

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č.12: Tvorba učebních pomůcek, didaktická technologie

Tvorba hydrodynamického radiálního čerpadla jako učební pomůcky

**Making of hydrodynamical radial pump
as a teaching tool**

Autor: Jakub Vlk

Škola: SPŠ, SOŠ a SOU Hradec Králové, Hradební 1029/2, 560 03

Kraj: Královéhradecký

Konzultant: Ing. Karel Zmeškal

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval samostatně a použil jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

V..... dne..... podpis:

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat mé rodině a příbuzným, kteří mi při tvorbě práce pomáhali a vytvářeli ideální podmínky pro práci. Dále bych chtěl také poděkovat některým vyučujícím z naší školy za odbornou pomoc při tvorbě čerpadla a motivaci, která zajistila dokončení práce, hlavně panu Ing. Karlu Zmeškalovi a paní Mgr. Petře Volejníkové. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat škole za poskytnutí zázemí při tvorbě práce a možnosti zúčastnění se v takto prestižní soutěži.

Anotace

Moje práce se věnuje výpočtu, návrhu a konstrukci zjednodušeného hydrodynamického radiálního čerpadla, které by mělo pomoci žákům s pochopením problematiky lopatkových strojů a propojit teorii s praxí. Zároveň by jim mělo zpestřit výuku názornou praktickou ukázkou čerpadla.

Klíčová slova

Čerpadlo; hydrodynamické čerpadlo; radiální hydrodynamické čerpadlo; odstředivé čerpadlo; lopatkové stroje; výroba čerpadla; učební pomůcka

Annotation

My work deals with calculating, projecting and constructing of simplified hydrodynamic radial pump, which shall help pupils to understand the topic of blade machines and connect theory and practice. Also it should make the lesson more interesting with practical visual demonstration of the hydrodynamic radial pump.

Key words

Pump; hydrodynamic pump; radial hydrodynamic pump; centrifugal pump; blade machines; making of the pump; teaching tool

Obsah

Prohlášení	2
Poděkování	3
Anotace.....	4
Klíčová slova.....	4
Annotation	4
Key words	4
Obsah.....	5
Tabulka použitých značek	7
Teoretická část.....	9
1 Čerpadla	9
2 Rozdělení čerpadel	9
2.1 Hydrostatická čerpadla	9
2.1.1 Pístová čerpadla.....	10
2.1.2 Membránová čerpadla	10
2.1.3 Rotační čerpadla	10
2.2 Hydrodynamická čerpadla	11
2.2.1 Radiální (odstředivá) hydrodynamická čerpadla.....	12
2.2.2 Diagonální hydrodynamická čerpadla.....	12
2.2.3 Axiální hydrodynamická čerpadla	12
3 Pedagogická teorie	12
3.1 Učební pomůcky	12
3.1.1 Rozdělení učebních pomůcek.....	13
3.2 Využití lidských smyslů ve vzdělávání	13
3.3 Náplň předmětu Stavba a provoz strojů	13
Praktická část.....	14
4 Návrh čerpadla	14
4.1 Konstrukce čerpadla	14
4.2 Návrh pohonu čerpadla.....	15
4.3 Návrh přívodu a odvodu vody	15
4.4 Návrh vstupních parametrů čerpadla	15
5 Výpočet.....	16
5.1 Výpočet oběžného kola čerpadla	16
6 Tvorba modelů jednotlivých dílců, tvorba modelu sestavy	19

6.1	Tvorba modelu oběžného kola	19
6.2	Model spirální skříně čerpadla	20
6.3	Modely ostatních dílců	21
6.4	Tvorba modelu sestavy čerpadla	22
7	Výroba jednotlivých dílců.....	23
7.1	Výroba oběžného kola	23
7.2	Výroba spirální skříně	23
7.3	Výroba ostatních součástí.....	23
8	Sestavení čerpadla.....	24
9	Využití modelu při výuce.....	24
10	Závěr.....	25
	Bibliografie.....	25
	Seznam obrázků	26
	Seznam tabulek	26
	Přílohy	27

Tabulka použitých značek

Značka	Veličina	Jednotka
F_c	odstředivá síla	N
Δm	element hmoty	kg
σ	součinitel rychloběžnosti	-
g	tíhové zrychlení	$m \cdot s^{-2}$
ρ	hustota kapaliny	kg/m^3
Q_v	objemový průtok	$m^3/s, l/s$
H	dopravní výška	m
n	otáčky	s^{-1}
Y	měrná potenciální energie	J/kg
d	průměr hřídele	mm
P_e	příkon elektromotoru	W
η	účinnost	-
τ_k	napětí v krutu	MPa
M_k	kroučící moment	Nm / Nmm
W_k	průřezový modul v krutu	mm^3
τ_{Dk}	dovolené napětí v krutu	MPa
d_0	průměr náboje oběžného kola	mm
ψ	tlakový součinitel	-
u_1	unášivá rychlost kapaliny na vstupu do kanálu	m/s
c_0	absolutní rychlost kapaliny na vstupu do kola	m/s
c_1	absolutní rychlost kapaliny na vstupu do kanálu	m/s
w_1	relativní rychlost kapaliny na vstupu do kanálu	m/s
u_2	unášivá rychlost kapaliny na výstupu z kanálu	m/s
w_2	relativní rychlost kapaliny na výstupu z kanálu	m/s
c_2	absolutní rychlost kapaliny na výstupu z kanálu	m/s
c_{u2}	unášivá složka absolutní rychlosti na výstupu z kanálu	m/s
c_{m2}	meridiánová složka absolutní rychlosti na výstupu z kanálu	m/s
D_2	velký průměr oběžného kola	mm
D_0	velký průměr sacího hrdla	mm

D_1	průměr, na kterém se nacházejí vstupní hrany oběžných lopatek	mm
β_1	sklon relativní rychlosti na vstupu do kanálu	°
α_1	sklon absolutní rychlosti na vstupu do kanálu	°
β_2	sklon relativní rychlosti na výstupu z kanálu	°
α_2	sklon absolutní rychlosti na výstupu z kanálu	°
b_1	šířka kanálu na vstupu	mm
b_2	šířka kanálu na výstupu	mm
k_1	součinitel zmenšení průtočného průřezu vlivem tloušťky oběžných lopatek	-
z	počet lopatek	-

Úvod

Důvodů, proč jsem se čerpadlo rozhodl vyrobit bylo několik. Hlavní důvod byl, že mi samotnému tato problematika, tedy problematika lopatkových strojů, přišla při prvním seznámení velice složitá a k úplnému pochopení jsem dospěl až po individuálním vysvětlení od pana učitele. V návaznosti na toto jsem se rozhodl vytvořit malý funkční model hydrodynamického radiálního (odstředivého) čerpadla, které spočítám a navrhnu podle postupů, které jsme se učili a zkonstruuji ho tak, aby žáci co nejlépe a nejjednodušeji pochopili jeho princip.

Jelikož na počítání, návrh, výrobu a konstrukci odstředivého čerpadla, které najdete v běžném průmyslu, středoškolské vzdělání nestačí, rozhodl jsem se vytvořit zjednodušený model odstředivého čerpadla. Toto zjednodušené čerpadlo bude podloženo výpočty, které budou v rozsahu odpovídajícím střední škole a bude tedy žákům ukazovat problematiku lopatkových strojů v praxi a zároveň jim bude dokazovat, že to, co se v lavicích učí, v reálném světě opravdu funguje.

