

PATENTOVÝ SPIS

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2009-832**
(22) Přihlášeno: **10.12.2009**
(40) Zveřejněno: **06.04.2011**
(Věstník č. 14/2011)
(47) Uděleno: **23.02.2011**
(24) Oznámení o udělení ve Věstníku: **06.04.2011**
(Věstník č. 14/2011)

(11) Číslo dokumentu:

302 361

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

F03B 5/00 (2006.01)

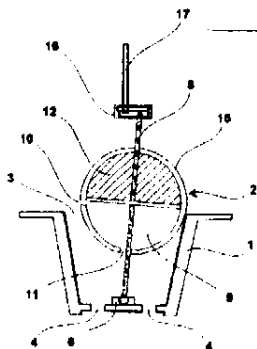
F03B 11/04 (2006.01)

(56) Relevantní dokumenty:
CZ 2007-520 A; CZ 14104 U; CZ 284483 B.

- (73) Majitel patentu:
Ústav termomechaniky AV ČR, v.v.i., Praha 8, CZ
- (72) Původce:
Sedláček Miroslav Ing. CSc., Praha 5, CZ
Maršík František Prof. Ing. DrSc., Praha 8, CZ
Hostin Stanislav Doc. Ing. CSc., Boleráz, SK
- (74) Zástupce:
Rott, Růžička & Guttman Patentové, známkové a
advokátní kanceláře, Ing. Jiří Andera, Vinohradská 37,
Praha 2, 12000

(54) Název vynálezu:
Precesní kapalinová turbína

- (57) Anotace:
Precesní kapalinová turbína zahrnuje stator (1) se vstupním otvorem (3) kapaliny a s výstupním otvorem (4) kapaliny. Ve statoru (1) je na přídržovacím zařízení (6) uložen odvalovací rotor (2), tvořený tělesem rotačního tvaru. Přídržovací zařízení (6) je upraveno pro umožnění krouživého odvalování rotoru (2) po vnitřní stěně statoru (1). V odvalovacím rotoru (2) je uspořádána alespoň jedna komora (9) s alespoň jedním uzavíratelným plnicím otvorem (10) a s alespoň jedním uzavíratelným vypouštěcím otvorem (11).



CZ 302361 B6

Precesní kapalinová turbína

Oblast techniky

Vynález se týká precesní kapalinové turbíny, zahrnující stator se vstupním otvorem kapaliny a s výstupním otvorem kapaliny, přičemž ve statoru je na přidržovacím zařízení uložen odvalovací rotor, tvořený tělesem rotačního tvaru, a přidržovací zařízení je upraveno pro umožnění krouživého odvalování rotoru po vnitřní stěně statoru.

Dosavadní stav techniky

Jsou známy tekutinové stroje, které mají stator se vstupním otvorem kapaliny a s výstupním otvorem kapaliny a ve statoru je na přidržovacím zařízení uložen bezlopatkový odvalovací rotor, tvořený tělesem rotačního tvaru. Přidržovací zařízení je upraveno pro umožnění krouživého odvalování rotoru po vnitřní stěně statoru. Po přivedení tekutiny do statoru proudící tekutina způsobí, že se rotor dotkne vnitřní stěny statoru a začne se po vnitřní stěně statoru krouživě odvalovat. Alespoň část hřídele rotoru tedy koná precesní pohyb. Takové stroje se proto také někdy nazývají precesní stroje.

Z českého patentu 284483 a z Evropského patentu EP1015760 B1 je znám odvalovací tekutinový stroj, sestávající ze zásobníku tekutiny, opatřeného přítokem a nejméně jednou výstupní tryskou, přičemž v oblasti výstupní trysky je na přidržovacím zařízení uložen nejméně jeden odvalovací rotor, tvořený tělesem rotačního tvaru. Odvalovací rotor je uložen tak, že se může volně odvalovat podél vnitřní stěny výstupní trysky.

Na stejném principu pracují i tekutinové stroje podle českého užitného vzoru 7606 a Evropského patentu EP1082538 B1, podle českého patentu 294708, podle českého užitného vzoru 17908 a českého užitného vzoru 18890.

Společnou nevýhodou všech známých odvalovacích, resp. precesních strojů/turbín je, že hmotnost rotoru je odlišná od hmotnosti kapaliny vytlačené rotorem, který je v kapalině zčásti nebo úplně ponořen. Proto dochází ke ztrátám na kroutícím momentu otáčejícího se a precesně se pohybujícího rotoru. Cílem řešení je zabezpečit odpovídající hmotnost rotoru pro různé výšky spádu a tím minimalizovat ztráty vznikající v důsledku odstředivých sil rotujícího a precesně se pohybujícího rotoru.

Podstata vynálezu

Uvedený problém řeší precesní kapalinová turbína, zahrnující stator se vstupním otvorem kapaliny a s výstupním otvorem kapaliny, přičemž ve statoru je na přidržovacím zařízení uložen odvalovací rotor, tvořený tělesem rotačního tvaru, a přidržovací zařízení je upraveno pro umožnění krouživého odvalování rotoru po vnitřní stěně statoru, podle vynálezu, jehož podstata spočívá v tom, že v odvalovacím rotoru je uspořádána alespoň jedna komora s alespoň jedním uzavíratelným plnicím otvorem a s alespoň jedním uzavíratelným vypouštěcím otvorem.

Výhodou precesní kapalinové turbíny podle vynálezu je, že hmotnost jejího rotoru lze snadno přizpůsobit momentální výšce spádu kapaliny v daném místě a tím minimalizovat ztráty vznikající v důsledku odstředivých sil rotujícího a precesně se pohybujícího rotoru.

Podle výhodného provedení je v odvalovacím rotoru nad sebou uspořádáno několik komor a každá je opatřena plnicím otvorem a vypouštěcím otvorem.

