

AN ALTERNATIVE THERMODYNAMIC ANALYSIS OF IDEAL THERMAL CYCLES OF PISTON COMBUSTION ENGINES. THE FORMULATION AND DERIVATION OF FUNDAMENTAL COMBINED OPTIMES AND THE REAL EFFECT OF THE POISSONS CONSTANT

Zdeněk BAYER*

Summary: *The article presents the continuation of the new concept for analysis of ideal thermal cycles of piston combustion engines. First, some ideas of thermodynamically compromising optimals and their consequences are examined. Further, the influence of the Poisson constant on the cycle parameters and criteria is studied. It is proved to have a relatively weak effect which is in distinct contradiction with the exaggerated effect predicted by the classical approach.*

1. Úvod

V předchozích pracích byl na základě rozboru předností a nedostatků tradiční termodynamické analýzy porovnávání tepelných oběhů spalovacích pístových motorů navržen způsob, který je bližší základním termodynamickým hlediskům i realitě a dává větší prostor pro vlastní analýzu i pro odvození širších a přesnějších závěrů než dosud. Zmíněný přístup spočívá na následujících principech:

- 1) zavedení základního termodynamického parametru oběhu - jeho teplotního poměru;
- 2) uvažování dalšího termodynamického kritéria - měrného výkonu pracovní látky
- 3) termodynamicky zdůvodněná komplexní optimalizační strategie cyklu;
- 4) uvážení důsledků provozu cyklu v nenávrhových režimech;
- 5) přesnější a úplnější než dosud respektování různých přepřehovaných variant cyklů;
- 6) přesnější než dosud posouzení vlivu vlastností pracovní látky oběhu;
- 7) přesnější než dosud uvažování nevratností v cyklech, především reálných adiabatických dějů; spolu s tím
- 8) přesnější než dosud modelování charakteru sdílení tepla v průběhu cyklu.

Již aplikace prvních tří principů na analýzu ideálního zážehového (Ottova), vznětového (Dieselova) a smíšeného (Seiligerova) oběhu ukázala, že vede přinejmenším ke zřetelnému doplnění a v některých ohledech i pozměnění dosavadních poznatků a prokázala, že tato koncepce dává celé této vědní disciplíně rámec, logiku a umožňuje ji dále rozvíjet.

Práce pak pokračovala v představování tohoto nového způsobu dvěma směry.

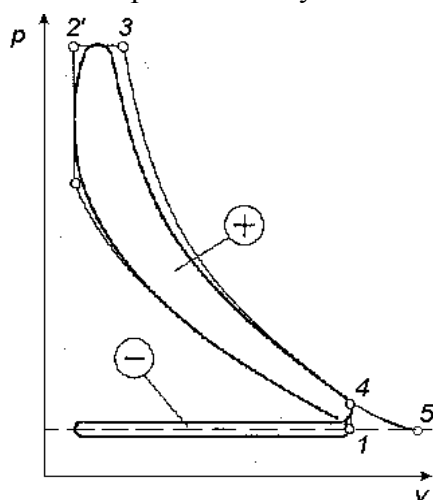
1. Bylo ukázáno, že úvahy o podmínkách a vlastnostech práce oběhu mimo návrhový bod mohou významně ovlivňovat zásady optimalizace cyklu. Vyplývalo, že pokud se při optimalizaci cyklu bere až příliš velký důraz na jeho tepelnou účinnost, vede citelné zmenšení

* Doc. Ing. Zdeněk Bayer, CSc., ÚT AVČR, Dolejškova 5, 182 00 Praha 8, e-mail bayer@it.cas.cz, tel. 266 053 033

regulačních možností proti maximu k nutnosti kompenzovat tento úbytek jiným způsobem, např. vyšším počtem rychlostních stupňů. Alternativou je přihlédnout více k podmínkám maximálního výkonu oběhu. Je až překvapivé, že oba tyto koncepční přístupy, jasně patrné ve vývoji automobilových motorů v posledních desetiletích, lze odvodit už z termodynamické analýzy porovnávacích cyklů.

2. Na základě nové metody jsou v práci odvozeny základní vztahy pro ideální oběhy přepřlňovaných motorů; byl tak vytvořen základ jednak k odpovídajícímu studiu velkého množství variant, které zde existují, k jejich vzájemnému porovnání a k porovnání s tepelnými oběhy bez této úpravy.