Dalším důvodem bylo i to, že jsem si chtěl ověřit, jestli čerpadlo, které navrhnu a zkonstruuji dle postupů, které jsme se učili v předmětu Stavba a provoz strojů, bude funkční.

V neposlední řadě mou motivací pro tvorbu této práce bylo to, že mě tato problematika velice zajímá a baví a chtěl jsem dosáhnout propojení teorie s praxí.

Teoretická část

1 Čerpadla

Čerpadla jsou stroje, které dodávají kapalině, která nimi protéká potenciální, kinetickou nebo tlakovou energii. [6]

Hlavním úkolem čerpadel je dopravovat kapalinu z místa níže položeného na místo výše položené nebo zvyšovat tlak kapaliny.

V průmyslu mají čerpadla obrovské zastoupení. Nepoužívají se však jenom v průmyslu, čerpadlo například používají lidé i na zahradách, či v domácnostech, ať už je to k dopravování pitné vody z vrtu až do domu, či k dopravování vody ze studny na zalévání zahrady.

Například vodní pumpa, kterou má mnoho lidí na zahradě je v podstatě pístové čerpadlo na ruční pohon

2 Rozdělení čerpadel

2.1 Hydrostatická čerpadla

Mechanická energie pohonu se přímo mění na tlakovou energii kapaliny, kinetická energie kapaliny je přitom nepatrná. Kapalina se přemísťuje prostřednictvím výtlačného tělesa (píst, plunžr, membrána, ozubená kola, lamely,...)

2.1.1 Pístová čerpadla

Pístová čerpadla nasávají určitý objem kapaliny do uzavřeného prostoru válce a v následujícím okamžiku jej pístem vytlačuje. Mechanická energie motoru se tedy mění přímo v tlakovou energii. Výhodou pístových čerpadel je velká účinnost, samonasávací schopnost a necitlivost vůči tlakovým změnám.



Obrázek 1 - Ruční pístové čerpadlo

2.1.2 Membránová čerpadla

U membránových čerpadel nepřichází čerpaná kapalina do styku s pohyblivými částmi čerpadla, s těsněním, s ucpávkami, mohou tedy dopravovat chemicky aktivní či znečištěné kapaliny. Používají se tedy například v chemickém průmyslu



Obrázek 2 - Membránové čerpadlo

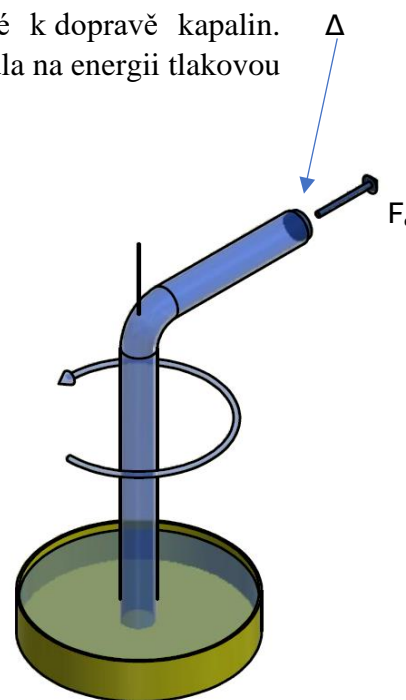
2.1.3 Rotační čerpadla

U těchto čerpadel konají výtlačná tělesa rotační pohyb. Výtlačnými tělesy jsou: ozubená kola, lamely nebo vřetena.

2.2 Hydrodynamická čerpadla

Hydrodynamická čerpadla jsou rotační lopatkové stroje určené k dopravě kapalin. Mechanická energie hnací jednotky se mění v oběžném kole čerpadla na energii tlakovou a kinetickou. Část kinetické energie se v další části čerpadla (v difuzoru) mění na tlakovou energii. Ve výtlačném hrdle má kapalina převážně tlakovou energii. Podle průtoku dopravované kapaliny oběžným kolem dělíme hydrodynamická čerpadla na radiální (odstředivá), diagonální a axiální (vrtulová).

Hydrodynamická čerpadla pracují na **principu lopatkového stroje**, který je vysvětlen na obrázku 3. Hmoty v kanálu Δm je z rotujícího kanálu vlivem odstředivé síly F_c vytlačena, následně zde v kanálu vzniká podtlak vlivem něhož je do kanálu nasávána voda z nádrže, která následně vystřikuje ven.



Obrázek 3 - Princip lopatkového stroje

Pokud nemáme přímo určený druh hydrodynamického čerpadla, zjistíme ho výpočtem součinitele rychloběžnosti σ , jehož hodnota nám udá druh hydrodynamického čerpadla a tím i postup výpočtu. Součinitel rychloběžnosti vypočítáme z těchto vstupních parametrů: tíhové zrychlení (g) hustota kapaliny (ρ), objemový průtok (Q_v), dopravní výška (H), otáčky motoru (n), měrná potenciální energie ($y=g \cdot H$).

Vztah pro výpočet součinitele rychloběžnosti σ je:
$$\sigma = 2 \cdot \sqrt{n} \cdot \frac{n \cdot \sqrt{Q_v}}{\sqrt[4]{(2y)^3}}$$

Podle vypočtené hodnoty můžeme určit druh radiálního hydrodynamického čerpadla z této tabulky:

σ	0,06 až 0,104	0,104 až 0,26	0,26 až 0,52	0,52 až 1,04	1,04 až 2,6
n_s	35 až 60	60 až 150	150 až 300	300 až 600	600 až 1 500
Název	radiální pomaloběžné	radiální normální	radiální rychloběžné	diagonální	axiální (vrtulové)
Použití	malé Q_v velké Y	střední Q_v střední Y	větší Q_v menší Y	velké Q_v malé Y	největší Q_v malé Y
$D_2/D_0 = x$	2,5 až 2,2	2,2 až 1,6	1,6 až 1,3	1,2 až 1,1	0,8 až 0,5
Tvar oběžného kola					

Obrázek 4 - Tabulka rozdělení hydrodynamických čerpadel

2.2.1 Radiální (odstředivá) hydrodynamická čerpadla

Radiální hydrodynamická čerpadla jsou nejpoužívanějším druhem hydrodynamických čerpadel. Používají se hlavně k dopravě pitné, užitkové i odpadní vody, k zavlažování či k čerpání chladicí vody. Čerpaná kapalina vstupuje rovnoběžně s osou oběžného kola a vystupuje kolmo na ni. Čerpadlo pracuje s využitím odstředivé síly, která působí na kapalinu v rotujícím oběžném kole.



Obrázek 5 - Radiální hydrodynamické čerpadlo

Radiálních čerpadel je několik druhů: **dvouproudové čerpadlo, bezucpávkové čerpadlo, samonasávací čerpadlo,...**

2.2.2 Diagonální hydrodynamická čerpadla

Čerpaná kapalina vstupuje rovnoběžně s osou oběžného kola a vystupuje šikmo (diagonálně). Používají se pro větší objemové průtoky do malých a středních výšek. Lopatky jsou vytvořeny jako šroubové plochy na kuželovitém náboji kola.

