

NÁVRH KONŠTRUKCIE A KINEMATICKÉHO USPORIADANIA ČLENOV MECHANIZMU S ROTUJÚCIMI VALCAMI

DESIGN OF STRUCTURE AND KINEMATIC LAYOUT OF PARTS OF MECHANISM WITH ROTATING CYLINDERS

Miroslav Blantický, Ján Dižo¹

Anotácia: Článok sa zaoberá konštrukčným návrhom kinematického usporiadania mechanizmu s rotujúcimi valcami a jeho využitia najmä v piestových spaľovacích motoroch v modifikácii zážihového alebo vznetového a to dvojtaktného alebo štvortaktného motora. Celý mechanizmus bude navrhovaný s cieľom úplnej eliminácie bočnej (normálovej) sily na piest tým spôsobom, že uhol β kyvu ojnice musí byť v každej polohe mechanizmu nulový. To bude zabezpečené kinematikou ojnice, ktorá by sa mala pohybovať iba v osi valca.

Kľúčové slová: kinematika, konštrukčný návrh, rotujúce valce.

Summary: The paper deals with the constructional design of kinematic arrangement of mechanism with rotating cylinders and its use especially in piston combustion engines (spark-ignition engine and diesel engine), which may be two or four-stroke engines. The entire mechanism will be designed with the aim to completely eliminate the side (normal) force acting on the piston by ensuring a zero angle of connecting rod swing β at each mechanism position. This will be ensured by connecting rod's kinematics – it should only be moved in the cylinder axis.

Key words: kinematics, design, rotating cylinders.

ÚVOD

Kinematika je náuka o mechanickom pohybe telies, ktorá skúma zmenu vzájomných polôh telies bez ohľadu na silové pôsobenie v priestore a čase. Tvorí časť klasickej mechaniky. V kinematike sa neprihliada na príčiny pohybu, t. j. neskúmajú sa v nej silové pôsobenia. V kinematických úvahách sa preto pracuje s nehmotnými bodmi, alebo nehmotnými telesami, ktoré majú iba geometrické vlastnosti. Tieto poznatky budeme aplikovať na vyhotovenie 3-D modelu kinematického mechanizmu s rotujúcimi valcami za pomoci CAD softvéru pre vytváranie 3-D model strojných súčiastok (1, 2, 3).

Mechanizmus je sústava telies, ktoré sa môžu vzájomne pohybovať a ktorým väzby ponechajú jeden alebo dva stupne voľnosti. Menia rotačný pohyb na priamočiary alebo kývavý.

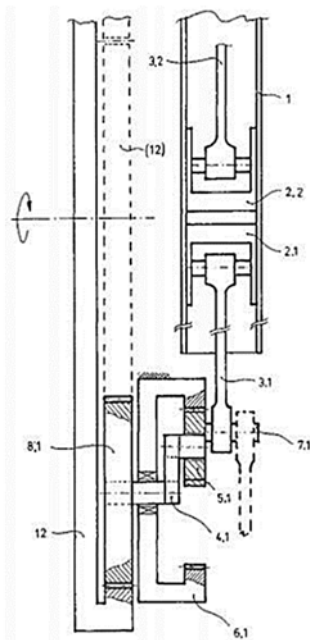
¹ Ing. Miroslav Blatnický, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta, Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovenská republika, Tel.: +421 513 2659, E-mail: miroslav.blatnický@fstroj.uniza.sk

¹ Ing. Ján Dižo, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta, Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovenská republika, Tel.: +421 513 2560, E-mail: jan.dizo@fstroj.uniza.sk

Mechanizmy poznáme rovinné, t.j. všetky členy konajú rovinný pohyb v navzájom rovnobežných rovinách a mechanizmy priestorové, t.j. aspoň jeden člen koná priestorový pohyb alebo členy konajú rovinné pohyby v rôznobežných rovinách. Členom mechanizmu sa nazýva množina nepohyblivo spojených častí mechanizmu. Členy v mechanizme a stroji slúžia na prenos pohybu a síl od hnacieho člena k hnanému. Členy musia byť dostatočne tuhé, aby ich pôsobiace sily nedeformovali. Ako ohybné členy sa používajú laná, remene, drôty a všetky druhy reťazí. Člen mechanizmu, ktorý je v pokoji sa nazýva rám.

1. ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY

Pre možnosť vytvorenia nového a teda pôvodného návrhu bolo potrebné najskôr preskúmať súčasný stav techniky v danej oblasti. Zo súčasného stavu techniky je známy štvortaktný motor s protibežnými piestami opísaný v úžitkovom vzore (4). Nevýhodou konštrukcie tohto motora je veľký konštrukčný objem motora a jeho hmotnosť vzhľadom na ukončenie ojníc cez samostatné kľukové hriadele v rozmernom planétovom prevode, ktorý je navyše uložený v reduktore (obr. 1).



Zdroj: (4)

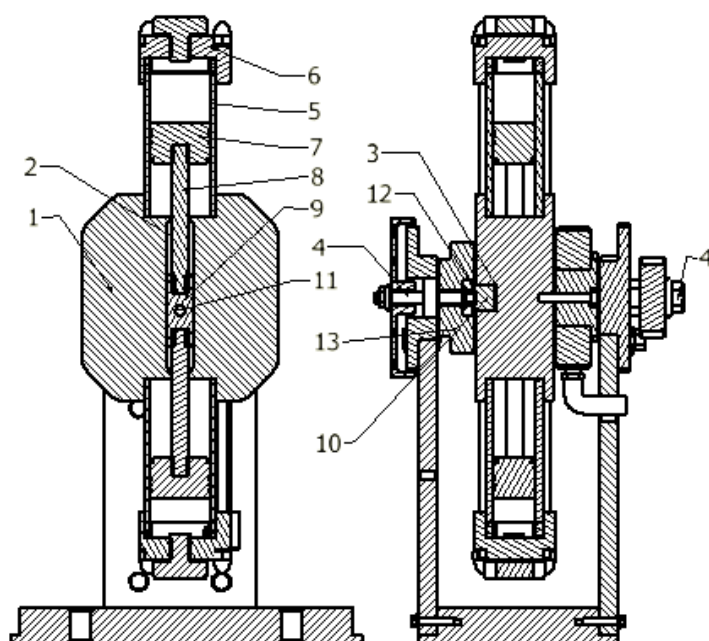
Obr. 1 - Schéma mechanizmu s protibežnými piestami

Konštrukcia obsahuje veľké množstvo pohyblivých častí a znižuje výkon motora. V leteckej technike sú známe aj viacvalcové spaľovacie motory s protichodným pohybom dvoch piestov v jednom spoločnom valci. Tieto motory sú vždy v dvojtaktnej modifikácii. Z konštrukčného hľadiska je pre tieto motory charakteristické usporiadanie, kde sú použité dva kľukové hriadele po oboch čelných stranách valcov. Typickým takýmto motorom je šesťvalcový dvojtaktný vznietový radový motor JUMO 205. Nevýhodou všetkých piestových spaľovacích motorov je skutočnosť, že čím je väčší uhol β kyvu ojnice, tým je viac namáhaný piest na bočný tlak a iné konštrukčné časti motora a tak na vznik krútiaceho momentu sa podieľa menšia tlaková sila. Ďalšou nevýhodou týchto motorov je fakt, že piesty vo vzťahu k valcom

vykonávajú priamočiary vratný pohyb, čo kladie zvýšené nároky na vyváženie plynulého chodu motora rozloženou sadou zotrvačkových prídavných hmotností. Vyššie opísaná skutočnosť evokuje k vytvoreniu takej konštrukcie kinematického usporiadania mechanizmu najmä pre piestové motory, ktorá by odstraňovala vyššie uvedené nevýhody konštrukcií piestových motorov. Výsledkom tohto úsilia je bude navrhované kinematické usporiadanie mechanizmu s rotujúcimi valcami a jeho využite bude najmä v piestových spaľovacích motoroch v modifikácii zážihového alebo vznetrového a dvojtaktného alebo štvortaktného motora, v konštrukciách kompresorov a hydraulických čerpadiel ale taktiež aj v motoroch na stlačený vzduch.

2. ZÁKLADNÝ PRINCÍP NÁVRHU KONŠTRUKCIE

Podstata konštrukčného návrhu kinematického usporiadania mechanizmu s rotujúcimi valcami (obr. 2) tkvie v tom, že pozostáva z kulisového mechanizmu tvoreného doskou (1) s mimoúrovňovým krížovým usporiadaním ojnicej (2) a pomocnej drážky (3), v ktorých mimoúrovňovom priesečníku sa nachádza os rotácie (4) kulisového mechanizmu.



