

## РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен: **Доктор**  
област на висше образование: **Технически науки**  
професионално направление: **5.4. Енергетика**  
докторска програма: **Термични и ядрени електрически централи**

Автор на дисертационния труд: **маг. инж. Дилиан Йорданов Гавраилов**

Тема на дисертационния труд: **Изследване на възможности за подобряване на ефективността на електролизни и горивни клетки в системи за водородна енергия**

Научен ръководител: **проф. д-р инж. Силвия Василева Бойчева**

Рецензент: **доц. д-р инж. Детелин Ганчев Марков**, ТУ-София, катедра Топлоенергетика и ядрена енергетика

Рецензията е подготвена в съответствие със заповед на Ректора на Технически университет – София ОЖ 5.4-08/05.03.2026г. и протокол от първото заседание на Научното жури определено с тази заповед проведено на 12.03.2026 г.

**1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научноприложно отношение. Степен и нива на актуалността на проблема и конкретните задачи, разработени в дисертацията.**

Темата на дисертационния труд е безспорно актуална, което е обусловено от промените в структурата на електроенергийната система на Р. България през последните години. Заради повика към декарбонизация на електро-генериращите мощности, без дългосрочно планиране и координация, в експлоатация се въвеждат енергийни източници с ниска степен на предсказуемост и управляемост – ветрогенератори и фотоволтаични системи. В същото време се увеличават изискванията към качеството на електрическата енергия. Това налага изследвания, свързани с ефективно съхранение на енергията. Обект на изследване в настоящата дисертация са процесите в основни елементи от системи за водородна енергия, а именно електролизери и горивни клетки.

Дисертацията е с обем 167 страници, които са обособени в информационна част, въведение и 12 глави. Информационната част включва съдържание, списък на използваните величини, списък на използваните означения и съкращения, списък на фигурите - 42 броя, и списък на таблиците – 12 броя. Списъкът на използваната литература е представен в Глава 12 и включва общо 210 литературни източника, от които 7 са на кирилица, а 203 - на латиница, от които 9 са интернет адреси.

Целта на дисертационния труд е формулирана както следва: ”създаване на възможности за повишаване на ефективността на производството на водород чрез подобряване на електродната структура на електролизни клетки и повишаване на ефективността на използване на водорода в горивни клетки чрез подобряване на каналната им конфигурация, както и намаляване на енергийните загуби при интегрирането на фотоволтаични и електролизни системи за производството на “зелен” водород”.

За постигането на тези **три** цели докторантът си поставя за решаване следните **седем** задачи:

**Задача 1:** Разработване и валидиране на математически модели на алкални електролизьори в различни конфигурации (съществуваща система, класическа конфигурация, конфигурация с общ катод, конфигурация с общ анод и с перфорирани електроди), за оценка на производителност, ефективност и приложимост на отделните конструкционни варианти.

**Задача 2:** Изследване на възможността за директно свързване на електролизатор с фотоволтаична система чрез сравнение на изходните и входните електрически характеристики и изчисляване на коефициент на съвпадение на мощностите.

**Задача 3:** Оценка на влиянието на геометрични параметри (дебелина и перфорация на електродите) върху компактността, налягането и електрохимичната производителност на електролизната система.

**Задача 4:** Моделни изследвания и сравнителен анализ на волт-амперни характеристики на всички електролизни конфигурации, с цел определяне на оптимално инженерно решение по критерии за ефективност и сходимост към данни от реални измервания (валидиране на цифров модел с отклонение под 20 %).

**Задача 5:** CFD моделиране на PEM горивни клетки (PEMFC) с различни конфигурации на каналните структури: серпентини, с прегради в каналите, Тюринг дизайн и комбинирана канална структура с цел получаване на данни за плътност на тока, контрол на влажността и ефективността на масопренос в каналите.

**Задача 6:** Изследване на взаимовръзките и извеждане на зависимости между електрохимични и термодинамични параметри, описващи процесите в електролизни и горивни клетки.