2.2.3 Axiální hydrodynamická čerpadla

Čerpaná kapalina vstupuje rovnoběžně s osou oběžného kola a vystupuje také rovnoběžně, proudí tedy axiálně. Používá se hlavně pro velké objemové průtoky do malých dopravních výšek.

3 Pedagogická teorie

3.1 Učební pomůcky

Obecně lze říci, že učebními pomůckami jsou předměty, jejich soubory nebo části, případně programové vybavení, které přispívají jako zdroje informací k vytváření, prohlubování a obohacování představ studentů. Učební pomůcky rovněž slouží k vytváření polytechnických dovedností v praktických činnostech žáků a k osvojení znalosti o přírodních a společenských jevech. [3]

Zajímavé učební pomůcky dokážou hodinu velmi oživit, a proto se jejich používání doporučuje. Na učitele to ale klade větší nároky, protože si pomůcky musí předem připravit a přizpůsobit jim svou výuku.

3.1.1 Rozdělení učebních pomůcek

- Dvojměrné pomůcky – např. obrazy, mapy
- Trojměrné pomůcky – např. přístroje a modely pro výuku, preparáty globusy
- Technické obrazové a zvukové záznamy – např. filmy, zpětné projektory, CD, DVD, softwarové vybavení pro výpočetní techniku s výjimkou toho, které slouží k jiným než výukovým účelům
- Přístroje didaktické techniky – např. projekční přístroje, TV, DVD přehrávače
- a mnoho dalších

3.2 Využití lidských smyslů ve vzdělávání

Názornost při výuce zvyšuje zájem o probírané téma a tím zapojuje i více smyslů, kterými je student schopen vnímat. Při tradiční výuce zapojuje žák především sluch, ale zapojením více smyslů by se vnímání žáků prohloubilo a také zapamatování prodloužilo. Názornost ve výuce zajišťují především učební pomůcky. [4]

Ani v dnešní době se od zásady názornosti neupouští a předkládá se pomocí těchto tří pravidel:

1. SLYŠÍM a zapomenu,
2. VIDÍM a vzpomenu si,
3. JEDNÁM a osvojím si.

Důležité ale není pouze vybrání správné učební pomůcky. Je třeba také vytvořit příjemné prostředí pro jejich předvedení, a hlavně použít je vhodným způsobem. Způsob práce učitele s učební pomůckou je mnohdy důležitější než pomůcka sama.

3.3 Náplň předmětu Stavba a provoz strojů

Problematické lopatkových strojů a konkrétně hydrodynamických čerpadel se na středních školách strojnických věnuje předmět Stavba a provoz strojů. Shrnu zde tedy náplň tohoto předmětu.

Učivo
1 Kovové nosníky a nekovové konstrukce <ul style="list-style-type: none">- Nosníky- Příhradové konstrukce stavebních prvků, stožárů, dopravních strojů, apod.- Rámy strojů a zařízení
2 Prvky a agregáty strojů a zařízení <ul style="list-style-type: none">- brzdy a spojky- mechanické převody a jejich součásti- kinematické mechanismy- tekutinové mechanismy
3 Stroje a zařízení <ul style="list-style-type: none">- energetické stroje a zařízení- hnací stroje- pracovní stroje a zařízení- dopravní stroje a zařízení- zařízení zabezpečující pohodu prostředí
4 Dopravní prostředky <ul style="list-style-type: none">- silniční vozidla- kolejová vozidla- plavidla

4.2 Návrh pohonu čerpadla

Moji první myšlenkou bylo, že čerpadlo bude na ruční pohon.

Poté mě ale napadlo, že bych to mohl trochu vylepšit a začal jsem přemýšlet nad pohonem elektrickým, který není pouze elegantnější, ale také zajistí kontinuálnější průtok kapaliny čerpadlem. Prvním adeptem pro pohon byl běžný elektromotorek, zde jsem ale dospěl k závěru, že toto řešení bude nevhodné z důvodu problematické přenosnosti a manipulace.

Proto jsem se rozhodl, že mé čerpadlo bude pohánět akumulátorový šroubovák. Od čerpadla bude odpojitelný, tedy manipulace se samotným čerpadlem poté bude mnohem jednodušší.

4.3 Návrh přívodu a odvodu vody

Nejprve jsem zvažoval, že voda do čerpadla bude přiváděna a následně i odváděna měděnými topenářskými trubkami, které bych si nechal ohnout do požadovaného tvaru.

To by bylo ale vcelku složité na výrobu, a tak mě napadla další možnost, která bude podstatně jednodušší a levnější. Přívod a odvod vody bude zajištěn plastovými trubičkami, které budou napojeny buď na plastové kolénko nebo na nerezovou armaturu. Trubička s kolénkem, které bude mít na svém konci závit G $\frac{1}{4}$ bude pro přívod vody a bude připevněna k přednímu krytu, trubička s armaturou, která na konci bude mít také závit G $\frac{1}{4}$ bude pro odvod a bude připojena ke spirální skříni.



Obrázek 9 - Trubička na přívod kapaliny



Obrázek 8 - Trubička na odvod kapaliny

4.4 Návrh vstupních parametrů čerpadla

Jelikož mým cílem je jednoduché funkční čerpadlo, které nemá překonávat žádné rekordy, ale demonstrovat žákům princip funkce hydrodynamických odstředivých čerpadel, musel jsem i vhodně zvolit vstupní parametry.

Hlavním hlediskem, na které jsem musel klást největší důraz, byly samozřejmě rozměry. Málokterý učitel by chtěl jako učební pomůcku čerpadlo o rozměrech metr na metr.

Jedním z hledisek byl také pohon. Jak už jsem dříve napsal, čerpadlo bude pohánět akumulátorový šroubovák, proto jsem musel vhodně zvolit otáčky oběžného kola, aby odpovídaly otáčkám vrtaček dostupných na trhu.

Dalším kritériem bylo to, že jsem potřeboval, aby vypočítané hodnoty odpovídaly kolu radiálnímu normálnímu, jelikož je nejpoužívanější a také nejjednodušší na výrobu, což je pro potřeby mého modelu dostačující.

5 Výpočet

5.1 Výpočet oběžného kola čerpadla

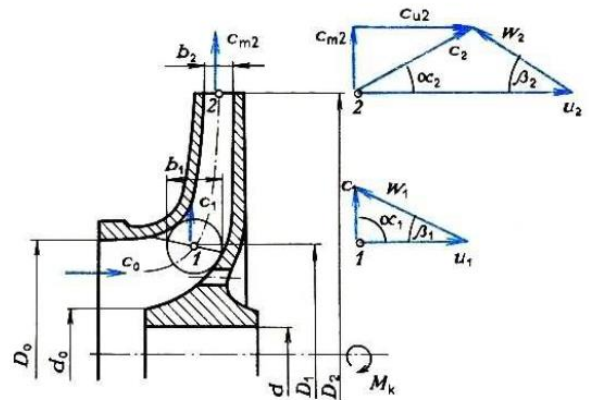
Optimalizované vstupní parametry čerpadla tedy jsou:

- Objemový průtok $Q_v = 0,000967 \text{ m}^3/\text{s}$
- Dopravní výška $H = 1,8\text{m}$
- Otáčky $n = 15/\text{s}$
- Účinnost $\eta = 0,95$
- Průměr hřídele $d = 19 \text{ mm}$

Výpočet součinitele rychloběžnosti:

$$Y = gH = 9,81 \cdot 1,8 = 17,658 \text{ J/kg}$$

$$\sigma = 2 \cdot \sqrt{\pi} \cdot \frac{n \cdot \sqrt{Q_v}}{\sqrt[4]{(2Y)^3}} = 2 \cdot \sqrt{\pi} \cdot \frac{15 \cdot \sqrt{0,000967}}{\sqrt[4]{(2 \cdot 17,658)^3}} = 0,1141$$



Obrázek 10 - Řez oběžným kolem čerpadla, rychlostní trojúhelníky

Z tabulky, která je uvedena v teoretické části, konkrétně na obrázku 4 zjistíme, že se bude jednat o hydrodynamické čerpadlo s oběžným kolem radiálním normálním, tak jak jsem chtěl už při návrhu.

