



Středoškolská technika 2023

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

3D tisk strojírenských modelů pro výuku

Jiří Pavlič, Jakub Foud, Martin Hasal, František Svoboda, Simon Jurocko, Radek Svozil, Jonáš Hauptmann

Střední průmyslová škola
Ústí nad Labem, Resslova 5, příspěvková organizace

Anotace:

Práce představuje ročníkové projekty žáků 3. a 4. ročníku, jejichž cílem bylo zhotovení modelů rotačních pohonů pro jejich lepší demonstraci při výuce předmětu *Stavba a provoz strojů*. Konkrétně se jednalo o modely *Zubového hydrogenerátoru*, *Axiálního pístového hydromotoru* a *Wankelova motoru* a modely měly být zhotoveny jednak v 3D programu *Autodesk Inventor* včetně výkresů a animací funkce, ale také měly být fyzicky vytištěny technologií 3D tisku v měřítku 1:1.

Obsah

Úvod	3
Zubový hydrogenerátor	3
Hydraulický axiální pístový motor.....	5
Wankelův motor	7
Závěr.....	9

Úvod

Rostoucí používání technologie 3D tisku pro výrobu prototypů aj. se postupně rozšiřuje také do všech typů škol, především technických. Prvním cílem projektu tedy bylo umožnit žákům seznámit se a procvičit se v práci s technologií 3D tisku.

Ve spojení se snahou o názornou výuku se potom na naší škole utvořily 3 týmy žáků 3. a 4. ročníku, které měly za úkol zhotovit technologií 3D tisku modely zadaných rotačních pohonů, které mají posléze sloužit pro názornější výuku v předmětech *Stavba a provoz strojů* a *Konstrukční cvičení*.

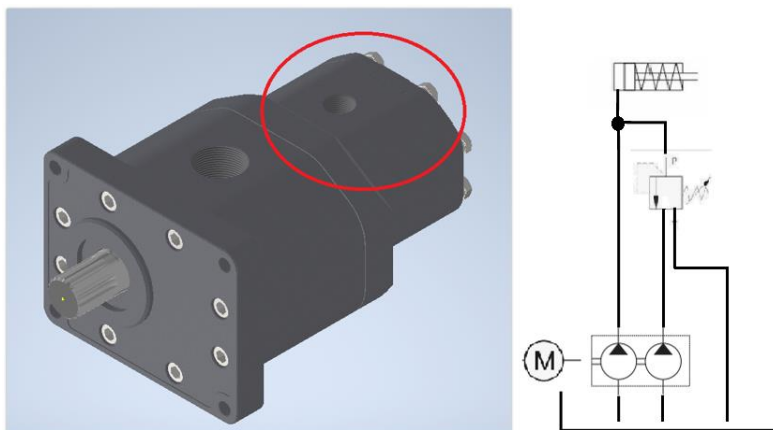
Zubový hydrogenerátor

Skupina S4A měla k dispozici dvojitý zubový hydrogenerátor ZCA 100+63 L 160-75 (Obr. 1) a úkolem skupiny bylo reverzním inženýrstvím sestavit 3D model hydrogenerátoru v programu Autodesk Inventor včetně animace kinematiky hydrogenerátoru a následně model upravit pro potřeby 3D tisku a model vytisknout.



