

Koncept tryskového odstředivého hydromotoru

© Ing. Ladislav Kopecký, květen 2017



Obr. 1

Návrh hydromotoru provedeme pro konkrétní typ čerpadla a to „Čerpadlo SIGMA 32-CVX-100-6-6-LC-000-9 komplet s motorem 3 kW“ s těmito parametry:

Číslo produktu:	124009
Výrobce:	SIGMA PUMPY HRANICE
Dopravní výška H max.:	Výtlač H : 61 m
Dopravované množství Q max.:	Průtok Q : 1,75 l/s
Jmenovité napětí:	400V
naše cena bez DPH:	22 470 Kč
naše cena s DPH (21 %):	27 189 Kč

<https://www.cerpadlo-cerpadla.cz/cerpadla-ok/eshop/3-1-POVRCHOVA-CERPADLA/411-4-CVX-bez-motoru/5/4508-Cerpadlo-SIGMA-32-CVX-100-6-6-LC-000-9-komplet-s-motorem-3-kW-AKCE>

Výpočty budeme provádět na základě metodiky zpracované v článku <http://free-energy.xf.cz/teorie/clem.pdf>, případně v dalších článcích v sekci o vynálezech a objevech na mých stránkách. Tuto teorii zde opakovat nebudeme, ale přímo použijeme příslušné vzorce.

Nejdříve vypočítáme celkový průřez trysek. K tomu potřebujeme znát maximální výstupní tlak, který je dán maximální výtlačnou výškou. Ta je $h = 61\text{m}$. Čerpadlo musí překonat hydrostatický tlak p , který je dán vzorcem

$$p = \rho \cdot g \cdot h \quad [\text{Pa}, \text{kg/m}^3, \text{m/s}^2, \text{m}]$$

kde $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ je hustota kapaliny, v našem případě vody, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ je gravitační zrychlení a h je výška v metrech.

$$p = 1000 \cdot 9,81 \cdot 61 = 598,41 \text{ kPa}$$

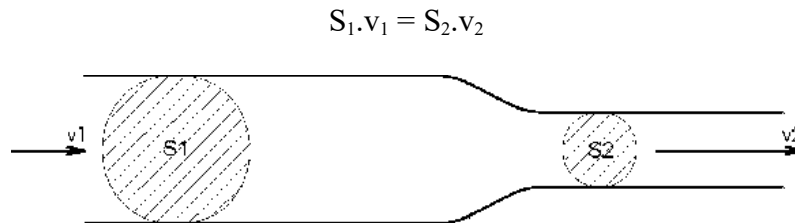
Vyjdeme z Bernoulliovy rovnice:

$$p = \rho \cdot g \cdot h + 1/2 \cdot \rho \cdot v^2$$

Ta obsahuje dva sčítance. První představuje statický tlak a druhá dynamický tlak. Předpokládáme, že potrubí je vodorovné, takže v něm není hydrostatický tlak ($h = 0$) a tlak je tvořen pouze jeho dynamickou složkou. Z takto zjednodušené Bernoulliovy rovnice vypočítáme rychlost v proudění kapaliny při jmenovitém výkonu čerpadla:

$$v = \sqrt{2p/\rho} = \sqrt{2 \cdot 598410/1000} = 34,6 \text{ m/s}$$

Dále budeme pracovat s rovnicí kontinuity:



Obr. 2. Ilustrace rovnice kontinuity

Tato rovnice říká, že při změně průřezu S potrubí se změní rychlost v proudění kapaliny tak, aby průtok $I = S \cdot v$ zůstal stejný. To samozřejmě platí pouze pro nestlačitelné tekutiny, jako je voda. Abychom mohli vypočítat celkový průřez trysek, potřebujeme vědět, jaký je průtok při maximální dopravní výšce, avšak v údajích o čerpadle je uveden maximální průtok. Protože v odstředivém hydromotoru odstředivá síla vytvářejí podtlak, čímž odlehčují čerpadlo, budeme počítat s maximálním průtokem. Jestliže průměr přívodního potrubí je $D = 32 \text{ mm}$, potom jeho průřez S_1 bude

$$S_1 = \pi \cdot D^2/4 = 0,000804247 \text{ m}^2$$

Takže rychlost v_1 proudění kapaliny v přívodním potrubí bude

$$v_1 = I/S_1 = 1,75 \cdot 10^{-3}/0,000804247 = 2,176 \text{ m/s}$$

Nyní již můžeme z rovnice kontinuity vypočítat celkový průřez S_2 trysek:

$$S_2 = S_1 \cdot v_1/v_2 = 0,000804247 \cdot 2,176/34,6 = 0,00005058 \text{ m}^2 = 50,58 \text{ mm}^2$$

