

Prof. Ing. Pavel Šafařík, CSc.  
Radomská 469  
18100 Praha 8

## O p o n e n t n í   p o s u d e k

**disertační práce Ing. Ladislava Veselého : *Study of Power Cycle with Supercritical CO<sub>2</sub>*,  
České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Praha, 2018.**

---

Předložená disertační práce obsahuje 155 stran textu včetně titulního listu, anotačního listu, souhrnů v jazyce českém a anglickém, čestného prohlášení, poděkování, obsahu, seznamu obrázků, tabulek, použitých zkratk a symbolů, dále seznamu literatury, který má 60 pramenů, seznamu citované vlastní autorovy literatury, dvou příloh – v jedné jsou autorovy publikace a v druhé jsou výpočtové kódy.

Tématem disertační práce psané v angličtině je převážně numerická simulace tepelných oběhů s kyslíčkem uhličitým při nadkritických parametrech a jeho příměsí jako pracovním médiem.

Ve stručném úvodu jsou popsány podněty k výzkumu vlivu termodynamických parametrů kyslíčnicku uhličitého a jeho příměsí v oboru nadkritických parametrů na významné veličiny tepelných oběhů.

Ve druhé kapitole je uveden současný stav výzkumu a aplikací kyslíčnicku uhličitého včetně jeho termodynamických veličin s uvedením výhod a nevýhod aplikace kyslíčnicku uhličitého při nadkritických parametrech v tepelných obězích.

Třetí kapitola obsahuje přehled současného výzkumu směsí kyslíčnicku uhličitého. Jsou uvedeny látky jako příměsí kyslíčnicku uhličitého. Vlastnosti směsí mohou být popsány stavovými rovnicemi. Zdrojem dat o termodynamických a transportních vlastnostech plynů a směsí jsou dostupné databáze.

Ve čtvrté kapitole je uvedeno osm tepelných oběhů s kyslíčkem uhličitým při nadkritických parametrech.

Pátá kapitola uvádí cíle disertační práce.

V šesté kapitole je popsán výpočet vlivu příměsí na termickou účinnost oběhů s kyslíčkem uhličitým při nadkritických parametrech a jsou uvedeny výsledky výpočtů.

V rozsáhlé sedmé kapitole je uveden vliv příměsí na provozní parametry komponent oběhů. Jsou jimi kompresory, turbíny, výměníky tepla, chladiče a ohříváky. Jsou provedeny studie na eliminaci vlivu minimálního teplotního zúžení (pinch point) ve výměnících tepla.

Osmá kapitola se zaměřuje na optimalizaci tepelných oběhů, která sleduje dosažení nejlepších možných parametrů oběhů pro dané provozní podmínky. Je studován vliv binárních i vícesložkových směsí.

V deváté kapitole vyhodnocení technickoekonomických parametrů s vyjádřením vlivu příměsí v tepelném oběhu s kyslíčkem uhličitým při nadkritických parametrech. Jedná se o kapitálové náklady, o provozní náklady, o návratnost investic s vyjádřením vlivu příměsí v kyslíčnicku uhličitém jako pracovním médiu.

V desáté kapitole jsou závěry a shrnutí dosažených výsledků.

### **Hodnocení :**

Teoretické základy energetického strojírenství jsou bezpochyby významnou složkou pro energetiku při návrhu, stavbě a provozu energetických zařízení. Výzkum a vývoj jsou pro rozvoj tohoto odvětví vysoce důležité tím, že je potřeba stále poskytovat poznatky o tepelných