**Задача 7:** Формулиране на научно-приложни заключения за разработване и оптимален дизайн на интегрирани системи фотоволтаичен модул – електролизатор - горивна клетка въз основа на резултати от симулационните изследвания.

Всичко това определя актуалността на изследвания проблем. Авторът на дисертационния труд е формулирал цели и задачи, които са адекватни и съответстват на изискванията на дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“.

## **2. Степен на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал.**

Авторът на дисертационния труд познава в отлична степен състоянието на проблематиката и творчески интерпретира литературния материал по нея. Той целенасочено анализира специализираната литература свързана с електролизни клетки (в Глава 2), водородни горивни клетки (в Глава 6) и работата на системи за производство на водород, съставени от фотоволтаична инсталация, директно свързана с електролизна клетка (в Глава 5). Това е така, защото целта на дисертацията и задачите са дефинирани в края на Глава 1, в която е описан водорода като енергиен носител.

Значителна част от използваните източници в дисертационния труд са от последните години (над 41% след 2020 година и под 19% преди 2010 година).

## **3. Съответствие на избраната методика на изследване и поставената цел и задачи на дисертационния труд с постигнатите приноси.**

Избраната от докторанта методика на изследване е в съответствие с поставените задачи в дисертационния труд и е позволила те да бъдат решени на високо ниво.

Чрез използване на средствата изчислителната механика на флуидите, вградени в програмния пакет COMSOL Multiphysics 6.2, за различни електролизни клетки и водородни горивни клетки е изследвано влиянието на конструктивни геометрични характеристики и на параметрите на течението на входа на клетката върху нейната работа. Като резултат са идентифицирани параметри, при които работата на дадена клетка е по-ефективна от съществуващите.

## **4. Кратка аналитична характеристика на естеството и оценка на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд**

На базата на извършения от докторанта анализ на литературата относно конструкцията на съществуващите електролизни клетки (Глава 2) и водородни горивни клетки (Глава 6) и процесите в тях са идентифицирани техните предимства и недостатъци, и са генерирани идеи за подобряване на тяхната работа.

На електролизните клетки са посветени Глави 2, 3, 4 и 5.

В Глава 3 са представени използваните модели за числено изследване на процесите в електролизни клетки, а в Глава 4 с тези модели са изследвани характеристиките на два типа електролизатори: класически алкален електролизатор и електролизатор с твърд електролит и анионообменна мембрана. В резултат на проведеното изследване е разработена нова структурата на електродите на класическия алкален електролизатор, перфорирани електроди, с което зададено количество водород се генерира с по-малка плътност на тока, при по-ниска работна температура и в по-малък обем при запазване на активната повърхност на клетката и на нейното работно напрежение. Използваната в Глава 4 изчислителна процедура е валидирана в Глава 5 (Секция 5.1), чрез симулиране на процесите в класически алкален електролизатор за който са публикувани, от други изследователи, резултати от физически експеримент. Разликата между данните от физическия експеримент и числения експеримент не надхвърля 3.5%. В Глава 5 са изследвани числено, също така, алкален електролизатор с биполярна конфигурация - общ анод и общ катод. При еднакво напрежение е сравнена мощността на изследваните електролизатори като функция на тока и е доказано еднозначно, че разработения от докторанта перфориран електрод дава най-добри резултати. В Глава 5 (Секция 5.7) са идентифицирани условията за ефективна съвместна работа на фотоволтаична система и електролизатор при директно свързване.

На водородните горивни клетки са посветени Глави 6, 7, 8 и 9.

