 - Kosmetický závit



Jako konečnou úpravou byl ve Vlastnostech ploch vytvořen povrchový vzhled součásti a v nástroji Vlastnosti – fyzikální vybrán materiál pro celý objem součásti - kujná ocel.

### 5.2.3 Ojnice

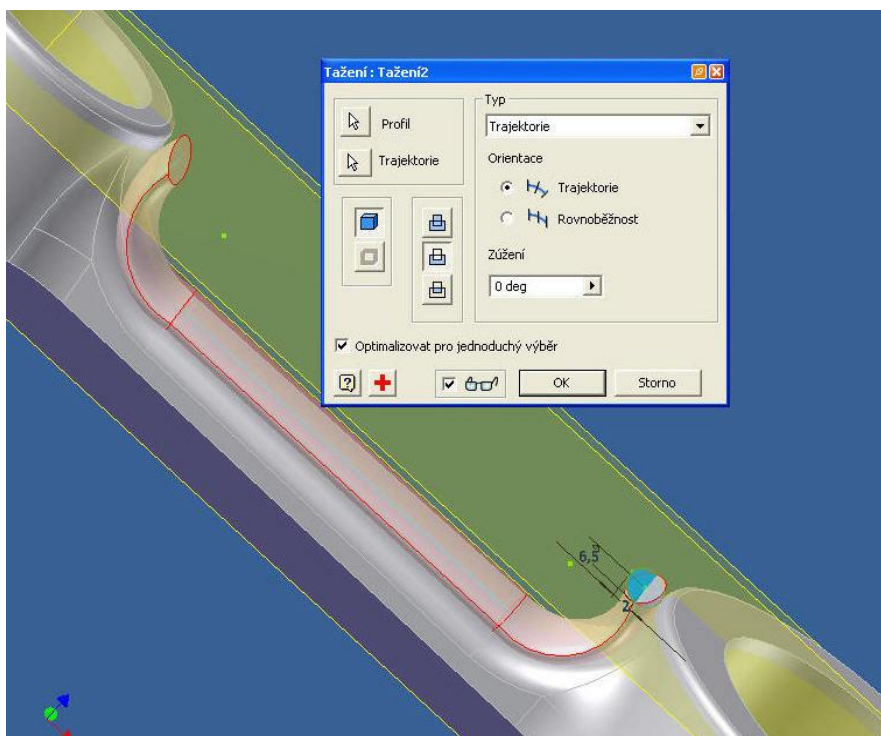
Základem této součásti bylo vytvoření pracovního náčrtu ve kterém jsem využil čtyř kružnic pro vysunutí objemu do tvarů ok. Tyto oka slouží k usazení pouzdra pístního a ojnicního čepu. Na tyto tvary jsem navázal dalším náčrtem, který vycházel ze stejné pracovní roviny. Nákresem dvou přímek a dvou ekvidistantik byla vytvořena uzavřená křivka, která v objemu tvoří propojení obou válcových těles. Pro zešíkmení oka ojnicního čepu jsem využil konstrukčního prvku Zešíkmení plochy. Jako řídicí referenci jsem vybral základní pracovní rovinu, pro plochu žádaného zešíkmení vnější válcovou plochu oka a zvolil úhel pro zešíkmení na hodnotu 6 stupňů. Hladké napojení dvou válcových ploch s propojovací rovinou plochou jsem vyřešil konstrukčním prvkem Zaoblení. Využil jsem možnost volby řídicích referencí pomocí dvou ploch a zvolil poloměr R11.5 (Obrázek č. 14).



Obrázek č. 14 - Zaoblení R 11.5

Pro rádiusové vybrání v rovinném objemu, který propojuje obě válcové plochy ok, jsem vytvořil střední pracovní rovinu této součásti. Řídicích referencí pro tuto pracovní rovinu jsem využil pracovních os válcových těles, a pro normálovou referenci jsem vybral stávající pracovní rovinu základního náčrtu a zajistil tak kolmost obou pracovních rovin. Na takto vytvořenou středovou pracovní rovinu jsem v prostředí 2D náčrtu vynesl spline křivku,

kteřou jsem po zakótování využil jako trajektorii pro konstrukční prvek Tažení a pro tvorbu vybrání volbu - Průnik. Pro tento konstrukční prvek jsem navázal další pracovní rovinu rovnoběžnou se základní pracovní rovinou celé součásti v zadané vzdálenosti od základní pracovní roviny. Na tuto jsem nakreslil nový pracovní náčrt, použil elipsy jako profil tvaru pro tažení podél trajektorie. Pro střed elipsy byl použit koncový bod trajektorie (Obrázek č. 15).



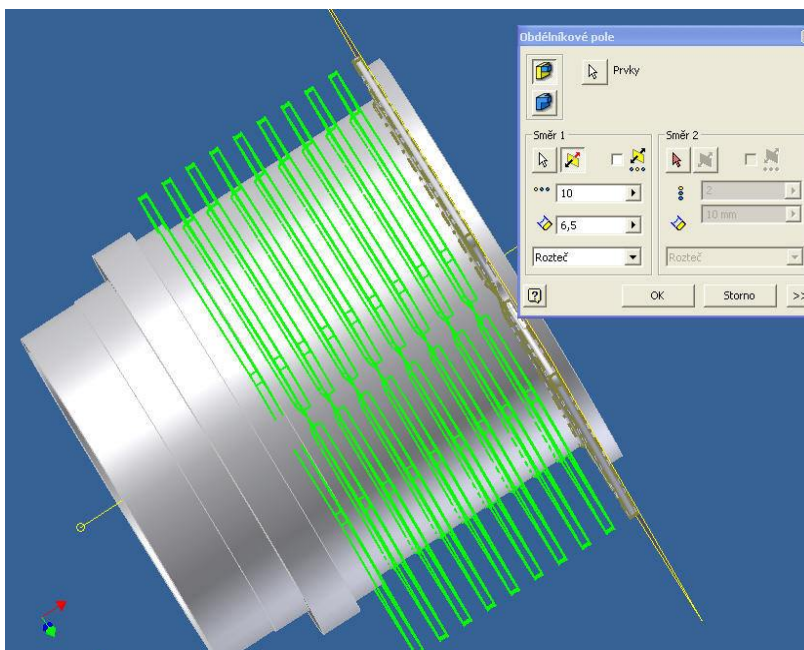
Obrázek č. 15 - Odebrání objemu tažením

Na tuto vymodelovanou polovinu tvaru ojnice jsem aplikoval konstrukční prvek Zrcadlit a zvolil výběr celého tělesa. Pro rovinu zrcadlení jsem vybral základní pracovní rovinu a dokončil tak požadovaný tvar ojnice. Ve finálních úpravách této součásti jsem zkosil a zaoblil hrany, nadefinoval provázání se součástí protikus ojnice konstrukčním prvkem iVazby na osách otvorů pro šrouby, vytvořil otvor pro mazání pístního čepu a otvory se zahloubením pro šrouby M8, kterými je k ojnici připojen portikus ojnice.