Podle dalšího výhodného provedení je v odvalovacím rotoru prostor mimo komory dutý a utěsněný.

5 Podle jiného výhodného provedení je v odvalovacím rotoru prostor mimo komory vyplněný tlumící hmotou.

Podle dalšího výhodného provedení přídržovací zařízení zahrnuje kardan.

10 Podle ještě dalšího výhodného provedení z rotoru vyčnívá na obě strany hřídel, přičemž hřídel je svým jedním koncem uložena v přídržovacím zařízení a svým opačným koncem je uložena v klikovém mechanismu.

Přehled obrázků na výkresech

15 Na obr. 1 je schematicky zobrazena precesní kapalinová turbína podle vynálezu, která sloužila k testování účinnosti. Na obr. 2 a 3 jsou různá provedení rotoru. Na obr. 4 je další provedení precesní kapalinové turbíny podle vynálezu a na obr. 5 jiné provedení rotoru k této turbíně. Na obr. 6 jsou schématicky znázorněny silové poměry při proudění kapaliny statorem a při obtékání rotoru.
20 Na obr. 7 je zobrazen graf porovnání kvalitativní teorie.

Příklady provedení

25 Precesní kapalinová turbína podle obr. 1 sloužila k testování účinnosti zařízení a má stator 1 ve tvaru komolého kužele, který je na čelní straně opatřen vstupním otvorem 3 kapaliny o poloměru $R_1 = 67.2$ mm. Spád vody při testování byl $H = 3.6$ m.

30 Stator 1 má v plášti několik výstupních otvorů 4 kapaliny. Před vstupním otvorem 3 kapaliny je uspořádán rozvaděč 13, který slouží k usměrňování přiváděné kapaliny.

35 Ve statoru 1 je na hřídeli 8 a přídržovacím zařízení 6 uložen odvalovací rotor 2 ve tvaru koule o poloměru $R_1 = 62.4$ mm. Odvalovací rotor 2 může mít jakýkoliv rotační tvar. Přídržovací zařízení 6 může být tvořeno libovolným známým mechanismem, který umožní krouživé odvalování rotoru 2 po vnitřní stěně statoru 1. U provedení z obr. 1 je přídržovací zařízení 6 tvořeno kardanem 7, na kterém je pomocí hřídele 8 zavěšen rotor 2.

40 Nad statorem 1 je uspořádán generátor 14, na jehož vstupní hřídel 17 je přes kardan 7 přenášen krouticí moment od rotoru 2.

V rotoru 2 je uspořádána komora 9 s plnicím otvorem 10 a vypouštěcím otvorem 11. Oba otvory 10, 11 jsou opatřeny schématicky znázorněným uzávěrem, který může být ovládán jak manuálně, tak i dálkově, například elektromagneticky.

45 Na obr. 2 je další provedení odvalovacího rotoru 2, který má sice rotační ale nekulový tvar a komora 9 s plnicím otvorem 10 a vypouštěcím otvorem 11 tvoří pouze část vnitřního objemu rotoru 2. Prostory 15 mimo komoru 9 jsou duté a utěsněné. Rotor 2 má hřídel 8.

50 Na obr. 3 je další provedení odvalovacího rotoru 2, podobné provedení z obr. 2. Liší se tím, že komory 9 s plnicím otvorem 10 a vypouštěcím otvorem 11 jsou dvě a jsou uspořádány nad sebou a prostory 15 mimo komoru 9 jsou vyplněny tlumící hmotou 12, která je lehčí než pracovní kapalina turbíny.

55 Na obr. 4 je příklad provedení precesní kapalinové turbíny, u které kapalina proudí opačným směrem než u provedení z obr. 1. Vstupní otvor 3 kapaliny je tedy na horní straně statoru 1 a

výstupní otvory 4 jsou na spodní straně statoru 1. Odvalovací rotor 2 je uložen na přídržovacím zařízení 6 a je pouze částečně zanořen v pracovní kapalině. Rotor 2 má tvar koule. Přídržovací zařízení 6 je u tohoto provedení tvořeno jednoduchým kloubem s možností úhlového vychýlení hřídele 8 všemi směry. Hřídel 8 je přes klikový mechanismus 16 spojena se vstupní hřídelí 17 generátoru 14. Klikový mechanismus 16 je upraven tak, aby umožňoval precesní pohyb hřídele 8.

Komora 9 s plnicím otvorem 10 a vypouštěcím otvorem 11 je ve spodní části rotoru 2 a prostor 15 mimo komoru 9 je vyplněný tlumicí hmotou 12, která je lehčí než pracovní kapalina turbíny. Toto provedení je vhodné pro málo zanořené rotory 2, někdy také označované jako „plovoucí“ rotory 2.

Na obr. 5 je příklad provedení podobný provedení z obr. 4. Liší se pouze provedením rotoru 2. Provedení podle obr. 5 je vhodné pro rotory 2, které jsou více zanořené do pracovní kapaliny, než rotory 2 u provedení z obr. 4. Odvalovací rotor 2 je uložen na neznázorněném přídržovacím zařízení a má oválný rotační tvar. Komora 9 s plnicím otvorem 10 a vypouštěcím otvorem 11 je tentokrát uspořádána v horní části rotoru 2 a prostor 15 mimo komoru 9 je dutý a utěsněný.

