

30. VYŠETŘENÍ POHYBU A ROZMĚRŮ ŠOUPÁTKA

Jiří Škorpík, ORCID: 0000-0002-3034-1696, skorpik.jiri@email.cz

Úvod 1

- Rozměry šoupátka se určí z rozvodového diagramu 1

Konstrukce rozvodového diagramu 1

- Poloha šoupátka jako funkce polohy pístu 2
- Zakreslení rozvodových okamžiků do rozvodového diagramu 2

Odečet rozměrů šoupátka v rozvodovém diagramu 3

- návrh a výpočet rozměrů šoupátka [Ú.568] 4

Odkazy 5

Přílohy 6

- 557 Odvození rovnic pro polohu šoupátka vzhledem k jeho střední poloze 6
- 568 Řešení úlohy 6

Úvod

Šoupátko svým pohybem zajišťuje podmínky pro jednotlivé části pracovního cyklu motoru, umožňuje tedy plnění, uzavření válce a výfuk páry z válce po expanzi. Šoupátkový rozvod se používá především u malých a středně velkých pístových parní motorů. Je charakteristický svou jednoduchostí, spolehlivostí a funkčností i při velkém opotřebení kluzných ploch.

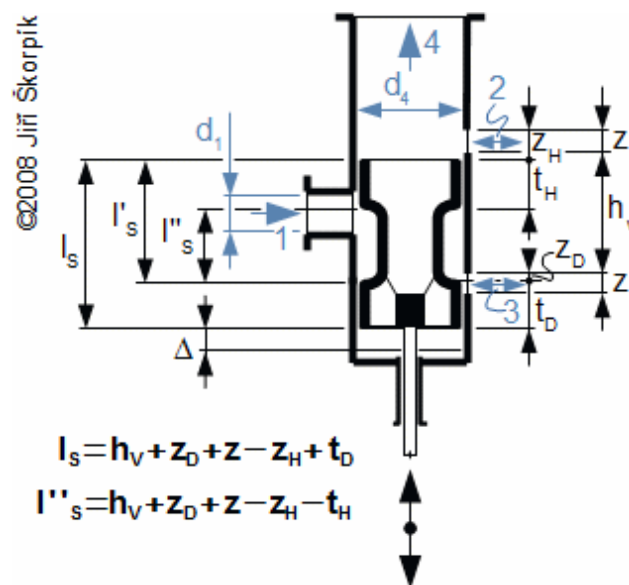
Na rozdíl od ventilového rozvodu lze u dvojčinného motoru použít pouze jedno šoupátko (ventilů čtyři). Nevýhodou takového řešení je ale v tom, že se dá vhodně použít pouze pro vysoká plnění válce (minimum cca 50 %), pro nižší je potřeba více šoupátek (dvě nebo čtyři).

• Rozměry šoupátka se určí z rozvodového diagramu

Jak již název napovídá, pro tento článek jsem vybral návrh pohybu a rozměrů pístového dutého šoupátka (které umožňuje výfuk páry ze spodní části válce skrz tělo šoupátka do vrchní části šoupátka odkud je odváděna do výfukového potrubí), protože poznatky z jeho návrhu (myšleno rozměrů) jsou aplikovatelné i pro další typy šoupátek (plochá, pístová, válcová apod. [2]) asi nejsnadněji, viz *Obrázek 556*.

Primárním výsledkem vyšetření pohybu šoupátka je stanovení rozměrů šoupátka. Zatím co, některé rozměry šoupátka jako je průměr otvoru pro vstup, nebo výstup páry rozvodu se stanovuje z požadované maximální rychlosti páry a očekávaného průtoku páry, tak jednotlivé délky se stanovují pomocí tzv. rozvodového diagramu – jedná se o graf zdvihu šoupátka jako funkce zdvihu pístu. Výsledný graf jasně ukazuje, kdy jsou jaké

vstupu do válce otevřeny/zavřeny, respektive ukazuje, při jakých polohách pístů je šoupátko svým pohybem zavírá/otvírá. Vstupem pro konstrukci rozvodového diagramu je navržený zdvih šoupátka a rozvodové okamžiky navržené p-V diagramu (viz kapitola 29. Návrh p-V diagramu pístového parního motoru). Na základě rozboru rozvodového diagramu se případně navržené rozměry šoupátka nebo parametry jeho pohybu upravují.



556 Geometrie pístového dutého šoupátka dvojčinného parního motoru

1 vstup páry do šoupátkového pouzdra; 2 parní kanál do horní části válce; 3 parní kanál do dolní části válce; 4 výstup vyexpandované páry ze šoupátkového pouzdra. $d_{1,4}$ [m] průměr vstupu a výstupu rozvodu páry; z [m] výška parních kanálů; Δ [m] aktuální vzdálenost šoupátka od jeho dolní polohy (pomocná veličiny při výpočtu).