Výpočet příkonu čerpadla:

$$P_e = \frac{1}{\eta} \cdot Q_v \cdot \rho \cdot Y = \frac{1}{0,95} \cdot 0,000967 \cdot 1000 \cdot 17,658 = 17,97 \text{ W}$$

Běžné akumulátorové šroubováky mají výkon přibližně kolem 500 – 1000 W, to bude tedy pro pohon čerpadla bohatě stačit.

Kontrola průměru hřídele (navržený průměr je 19mm)

Materiál hřídele má pevnost dovolenou v krutu $\tau_{Dk}=10\text{MPa}$

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k}, M_k = \frac{P_e}{2\pi n}, W_k = \frac{\pi d^3}{16} \rightarrow d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot \tau_{Dk}}}$$

$$M_k = \frac{P_e}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{17,97}{2 \cdot \pi \cdot 15} = 0,190667 \text{ Nm} = 190,67 \text{ Nmm}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot \tau_{Dk}}} \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 190,667}{\pi \cdot 10}} \geq 2,53 \text{ mm}$$

➔ Navržený průměr hřídele **19mm** vyhovuje.

Výpočet průměru náboje oběžného kola

$d_0 = (1,6 - 1,8)d$, volím střední hodnotu, tedy $1,7d$.

$$d_0 = 1,7d = 1,7 \cdot 20 = 34 \text{ mm}$$

Výpočet unášivé (obvodové) rychlosti

$$Y = \psi \frac{u_2^2}{2} \rightarrow u_2 = \sqrt{\frac{2Y}{\psi}}, \psi = (0,9 - 1,1), \text{ volím } \psi = 1,1$$

$$u_2 = \sqrt{\frac{2Y}{\psi}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 17,658}{1,1}} = 5,66617 \text{ m/s}$$

Výpočet velkého průměru kola

$$u_2 = \pi \cdot D_2 \cdot n \rightarrow D_2 = \frac{u_2}{\pi \cdot n} = \frac{5,66617}{\pi \cdot 15} = 0,120 \text{ m} = 120 \text{ mm}$$

Určení velkého průměru sacího hrdla

Průměr D_0 volím 45 mm. Činím tak z důvod optimalizace výstupních parametrů.

Určení průměru, na kterém se nacházejí vstupní hrany oběžných lopatek

Místo jedna je vidět na obrázku 10.

Průměr D_1 volím, z důvodu konstrukčního zjednodušení, stejný jako průměr D_0 .

Výpočet rychlosti v místě vstupu do oběžného kola

$$1,1Q_v = \frac{\pi}{4}(D_0^2 - d_0^2) * c_0 \rightarrow c_0 = \frac{1,1Q_v}{\frac{\pi}{4}(D_0^2 - d_0^2)}$$

$$c_0 = c_0 = \frac{1,1Q_v}{\frac{\pi}{4}(D_0^2 - d_0^2)} = \frac{1,1 \cdot 0,000967}{\frac{\pi}{4}(0,045^2 - 0,034^2)} = 1,5585 \text{ m/s}$$

Výpočet absolutní rychlosti na vstupu do kanálu (v místě 1 – místo 1 patrné z obrázku 10)

Rychlost v místě 1 c_1 volím stejnou jako rychlost c_0 , tedy $c_1 = 1,5585 \text{ m/s}$. Činím tak z důvodu konstrukčního zjednodušení.

Výpočet úhlu sklonu relativní rychlosti na vstupu (v místě 1 – místo 1 patrné z obrázku 10)

$$u_1 = \pi \cdot D_1 \cdot n = \pi \cdot 0,045 \cdot 15 = 2,12 \text{ m/s}$$

$$\tan \beta_1 = \frac{c_1}{u_1} = \frac{1,5585}{2,12} = 0,735141 \rightarrow \beta_1 = 36,32^\circ$$

Výpočet šířky kanálu na vstupních hranách oběžných lopatek

$$1,1Q_v = c_1 \cdot \pi \cdot b_1 \cdot D_1 \cdot k_1, k_1 \text{ volím } 0,8$$

$$b_1 = \frac{1,1Q_v}{c_1 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot k_1} = \frac{1,1 \cdot 0,000967}{1,5585 \cdot \pi \cdot 0,045 \cdot 0,8} = 0,006m = 6mm$$

Šířku kanálu na vstupních hranách oběžných lopatek volím z konstrukčních důvodů **b₁=8mm**.

Určení šířky kanálu na výstupních hranách oběžných lopatek

Z důvodu zjednodušení výroby kola volím šířku kanálu na výstupní hraně oběžných lopatek **b₂** stejnou jako šířku **b₁**, tedy **b₂=8 mm**.

Výpočet unášivé složky absolutní rychlosti na výstupu (v místě 2 – patrné z obrázku 10)

$$Y = (c_{u2} \cdot u_2 - c_{u1} \cdot u_1), \text{ složka } c_{1u} \cdot u_1 = 0, \text{ jelikož } \alpha_1 = 90^\circ$$

$$c_{u2} = \frac{Y}{u_2} = \frac{17,658}{5,66617} = 3,1164 \text{ m/s}$$

Určení meridiánové složky absolutní rychlosti na výstupu (v místě 2 – patrné z obrázku 10)

Pro zjednodušení volím **c₀=c₁=c_{m2}**, tedy **c_{m2}=1,5585 m/s**

Výpočet úhlu sklonu relativní rychlosti na výstupu (v místě 2 – patrné z obrázku 10)

$$\tan \beta_2 = \frac{c_{m2}}{u_2 - c_{u2}} = \frac{1,5585}{5,66617 - 3,1164} = 0,61123$$

$$\rightarrow \beta_2 = 31,43^\circ$$

Určení počtu oběžných lopatek na kole

Z tabulky 2 vyplývá, že pro kolo radiální normální (druhý sloupec zleva) je počet lopatek **z** v rozmezí od 8 do 9. Já volím počet lopatek **z=8**.