Všechny výše popsané precesní turbíny fungují stejným způsobem. Vstupním otvorem 3 se přivádí do statoru 1 kapalina, která ze statoru 1 odtéká výstupními otvory 4. Na obr. 1, 2, 3 a 5 je rotor 2 ve středové poloze, kterou zaujímá, neproudí-li statorem 1 žádná kapalina. Po přivedení kapaliny do statoru 1 se nejdříve hřídel 8 s rotorem 2 nakloní do strany tak, že se rotor 2 dotkne vnitřní stěny statoru 1 a následně se začne rotor 2 po vnitřní stěně statoru 1 krouživě odvalovat. Hřídel 8 rotoru 2 tedy koná precesní pohyb. Na obr. 4 je znázorněna situace, kdy rotor 2 i s hřídelí 8 jsou nakloněny do strany z důvodu uložení hřídele 8 v klikovém mechanismu 16 a rotor 2 se dotýká vnitřní stěny statoru 1, i když statorem 1 neproudí žádná kapalina. Optimální hmotnost rotoru 2 se před uvedením precesní turbíny do provozu nastaví tak, že se otevře plnicí otvor 10 a do komory 9 se napustí potřebné množství kapaliny. Poté se plnicí otvor 10 uzavře. Pro jednoduchost se samozřejmě používá provozní kapalina, která pohání turbínu, avšak lze použít jakékoliv tekuté či sypké médium. K případnému vypouštění média z komory 9 slouží vypouštěcí otvor 11.

Silové poměry při proudění kapaliny statorem 1 a při obtékání rotoru 2 jsou schématicky znázorněny na obr. 6. Konkrétní tvar pláště rotoru 2 v interakci se statorem 1 precesní tekutinové turbíny (může samozřejmě pracovat i v tlakovém spádu plynů) vychází z teoretických východisek proudění vazkých tekutin. Zvlášť výhodná se jeví alternativní formulace bilance hybnosti ve vazké tekutině formulovaná pomocí tzv. Croccovy věty. Tato věta explicitně vyjadřuje nezastupitelnou roli vířivosti $\mathbf{w} = \text{rot } \mathbf{v}$ proudového pole pro generaci silové interakce mezi tekutinou a obtékaným tělesem. Silové účinky na každý element tekutiny jsou ve směru úhlové (angular) souřadnice φ , (viz obr. 1) dány vztahem

$$\frac{\partial h_c}{r \partial \varphi} - T \frac{\partial s}{r \partial \varphi} - v \frac{\partial^2 v_\varphi}{(\partial r)^2} = (\mathbf{v} \times \mathbf{w})_\varphi = -v_r w_z = f_\varphi \left[\frac{\text{N}}{\text{kg}} \right] \quad (1)$$

kde

$$h_c = u + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + \phi \left[\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right]$$

je celková energie nějakého materiálového bodu tekutiny. Tekutina pak přes povrchové síly (statický tlak a tření) působí na obtékané těleso. Vnitřní energie $u(T, \rho) = \text{konst.}$, protože jak teplota

Tak i hustota ρ se v případě proudění kapalin (vody) nemění. Dochází k přeměně pouze mechanických energií, tj. energie potenciální $\phi = gL$ na energii tlakovou p/ρ a energii kinetickou $v^2/2$. Je zřejmé, že síla na těleso tak vzniká jen následkem disipativních procesů v mezních (obecně smykových) vrstvách, rovnice (1), které jsou důsledkem velkého gradientu rychlosti $\partial v_\varphi / \partial r$ u stěny obtékaného tělesa (vnitřní kužel, viz obr. 6). Mezní vrstvy existují na tělese jen v důsledku kinematické viskozity ν [m^2/s] a jejich důsledkem je generace vířivosti w_z , jejíž největší složka má směr podélné osy válce (viz obr. 6).

Pro vyvolání vířivosti musí mezikruží tvořit difuzor ve kterém se následkem existence radiální rychlosti v_r stává poloha vnitřního válce nestabilní. Vychýlením válce z osy dochází k nesymetrickému obtékání kuželového válce a ke vzniku vířivosti w_z , která působí na každý element tekutiny uvnitř mezikruží objemovou silou f_φ [N/kg], viz rovnice (1). Velikost objemové síly $f_\varphi = -v_r w_z$ je určena rychlostním polem v prostoru mezi válci. Ve zjednodušené geometrii, viz. obr. 1, jsou rozhodujícími parametry: úhel difuzoru $\arctg \gamma$, sevřený vnitřním povrchem

satoru a povrchem rotoru, poměr poloměrů rotoru a satoru $\eta = \frac{R_1}{R_2}$ a velikostí rychlosti v_{z0} vstupující tekutiny. Hodnota rychlosti v_{z0} je určena tlakovým či výškovým spádem tekutiny. Tekutina v mezikruží pak rotuje takovou rychlostí, která odpovídá rotaci vnitřního kuželového válce úhlovou rychlostí Ω_1 , kterou stanovíme podle vzorce

$$\Omega_1 = \frac{v_{z0}}{R_2 \eta_0 (1 - \eta_0^2)} = \frac{\dot{Q}}{\pi \rho R_2^3 \eta_0 (1 - \eta_0^2)^2} \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right], \quad \text{pro } \eta_0 = \frac{R_1(0)}{R_2}. \quad (2)$$

Neznámou vstupní rychlost v_{z0} můžeme nahradit dobře měřitelným množstvím protékající tekutiny (vody) ze vztahu

$$\dot{Q} = \rho v_{z0} \pi (R_2^2 - R_1^2(0)) = \rho v_{z0} \pi R_2^2 (1 - \eta_0^2) = \rho v_{z0} \pi (R_2^2 - R_1^2(z)) \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

Následkem dotyku s vnitřní stěnou vnějšího válce (o poloměru R_2) dojde k odvalování vnitřního válce odvalovací rychlostí

$$W = \frac{h_0 W_1}{1 - h_0}. \quad (3)$$

Vnitřní objemová síla f_φ [N/kg] působící na tekutiny je kompenzována vnějšími povrchovými silami působícími jak na vnitřní stěnu vnějšího válce tak i na vnější stěnu vnitřního kuželového válce. Právě síla působící na vnitřní pohyblivý válec bude konat práci a bude tak převádět potenciální energii na mechanickou energii rotačního pohybu. Přibližný vztah pro výkon turbíny, jejíž geometrie je uvedena na obr. 1, za předpokladu, že zanedbáváme ztráty vířením vody (v důsledku turbulence a kavitace) má tvar

$$\dot{W} = \frac{4 (\dot{Q} \gamma)^3 L \eta_0^2 (1 - \eta_0) (2 - \eta_0^2 - \eta_0)}{3 (\pi \rho)^2 R_2^5 (1 - \eta_0^2)^8} [\text{W}]. \quad (4)$$