Zdroj: Autori

Obr. 2 - Návrh konštrukcie mechanizmu s rotujúcimi valcami

V osi rotácie kulisového mechanizmu (4) je v ložisku umiestnený hriadeľ a ložisko je osadené v ráme alebo šasi zariadenia. Radiálne na os rotácie (4) kulisového mechanizmu sú ku kulisovému mechanizmu oproti sebe upevnené dva valce (5), každý ukončený hlavou valca (6). Vo valcoch (5) sú uložené piesty (7), ktoré sú medzi sebou prepojené spoločnou ojnicou (8) prechádzajúcou cez ojnicnú drážku (2), pričom v strede ojnice (8) je umiestnený ojnicný kameň (9). V pomocnej drážke (3) je umiestnený pomocný kameň (10). Do otvoru v ojnicnom kameni (9) zapadá prvý čap (11) kľukového hriadeľa (13) a do otvoru pomocného kameňa (10) zapadá druhý čap (12) kľukového hriadeľa (13). Medzi prvým (11) a druhým (12) čapom kľukového hriadeľa (13) je umiestnená os rotácie (14) kľukového hriadeľa (13). V osi rotácie kľukového hriadeľa je tento uložený taktiež v ložisku osadenom v ráme alebo šasi zariadenia. Os rotácie

(4) kulisového mechanizmu a os rotácie (14) kľukového hriadeľa sú nesúosové. Polomer r kľukového hriadeľa (13) sa rovná $\frac{1}{4}$ zdvihu piesta (7). Os rotácie (4) kulisového mechanizmu je výstupom s otáčkami n_1 . Os rotácie (14) kľukového hriadeľa je výstupom s otáčkami n_2 , pričom platí že:

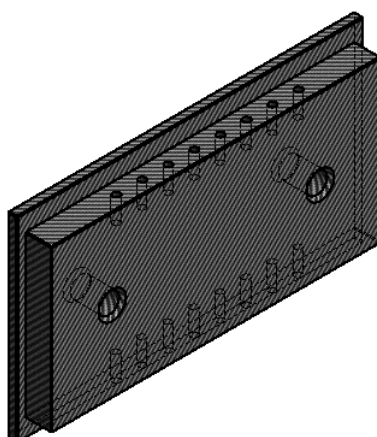
$$n_2 = 2 \cdot n_1 \quad (1)$$

Takéto riešenie kinematického usporiadania mechanizmu s rotujúcimi valcami je použiteľné pre spaľovacie dvojtaktné a štvortaktné motory v modifikáciách zážihových alebo vznetrových motorov poháňaných stlačeným vzduchom a taktiež aj poháňaných parou. Použitie kinematického usporiadania mechanizmu s rotujúcimi valcami tohto konštrukčného návrhu je aj pre kompresory a čerpadlá.

Výhody kinematického usporiadania mechanizmu s rotujúcimi valcami sú zjavné z jeho účinkov, ktorými sa prejavuje navonok. Účinky spočívajú najmä v tom, že sa úplne eliminuje bočná (normálová) sila na piest, pretože uhol β kyvu ojnice je nulový, keďže ojnica piesta sa pohybuje len v osi valca. Ďalej z koncepcie tohto riešenia vyplýva, že rotujúce bloky valcov a piestov pôsobia ako zotrvačník, takže na motore sa ušetrí minimálne 15 kg hmotnosti, tým že sa nepoužijú prídavné zotrvačníky (v porovnaní s vyššie spomínanými koncepciami). Nie je potrebný kvapalinový chladiaci okruh, lebo rotujúce valce odvádzajú teplo okolitému vzduchu ktorý rozrážajú, čím je zabezpečená dostatočná cirkulácia vzduchu zvýšeným Grossmanovým faktorom na odoberanie tepla z rotujúcich valcov. Výstup krútiaceho momentu z rotujúcich valcov sa dosiahne bez ozubených prevodov, čo má za následok zníženia nárokov na mazanie mechanizmu a taktiež sa zvýši účinnosť mechanizmu v dôsledku zníženia trenia.

3. ZÁSADY KONŠTRUOVANIA JEDNOTLIVÝCH ČASTÍ NAVRHOVANÉHO MECHANIZMU

Ako prvý komponent bola vytvorená základová doska (obr. 3), do ktorej boli následne vyvrtané dve priechodné otvory s rozmerom $\varnothing 12$ mm.

