

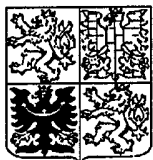
UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

8926

(19)

ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **9525-99**

(22) Přihlášeno: **11. 06. 99**

(47) Zapsáno: **26. 07. 99**

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.⁶:

F 01 C 1/22

F 02 B 53/00

F 02 B 55/00

(73) Majitel:

ŘÍMSKÝ Petr ing., Frýdek-Místek, CZ;

(72) Původce:

Římský Petr ing., Frýdek-Místek, CZ;

(54) Název užitého vzoru:

Rotační spalovací motor

CZ 8926 U1

Rotační spalovací motor

Oblast techniky

Užitný vzor se týká širokého oboru strojírenské techniky. Lze jej aplikovat v oblastech, kde se jako zdroje krouticího momentu využívá pístových spalovacích motorů.

Dosavadní stav techniky

Tam, kde doposud jako zdroje krouticího momentu nelze využít elektromotorů, je využíváno v převážné míře spalovacích motorů. Zvyšování účinnosti stávajících spalovacích motorů je možné pouze na základě zásadní změny v jejich konstrukci. Wankelovy motory s rotujícím pístem trpí řadou nedostatků, které se dosud nepodařilo úspěšně vyřešit. Pístové motory jsou již téměř na vrcholu možností, a ani v kombinaci s turbodmychadlem již nelze očekávat výraznější zvýšení jejich účinnosti. Převodem přímočarého pohybu pístu na pohyb kruhový, průchody mrtvými body a neefektivním rozkladem působení sil na ojnici dochází ke značným ztrátám energie expandujícího média, což je limitujícím faktorem pro účinnost daného motoru. Kromě nízké účinnosti pístového motoru, která je taktéž limitujícím faktorem pro spotřebu paliva a tedy i provozní náklady, je zde řada dalších nedostatků jako např. - nedokonalé spalování paliva, jehož důsledkem je vysoký obsah škodlivin ve výfukových plynech, neklidný chod, zapříčiněný dynamickými rázy, charakteristickými pro pístové motory, relativně nedostatečná životnost a spolehlivost, a poměrně značná konstrukční složitost a tedy i značné výrobní náklady.

Vycházíme-li ze sto let ověřovaných poznatků a zkušeností z konstrukce a provozu pístových spalovacích motorů, můžeme konstatovat, že pro vlastní pohon vozidel s těmito motory je v závislosti na způsobu jízdy využito pouze cca 20 % energie obsažené ve spotřebovaném palivu, zatím co cca 80 % energie jde na konto ztrát. Tyto jsou prezentovány především ztrátami chlazením, ztrátami do výfuku, ztrátami třením v motoru, ztrátami aerodynamickými, valivými atd., avšak suverénně nejvyšší podíl - cca 70 % - mají ztráty, které vznikají již v motoru, zcela neefektivní transformací z jedné formy energie na druhou. Uvážíme-li, že píst s ojnici se na dráze např. 80 mm rozbíhá z nulové rychlosti do rychlosti $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($72 \text{ km}\cdot\text{hod}^{-1}$), kterou má ve středu dráhy - ve 40 mm -, aby se po dalších 40 mm zcela zastavil a změnil smysl pohybu, pak nezbyvá než konstatovat, že pístový motor je anarchonismem a mrháním energetickými zdroji. Množství energie, které se pohltí vlivem změn smyslu pohybu a zrychlováním posuvných hmot, stejně jako energie pohlcená třením ve válcích a ložiscích, jsou navíc úměrné druhé mocnině rychlosti a tedy i otáček. Obdobná situace je i u výfukových ztrát, neboť uvážíme-li, že výfukový ventil se otevírá již $40^\circ - 80^\circ$ před dolní úvratí, kdy tlak ve válci dosahuje hodnot téměř 1 MPa a teplota nedostatečně prohořelého paliva se pohybuje kolem hodnot 1000°C , a takto hořící směs je pak násilím vytlačována do výfuku, kde ještě zbytečně expanduje, zbytečně výfuk ohřívá a odvádí teplo a zplodiny do okolní atmosféry, čímž ji znečišťuje, pak nezbyvá, než předchozí konstatování o mrhání energií jen zdůraznit. Úplným paradoxem, z hlediska energetické bilance, je pak zařazení drahého a choulostivého katalyzátoru do výfuku, na kterém bezplatně spalujeme nespálené palivo z motoru, ale samozřejmě zcela bez užitku. Je rovněž paradoxní, že pístové motory se vybavují stále dokonalejší, vyspělejší a dražší elektronikou, motormanagementy, plynule měnitelným časováním atd., aby se co nejprecizněji ošetřil a vyladil špatný princip, namísto toho, aby se alespoň část úsilí a prostředků vložila do evidentně dokonalejších principů, a tím učinil alespoň malý krůček k záchraně atmosféry a zdrojů fosilních paliv. Argumenty skeptiků, kteří tvrdí, že utěsnění a oddělení jednotlivých prostorů ve válci pomocí lišt, uzávěrek a šoupátek je velice obtížné, jsou při současném stavu techniky a poznatků z vývoje Wankelova motoru zcela neopodstatněné. Oč složitější a méně logická se u pístových motorů jeví transformace energie expandujícího média na energii kinetickou, nejprve z přímočarého vratného pohybu pístu na pohyb rotační, kolem pevné osy, o to jednodušším a logičtějším dojemem působí motor rotační. Zásadní změna v koncepci konstrukce spalovacích motorů a odstranění výše uvedených nedostatků je náplní návrhu užitného vzoru.