Pro ověření navržené teorie byl použit prototyp odvalovací turbíny podle obr. 1, která má kuželový sator 1, který je na čelní straně opatřen vstupním otvorem 3 kapaliny o poloměru $R_2 = 67.2$ mm. Polovina rotoru 2 ze satoru 1 do rozvaděče 5 (viz obr. 1). Tudíž hodnota geomet-

rického parametru byla $\eta_0 = R_1 / R_2 = 0.93$. Vzhledem k tomu, že teoretické úvahy byly prováděny pro zjednodušenou geometrii válcového statoru a kuželového rotoru, viz. obr. 6, není možno vycházet z geometrické velikosti úhlu $\arg \gamma$, ale je třeba jeho velikost stanovit podle jakéhosi efektivního úhlu difuzoru $\arg \gamma_{ef}$ podle vztahu (2), a to z naměřených otáček $\Omega_1 = 12.9 \text{ rad/s}$ a průtočného množství $\dot{Q} = 6.2 \text{ kg/s}$. Tudiž

$$\gamma = \frac{\pi \rho \Omega_1 R_2^3 \eta_0 (1 - \eta_0^2)^2}{\dot{Q}} = \frac{3.14 \cdot 10^3 \cdot 12.9 \cdot (0.0672)^3 \cdot 0.93 \cdot (1 - 0.93^2)^2}{6.2} = 0.0337, \quad (5)$$

což odpovídá úhlu 2.1° viz obr. 1. Toto je střední úhel pod kterým obtéká kapalina kulový rotor 2.

Pro kulový tvar rotoru 2 nelze vztah (4) pro výpočet výkonu použít přímo (obtěkání koule je pro vysoká Reynoldsova čísla Re matematicky velmi komplikovaný problém) a je třeba vztah upravit i zjednodušit, i za cenu, že má pak více kvalitativní charakter

$$\dot{W} = \xi \frac{\gamma_{ef} R_2^2 \eta_0^6 (4 - \eta_0^2) \Omega_1^2 \dot{Q}}{2(1 - \eta_0^2)^4} = \xi \frac{0.0337 \cdot 0.0672^2 \cdot 0.93^6 \cdot (4 - 0.93^2) \cdot 12.9^2 \cdot 6.2}{2 \cdot (1 - 0.93^2)^4} = 478 \xi \text{ [W]}. \quad (6)$$

V přímém kontaktu s tekutinou je jen část kulové plochy, především proto, že při vyšších číslech Re dochází k nestacionárnímu odtržení proudící tekutiny, a to v případě obtékání koule již v rozmezí úhlů 93° až 130° . Z tohoto důvodu je zaveden empirický koeficient ξ , který je roven 1 v případě laminárního (Stokesova) obtékání. Předpokládáme-li, že je obtékáno jen asi 25 % polokoule vnorené do statoru 1 (což přibližně odpovídá velikosti oblasti přimknutého proudění) lze volit s ohledem na provedený experiment $\xi = 0.23$. Za těchto předpokladů lze výkon zkušební turbíny s ohledem na obecnější výraz (6) stanovit podle konkrétního vzorce

$$\dot{W} = 1.167 \cdot 10^{-3} \cdot n_i^2 \cdot \dot{Q} \text{ [W]}, \quad (7)$$

Poznámka: např. pro $n_i = 123 \text{ ot/min}$ $\dot{W} = 1.167 \cdot 10^{-3} \cdot (123)^2 \cdot 6.2 = 109$

kde n_i je počet otáček rotoru za minutu. Po zohlednění účinnosti elektrické měřicí sestavy byl naměřený mechanický výkon testovací turbíny při průtoku 5.8 až 7.6 l/s v rozmezí 100 až 120 W, přičemž ztráty na potenciální energii způsobené ztrátami v přívodním potrubí nebyly započítány. Porovnání uvedené kvalitativní teorie je ukázáno na obr. 7.

Ideální mechanický výkon proudící vody o průtoku 6,2 l/sec na spádu $H = 3.6 \text{ m}$ je $\dot{W}_{id} = \dot{Q} g H = 6.2 \cdot 9.81 \cdot 3.6 = 219 \text{ W}$.