Pokud například zvolíme 4 trysky, tak průřez jedné trysky bude $50,58/4 = 12,645 \text{ mm}^2$ a když tryska bude mít kruhový tvar, její průměr d bude:

$$d = \sqrt{(4 \cdot S/\pi)} = \sqrt{(50,58/\pi)} = 4 \text{ mm}$$

Nyní vypočítáme další parametry tryskového hydromotoru. Nejdříve musíme zvolit průměr rotoru. Čím bude průměr větší, tím bude větší krouticí moment a nižší otáčky. Větší průměr také umožní akumulovat více kapaliny. Potřebujeme větší objem nádoby rotoru proto, aby se kapalina stačila roztočit na otáčky blízké otáčkám rotoru, než hydromotor opustí tryskami. Čím vyšší budou otáčky kapaliny, tím bude vyšší tlak v tryskách, protože k tlaku čerpadla přibude tlak způsobený odstředivými silami. Větší průměr rotoru bude také mít větší moment setrvačnosti, což se kladně projeví v klidnějším chodu hydromotoru. Na druhé straně čím větší bude průměr rotoru, tím vyšší budou výrobní náklady. Ohledně průměru rotoru jsou zde protichůdné požadavky, takže zvolíme vhodný kompromis. Zvolme tedy průměr rotoru v oblasti trysek 20 cm. Nejdříve určíme maximální otáčky. Ty budou závislé na výtokové rychlosti v_2 kapaliny z trysek. Přesnou hodnotu spočítat

nedokážeme, ale budeme předpokládat, že bez zátěže se obvodová rychlost motoru bude rovnat výtokové rychlosti. Vzorec pro obvodovou rychlost je

$$v = \omega \cdot R$$

kde $\omega = 2\pi \cdot f$ je úhlová rychlost a R je poloměr rotujícího tělesa.

Odtud získáme vztah pro výpočet úhlové rychlosti

$$\omega = v/R = 34,6/0,1 = 346 \text{ 1/rad}$$

a konečně otáčky n za minutu

$$n = 30\omega/\pi = 30 \cdot 346/\pi = 3304 \text{ ot./min.}$$

Dále můžeme vypočítat krouticí moment a odhadnout výkon hydromotoru. K tomu potřebujeme určit reakční sílu kapaliny vytékající z trysek. Reakční síla je dána časovou změnou hybnosti kapaliny :

$$F = dH/dt = \rho \cdot S_2 \cdot dl/dt \cdot v_2.$$

Takže trysky po obvodu rotoru působí celkovou silou

$$F_2 = \rho \cdot S_2 \cdot v_2^2 = 1000 \cdot 0,00005058 \cdot 34,6^2 = 60,55 \text{ N}$$

Krouticí moment:

$$M = F \cdot R = 60,55 \cdot 0,1 = 6,055 \text{ Nm}$$

Výkon:

$$P = M \cdot \omega = 6,055 \cdot 346 = 2095 \text{ W}$$

Nyní odhadneme příkon hydromotoru. Opět budeme přesně počítat s nepřesnými čísly. Vlivem rotace kapaliny totiž dojde k odlehčení čerpadla, takže tlak kapaliny bude ve skutečnosti menší, tudíž bude i menší příkon hydromotoru. O kolik bude tlak vlivem odstředivé síly menší je těžké odhadnout.

Příkon je dán součinem tlaku a průtoku:

$$P_p = p \cdot I$$

kde průtok I známe (je dán parametry čerpadla) a tlak na primární straně je dán rychlostí průtoku kapaliny, kterou jsme také vypočítali:

$$p = 1/2 \cdot \rho \cdot v^2 = 0,5 \cdot 1000 \cdot 2,176^2 = 2367,5 \text{ Pa}$$

