

Funkční model Stirlingova motoru

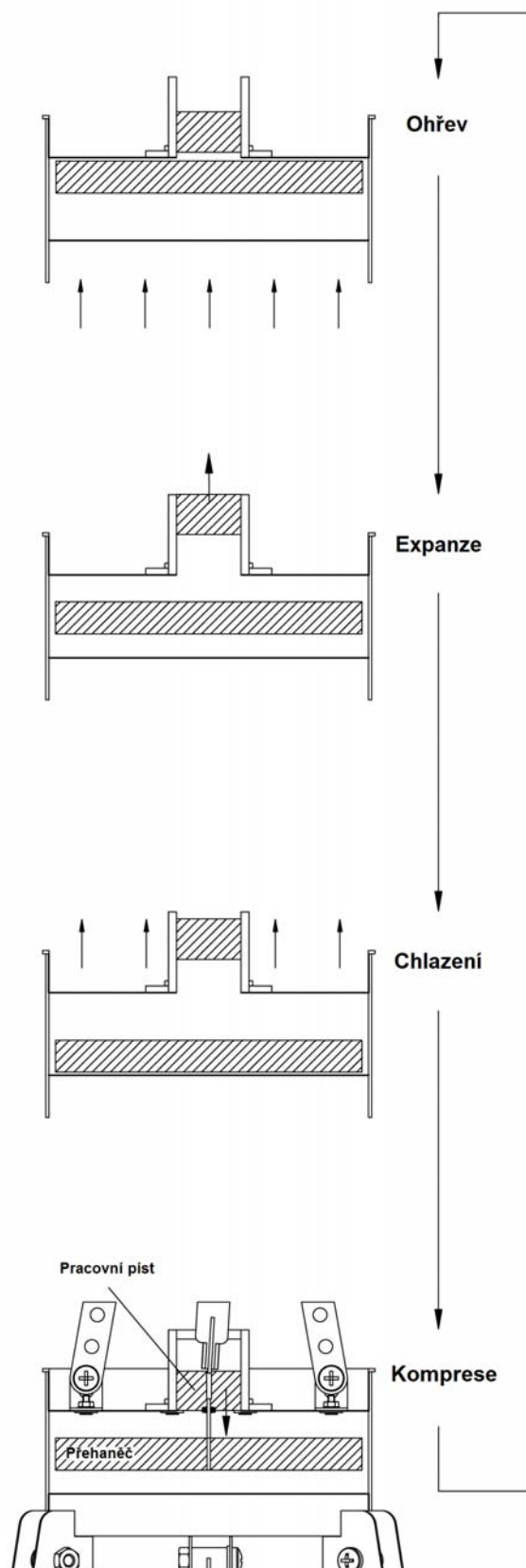
Úvod

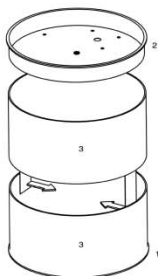
V roce 1815, na začátku průmyslové revoluce začali bratři James a Robert Stirlingovi z Edinburghu pracovat na bezpečnější alternativě tehdy zavedených parních strojů. Díky použití vzduchu jako pracovního média, namísto páry, bylo odstraněno riziko výbuchu kotle. První patent byl registrován v roce 1816. Stirlingův motor je výrazně odlišný tepelný motor od spalovacího motoru (dieselového nebo benzínového) ve vašem automobilu. Jako zdroj tepla může využívat jakékoli "palivo" včetně odpadního tepla a solární energie. Když bylo zřejmé, že zdroje fosilních paliv jsou omezené, vědci a inženýři se vrátili ke Stirlingovu principu jako ke způsobu využití alternativních zdrojů energie. V osmdesátých letech minulého století Prof. I. Kolin (Záhrebská univerzita) a další vyvinuli motory založené na upraveném Stirlingově principu a schopné provozu s teplotním rozdílem méně než 50 °C, čímž umožnili rozvoj nízko-teplotních zdrojů tepla pro moderní návrhy Stirlingových motorů. Stirlingův motor ecorun2.1 je mimořádný motor, který ukazuje tyto koncepty převodu tepla střední teploty na mechanickou práci.