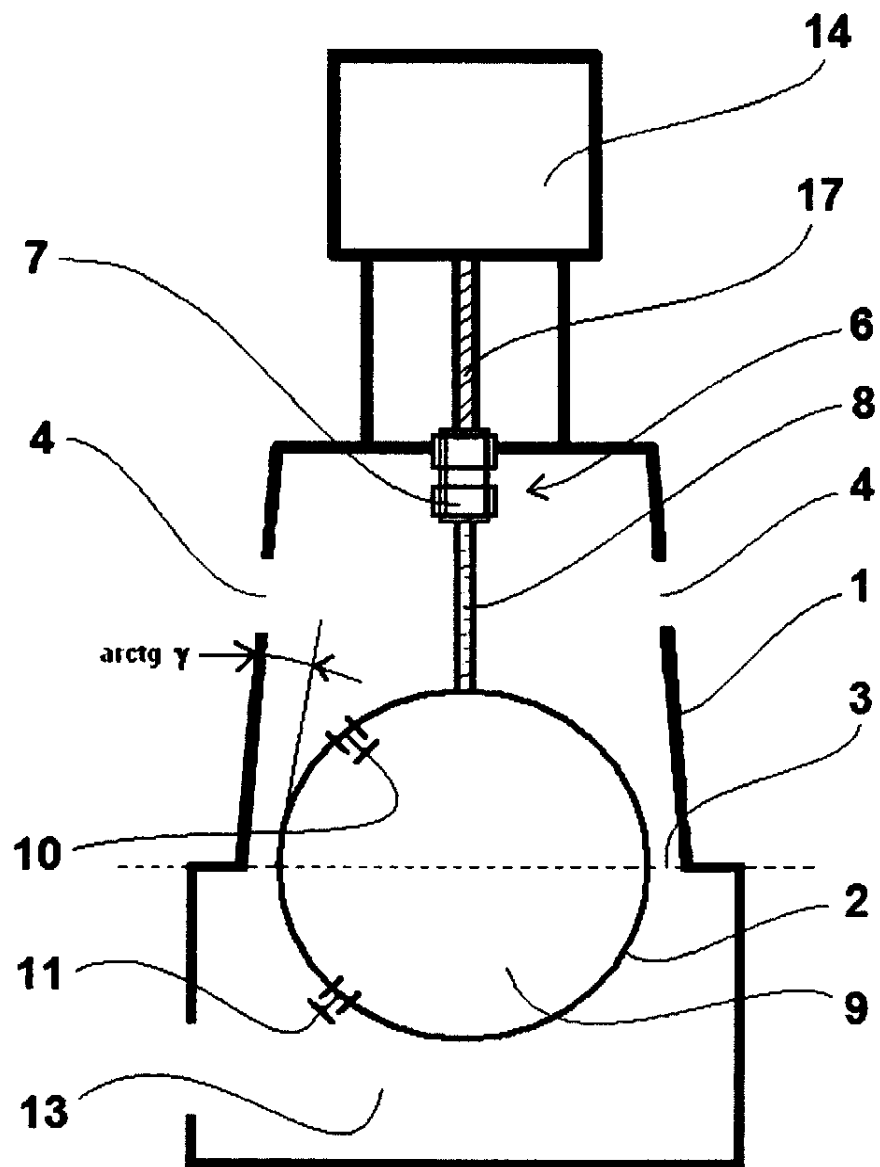
Rozdíl mezi naměřeným výkonem a výkonem teoretickým, viz (6), popř. výkonem ideálním je způsoben jednak zjednodušením geometrickým a zjednodušením při řešení proudových polí (anulární proudění s kuželovým vnitřním válcem) a jednak ztrátami v proudovém poli vlivem odtržení proudu a kavitace a reálnými hydraulickými ztrátami v přívodním potrubí.

PATENTOVÉ NÁROKY

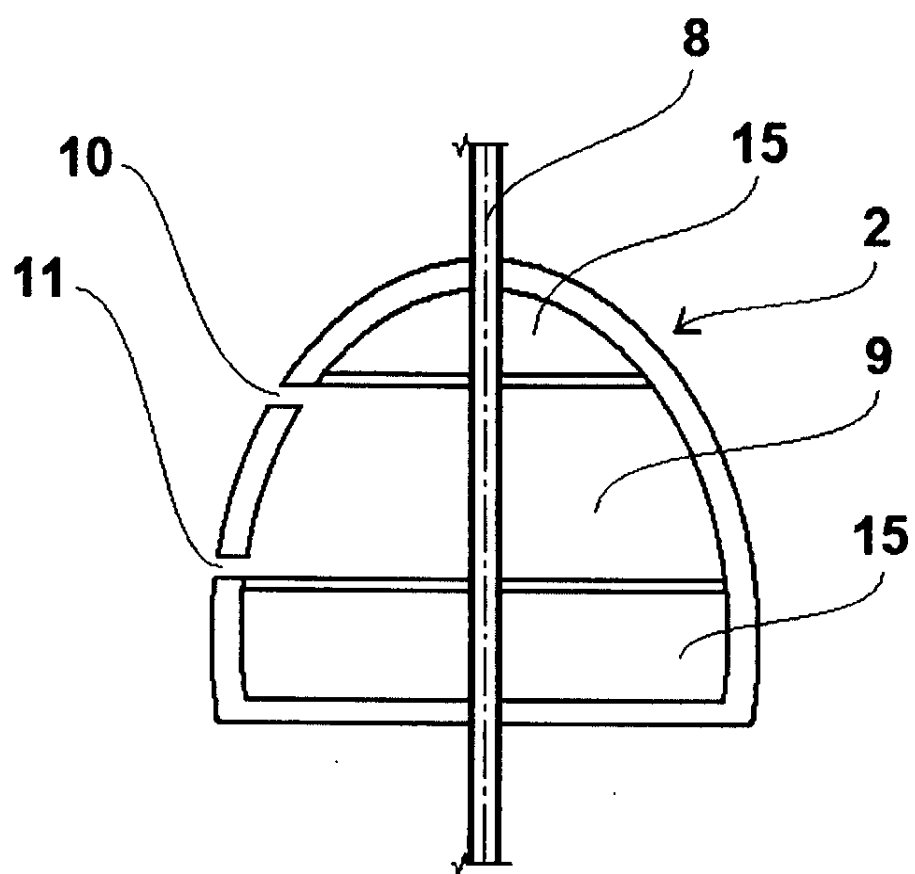
- 5 1. Precesní kapalinová turbína, zahrnující stator (1) se vstupním otvorem (3) kapaliny a s výstupním otvorem (4) kapaliny, přičemž ve statoru (1) je na přidržovacím zařízení (6) uložen odvalovací rotor (2), tvořený tělesem rotačního tvaru, a přidržovací zařízení (6) je upraveno pro umožnění krouživého odvalování rotoru (2) po vnitřní stěně statoru (1), **vyznačující se tím**, že v odvalovacím rotoru (2) je uspořádána alespoň jedna komora (9) s alespoň jedním uzavíratelným plnicím otvorem (10) a s alespoň jedním uzavíratelným vypouštěcím otvorem (11).
- 10 2. Precesní kapalinová turbína podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že v odvalovacím rotoru (2) je nad sebou uspořádáno několik komor (9), každá s plnicím otvorem (10) a vypouštěcím otvorem (11).
- 15 3. Precesní kapalinová turbína podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že v odvalovacím rotoru (2) je prostor (15) mimo komory (9) dutý a utěsněný.
- 20 4. Precesní kapalinová turbína podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že v odvalovacím rotoru (2) je prostor (15) mimo komory (9) vyplněný tlumicí hmotou (12), která je lehčí než pracovní kapalina turbíny.
- 25 5. Precesní kapalinová turbína podle kteréhokoliv z nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že přidržovací zařízení (6) zahrnuje kardan (7).
- 30 6. Precesní kapalinová turbína podle kteréhokoliv z nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že z rotoru (2) vyčnívá na obě strany hřídel (8), přičemž hřídel (8) je svým jedním koncem uložena v přidržovacím zařízení (6) a svým opačným koncem je uložena v klikovém mechanismu (16).