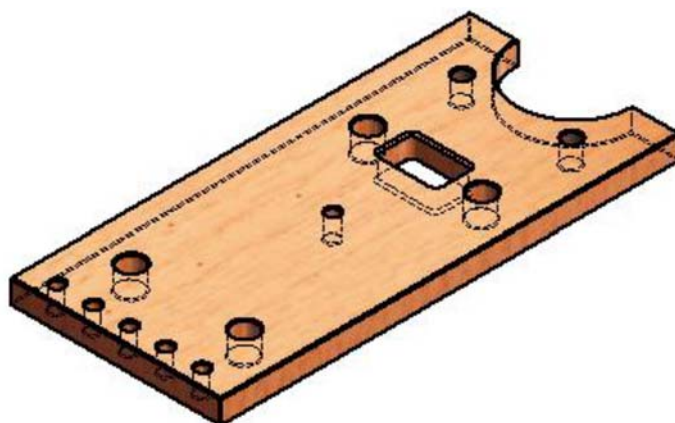


Obr. 3 - Základová doska

Zdroj: Autori

Otvory ktoré slúžia na uchytenie o pevnú nepohyblivú časť a diery na uchytenie prednej a zadnej nohy, kde bol použitý otvor so závitom M5x15 mm. Následne boli na celej súčiastke zrazené hrany 1x45° a v otvoroch Ø 12 mm bola zrazená hrana 2x45°.

Ako druhý komponent v poradí boli vytvorené dve nohy (obr. 4), ktoré držia celý rotujúci mechanizmus. Obe majú rovnaký rozmer, len rozmiestnenie dier a otvorov je odlišné. Diery pre uchopenie do základovej dosky sú rozmeru M5x10 mm a diery na uchopenie uložení majú rozmer M7x10 mm. Napokon bol do prednej nohy vyfrézovaný ešte otvor na prívodný ventil vzduchu.



Zdroj: Autori

Obr. 4 - Noha

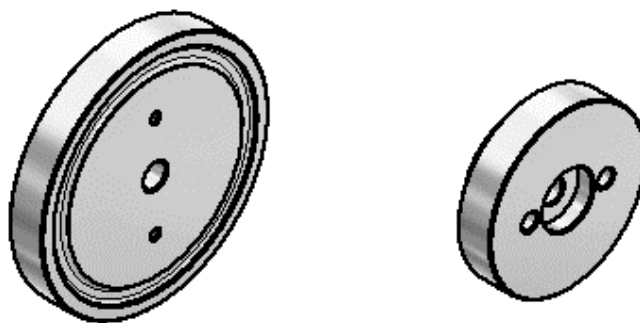
Tretí komponent v poradí bolo vytvorenie predného a zadného uloženia (Obr. 5) na otáčanie sa mechanizmu. V ktorom boli vyvrtané odsadené diery na uchopenie zápustnými skrutkami do nôh. Taktiež boli v nich vyvrtané diery, ktoré boli ďalej opracované na požadované hodnoty pod uloženia guľkového ložiska. Nakoniec boli skosené vonkajšie aj vnútorné hrany 1x45°.



Zdroj: Autori

Obr. 5 - Predné a zadné uloženie otáčania

Ďalšie komponenty v poradí (obr. 6) boli zadné obežné koliesko (vľavo) a koliesko kľukového mechanizmu (vpravo).



Zdroj: Autori

Obr. 6 - Zadné obežné koliesko (vľavo) a koliesko kľukového mechanizmu (vpravo)

Tieto kolieska sú navzájom spojené spolu aj s uložením pomocou skrutky M6x50mm a na konci bola použitá matica M6 s nákrúžkom. Obežné koliesko malo na čelnej ploche vyfrézovanú drážku a dve diery na uchopenie doplnkového mechanizmu. Kľukový mechanizmus bol vyhotovený ako valec v ktorom sú tri diery na čelnej ploche. Stredová na uchytenie pomocou spojovacej skrutky a dve na vloženie kolíkov o \varnothing 4 mm, ktoré vedú posuvné perá v drážkach stredového rozvádzača.

Ako ďalšia skupina súčastok bolo vytvorenie predného obežného kolieska (obr. 7) v ktorom bola vyvŕtaná diera na spojovaciu skrutku M10x65 mm, ktorá prechádzala predným uložením a spájala dve súčasti stredového rozvádzača.



Zdroj: Autori

Obr. 7 - Predné obežné koliesko (vľavo) a súčasti stredového rozvádzača (v strede a vpravo)

Vnútorňá súčasť rozvádzača bola pevne spojená so stredovým rozvádzačom pomocou dvoch zápusťných skrutiek. Do jej valcového obvodu bola ešte vyvŕtaná diera na prechod stlačeného pohonného vzduchu. Vonkajšia časť sa voľne otáčala po obvode vnútornej a taktiež boli v nej vyvŕtané dve diery na rozvod hnacieho vzduchu. Do jednej z dier bol umiestnený prívodový ventil vzduchu.