Funkce

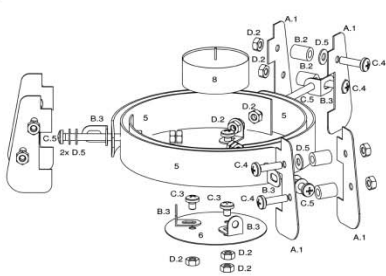
Spodní deska motoru se zahřívá od svíčky umístěné v držáku. Při pohybu pístu přeháněče směrem nahoru vzduch proudí dolů na spodní desku a zde se ohřívá. Na své cestě zpět k horní desce motoru proudí horký vzduch skrz píst přeháněče a je zchlazen horní hliníkovou deskou. Pravidelná změna teploty vzduchu způsobuje změnu tlaku, protože vzduch je uzavřený v pouzdře motoru. To vede k periodickému působení síly na pracovní píst v horní části motoru. Tato síla je přenášena ojnící a klikovou hřídelí na oběžné vrtulové kolo (setrvačnick) a dochází k převodu pohybu pracovního pístu nahoru a dolů na rotační pohyb. Protože rozpínání horkého vzduchu v pracovním válci působí větší silou než jaká je potřeba na stlačení "studeného" vzduchu, nadbytek energie působí na pracovní hřídel. Samotný přeháněč získává energii pro svůj pohyb z otáčejícího se oběžného vrtulového kola přes druhou ojnici.

Cyklus Stirlingova motoru

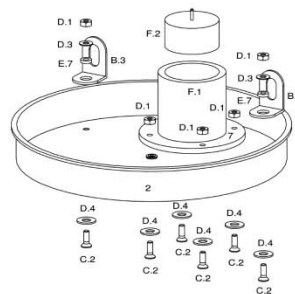




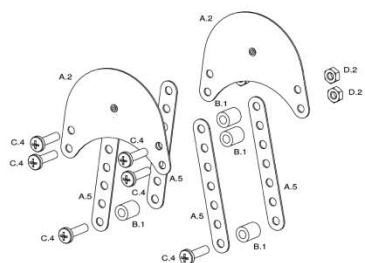
Obr. 0 - Oddělení a vynětí výměnné objímky krytu



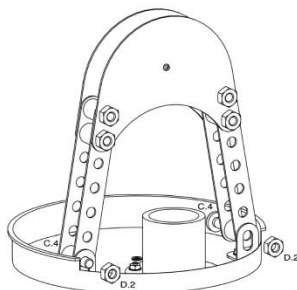
Obr. 1 - Montáž držáku svíčky



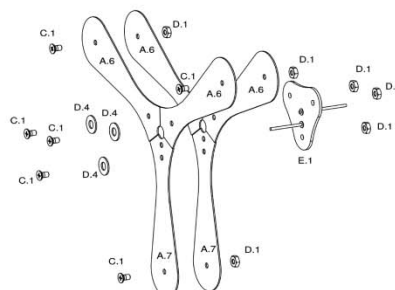
Obr. 2 - Montáž horního krytu



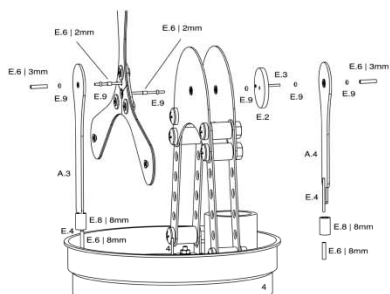
Obr. 3a - Montáž nosné konstrukce klikové hřídele



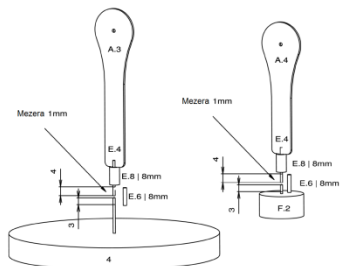
Obr. 3b - Připojení nosné konstrukce k hornímu krytu