Podstata technického řešení

Podstata rotačního spalovacího motoru spočívá v tom, že převod tlaku expandujícího média přímo na rotační válec je proveden ve spalovacím prostoru vymezeném uzávěrkami a ventily, umístěnými na vnějším pevném válci, a zubem vnitřního rotačního válce. Na plášti vnitřního rotačního válce je podélný nálietek tvaru protaženého zubu - seříznuté vačky, který plní funkci pístu a zabezpečuje přenos tlaku expandujícího média na rotor ve smyslu žádané rotace. Základem rotačního spalovacího motoru jsou dva duté souosé válce, z nichž vnitřní, s výše uvedenou úpravou, je rotační, vnější válec je pevný. Na vnějším pevném válci je speciální nálietek, ve kterém jsou umístěny sací a výfukové uzávěrky, sací a výfukové ventily, rozvodový a aretační mechanismus a spalovací prostory s tryskami a svíčkami, které mají stejnou funkci jako u klasických pístových motorů. Výbušná směs je vytvářena tak, že do komprimovaného vzduchu ve spalovacím prostoru je palivovým vstříkovacím čerpadlem vstříkováno zápalné médium. Zapálení směsi je v závislosti na stupni komprese realizováno buď vznětem nebo zážehem. Stejně jako u pístových motorů je možno v zájmu zvyšování výkonu rotační motor doplnit turbodmychadlem.

Výhodou navrhovaného řešení je podstatně lepší zhodnocení energie paliva, neboť tlak expandujícího média je využit v rámci téměř celé otáčky, nedochází k energetickým ztrátám při rozkladu sil na ojnici, ztrátám v důsledku změn smyslu pohybu a zrychlování posuvných hmot atd. Jsou zde minimalizovány hmoty konající vratný pohyb, což je příznivé nejen pro energetickou bilanci, ale i pro klidný chod a dimenzování součástí. Pro již zmíněnou energetickou bilanci bude vždy podstatné získání maximálního momentu z minimálního středního efektivního tlaku, současně s minimálním ztrátovým tlakem. Radiální těsnicí prvky opisují čistý kruh a vhodnou aplikací poznatků z vývoje Wankelových motorů na těsnicí prvky a uzávěrky je možno docílit minimalizace ztrátového tlaku, současně s minimalizací ztrát třením. Vzhledem k tomu, že se jedná o ryze rotační pohyb, je možno třecí síly přesně definovat a z toho stanovit i přesné požadavky na mazání. Při použití moderních technologií a speciálních lubrikačních prostředků bude možno požadavky na mazání velmi účinně minimalizovat. Rovněž může odpadnout složitý chladicí systém, neboť energie paliva je ve značně vyšší míře transformována na energii kinetickou a tepelná zátěž motoru bude nižší. Vytvořením ventilačních otvorů v čelech pevného i rotačního válce a instalací lopatek v duté části rotačního válce dojde k dostatečnému vnitřnímu chlazení motoru. Při optimálním návrhu spalovacích prostorů a optimálním dávkování palivových čerpadel dojde současně k podstatně dokonalejšímu vyhoření směsi, a tedy i ke značně ekologičtějšímu provozu. Mohou se využít i méně hodnotná nebo alternativní paliva, neboť toto řešení nevyžaduje vysoce kvalitní paliva se značnou antidetonační schopností. Vzhledem k tomu, že zde nedochází k žádným dynamickým rázům, jedná se o ryze rotační pohyb, lze očekávat klidný a tichý chod tohoto motoru a s tím související vysokou spolehlivost. Výhodná bude taktéž konstrukční jednoduchost, což je podmínkou pro nízké výrobní náklady, nenáročnou údržbu a vysokou životnost.

Přehled obrázků na výkresech

Na přiložených výkresech je zjednodušeně schematicky znázorněn příklad technického řešení rotačního spalovacího motoru - obr. 1, zjednodušené schéma jednotlivých fází tříotáčkového pracovního cyklu rotačního motoru - obr. 2, oblasti aktivního působení expandujícího média na jednotlivé motory - obr. 3, časové diagramy aktivního působení při 3000 ot.min⁻¹ - obr. 4, grafy průběhů expanzí - obr. 5, časové průběhy časování ventilů při 3000 ot.min⁻¹ - obr. 6, průběhy tlaků ve válcích pístového a rotačního motoru - obr. 7.

Příklady provedení

Obr. 1 - rotační spalovací motor se skládá z dutého vnitřního rotačního válce 1, na jehož vnějším obvodu je podélný nálietek tvaru protaženého zubu - seříznuté vačky 2. Na protilehlé straně vnitřního rotačního válce 1 je na jeho vnitřní straně vyvažovací nálietek 3. Rotační válec 1 je

navržen s ohledem na moment setrvačnosti a dynamiku motoru tak, že současně plní částečně i funkci setrvačnicku. Plášť celého motoru má tvar pevného souosého válce 4, jehož vnitřní průměr je roven vnějšímu průměru vnitřního rotačního válce 1 zvětšenému o dvojnásobek výšky zubu 2. Na plášti motoru je nálietek speciálního tvaru 5, ve kterém jsou umístěny spalovací prostory 6, trysky a svíčky 7, sací uzávěrka 8, sací ventily 9, výfuková uzávěrka 10, výfukové ventily 11 a rozvodový mechanismus 12. V nálitku je umístěn ještě aretační mechanismus (elektromagnetický ev. mechanický), který definuje polohu uzávěrek 8 a 10 v závislosti na úhlovém natočení zubu 2. Tvar a velikost spalovacích prostorů 6 jsou navrhovány s ohledem na požadovaný stupeň komprese a tedy i na předpokládaný režim provozu - vznětový x zážehový. Uzávěrky 8 a 10 jsou řešeny jako zasouvací přepážky oddělující spalovací prostory 6 od ventilů 9 a 11 a tedy i od sacího a výfukového otvoru. Styčné plochy uzávěrek bude zřejmě nutné vybavit těsnicími lištami, stejně jako zub rotoru. Ventily 9 a 11, rozvodový mechanismus 12, trysky a svíčky 7 jsou komponenty z klasických spalovacích motorů.