В Глава 6 е представен принципа на действие на водородните горивни клетки и са описани термодинамичните процеси в тях. Представени са механизмите на енергийните загуби във водородните горивни клетки, изведени са изрази за пресмятане на различните видове загуби в тях, както и за определяне на тяхната електрохимичната и енергийната ефективност. В Глава 7 е описан принципа на действие на горивна клетка с полимерна протонпроводяща мембрана. Представени са важни подробности относно каналната структура на биполярните плочи в горивната клетка, тяхното влияние върху движението на реагентите, на продуктите на реакцията и върху нейната ефективност. В Глава 8 са представени използваните модели за числено изследване на процесите в горивни клетки. В Глава 9 са представени резултати от числено изследване на четири типа канални структури в биполярните плочи на горивна клетка. На базата на резултатите от изследването на трите съществуващи канални структури по отношение на свойствата на течението - скоростно поле, поле на налягането, поле на концентрацията на кислорода и полето на продукта от реакцията (вода) - докторанта разработва нова конфигурация, която подобрява съществено работата на изследваната горивна клетка. В Глава 9 е демонстрирано, че получените числени резултати не зависят от избора на изчислителната мрежа.

В Глава 10 са направени изводи от получените резултати в резултат на работата по дисертацията, а в Глава 11 са формулирани приносите на дисертационния труд.

## **5. Научни и/или научноприложни приноси на дисертационния труд**

### *Научно - приложни приноси*

- Предложена е и е изследвана нова електродна конфигурация с перфорирани отвори и е доказан потенциал за миниатюризация на системи за алкална електролиза с постигане на по-голяма ефективната активна повърхност и по-висока скорост на електрохимичната реакция.
- Изграден е и е валидиран цифров модел на електродни повърхности и реакционни зони на алкални електролизатори като основа за симулационно-базирано проектиране и мащабиране на електролизни системи.

- Предложена и изследвана е нова хибридна геометрия от типа Тюринг дизайн с прегради за повишаване на енергийната ефективност на горивни клетки с протонообменни мембрани. Чрез моделни изследвания е доказано значението на хибридната конфигурация за минимизиране на омичните загуби чрез разпределението на реагентите потоци и ефективното отвеждане на водата като реакционен продукт за устойчивото функциониране на горивната клетка.
- Изграден е и е валидиран цифров модел на протонномембранни горивни клетки, който позволява симулационно-базирано проектиране на различни конфигурации и оптимизиране на режимни параметри.

#### *Приложни приноси*

- Предложен е подход за директно интегриране на алкален електролизатор с фотоволтаична система при синхронизиране на работните им характеристики и чрез конфигуриране на броя на паралелно и серийно свързаните клетки за постигане на максимално ефективно производство на зелен водород.

Приемам претенциите за приноси. Получените резултати са оригинални и напълно съответстват на изискванията за дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“. Използването им ще е полезно още на този етап.

#### **6. Оценка за степента на личното участие на дисертанта в приносите**

Съдържанието на дисертацията доказва, че докторантът познава добре съвременното състояние на проблемите, свързани със системите за водородна енергия. Той е постигнал отлични резултати при работата си върху поставените задачи в дисертацията. Анализът на публикациите на докторанта и личните ми наблюдения върху неговата работата ми дават основание да приема, че представената част от разработката като дисертационен труд и приносите в него са лично дело на кандидата.

#### **7. Преценка на публикациите по дисертационния труд: брой, характер на изданията, в които са отпечатани. Отражение в науката - използване и цитиране от други автори, в други лаборатории, страни и пр.**

Основните резултати от работата по дисертационния труд са публикувани в пет публикации, всичките в съавторство. Те са описани в Глава 11 на дисертацията. Всички публикации са свързани с тематиката на дисертационния труд и са видими в SCOPUS.

Две от публикациите са в международни списания: Applied Thermal Engineering (Q1, IF6.9) в съавторство със седем китайски изследователи и Energies (Q1, IF3.2) в съавторство с научния ръководител. Други две публикации, в съавторство с научния ръководител, са представени на конференцията на ЕМФ, InnoEE 2023 и InnOE 2024, и публикувани в IOP conference series Earth and Environmental Science. Петата публикация, в съавторство с научния ръководител и изследовател от Египет, е представена на 5th International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES) и е публикувана от IEEE. Не е приложена декларация на докторанта за оригиналност и авторство на приносите в дисертационната му работа. Представен е списък с общо 14 цитирания от други автори. Изборът основно на технически форуми като място на изява гарантира допълнителна колегиална оценка от по-голям брой специалисти.