Předložený příspěvek rozvíjí dosavadní poznatky ve dvou směrech: jednak si podrobněji všimá možností uvedených v bodu 3) "principů" (termodynamicky zdůvodněná komplexní optimalizační strategie cyklu), jednak představuje první část úvah týkajících se vlivu vlastností pracovní látky oběhu - Poissonovy konstanty (adiabatického exponentu).



Obr. 1

2. Základní vztahy, termodynamická optima a kompromisní řešení

Schéma ideálního smíšeného oběhu (1-2-2'-3-4-1) je na obr. 1. vyznačeno slabými čarami. Jeho základní přepřlňovací variantou (...3-5-1) se zde zabývat nebudeme.

a) parametry oběhu a kritéria

1. Teplotní poměr oběhu je $T_3/T_1 = x \cdot \pi \cdot \lambda = \tau$,

kde $\lambda = v_3/v_2' = T_3/T_2'$ (1,2)

je tzv. **plnicí poměr** (= izobarické zvětšení objemu = teplotní poměr izobarického přívodu tepla); T je

absolutní teplota, v - měrný objem, p - měrný tlak a

$$\pi = p_2'/p_2 = T_2'/T_2 \quad (3)$$

je poměrný izochorický vzrůst tlaku (=teplotní poměr izochorického přívodu tepla) po vzplanutí paliva. Pro zbývající parametr, v tradiční analýze klíčový, protože reprezentující **základní konstrukční parametr motoru - jeho (objemový) kompresní poměr ϵ** - byla

zavedena substitute $T_2/T_1 = x = \epsilon^{\kappa-1}$, $\epsilon = v_1/v_2$, (4)

kde veličina x je **teplotní poměr komprese**; κ je Poissonova konstanta.

3. Základním termodynamickým kritériem je **tepelná účinnost** oběhu

$$\eta_t = 1 - q_o/q_p, \quad (5)$$

kde q_o , q_p je odvedené a přivedené teplo. Dalším kritériem je **měrný výkon**

$$v = q_p^* - q_o^*, \quad q_p^* = q_p/(c_v T_1), \quad q_{po}^* = q_o/(c_v T_1), \quad (6)$$

3. V literatuře, např. [1], je pro jeho tepelnou účinnost odvozen vztah

$$\eta_t = v/q_p^* = 1 - (\lambda^\kappa \cdot \pi - 1) / \{ \epsilon^{\kappa-1} \cdot [\pi \cdot \kappa \cdot \lambda - 1 + \pi \cdot (\kappa - 1)] \}. \quad (7)$$

Tepelná účinnost jako by přitom vůbec nezávisela na teplotním poměru oběhu. Po zavedení substituce (1) pro obě kritéria dostaneme však

$$\eta_t = 1 - (\tau \lambda^{(\kappa-1)/x-1}) / [\kappa \tau x - (\kappa-1) \cdot \tau / \lambda] , \quad v = \kappa \tau x - (\kappa-1) \cdot \tau / \lambda - \tau \lambda^{(\kappa-1)/x+1} . \quad (8,9)$$

Z předchozích rovnic lze pomocí definic jednotlivých typů oběhů ($\lambda = 1$ pro zážehový, $\pi = 1$ pro vznětový) odvodit odpovídající vztahy pro zmíněné speciální případy, podmínky pro optima obou kritérií a výrazy pro jejich extrémy. Stejně tak lze postupovat u přeplňovaných oběhů.

4. V předchozích pracích bylo však ukázáno, že **teprve současné (simultánní) uvažování obou těchto kritérií dává termodynamické analýze oběhu termodynamicky oprávněný základ pro odvozování pravidel pro reálná optima.**

a) Principy, na jejichž základě jsou pro jednotlivé typy oběhů definovány jejich ukazatelé a popř. technické parametry, jsou tedy následující. Nepochybně primárním termodynamickým kritériem je tepelná účinnost. Pro ideální cykly však platí, že v tomto případě vede optimalizace sice k účinnosti Carnotově, ale měrný výkon je přitom nulový. Pro ideální cykly má proto tento extrém význam jen jako krajní mez.

b) Dalším termodynamickým kritériem je měrný výkon. Význam jeho maxima je jednoznačný a zdůrazněný funkcí oběhu v nenávrhových režimech. Předností v porovnání se všemi dalšími hledisky je nepochybně také jeho jednoduchá formulace. Zřejmé však je, že je jednostranné.

