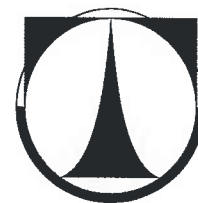




# OPONENTSKÝ POSUDEK ZÁVĚREČNÉ KVALIFIKAČNÍ PRÁCE



**Autor práce:** Bc. Petr Kirchner  
**Název práce:** Termodynamický návrh a optimalizace organického Rankinova cyklu /ORC/  
**Typ práce:** Diplomová

**Oponent:** Doc. Ing. Jiří Unger, CSc  
**Pracoviště oponenta:**

**A. Formální náležitosti práce:** **Dobře**

(Vyjádřete se k jazykové a typografické úrovni práce, struktuře textu, řazení kapitol, přehlednosti ilustrací a ke skladbě, správnosti a úplnosti citací literárních zdrojů)

Práce má 86 stran, je členěna do šesti kapitol, dále obsahuje třináct příloh a elektronickou verzi práce na CD. Práce obsahuje seznam symbolů, použitou literaturu a přílohy dokumentující zdroje dat. Členění kapitol je přehledné. Práce však obsahuje některé formulační chyby, které zhoršují srozumitelnost textu (kap. 2.1, obr. 2.3, 2.4, text v kap. 2.4, text na str. 24 a vazba na obr. 2.11.). V některých částech práce není dodržena logická posloupnost textu a řazení obrázků. Kvalita některých obrázků je nízká. Použité reference jsou z hlediska rozsahu práce dostačující.

**B. Řešení práce po teoretické stránce:** **Velmi dobře**

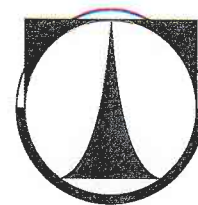
(Vyjádřete se k rozsahu a způsobu zpracování rešerše, způsobu popsání řešeného problému, případně k vhodnosti a náročnosti použité teoretické metody)

V úvodu práce se autor stručně věnuje motivaci, aktuálnosti řešené problematiky, formuluje předmět řešení, cíle řešení a metodu pro sestavení virtuálního modelu ORC cyklu v prostředí MatLab. V kapitole 2. „SOUČASNÝ STAV DANÉ PROBLEMATIKY“ je stručně a přehledně popsán stav poznání včetně popisu základních komponent ORC cyklu. Jsou formulovány ztráty, metody zvyšování účinnosti cyklu, porovnání parního motoru s parní turbínou a konstrukční komponenty cyklu včetně chladící věže. V textu se objevují některé nesprávné formulace. Například páru v R-C cyklu není vhodné nazývat chladivem, nýbrž pracovní látkou.

**C. Praktická část práce:** **Velmi dobře**

(Vyjádřete se k přiměřenosti a náročnosti použitých metod, k úrovni a množství získaných dat.)

Cílem práce bylo formulovat virtuální model organického Rankin-Clausiova cyklu, identifikovat citlivost celkové účinnosti cyklu na vybraných vstupních parametrech a navrhnout jednotlivé materiální a konstrukční komponenty cyklu. Do výpočetního modelu měla být implementována optimalizační studie konstrukčních parametrů a komparace s reálným ORC cyklem. Kapitola 3 „ORC S PARNÍM MOTOREM A JEHO KOMPONENTY“ detailně poukazuje na realizovanou instalaci ORC cyklu ve firmě PolyComp. Stručně jsou popsány jednotlivé konstrukční prvky cyklu: parní generátor, pístový parní motor, čerpadlo, chladící věž, protiproudý rekuperační tepelný výměník, zkušební olejový hořák, spalínový ventilátor a použité chladivo. U chladící věže nejsou v technických parametrech citovány charakteristiky ventilátoru pro nucenou konvekci. Kapitola 4. „FYZIKÁLNÍ MODEL SKUTEČNÉHO ORC“ soustřeďuje hraniční podmínky referenčního ORC cyklu pro matematický model, formuluje výpočet stavových a procesových



veličin a tepelné účinnosti. Je definována stechiometrie spalín a požadovaná přesnost výpočtu. V podkapitolách 4.5 až 4.9 jsou uvedeny konstrukční parametry a nastíněn výpočet teplosměnných ploch ohříváku, výparníku, přehříváku a kondenzátoru. Zřejmě za překlepy lze považovat některé číselné hodnoty v tabulkách na str. 38 (hodnoty teploty sytosti, entalpie, entropie). Chybně je uveden vztah 4.46 a doprovodné text ke vztahům 4.50 a 4.51. Šířka kondenzátoru označená na obr. 4.3 „sk“ zřejmě není 4,5 m, jak je uvedeno v tab. 4.11.

