

**Doc. Dr. Ing. Jiří Gurecký**  
**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

## **OPONENTSKÝ POSUDEK**

na disertační práci Ing. Aleše Hromádky na téma

„Inovativní energetické koncepce v současném teplárenství“

Předložená práce je zaměřena na inovace vedoucí k trvalé udržitelnosti a lepší flexibilitě protitlakových turbín. Jako hlavní inovační technologie je představen a zkoumán subkritický organický Rankinův cyklus a jeho možnost implementace do současného protitlakového cyklu.

Práce je rozdělena do 10 kapitol a obsahuje 148 stran textu.

Hlavním cílem práce je ukázat, že protitlakové turbíny mohou v syntéze s organickým Rankinovým cyklem fungovat velmi efektivně a zároveň být v podstatě nezávislé na tepelných požadavcích centrálního zásobování teplem, jako je tomu u kondenzačních turbín. Cílem inovativní topologie je využít vývodu protitlakové turbíny pro suchý mechanický kondenzátor a připojit jej na organický Rankinův cyklus, který umožní vyrábět dodatečnou elektrickou energii v době nedostatku tepelných požadavků centrálního zásobování teplem. Modelování technologických částí včetně syntézy protitlakové turbíny a organického Rankinova cyklu je v práci realizováno v simulačním prostředí Dymola pomocí upravené modelové knihovny „Clausius Rankine cycles“. Data pro verifikaci všech termodynamických modelů jsou získána z provozních dat a bilančních schémat provozovaných turbín a jsou uvedena v kap. 8 předkládané práce.

Případová studie implementace organického Rankinova cyklu do cyklu TG1, uváděná na konci práce, je založena na získaných výsledcích, analytických výpočtech a termodynamických modelech a zdůrazňuje výhody syntézy v teplárenství.

### **Splnění cíle disertační práce**

Za důležitou z hlediska splnění cílů disertační práce považuji kapitolu 8, která je zaměřena na modelování provozovaných termodynamických cyklů Plzeňské Teplárenské a.s., ale především na modelování implementace organického Rankinova cyklu do cyklu TG1. V další řadě je to pak i kapitola 9, v níž je uvedena případová studie, tzn. variantní technickoekonomické zhodnocení možných inovací. Tyto kapitoly doktorské disertační práce jsou dle mého soudu podstatnou původní přínosnou částí.

Lze konstatovat, že uvedené **cíle práce byly splněny** jak v teoretické části, tak i v praktických aplikacích.

### **Postup řešení problému**

Postup řešení problému je logicky navazující, Ing. Hromádka vychází ze současného stavu problematiky, rozebírá možné způsoby řešení, věnuje se otázce implementací organického

Rankinova cyklu na teoretické úrovni a následně poznatky aplikuje v navržených praktických aplikacích.

Postup řešení problému **odpovídá úrovni disertační práce.**

### **Formální úprava a jazyková úroveň, vyjádření k publikacím**

Předložená disertační práce je vypracována relativně přehledně a srozumitelně a na velmi dobré odborné úrovni. Grafická stránka práce je velmi dobrá. Formální úprava práce představuje vhodnou kombinaci části textové, doplněnou vzorci, tabulkami a grafy a odpovídajících obrázků, adekvátně navazujících na část textovou. Jazyková úroveň je dle mého soudu na dostatečné úrovni.

Publikační činnost Ing. Hromádky byla vesměs zaměřena na řešené téma. Celkem 10 uvedených publikací souvisejících s tématem disertace bylo realizováno na konferencích, resp. jako kapitoly knižně, dalších 8 publikací pak mimo téma disertační práce. Jádro práce bylo tak publikováno na dostatečné úrovni.

### **Význam pro společenskou praxi a pro rozvoj vědy**

Předložená doktorská disertační práce je přínosem pro společenskou praxi, kdy řeší problematiku implementací organického Rankinova cyklu do cyklu protitlakových turbin. Propojuje mezi sebou teoretické poznatky, výsledky výzkumu a jejich konkrétní aplikaci a zároveň poukazuje na možnost použití v praktické oblasti.

Disertační práce obohacuje vědní obor elektroenergetiky o novou metodiku inovací a po praktické stránce přispívá k ekonomickému provozu teplotních turbin.