Obr. 2 - při popisu funkce rotačního spalovacího motoru využijeme schematického znázornění tříotáčkového pracovního cyklu rotačního motoru rozloženého do jednotlivých fází pracovní činnosti. Uvedení motoru do chodu může být totožné jako u pístových motorů - pomocí akumulátoru a startéru dojde k roztočení vnitřního rotačního válce 1. Vycházíme z předpokladu, že zub 2 se nachází v poloze dle 1., sací ventil 9 je otevřen, sací uzávěrka 8 odaretována, výfukový ventil 11 uzavřen, výfuková uzávěrka 10 zaaretována. Při pohybu zubu 2 ve směru šipky dochází za zubem 2 k postupné kompresi viz 2. Po průchodu zubu 2 za výfukový otvor viz 3. dochází k odaretování výfukové uzávěrky 11, která sjíždí po čele zubu 2 a uzavírá spalovací prostor 6 viz 4. Současně dochází k uzavření sacího ventilu 9. Po průchodu zubu 2 za spalovací prostor 6 viz 5. dochází ke vstřiku paliva a vznětu (zážehu) výbušné směsi. Sací uzávěrka 8 zůstává zaaretována. Následkem exploze tlačí expandující médium zub 2 k výfukovému otvoru viz 6. a po jeho průchodu za výfukový otvor se výfuková uzávěrka 10 opět vrací do původní polohy a odděluje spalovací prostor 6 od výfukového otvoru viz 8. Po průchodu zubu 2 za sací otvor dochází k otevření sacího ventilu 9 a zadní strana zubu 2 začíná vytlačovat vyhořelou směs do výfukového otvoru a čelní strana zubu 2 nasává mezi válci 1 a 4 vzduch viz 9. Po průchodu zubu 2 za výfukový otvor viz 10. se výfukový ventil 11 uzavře a výfuková uzávěrka 10 zaaretuje. Po průchodu zubu 2 za spalovací prostor 6 se sací uzávěrka 8 odaretuje viz 11. = 1., pracovní cyklus je u konce a začíná další pracovní cyklus.

Obr. 3 - srovnáme-li momentové poměry pístového a rotačního motoru, při respektování zjednodušujících předpokladů, pak lze zcela evidentně kalkulovat u pístových motorů s aktivním příspěvkem energie expandujícího média ve prospěch krouticího momentu pouze v jedné polovině otáčky, redukované o složky zapříčiněné časováním ventilů a rozkladem sil na ojnici. 10° za HÚ píst téměř ještě stojí, začíná se z nulové rychlosti teprve rozbíhat a tangenciální složka síly vytvářené expandujícím médiem je minimální. Proto také motoroví konstruktéři doporučují umístit tlakové maximum cca 15° za HÚ. Ve 120° za HÚ dochází k otevření výfukového ventilu, tlak ve válci prudce klesá, moment, odvozený od tangenciální složky, se rovněž prudce snižuje, takže ve 150° je již téměř nulový a píst se stává spotřebičem. Aktivní působení je tedy cca $130^\circ - 140^\circ$.

U rotačního motoru jsou poměry zcela jednoznačné. Jakmile se zub rotoru dostane za spalovací prostor, působí expandující médium přímo aktivně ve prospěch krouticího momentu, bez jakýchkoliv redukcí. Když se zub rotoru dostane za výfukovou uzávěrku, aktivní působení skončí. Aktivní působení je tedy cca 320° . Zde však neplatí podmínka, že tlakové maximum musí nastávat 15° za HÚ, ale právě naopak, dle optimalizačních kritérií jej bude možno umístit např. $30^\circ - 60^\circ$ za HÚ, a tím docílit značně ploššího a rovnoměrně rozloženějšího průběhu tlaku (viz obr. 7).

Ještě markantnější je srovnání z hlediska momentu setrvačnosti. Moment setrvačnosti narůstá s kvadrátem poloměru setrvačnosti, takže při reálném srovnání porovnatelných motorů, kdy poloměr setrvačnosti může být u rotačního motoru 2 až 3x větší než u motoru pístového, naroste moment setrvačnosti 4 až 9x. Moment setrvačnosti je pak přímo úměrný energetické bilanci.

Obr. 4 - aktivní působení na moment M z hlediska časového průběhu je rovněž zcela jednoznačné. Při zjednodušeném srovnání 12 otáček jednoválcového pístového motoru a jednokomorového rotačního motoru např. při $3000 \text{ ot. min}^{-1}$ je počet dávek paliva v poměru 6 : 4, avšak aktivní využití expandujícího média je následující:

pístový motor	$135^\circ \cdot 6 = 810^\circ$
rotační motor	$320^\circ \cdot 4 = 1280^\circ$
poměr	$810^\circ : 1280^\circ = 0,63 \approx 6 : 10 = 3 : 5.$

Z těchto údajů vyplývá, že aktivní využití expandujícího média je u rotačního motoru cca 2,4x efektivnější.

Obdobně je tomu i při srovnání doby hoření. Budeme-li předpokládat, že k plnému hoření dochází zhruba v HÚ, ve 120° za HÚ dochází k otevření výfukového ventilu a tím k radikální změně termodynamických poměrů, pak lze konstatovat, že efektivní hoření probíhá u pístového motoru cca 130° , a u rotačního motoru cca 320° . Lze tedy konstatovat, že zatím co u pístového motoru prohořívá 6 dávek 43 ms, u rotačního motoru prohořívají 4 dávky 71 ms. Z těchto závěrů si lze zcela snadno vytvořit úsudek o míře účinnosti a množství exhalací.

Obr. 5 - grafické vyjádření průběhu expanze a jejího aktivního využití naznačuje i to, jak bude vypadat např. při $3000 \text{ ot. min}^{-1}$ průběh termoreakcí u pístového a rotačního motoru. Vzhledem k tomu, že při začátku spalování, kdy dochází k nejpodstatnějším termoreakcím a vzniku řady meziproduktů hoření, je píst v HÚ a prakticky stojí, aby se po $30^\circ - 40^\circ$ po zážehu (cca 2 - 3 ms po zážehu) dal do pohybu a nastala nelineární expanze a po dalších 120° (7 - 8 ms) došlo k otevření výfukových ventilů a tedy i k zásadní změně termodynamických poměrů, lze konstatovat, že podrobný popis dějů při spalování je u pístových motorů velice obtížný.

