

KKE/TSM – Teorie přeplňovaných spalovacích motorů

Roman Gášpár



Podpořeno v rámci projektu CZ.1.07/2.2.00/15.0383
Inovace studijního oboru Dopravní a manipulační technika
s ohledem na potřeby trhu práce

PŘEPLŇOVÁNÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ

Metody regulace přeplňování

Přeplňování zážehových motorů

• Cíle přeplňování zážehových motorů:

- Zvýšení výkonu motoru
- Zlepšení hospodárnosti provozu
- Snižování obsahu škodlivin ve výfukových plynech

• Zvyšování účinnosti ZM je limitováno detonačním spalováním

- Je nutno posunout hranice detonačního spalování mimo provozní oblast motoru
- Problematika použití paliva
 - Kapalně palivo – benzínové motory (BM) stechiometrická směs $\lambda=1$
 - Plynné palivo - stechiometrická směs $\lambda=1$, chudá směs $\lambda>1$

Přeplňování zážehových motorů

Princip vzniku a vlivy na detonační spalování:

- Antidetonační vlastnosti vlastního paliva a složení směsi λ
- Tlak a teplota na konci komprese dané
 - Velikostí komprese ε
 - Mírou přeplňování p_s, t_s
 - Velikostí předstihu zážehu α_z
 - Úrovní chlazení
- Náchylnost či odolnost spalovacího prostoru k detonačnímu spalování

Prevence před detonačním spalováním

- Vyšší oktanové číslo paliva, přísady
 - speciální (metyl-terc-butyléter – MTBE)
 - směs s metanolem, etanolem apod.
- Provoz s bohatší směsí
- Chlazení směsi / vzduchu, vstřikování vody apod.
- Optimalizace spalovacího prostoru
- Použití dvou zapalovacích svíček (zkrácení doby hoření a času pro vznik detonačního hoření)
- Vyšší otáčky motory (zkrácování doby pro vznik detonačního hoření)
- **Regulace turbodmychadla**

WASTEGATE

Regulace odpuštěním výfukových plynů před turbínou (WASTEGATE)

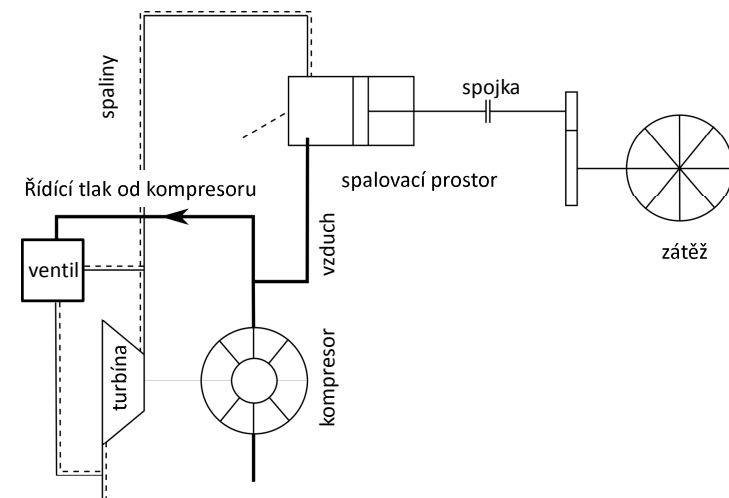
- Nejpoužívanější způsob regulace
- Pro malé turbodmychadla
- Optimalizuje se chod turbodmychadla při nízkých otáčkách motoru (synchronizace chodu kompresoru a turbíny)
- **Volí se turbína (zpravidla menších rozměrů), která zajistí vyšší plnicí tlak a vyšší dodávku vzduchu do spalovacího prostoru při nízkých otáčkách. Při vyšších otáčkách (při daném velikosti plnicího tlaku) se odpuštěním sníží výkon turbíny a tím i dodávka vzduchu.**
- Regulace se provádí za pomoci přepouštěcího ventilu
 - Klapkový ventil
 - Sedlový ventil

Regulace turbodmychadla BM

Základní způsoby regulace turbodmychadla:

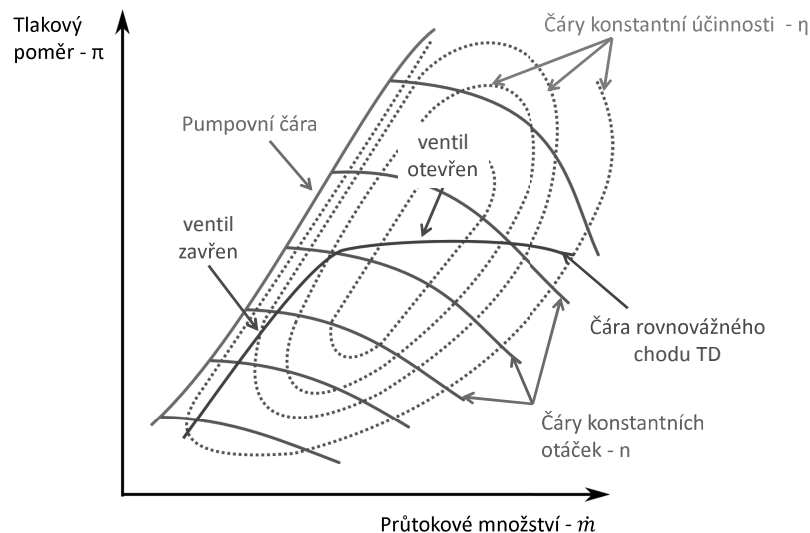
- Regulace odpuštěním výfukových plynů před turbínou (WASTEGATE)
- Škrcení výtlaku dmychadla
- Odpouštění vzduchu z výtlaku dmychadla
- Systém HYPERBAR
- Regulace změnou geometrie

WASTEGATE



Schematické znázornění systému WASTEGATE

WASTEGATE



Čára rovnovážného chodu při otevřeném a zavřeném ventilu systému WASTEGATE

WASTEGATE



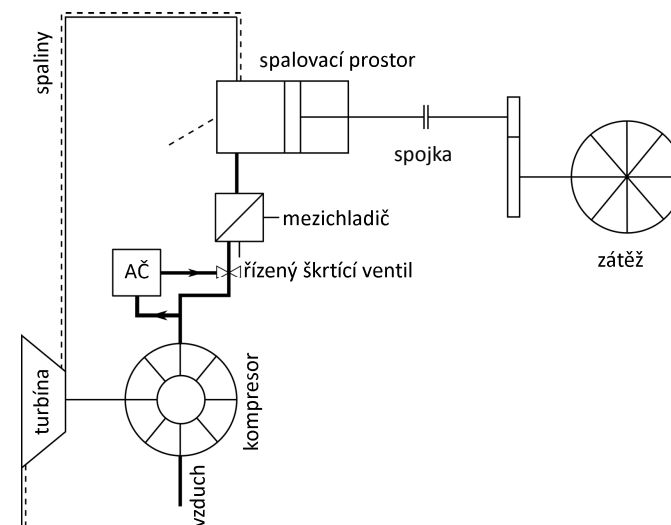
Venkovní pohled na systém WASTEGATE [8]

Škrčení výtlaku dmychadla

Regulace množství proudícího vzduchu z dmychadla

- Nepřímá (kvantitativní regulace) regulace výkonu
- Pro zážehové motory (také pro turbospouštěče leteckých motorů)
- Ovlivňování čáry rovnovážných chodů
- Zabezpečení dostatečné zásoby stabilní práce kompresoru
- Řízení kompresního poměru
- **Škrčení se provádí za pomoci škrťací klapky, která je řízená aktivním členem. Klapka je umístěna mezi dmychadlo a spalovací prostor před sací ventil. Tlak za dmychadlem je zároveň i regulačním členem a je pracovním médiem aktivního členu řízení.**