Dříve se vyšetření pohybu šoupátka provádělo pomocí konstrukce polárního diagramu, který lze zkonstruovat za pomoci pravítka a kružítka [2]. Dnes lze využít možnosti grafických výstupů výpočtových programů k přímé konstrukci trajektorie polohy šoupátka na poloze pístu (jedná se přibližně o elipsu). Vyšetření pohybu šoupátka je nezbytné kvůli návrhu hlavních rozměrů šoupátka a pouzdra šoupátka.

• • •

Konstrukce rozvodového diagramu

Konstrukce samotného rozvodového diagramu není náročná. V podstatě se jedná o grafické znázornění funkce závislosti polohy šoupátka ve vztahu k jeho střední poloze a poloze pístu (popis této funkce viz následující podkapitola). Výhodné je v tomto diagramu vyjádřit polohu pístu jako procento ze zdvihu pístu, viz *Vzorec 560*. Takže vzniklá křivka bude jakýsi uzavřený ovál podobný elipse, jak je patrné na *Obrázku 566*, s. 3.

$$x_{\%} = \frac{x}{2 \cdot r} \cdot 100$$

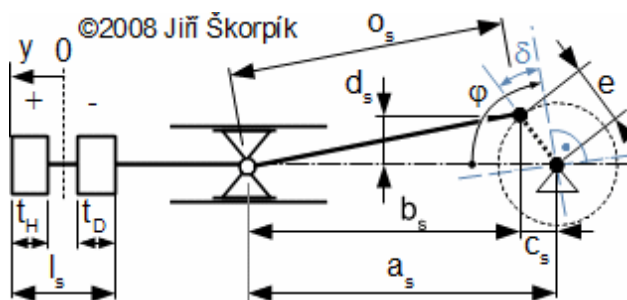
560 *Procentuální vyjádření zdvihu pístu*
 r [m] délka ramene kliky, x [m] zdvih pístu; $x_{\%}$ [%] zdvih pístu procentem z maximálního zdvihu.

• Poloha šoupátka jako funkce polohy pístu

Samotnou funkci závislosti polohy šoupátka ve vztahu k jeho střední poloze a poloze pístu získáme z matematického popisu pohybu šoupátka, který je odvislý od druhu použité kinematické vazby šoupátka. V tomto článku je setavená funkce pro výpočet polohy šoupátka, které je poháněno přes kliku, zalomenou hřídel nebo pomocí excentricky uložené ojnice na hřídeli motoru – principiálně se jedná o stejné kinematické vazby jako u klikového mechanismu, ale místo klikou je vyosení osy ojnice od osy hřídele vytvořeno zalomením nebo excentricky uloženým diskem, viz *Obrázek 555*.

Rovnice pro polohu šoupátka v rámci jeho střední polohy nejsou složité, jak ukazuje *Rovnice 557*. Jedná se prakticky o stejné rovnice jako pro klikový mechanismus, s tím rozdílem, že rovnici pro polohu šoupátka je nutné upravit, tak aby počátek pohybu odpovídal střední poloze šoupátka a současně je nutné v rovnici pro vzdálenost mezi ojnicím čepem šoupátka

a osou hřídele v horizontálním směru c_s a vertikálním směru d_s započítat i úhlové zpoždění δ .



555 *Kinematická vazba šoupátka*
 $y(\varphi)$ [mm] poloha šoupátka vzhledem k jeho střední poloze; o_s [mm] délka ojnice šoupátka; e [mm] excentricita (polovina zdvihu šoupátka); φ [rad; deg] pootočení hřídele; δ [rad; deg] úhlové zpoždění pohybu šoupátka za pohybem pístu (modře znázorněná osa tedy zobrazuje aktuální natočení kliky pístu). Bod 0 odpovídá střední poloze šoupátka – poloha, ve které se nachází šoupátko uprostřed svého zdvihu

$$y = \sqrt{o_s^2 - [e \cdot \sin(\varphi - \delta)]^2} + e \cdot \cos(\varphi - \delta) - o_s$$

$$\delta = \frac{\varphi_{II} + \varphi_I - 2\pi}{2} = \frac{\varphi_{III} + \varphi_{IV} - 2\pi}{2}$$

557 *Poloha šoupátka jako funkce pootočení hřídele*
 φ_I [rad] pootočení hřídele v okamžiku, kdy se začíná otvírat vstup páry do válce; φ_{II} [rad] pootočení hřídele v okamžiku, kdy se dokončí uzavírání vstupu páry do válce. Počátek pootočení hřídele je v horní úvratí pístu ($\varphi = 0$). Úhlové zpoždění δ je odvozeno pro šoupátko se symetrickým pohybem (dráha jeho pohybu z dolní do horní polohy v závislosti na pootočení hřídele je stejná pouze zrcadlově otočená jako jeho dráha z horní do dolní polohy). Odvození rovnic je uvedeno v *Příloze 557*, s. 6.