c) Dalším principem byl modelový kompromis mezi hledisky maxim účinnosti a měrného výkonu definovaný geometrickým průměrem příslušných kompresních poměrů

$$x_g = \sqrt{(x_\pi x_v)} , \quad (10)$$

který umožňuje bez obtíží použít všechny uvedené vztahy. Kromě toho, že bere v úvahu obě hlediska, jsou jeho hlavní výhody jednoduchost a exaktnost definice; na druhé straně je zřejmé, že nevyplývá přímo z nějaké termodynamické optimalizační úvahy. Vzhledem k tomu, že s klesajícím teplotním poměrem klesá tepelná účinnost pomaleji než měrný výkon, se zdá, že tento princip straní prvnímu hledisku. To ostatně plyne také z úvah o nenávrhových režimech a posiluje názor, že je vhodné uvažovat o dalších možnostech.

5. Analýza možností oběhů v jejich nenávrhových režimech upozornila, že veličina

$$\gamma = v \cdot \eta_t \quad (11)$$

definující rozměr regulačního prostoru je dalším vhodným optimalizačním kritériem. Podmínky, které příslušná maxima definují, závisejí zde na typu oběhu. Pro oběh Ottova motoru plyne pro výraz (11) po dosazení z rov. (8,9)

$$\gamma = (x-1)^2 \cdot (\tau/x - 1) / x , \quad (12)$$

odkud pro $d\gamma/dx = 0$ plyne pro

$$x_{1,2} = \pm (1/4 + 2 \cdot \tau)^{0,5} - 0,5 , \quad (13)$$

kde pro praktické případy má přirozeně smysl jen kladné znaménko. Po zpětném dosazení podmínky (13) do rov. (8,9) a úpravě dostaneme pro měrný výkon a tepelnou účinnost takto optimalizovaného oběhu

$$v = \tau - 1/2 - (1/4 + 2 \cdot \tau)^{0,5} - \tau / [(1/4 + 2 \cdot \tau)^{0,5} - 0,5] , \quad \eta_t = 1 - 1 / [(1/4 + 2 \cdot \tau)^{0,5} - 0,5] \quad (14a,b)$$

a tím také výraz pro jejich součin. Při podobném postupu pro smíšený oběh bylo nejprve zjištěno, že při daném x se hodnota ukazatele γ zvětšuje s rostoucím λ tak dlouho, dokud veličina $\pi > 1$. Postačí proto optimalizovat jednodušší Dieslův oběh. Příslušná podmínka pro výraz (11), tj. v daném případě pro

$$\gamma = \{ \kappa \cdot (\tau - x) - [(\tau/x)^{\kappa} - 1] \}^2 / [\kappa \cdot (\tau - x)] , \quad (15)$$

vede na transcendentní podmínku

$$2\kappa \cdot (\tau/x)^{\kappa+1} - (\tau/x)^{\kappa} (2\kappa+1) - \kappa(\tau-x) + 1 = 0 , \quad (16)$$

takže obecné výrazy pro měrný výkon a tepelnou účinnost nelze explicitně vyjádřit.

6. Proti tomuto principu přes jeho výhody lze namítat, že číselné hodnoty obou kritérií se nenacházejí a nepohybují v porovnatelném intervalu hodnot, takže výslednou hodnotu kritéria γ ovlivňují s různou intenzitou. To vedlo k ověřování dalšího principu a to **rovnosti** poměrných úbytků obou dílčích kritérií vzhledem k jejich maximálním hodnotám - budeme ji dále označovat v indexu jako optimalizaci typu "r", tj.

$$\vartheta_v = (v_{max} - v) / v_{max} = (\eta_{t,max} - \eta_t) / \eta_{t,max} = \vartheta_\eta , \quad (17)$$

ze které ovšem plynou ještě jednodušší a obecnější podmínky

$$v / v_{max} = \eta_t / \eta_{t,max} , \quad (v / \eta_t)_r = v_{max} / (v / q_p^*)_{max} . \quad (18a,b)$$