#### 5.2.4 Pracovní válec

Vytvořením pracovního náčrtu, vysunutím a odstraněním objemů jsem vymodeloval základní tvar pracovního válce. Další postup jsem zaměřil na tvorbu žebrování vnější válcové plochy této součásti. Zhotovil pracovní náčrt, ve kterém jsem navrhl tvary dvou žeber, provedl zakótování a následně vysunul do objemu. Tuto dvojici prvků jsem zaoblil přes

volbu tří ploch. V další fázi modelování jsem využil konstrukčního prvku Kruhové pole pro tuto dvojici žeber včetně jejich zaoblení, a jako řídicí referenci vybral hlavní pracovní osu součásti a úhel pro kruhové kopírování v hodnotě 360 stupňů. Na takto vymodelovaný a zaoblený tvar žeber jsem použil konstrukční prvek Obdélníkové pole. Jako řídicí referenci jsem vybral hlavní pracovní osu válce, zvolil směr budoucích kopií žeber, zadal počet nových prvků a rozteč mezi žebrováním (Obrázek č. 16). Finální úpravou této součásti bylo vybrání pro těsnění, zkosení a zaoblení funkčních hran. Posledním krokem byla povrchová úprava součásti nástrojem Vlastností ploch. Pro funkční plochy jsem zvolil kovobrobeno a kov-broušeno. V nástroji Vlastnosti - fyzikální jsem vybral pro materiál celého objemu součásti litou ocel.



Obrázek č. 16 - Obdélníkové pole

Pro tvorbu dalších součástí – pístu, pístních kroužků, pouzdra ojnice a pístního čepu jsem využil již předešlých metod modelování. Pro pouzdro ojnice a pístní čep jsem opět využil možnost adaptivního modelování.



### 5.2.5 Ventilová soustava

Tato soustava se skládá ze dvou součástí, distančního válečku a plechových podložek. Podložky slouží k ovládní sání a výfuku vzduchu. Hlavní součásti jsem vytvořil objemovým modelováním, při užití již předešlých metod konstrukčních náčrtů a konstrukčních prvků.

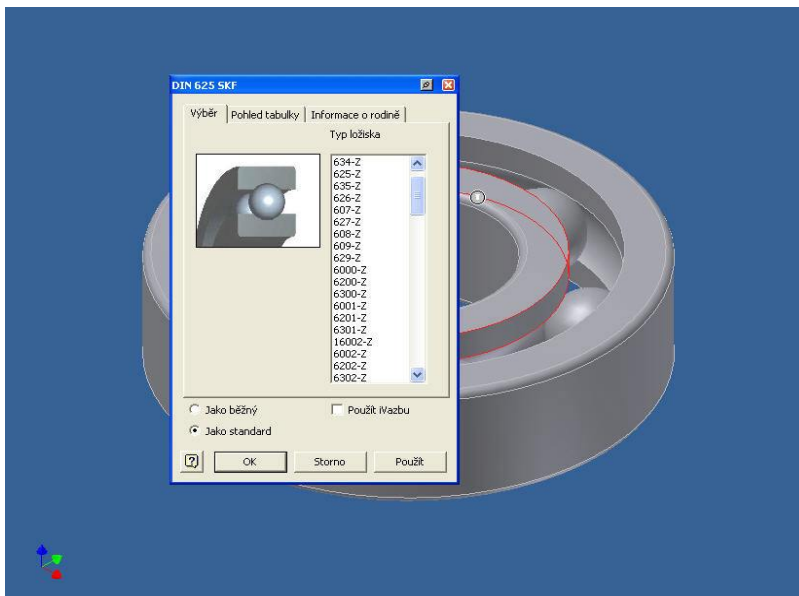
Podložky byly navrhnuty v prostředí pro modelování součástí z plechu. V tomto prostředí jsem zadal v konstrukčním prvku Styly plechu materiál pro podložky, rozvin plechu a tloušťku na 1mm. V pracovním náčrtu jsem dále vytvořil profily těchto součástí a po přechodu do objemového modeláře byly tyto podložky automaticky vysunuty do zadané tloušťky 1 mm.

### 5.3 Seznam součástí kompresoru vložených z obsahového centra normalizovaných prvků

- Ložisko SKF 6306
- Ložisko SKF 6307
- Matice šestihránná M10
- Korunová matice se zářezem M6
- Šroub s válcovou hlavou M8 x 30
- Šroub se šestihránnou hlavou M6 x 25
- Pojistný kroužek 18 x 1
- Závlačka
- Podložka pružná M10
- Podložka pružná M8
- Podložka pružná M6

### 5.3.1 Výběr normalizovaných součástí z obsahového centra Autodesk Inventor 11 Professional

Součástí programu Autodesk Inventor 11 Professional je možnost použití normalizovaných součástí bez nutnosti jejich konstrukce. Pro sestavu kompresoru jsem pro uvedené součásti z kapitoly 5.3 využil knihovnu obsahového centra. Popis vložení prvku popíši na ložisku SKF 6306. Po otevření nabídky knihovny obsahového centra jsem nejprve vybral filtr DIN pro normu součástí. Další byl výběr složky Součásti hřídele, ve které jsem vybral složku Kuličková ložiska. Z této normalizované řady jsem vybral požadovaný typ ložiska SKF 6307 bez využití možnosti použít iVazbu (Obrázek č. 17).



Obrázek č. 17 - Výběr typu ložiska

V této řadě typu ložiska jsem využil nástroje Pohled do tabulky pro kontrolu odpovídajících rozměrů normalizované součásti ložiska SKF 6307. Všechny takto vyhledané výše zmíněné normalizované součásti za použití knihovny obsahového centra jsem uložil jako samostatné součásti, a to z důvodu pomalého načítání obsahu této knihovny.

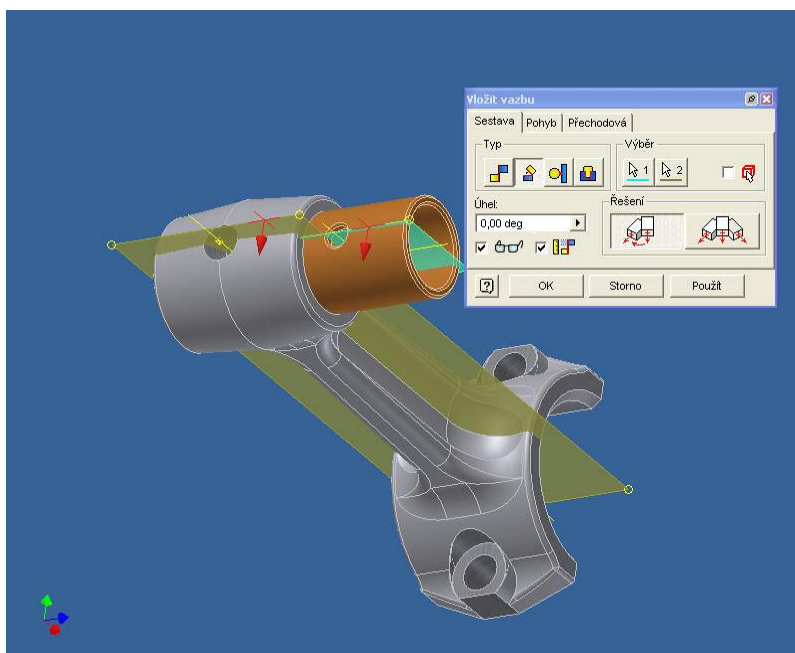
## 5.4 Tvorba podsestav kompresoru

- Píst - ojnice
- Ventilová soustava
- Víko bloku
- Hlava válce

Ke kompletaci jednotlivých součástí do podsestav jsem využil prostředí pro tvorbu sestav za použití vazebního systému. Pro podsestavy jsem vybral takové součásti, které je možno v reálném montážním procesu seskupovat bez nutnosti přístupu k dalším součástem.