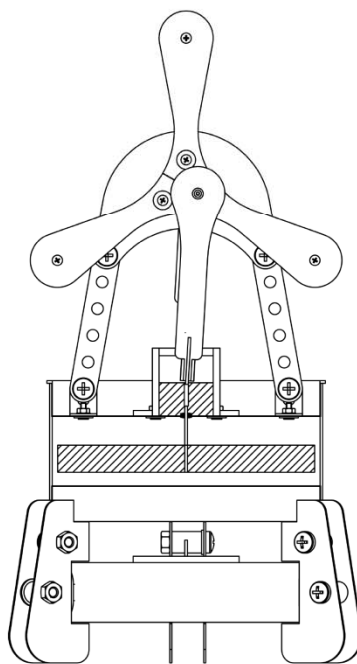
Obr. 4 - Připojení lopatek oběžného vrtulového kola ke klikovému kotočů



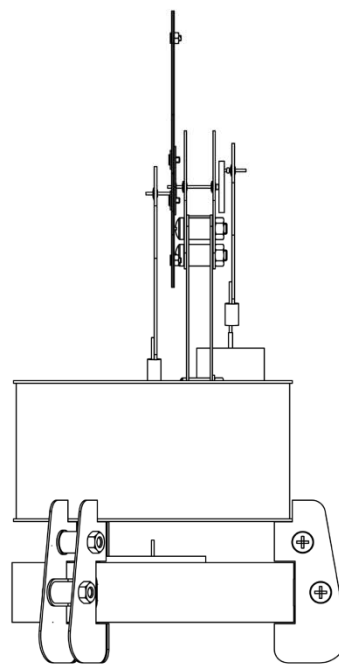
Obr. 5 - Instalace a seřízení klikových kotočů



Obr. 6 - Připojení ojníc k pístům



Obr. 7 - Smontovaný motor z předního a bočního pohledu



Bezpečnostní pokyny

Pozor: Stirlingův motor ecorun2.1 není hračka a není vhodný pro děti mladší 14 let. Při provozování tohoto motoru dodržujte stejná bezpečnostní opatření jako při práci s otevřeným ohněm a plameny. Nikdy nenechávejte motor běžet nebo svíčku hořet bez dozoru. Nikdy nenechávejte zastavený motor zahřívat po dobu delší než 3 minuty. Nedotýkejte se spodního krytu motoru - nebezpečí popálení. Společnost Exergia neodpovídá za žádné škody nebo zranění vzniklá při provozu tohoto motoru.

(1) Provedení

Stirlingův motor ecorun2.1 se skládá z pěti hlavních částí:

- X Základna: "Plechovka" složená z horního a dolní krytu spojeného objímkou z bílého kartonu
- X Pracovní píst: Grafitový píst pohybující se v hliníkovém pracovním válci s přímým napojením na základnu.
- X Přehaněč: Pěnový kotouč uvnitř základny.
- X Kliková hřídel a oběžné vrtulové kolo: Dvě ojnice spojují klikovou hřídel s přehaněčem a pracovním pístem - fázový posun mezi sinusovým pohybem obou pístů je asi 90 stupňů.
- X Držák svíčky

(2) Pokyny - viz Obr. 0

Sada obsahuje všechny díly potřebné pro sestavení motoru. Není nutné žádné lepení. Budete potřebovat pouze běžné ruční nářadí:

- X Malé šroubováky (Philips č. 1 a č. 2)
- X 7mm (matice M4) a 4 mm (matice M2) klíče jsou užitečné, ale nikoliv nutné
- X Malé ploché kleště
- X Malé kladívko
- X Nožík (ostrý!) pro řezání a odstraňování otřepů
- X Brusný papír na odstraňování otřepů

Kromě toho byste měli mít po ruce:

- X Malý kousek dřeva, například kostku z dětské stavebnice, pro ruční zatlačení pracovního válce do objímky.
- X Několik kapek řídkého minerálního oleje (rostlinný olej nepoužívejte!)

