

28. PÍSTOVÝ PARNÍ MOTOR (PARNÍ STROJ)

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

Úvod 1

Popis pístového parního motoru 1

- Pracovní cyklus a rozvodové okamžiky pístového parního motoru 1
- Dvojčinné uspořádání pístových parních motorů 2
- Pístové parní motory s dělenou expanzí páry 2
- Základní řešení rozvodů páry 3
- Příklady konstrukcí pístových parních motorů 3

Energetické toky v pístovém parním motoru 4

Příklady aplikací pístových parních motorů 5

Odkazy 6

Úvod

Pístový parní motor, nebo též parní stroj, je stroj, který bývá součástí zařízení pro realizaci parního oběhu a lze ho i použít v redukčních stanicích pro redukci tlaku páry. Práce je z motoru odváděna nejčastěji ve formě krouticího momentu na hřídeli.

Pístový parní motor patří do skupiny tepelných strojů s vnější převodem tepla (teplo je do oběhu přiváděno v parním kotli či parogenerátoru a odváděno v kondenzátoru nebo odfukem páry do okolí motoru), do které patří například i Stirlingův motor, parní turbína. Tato vlastnost umožňuje využívat pro výrobu páry v podstatě jakéhokoliv zdroje tepla.

Princip pístového parního motoru je jednoduchý a snadno pochopitelný, podobně jako jeho základní konstrukce. Tyto vlastnosti umožnily jeho masové využití už v dobách, kdy strojírenství bylo na velmi nízké úrovni – více v článku 1. Historie strojů na páru.

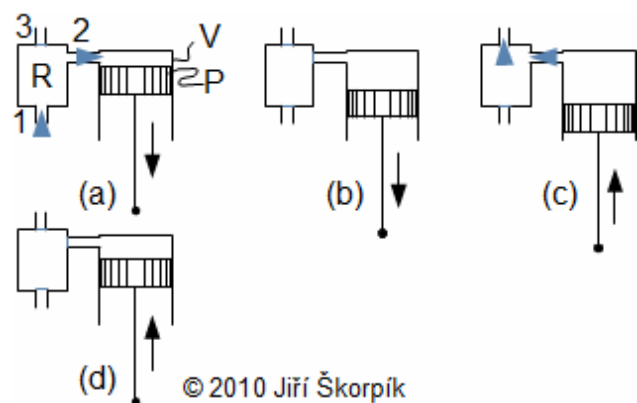
• • •

Popis pístového parního motoru

• Pracovní cyklus a rozvodové okamžiky pístového parního motoru

Hlavními orgány pístového parního motoru je píst s pístní tyčí usazený ve válci a rozvod páry, který zajišťuje přívod a odvod páry z válce (objem uzavřený mezi rozvody a pístem se označuje jako pracovní objem). Tlak páry vyvolává sílu působící na píst. Tato síla při pohybu pístu koná práci, která je odváděna, například pomocí klikového mechanismu ve formě krouticího momentu.

Rozvody páry otvírají střídavě kanály mezi vstupem páry do válce a výstupem páry z válce, takovým způsobem, aby ve válci mohlo nejprve probíhat plnění vysokotlakou párou, pak expanze páry – tyto dva děje probíhají při pohybu pístu od horní k jeho dolní úvrati. Naopak při pohybu pístu od dolní úvrati k horní musí rozvody páry zajistit v počáteční fázi tohoto pohybu výfuk páry z válce a v závěrečné válec uzavřít pro kompresi zbytku páry ve válci. Podrobněji viz *Obrázek 477*.



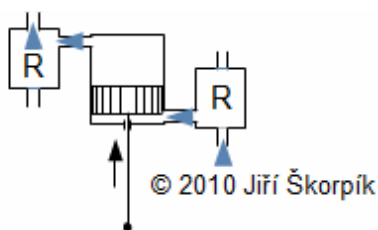
477 Pracovní cyklus pístového parního motoru rozdělený na čtyři části

(a) plnění – přes rozvod proudí pára o vysokém tlaku do válce, vstup páry do válce 2 je otevřen, výstup páry 3 z rozvodu je uzavřen; (b) expanze – pára expanduje ve válci (snižuje se tlak páry a zvyšuje její objem), vstup páry 2 do válce je uzavřen; (c) výfuk – pára o nízkém tlaku vystupuje z válce do výfuku, vstup páry do rozvodu 1 je uzavřen; (d) komprese – pára ve válci je komprimována, výstup páry z válce 2 je uzavřen. **R** rozvod páry; **V** válec; **P** píst s pístní tyčí. **1** vstup páry do rozvodu; **2** vstup páry z rozvodu do válce; **3** výstup páry z rozvodu.