#### 5.4.1 Podsestava Píst – ojnice

V prostředí pro tvorbu sestav jsem nástrojem Umístit komponent načelil součást ojnice, kterou jsem umístil v rámci souřadného systému prostředí sestavy jako výchozí. Jako další komponent jsem načelil součást - Pouzdro ojnice. Pro umístění této součásti do oka ojnice jsem použil vazeb. Nejprve jsem na oku součásti ojnice a součásti pouzdra vytvořil pracovní osy, které jsem svázal vazbou Proti sobě a zvolil nulové odsazení pro tyto osy. Dalším krokem bylo řešení protilehlých otvorů těchto součástí, které uskutečňují mazání pístního čepu. Přes pracovní osy otvorů jsem vytvořil pracovní roviny, které jsem svázal vazbou Úhel na hodnotu 0 stupňů, čímž jsem docílil protilehlost mazacích otvorů (Obrázek č. 18).

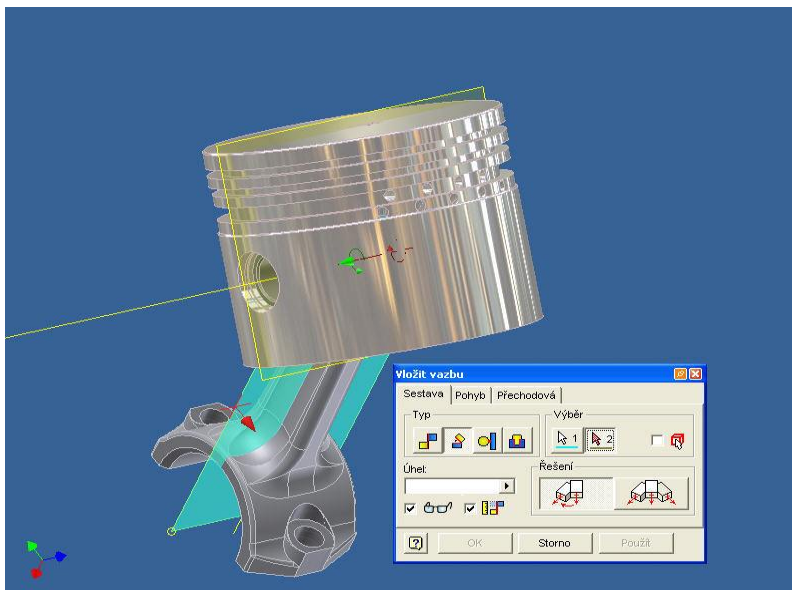


Obrázek č. 18 - Vazba Úhel

Pro úplné zapolohování těchto dvou součástí jsem zvolil vazbu Proti sobě a pro vazební reference vybral čelní plochy obou součástí a jako hodnotu pro odsazení zvolil 0.5 mm. Tímto jsem zajistil, že pouzdro ojnice bude v oku ojnice umístěno na střed. Další součástí kterou jsem načelil do této podsestavy byl pístní čep. Využil jsem již existující pracovní osu oka ojnice, vytvořil pracovní osu pístního čepu a pro ustavení pístního čepu do pouz-

ra ojnice aplikoval vazbu Proti sobě. Pro vazební reference jsem vybral obě tyto pracovní osy. Této vazby, jsem využil i pro odsazení čelních ploch ojnice a pístního čepu. Po tomto zapolohování jsem využil možnost nástroje Stupně volnosti, jako kontrolu nad definovanými vazbami. Tímto nástrojem, který je zobrazen jako ikona šipek souřadného systému na dané součásti jsem získal informaci, že pohyb pístního čepu je omezen pouze na osu rotace. Z důvodu, že tato součást je rotační a bez dalších tvarů jsem neshledal potřebu přidávat další vazby.

Pro ustavení součásti pístu do již rozpracované podsestavy, obsahující součásti ojnice, pouzdra ojnice a pístního čepu, jsem využil pracovních os pro vytvoření vazby Proti sobě. Zde jsem nastavil hodnotu odsazení na 0 mm. Této vazby jsem využil i pro zarovnání plochy čela pístního čepu a čelní plochy drážky v pístu, která je určena pro pojistný kroužek, a to na hodnotu 0 mm odsazení těchto dvou ploch. Pro získání kolmosti součásti pístu na součást ojnice, jsem přes hlavní pracovní osu pístu vytvořil pracovní rovinu, a tuto svázal s již existující pracovní rovinou ojnice za použití vazby Úhel, s nastavením hodnoty na 0 stupňů (Obrázek č. 19).



Obrázek č. 19 - Využití pracovních rovin pro vazbu Úhel

Součásti pojistných a pístních kroužků byly ustaveny v této podsestavě stejným způsobem jako výše jmenované postupy. U pojistných kroužků jsem navíc vyřešil natočení otvorů pro čelisti zajišťovacích kleští. V těchto otvorech jsem vytvořil pracovní osy, přes které jsem vytvořil pracovní rovinu. Tuto rovinu jsem dále využil pro vazbu Úhel a svázal ji s čelní plochou pístu. Pro nastavení úhlu jsem zvolil 0 stupňů, čímž jsem zajistil rovnoběž-

nost těchto rovin. Z hlediska podsestavy se nejedná o funkční nutnost, ale pouze o kosmetickou úpravu. Pro zjištění, zda objem některé ze součástí nezasahuje do objemu některé z dalších součástí, jsem provedl kontrolu nástrojem Kontrola kolizí. Pro výpočet kontroly jsem vybral všechny součásti této podsestavy a zjistil, že všechny definované vazby jsou v pořádku.

## 5.5 Tvorba sestavy kompresoru

Obsah součástí sestavy:

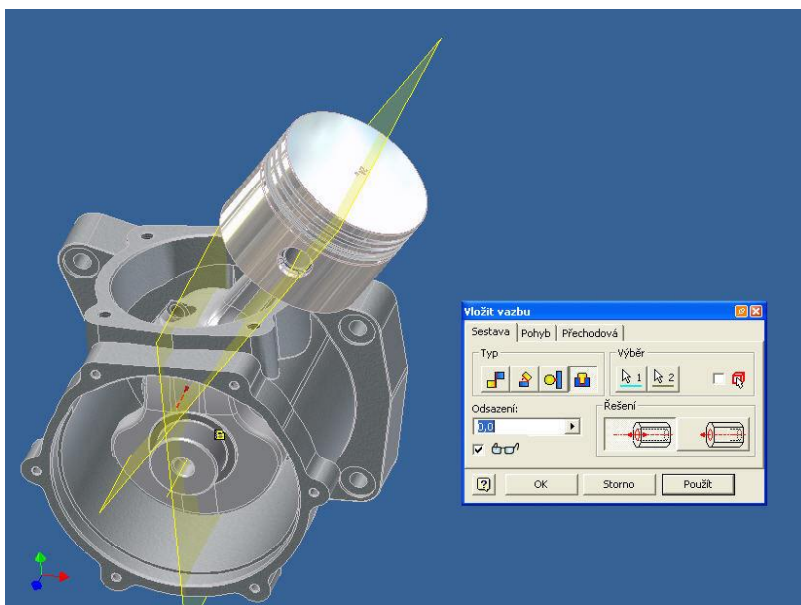
- Blok kompresoru
- Ložisko SKF 6306
- Kliková hřídel
- Protikus ojnice
- Pracovní válec
- Těsnění pod pracovním válcem
- Měděné těsnění pod ventilovou soustavou
- Matice šestihranná M10
- Šroub s válcovou hlavou M8x30
- Šroub se šestihrannou hlavou M6x25
- Svorník M10x170
- Podložka pružná M6
- Podložka pružná M8
- Podložka pružná M10
- Podsestava Píst – ojnice
- Podsestava víka bloku
- Podsestava ventilové soustavy
- Podsestava hlavy válce

Pro kompletaci celé sestavy kompresoru jsem využil prostředí pro tvorbu sestav. Zde jsem postupně umisťoval jednotlivé součásti a již předem vytvořené podsestavy nástrojem Umístit komponent.