Pro Ottův oběh tak dostáváme nejprve

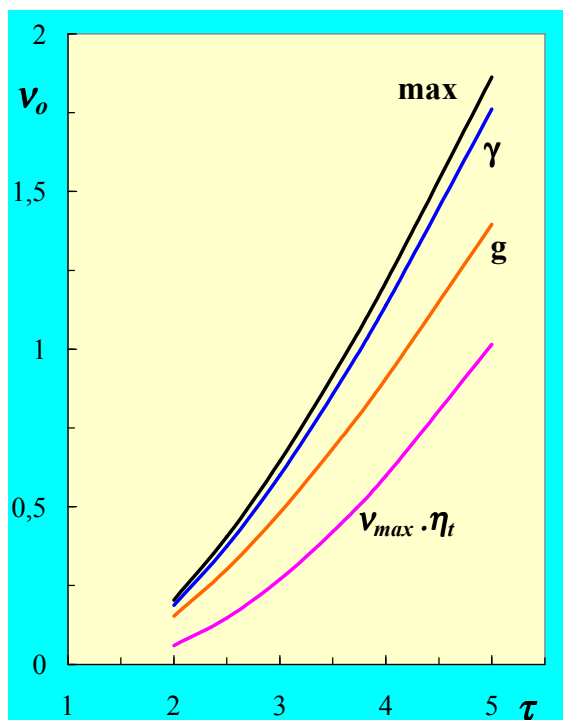
$$\tau - x = (\sqrt{\tau} - 1)^2 / (1 - 1/\tau) ,$$

odkud dostaneme

$$x = \tau \cdot [1 - (\sqrt{\tau} - 1) / (\sqrt{\tau} + 1)] = 2\tau / (\sqrt{\tau} + 1) ; \quad (19)$$

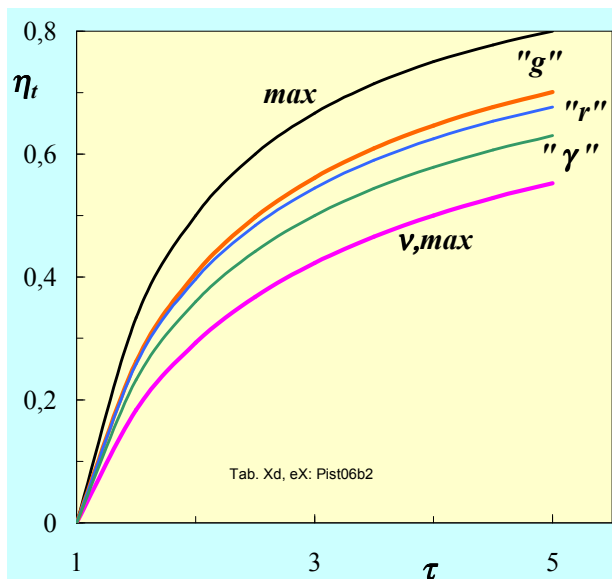
odtud po dosazení do obecných vztahů (2-4b,c) po úpravě plyne

$$v_{O,p} = (2\tau \cdot \sqrt{\tau} - 3\tau + 1) / [2(\sqrt{\tau} + 1)] , \quad \eta_{\tau,O,p} = 1 - (\sqrt{\tau} + 1) / (2\tau) . \quad (20)$$



Obr. 2 Teplotní závislost variantně definovaného měrného výkonu ideálního Ottova oběhu

Podobně lze postupovat u Dieselova oběhu, kde $\kappa(\tau - x) = [\kappa \cdot \tau + 1(\kappa + 1) \cdot \tau^{\kappa/(\kappa+1)}] / (1 - 1/\tau) = Y$, (21) odkud plyne jednoznačná hodnota teplotního