### **Připomínky a dotazy k práci.**

Práce je po teoretické stránce na velmi dobré úrovni, proto připomínky a dotazy, které mám, jsou víceméně formálního či doplňujícího charakteru:

- V textu se vyskytuje velké množství zkratk, což velmi znesnadňuje orientaci v něm
- Výsledky případové studie jsou poněkud nepřehledně uváděny, trochu postrádám jejich výslednou sumarizaci či tabulkové uspořádání
- Jakým způsobem je realizován přechod z kogeneračního provozu do kondenzačního provozu u např. TG2? (str. 122)

Tyto mé dotazy a připomínky však nijak nesnižují vysokou úroveň této práce a jsou míněny spíše jako náměty k diskusi.

### **Závěr**

Autor se zabývá aktuální problematikou inovací energetické koncepce v současném teplotě a možnostmi jejího dalšího rozvoje. Práce je na velmi dobré teoretické i formální


úrovni. Teoretická i praktická část svým rozsahem a hloubkou odpovídá disertační práci. Z práce je patrné, že se autor dokonale orientuje v dané problematice.

**Disertační práce splňuje podmínky** samostatné tvůrčí vědecké práce. V uvedené literatuře je 10 publikací autora, jejichž téma souvisí s tématem disertační práce.

Mohu tedy konstatovat, že jsou splněny podmínky § 47 odst. 4 Zákona o vysokých školách č. 111/98 Sb. a **doporučuji** práci k obhajobě.

**Po úspěšné obhajobě** předložené disertační práce **budu souhlasit s udělením titulu doktor - Ph. D.**

Ostrava, 15. 11. 2020

  
Doc. Dr. Ing. Jiří Gurecký



# POSUDEK OPONENTA DISERTAČNÍ PRÁCE

Assessment of the Dissertation

Titul, jméno a příjmení studenta:  
Title, name, surname of student

Ing. Aleš Hromádka

Doktorský studijní program:  
Doctoral study programme

Elektrotechnika a informatika

Studijní obor:  
Study branch

Elektroenergetika

Téma disertační práce:  
Topic of the dissertation

Inovativní energetické koncepce  
v současném teplárenství

Školitel:  
Supervisor

doc. Ing. Zbyněk Martínek, CSc.

Oponent:  
Opponent

Dr.h.c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD.

## Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Evaluation of the importance of the dissertation for the field

Efektívnejšie centrálne zásobovanie teplom prináša ekonomický ako aj ekologický efekt a zároveň efektívnejšie využitie primárnej energie pre výrobu elektrickej energie, tepla popřípade chladu. Predložená dizertačná práca „Inovativní energetické koncepce v současném teplárenství“ rieši implementáciu organického Rankinovho cyklu (ORC) v teplárňach, čím považujem zvolenú tému dizertačnej práce za vysoko aktuálnu. Riešená téma dizertačnej práce spadá do odboru elektroenergetika a prináša nové poznatky v danom odbore.

## Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění určeného cíle

Evaluation of the the problem-solving process, the methods used and the goal to be met

Hlavným cieľom dizertačnej práce bolo navrhnúť a namodelovať spoluprácu protitlakovej turbíny v teplárni s ORC a tým zabezpečiť efektívnejšiu a zároveň nezávislú prevádzku teplárni na tepelných požiadavkách CZT. Dosiahnuté výsledky v dizertačnej práci svedčia o zvládnutí zadaného cieľa na veľmi dobrej vedeckej úrovni. Zvolené metódy riešenia DP považujem za správne, čo viedlo k úspešnému riešeniu zadaného problému. Autor vychádza z posúdenia ekonomickosti kogeneračných zariadení a súčasných teplárenských turbín. Ďalej sa podrobne venuje analýze výrobných technológií v PITep (kapitola 4-6). Podstatu riešenia zadaného problému tvorí kapitola č. 7. Analýza návrhu ORC a modelovanie technologických častí PITep (kapitola č.8) ako aj zhodnotenie dosiahnutých výsledkov z hľadiska účinnosti jednotlivých navrhnutých variantov a ich ekonomickej návratnosti.