### 5.5.1 Základní součást sestavy

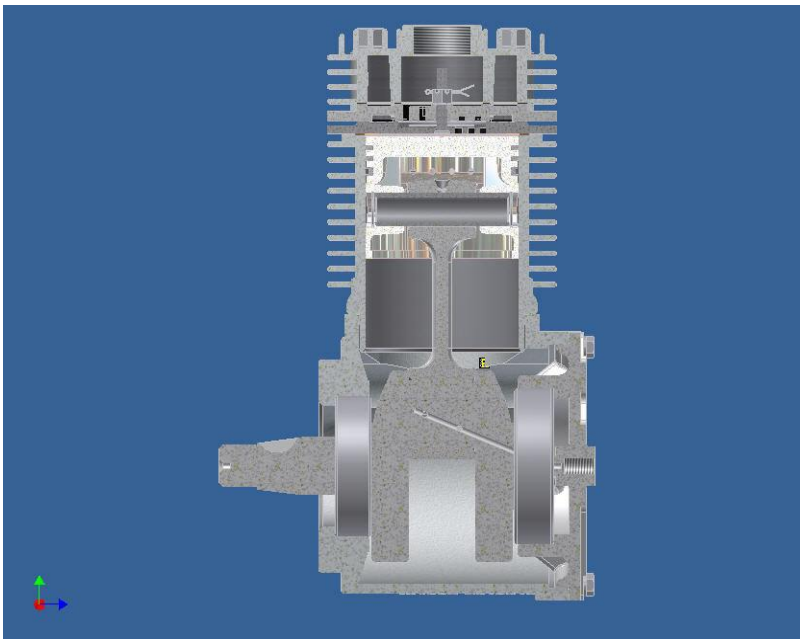
Jako základní součást sestavy, jsem načel do prostředí pro tvorbu sestavy nástrojem Umístit komponent Blok kompresoru, který jsem umístil v rámci souřadného systému jako výchozí. Na tuto součást jsem postupně vázal další komponenty, a to stejnými vazebnými principy za pomoci pracovních os a pracovních rovin, které jsem využil v tvorbě podsestav, uvedené výše v podstavě Píst – ojnice. Nejprve jsem přidal ložisko SKF 6306, které jsem vazbami umístil do vybrání určené pro tuto součást.

Dalším vloženým komponentem byla Kliková hřídel, kterou jsem umístil do součásti bloku kompresoru vazbami za použití pracovních os bloku a klikové hřídele. Do této rozpracované sestavy jsem umístil podsestavu Píst – ojnice. Pro zajištění kolmosti této podsestavy k ojnicnímu čepu klikové hřídele jsem aplikoval vazbu Úhel. Pro tuto vazbu jsem využil pracovních rovin podsestavy Píst – ojnice a součásti klikové hřídele. Tuto podsestavu jsem dále svázel vazbou Vložit. Pro řídicí reference této vazby jsem vybral válcovou plochu ojnicního čepu a válcovou plochu oka součásti klikového hřídele (Obrázek č. 20). Vazbou Proti sobě jsem provázal pracovní osu oka součásti ojnice podsestavy Píst – ojnice s pracovní osou ojnicního čepu klikové hřídele.



Obrázek č. 20 - Aplikace vazby Vložit

Za pomoci stejných pracovních postupů s využití nástrojů Umístit komponent a Vložit vazbu, jsem do této sestavy postupně přidával další součásti a předem vytvořené podsestavy. V této kompletní sestavě kompresoru jsem nástrojem Poloviční řez odstranil polovinu objemu celého tělesa. Pro tento nástroj jsem využil hlavní dělicí pracovní rovinu. Tento řez jsem využil pouze pro optickou kontrolu nad sestavou, abych získal přehled o tom, zda některý z objemů součásti nekoliduje s objemy druhých prvků (Obrázek č. 21). Samozřejmě byla kontrola nástrojem Kontrola kolizí pro všechny součásti v sestavě.



Obrázek č. 21 - Poloviční řez

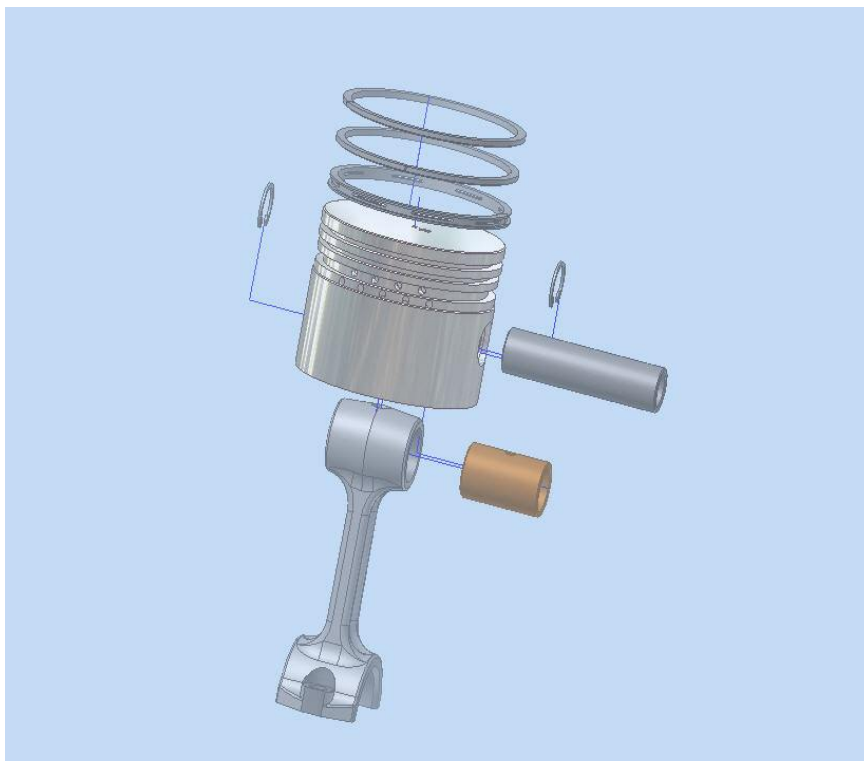
## 5.6 Tvorba prezentace montážního postupu

- Prezentace montážního postupu podsestavy Píst – ojnice
- Prezentace montážního postupu podsestavy ventilové soustavy
- Prezentace montážního postupu kompletní sestavy kompresoru

Animaci montážních postupů jsem vytvářel v prostředí pro tvorbu prezentací. V tomto prostředí je umožněno nejen animace montážních postupů vytvářet, ale také ukládat do nadefinovaných formátů pro zpracování videosekvence.