Obr. 3 Tepelná účinnost Ottova oběhu podle různých principů

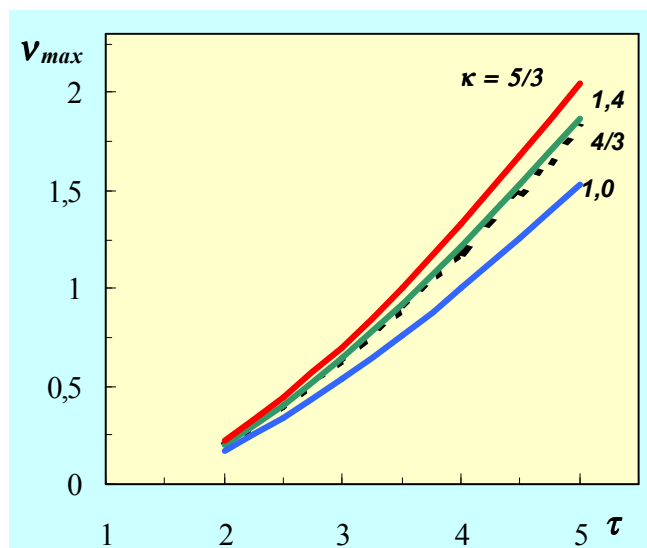
oměru komprese x ; pro další parametr platí $\lambda = \tau/x$ a užijeme-li pro výraz na pravé straně rov. (21) symbol Y , dostaneme dosazením do základních vztahů pro měrný výkon a tepelnou účinnost (8,9) po úpravě

$$x = \tau - Y/\kappa, \quad v_D = Y - 1/[(1-Y/(\kappa\tau))^{\kappa+1}]; \quad \eta_t = v_D/Y. \quad (22)$$

Pro smíšený oběh platí obdobně

$$\kappa\tau - x - (\kappa - 1) \cdot \tau/\lambda = [\kappa\tau + 1 - (\kappa + 1) \cdot \tau^{\kappa/(\kappa+1)}]/(1 - 1/\tau) = Y, \quad (23)$$

ovšem s tím rozdílem, že existuje libovolný počet řešení pro dvojici proměnných x, λ , přičemž, platí, že s růstem veličiny x musí růst i veličina λ . Analytické řešení zde nevede k výsledku; numerická analýza zde, podobně jako při optimalizaci „ γ “ ukázala, že nejlepším řešením ze všech hledisek je Dieslův oběh. Platí proto beze změny vztahy (22).



Obr. 4 Vliv Poissonovy konstanty na maximální měrný výkon

Vliv kritérií „ v “, „ g “ a „ γ “ a teploty na měrný výkon Ottova oběhu spolu s veličinou „ γ “ ukazuje obr. 2, vliv všech kritérií na tepelnou účinnost je na obr. 3.

7. Dospěli jsme tak postupně k pěti různým koncepcím návrhu tepelných oběhů spalovacích motorů a je přirozené, že by bylo možno uvažovat ještě o dalších. K zpřehlednění této situace by mohla přispět určitá standardizace, např. zavedením **vah** uvažujících celý interval mezi oběma základními kritérii; ovšem i zde by bylo zapotřebí konvence, např.

pro způsob kvantifikace intervalu.

3. Vliv Poissonovy konstanty (exponentu adiabaty) κ na parametry a vlastnosti oběhu

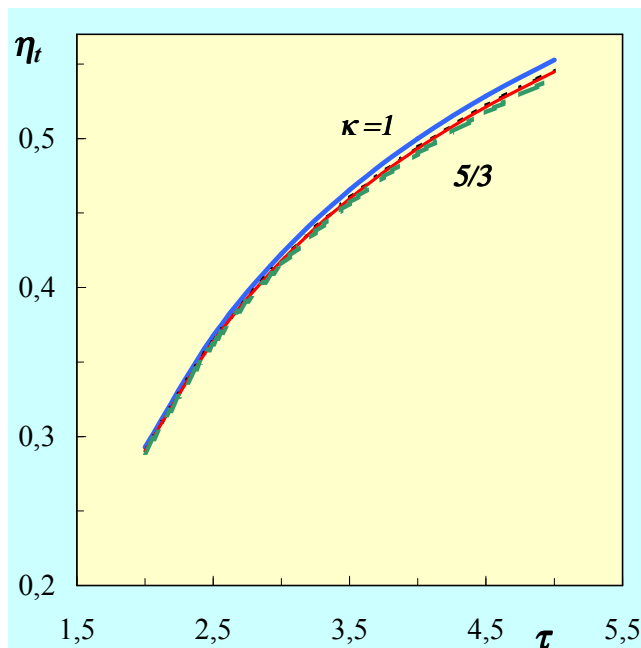
Vliv termofyzikálních vlastností pracovní látky na vlastnosti tepelného oběhu je tvořen vlivem specifické tepelné kapacity, vlivem její závislosti na teplotě a vlivem Poissonovy konstanty. Na ten je zaměřen další text, m.j. proto, že klasický přístup zde vede k dosti zkreslené představě; pro přehlednost je přitom zmíněný vliv sledován jen u dvou koncepcí oběhů: optimalizace „ v “ a kompromisu „ g “.