Před montáží motoru vyjměte tištěný papírový válec, opatrně odstraňte lepicí pásky a oddělte výměnnou objímkou krytu (3). Díly jsou zabaleny v základně. Označte si všechny díly podle názvů a čísel dílů v seznamu dílů. Díly jsou seskupeny takto:

- X Volně ložené v plechovce - části 1-8
- X Plastový sáček - A.1-7, B.1-3, C.1-5, D1-5, E.1-9, F.1-2

Následující odstavce popisují šest kroků montáže motoru. Všechny kroky, které vyžadují zvláštní péči nebo další zkoušky smontovaných částí jsou v textu označeny srdíčkem ♥. Před zahájením práce si prosím pečlivě přečtete pokyny ke každému kroku, dodržujte návod a nespěchejte. Spojovací prvky nejprve utáhněte prsty, pořádně je dotáhněte až ve chvíli, kdy to návod uvádí. Další informace naleznete na www.exergia.detecorun2.1. Užijte si spoustu zábavy s motorem ecorun2.1!

(3) Montáž**(3.1) Držák svíčky - viz Obr. 1**

Pokud je to potřeba, vytlačte ze zadní strany (bílá) jakékoli "konfety", které zůstaly v děrovaných otvorech pásků pro vytvoření objímky (5) a v kotouči (6). Na každý ze tří dlouhých šroubů M4 (C.5) dejte dvě podložky (D.5) a kovovou rohovou konzolu (B.3). Položte tři pásky pro vytvoření objímky na sebe tak, aby otvory na sebe lícovaly v pozici, kdy vytvoří jeden otvor s vůlí (uprostřed) skrz všechny tři pásky. Do jednoho z otvorů zasuňte připravený šroub a zajistěte ho maticí M4 (D.2), aby pásky držely pohromadě. ♥ Nyní uspořádejte všechny tři pásky do kruhu. Buďte velmi opatrní, protože pásky z kartonu se snadno poškodí. Měli byste vytvořit vícevrstvý kruh, kdy každý pásek začíná jedním koncem ve vnitřní vrstvě a jeho druhá strana (zaoblená) končí ve vnější vrstvě. Nainstalujte zbývající dva dlouhé šrouby M4 (C.5) s matkami M4 (D.2) a

dávejte pozor na správnou orientaci rohových konzol (B.3). Ke kotouči (6) připevněte ostatní tři rohové konzole (B.3) pomocí krátkých šroubů (C.3) a matic (D.2). Nyní nasadte rohové konzole na kotouči na tři konce dlouhých šroubů M4 (C.5), které nyní drží pohromadě sestavu objímky. Na každou konzolu použijte dvě matice M4 (D.2). Ujistěte se, že vnitřní matice M4 jsou v jedné rovině s konci šroubů, aby bylo vytvořeno správné místo pro usazení čajové svíčky (9).

Přimontujte dvě černé podpěry (A1) ke každé rohové konzole na sestavě objímky. Použijte dva středně dlouhé šrouby M4 (C.4), dvě černé distanční vložky (B.2), dvě matice M4 (D.2) na každou konzolu a nezapomeňte přidat jednu podložku M4 (D.5) na horní distanční vložku. ♥ Nyní do držáku usadte svíčku (9) a krycí objímku (3) se spodním krytem (1) a srovnejte podpěry a konzole, aby vše dobře sedělo. Nakonec utáhněte všechny šrouby a matice.

(3.2) Horní kryt - viz Obr. 2

Vyjměte pracovní píst z válce. Pomocí nožíku a/nebo brusného papíru opatrně odstraňte jakékoli ořepky z hran pracovního válce (E.1) a jeho objímky (8).