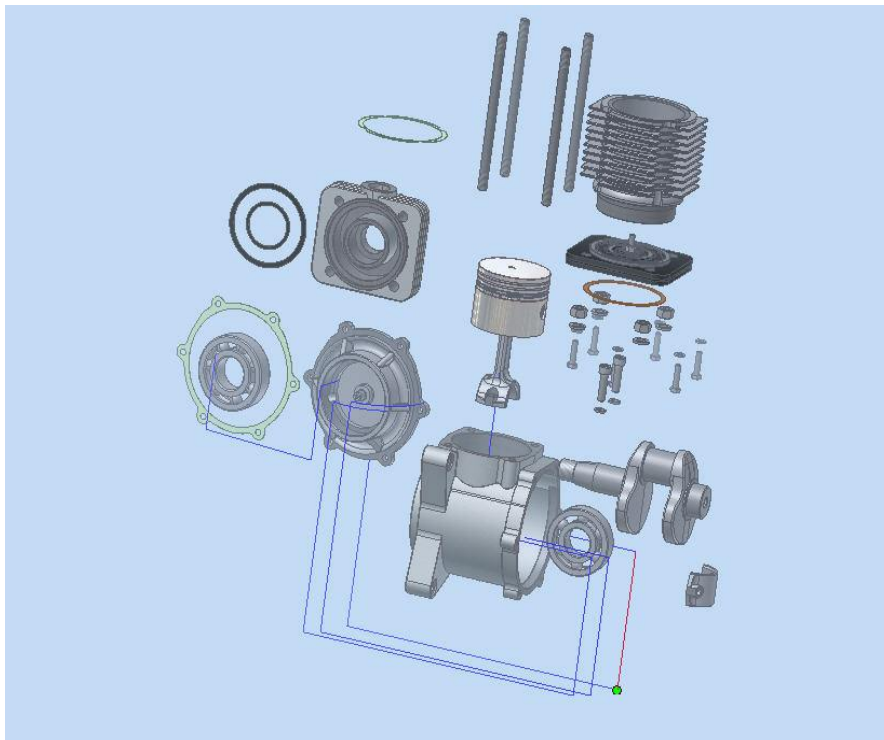
### 5.6.1 Prezentace montážního postupu podsestavy Píst – ojnice, podsestavy ventilové soustavy a kompletní sestavy kompresoru

Pro umístění podsestavy Píst - ojnice jsem použil nástroje Vytvořit pohled a v tomto nástroji, který nabízí dvě možnosti pro rozpad sestavy na jednotlivé komponenty zvolil Manuální rozpad. Druhou možnost, jež tento nástroj nabízí - Automatický rozpad sestavy jsem nezvolil z důvodu nemožnosti vlastní kontroly nad definováním trajektorií pohybu jednotlivých komponentů podsestavy. Trajektorie, po kterých se jednotlivé součásti pohybují jsem vytvořil nástrojem Pohyb komponentů. Vybral jsem příslušnou součást, zvolil jsem směr souřadného systému, zvolil počátek trajektorie a definoval vzdálenosti v jednotlivých osách. Tímto způsobem jsem vytvořil všechny trajektorie určeny pro pohyb komponentů podsestavy Píst – ojnice (Obrázek č. 22), podsestavy ventilové soustavy a kompletní sestavy kompresoru (Obrázek č. 23).



Obrázek č. 22 - Trajektorie rozpadu podsestavy Píst - ojnice





Obrázek č. 23 - Trajektorie rozpadu sestavy kompresoru

Ve finální části prezentací montážních postupů jsem pro výše jmenované podsestavy a kompletní sestavu kompresoru vytvořil videosekvence nástrojem Animace. Nastavil jsem kodek pro zpracování videa, cílový adresář pro ukládání souboru a interval rychlosti pohybu jednotlivých komponentů po nadefinovaných trajektoriích.

## 5.7 Tvorba výkresové dokumentace nenormalizovaných součástí

- Blok kompresoru
- Distanční váleček ventilové soustavy
- Hlava válce
- Kliková hřídel
- Ojnice
- Portikus ojnice
- Píst
- Pracovní válec
- Víko bloku kompresoru

- Pístní čep
- Pouzdro ojnice
- Podložky ventilové soustavy
- Tělo ventilové soustavy spodní část
- Tělo ventilové soustavy vrchní část
- Těsnění hlavy průměr 51 mm
- Těsnění hlavy průměr 90 mm
- Těsnění pod pracovním válcem
- Těsnění pod ventilovou soustavou
- Těsnění pod víkem bloku kompresoru
- Šroub ventilové soustavy
- Svorník M10 x 170

Výkresová dokumentace hraje v oblasti konstrukce s využitím 3D modelovacího programu nezastupitelnou roli. Tvorbou výkresové dokumentace v podstatě končí celý konstrukční proces, a tyto výkresy jsou pak dále využity pro výrobu jednotlivých součástí.

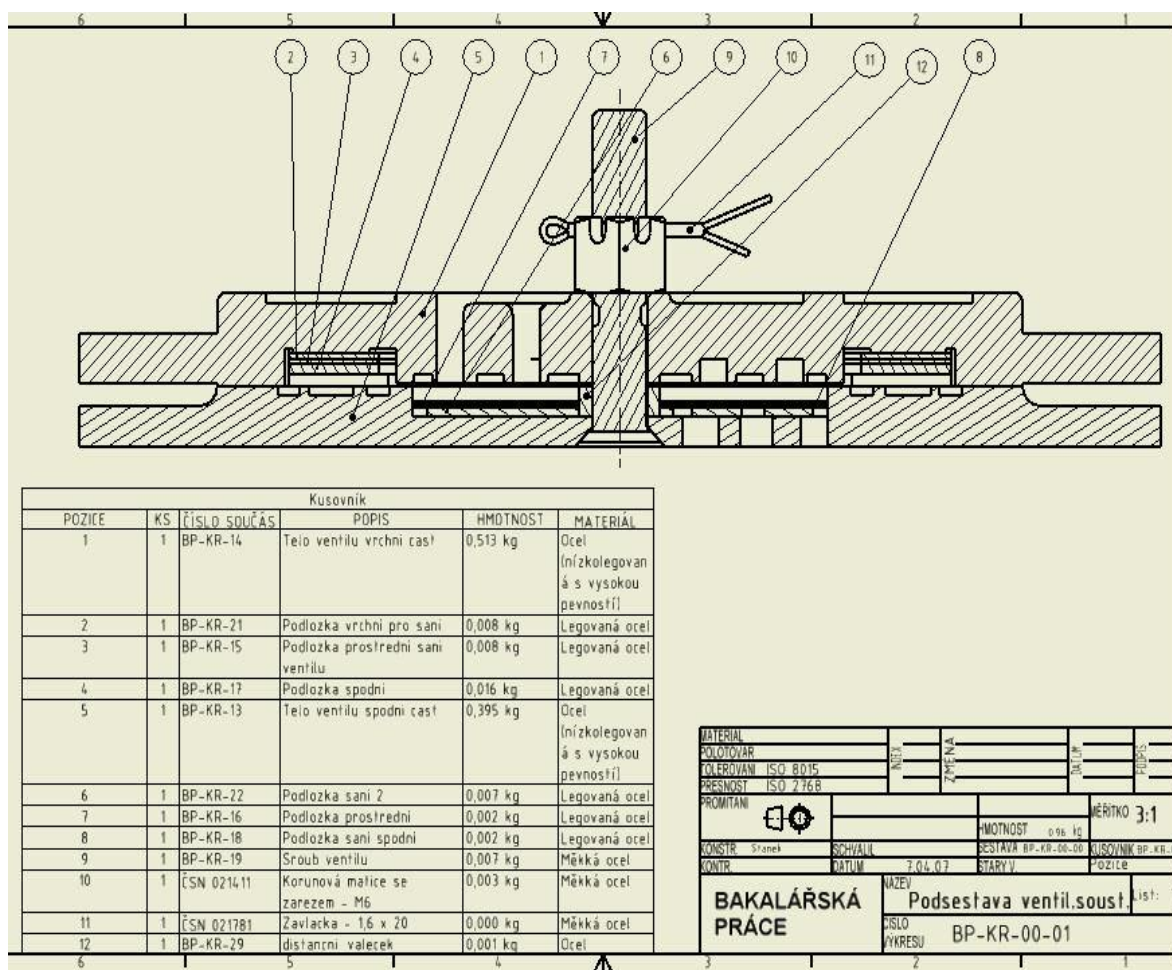
### 5.7.1 Tvorba výkresové dokumentace součástí