Radiální					
n	30 až 50	50 až 80	80 až 150	150 až 220	220 až 300
z	10 až 9	9 až 8	8 až 7	7	6
σ	0,06 až 0,09	0,09 až 0,14	0,14 až 0,26	0,26 až 0,38	0,38 až 0,52
Diagonální			Axiální		
n	300 až 400	450 až 600	600 až 800	800 až 1000	nad 1000
z	6 až 5	5	5 až 4	4 až 3	3 až 2
σ	0,52 až 0,78	0,78 až 1,04	1,04 až 1,4	1,4 až 1,73	nad 1,73

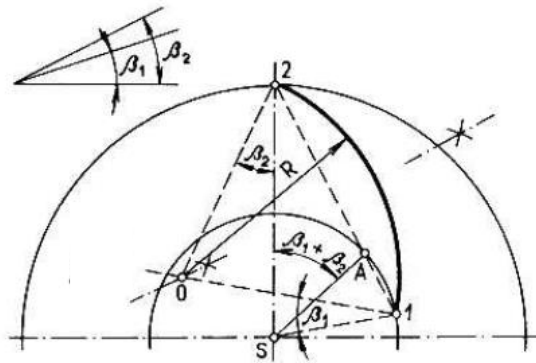
Tabulka 2 - Tabulka určující počet oběžných lopatek [1]

6 Tvorba modelů jednotlivých dílců, tvorba modelu sestavy

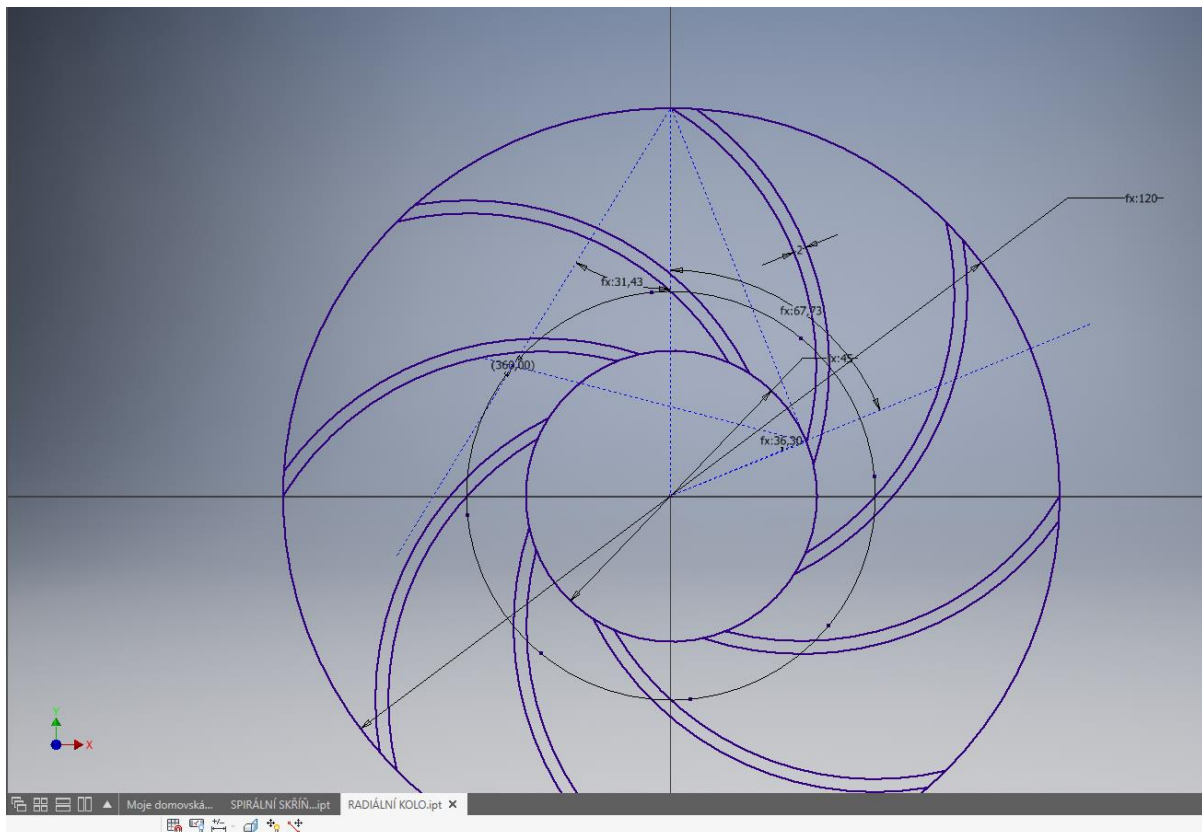
Pro tvorbu modelů dílců a sestavy jsem využil program Autodesk Inventor 2019.

6.1 Tvorba modelu oběžného kola

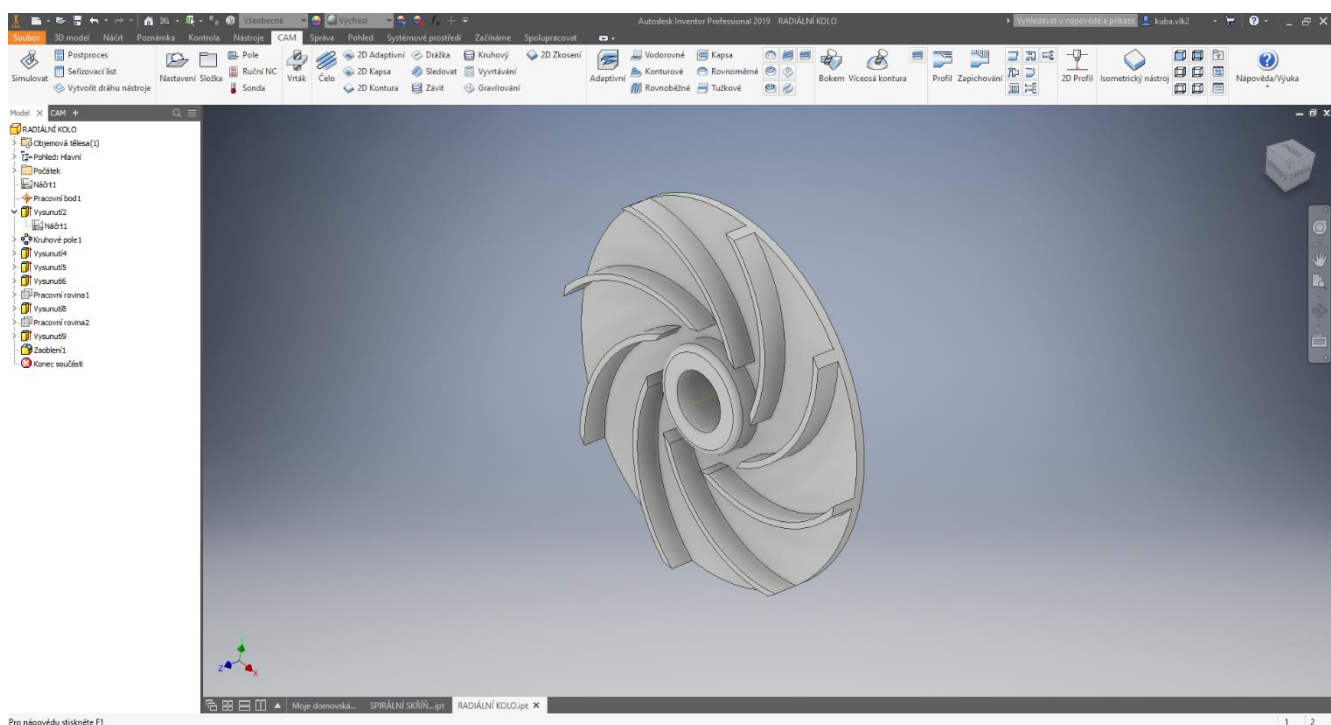
Nejsložitější bylo zkonstruovat lopatku. Při konstrukci lopatky jsem se řídil postupem z učebnice [1]