ZÁVER

Cieľom článku bol konštrukčný návrh niektorých členov kinematického usporiadania mechanizmu s rotujúcimi valcami. Z uvedených obrázkov a textov možno konštatovať, že tento cieľ bol splnený. Výhody kinematického usporiadania mechanizmu s rotujúcimi valcami sú zjavné z jeho účinkov, ktorými sa prejavuje navonok. Účinky spočívajú najmä v tom, že sa úplne eliminuje bočná (normálová) sila na piest, pretože uhol β kyvu ojnice je nulový, keďže ojnica piesta sa pohybuje len v osi valca. Ďalej z koncepcie tohto riešenia vyplýva, že rotujúce bloky valcov a piestov pôsobia ako zotrvačník, takže na motore sa ušetrí minimálne 15 kg

hmotnosti, tým že sa nepoužijú prídavné zotrvačníky. Nie je potrebný kvapalinový chladiaci okruh, lebo rotujúce valce odvádzajú teplo okolitému vzduchu ktorý rozrážajú, čím je zabezpečená dostatočná cirkulácia vzduchu na odoberanie tepla z rotujúcich valcov. Výstup krútiaceho momentu s rotujúcich valcov sa dosiahne bez ozubených prevodov, čo má za následok zníženia nárokov na mazanie mechanizmu a taktiež sa zvýši účinnosť mechanizmu v dôsledku zníženia trenia. Mechanizmus s rotujúcimi valcami má aj tú výhodu, že mechanizmus v modifikáciách motorov poskytuje dva výstupy. Prvý výstup je nízkootáčkový z rotujúcich valcov, t.j. z kulisového mechanizmu s otáčkami n_1 . Druhý výstup je vysokootáčkový z kľukového hriadeľa s otáčkami n_2 . Ďalšou podstatnou výhodou kinematického usporiadania mechanizmu s rotujúcimi valcami je skutočnosť, že sa odstráni priamočiary vratný pohyb piestov tým, že os kľukového hriadeľa je vystredená voči osi rotácie valcov a polomer r kľukového hriadeľa sa rovná $\frac{1}{4}$ zdvihu piesta, čím piest sa dostáva do hornej úvrate približovaním po kruhovej dráhe za súčasnej rotácie valca.

Výhody kinematického usporiadania mechanizmu s rotujúcimi valcami vyniknú až jeho aplikáciou v použitíach spaľovacích motorov, keď sa doplnia príslušné komponenty súvisiace s prívodom paliva jeho zážihom a odvodom spalín. Ďalšia aplikácia sa ponúka pre motory hnané parou, kedy sa mechanizmus doplní o komponenty na prívod pary. Ďalšia aplikácia sa ponúka pre kompresory, kedy sa mechanizmus doplní o komponenty na prívod plynu a odvod stlačeného plynu a aj o komponenty na výstup krútiaceho momentu kulisového mechanizmu alebo kľukového hriadeľa. Ďalšia aplikácia sa ponúka pre hydraulické čerpadlá, kedy sa mechanizmus doplní o komponenty na nasávanie a výtlak kvapaliny a aj komponenty na výstup krútiaceho momentu do kulisového mechanizmu alebo kľukového hriadeľa.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- (1) GERLICI, J., ŠŤASTNIAK, P., LACK, T., HARUŠINEC, J. Design of long freight railway wagon with variable use of loading space. In Zborník z konferencie Dynamical problems in rail vehicles 2015. Warsaw: University of Technology, 2015. s. 3 – 13. ISBN 978-83-7814-367-3.
- (2) LOULOVÁ, M., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., STRÁŽOVEC, P. Návrh vzduchového tunela pre skúšobný stav brzdnych komponentov RAILBCOT. In Zborník z konferencie Dynamika tuhých a deformovateľných telies 2017. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Pukryně, 2017. 12 s. ISBN 978-80-7561-083-6.
- (3) ŠŤASTNIAK, P., GERLICI, J., LACK, T., HARUŠINEC, J. Computer aided simulation analysis for computation of modal analysis of the freight wagon. In Zborník z konferencie TRANSCOM 2013. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2013. s. 297 – 300. ISBN 978-80-554-0695-4.
- (4) Úžitkový vzor SK 3731.