#### **8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика. Наличие на постигнат пряк икономически ефект и пр. Документи, на които се основава твърдението.**

Извършените изследвания, свързани с повишаване на енергийната ефективност на електролизни клетки и водородни горивни клетки чрез промяна на тяхната конструкция на базата на компютърно моделиране, имат своята практическа приложимост при намирането

на нови решения и подобрения в системите за водородна енергия. Получените резултати са полезни и при разработване на методи и стратегии за контрол и управление режимите на работа на директно свързани с електролизни клетки фотоволтаични инсталации. Използването на представените в дисертационния труд резултати е полезно още на този етап.

## **9. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му, както и на адекватността на отразяване на основните положения и приносите на дисертационния труд**

Авторефератът е в обем от 32 страници и е изготвен съгласно изискванията. В него са показани главните достижения на дисертационния труд. Считаю, че той отразява правилно научните приноси на дисертационния труд.

## **10. Мнения, препоръки и бележки.**

**Мнение:** Структурата на дисертационния труд е нелогична, от моя гледна точка, защото:

- \*цел и задачи на дисертационния труд са формулирани преди да е представена структурата на система за водородна енергия, преди да са описани нейните съставни елементи и анализирани недостатъците на техните съществуващите конструктивни решения;
- \*представянето на извършената работа е по елементи на системата и еднотипни дейности, като описание на елемента, моделиране и изследване на процесите в него, представяне на резултатите са в различни глави, които не са последователно подредени в текста, например описанието на електролизаторите е в Глава 2, а на водородните горивни клетки - в Глава 6, и т.н.;
- ... \*дейностите по моделиране са представени нелогично, например: при електролизатори са изследвани процесите в тях, получени са резултати и чак след това е описано валидирането на използваната изчислителна процедура, но няма информация за изчислителната мрежа; при горивните клетки подходът е същия, най-накрая се дава информация за изчислителната мрежа, но липсва явна информация за валидирането на изчислителната процедура.

### **Бележки:**

- \*в текста има неотстранени правописни грешки;
- \*понятийния апарат на докторанта е изграден на английски език и някои от използваните термини на български език са неточни и неясни;
- \*множество литературни източници са цитирани непълно – липсва година на публикуване при 35 източника;
- \*при някои чуждестранни литературни източници са останали букви на кирилица;
- \*на места в текста липсва последваща редакторска обработка;
- \*липсата на дефинирани перспективи и следващи цели за развитие на разработката приемам като запазване на конфиденциална информация.

Направените забележки и препоръки не омаловажават постигнатото в дисертационния труд. Достоинствата му са очевидни.

## **11. Заключение с ясна положителна или отрицателна оценка на дисертационния труд**

Личното ми становище е, че представеният труд е актуален и стойностен. Притежава достатъчно научно-приложни и инженерно-приложни приноси. Като обем, брой и сложност на анализирани проблеми, намерени решения и направени авторски разработки удовлетворява изискванията към докторска дисертация.

Разработките в дисертацията са описани компетентно и в необходимата пълнота, изводите и заключенията са добре построени и аргументирани. Дисертационният труд отговаря на изискванията на ЗРАСРБ, Правилника за прилагане на закона и съответния Правилник на Техническия университет - София.

Получените в дисертационния труд научно-приложни и приложни приноси, демонстрираните високо образователно ниво и натрупан теоретически и изследователски опит с постигнати и практически резултати в една актуална област, ми дават достатъчни основания убедено да препоръчам на Уважаемото жури да присъди на маг. инж. Дилян Йорданов Гавраилов образователната и научна степен **Доктор** в областта на висше образование **Технически науки**, професионално направление **5.4 Енергетика**, научна специалност **Термични и ядрени електрически централи**.