Zvýše uvedeného lze tedy hovořit o čtyřech základních cyklech parního motoru (plnění, expanze, výfuk a komprese). Začátek, respektive konec části cyklu se nazývá rozvodový okamžik. Rozložení jednotlivých rozvodových okamžiků v pracovním cyklu má zásadní vliv na práci motoru a spotřebu páry, protože určují trvání jednotlivých částí cyklu. Podrobněji o těchto okamžicích pojednává článek [29. Termodynamický návrh pístového parního motoru](#) a [30. Vyšetření pohybu a rozměrů šoupátka](#).

• Dvojčinné uspořádání pístových parních motorů

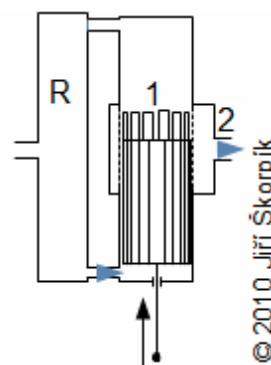
Pro zvýšení výkonu jednoho válce se téměř vždy používá dvojčinný pístový parní motor. Dvojčinný motor využívá skutečnosti, že změna objemu způsobená pohybem pístu je pod pístem stejná, pouze v opačném pořadí ve smyslu, když se nad pístem objem zmenšuje, tak pod pístem zvětšuje a naopak. V případě dvojčinných motorů je objem válce pod pístem vybaven svým rozvodem páry, takže když nad pístem probíhá plynění a expanze, tak pod pístem právě probíhá výfuk a komprese, viz [Obrázek 78](#). Výkon jednoho válce je tak dvojnásobný oproti jednočinnému motoru.



78 U dvojčinného motoru je využito k expanzi páry obou stran pístu
Zobrazení v okamžiku, kdy nad pístem probíhá výfuk a pod pístem plnění.

Méně rozšířený je stejnosměrný dvojčinný pístový parní motor. V tomto případě rozvod páry řídí pouze vstup páry do válce. Výstup páry z válce je řízen přímo pístem,

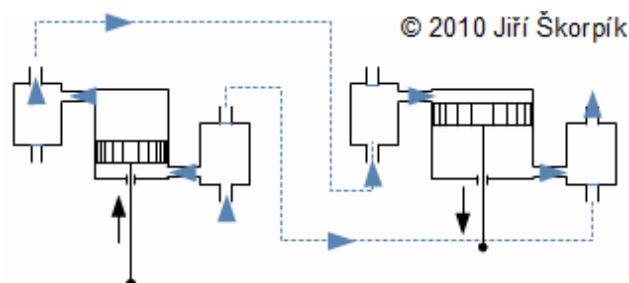
který svým pohybem v blízkosti dolní úvrati otvírá výfukové otvory ve válci. U tohoto typu pára proudí pouze jedním směrem a proto výfuková pára neochlazuje vstup, viz [Obrázek 252](#).



252 Stejnosměrný parní motor
1 výfukové otvory ve válci; 2 odvod páry z válce.
Zobrazení v okamžiku, kdy nad pístem probíhá výfuk a pod pístem plnění.

• Pístové parní motory s dělenou expanzí páry

Je-li tlak páry na vstupu do motoru vysoký a je-li to účelné rozděluje se expanze páry mezi dva i více za sebou řazených válců. Mluvíme o motoru s dělenou expanzí páry. Především se takové řešení používá u vyšších tlaků vstupní páry, protože v takových případech je obtížné dosáhnout na konci expanze páry požadovaného nízkého tlaku páry na konci expanze (tzv výfukový tlak) pouze v jednom válci (píst by musel mít velký zdvih, nebo velmi krátké plnění, což by vedlo na malé výkony válců), viz [Obrázek 488](#).