Pro výkresová dokumentaci všech součástí jsem využil pracovních nástrojů v prostředí tvorby výkresové dokumentace. Nástrojem Základní pohled jsem vkládal do výkresů, pro které jsem nejprve zvolil formáty listu základní pohledy jednotlivých součástí. Pro tyto pohledy jsem nastavoval jak měřítko, orientaci, tak i možnost zobrazení tohoto pohledu. Pro základní pohledy jsem volil vždy možnost volby Zobrazit skryté hrany.

Pro pravoúhlé promítání tohoto základního pohledu jsem použil nástroj Promítnutý pohled. Pro základní a tyto nové pohledy jsem použil nabídky nástrojů Automatické osy a Dělicí osy. Pro složitější tvarové součásti je nutností použití řezů a detailů. Pro tyto jsem využil nástroje Řez a Detail. Pro vybrané pasáže, které by jinak nebylo možno zakótovat vytvořil křivky, jako reference pro tyto řezy a detaily. Samozřejmostí je použití více výkresových listů pro jedinou součást.



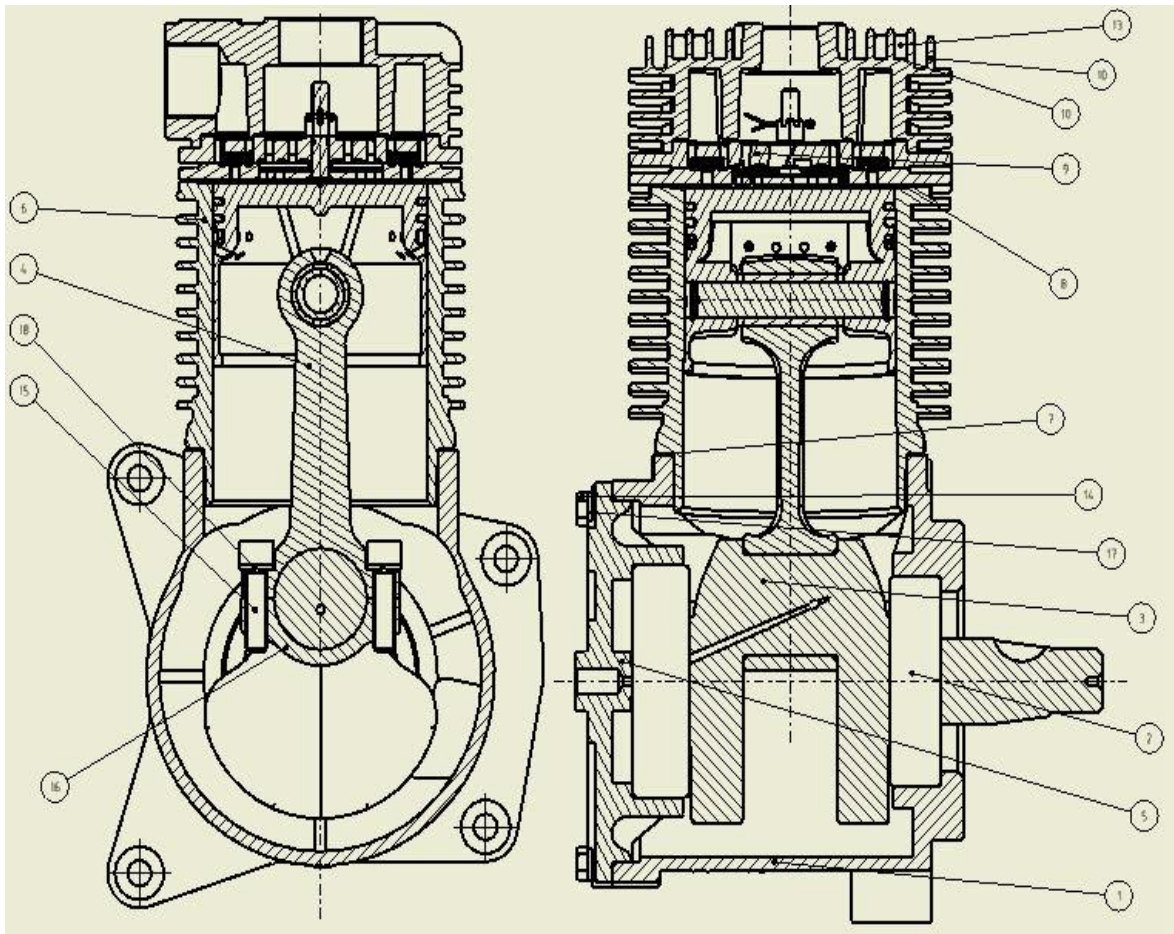
nastavení potřebných atributů v tomto nástroji byly provedeno zapozicování jednotlivých součástí této podsestavy. Na závěr jsem v aktuálním listu nástrojem Kusovník vytvořil seznam pozic součástí této podsestavy. Patříčné údaje v tabulce kusovníku byly automaticky přiděleny na základě vytvoření popisů z nástroje Vlastnosti, které jsem nastavil pro každou součást v prostoru pro modelování a v nástroji Rozpiska v prostředí pro sestavy (Obrázek č. 25).



Obrázek č. 25 - Vytvoření pozic a kusovníku vložených součástí

### 5.8.2 Výkresová dokumentace sestavy kompresoru

Při tvorbě této výkresové dokumentace jsem postupoval stejným způsobem jako u dokumentace podsestav (Obrázek č. 26). Po provedení řezů jsem pro jednotlivé součásti, normalizované prvky a podsestavy vytvořil pozice, které jsem následně zahrnul do kusovníku. Pro tyto kusovníky je zde vytvořena možnost přímého exportu do tabulek programu Excel, s možností dalších úprav právě v tomto tabulkovém editoru.