Naproti tomu bude u rotačních motorů situace diametrálně odlišná, neboť ihned po zapálení směsi dojde k jejímu rovnoměrnému prohořívání za přesně definovaných, lineárně narůstajících expanzních poměrů po dobu cca 18 ms. Abychom u spalovacích motorů výrazně snížili spotřebu a dosáhli cíle, dostat se s měrnou spotřebou pod 200 g/kW.hod , současně s redukcí CO , C_mH_a a NO_x ve výfukových plynech na minimum, musíme nechat palivo prohořet dostatečně dlouho v optimálním termodynamickém režimu, což je u rotačního motoru značně reálnější než u motoru pístového. Při těchto úvahách vycházíme z předpokladu, že návrhem optimální velikosti a tvaru spalovacích komor u rotačního motoru, vhodnou přípravou směsi a přesným časováním vytvoříme podmínky pro co nejúčinnější režim hoření a vyhneme se oblastem studeného hoření nebo disociace.

Obr. 6 - znázorníme-li zjednodušeně časový průběh časování ventilů opět při $3000 \text{ ot. min}^{-1}$ na úseku 12 otáček, dojdeme k tomu, že každý z ventilů u pístového motoru změní polohu 6x, s tím, že doba otevření trvá u každého ventilu vždy jen cca 13 ms, tedy celkem 78 ms, zatím co ventily u rotačního motoru změní polohu sice jen 4x, avšak doba otevření trvá vždy cca 37 ms, tedy celkem 148 ms. Z hlediska plnění a vyplachování je to sice žádoucí, avšak z hlediska tepelné bilance negativní. Vzhledem k tomu, že povrch, jímž se teplo odvádí, bude u rotačních motorů podstatně větší než u motorů pístových, bude zřejmě nutné některé části (ev. celý motor) tepelně izolovat. Jistě není nutné zdůrazňovat, že mnohem jednodušší a efektivnější je motor tepelně izolovat, než z obtížně přístupných míst odvádět teplo bez užitku jen proto, že energii paliva nedokážeme lépe transformovat na energii kinetickou. Pomocí elektroniky a motormanagementu je možno zajistit, aby teplotní pole skříně motoru bylo rozloženo optimálně v intencích požadavků na co nejvýhodnější funkci.

Obr. 7 - z grafu průběhů tlaku ve válcích pístového a rotačního motoru je patrné, že není žádoucí vyvolat např. na dobu cca 2 ms extrémní tlakové maximum 5 - 6 MPa, které se stejně vybíjí do ložisek, čepů a do třecích ztrát ve válcích, aby za dalších 5 ms kleslo toto maximum pod 1 MPa, ale právě naopak, žádoucí je, aby tlakové maximum nebylo tak extrémní a protáhlo se v čase co nejvíce, s minimem ostrých extrémních přechodů a s co nejplynulejším průběhem přechodu od tlakového maxima k tlakovému minimu a opačně. Toho je možno docílit umístěním tlakového

maxima např. $30^\circ - 60^\circ$ za HÚ a jeho roztažením v čase. U rotačních motorů lze technicky tento záměr realizovat rozdělením spalovacího prostoru na několik částí s postupným vznětem (zážehem) paliva v jednotlivých částech tak, aby spalování probíhalo v optimálním termodynamickém režimu. Odbouráme-li tlakové extrémy, omezíme tím i dynamické rázy a docílíme klidnějšího a efektivnějšího chodu motoru.

Průmyslová využitelnost

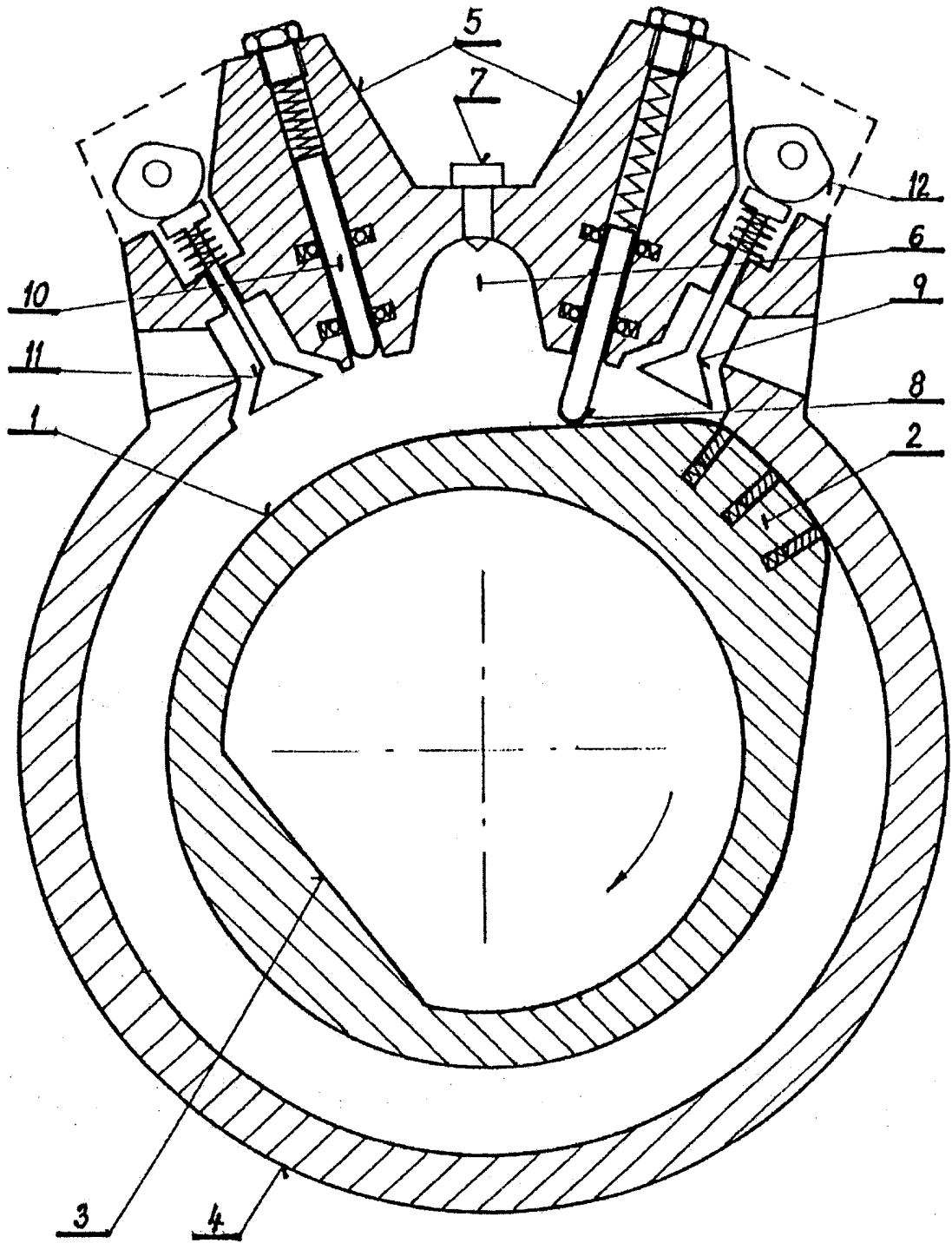
Příklad technického řešení je dostatečně zřejmý z přiložených výkresů. Realizace zkušebních prototypů bude závislá na rozpracování do stadia výrobní dokumentace, což by mělo být úkolem pro profesionální konstrukční a vývojové útvary. Takto koncipovaný motor lze samozřejmě skládat od jednodukomorových až po n-ukomorové, což bude zcela záležet na úvaze konstruktéra. S ohledem na výrobní nenáročnost se jako optimální jeví uspořádání 3 - 4 ukomorové, načasované s odstupem 360° ev. 270° , které zajišťuje, že rotační motor bude stabilně v tahu a průběh momentu bude v rámci jednoho pracovního cyklu rovnoměrně rozložen. Z hlediska výkonových parametrů lze takto konstruovat výkonové řady od jednotek W až po MW. Rotační spalovací motor lze s výhodou využít jako zdroje krouticího momentu ve všech oborech průmyslové činnosti, všude tam, kde se dnes využívají pístové spalovací motory, neboť bude mít vyšší účinnost, a tedy i nižší provozní náklady, menší nároky na výrobu a údržbu, vyšší životnost a spolehlivost, menší nároky na kvalitu paliva a bude ekologičtější.