Obrázek 11 - Postup konstrukce lopatky oběžného kola



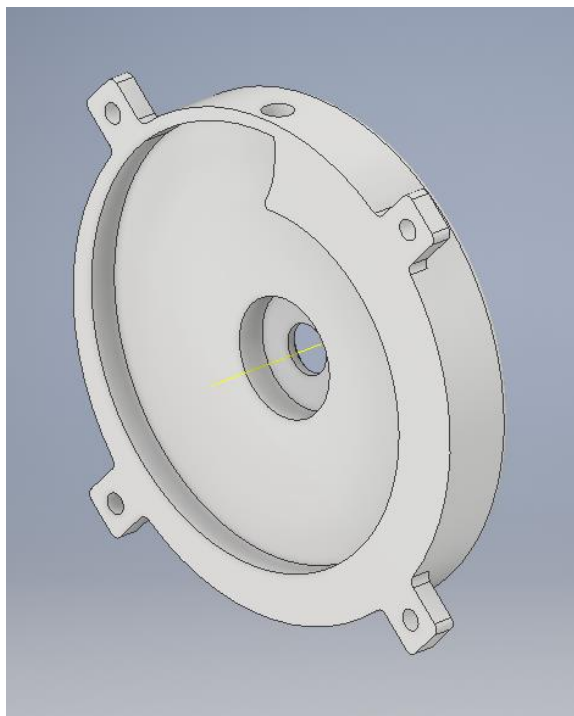
Obrázek 12 - Konstrukce lopatky oběžného kola v programu Autodesk Inventor 2019



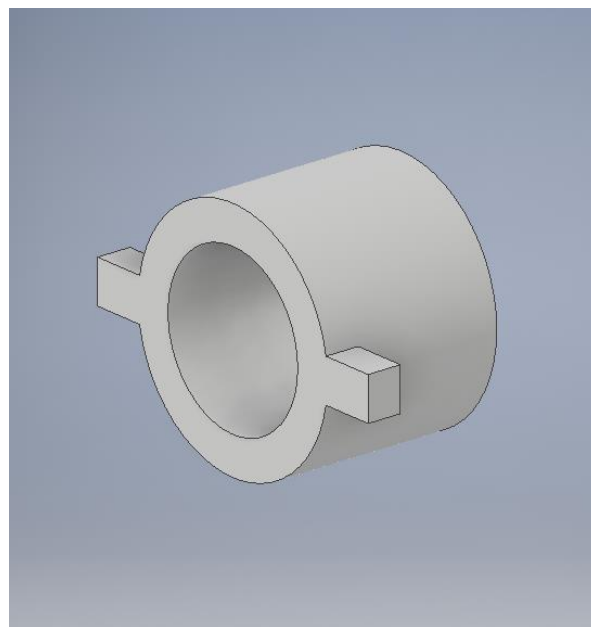
Obrázek 13 – Hotový model oběžného kola

6.2 Model spirální skříně čerpadla

Z důvodu zjednodušení tisku je spirální skříň složená ze dvou částí. Ze spirální skříně a nástrčného pouzdra pro vedení hřídele.