Дата: 11.05.2026

Рецензент:  
/доц. д-р инж. Детелин Марков/

## REVIEW

on a dissertation for acquisition of an educational and scientific degree: Doctor (PhD)

field of higher education: **Technical Sciences**

professional field: **5.4. Energy**

doctoral program: **Thermal and nuclear power plants**

Author of the PhD thesis: **MSc in Eng. Dilyan Yordanov Gavrailov**

Topic of the PhD thesis: **Exploring opportunities to improve the efficiency of electrolysis and fuel cells in hydrogen energy systems**

Scientific supervisor: **Prof. PhD. Eng. Silviya Vasileva Boycheva**

Reviewer: **Assoc. Prof. PhD. Eng. Detelin Ganchev Markov**, Technical University of Sofia, Department of Thermal Power and Nuclear Power

The review was prepared in accordance with the order of the Rector of the Technical University - Sofia OЖ 5.4-08/05.03.2026. and the minutes of the first meeting of the Scientific Jury appointed by this order held on 12.03.2026.

### **1. Relevance of the problem developed in the PhD thesis in scientific and applied science terms. Degree and levels of relevance of the problem and the specific tasks developed in the PhD thesis.**

The topic of the PhD thesis is undoubtedly relevant, which is due to the changes in the structure of the electricity system of the Republic of Bulgaria in recent years. Due to the call for decarbonization of electricity generation capacities, without long-term planning and coordination, energy sources with a low degree of predictability and controllability are being put into operation - wind generators and photovoltaic systems. At the same time, the requirements for the quality of electrical energy are increasing. This necessitates research related to effective energy storage. The object of research in this dissertation are the processes in the main elements of hydrogen energy systems, namely electrolyzers and fuel cells.

The PhD thesis volume is 167 pages, which are divided into an information part, an introduction section and 12 chapters. The information part includes a table of contents, a list of used quantities, a list of used symbols and abbreviations, a list of 42 figures, and a list of 12 tables. The list of references is presented in Chapter 12 and includes as a total 210 sources of information, out of which 7 are in Cyrillic and 203 in Latin, of which 9 are Internet addresses.

The aim of the PhD thesis is formulated as follows: "The aim of the PhD thesis is to create opportunities to increase the efficiency of hydrogen production by improving the electrode structure of electrolysis cells and increasing the efficiency of using hydrogen in fuel cells by improving their channel configuration, as well as reducing energy losses in the integration of photovoltaic and electrolysis systems for the production of "green" hydrogen."

To achieve these **three goals**, the PhD student sets himself the following seven tasks to solve:

**Task 1:** Development and validation of mathematical models of alkaline electrolyzers in different configurations (existing system, classical configuration, common cathode configuration, common anode and perforated electrode configuration) to evaluate the performance, efficiency and feasibility of individual design options.

**Task 2:** Investigate the possibility of directly connecting an electrolyser to a photovoltaic system (PV-ELY) by comparing the output and input electrical characteristics and calculating the power match factor (CF\_direct\_coupled).

**Task 3:** Assessment of the influence of geometric parameters (thickness and perforation of electrodes) on the compactness, pressure and electrochemical performance of the electrolysis system.

**Task 4:** Model investigation and comparative analysis of volt-ampere characteristics of all studied electrolyser configurations in order to determine the optimal engineering solution according to efficiency criteria and convergence to data from real measurements (validation of a numerical model with a deviation of less than 20%).

**Task 5:** CFD modelling of PEM fuel cells (PEMFC) with different configurations of channel structures: coils, with baffles in channels, Turing design and combined channel structure in order to obtain data on current density, humidity control and mass transfer efficiency in channels.

**Task 6:** Study of interconnections and derivation of mathematical relationships between the electrochemical and the thermodynamic parameters describing the processes in both electrolysers and fuel cells.

**Task 7:** Formulation of scientific and applied conclusions for the development and optimal design of integrated systems photovoltaic module - electrolyser - fuel cell based on the results of simulation studies.