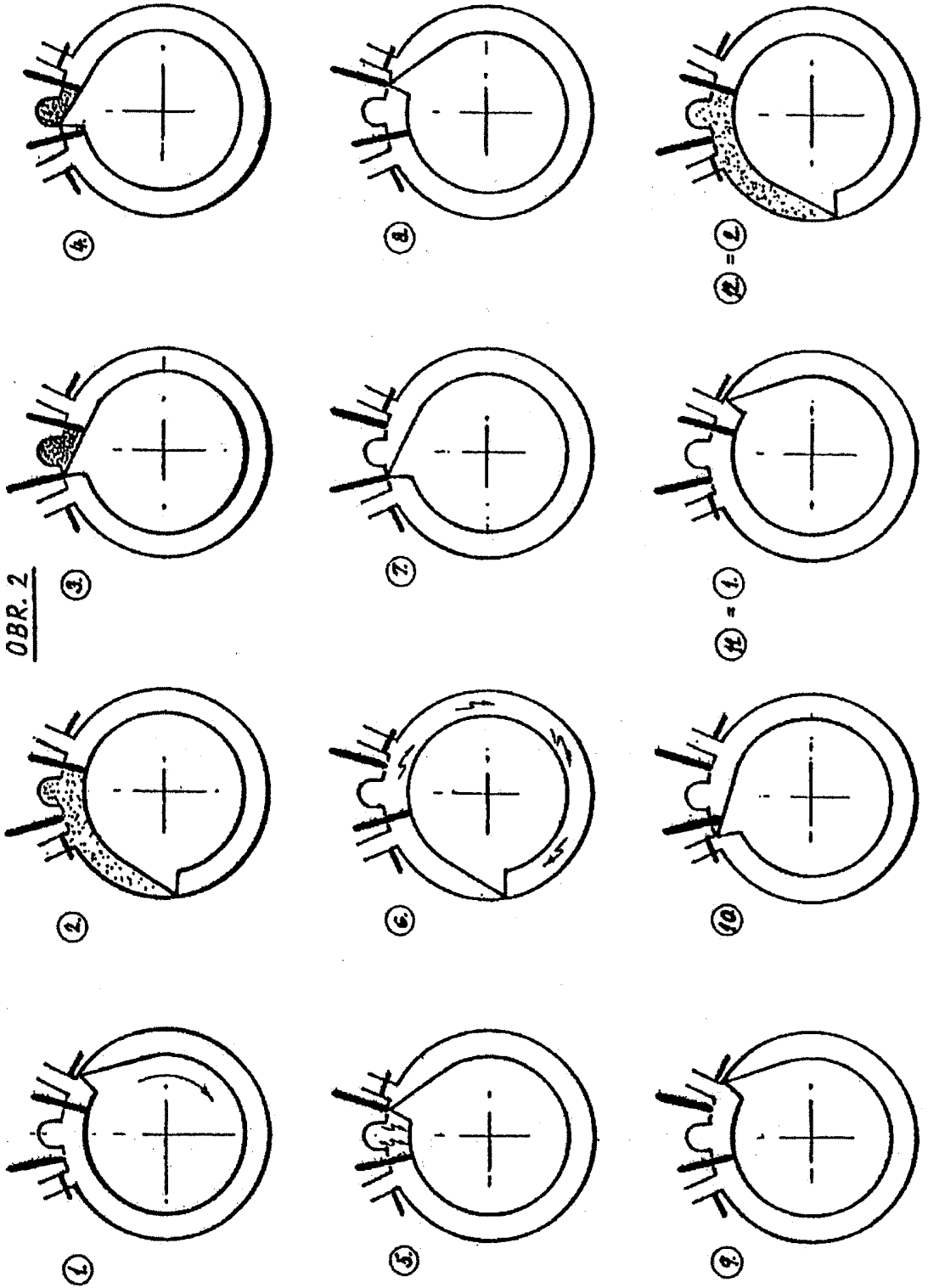
NÁROKY NA OCHRANU

1. Rotační spalovací motor vytvořený ze dvou dutých sousých válců, z nichž vnější (4) je pevný, vnitřní (1) je rotační, u něhož je krouticí moment vyvoláván přenosem tlaku expandujícího média přímo na vnitřní rotační válec (1), jehož pracovní cyklus je realizován v rámci tří otáček a pracovní režim definován nastavením uzávěrek (8) a (10) a ventilů (9) a (11) v závislosti na úhlovém natočení zubu (2) rotačního válce (1), **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že na vnitřním rotačním válci (1) je podélný nálietek tvaru protaženého zubu - seříznuté vačky (2) a na tělese vnějšího pevného válce (4) jsou umístěny sací a výfukové uzávěrky (8) a (10), sací a výfukové ventily (9) a (11), trysky a zapalovací svíčky (7), spalovací prostory (6) a rozvodové a aretační mechanismy (12).