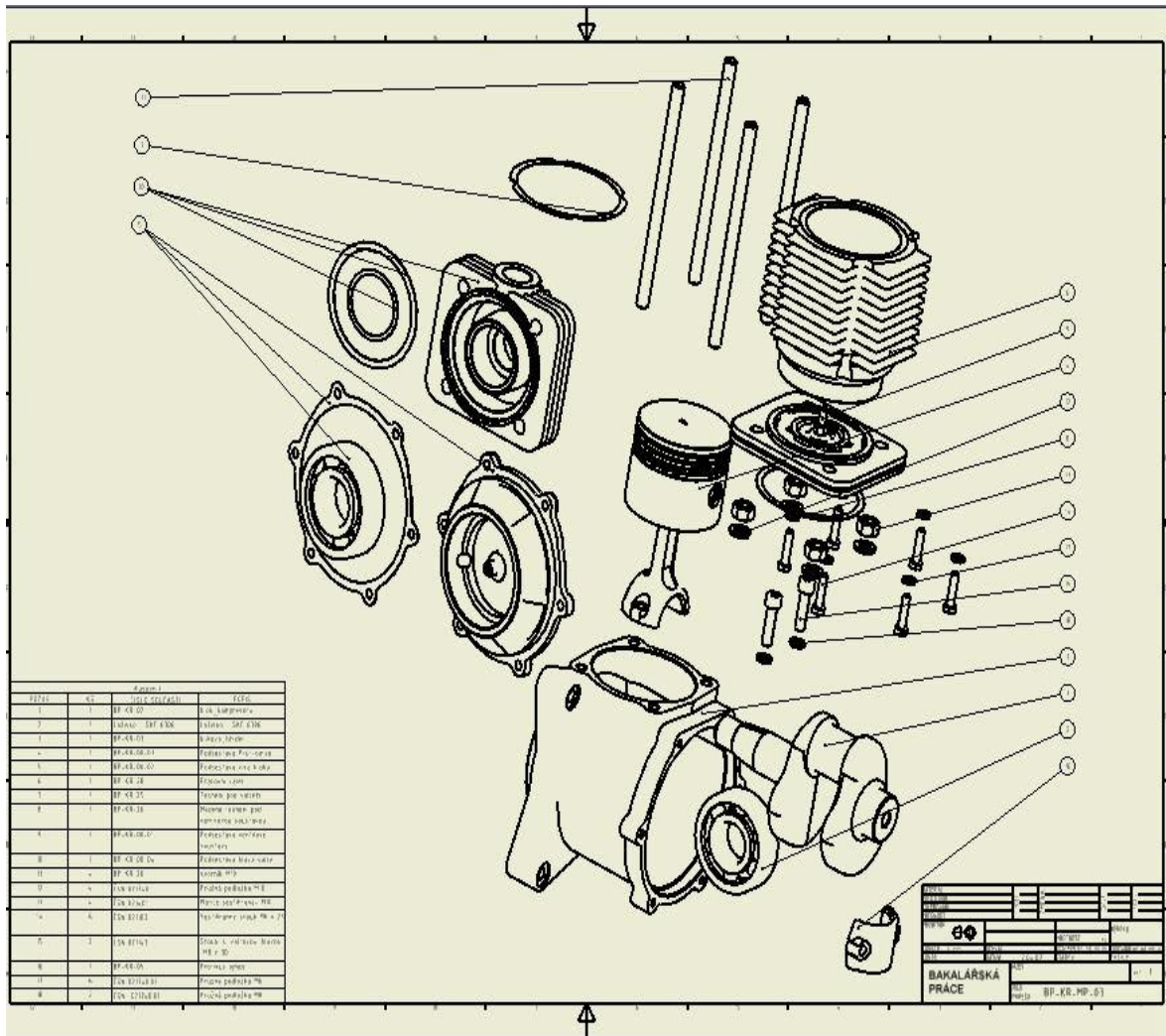
Obrázek č. 26 - Řez a pozice sestavy kompresoru

### 5.8.3 Výkresová dokumentace montážního postupu

- Výkresová dokumentace montážního postupu podsestavy ventilové soustavy
- Výkresová dokumentace montážního postupu podsestavy Píst - ojnice
- Výkresová dokumentace montážního postupu sestavy kompresoru

Tvorba těchto výkresových dokumentací je finální část této práce a opět probíhala v prostředí pro výkresy. Po umístění prezentace podsestav a kompletní sestavy kompresoru jsem pro tyto pohledy nástrojem Automatická pozice vytvořil pozice pro jednotlivé komponenty. Na závěr jsem nástrojem Kusovník uskutečnil pro tuto montážní prezentaci seznam součástí pro tyto pozice (Obrázek č. 27).





Obrázek č. 27 - Výkresová dokumentace montážního postupu sestavy

Z důvodu rozsáhlosti této práce jsou podrobnější informace umístěny na CD.

## ZÁVĚR

V teoretické části své bakalářské práce jsem zpracoval literární rešerši na téma grafických systémů. Zde jsem se zaměřil na využití 3D počítačové grafiky pro různé oblasti průmyslu, reklamy a kinematografie. Součástí práce je také bližší charakteristika CAD systémů, ve které popisují oblasti nasazení, způsoby modelování a historické rozdělení těchto aplikací.

V druhé části teoretické práce jsem se věnoval programu Autodesk Inventor. Zpracoval jsem historický vývoj této aplikace, rozebral programové možnosti, způsoby modelování, modelovací nástroje a popsal pracovní prostředí této aplikace. Na závěr jsem porovnal program Autodesk Inventor 11 Professional s konkurenčními 3D modelovacími programy Catia V5R17, ProEngineer WildFire 2 a SolidWorks 2007.

Praktickou část své bakalářské práce jsem zaměřil na modelování výrobku pístového kompresoru určeného pro přeplňování dieslového agregátu. Tento kompresor pracuje na principu dvoucestného ventilu pro nasávání a výfuk vzduchu. Způsob mazání ojničního čepu je uskutečněn olejovým kanálem vrtaným v klikové hřídeli. Modely jednotlivých součástí a výkresovou dokumentaci jsem vytvořil podle konkrétního vzoru pístového kompresoru dieslového agregátu Tatra 635. Původní kompresor jsem rozebral na jednotlivé díly a změřil posuvným měřidlem.

V programu Autodesk Inventor 11 Professional jsem vytvořil náčrty a vymodeloval jednotlivé součásti, podsestavy a sestavu tohoto pístového kompresoru. Jednou z výhod programu Autodesk Inventor 11 Professional je vytvoření definitivní sestavy pístového kompresoru a kontrola možných kolizí jednotlivých součástí. Tímto postupem lze vyloučit případné chyby vzniklé při konstrukci a umožňuje bezproblémovou výrobu a montáž kompresoru.

Na základě vytvořených 3D modelů, podsestav a sestavy jsem zpracoval kompletní výkresovou dokumentaci a animaci montážního postupu. Díky tomuto je pístový kompresor možné sériově vyrábět a je usnadněna montáž.

Program nabízí vysoký uživatelský komfort. Veškeré konstrukční prvky, jak pro 3D modelování, tak pro tvorbu sestav jsou velmi jednoduše a dynamicky použitelné. Velmi důležitou stránkou je zachování určitých modelovacích postupů, čímž je velmi zjednodušen přechod na jiné 3D modeláře.

Při modelování pístového kompresoru jsem využil funkce a možnosti programu Autodesk Inventor 11 Professional a díky výše zmíněné, reálné možnosti sériové výroby považuji vytýčené cíle práce za splněné.