Analyzován byl současný vliv Poissonovy konstanty κ a teplotního poměru τ při maximálním měrném výkonu postupně na optimální teplotní poměr komprese (x), na maximální měrný výkon, na tepelnou účinnost téhož oběhu, na kritérium $\gamma = v \cdot \eta_t$ a na poměr kompresní a expanzní práce $w_{k/exp}$ Ottova a Dieslova oběhu a na součinitel plnění λ Dieslova oběhu. Příklady výsledků charakterizují obr. 4 a 5. Užitečné je přitom porovnat obr. 5 s obr. 6, který charakterizuje tradiční přístup. Z výsledků plynou následující obecná zjištění:

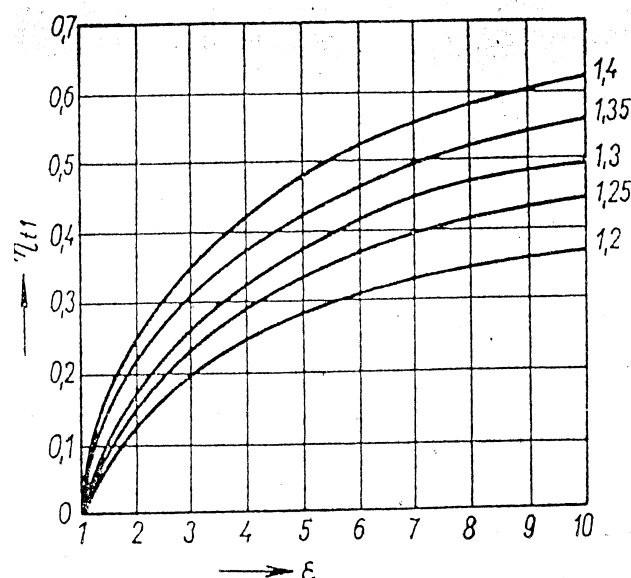
1) Vliv veličin κ a τ je monotónní v celém rozsahu prakticky možných (u κ), popř. zde uvažovaných ($\tau \leq 5$) a to tak, že s růstem teplotního poměru všechny uvažované veličiny

s výjimkou $w_{k/exp}$ rostou; přitom s růstem Poissonovy konstanty κ veličiny x , v , γ a $w_{k/exp}$ rostou a s veličinami λ a η_t je tomu naopak;

2) nejzřetelnější je vliv veličiny κ na optimální a v podstatě konstrukční parametry x a λ , poněkud slabší na měrný výkon a optimalizační parametr γ a nejslabší na tepelnou účinnost a - dosti překvapivě - na veličinu $w_{k/exp}$; z tohoto důvodu je na místě otázka, zda by nebylo vhodné považovat ji za jeden z charakteristických parametrů oběhu.



Obr. 5 Vliv Poissonovy konstanty na tepelnou účinnost při maximálním měrném výkonu oběhu



Obr. 6 Vliv Poissonovy konstanty a objemového kompresního poměru na tepelnou účinnost oběhu Ottova motoru

Vzhledem k monotónní závislosti veličin cyklu na teplotě lze jejich vztažením na zvolenou monotónní teplotní funkci získat zřetelnější informace o ostatních vlivech. Rovněž lze derivacemi jednotlivých veličin cyklu podle Poissonovy konstanty získat kvantitativní představu o intenzitě těchto vlivů, popř. o jejich závislosti na jednotlivých veličinách. To vše vedlo k výsledku, že studovaný vliv je v každém ohledu celkově málo významný.

U nejsilnějšího vlivu zmíněného v bodu 3) a u závěrů zdánlivě vyplývajících z obr. 6 je však účelné se pozastavit. Lze totiž zjistit, že podmínka pro optimální měrný výkon předepisuje, **aby komprese i expanze končily při téže teplotě**. To lze místo příslušných vzorců jistě přijmout jako podmínku přinejmenším srozumitelnější. **Tato podmínka má však už tu důležitou vlastnost, že nejen nezávisí ani na Poissonově konstantě, ani na teplotě a dokonce ani na typu oběhu.** Kromě té srozumitelnosti je tedy nová formulace ještě daleko obecnější a tím také cennější.