35

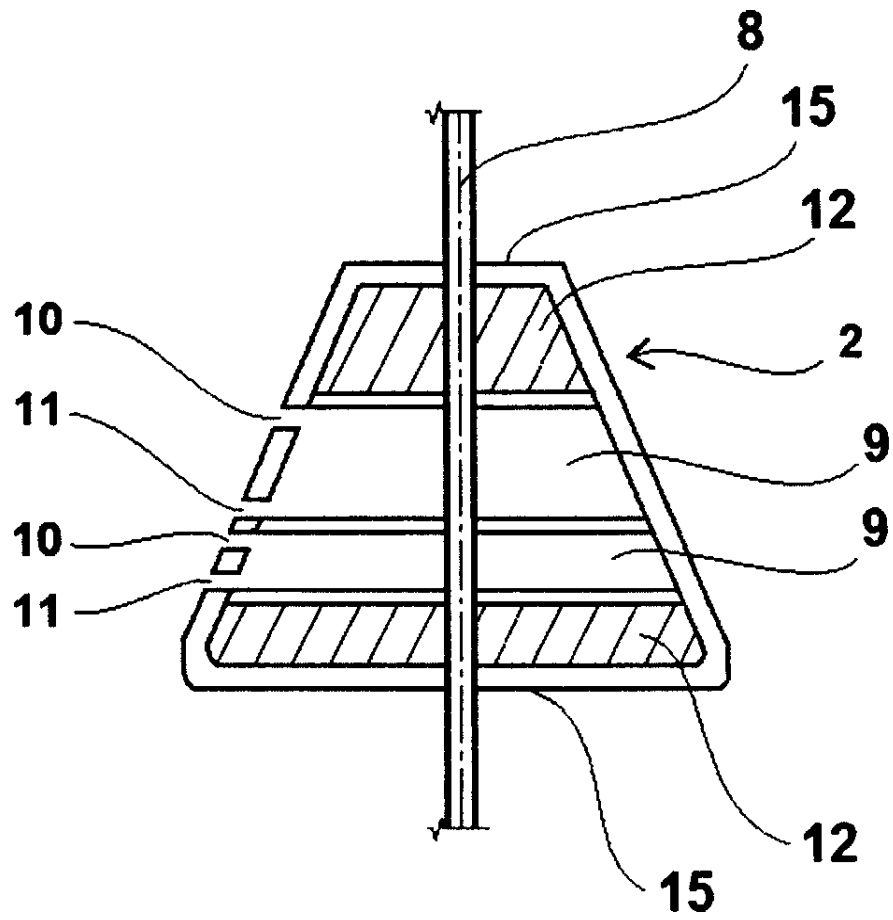
7 výkresů



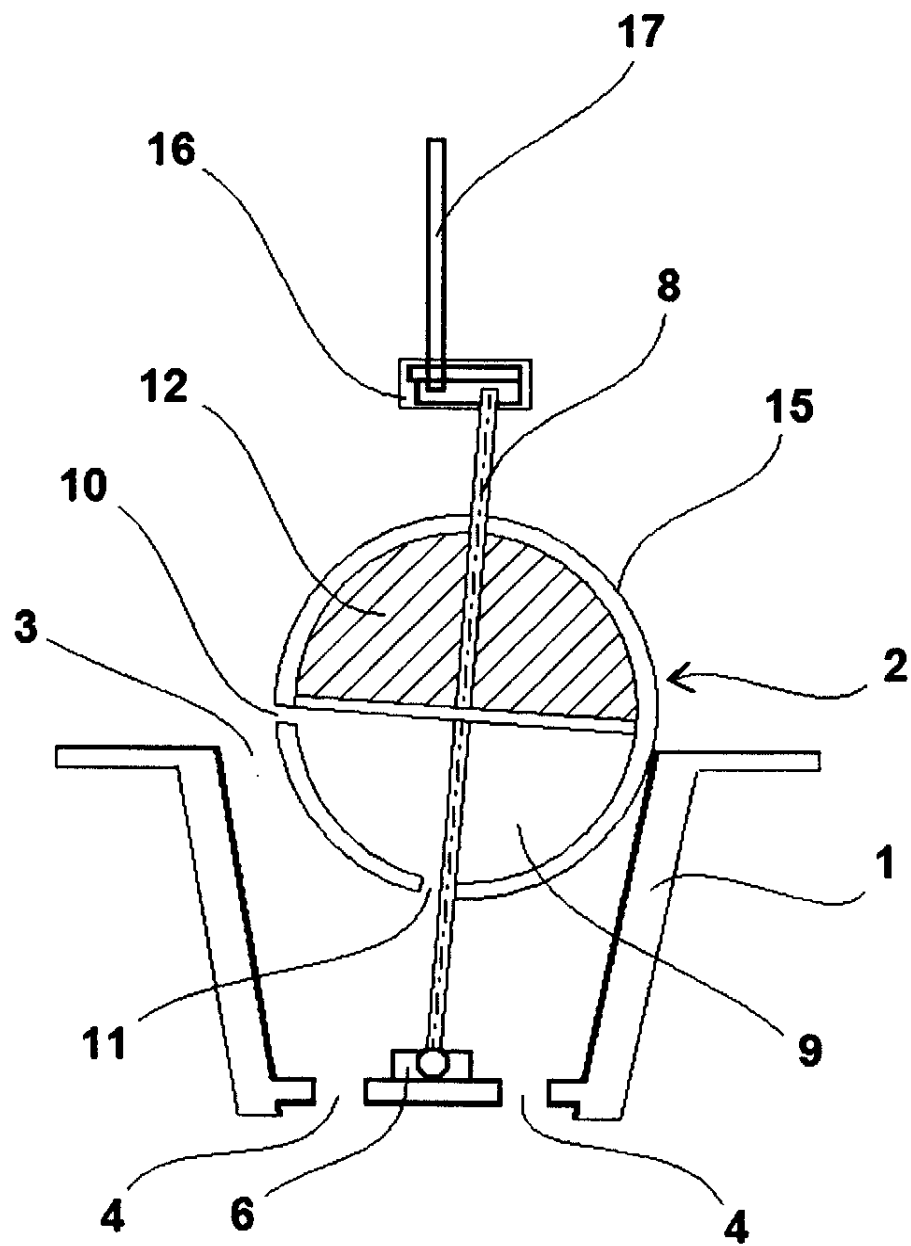