• Zakreslení rozvodových okamžiků do rozvodového diagramu

Rozvodové okamžiky v rozvodovém diagramu jsou body na křivce závislosti $y(x)$, které vyznačují polohu šoupátka od jeho střední polohy v okamžicích, kdy se začnou otvírat vstupy (plnění) páry, respektive výstupy (výfuk) páry z válce nebo naopak se dokončí uzavírání vstupů páry, respektive výstupů páry z válce. Pro horní i dolní část šoupátka se kreslí diagram zvlášť (není to nutné, ale je to

mnohem přehlednější při zakreslování jednotlivých délek šoupátka).

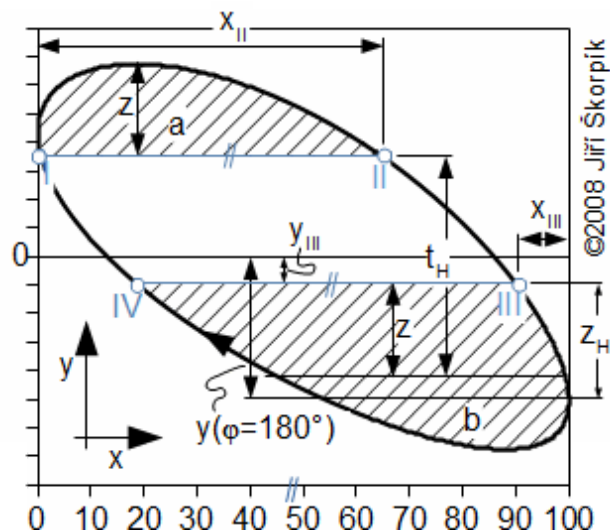
Při zakreslování rozvodových okamžiků do rozvodového diagramu se vychází z jednotlivých okamžiků předběžně navržených při konstrukci p-V diagramu, ve kterém lze přímo odečíst polohu pístu na ose V [%] (okamžitý objem válce v % odpovídá okamžitému zdvíhu pístu v %) a ze smyslu pohybu šoupátka. Tak například, je-li rozvodový okamžik I pro plnění při 1,5 % zdvihového objemu válce, pak rozvodový okamžik I v rozvodovém diagramu bude ležet na křivce v místě, kdy je zdvih pístu 1,5 % atd.

Z principu šoupátka navrženého na *Obrázku 556, s. 1* je zřejmé, že počátek otvírání parního kanálu pro vstup páry do válce a ukončení zavírání parního kanálu pro vstup páry do válce se děje stejnou hranou šoupátka a těmito dvěma okamžikům musí odpovídat jedna poloha šoupátka (rozvodové okamžiky I a II leží na rovnoběžce s osou L). To samé platí pro rozvodové okamžiky III a IV (počátek otvírání parního kanálu pro výfuk páry a ukončení zavírání parního kanálu pro výfuk), viz *Obrázek 566*. Odtud pak plynou zpětně korekce navržených rozvodových okamžiků v p-V diagramu, pokud se významně liší od průvodního návrhu.

• • •

Odečet rozměrů šoupátka v rozvodovém diagramu

Z rozvodového diagramu nejprve určíme maximální šířku výška parních kanálů z . Je zbytečné, aby tato výška byla větší než je rozdíl mezi polohou bodu I v rozvodovém diagramu a maximem funkce y , jak ukazuje *Obrázek 566*. Bod I totiž vyznačuje vnitřní hrana šoupátka dorazí k okraji kanálu z , to je okamžik, kdy se tento kanál začne otvírat, přičemž jakmile dosáhne šoupátka své horní úvratí, začne se hrana vracet a tento kanál zavírat. Znamená to, že pokud by parní kanál z byl větší než je maximální výchylka šoupátka, tak jeho část zůstane zavřena. Počet parních kanálů z by po obvodě mělo být minimálně tolik, aby střední rychlost proudění páry v nich nepřesahovala 30 až 35 $m \cdot s^{-1}$ [2, s. 79].



566 Rozvodový diagram pohybu šoupátka
a kanál je otevřen pro vstup páry; **b** kanál je otevřen pro výfuk páry. z_H [m] vzdálenost podle *Obrázku 556, s. 1*, v okamžiku, kdy je píst ve své dolní úvratí.