♥ Velmi opatrně z pracovního válce očistěte všechny stopy prachu. Vložte zpět píst a zkontrolujte, zda se uvnitř válce pohybuje hladce bez zjevného tření nebo zadírání. Objímku (7) umístěte na pevnou rovnou podložku a opatrně do ní rukou zatlačte pracovní válec. Ujistěte se, že je ve vertikální poloze, aby nedocházelo k zadírání válce. Malý kousek dřeva umístěný na válci může pomoci zvýšit ruční tlak a zatlačit válec rovně. Uřízněte dva 2 mm dlouhé kousky ohebné trubičky střední velikosti (E.7). Připevněte poslední dvě rohové konzole (B.3) na horní část krytu pomocí dlouhých šroubů M2 (C.2), středně velké podložky M3 (D.4), kousku trubičky, malé podložky M3 (D.3) a matice M2 (D.1). ♥ Dbejte na správnou orientaci konzol. Upevněte pracovní válec a objímku na horní kryt (2) pomocí čtyř dlouhých šroubů M2 (C.2), středních podložek M3 (D.4) a matic M2 (D.1). ♥ V prvním kroku matice dotahujte pouze prsty. Před konečným utažením matic se ujistěte, že mezi objímkou a horním víkem není mezera.

(3.3) Montáž držáku klikové hřídele - Obr. 3a/b

Do jedné z nosných desek (A.2) držáku klikové hřídele zasuňte čtyři šrouby M4 x 16 (C.4) a položte na stůl hlavami šroubů dolů. Nasadte první dva kovové pásky (A.5), bílé distanční vložky (B.1), druhé dva kovové pásky a druhou nosnou desku (A.2) a zajistěte čtyřmi maticemi M4 (D.2). ♥ Tuto sestavu připevněte ke kovovým rohovým konzolám na horním krytu pomocí dalších dvou šroubů M4 x 16 (C.4), distančních vložek (B.1) a matic M4 (D.2) v nejvyšší možné pozici - viz Obrázek 3b. Oba šrouby pevně utáhněte. ♥ Zasuňte hlavní osu velkého klikového kotouče (E.1) do pouzder. Musí být horizontální a kolmá k oběma nosným deskám (A.2). Pokud tomu tak není, upravte sestavu úpravou vzájemného postavení nosných desek. Nyní dotáhněte všechny čtyři šrouby a jejich matice. ♥ Kompletně smontovaná horní konstrukce by měla být kolmá na horní povrch krytu. Pokud tomu tak není, opatrně proveďte úpravu lehkým přihnutím kovových pásků.

(3.4) Montáž oběžného vrtulového kola a klikového kotouče - Obr. 4

Pokud je to potřeba, vytlačte ze zadní strany (bílá) jakékoli "konfety", které zůstaly v děrovaných otvorech lopatek oběžného kola A (A.6) a B (A.7). Připojte spojené dvojice lopatek - bílými stranami k sobě - pomocí krátkých šroubů M2 (C1), podložky M3 (D.4) a matice M2 (D.1) ke klikovému kotouči (E.1). Následně spojte dohromady každou dvojici lopatek na vnějších koncích pomocí šroubů M2 (C1) a matic (D.1) - bez podložek. ♥ Dbejte na to, aby plocha každé z lopatek byla kolmá na hlavní osu.

(3.5) Instalace a seřízení klikových kotoučů - Obr. 5

Středový otvor v malém klikovém kotouči (E.2) je nutné zvětšit pomocí dlouhého kolíku (E.5) jako nástroje. ♥ Pomocí malého kladívka opatrně zatlučte kolík (E.5) do středového otvoru klikového kotouče. Dbejte na to, aby byl kolík kolmý ke kotouči. Pomocí kleští poté kolík vytáhněte. Nyní klikový kotouč otočte a zatlučte krátký kolík (E.3) do otvoru na okraji. Uřízněte dva kousky tenké ohebné trubičky (E.6) v délce 2 mm a zasuňte je do osy a kolíku velkého klikového kotouče (E.1). Navlečte jeden z malých korálků (E.9) na osu a prostrčte osu přes pouzdra držáku. Na volný konec osy navlečte druhý korálek. Klikový kotouč uchopte jednou rukou v místě mezi lopatkami oběžného vrtulového kola. Druhou rukou natočte malý kotouč na osu. Ujistěte se, že osa má asi půl milimetrovou koncovou vůli (plave). ♥ Vyzkoušejte volný chod oběžného