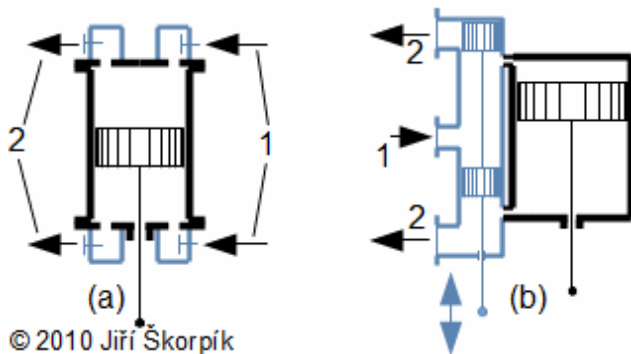


488 Pístový parní motor s dělenou expanzí páry
V tomto případě je expanze páry rozdělena do dvou válců. Vstup páry do druhého válce je zároveň výstupem páry z prvního válce.

• Základní řešení rozvodů páry

U pístových parních motorů se používají ventilové i šoupátkové rozvody. Ventily fungují podobně jako u spalovacích motorů – na vstupu do válce jsou ventily, které fungují v režimu otevřeno/zavřeno. Protože proudění přes ventil je pouze v jednom směru, musí být každý pracovní prostor vybaven plnicím i výfukovým kanálem a ventilem, tzn. že dvojitě motor obsahuje minimálně čtyři ventily, viz *Obrázek 489a*.

V případě šoupátkového rozvodu zajišťuje zavírání a otvírání kanálů orgán zvaný šoupátko. Šoupátko je v nejjednodušší variantě plochá deska, která se střídavě pohybuje přes otvory do válce a tím je zavírá a otvírá. Mimo plochou desku se častěji používá válcové šoupátko, které se pohybuje ve vlastním válci v bezprostřední vzdálenosti od hlavního válce, se kterým je propojen kanálky, viz *Obrázek 489b*. Jedno šoupátko může řídit rozvod páry pro horní i dolní prostor dvojitě motoru. Jeden válec dvojitě motoru, ale může obsahovat až čtyři šoupátka – čím více šoupátek, tím lepší regulace rozvržení rozvodových okamžiků, protože čím více vstupů páry ovládá pouze jedno šoupátko, tím více jsou jednotlivé rozvodové okamžiky na sobě závislé, viz článek 30. Vyšetření pohybu a rozměrů šoupátka.

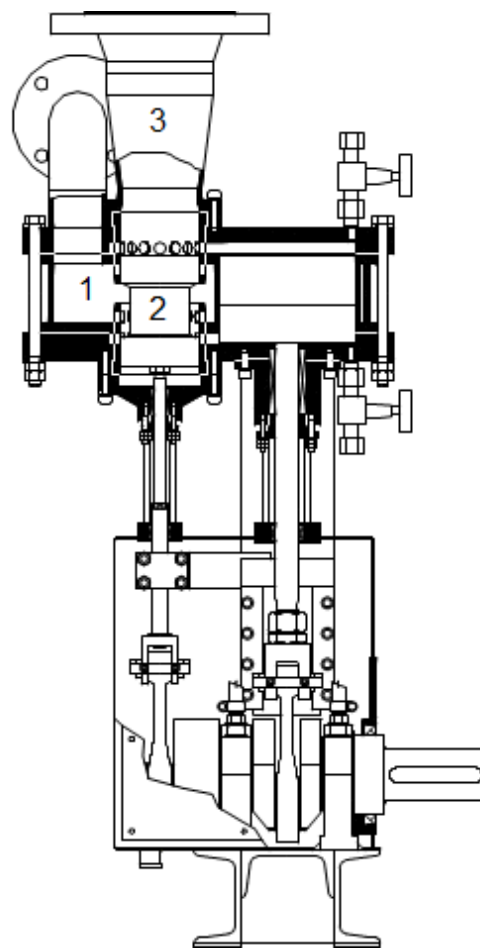


© 2010 Jiří Škorpík

489 Pístový parní motor s dělenou expanzí páry (a) příklad ventilového rozvodu; (b) příklad šoupátkového rozvodu-pístové šoupátko. 1 vstup páry; 2 výstup páry.