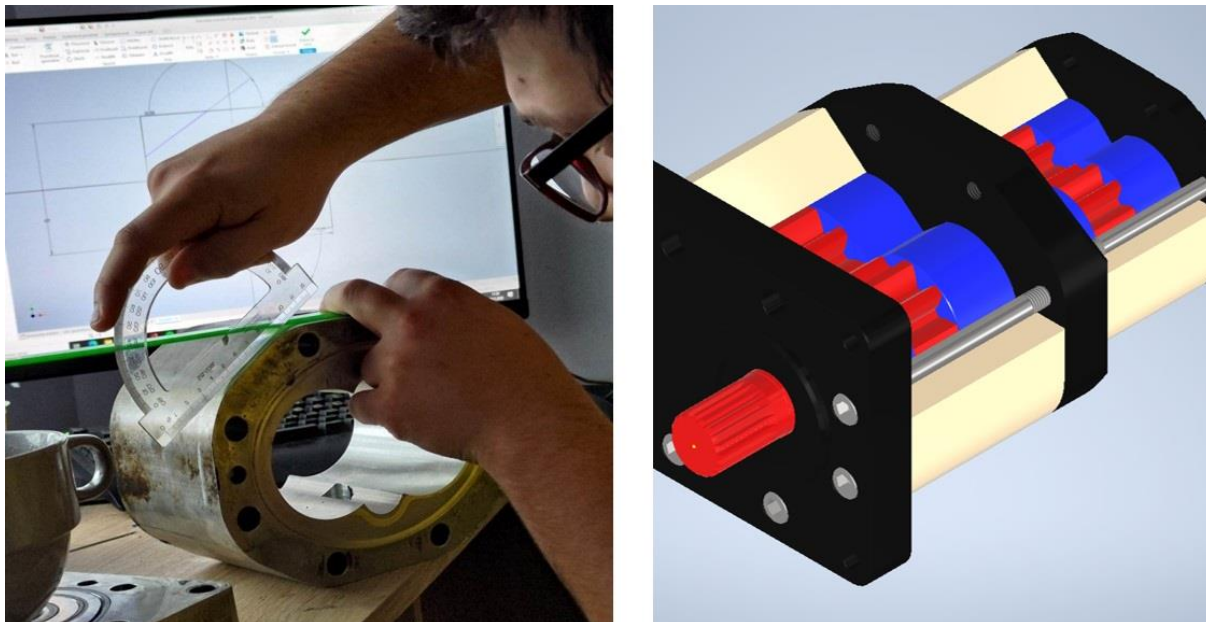
Obr. 1: Zubový hydrogenerátor ZCA 100+63 L 160-75

Jako dvojitý je hydrogenerátor konstruován z důvodu možnosti zapojení obou komor, je-li požadován vyšší dodávaný tlak. Připojení resp. odpojení komory je řízeno přepouštěcím ventilem (Obr. 2).