Škrčení výtlaku dmychadla



Schematické znázornění systému škrčení výtlaku dmychadla

Odpouštění vzduchu z výtlačku dmychadla

Regulace množství proudícího vzduchu z dmychadla

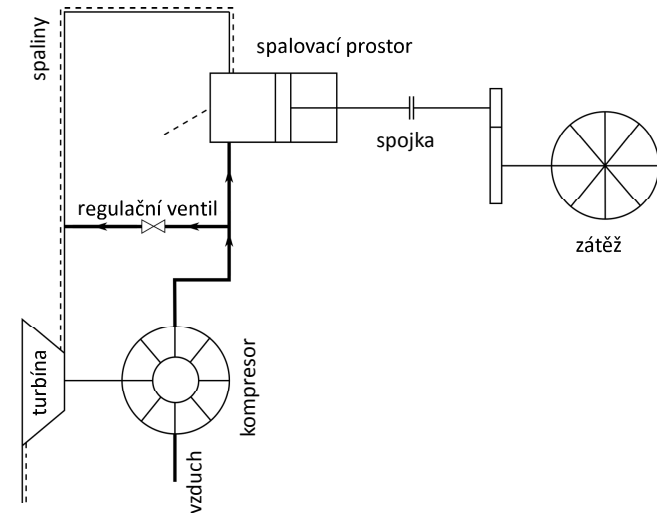
- Pozitivní vliv na efektivní spotřebu paliva
- Klesá teplota před turbínou a tím i kouřivost
- V oblasti nízkých otáček se zvyšuje efektivní účinnost kompresoru (zvýšení výkonu až o 20%)
- Růstem otáček se pozitivní efekt postupně vytrácí
- Efektivnost systému je dána dimenzováním potrubí a rozdílem tlaků
- **Pomocí regulačního ventilu se propouští tlak z výtlačné větve dmychadla do výfukové větve motoru před turbínu turbodmychadla. Klesne protitlak ve výtlačku z dmychadla, vzroste dodávka vzduchu a také dojde k nárůstu výkonu turbíny. Výsledkem je zvýšený průtok turbínou i motorem (umožňuje zvýšit dodávku paliva → výkon motoru)**
- Ventil se zpravidla řeší jako jednocestný (zabránění zpětného proudění)

Systém HYPERBAR

Regulace množství proudícího vzduchu z dmychadla a jeho následné využití pro dodatečné spalování

- Vysoký výkon motoru i turbíny
- Nízké kompresní poměry
- Nutnost startování za pomoci elektromotoru (rozběh na stabilní otáčky)
- Možnost komplexního zahřátí motoru
- Možnost úpravy charakteristiky ve velmi širokém oblasti motoru
- **Pomocí regulačního ventilu se propouští tlak z výtlačné větve dmychadla do výfukové větve motoru před turbínu turbodmychadla. K výraznému zvýšení výkonu turbíny dochází tím, že je před turbínou umístěna dodatečná spalovací komora využívající propuštěného vzduchu od dmychadla k dodatečnému spalování paliva. Tím se zvýší energie výfukových plynů vstupujících do turbíny.**

Odpouštění vzduchu z výtlačku dmychadla



Schematické znázornění systému odpouštění vzduchu z výtlačku dmychadla před turbínu

Systém HYPERBAR

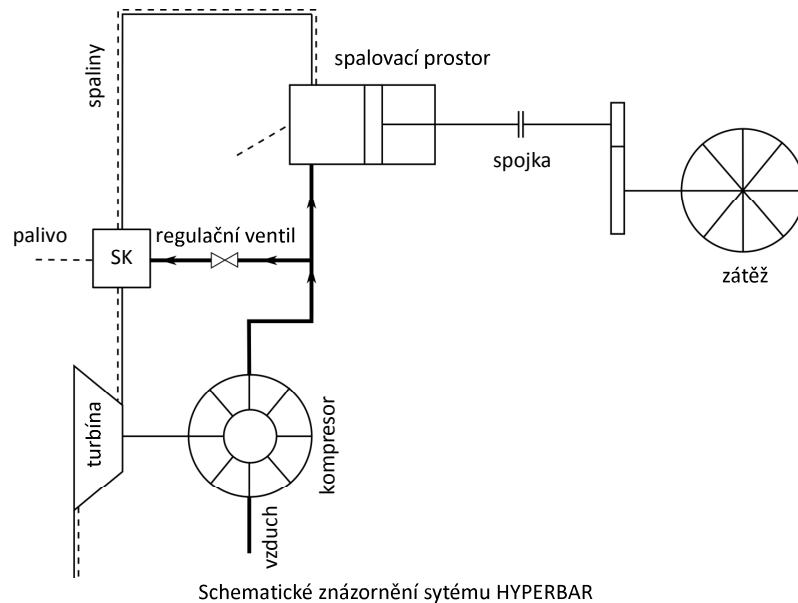
Výhody systému HYPERBAR

- Vysoký měrný výkon (2,5 kW/kg) na jednotku hmotnosti motoru
- Nízké teplotní zatížení vlastního motoru
- Vhodný průběh vnější rychlostní charakteristiky
- Rychlá reakce na změnu zatížení
- Možnost korekce úbytku výkonu nadmořskou výškou
- Možnost startu i za nízkých teplot okolí
- Snížení škodlivých emisí a kouřivosti