7 výkresů

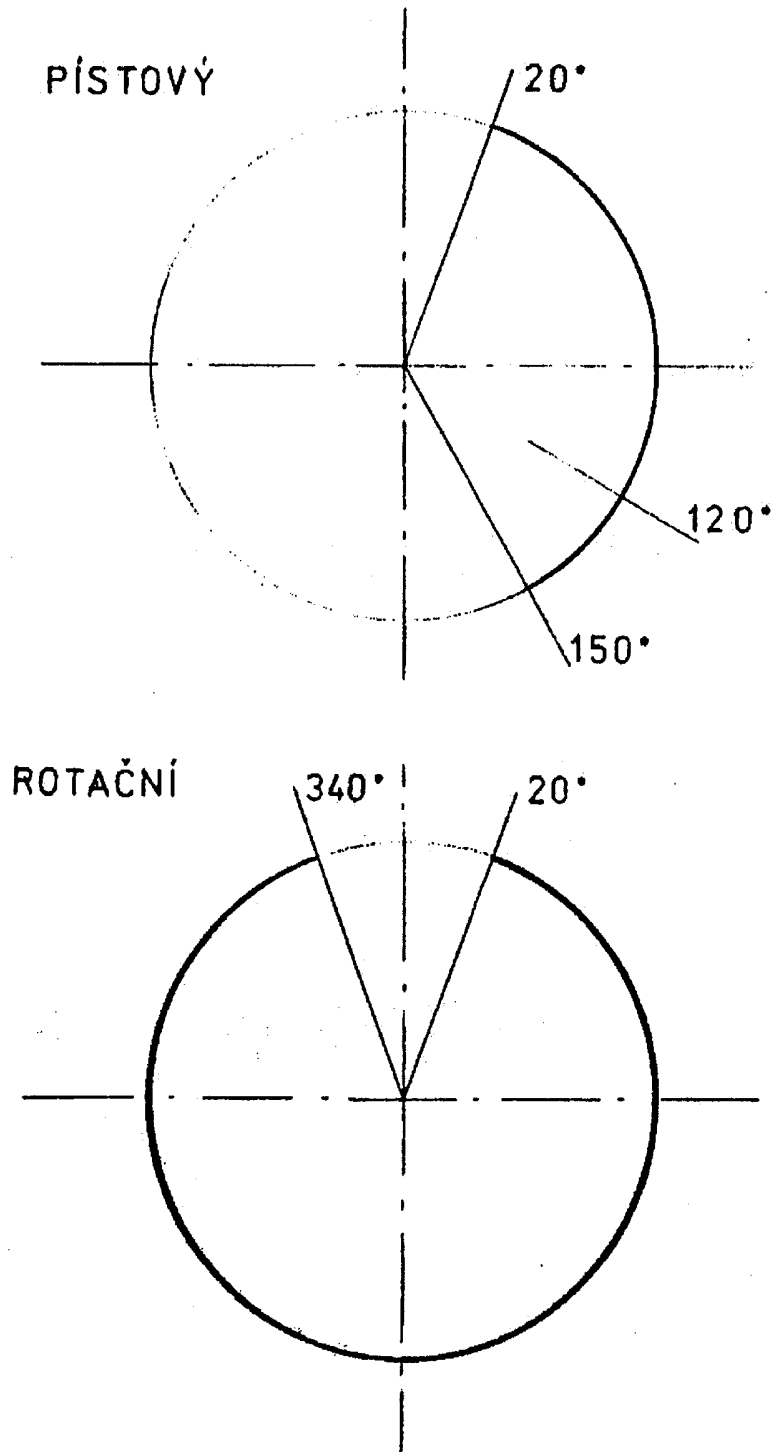
OBR. 1



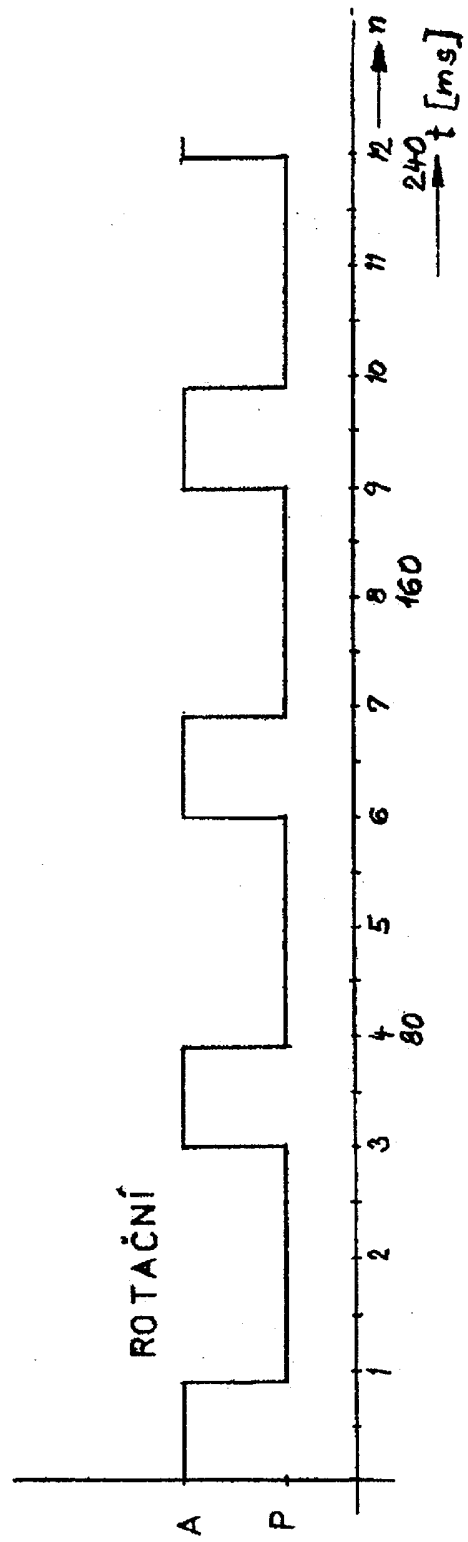
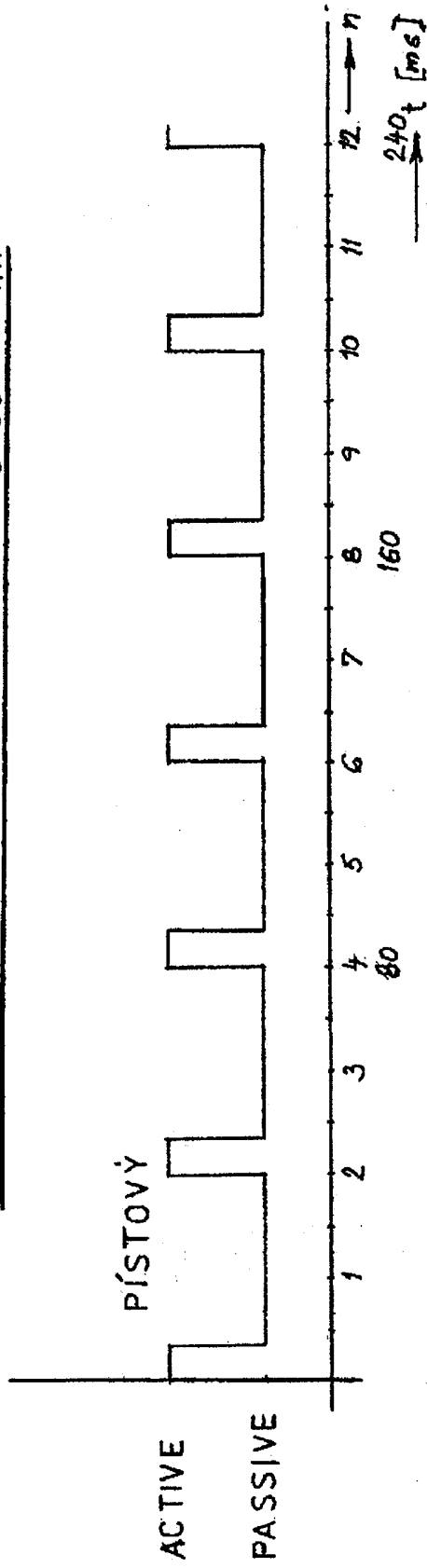