## CLOSE

In the theoretical part of my bachelor thesis I processed literary background research about graphic systems. I intended on the usage of 3D computer graphic designer for various areas of industry, advertising and cinematography. Part of my work is also near rating of CAD systems, in which I describe areas of setting, manners of simulation and historical fission of these applications.

In the second part of the theoretical work I intended to the programme called Autodesk Inventor. I processed historical evolution of this application, took parts of programmatic possibilities, manners of simulation, carving instruments and described working environment of those applications. Lastly I compared programme Autodesk Inventor 11 Professional with of competition 3D plasticine programs Catia V5R17, ProEngineer WildFire 2 and SolidWorks 2007.

The practical part of my bachelor thesis was intended on simulation product piston supercharger intended for supercharging diesloveho aggregate. This compressor works on two-way valve principle for suction and exhaustion of air. The way of pasting shaft peg is carried by oil duct bore in cranked. Model sof all parts and graphical documentation were according to concrete design of piston supercharger diesel aggregate Tatra Mountains 635. The original compressor was took to lots of individua parts and measured thanks to a sliding gauge.

In the programme Autodesk Inventor 11 Professional I formed sketches and shaped to individual parts, subassemblies and group of the piston supercharger. One of programme's advantage of Autodesk Inventor 11 Professional is forming definitive listings piston supercharger and verification possible of clash single part of. With this progress it is possible to exclude pertinent mistakes rose at construction and it is possible to troublefree production and to assembly compressor.

On the basis of created 3D models, subassemblies and listings I processed all graphical documentation and animation assembly progress. Thanks to this is piston supercharger possible to fabricate and facilitate assembly.

The programme offers high user's up-to-date facilities. All structural elements, how for 3D simulation, so for production they are very simple and dynamically applicable. The most

important side is to preserve definite model progress, that is very simplified changeover to other 3D modeller.

During the simulation of piston supercharger I used the advantage of function and possibilities of Autodesk Inventor 11 Professional programme and thanks aforesaid, I consider real possibilities of serial production and conclusion of my work is done.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] *Autodesk Inventor* [online]. c2007 [cit. 2007-04-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.xanadu.cz/prod/inventor.asp>>.
- [2] *Autodesk Inventor - Historie* [online]. c2007 [cit. 2007-04-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.xanadu.cz/prod/inventor-historie.asp>>.
- [3] BEČKA, Jan. *Konstruktér a počítač - CAD*. 1. vyd. Ostrava: Montanex, 1999. 256 s. ISBN 80-7225-029-9.
- [4] CAD [online]. 2006 [cit. 2007-04-10]. Dostupný z WWW: <<http://uk.fme.vutbr.cz/ai8/uvod/uvod.htm>>.
- [5] FOŘT, Petr, KLETEČKA, Jaroslav. *Autodesk Inventor : adaptivní modelování v průmyslové praxi*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2004. 283 s. ISBN 80-251-0389-7.
- [6] KLETEČKA, Jaroslav, FOŘT, Petr. *Technické kreslení*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 1999. 193 s. ISBN 80-7226-542-3.
- [7] *Přejděte na 3D se společností, která vám přinesla 2D* [online]. c2006 [cit. 2007-04-18]. Dostupný z WWW: <[http://www.xanadu.cz/dl/Autodesk\\_Inventor\\_11\\_novinky.pdf](http://www.xanadu.cz/dl/Autodesk_Inventor_11_novinky.pdf)>.
- [8] SPLÍTKOVÁ, Jita. Vytiskni srdce a růže i dům, kde člověk bydlet může. *Click!*. 2005, roč. XVI, č. 12, s. 110-111.
- [9] VALNÝ, Michal. *Autodesk Inventor efektivně: Inventor Series 6 až 8, Inventor Professional*. 3. rozš. vyd. Brno: CCB, 2004. 279 s. ISBN 80-85825-53-8.
- [10] *Výroba kovových prototypů a speciálních dílů přímo ze 3D dat*. Řevničov: Hacker a.s.
- [11] *Výroba 3D modelů přímo z 3D dat* [online]. 18.9.2006 [cit. 2006-12-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.plastnet.cz/ArticleDetail.asp?SEARCHTYPE=QS&QSTEXT=v%FDroba+3D+model%F9&SEARCHREGION=ARTICLE&nArtID=115&nPage=1>>.
- [12] ŽÁRA, Jiří, et al. *Počítačová grafika - principy a algoritmy*. Praha: Grada a.s., 1992. 472 s. Nestůjte za dveřmi. ISBN 80-85623-00-5.

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek č. 1- Ukázka prostředí pro tvorbu počítačové animace.....	12
Obrázek č. 2 - Ukázka 3D sestavy v parametrickém modeláři.....	12
Obrázek č. 3 - Plastové součásti vytvořené metodou Rapid Prototypingu.....	14
Obrázek č. 4 – Návrh potrubního systému .....	16
Obrázek č. 5 - 2D parametrický náčrt.....	26
Obrázek č. 6 - Vysunutí navazujícího objemu.....	26
Obrázek č. 7 - Kopírování žebra Kruhovým polem.....	27
Obrázek č. 8 - Finální vzhled modelu.....	28
Obrázek č. 9 - Kopírování objemu vahadla zrcadlením .....	29
Obrázek č. 10 - Rotace profilu náčrtu.....	29
Obrázek č. 11 - Vrtání šikmé díry.....	30
Obrázek č. 12 - Řez v prostředí pracovního náčrtu .....	31
Obrázek č. 13 - Kosmetický závit.....	31
Obrázek č. 14 - Zaoblení R 11.5 .....	32
Obrázek č. 15 - Odebrání objemu tažením .....	33
Obrázek č. 16 - Obdélníkově pole .....	34
Obrázek č. 17 - Výběr typu ložiska .....	36
Obrázek č. 18 - Vazba Úhel.....	37
Obrázek č. 19 - Využití pracovních rovin pro vazbu Úhel.....	38
Obrázek č. 20 - Aplikace vazby Vložit.....	40
Obrázek č. 21 - Poloviční řez .....	41
Obrázek č. 22 - Trajektorie rozpadu podsestavy Píst - ojnice .....	42
Obrázek č. 23 - Trajektorie rozpadu sestavy kompresoru .....	43
Obrázek č. 24 - Zakótované promítnuté řezy .....	45
Obrázek č. 25 - Vytvoření pozic a kusovníku vložených součástí.....	46
Obrázek č. 26 - Řez a pozice sestavy kompresoru .....	47
Obrázek č. 27 - Výkresová dokumentace montážního postupu sestavy.....	48

## SEZNAM PŘÍLOH

Obsah CD:

- 3D modely součástí pístového kompresoru ( .ipt)
- Podsestavy ( .iam)
- Kompletní sestava pístového kompresoru ( .iam)
- Prezentace montážních postupů podsestav a celé sestavy ve 3D ( .ipn)
- Výkresová dokumentace jednotlivých součástí ( .idw)
- Výkresová dokumentace podsestav ( .idw)
- Výkresová dokumentace sestavy pístového kompresoru ( .idw)
- Výkresová dokumentace prezentací montážního postupu podsestav, sestavy ( .idw)
- Animace prezentace montážního postupu ( .avi)
- Bakalářská práce – plná verze ( .doc)