All this determines the relevance of the research problem. The author of the PhD thesis has formulated goals and objectives that are adequate and correspond to the requirements of a PhD thesis for acquiring the educational and scientific degree "Doctor".

## **2. Degree of knowledge of the state of the problem and creative interpretation of the literature.**

The author of the PhD thesis has an excellent knowledge of the state of the art and creatively interprets the literature on it. He purposefully analyzes the specialized literature related to electrolysis cells (in Chapter 2), hydrogen fuel cells (in Chapter 6) and the operation of hydrogen production systems consisting of a photovoltaic installation directly coupled with an electrolysis cell (in Chapter 5). This is because the purpose of the dissertation and the tasks are defined at the end of Chapter 1, which describes hydrogen as an energy carrier. A significant part of the sources used in the PhD thesis are from recent years (over 41% after 2020 and under 19% before 2010).

## **3. Relevance of the chosen research methodology and the stated aim and objectives of the PhD thesis to the contributions made.**

The research methodology chosen by the PhD student is in accordance with the tasks set in the PhD thesis and has allowed them to be solved at a high level.

By using the computational fluid dynamics tools built into the COMSOL Multiphysics 6.2 software package, the influence of constructive geometric characteristics and flow parameters at the cell inlet on its operation has been studied for various electrolysis cells and hydrogen fuel cells. As a result, parameters have been identified at which the operation of a given cell is more efficient than the existing ones.

## **4. Brief analytical characterisation of the nature and assessment of the reliability of the material on which the contributions of the thesis are based.**

Based on the PhD student's analysis of the literature on the design of existing electrolysis cells (Chapter 2) and hydrogen fuel cells (Chapter 6) and the processes in them, their advantages and disadvantages have been identified, and ideas for improving their operation have been generated.

Chapters 2, 3, 4 and 5 are dedicated to electrolysis cells.

Chapter 3 presents the models used for numerical study of processes in electrolysis cells, and in Chapter 4, the characteristics of two types of electrolyzers are studied with these models: a classic alkaline electrolyzer and an electrolyzer with a solid electrolyte and anion exchange membrane. As a result of the research, a new structure of the electrodes of the classic alkaline electrolyzer was developed, perforated electrodes, with which a given amount of hydrogen is generated with a lower

current density, at a lower operating temperature and in a smaller volume while maintaining the active surface of the cell and its operating voltage. The computational procedure used in Chapter 4 is validated in Chapter 5 (Section 5.1) by simulating the processes in a classic alkaline electrolyzer for which results of a physical experiment have been published by other researchers. The difference between the data from the physical experiment and the numerical experiment does not exceed 3.5%. In Chapter 5, an alkaline electrolyzer with a bipolar configuration - a common anode and a common cathode - was also numerically studied. At the same voltage, the power of the studied electrolyzers was compared as a function of current and it was clearly proven that the perforated electrode developed by the doctoral student gives the best results. In Chapter 5 (Section 5.7), the conditions for effective joint operation of a photovoltaic system and an electrolyzer in direct connection are identified.

Chapters 6, 7, 8 and 9 are dedicated to hydrogen fuel cells.

Chapter 6 presents the principle of operation of hydrogen fuel cells and describes the thermodynamic processes in them. The mechanisms of energy losses in hydrogen fuel cells are presented, expressions are derived for calculating the various types of losses in them, as well as for determining their electrochemical and energy efficiency. Chapter 7 describes the principle of operation of a fuel cell with a polymer proton-conducting membrane. Important details are presented regarding the channel structure of the bipolar plates in the fuel cell, their influence on the flow of the reactants, the reaction products and on its efficiency. Chapter 8 presents the models used for numerical study of processes in fuel cells. Chapter 9 presents the results of numerical study of four types of channel structures in the bipolar plates of a fuel cell. Based on the results of the study of the three existing channel structures in terms of the flow properties - velocity field, pressure field, oxygen concentration field and reaction product (water) field - the PhD student develops a new configuration that significantly improves the performance of the studied fuel cell. In Chapter 9, it is demonstrated that the obtained numerical results are grid independent.