OBR. 3

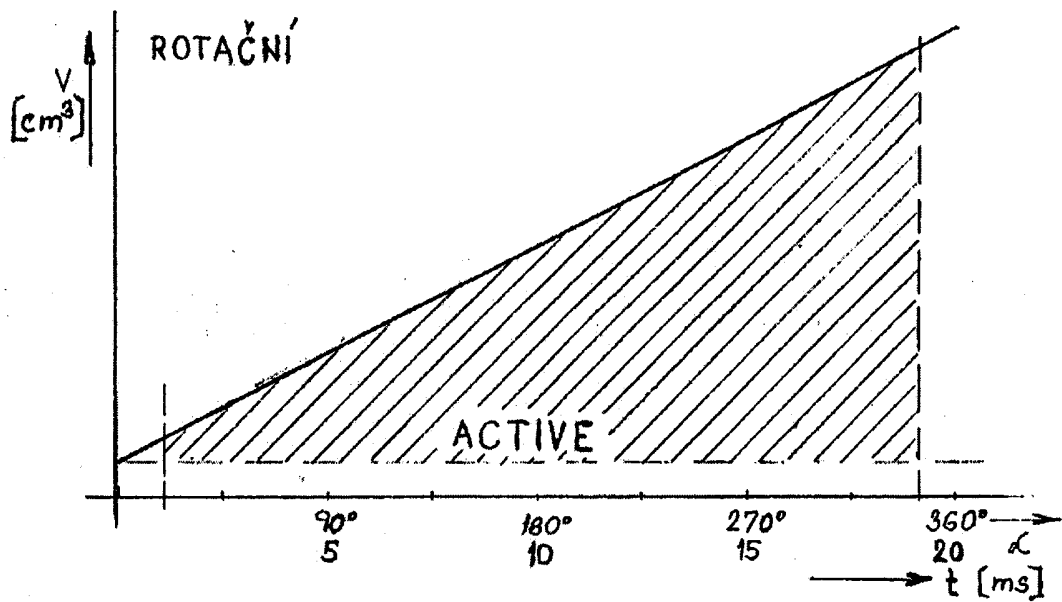
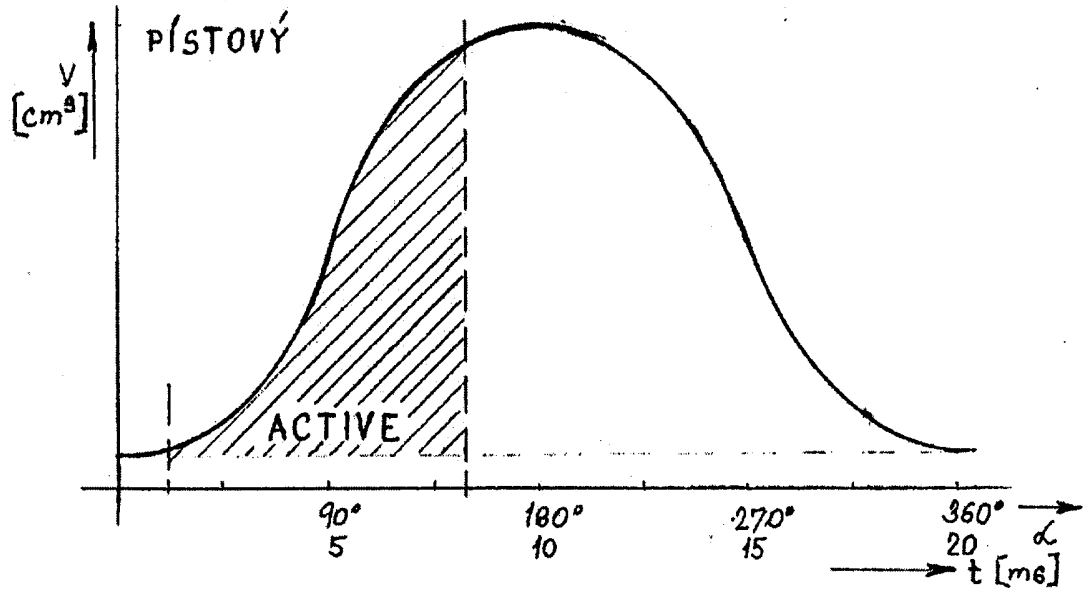
DRÁHY AKTIVNÍHO PŮSOBENÍ