Nevýhody systému HYPERBAR

- Vyšší měrná spotřeba (až o 8%)
- Složitá konstrukce

Systém HYPERBAR

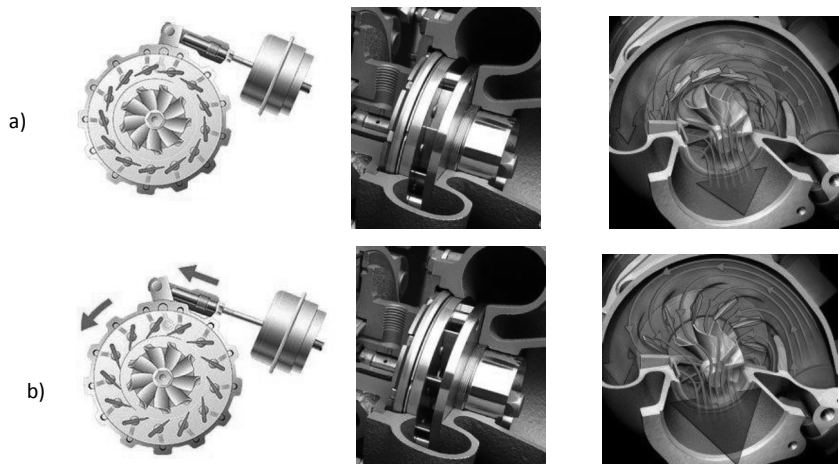


Regulace změnou geometrie

Regulace natáčením rozvádějících lopatek turbíny

- Konstantní průtok plynu turbínou (maximální možný)
- Turbína navržena pro maximální hmotnostní tok (odpovídá středu regulované oblasti)
- Regulovaná jenom výstupní plocha ze statoru (tím i úhel a velikost rychlosti proudu vzduchu vstupujícího do rotoru)
- Výhodnější než odpouštění (nedochází k výrazné fluktuaci teplot a tlaků)
- Složitá konstrukce
- Díky regulované výstupní ploše statoru dochází ke změně průtočných ploch statoru a rotoru a vlivem narůstajících třecích ztrát dojde také ke zvýšení izentropického spádu na dmychadle, a dojde pouze k malé změně stupně reakce turbíny. Při nízkých otáčkách jsou lopatky částečně uzavřeny, čímž urychlují výfukové plyny k oběžnému kolu turbíny (pod úhlem 90 stupňů), což způsobí větší otáčky turbíny. V oblasti vysokých otáček se statorové lopatky otevírají (dostatečná energie výfukových plynů)

Regulace změnou geometrie



Princip natáčení a regulace za pomoci statorových lopatek turbíny [8]

a) Při nízkých otáčkách

b) Při vysokých otáčkách

Zdroje

- [1] J. Macek; B. Suk : Spalovací motory I. - Praha 1996
- [2] L. Bartoníček: Přepřívání pístových spalovacích motorů – Liberec 2004
- [3] K. Hoffman: Regulované přepřívání vozidlových motorů. Brno, 2000.
- [4] J. Macek; V. Kliment: Spalovací turbíny, turbodmychadla a ventilátory (Přepřívání spalovacích motorů) – Praha 2003
- [5] Hiereth H., Prenninger P.: Charging the Internal Combustion Engine, Springer, Wien 2007
- [6] Bell C : Maximum Boost, Bentley Publishers, Cambridge – 1997
- [7] Baines C.N.: Fundamentals of Turbocharging, NREC, Vermont 2005
- [8] http://www.autozine.org/technical_school/engine/tech_engine_3.htm#VTG

DIZKUSE...
...OTÁZKY?



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Poděkování

Tento projekt je spolufinancován
Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky

Projekt CZ.1.07/2.2.00/15.0383
Inovace studijního oboru Dopravní a manipulační technika
s ohledem na potřeby trhu práce