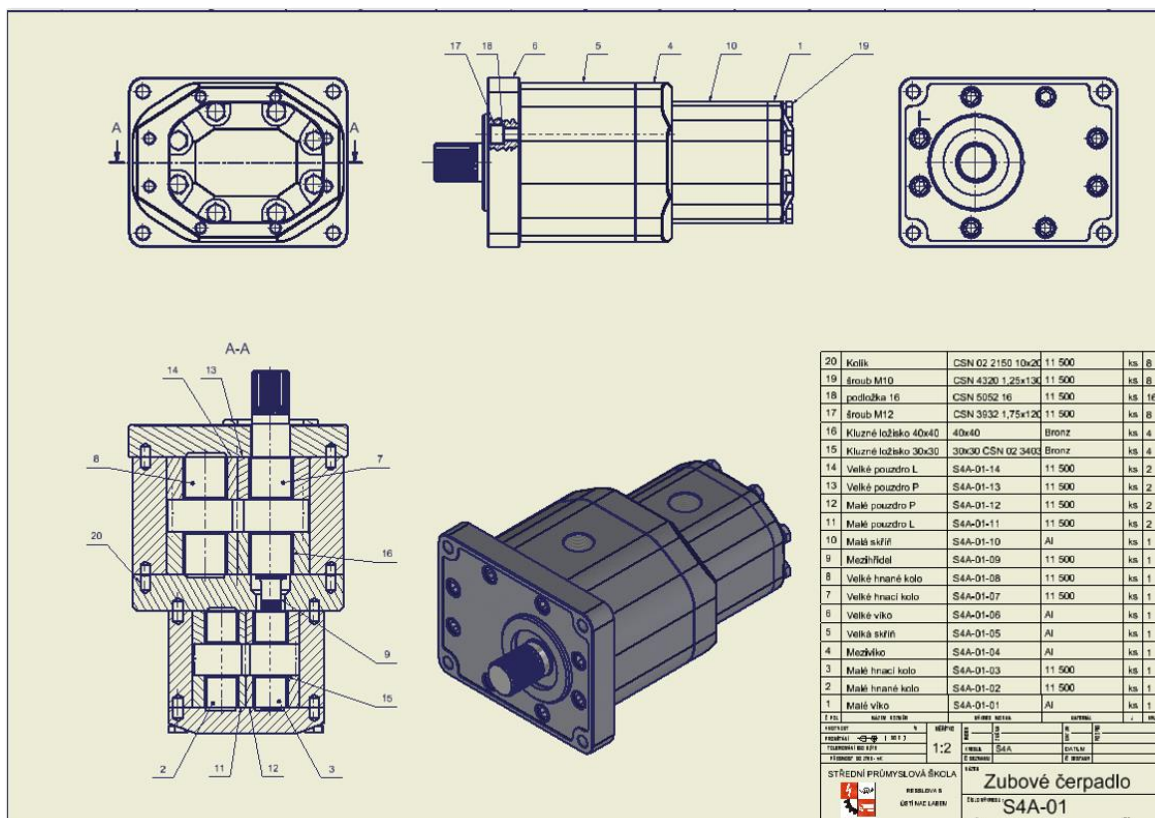


Obr. 2: Regulace tlaku hydrogenerátoru ZCA 100+63 L 160-75 využitím 2 komor s přepouštěcím ventilem

Skupina reálný hydrogenerátor nejprve proměřila (Obr. 3) pomocí měřidel a scannování a na základě měření vytvořila 3D model v programu Autodesk Inventor včetně animace a výkresové dokumentace (Obr. 4).

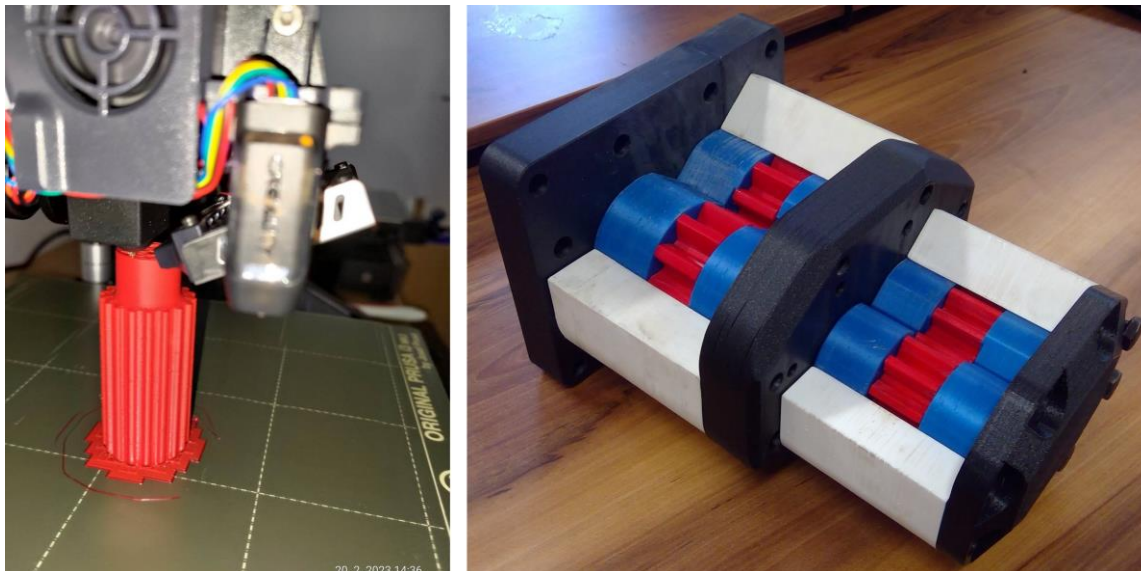


Obr. 3: Měření hydrogenerátoru ZCA 100+63 L 160-75 a výsledný model v programu Autodesk Inventor



Obr. 4: Výkresová dokumentace hydrogenerátoru ZCA 100+63 L 160-75 v programu Autodesk Inventor

3D model byl poté zpracován pro potřeby 3D tisku, jednotlivé součásti vytištěny a poté smontovány do výsledné sestavy. Při montáži se projevil obtíž s vůlemi v ozubení, kdy o sebe ozubená kola drhla a neměla tak rovnoměrný chod. Po úpravě ozubených kol vznikl konečně funkční model hydrogenerátoru (Obr. 5).



Obr. 5: 3D tisk a výsledný vytištěný model hydrogenerátoru ZCA 100+63 L 160-75

Hydraulický axiální pístový motor

Skupina S4B měla k dispozici hydraulický axiální pístový motor AMK 25-7 RS (Obr. 6), který byl použit v autojeřábech AD 080, AD 20 a AD 28. Parametry motoru jsou vedeny v Tab. 1.