Tato zjištění ovšem neznamenají, že by původní závěry o silném vlivu veličiny κ na kompresní poměry byly chybné. Byly spíše jen předčasné, popř. nepřesně interpretované. Velikost kompresního poměru je jen cesta jak docílit žádoucích vlastností oběhu, tedy prostředek, nikoliv cíl. A cíl na změny hodnot Poissonovy konstanty prakticky nereaguje.

V druhém případě pak byla opomenuta skutečnost, že tepelnou účinnost oběhů má smysl spolu porovnávat jen při témž teplotním poměru a adekvátních dalších podmínkách, což se zde nestalo. Při jejich

respektování pak dostaneme výsledek podobný tomu, který ukazuje obr. 5.

Připomeňme nyní, že uvedená podmínka byla formulována v rámci řady výchozích předpokladů, z nichž jeden stěžejní stanovil, že pracovní látkou je ideální plyn. Měla by proto platit právě jen za těchto podmínek. Lze však nahlédnout, že **zmíněná podmínka musí platit i v případě, že je pracovní látkou reálný plyn, jehož specifická tepelná kapacita závisí jen na teplotě**. Formulace podmínky tím vlastně už překročila definiční rámec, protože zřejmě platí i v případě, že nejsou potřebné všechny výchozí předpoklady. **Význam této formulace je pak vlastně obecnější, než je dovoleno.**

Tím ale naše úvaha ještě nekončí. Zamyslíme-li se nad smyslem té obecnější podmínky, najdeme snadno zcela jednoduché vysvětlení: elementární adiabatická práce je úměrná absolutní teplotě, takže kdyby se konec komprese a expanze teplotně překrýval, jejich rozdíl by se už zmenšoval. A naopak, kdyby byly od sebe teplotně vzdáleny, nevyužívaly by se v plné míře možnosti, které zde přírodní zákony nabízejí. Položme si nyní otázku, jak to bude v případě, že půjde o nevratné adiabatické děje. Také v tomto případě lze vyjít z uvedeného principu. Nejprve však uvažme skutečnost, že elementární reálná kompresní práce je větší než práce ideální a naopak elementární expanzní práce je menší než práce ideální: proto samozřejmě nemůže už tento princip vést k požadavku týchž konečných teplot obou dějů.

Tím jsme jen zdánlivě ztratili křišťálovou průzračnost předchozí formulace. Místo toho se nám však nabízí zajímavá volba: buď ponechat onu jednoduchou a srozumitelnou formulaci, která bude platit jen pro všechny diskutované případy s výjimkou nevratných dějů, nebo přijmeme formulaci o něco složitější, která bude platit i pro tyto děje. Jde tak sice jen o jednu množinu případů navíc, ale právě o množinu, která velmi podstatně, prakticky řádově, rozšíří obor její platnosti. Příslušná podmínka, v předchozím výkladu už vyslovená, tedy zní: **podmínkou pro maximální měrný výkon cyklu je rovnost elementárních prací na konci reálné komprese a reálné expanze.**

4. Závěry

V příspěvku jsou definovány principy alternativní analýzy porovnávacích tepelných oběhů spalovacích pístových motorů, připomenuty hlavní výsledky předchozích prací a na tomto základě 1) podrobněji studovány možnosti termodynamicky kompromisní optimalizace těchto oběhů a 2) analyzován vliv Poissonovy konstanty. Ad 1) se uvažuje a hodnotí 5 variant: 2 krajní - maximum tepelné účinnosti (η) a maximum měrného výkonu (ν) a 3 hlediska kompromisní - geometrický střed teplotního kompresního poměru z obou zmíněných maxim (g), které je formálně nejjednodušší, maximum součinu obou ukazatelů (γ) a stejný poměrný úbytek obou (r), které se zdá být termodynamicky nejvíce oprávněné.

Pro uvedená hlediska jsou odvozeny vztahy pro optimální teplotní poměr komprese, měrný výkon a tepelnou účinnost oběhu a ukazuje se, že uvedené varianty sice vedou k nezanedbatelným rozdílům, ale vzhledem k tomu, že s rostoucími nevratnostmi v oběhu se tyto rozdíly stírají i že některé z variant přináší do výpočtů komplikace, je z praktického hlediska asi nejvhodnější přijmout variantu buď formálně nejjednodušší (g), nebo tu, která leží nejbližší středu daného intervalu (γ) a odchylky od ní klasifikovat vahou definující celé rozpětí mezi maximy obou ukazatelů.