$$P_p = 2367,5 \cdot 0,00175 = 4,14 \text{ W}$$

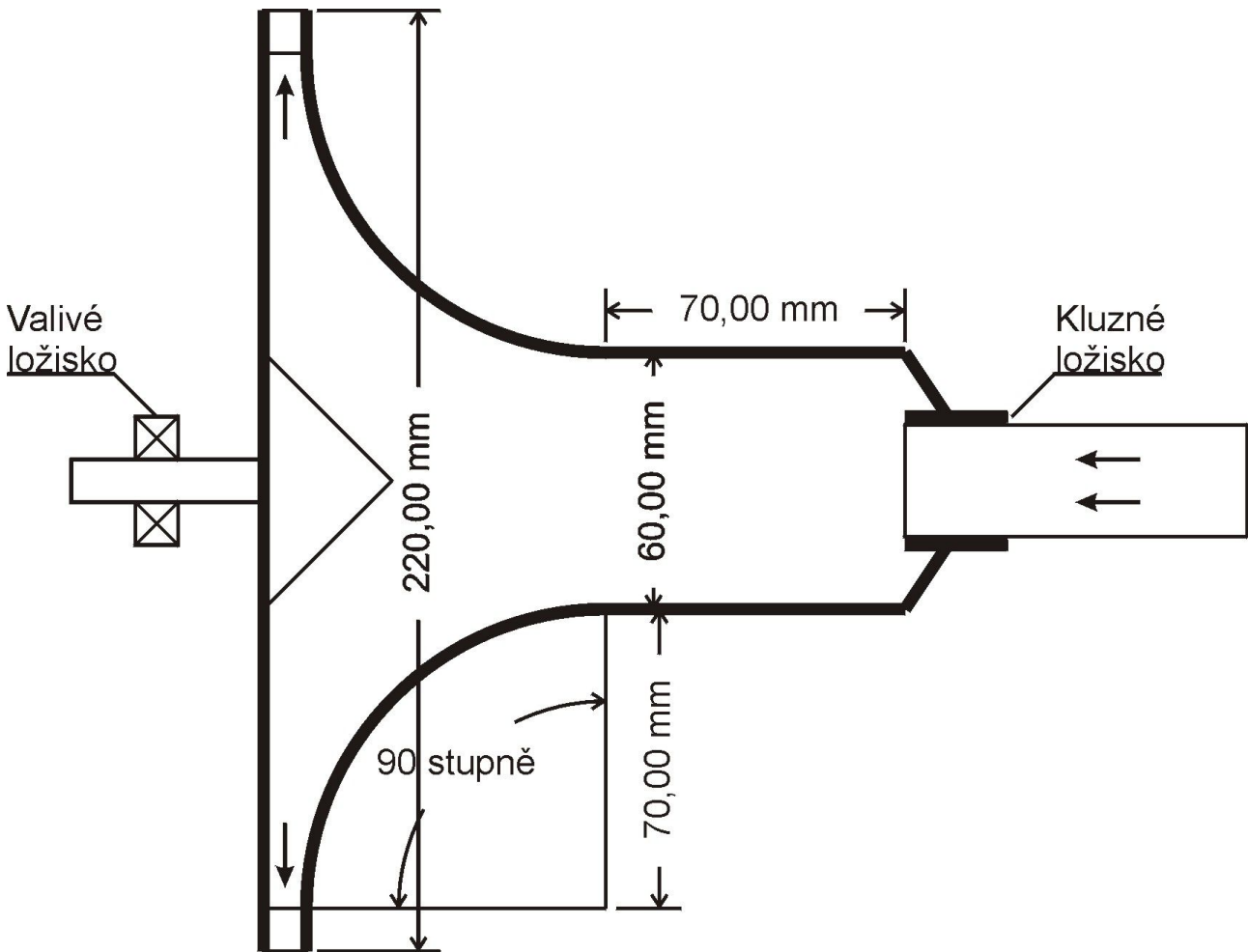
Příkon elektromotoru pohánějícího čerpadlo bude pochopitelně větší. Jednak motor má nějakou účinnost, nějakou účinnost má i čerpadlo a dále jsou zde ztráty v potrubí.

Pokud bychom počítali s tím, že vliv odstředivých sil bude nulový, bude tlak ve vstupním potrubí stejně velký jako v tryskách. V tom případě příkon bude:

$$P_p = 598410 \cdot 0,00175 = 1047 \text{ W.}$$

Ve skutečnosti se příkon bude pohybovat někde mezi těmito dvěma hodnotami.

Nyní se zaměříme na vlastní konstrukci hydromotoru, přičemž cílem bude dosáhnout co největší odstředivé síly.