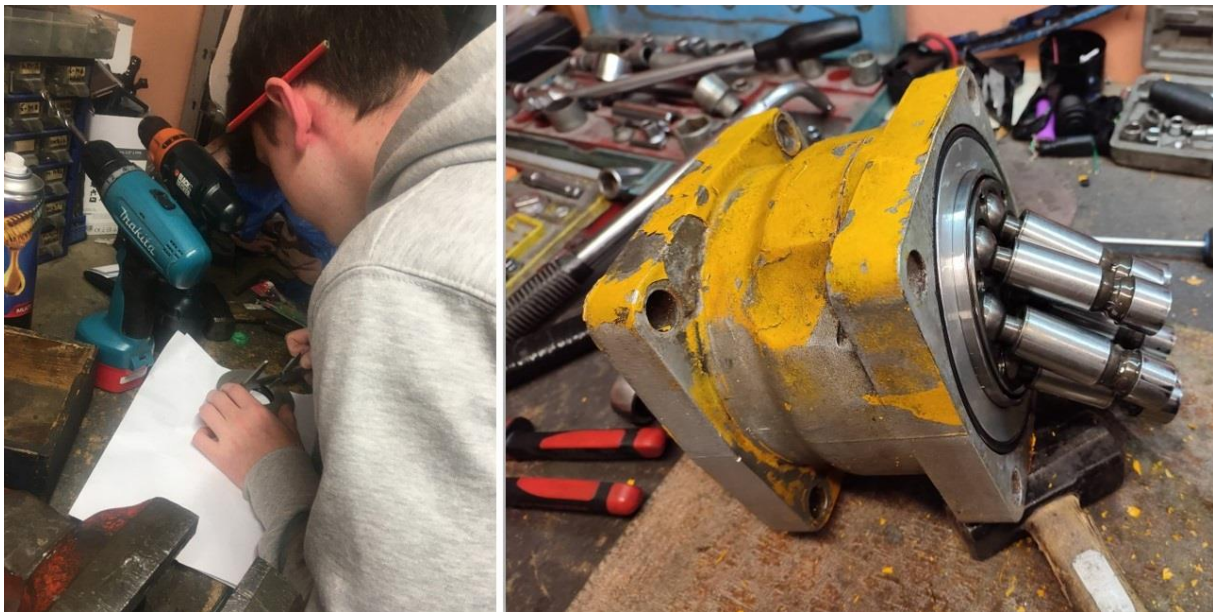


Obr. 6: Hydraulický axiální pístový motor AMK 25-7 RS použitý v autojeřábu Tatra 815 AD 28

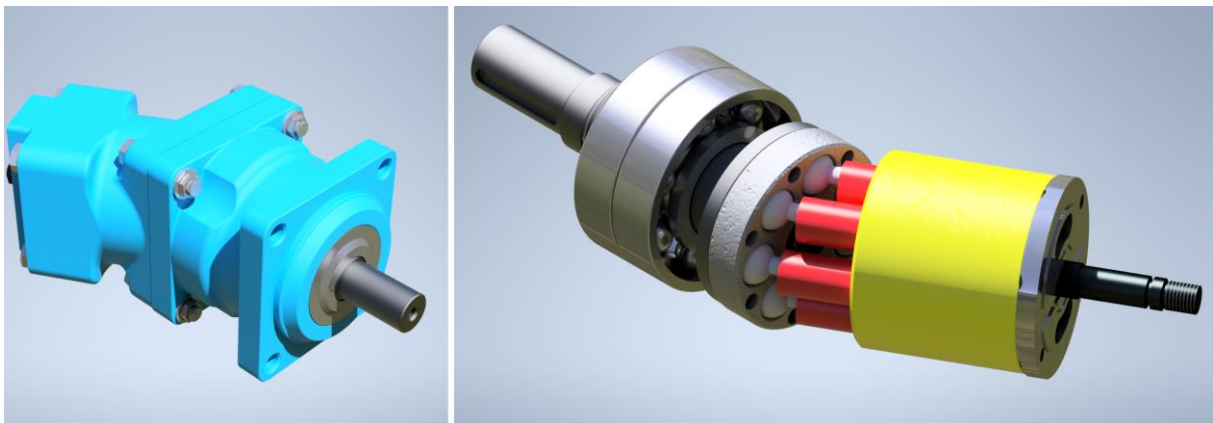
Tabulka č.1 : parametry motoru AMK 25-7 RS