vrtulového kola. Po roztočení prstem by se mělo kolo točit asi dvě sekundy. Nyní je čas seřadit posun mezi oběma klikovými kotouči. Tím se vytvoří tak zvaný "fázový posun", korelace mezi pohybem obou pístů. Tento posun by měl být přibližně 90 stupňů. Představte si kolíky na obou klikových kotoučích jako ručičky na hodinách. Při předním pohledu otáčejte oběžné vrtulové kolo tak dlouho, než jeho klikový kolík dosáhne pozice 12 hodin. Držte velký klikový kotouč v této pozici a otáčejte malý klikový kotouč do doby, než jeho kolík dosáhne pozice 9 hodin při pohledu ze stejného konce (oběžného vrtulového kola). Při tomto nastavení poběží motor po směru hodinových ručiček. Pokud kolík malého klikového kotouče nastavíte do pozice 3 hodin, bude motor běžet proti směru hodinových ručiček.

(3.6) Ojnice - Obr. 6

Z tenké ohebné trubičky (E.6) uřízněte dva kousky dlouhé 3 mm a dva kousky dlouhé 8 mm. Z široké ohebné trubičky (E.8) uřízněte dva kousky dlouhé 8 mm. Opatrně nasuňte 8 mm dlouhé kousky (E.8) na úzký konec každé ojnice - ojnice pracovního pístu (A.4) a ohnice přehaněče (A.3). ♥ Budte velmi opatrní, protože karton se velmi lehce protrhne. Středně velký kolík (E.4) vložte do mezery mezi trubičkou a ojnicí (dále jen trubička ojnice a kolík). Kolíky musí vyčnívat 5 mm pod spodní konec ojnic. Nasuňte 8 mm dlouhý kousek tenké ohebné trubičky (E.6) asi 4 mm na holý konec každého kolíku (E.4).

(3.6.1) Ojnice pracovního pístu (OPP)

Kolík na pracovním pístu (F.2) zatlačte asi 3 mm do otevřeného konce trubičky OPP; tak by měla uvnitř trubičky vzniknout asi 1 mm mezera mezi oběma kolíky. Vložte pracovní píst do pracovního válce. Nasadte první kuličku (E.9) na kolík malého klikového kotouče (E.2) a následně hlavu OPP a druhou kuličku (E.2). Natlačte 3 mm dlouhý kousek tenké ohebné trubičky (E.6) na otevřený konec klikového kolíku, aby ojnice nemohla spadnout. Ujistěte se, že mezi kuličkou a trubičkou je malá mezera (asi půl milimetru). ♥ Ručně roztočte oběžné vrtulové kolo a vyzkoušejte volný pohyb pracovního pístu. Pracovní píst se nesmí dotýkat horního krytu. Pokud je to nutné, upravte kolík OPP.

(3.6.2) Ojnice přehaněče (OP)

Nyní nasadte horní kryt přes přehaněč (4) tak, aby tento píst skončil uvnitř pracovního prostoru ("plechovky"). Zatlačte kolík přehaněče asi 3 mm do otevřeného konce trubičky OP. Poté dokončete montáž OP na klikový kolík oběžného vrtulového kola, jako jste to udělali u OPP. Nejjednodušší způsob montáže OP na klikový kolík je otáčení oběžným kolem do doby, než se kolík dostane do nejvyšší pozice.

♥ Smontovaný přehaněč by měl být ve svém horním postavení minimálně 1 mm daleko od horního víka.

♥ Zkontrolujte volný chod oběžného vrtulového kola. Pokud je to nutné, upravte lopatky oběžného vrtulového kola.