#### D. Rozbor získaných výsledků:

**Velmi dobře**

(Vyjádřete se k úrovni zpracování získaných dat, včetně určení nejistot měření, k diskusi výsledků a formulování závěrů.)

Rozbor a popis výsledků je uveden v 5. kapitole „APLIKACE VÝPOČETNÍHO MODELU“, která představuje stěžejní výsledky diplomové práce. Prezentovány jsou vlastní výsledky návrhu optimalizace ORC cyklu z hlediska tepelné účinnosti a investiční náročnosti:

- bez rekuperace a bez přehřátí páry
- s rekuperací a přehřátím páry
- ekonomický rozbor alternativ aplikací finančního kalkulátoru pro hodnocení ekonomické efektivity investice.

Výsledky jsou prezentovány ve formě grafů, které představují závislosti výstupních parametrů cyklu na konstrukčních a provozních parametrech cyklu. V případě nucené konvekce v chladicí věži by měl být do výkonové bilance zahrnut i příkon ventilátoru. Při formulaci mezních podmínek výpočtu veličin ORC cyklu není zřejmé, proč při konstantním teplotním rozdílu při rekuperaci musí být též teplota chladiva, při které k rekuperaci dochází, konstantní (str. 36). Z obr. 5.1 by nemělo být chybně patrné, že teplosměnná plocha boileru je funkcí (nezávisle proměnné) tepelné účinnosti cyklu.

#### E. Celková úroveň a náročnost práce:

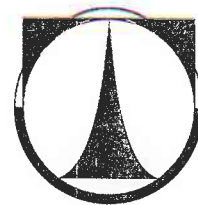
**Velmi dobře**

(Vyjádřete se k celkové náročnosti a rozsahu práce a k původní práci studenta.)

Rozsah práce odpovídá šíři zadání. Model umožňuje částečně optimalizovat konstrukci zařízení ORC cyklu při změně měřítka a předběžně odhadnout některé investiční náklady. Do modelu bylo nutno zapracovat databázi materiálových vlastností použité pracovní látky. Zejména je hodná zřetel blízkost výsledků matematické simulace pro tepelnou účinnost a dosažený elektrický výkon na generátoru s daty z realizovaného měření na reálném funkčním zařízení u výrobce (viz. obr. 5.8 a 5.9). Práce výstižně formuluje naplnění cílů práce, sumarizuje a komparuje výsledky optimalizačního řešení. Věcně jsou formulována doporučení pro konstruktéry s cílem snížení investičních nákladů.

#### Celkové zhodnocení:

Diplomová práce naplňuje cíle zadání. Představuje široký záběr - rozsah řešené problematiky, jeví se jako dobrý nástroj pro konstrukční a ekonomickou optimalizaci ORC cyklu. Dává možnost optimalizace alternativních konstrukčních variant před stavbou funkčního prototypu. Podtrhnout je nutno shodu autorem provedené simulace s reálným experimentem na funkčním vzorku ORC cyklu. Dobře a zřetelně je kvantifikován též příznivý vliv rekuperace i stupně přehřátí páry na vstupu do parního motoru. Citované formulace výsledku simulací mohou tak výrazně usnadnit kvalitu konstrukčního řešení – tedy efekt růstu účinnosti a výše potřebné investice. Též je třeba ocenit reálnou aplikaci finančního kalkulátoru pro hodnocení ekonomické efektivity investice. Práce má převážně dobrou grafickou úpravu, obsahuje však řadu formulačních nepřesností a formálních chyb. Rozhodně nelze přijmout text, ve kterém je příčina citována jako důsledek následku.



### Otázky k obhajobě:

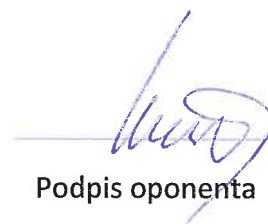
1. Vysvětlíte v práci užití výrazy regenerace a rekuperace, resp. Regenerační či rekuperační výměník z hlediska funkce a konstrukce (též ve vazbě na text na str. 37 a obr. 4.1).
2. Vysvětlíte citovaný pojem „součinitel přestupu tepla  $k_3$ “ na str. 49 a oprávněnost užití součinitele  $\alpha$  na straně vzduchu při výpočtu teplosměnné plochy kondenzátoru.
3. Jaké jsou příčiny řádové změny doby návratnosti investice při změně tlaku kondenzátoru z 0,4 MPa na 1 MPa (tab. 5.5. a tab. 5.6).

**Celková kvalifikace:** Práce splňuje požadavky na udělení akademického titulu, a proto ji doporučuji k obhajobě

Navrhuji tuto práci klasifikovat stupněm **Velmi dobře**

**V Liberci dne 2.6.2016**

Podpisem současně potvrzuji, že nejsem v žádném osobním vztahu k autorovi práce



Podpis oponenta