Výkon	55 kW
Otáčky	7-45 s ⁻¹
Točivý moment	310 N.m
Pracovní objem 1 pístu	36,2 cm ³
Sklon bloku	25°

Stejně jako u zubového hydrogenerátoru musel být i zde motor nejprve rozebrán a proměřen (Obr. 7) a na základě měření byl poté vytvořen 3D model v programu Autodesk Inventor (Obr. 8) společně s animací a výkresovou dokumentací motoru (Obr. 9).

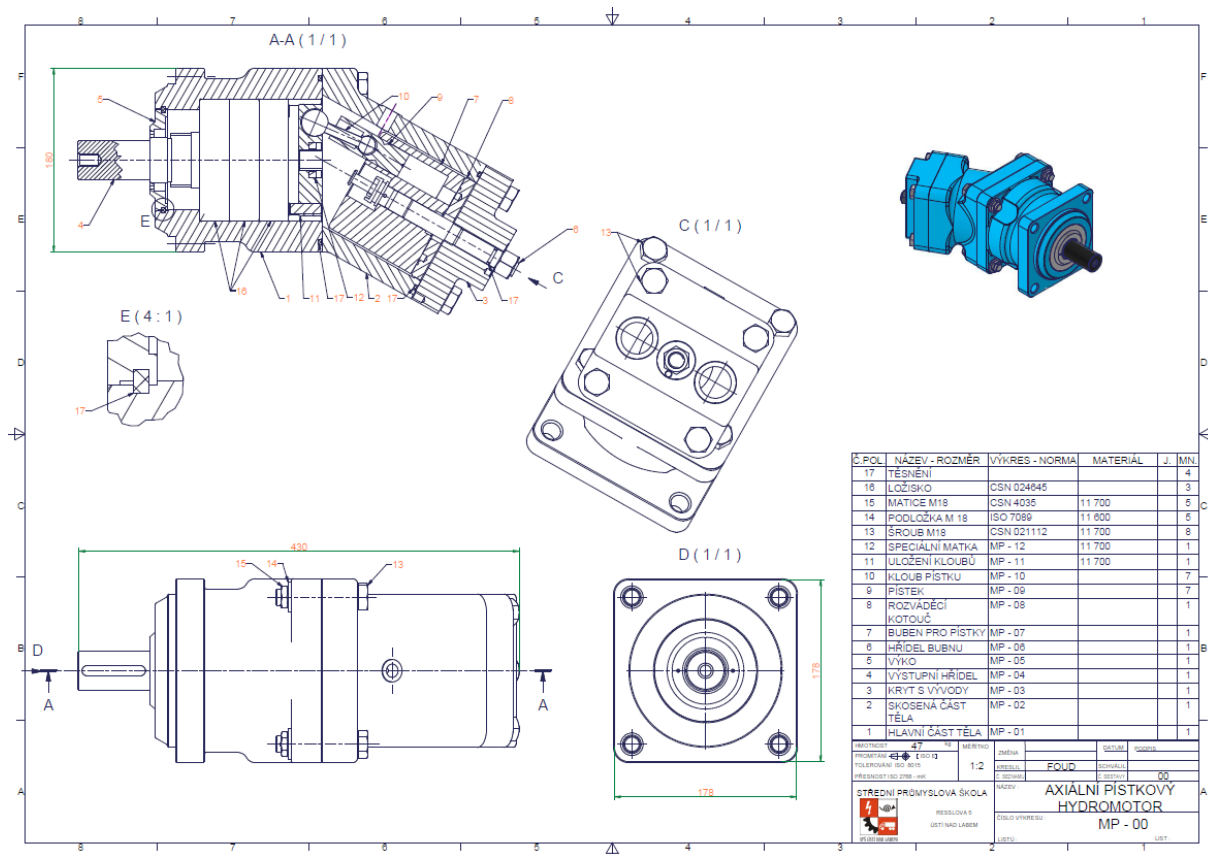


Obr. 7: Měření rozebraného hydromotoru AMK 25-7 RS

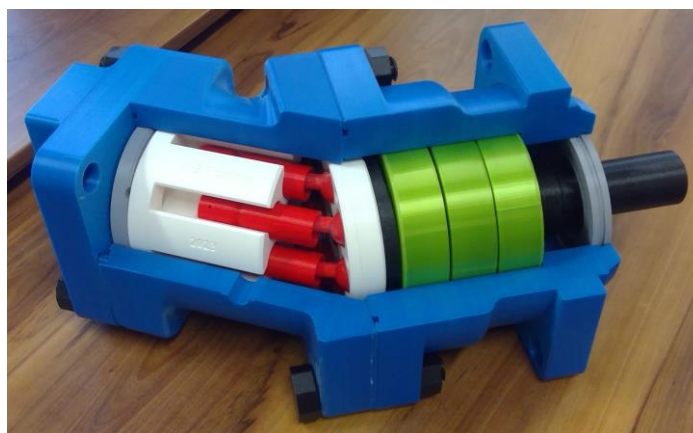


Obr. 8: Výsledný model hydromotoru AMK 25-7 RS v programu Autodesk Inventor

3D model byl poté zpracován pro potřeby 3D tisku, především kuličková ložiska a kloubové spoje pístu musely být navrženy s ohledem na výrobu 3D tiskem a následnou montáž. Vznikl tak plně funkční model hydromotoru, který je na Obr. 10.