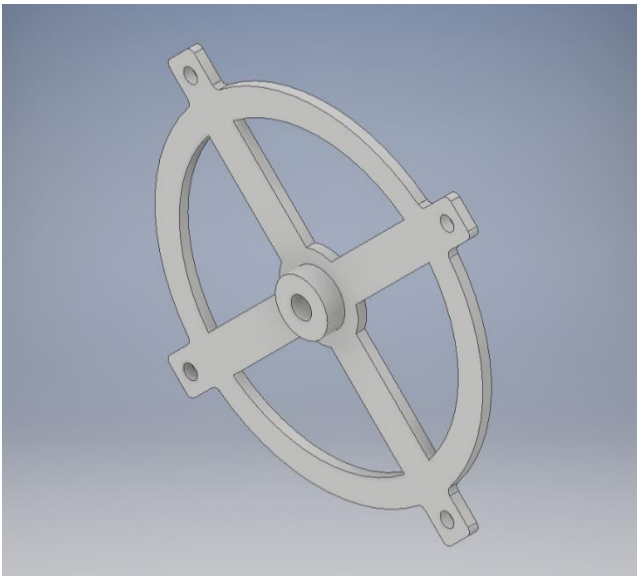


Obrázek 15 - Model spirální skříně

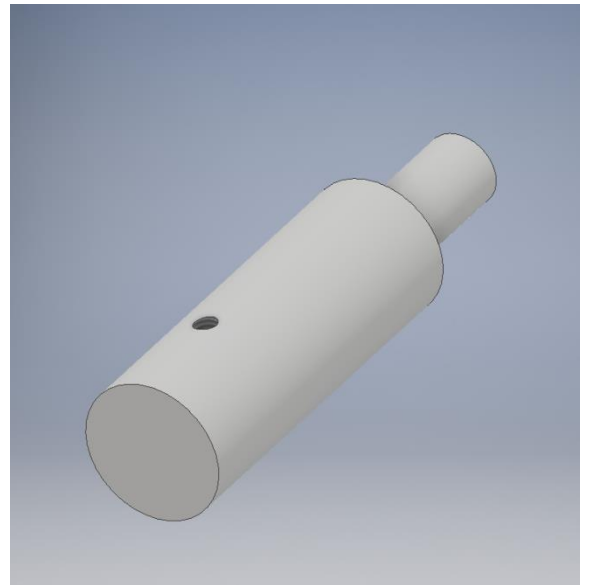


Obrázek 14 - Model nástrčného pouzdra

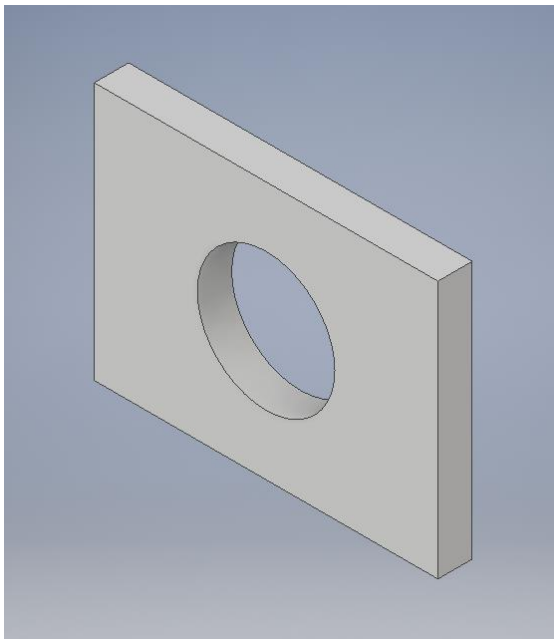
6.3 Modely ostatních dílců



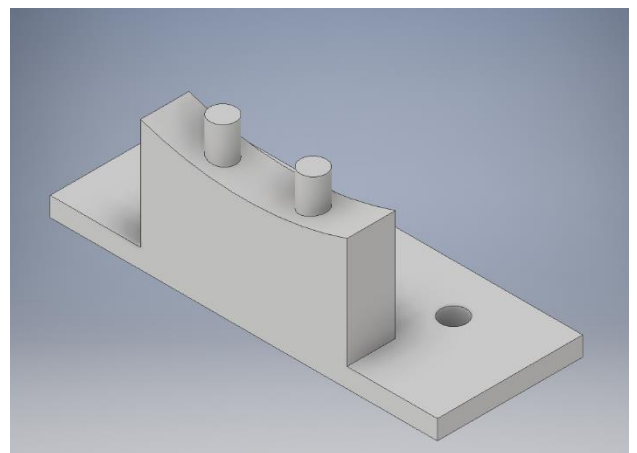
Obrázek 17 - Model předního krytu



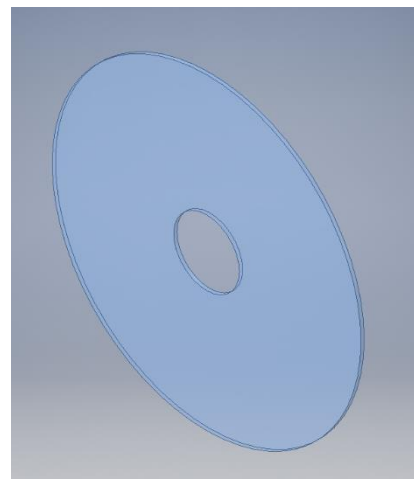
Obrázek 16 - Model hřídele



Obrázek 19 – Model podložky



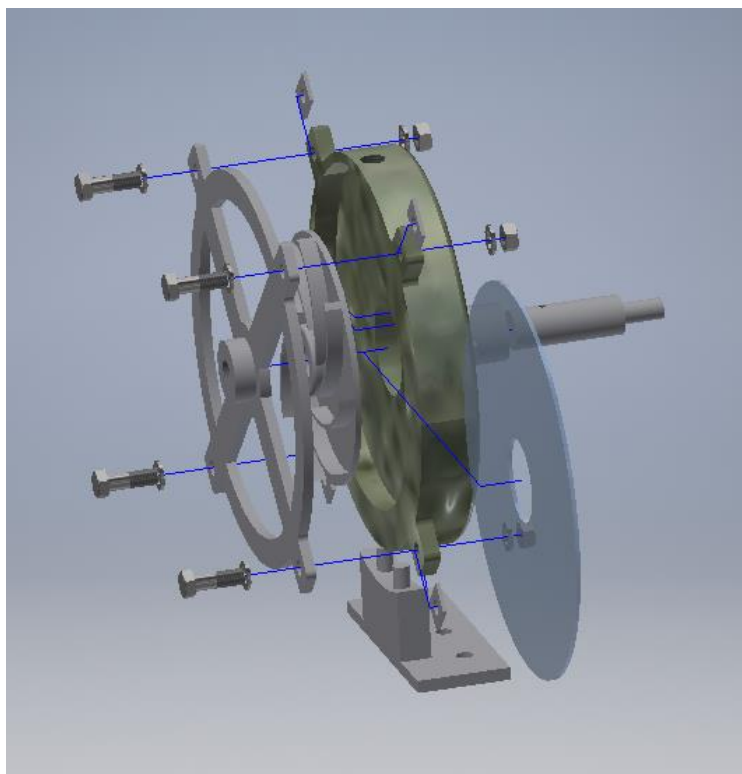
Obrázek 18 - Model podstavce



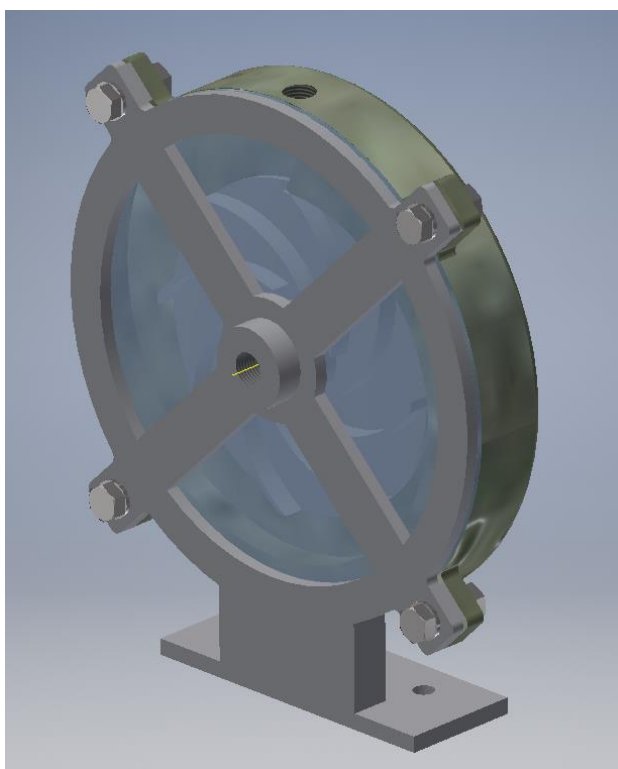
Obrázek 20 – Model plexiskla

6.4 Tvorba modelu sestavy čerpadla

Ke spojení jednotlivých dílců bylo použito normalizovaného spojovacího materiálu z obsahového centra aplikace Autodesk Inventor 2019.



Obrázek 21 – Rozpad sestavy čerpadla



Obrázek 22 – Sestava čerpadla

7 Výroba jednotlivých dílců

7.1 Výroba oběžného kola

Nejdříve jsem chtěl oběžné kolo vyrobít na CNC stroji z leteckého hliníku, který je lehký a zároveň má dobré mechanické vlastnosti. Jelikož se mi ale podařilo sehnat kvalitní materiál na 3D tiskárnu, který by měl při pracovních podmínkách čerpadla vydržet, rozhodl jsem se kolo vytisknout na 3D tiskárně. Všechny ostatní dílce, krom hřídele, budou také tisknuty na 3D tiskárně, bude tedy i vhodnější, když oběžné kolo bude také z plastu. Navíc tisknutí je mnohem méně náročnější a levnější než výroba kola na CNC stroji.

Materiál, z kterého je kolo vyrobené: PETG

Tiskárna, na které bylo vytištěno: Průša MK2.5S



Obrázek 23 - Hotové oběžné kolo

7.2 Výroba spirální skříně

Obě části spirální skříně byly vytištěny na školní 3D tiskárně a následně sesazeny a slepeny. Závit, který zajišťuje upevnění trubice pro odvod vody je vyříznut ručním závitníkem.

Materiál, z kterého je skříně vyrobena: 1,75 PLA

Tiskárna, na které byla vytištěna: Easy3D Maker od firmy Factories

7.3 Výroba ostatních součástí

Hřídel – hřídel je vysoustružena na soustruhu TOS Trenčín z plastového dřeva

Podstavec – vytisknut na 3D tiskárně Easy3D Maker z materiálu 1,75 PLA

Podložky – vytisknuty na 3D tiskárně Easy3D Maker z materiálu 1,75 PLA

Přední kryt – vytisknut na 3D tiskárně Easy3D Maker z materiálu 1,75 PLA. Závit, který zajišťuje upevnění trubice pro přívod vody je vyříznut ručním závitníkem.