## Stanovisko k výsledkům disertační práce a k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatele disertační práce

Statement to the results of the dissertation and on the original contribution of the submitter of the dissertation

Dizertačná práca prináša nové poznatky v teoretickej ako aj praktickej rovine. Za hlavný dosiahnutý cieľ v teoretickej rovine je možné považovať identifikáciu súčasných problémov v teplárenstve a ich riešenie pomocou implementácie ORC. Prínosom práce v praktickej časti namodelovanie jednotlivých technologických častí PITep ako aj dôsledná analýza účinnosti a ekonomickej návratnosti navrhnutých riešení.

**Vyjádření k systematicke, přehlednosti, formální úpravě  
a jazykové úrovni disertační práce**

Statement to the systematics, clarity, formal adaptation and language level of the dissertation

Dizertačná práca je napísaná zrozumiteľne, na dobrej odbornej úrovni. Grafická úprava je veľmi dobrá. K jazykovej stránke práce sa neviem vyjadriť.

**Vyjádření k publikacím studenta**

Statement to student's publications

Autor v dizertačnej práci uvádza 10 publikácií, vzťahujúcich sa k téme dizertačnej práce a ďalších 8 ostatných publikácií. Je možné konštatovať, že jadro dizertačnej práce bolo dostatočne publikované.

**Celkové zhodnocení a otázky k obhajobě**

Total evaluation and questions for defence

Otázky na dizertanta:

1. Mohli by ste kvantifikovať využitia SUKO pre PpS v PITep?
2. Aký vplyv má implementácia „zeleného bloku“ na odstávky PITep?
3. Je, alebo bude realizované navrhnutý ORC v PITep?

Na základe preštudovania dizertačnej práce p. Ing. Aleša Hromádku je možné konštatovať, že dizertačná práca je vypracovaná na veľmi dobrej vedeckej a odbornej úrovni. Zadané ciele dizertačnej práce boli splnené v celom rozsahu. Práca prináša nové poznatky v teoretickej aj praktickej časti riešeného problému. Autor svojimi publikáciami preukázal vedeckú erudovanosť. Práca je napísaná prehľadne a zrozumiteľne. Preto odporúčam dizertačnú prácu k obhajobe a po jej úspešnom obhájení udeliť Ing. Alešovi Hromádkovi titul Ph.D. v odbore Elektroenergetika.

Doporučuji disertační práci k obhajobě

I recommend the dissertation for the defence

ano yes	x	ne no
------------	---	----------

Datum

Date

10.11.2020

Podpis oponenta:

Signature of opponent



## POSUDEK OPONENTA DISERTAČNÍ PRÁCE

Oponent: **doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
Vysoké učení technické v Brně, FEKT, Ústav elektroenergetiky

Autor: **Ing. Aleš Hromádka**

Název: **„Inovativní energetické koncepce v současném teplárenství“**

---

Předložená disertační práce Ing. Aleše Hromádky je zaměřena na problematiku teplárenství s orientací na možnosti zlepšení využitelnosti v období s minimální poptávkou po tepelné energii.

Disertační práce sestává z 10 kapitol. V úvodní části práce je stručně představeno téma a jsou definovány cíle práce. V kapitolách 2 a 3 je provedena rešerše současného stavu a způsobů provozu teplárenských technologií.

Kapitoly 4 až 6 jsou pak zaměřeny na analýzu technologie a zejména vlastního provozu teplárny „PITep“ patřící společnosti Plzeňská teplárenská, a.s. Jako potenciálně zajímavý pro inovaci je pak vybrán cyklus TG1 s dvoutělesovou protitlakou turbínou s jedním odběrem a generátorem dovybavený v roce 2004 suchým mechanickým kondenzátorem (SUKO).

V kapitole 7 se autor zabývá tzv. organickým Rankinovým cyklem, nejprve obecně a pak konkrétně ve vztahu k technologii Plzeňské teplárny.

Navazuje kapitola 8, kde je popsán autorem vytvořený model, respektive modely v programu Dymola. Tyto modely jsou následně využity v kapitole 9, kde je provedena případová studie implementace ORC do cyklu s TG1. V případové studii jsou analyzovány dvě varianty velikosti ORC, jedna na úrovni aktuálního chladicího výkonu SUKO (54 MWch) a druhá na úrovni chladicího výkonu 136,5 MWch umožňující kondenzační provoz cyklu TG1.