Obr. 9: Výkresová dokumentace hydromotoru AMK 25-7 RS v programu Autodesk Inventor



Obr. 10: Vytisknutý model motoru AMK 25-7 RS z 3D tiskárny

Wankelův motor

Skupina S3B měla za úkol vytvořit 3D model Wankelova motoru 13B REW, který byl použit v automobilu Mazda RX7 FD3S (Obr. 11).

Na rozdíl od hydrogenerátoru a hydromotoru byl model Wankelova motoru sestaven přímým návrhem (ne měřením vyrobeného motoru), přičemž geometrie skříně a rotoru byla navržena ze vztahů (1) a (2).



Obr. 11: Automobil Mazda RX-7 FD3S s Wankelovým motorem 13B REW

Válec motoru má tvar epitrochoidy, jejíž souřadnice jsou parametricky popsány vztahy

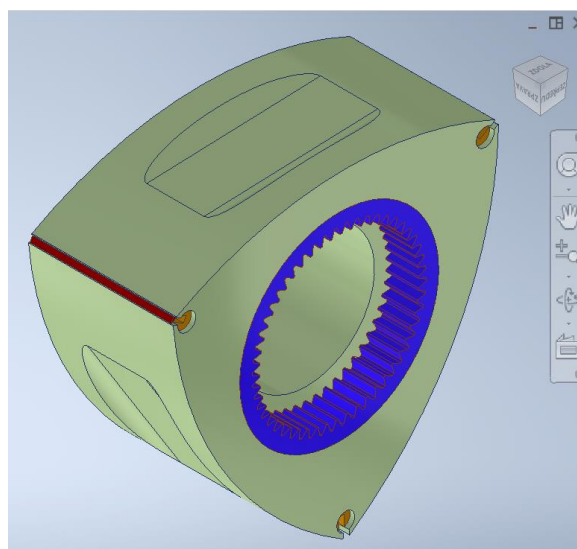
$$\begin{aligned} x &= e(\cos 3\alpha_p + \lambda \cos \alpha_p) \\ y &= e(\sin 3\alpha_p + \lambda \sin \alpha_p) \end{aligned} \quad (1)$$