Obr. 1



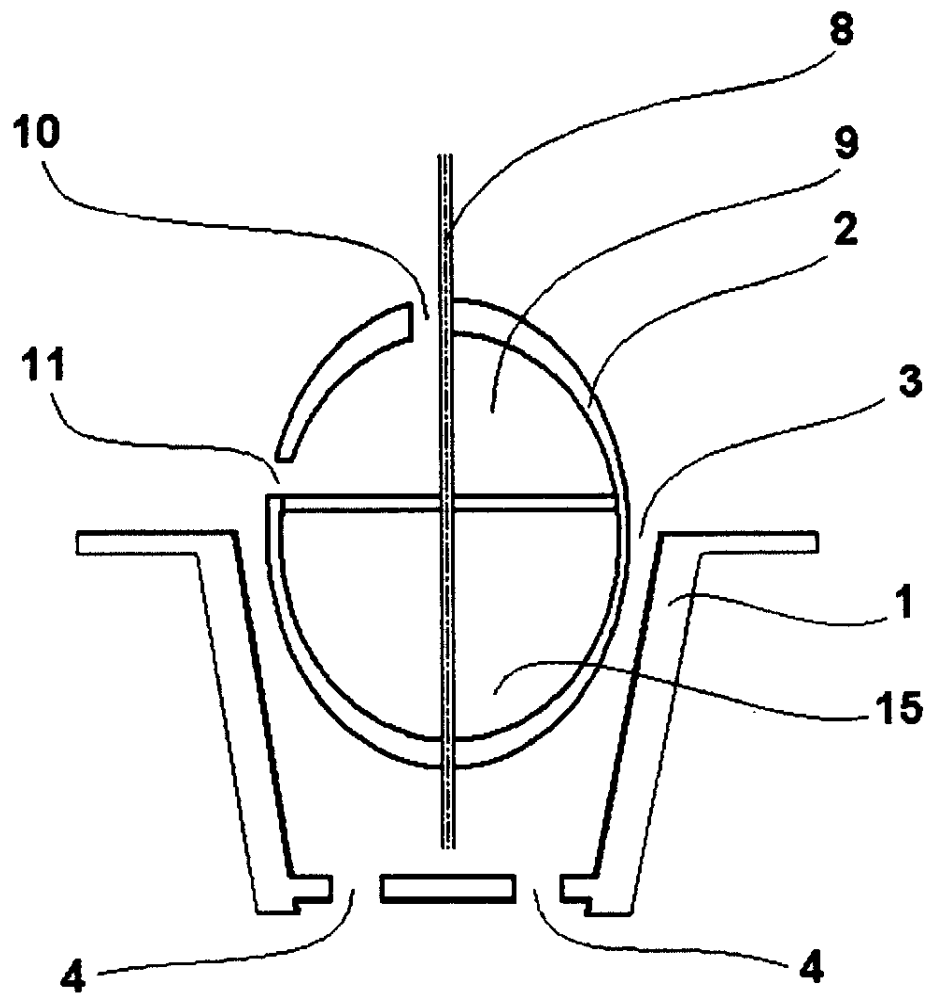
Obr. 2



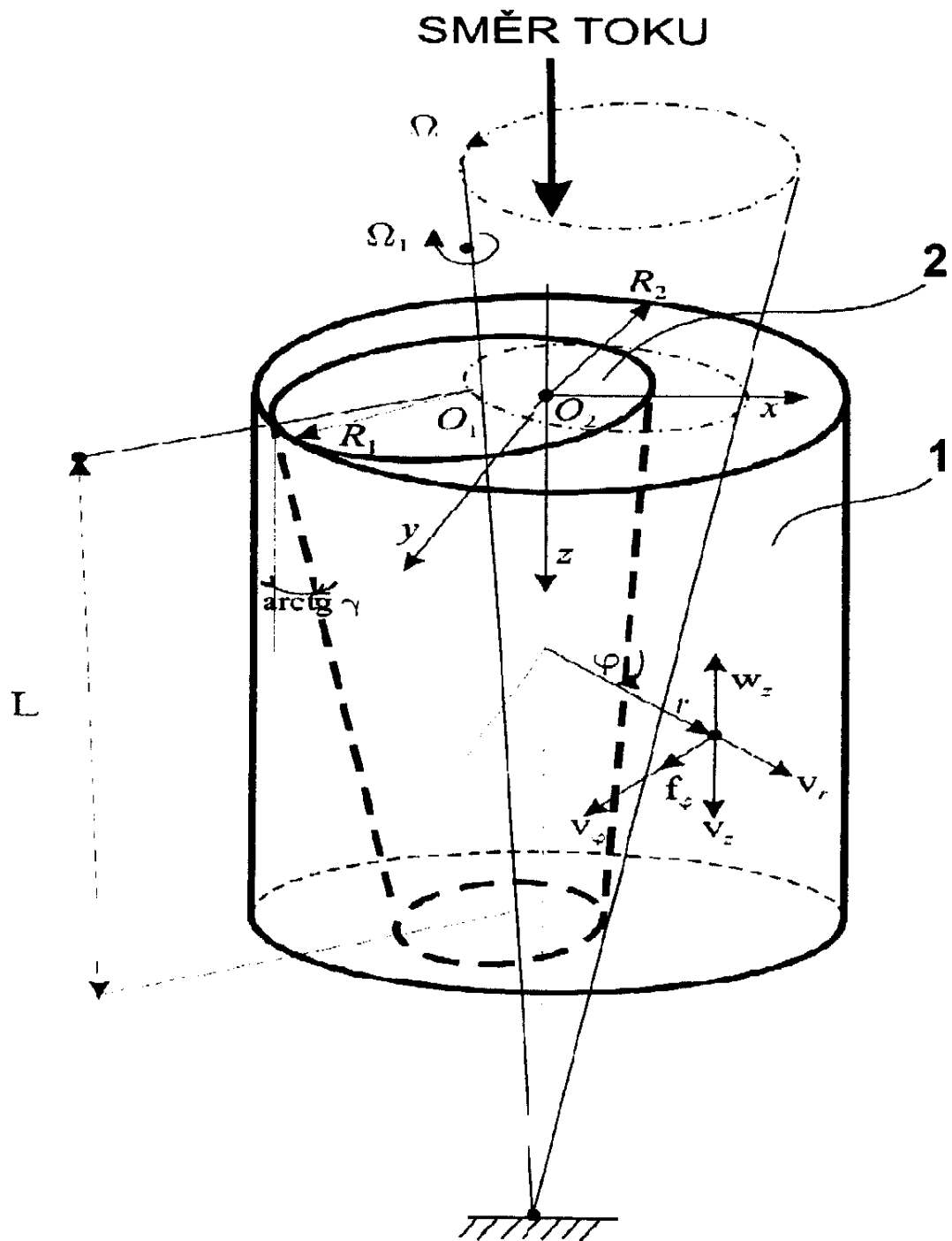