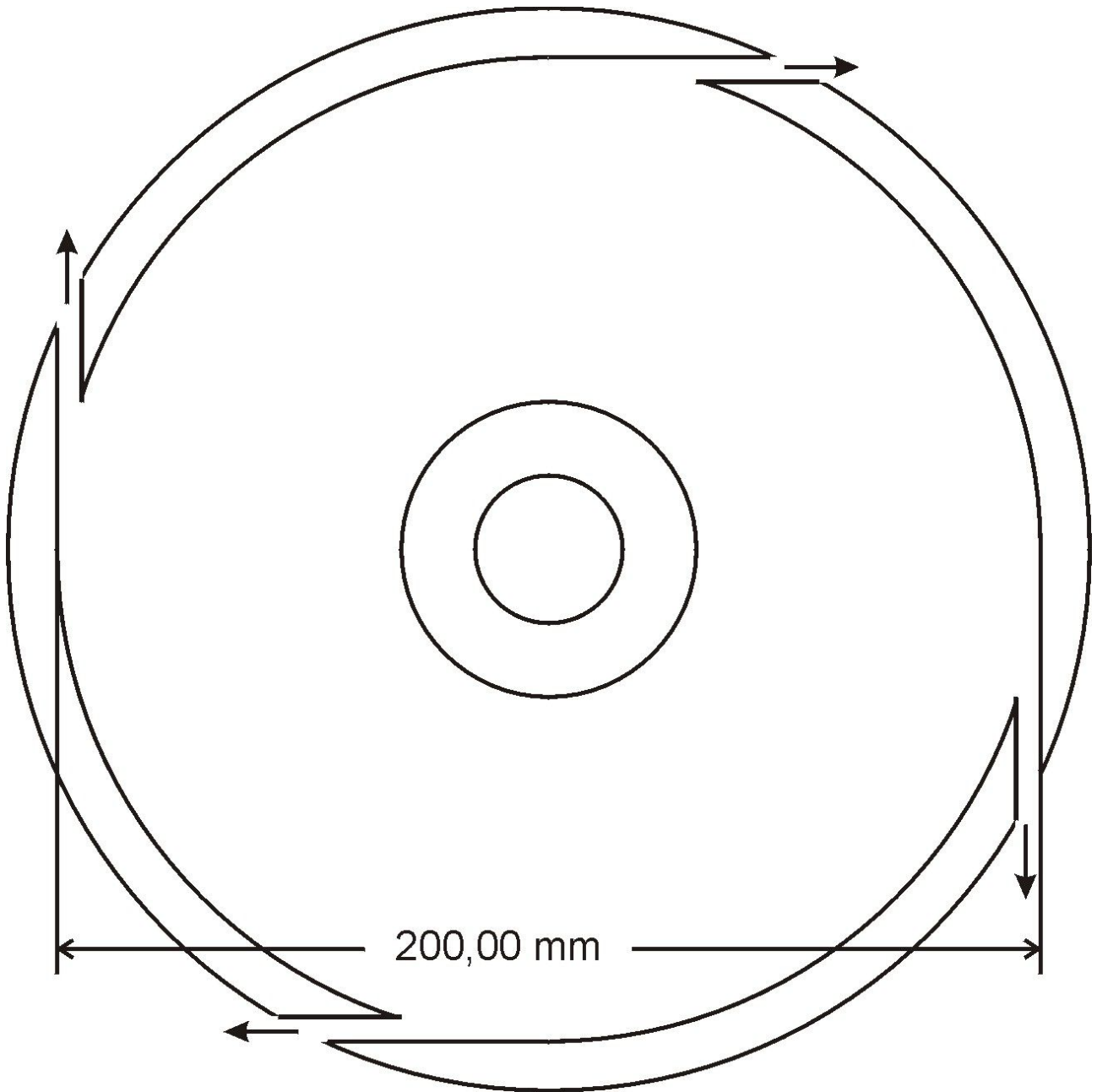
Obr. 3: Koncept hydromotoru – z boku

Na obr. 3 a 4 máme nakreslen koncept hydromotoru, který bude rotovat ve vaně s kapalinou podobně jako původní Clemův motor. Z tohoto důvodu není třeba příliš řešit utěsnění přechodu mezi přívodní trubicí a rotorem. Stačí, když se použije běžné kluzné ložisko, které bude kapalinou zároveň mazáno. Použité médium závisí na provozní teplotě. Clem použil kuchyňský olej, protože teplota média předahovala 100°C. Věřím, že při takto nízkém tlaku (600kPa) můžeme použít vodu. Ve výše zmíněném článku clem.pdf je následující věta:

„Porovnáme-li vztah (12) s Bernoulliiovou rovnicí (5), zjistíme, že tlak na stěny rotujícího válce se rovná dynamickému tlaku kapaliny proudící potrubím rychlostí, která se rovná obvodové rychlosti válce.“

Tato věta říká, že pokud kapalina bude rotovat stejnou rychlostí jako celý hydromotor, bude tlak na stěny rotoru roven tlaku kapaliny vytékající z trysek. To však platí v případě, že nádoba má tvar válce o poloměru R . V našem případě je ale poloměr nádoby proměnlivý a směrem k tryskám se zvětšuje. Jaký to má smysl? Pokud máme nádobu ve tvaru válce, tak tento odstředivý tlak má efekt pouze v místě, kde jsou trysky. V jiných místech nemá žádný účinek. Jestliže je tvar nádoby kónický, odstředivý tlak způsobuje, že tlak na trysky působí nejen radiálně, ale také z boku, čímž dosáhneme vyššího tlaku na trysky. Představte si to tak, jako kdybyste jeli z kopce. V tom případě dosáhnete zrychlení působením gravitační síly a u hydromotoru je to podobné, jen gravitaci

nahradíme odstředivým zrychlením. Tolik k vysvětlení, proč jsme použili kónický tvar nádoby. Původně jsem chtěl použít tvar kuželu, ale potom mě napadlo, že výhodnější bude zvyšovat postupně sklon po části kružnice.



Obr. 3: Koncept hydromotoru – zepředu