V závěru práce je provedeno shrnutí a jsou identifikovány další možné směry navazujícího výzkumu.

### *Zhodnocení významu disertační práce pro obor*

S měnící se situací na energetickém trhu EU, zvyšujícími se nároky na flexibilitu výrobních zdrojů a zvyšující se cenou emisních povolenek roste snaha provozovatelů energetických zařízení o zvýšení účinnosti a optimalizaci provozu.

Předložená práce se zabývá současnou teplárenskou situací v ČR, zkoumá možnosti inovace a zvýšení elektrické účinnosti a flexibility se zaměřením na konkrétní situaci ve firmě Plzeňská teplárenská a.s., kde také navrhuje inovativní řešení.

Z toho důvodu považuji téma práce za **vysoce aktuální a současně velmi dobře využitelné v elektroenergetické praxi.**

### *Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění určeného cíle*

Autor při řešení práce postupoval standardním způsobem. Nejprve popsal v současnosti používané kogenerační technologie a jejich výhody a nedostatky. Dále jsou popsána zařízení používaná v PITep, analyzována používaná paliva a možnosti provozu jednotlivých výrobních celků. Autor se zaměřil na provoz protitlaké turbíny bloku TG1, která nemůže být optimálně provozována v době nižšího odběru tepla. Dále je provedena analýza důvodů a doby odstávek jednotlivých zařízení. Následně jsou rozebrány možnosti zvýšení elektrického výkonu, flexibility a optimalizace provozu TG1 pomocí ORC cyklu s využitím modelování technologických částí PITep včetně technicko-ekonomické analýzy implementace ORC cyklu do provozu TG1.

**Použitý postup řešení problému považuji za správný.** Navržené řešení se jeví využitelné i pro další praktické aplikace.

Cíle práce jsou definovány v kapitole 1.3. Jako hlavní cíl práce bylo stanoveno: „ukázat, že protitlaké turbíny mohou v syntéze s ORC fungovat velmi efektivně a zároveň být v podstatě nezávislé na požadavcích CZT“. Pro naplnění tohoto cíle bylo vytyčeno 9 dílčích cílů. Všechny tyto dílčí cíle byly v práci řešeny.

Konstatuji, že **cíle práce byly splněny.**

#### ***Stanovisko k výsledkům disertační práce a k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatele disertační práce***

Za hlavní výsledky disertační práce lze považovat:

- detailní analýzu odstavků teplárny,
- návrh ORC systému a tvorbu simulačního modelu vybraných částí teplárny,
- technickou a technickoekonomickou analýzu instalace technologie ORC do výrobního bloku TG1 teplárny.

Za významný původní přínos autora ke stavu poznání považuji zejména návrh a ověření termodynamických modelů cyklů TG1, TG2, TG3, ORC cyklu a kombinovaného modelu TG1+ORC.

#### ***Připomínky***

Z formálního hlediska má práce nedostatky jak stylistické, tak obsahové. Poměrně často se objevují gramatické chyby ve formě chybějící spojky či předložky, shody podmětu s přísudkem, chybného skloňování. Některé věty zbytečně popisují obecně známé informace, zatímco jiné jsou naopak matoucí a nejasně formulované. Například věta: “Tato KK umožňuje expanzi plynného média v turbíně, která kopíruje isoentropu, což je křivka s konstantní entropií v T-s, resp. i-s diagramu.” je zcela nadbytečná. Naopak na straně 72 autor mezi výhody ORC uvádí “Vysoká celková účinnost ORC a termodynamická účinnost turbíny až 90 %.” Toto je zavádějící tvrzení vzhledem k nízkým termodynamickým parametrům celého cyklu. Dále například autor chybně uvádí, že suchý mechanický kondenzátor pasivně ochlazuje pracovní médium pomocí výkonových ventilátorů; tento způsob chlazení je však aktivní, nikoli pasivní. V částech zmiňujících problematiku podpůrných služeb je použita nekonzistentní terminologie, s ohledem na platnost nařízení EK 2017/1485.

V některých (většinou převzatých) grafech a schématech nebyl proveden překlad do českého jazyka, některé grafy a schémata mají nízké rozlišení. U bilančních schémat na Obr 4.3; 4.6 a 4.8 by bylo vhodnější umístit legendu mimo schéma, takto jsou schémata nepřehledná.