Obr. 3



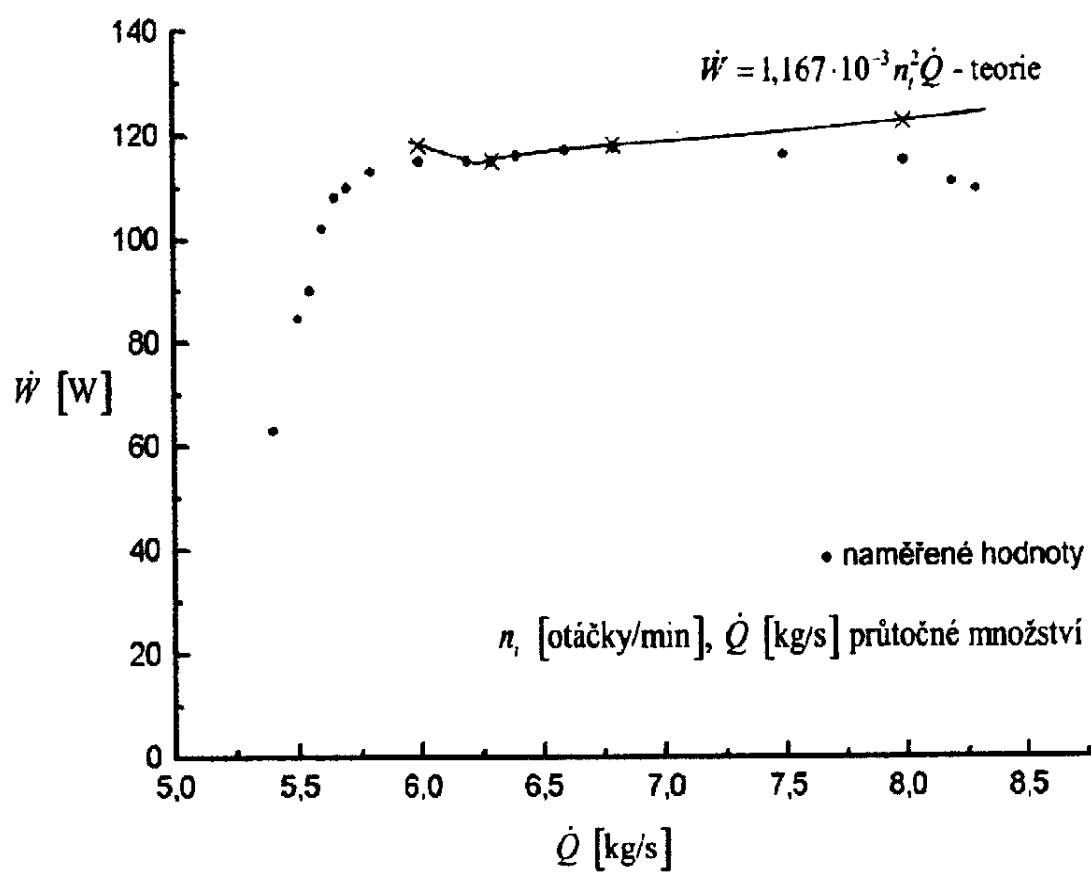
Obr. 4



obr. 5



obr. 6



obr. 7

 Konec dokumentu