procesech, o termodynamických a transportních vlastnostech teplotnosných látek, o možnostech stavby a provozu nestandardních tepelných oběhů, o optimalizaci navrhovaných a provozovaných tepelných oběhů. Je tedy zřejmé, že o takové poznatky je značný zájem nejen u pracovníků z výzkumných pracovišť, ale i z pracovišť zaměřených na aplikace. Autor disertační práce si zvolil cestu především teoretického a numerického výzkumu a formuloval si tyto cíle – podrobně popsat vliv směsí na tepelný oběh s kyslíčnickem uhličitým při nadkritických parametrech, určit látky s negativním nebo pozitivním vlivem na oběh a komponenty oběhu a definovat maximální množství druhé látky v kyslíčnicku uhličitým se stále přijatelným dopadem na oběh. Lze říci, že tato témata jsou aktuální pro návrh a provoz strojů v moderních tepelných obězích. Autor disertační práce navázal na výzkumné studie a na zkušenosti dosažené na jeho pracovišti, když sám přispěl v řadě publikací se spoluautory k novým podkladům při studiu problémů s tepelnými oběhy s kyslíčnickem uhličitým a příměsemi při nadkritických parametrech. Pro výpočty musel autor využít dostupné databáze s termodynamickými a transportními vlastnostmi reálných látek (hlavně kyslíčnicku uhličitého a dalších reálných plynů, které zkoumal v binárních směsích). Tyto databáze jsou původní z Národního ústavu pro standardy a technologie (NIST, USA), Ruhr-Universität, Bochum, Německo a Universty of Liège, Belgie. Autor disertační práce vytvořil vlastní výpočtové programy, s jejichž užitím řešil významné parametry tepelných oběhů. Autor si byl vědomý toho, že jeho výzkum je převážně v oboru termodynamiky reálného plynu a jmenovitě plyných směsí. Je možné mu vytknout, že při aplikaci teorie ideálního plynu nedefinuje oblast parametrů s použitelností této teorie. (Překlep v hodnotě univerzální plynové konstanty  $R_u$  na str.19 je nutné vytknout se vztyčeným prstem.) Uvedení stavových rovnic reálných plynů na str.21 až 22 bylo zbytečné, když nebyly ve výpočtech použity. Výpočty simulující teoretické tepelné oběhy poskytly rozsáhlý soubor výsledků, z něhož autor uvádí podstatné diagramy, které dokumentují problematiku aplikace kyslíčnicku uhličitého s příměsemi jako pracovního média. Po formální stránce lze autorovi vytknout, že čtenáře zahltil značným množstvím diagramů, z nichž některé diagramy nekomentuje nebo komentuje stručně. (Diagram na Obr.7.26 na str.65 je podivný a diagram na Obr.7.22 na str.62 je kuriózní.) Přínosné jak pro praxi, tak i pro teorii tepelných oběhů, jsou výsledky o hodnotách účinnosti oběhů, o hodnotách minimálního (dokonce záporného) teplotního zúžení (pinch point) ve výměnících tepla při nadkritických parametrech kyslíčnicku uhličitého a o parametrech při dílčí optimalizaci složitějších tepelných oběhů. Oponent si není jist, zda výsledky technicko ekonomických výpočtů mají být uváděny na sedm nebo dokonce na deset platných čísel (na str.118 a 117 v údajích o produkci elektřiny za dobu životnosti energetického zařízení); zvláště, když autor uvádí, že se jedná o odhad finančních nákladů.

Autor disertační práce vytyčené cíle splnil.

Ve formální části zpracování disertační práce oponent shledal řadu překlepů, nedůsledností, nedodržení chronologie citací literatury a obrázků, prohřešků v angličtině. Některé obrázky se opakují. Oponentovi v Dodatku A vadilo, že některá literatura je uváděna v češtině, když disertační práce je směřována pro čtenáře v jazyce anglickém. Oponent je připraven autorovi disertační práce poskytnout soupis poznámek s doporučením k uvážení pro příští disertantovy dokumenty a publikace, Tyto poznámky nikterak nesnižují velmi dobré dosažené výsledky v předložené disertační práci.

V diskusi při obhajobě by měl autor disertační práce vysvětlit, proč diagram na Obr. 2.1 na str.6 nazval fázovým diagramem a jak definuje křivku kritických parametrů. Dále by měl uvést správně terminologii a jednotky v diagramu pro Braytonův oběh s ideálním plynem na Obr. 6.1 na str.33 a jednotky v Tabulkách 9.8 a 9.9 na str. 177 a 118 v položce provozní cena. Dále by měl autor disertační práce vysvětlit závislosti účinnosti a výkonu oběhu pro Braytonův oběh s rekompresí (v diagramech na Obr.6.9 na str.40 a Obr.8.2 na str.88) na koncentraci kyslíčnicku uhličitého. Dále by měl autor vysvětlit jeho představu o teplotní

diferenci  $\Delta T$  v rov.(7.2) na str.78 pro výpočet tepelného toku ve výměníku tepla i pro případ vlivu minimálního (dokonce záporného) teplotního zúžení (pinch point).

### **Závěr :**

Předložená disertační práce je bezpochyby přínosná pro aplikovaný výzkum v oboru energetických zařízení projektovaných na užití tepelného oběhu s kyslíčnickem uhličitým a jeho příměsemi. Autor splnil stanovené cíle tím, že vytvořil výpočtový systém pro řešení tepelných oběhů s kyslíčnickem uhličitým při nadkritických parametrech. Výpočtový systém aplikoval na řešení vlivu příměsí na parametry oběhu a na komponenty oběhu. Podnětné jsou výsledky dosažené při optimalizaci parametrů komplexních oběhů. Disertační práce stimuluje řadu témat a problémů i pro základní výzkum v oboru termodynamiky. Na předloženou disertační práci budou určitě navazovat další výzkumné práce a dosažené výsledky budou směřovat k praktickým aplikacím. Autor prokázal svojí tvůrčí aktivitu a své velmi dobré odborné znalosti v oborech stavby energetických zařízení a termodynamiky. Oponent

**doporučuje disertační práci Ing. Ladislava Veselého k obhajobě**

před komisí pro obhajoby disertačních prací v doktorském studijním programu Energetické stroje a zařízení a doporučuje, aby po úspěšné obhajobě byl Ing. L. Veselému udělen akademicko-vědecký titul

**Philosophiae doctor (PhD.).**

V Praze 28. června 2018