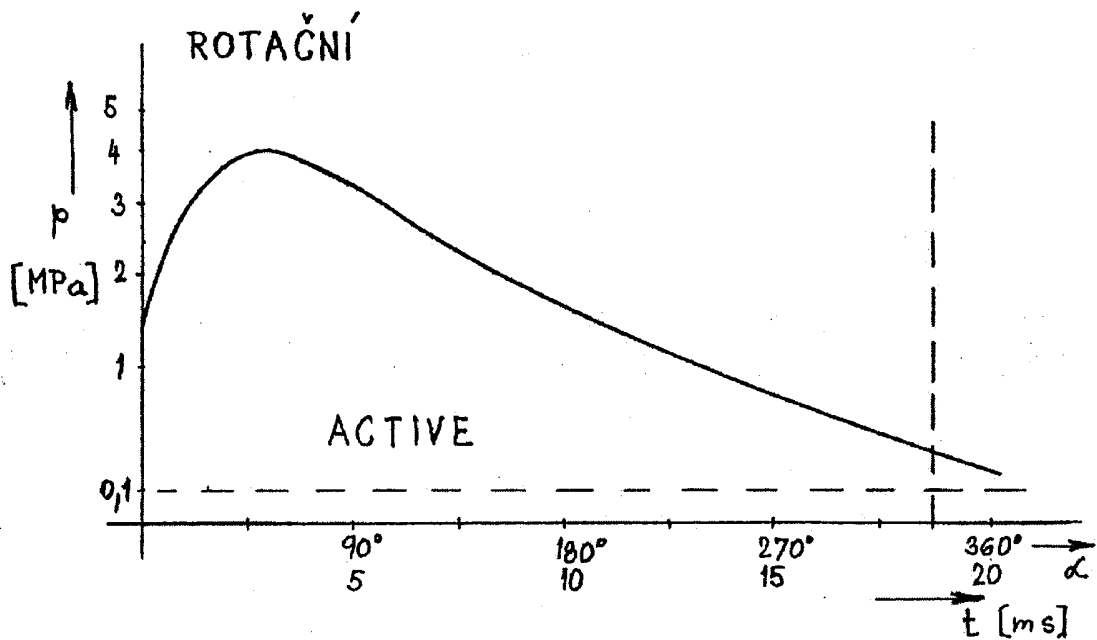
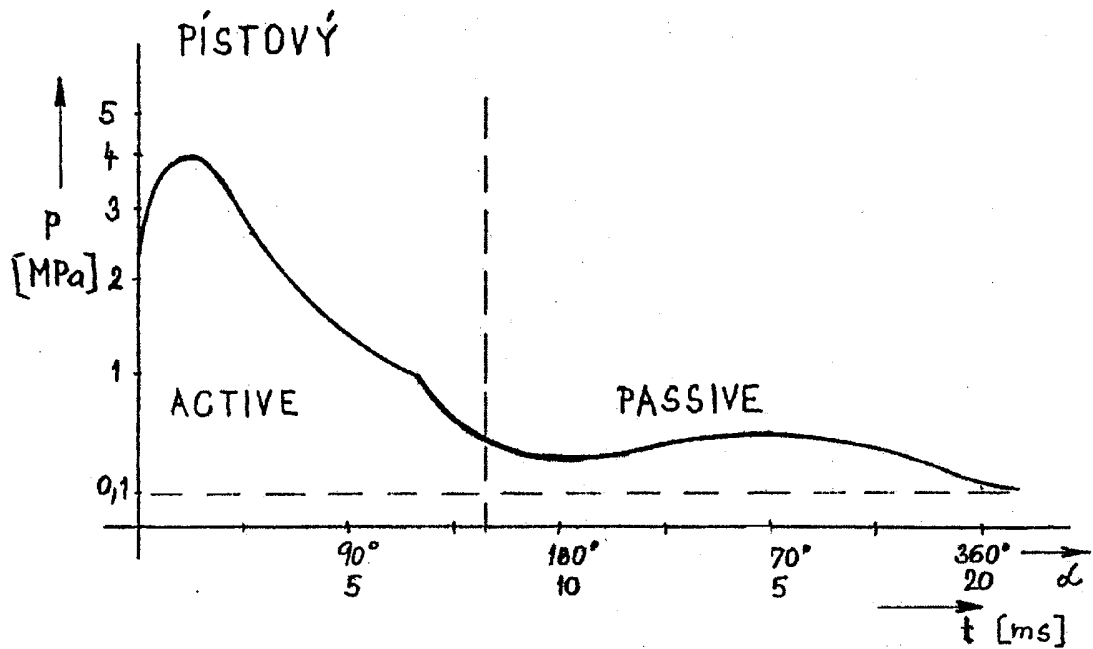
OBR. 4
 AKTIVNÍ PŮSOBENÍ NA M $n = 3000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$



OBR. 5
PRŮBĚH EXPANZE – AKTIVNÍ VYUŽITÍ



OBR. 7

PRŮBĚH TLAKU VE VÁLCÍCH

Konec dokumentu

OBR. 6

DYNAMIKA VENTILŮ $n = 3000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$