Dále se práce zabývá první částí problému, jaký skutečně je vliv termofyzikálních vlastností pracovní látky na parametry a ukazatele oběhu - vlivem adiabatického exponentu. Ten je klasickou metodou vycházející z objemového kompresního poměru výrazně přeceňován. Z

odvozených vztahů a z příslušných diagramů vyplynulo, že zdánlivě nejsilněji se tento vliv projeví na optimálních kompresních poměrech, trochu slaběji u měrných výkonů a téměř neznamenně u tepelných účinností.

Na příkladu formulace podmínek extrémů měrných výkonů byla v této souvislosti ukázána cesta k jejich výraznému zjednodušení, jednoduchosti a srozumitelnosti. Od příslušných vzorců naznačujících, že zmíněné extrémy jsou funkcí Poissonovy konstanty, teplotního poměru a typu oběhu se došlo nejprve k rovnocenné **obecné podmínce, která pak nejen že nezávisí na Poissonově konstantě a navíc ani na teplotě a na typu oběhu, ale dokonce platí i pro reálný plyn**. Navíc otevírá cestu k formulaci ještě obecnější.

Tento příklad jednak podpořil názor, že celkově je vliv Poissonovy konstanty v každém ohledu poměrně slabý a celkově nevýznamný, jednak je inspirativním vodítkem pro další rozvoj teorie oběhů pístových motorů.

Poděkování: *Problém byl řešen za laskavé podpory grantu GAČR 101/05/2536.*

Literatura

- [1] Kalčík, J.: Technická termodynamika. NČSAV, Praha 1960
- [2] Bošnjakovič, F: Technishe Thermodynamik. Leipzig 1948
- [3] Van Wylen, G.J., Sonntag, R.E.: Fundamentals of classical thermodynamics. J. Wiley London 1973
- [5] Hinze, W.: Zur Wirkungsgradminderung durch den Verlust bei Dieslmotoren. MTZ 1965, sešit 1
- [6] Jante, A.: Einige Grundprobleme der Verbrennungsmotoren mit Hilfe idealer Kreisprozesse beurteilt. MTZ 1966, sešit 7
- [7] Kožoušek, J.: Teorie spalovacích motorů. SNTL/ALFA Praha 1971
- [8] Bayer, Z.: Alternativní termodynamická analýza porovnávacích oběhů spalovacích pístových motorů. I. Hlavní principy a ideální smíšený oběh. XIV. Mezinárodní vědecká konference: Aplikácia experimentálnych a numerických metód v mechanike tekutín, 251-286, Rájecké Teplice, Slovensko, 28.-30.4.2004, Žilinská Univerzita, Žilina, ISBN 80-8070-234-9
- [9] Bayer, Z.: Alternativní termodynamická analýza porovnávacích oběhů spalovacích pístových motorů. II. nenávrhové režimy a ideální turbooběh. XV. Mezinárodní vědecká konference: Aplikácia experimentálnych a numerických metód v mechanike tekutín, 13-18, Strečno, Slovensko, 26.-28.4.2006, Žilinská Univerzita, Žilina, ISBN 80-8070-533-X

ALTERNATIVNÍ TERMODYNAMICKÁ ANALÝZA POROVNÁVACÍCH OBĚHŮ SPALOVACÍCH PÍSTOVÝCH MOTORŮ. FORMULACE A ODVOZENÍ KOMBINOVANÝCH OPTIM A SKUTEČNÝ VLIV POISSONOVY KONSTANTY

Abstrakt: Příspěvek pokračuje v návrhu nového způsobu termodynamické analýzy porovnávacích tepelných oběhů spalovacích pístových motorů spočívajícím na důsledném uplatnění několika klíčových v této oblasti dosud nepoužitých principů. Jejich aplikace začala analýzou základních typů oběhů, oběhů v nenávrhových režimech a základním oběhu přeplňovaného motoru. Tato studie nejprve navrhuje několik koncepcí termodynamicky kompromisních optim, analyzuje jejich důsledky a dále vliv Poissonovy konstanty na termodynamické parametry a ukazatele oběhů. Ukazuje, že ten musí být ve skutečnosti poměrně velmi slabý. To je zřetelný rozdíl od přecenění, ke kterému vedl tradiční přístup.