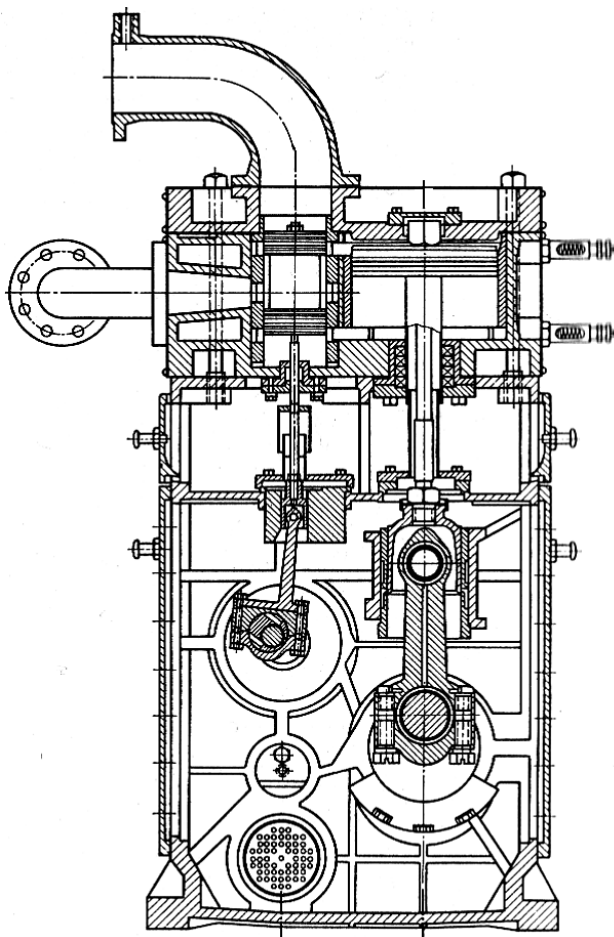
• Příklady konstrukcí pístových parních motorů

Píst i rozvodové orgány (šoupátka, ventily) bývají s hřídelem propojeny mechanickou vazbou a to klikou či zalomeným hřídelem a ojnicí, viz *Obrázek 490* a *Obrázek 822*, s. 4. Tuto mechanickou vazbu lze použít i pro regulaci výkonu motoru (regulace ovládá pohon rozvodových orgánů a tím i jednotlivé rozvodové okamžiky). Regulace výkonu pístových parních motorů se může provádět i nepřímo změnou parametrů vstupní a výstupní páry (například škrcením pomocí regulačního ventilu před motorem).



© 2010 Jiří Škorpík

490 Prototyp parního motoru Tenza PPM-054-10. Jednoválcový dvojitě motor s jedním pístovým šoupátkem. Motor pohání el. generátor o výkonu na svorkách až 25 kWe při zdvihovém objemu 1,113 l a vstupním tlaku 0,9 MPa (max. dovolený tlak páry 1,6 MPa), jmenovitých otáčkách 1 500 min⁻¹. 1 vstupní parní komora; 2 šoupátkový rozvod (šoupátko je duté a středem šoupátka se odvádí výfuková pára z prostoru pod pístem); 3 výfuk. Regulace výkonu je prováděna změnou parametrů páry.



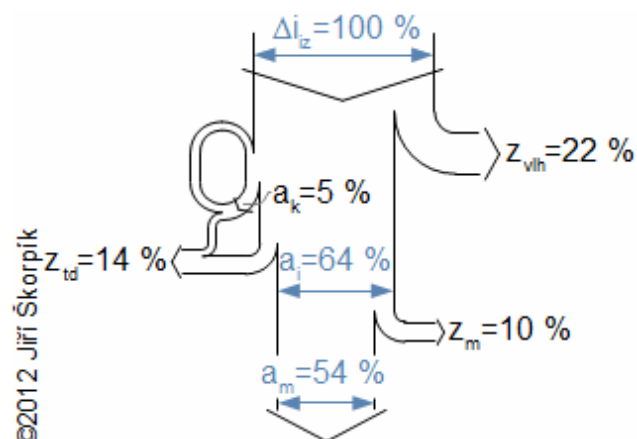
822 Parní motor Spilling

Motor Spilling je založen na stavebnicovém provedení. Základní modul je jednoválcový dvojčinný motor s jedním válcovým šoupátkem. Válce je možné spojovat za sebou jak mechanicky (na společnou klikovou hřídel), tak na straně páry (expanze páry může být rozdělena až do tří válců o různých průměrech, viz Obrázek 1213). Skládáním válců (maximálně 6 válců) za sebe lze získat motory o výkonech od 100 kW až 1 500 kW při vstupním tlaku páry od 0,6 do 6 MPa [1], Obrázek [5, s. 1010].