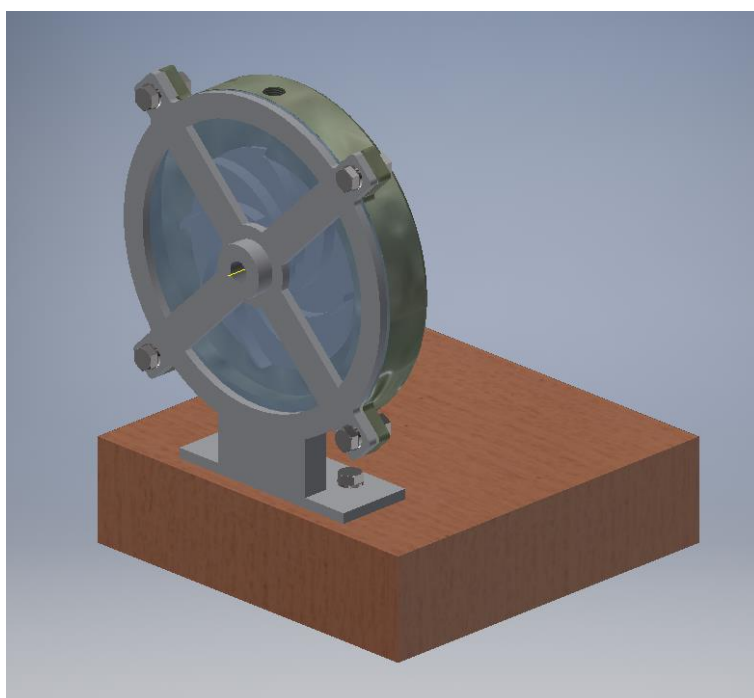
Plexisklo – je vyřezáno z koupeného polotovaru 1000x500 mm od firmy TITAN – multiplast s.r.o, materiál Polymethylmethakrylát (PMMA)

8 Sestavení čerpadla

Čerpadlo jsem sestavoval doma v dílně.

Postup sestavení:

1. Připevnění oběžného kola na hřídel pomocí šroubu.
2. Připevnění podstavce ke spirální skříni pomocí lepidla.
3. Vsunutí hřídele s oběžným kolem do spirální skříně.
4. Přikrytí plexisklem.
5. Zakrytování předním krytem a spojení krytu se spirální skříni pomocí šroubů a matic.
6. Připevnění hadiček pro přívod a odvod vody.
7. Připevnění celého čerpadla na dřevěný podstavec pomocí šroubů a matic.



Obrázek 24 - Hotový model čerpadla usazený na dřevěném podstavci

9 Využití modelu při výuce

Model čerpadla je využíván jako učební pomůcka. Při výuce mi pan učitel dovolil mým spolužákům demonstrovat, jak čerpadlo funguje. Zároveň jsem se jim na modelu snažil vysvětlit celou problematiku lopatkových strojů a hydrodynamických čerpadel. Jejich ohlasy byli kladné, což mě potěšilo. Někteří mi dokonce sdělili, že po ukázce problematiku chápou více než předtím.

Model plánuji věnovat škole a doufám, že bude žákům i učitelům v hodinách pomáhat.

10 Závěr

Zařízení, které se mi podařilo navrhnout by mohlo zjednodušit výuku pro učitele a zároveň by žákům mohlo pomoci při pochopení problematiky lopatkových strojů. Jeho konstrukce je provedena tak, aby bylo co nejlépe vidět, jak čerpadlo pracuje.

Další výzvou pro mě je navrhnout, spočítat a zkonstruovat čerpadlo, které už nebude pouze zjednodušenou učební pomůckou, ale plnohodnotným pomocníkem, který by se v průmyslu uchytil.

Dále se mi také možná povedlo zaplnit díru na trhu s učebními pomůckami. Funkční model hydrodynamického čerpadla se mi totiž na trhu, alespoň na českém, najít nepodařilo.

Bibliografie

1. SKOPAL, Vlastimil, Mojmír HOFÍREK a Jindřich ADÁMEK. *Stavba a provoz strojů IV: konstrukční uspořádání, provoz a údržba: učební text pro 4. ročník středních průmyslových škol strojnických*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1982.
2. VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky pro SPŠ strojnické: učební text*. Praha: SNTL, 1983.
3. *Charakteristika pojmu učební pomůcky* [online]. Praha, 2013,2 [cit. 2020-03-14]. Dostupné z http://www.kvkskoly.cz/manazer/financovani/Documents/Vyklad_MSMT-vymezeni_pojmu.pdf
4. NEDVĚDOVÁ, Jana. *Multimediální studijní opory učebnice ABACEDA fotbalu*. Hradec Králové, 2007. Diplomová práce (Mgr.). Univerzita Hradec Králové, Pedagogická fakulta, Katedra informatiky a kvantitativních metod FIM UHK. Vedoucí práce Mgr. Jan Sedláček.
5. HRUŠKA, Jan. *Čerpadla - multimediální učební pomůcka* [online]. Ostrava, 2008 [cit. 2020-03-05]. Dostupné z: https://katedry.osu.cz/kpv/cerpadla-jh/Jan_Hruska_MUC.htm. Diplomová práce. Ostravská univerzita, Pedagogická fakulta, Katedra Technické a pracovní výchovy.
6. *Čerpadlo* [online], poslední aktualizace 6. 7. 2018 [cit. 14. 3. 2020], Wikipedie. Dostupné z <https://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cerpadlo>
7. *Rámcový vzdělávací program pro obor vzdělání 23-41-M/01 Strojírenství* [online]. Praha: MŠMT, 2007 [cit. 14. 3. 2020]. Dostupné z: <http://zpd.nuov.cz/RVP/ML/RVP%202341M01%20Strojirenstvi.pdf>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Ruční pístové čerpadlo	10
Obrázek 2 - Membránové čerpadlo	10
Obrázek 3 - Princip lopatkového stroje	11
Obrázek 4 - Tabulka rozdělení hydrodynamických čerpadel	11
Obrázek 5 - Radiální hydrodynamické čerpadlo	12
Obrázek 6 – Skica čerpadla s řešením přívodu vody	14
Obrázek 7 – První skica čerpadla	14
Obrázek 8 - Trubička na odvod kapaliny	15
Obrázek 9 - Trubička na přívod kapaliny	15
Obrázek 10 - Řez oběžným kolem čerpadla, rychlostní trojúhelníky	16
Obrázek 11 - Postup konstrukce lopatky oběžného kola	19
Obrázek 12 - Konstrukce lopatky oběžného kola v programu Autodesk Inventor 2019	19
Obrázek 13 – Hotový model oběžného kola	20
Obrázek 14 - Model nástrčného pouzdra	20
Obrázek 15 - Model spirální skříně	20
Obrázek 16 - Model hřídele	21
Obrázek 17 - Model předního krytu	21
Obrázek 18 - Model podstavce	21
Obrázek 19 – Model podložky	21
Obrázek 20 – Model plexiskla	21
Obrázek 21 – Rozpad sestavy čerpadla	22
Obrázek 22 – Sestava čerpadla	22
Obrázek 23 - Hotové oběžné kolo	23
Obrázek 24 - Hotový model čerpadla usazený na dřevěném podstavci	24

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Náplň učiva předmětu Stavba a provoz strojů	14
Tabulka 2 - Tabulka určující počet oběžných lopatek	18

Přílohy

- Výkresová dokumentace na CD (1ks)