Za matoucí, s ohledem na charakter dat, považuji vykreslení trendů v grafech požadované elektrické výroby na str. 54 a 55. V tabulkách doby odstavků chybí jednotky, čtenář se až z textu dozví, že jde o hodiny. Tento nedostatek se objevuje i v řadě dalších tabulek.

Zpracování některých grafů v kapitole 9 je zavádějící. Hodnoty na ose y u grafů na Obr. 9.8, 9.9 a 9.11 jsou zvoleny velmi nevhodně. Především obr 9.8 se jeví účelový - byť je rozdíl v zisku pouze 0.2%, graf vytváří dojem zdvojnásobení zisku.

Po obsahové stránce považuji za největší nedostatek krátkou teoretickou analýzu ORC cyklu a nedostatečnou rešerši literatury (tematicky podobné, na internetu dostupné, doktorské a diplomové práce, články v časopisech a sbornících konferencí). Autor se primárně odkazuje na dvě reference. Jelikož se velká část práce se soustředí na využití ORC v PíTep, měl být ORC cyklus detailněji rozebrán včetně používaných roztoků, realizovaných aplikací, atp. Např. autor v

práci zmiňuje zeotropické směsi, ale nijak je dál nepopisuje. Dalším nedostatkem je nesoulad v rozsahu analýz jednotlivých komponent v uvažovaném ORC technologickém celku. Zatímco výběr čerpadla je poměrně detailně popsán, výběr expandéru měl být detailnější. Chybí detailní odůvodnění, proč byla zvolena turbína a také srovnání mezi axiální a radiální turbínou. Podobně volba směsi R600a je velmi stručně odůvodněná, očekával bych podrobné srovnání s ostatními směsmi. Dále by bylo vhodné doplnit T-S nebo i-S diagram ORC cyklu.

Vzhledem k tomu, že cílem práce byla analýza možností využití ORC cyklu, bylo vhodné porovnat více variant řešení a neomezit se pouze na řešení firmy Turboden.

V technickoekonomické analýze instalace ORC cyklu chybí odůvodnění zvolené výše úrokové míry 2%. Vzhledem k tomu, že výše úrokové míry značně ovlivňuje návratnost jakéhokoli projektu, je žádoucí, aby byly parametry financování a zvolené ekonomické předpoklady řádně vysvětleny.

#### **Dotazy**

- Bylo by pro vybraný ORC cyklus možné použít radiální turbínu a pokud ano, jak by se lišila účinnost od zvolené axiální turbíny?
- Z jakého důvodu byly zvoleny úrokové míry právě 2%?
- V kapitole 9 je použit pojem/ukazatel „finanční zisk“, nicméně popis je poměrně stručný. Můžete na detailně vysvětlit, jak byla hodnota tohoto ukazatele např. na str. 134 vypočtena? Je zde nějakým způsobem zohledněn potenciál vyššího využití pro PpS v letních měsících? Existuje v současné době v ČR potenciál pro vyšší využití inovovaného cyklu TG1 pro PpS?

#### **Závěr**

Konstatuji, že práce splnila zadaný cíl a obsahuje původní části s přínosem pro praxi. Disertační práce je zpracována na přijatelné jazykové úrovni s dobrou grafickou úpravou a stylizována formou umožňující také pedagogické využití práce. Uvedené připomínky jsou převážně formálního charakteru.


V seznamu vlastních publikací a výstupů je uvedeno 18 záznamů, z toho dva články v časopise s IF. Na WoS je ke dni zpracování posudku evidováno 8 záznamů, h-index 2.

**Jádro disertační práce bylo dostatečně publikováno. Celkově považuji publikační činnost autora za mírně nadprůměrnou.**

Předložená disertační práce dokládá autorovy teoretické znalosti a schopnost aktivně využívat vědecké metody práce pro konkrétní řešení velmi aktuální technické problematiky.

Disertační práce splňuje požadavky kladené na doktorské disertační práce, a proto ji v souladu s §47 zákona č.111/1998 Sb. **doporučuji** k obhajobě před komisí pro doktorské disertační práce.

V Brně dne 31.1.2021



*podpis oponenta*