Energetické toky v pístovém parním motoru

Efektivitu transformace energie v pístovém parním motoru vyjadřuje vnitřní účinnost jako indikované práce ve válci ku vnitřní ideální práci motoru (práce vykonaná bez jakýkoliv ztrát). Tato účinnost se pohybuje, u špičkových pístových parních motorů, od 80 do 85 % (výjimečně), přičemž velmi záleží na typu rozvodu, otáčkách-rychlost termodynamických změn, stavu páry, typu mechanismu a dalších ztrát. Základní energetické toky a jejich velikost znázorňuje graf na Obrázku 889.



889 Přibližné energetické toky v malém pístovém parním motoru s jedním šoupátkem

Δi_{iz} [%] rozdíl entalpie páry při izoentropické expanzi, ke kterému může v motoru dojít za ideálních podmínek beze ztrát; z_{vlh} [%] ztráta kondenzací páry na vnitřních částech stroje a únik páry netěsnostmi; a_k [%] kompresní práce; z_{td} [%] vnitřní termodynamické ztráty (odchylky mezi ideálním p-V diagramem a indikátorovým p-V diagramem); z_m [%] mechanické ztráty; a_i [%] vnitřní práce motoru (indikovaná práce v p-V diagramu); a_m [%] indikovaná práce na hřídeli.



Příklady aplikací pístových parních motorů

Hlavní prostor pro využití pístového parního motoru je tam, kde jsou příliš nízké průtoky a parametry páry na to, aby se efektivně dalo použít parní turbíny (při malých výkonech mají pístové motory vyšší vnitřní termodynamickou účinnost než lopatkové stroje, jak napovídá kapitola 11. Rozdíl mezi objemovým a lopatkovým strojem.), viz *Obrázek 1213*. V České republice se vývojem malých parních motorů pro tyto účely zabývaly například společnosti PolyComp, a.s. [2] a Tenza, a.s. [3]. Motory obou společností byly primárně určeny pro využití tepla z výfuků velkých spalovacích motorů.



1213 Instalace parního motoru Spilling na pile ve Slavonicích

Uvedený parní motor pohání elektrický generátor o jmenovitých otáčkách $1\,000\text{ min}^{-1}$. Na pile byl instalován v 90. letech 20. století. Expanze páry je rozdělena do dvou válců. Z obrázku je dobře patrné propojení mezi výstupem z prvního válce a vstupem do druhého válce (blíže ke generátoru). Plnicí pára pro první válec je rozváděna na vnějším obvodu šoupátka, u druhého válce je rozváděna středem šoupátka. Na fotografii vpravo jsou dobře patrné odvodňovací ventily horních a dolních částí válců.

Experimentuje se také s využitím velmi malých pístových parních motorů pro kogeneraci v domácnostech, viz *Obrázek 825*.



825 Kogenerační jednotka do domácnosti s pístovým parním motorem

Vnější rozměry bloku: $83 \times 62 \times 126\text{ cm}$; hmotnost 195 kg ; elektrický výkon $0,3\text{ až }2\text{ kW}$; tepelný výkon $3\text{ až }19\text{ kW}$; celková účinnost výroby elektřiny a tepla z paliva je 89% (vztaženo k výhřevnosti paliva). Jednotka obsahuje stejnosměrný parní motor s lineárním generátorem. Výrobce: OTAG Vertriebs GmbH & Co.KG. Foto: [4].



Odkazy

[1] *Spilling Energie Systeme GmbH*, 2012. Výrobce a dodavatel pístových parních motorů. Adresa: Werftstraße 5, 20457 Hamburg, Deutschland, <http://www.spilling.de>.

[2] *PolyComp, a.s.*, 2012. Výrobce a dodavatel pístových parních motorů. Adresa: Na Hrázce 22, 290 01 Poděbrady VIII, Česká republika, <http://www.polycomp.cz>.

[3] *Tenza, a.s.*, 2012. Vývoj a výroba prototypů pístových parních motorů. Adresa: Svatopetrská 7, 617 00, Brno, Česká republika, <http://www.tenza.cz>.

[4] *OTAG Vertriebs GmbH&Co.KG*, 2012. Výrobce kogenerační jednotky do domácnosti lion – powerblock. Adresa: Zur Hammerbrücke 9, D-59939 Olsberg, Deutschland, <http://www.otag.de>.

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

Bibliografická citace článku

ŠKORPÍK, Jiří. Pístový parní motor (Parní stroj), *Transformační technologie*, 2010-06, [last updated 2020-03]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/28.html>. English version: Steam piston engine. Web: https://www.transformacni-technologie.cz/en_28.html.