♥ Dbejte na správnou orientaci ojnic. Kolíky musí být na té straně ojnic, která směřuje k nosným deskám (A.2).

(3.7) Zavření krytu a mazání

Nyní opatrně zatlačte horní kryt (2) s kompletní horní konstrukcí do objímky krytu. Motor má pět ložiskových pouzder: dvě pouzdra pro hlavní osu v nosných deskách, dvě pouzdra v ojnicích a jedno v horním krytu pro vedení ojnice přehaněče. Použijte tenký drát nebo dlouhý válcový kolík (E.5) a aplikujte malou kapku strojního oleje na každý kolík nebo osu v místech průchodu pouzdry. Ujistěte se, že olej zateče do ložisek.

♥ NEAPLIKUJTE žádný olej na pracovní píst nebo válec! Nyní je váš motor připraven k prvnímu zkušebnímu chodu.

(4) Provozní pokyny

Než začnete, ujistěte se, že pracujete na nehořlavém povrchu, v suchém prostředí bez průvanu.

Do držáku umístěte čajovou svíčku, zapalte ji a motor vystředte na konstrukci nad hořící svíčku. Po jedné nebo dvou minutách ťukněte do oběžného vrtulového kola po směru hodinových ručiček (za předpokladu, že se díváte směrem na oběžné kolo, viz odstavec 4.5). Motor ecorun2.1 by měl ihned začít pracovat a vydržet v chodu více než tři hodiny - do vyhoření svíčky.

Všimněte si, že výška plamene svíčky se může při hoření měnit, což způsobuje změnu otáček motoru v rozmezí asi 200 až 600 rpm.

Plamen svíčky nesmí nikdy dosahovat na povrch spodního krytu. Je-li to nutné, zkratíte knot svíčky pomocí nůžek.

(5) Řešení problémů

Pokud váš motor nepracuje správně, nebo nefunguje vůbec, projděte si následující seznam krok po kroku a opravte nalezené problémy.

(5.1) Utěsnění základy

Základna musí být dostatečně vzduchotěsná. Za normálních okolností by všechny šroubované a lisované spoje měly zajistit adekvátní utěsnění motoru. Abyste se ujistili, že v základně nejsou velké netěsnosti, sejměte ojnicí pracovního pístu z klikového kolíku a podívejte se, jak rychle pracovní píst zabíhá do válce. Čas ne příliš pod dvě sekundy ukazuje na adekvátní utěsnění motoru.

Kritické body pro utěsnění jsou:

- X Šrouby držící kovové konzole na horním krytu.
Utáhněte šrouby připevňující rohové konzole. Je-li to nutné, sejměte horní kryt.
- X Malá mezera mezi objímkou pracovního válce a horním víkem.
Pokuste se tuto část znovu smontovat s pootočeným válcem a objímkou (90 nebo 180 stupňů) na krytu. Pokud to nepomůže, vyplňte mezeru lepidlem.
- X Netěsnost mezi pracovním válcem a jeho objímkou.
Vyplňte mezeru lepidlem.
- X Pokud byl horní kryt opakovaně sejmout z objímky krytu, může vzniknout netěsnost mezi krytem a objímkou.
Vyplňte mezeru lepidlem. Pozor: po tomto zásahu již nebude možné horní víko znovu sejmout.
Pokud to bude nutné, můžete kryt otevřít ze spodní strany.

Pokud máte problém odhalit netěsnost, kápněte do malého množství vody kapku prostředku na umývání nádobí a šetrně aplikujte na výše uvedená místa. Ručně otáčejte oběžným vrtulovým kolem. Malé bublinky vám ukáží místa úniku vzduchu. Poté motor dobře vysušte.

(5.2) Mechanické tření

Znovu si přečtěte všechny instrukce v této příručce, které se týkají volného běhu a axiální vůle. Zejména:

- X Na hlavní ose není dostatečná axiální vůle.
Opatrně zatáhněte malý klikový kotouč lehce (pár desetin milimetru) po hlavní ose směrem od nosné desky.
- X Ojnice se nepohybují volně na klikových kolíčkách.
Upravte uchycení (E.6).