Minimální délka horní plochy šoupátka t_H pak plyne z toho, že musí být taková, aby mezi rozvodovými okamžiky II a III byl parní kanál uzavřen. Za tu dobu urazí hrana šoupátka, která tento kanál uzavřela, vzdálenost odpovídající rozdílu mezi okamžiky II a III . Ale tato vzdálenost neodpovídá délce plochy t_H , k té se musí

přičíst ještě výška parního kanálu z , protože otevření kanálu probíhá z vrchu.

Stejným postupem lze sestavit a odečíst potřebnou délku plochy šoupátka t_D .

Vlivem délky ojnice budou budou totíž délky t_H a t_D různé (pro nekonečně dlouhou ojnici šoupátka by byly stejné), viz *Úloha 568*.

Úloha 568

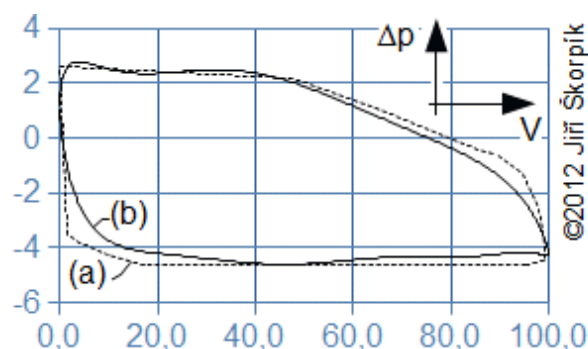
Navrhněte rozměry šoupátka dvojčinného pístového parního motoru s jedním válcovým šoupátkem. Excentricita šoupátka je 27 mm, délka ojnice šoupátka je 133 mm. Poloměr kliky pístu je 33 mm a délka jeho ojnice je 133 mm. Ostatní parametry, včetně p-V diagramu, převezměte z *Úlohy 573* uvedené v kapitole 29. Vnitřní výkon pístového parního motoru. Řešení úlohy je uvedeno v *Příloze 568*, s. 6.

Pokud některé rozměry vychází konstrukčně nebo termodynamicky nevhodně je potřeba změnit vstupní údaje (excentricitu e , úhlové zpoždění pohybu šoupátka za pohybem pístu δ nebo průměr šoupátka, jestliže výšky parních kanálů z vychází příliš malé). Popřípadě je nutné změnit i termodynamický návrh motoru, především rozvodové okamžiky v p-V diagramu. Při konstantním δ lze rozvodové okamžiky měnit i změnou délkových rozměrů šoupátka t_H , t_D a l''_S . U motoru s jedním šoupátkem se například prodlužováním t_H a t_D budou zvětšovat objemy V_{III} a V_{IV} a naopak. Zvětšovat objem V_I a V_{IV} lze zvětšováním délky l''_S při konstantním l_S apod.

• • •

Kontrola rozměrů a seřízení šoupátka pomocí indikátorového diagramu

Ověření funkce šoupátka a odhalení jeho chybného návrhu lze z indikátorového diagramu motoru (naměřený p-V diagram motoru). Přičemž stačí znát pouze tvar tohoto diagramu bez záznamu skutečného tlaku a objemu, viz *Obrázek 863*. Špatná funkce šoupátka je na takovém diagramu prozrazena rozdíly (deformacemi) mezi navrhovaným tvarem p-V diagramu a skutečně indikovaným. Ze zkušeností předchozích porovnání existují popisy tvarů p-V diagramu parních motorů, na kterých je ukázán vliv nejčastějších vad šoupátka. Takové porovnávací p-V diagramy s popisem důsledků těchto vad jsou uvedeny např. v [3, s. 23], [1, s. 109].



863 Porovnání tvaru navrhovaného p-V diagramu s indikátorovým diagramem

(a) navrhovaný p-V diagram; (b) indikátorový p-V diagram. Δp [bar] naměřený rozdíl tlaků ve válci; V [%] objem válce.

• • •

Odkazy

[1] MILLER, Rudolf, HOCHRÄNER, A., LÖHNER, K., PETERMANN, H. *Energietechnik und Kraftmaschinen*, 1972. Hamburg: Rowohlt taschenbuch verlag GmbH, ISBN 3-499-19042-7.

[2] KLÁG, Josef. *Parní stroje a turbíny-Obsluha a provoz*, 1952. 1. vydání. Praha: ROH-práce-vydavatelství knih.

[3] RODA, Antonín. *Parní motory*, 1948. 1. vydání. Praha: Státní nakladatelství v Praze.

Bibliografická citace článku

ŠKORPÍK, Jiří. Vyšetření pohybu a rozměrů šoupátka, *Transformační technologie*, 2010-06, [last updated 2020-04]. Brno: Jiří Škorpík, [online] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/30.html>.