Zaoblení pístu je potom dáno vztahem

$$r = e \frac{(\lambda-1)^2+3}{\lambda-4} \quad (2)$$

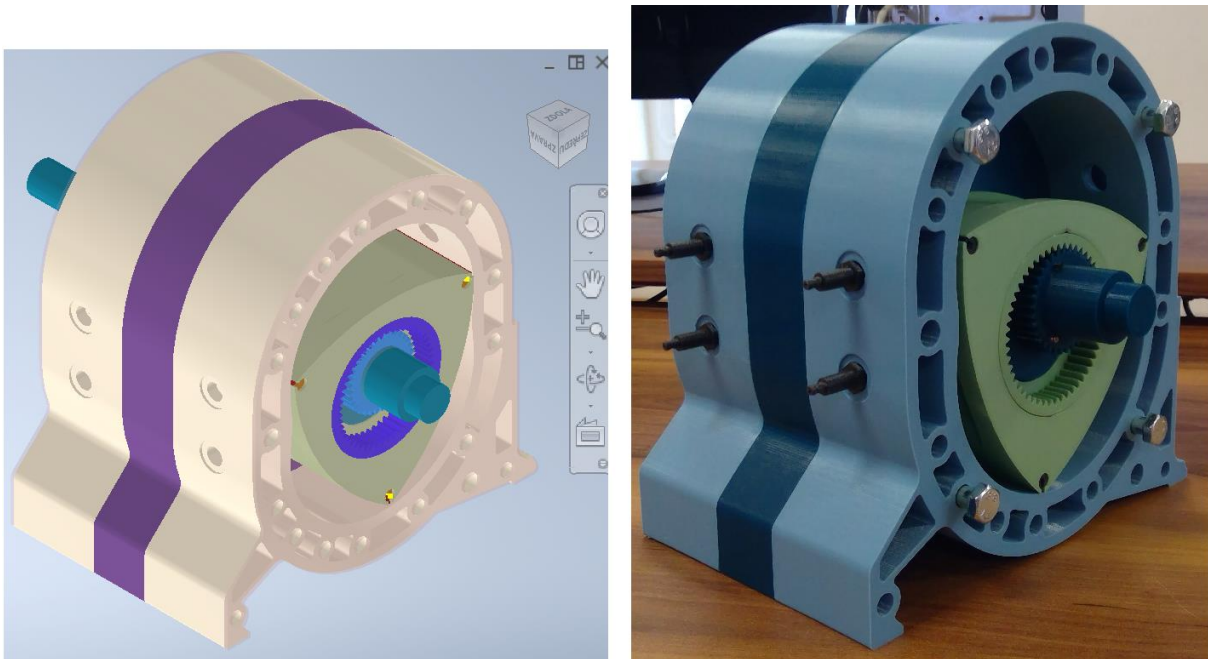
Model byl vytvořen pro parametry $e = 17,9$ a $\lambda = 6$, které odpovídají geometrii motoru 13B REW.

Z hlediska funkce vytištěného modelu se dle předpokladů ukázal jako největší problém těsnění rotoru, kdy se rotor ve skříni plynule pohyboval, ale při zkoušce tlakovým vzduchem netěsnil. Byly navrženy 3 varianty těsnění – 2 druhy podélných těsnících elementů stlačovaných pružinou (Obr. 12) a těsnění grafitovou tuhou, ale ani jedna neprokazovala funkčnost. Funkční těsnění se tedy u motoru nepodařilo vytvořit.



Obr. 12: Navržené těsnění motoru

Vytištěný 3D model (Obr. 13) je tedy funkční z hlediska kinematiky, což je pro účely výukového demonstrátoru postačující, a stejně jako u hydrogenerátoru a hydromotoru byla i pro Wankelův motor vytvořena animace zobrazující funkci motoru.



Obr. 13: Model motoru 13B REW v programu Autodesk Inventor a vytištěný model motoru z 3D tiskárny

Závěr

Týmy vytvořily 3D modely zubového hydrogenerátoru, axiálního pístového hydromotoru a Wankelova motoru včetně animací a modely byly též vytištěny technologií 3D tisku. Z modelů byly vytvořeny také příslušné výkresy sestav a výrobní výkresy součástí.

Všechny modely jsou z hlediska kinematiky funkční, což odpovídá jejich účelu – názorné demonstraci rotačních pohonů v předmětech *Stavba a provoz strojů* a *Konstrukční cvičení*. Tím byly splněny stanovené cíle projektu.

Dalším krokem, který by mohl navázat na tento projekt, by bylo sestrojení plně funkčních modelů rotačních pohonů (tedy včetně utěsnění) a stanovení parametrů těchto modelů s ohledem na materiálové vlastnosti filamentů 3D tisku – např. jaké tlaky by mohly vygenerovat vytištěné motory, jaké by byly jejich pasivní odpory atd.