(5.3) Volný chod pístů

Znovu si přečtěte související instrukce v odstavci 3.6 "Ojnice".

V případě potřeby upravte kolíky a ohebné trubičky.

Pokud do základny motoru pronikla vlhkost (například při hledání netěsností), voda mohla kondenzovat v mezeře mezi pracovním pístem a válcem a způsobit zaseknutí pístu.

Rozmontujte pracovní píst společně s ojnicí a díly vysušte. Nechte díly na chvíli rozmontované, aby se odpařila zbytková vlhkost.

(5.4) Fázový posun kliky

Pohyb obou pístů musí být fázově posunutý přibližně o 90°. Znovu si přečtěte odstavec 3.5 "Instalace a seřízení klikových kotoučů".

V případě potřeby upravte nastavení malého klikového kotouče.

(5.5) Ohřívání motoru

Pro zajištění dostatečného ohřevu musí být plamen svíčky vysoký nejméně 10 až 15 milimetrů. V případě nutnosti vyměňte svíčku.

Pro optimální přenos tepla z plamene svíčky na dno krytu je důležité prostředí bez průvanu.

(6) Seznam dílů (Číslo/Díl/Počet)

1	Kryt, spodní část	1
2	Kryt, horní část	1
3	Objímka krytu	1+1
4	Přehaněč s ojnicí	1
5	Objímkové proužky, držák	3
6	Kotouč, držák	1
7	Objímka pracovního válce	1
8	Čajová svíčka, palivo	1
A.1	Podpěry, držák	6
A.2	Nosná deska, kliková hřídel	2
A.3	Ojnice přehaněče (OP), dlouhá	1
A.4	Ojnice pracovního válce (OPP), krátká	1
A.5	Kovový pásek, 7 otvorů	4
A.6	Lopatka oběžného vrtulového kola A (2 otvory)	4
A.7	Lopatka oběžného vrtulového kola B (3 otvory)	2
B.1	Distanční vložka, bílá, 8 mm	6
B.2	Distanční vložka, černá, 11mm	6
B.3	Kovová rohová konzole	8
C.1	Šroub s plochou hlavou, M2 x 4, krátký	6
C.2	Šroub s plochou hlavou, M2 x 6, dlouhý	6
C.3	Šroub s plochou válcovou hlavou, M4 x 5, krátký	3
C.4	Šroub s plochou válcovou hlavou, M4 x 16, střední	12
C.5	Šroub s plochou válcovou hlavou, M4 x 35, krátký	3
D.1	Maticе, M2	12
D.2	Maticе, M4	24
D.3	Podložka M2, vnitřní průměr = 2,2 mm, malá	2
D.4	Podložka M3, vnitřní průměr = 3,2 mm, střední	9
D.5	Podložka M4, vnitřní průměr = 4,2 mm, velká	9
E.1	Klikový kotouč s hlavní osou a kolíkem, velký	1
E.2	Klikový kotouč, malý	1
E.3	Kolík 1x12, krátký	1
E.4	Kolík 1x16, střední	2
E.5	Nástroj, kolík 1x26, dlouhý	+1
E.6	Ohebná trubička, vnější průměr 1,6 mm, délka 30mm, tenkostěnná, řezané kousky: 2 x 2 mm, 2 x 3 mm, 2 x 8 mm	1
E.7	Ohebná trubička, vnější průměr 4,5 mm, délka 10mm, střední tloušťka stěny, řezané kousky 2 x 2 mm	1
E.8	Ohebná trubička, vnější průměr 5 mm, délka 30mm, silná stěna, řezané kousky: 2 x 8 mm	1
E.9	Korálek, distanční tělísko	6+2
F.1	Pracovní válec	1
F.2	Pracovní píst s kolíkem	1