In Chapter 10, conclusions are drawn from the results obtained as a result of the work on the PhD thesis, and in Chapter 11, the contributions of the PhD thesis are formulated.

## **5. Scientific and/or applied scientific contributions of the dissertation**

### **Scientific and applied scientific contributions**

A new electrode configuration with perforated holes has been proposed and investigated and the potential for miniaturization of alkaline electrolysis systems has been proven, achieving a greater effective active surface area and a higher rate of electrochemical reaction.

A computational procedure of electrode surfaces and reaction zones of alkaline electrolyzers has been built and validated as a basis for simulation-based design and scaling of electrolysis systems.

A new hybrid geometry of the Turing design type with partitions to increase the energy efficiency of fuel cells with proton exchange membranes has been proposed and researched. Through model studies, the importance of the hybrid configuration in minimizing ohmic losses through the distribution of reagent flows and the efficient removal of water as a reaction product for the sustainable functioning of the fuel cell has been proven.

A computational procedure for proton-membrane fuel cells has been developed and validated, which allows simulation-based design of various configurations and optimization of mode parameters.

### **Applied contributions**

An approach is proposed for the direct integration of an alkaline electrolyser with a photovoltaic system in synchronization of their performance characteristics and by configuring the number of parallel and series-connected cells to achieve the most efficient production of green hydrogen.

I accept the claims for contributions. The results obtained are original and fully comply with the requirements for a PhD Thesis for the acquisition of the educational and scientific degree "Doctor". Their use will be useful even at this stage.

## **6. Assessment of the degree of personal involvement of the doctoral candidate in the contributions**

The content of the PhD Thesis proves that the PhD student is well aware of the current state of the problems related to hydrogen energy systems. He has achieved excellent results in his work on the tasks set in the PhD Thesis. The analysis of the PhD student's publications and my personal observations of his work give me reason to assume that the presented part of his research work as a PhD thesis and the contributions therein are the personal work of the candidate.

## **7. Assessment of the publications related to the thesis: number, type of publications in which they appear. Reflection in the scientific community - use and citation by other authors, in other laboratories, countries, etc.**

The main results of the work on the PhD thesis have been published in five publications, all co-authored. They are described in Chapter 11 of the PhD Thesis. All publications are related to the topic of the thesis and are visible in SCOPUS.

Two of the publications are in international journals: Applied Thermal Engineering (Q1, IF6.9) co-authored with seven Chinese researchers and Energies (Q1, IF3.2) co-authored with the supervisor. Two other publications, co-authored with the supervisor, were presented at the conference of the faculty FPEPM with TUS, InnoEE 2023 and InnOE 2024, and published in the IOP Conference series Earth and Environmental Science. The fifth publication, co-authored with the supervisor and a researcher from Egypt, was presented at the 5th International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES) and was published by IEEE. The PhD student's declaration of originality and authorship of the contributions to his PhD work was not presented. A list of 14 citations by other authors is presented.

The choice of mainly technical forums as a venue for publication guarantees additional peer review by a larger number of specialists

## **8. Use of the PhD Thesis results in scientific and social practice. Existence of direct economic impact, etc. Documents on which the claim is based.**

The research conducted on increasing the energy efficiency of electrolysis cells and hydrogen fuel cells by changing their design based on computer modelling has its practical applicability in finding new solutions and improvements in hydrogen energy systems. The results obtained are also useful in developing methods and strategies for controlling and managing the operating modes of photovoltaic installations directly connected to electrolysis cells. The use of the results presented in the dissertation is useful even at this stage.

## **9. Assessment of the compliance of the PhD Thesis synopsis with the requirements for its preparation, as well as the adequacy of the coverage of the main points and contributions of the thesis.**

The PhD Thesis synopsis is 32 pages long and has been prepared in accordance with the requirements. It shows the main achievements of the PhD Thesis. I am sure that it correctly reflects the scientific contributions of the PhD Thesis.

## **10. Opinions, recommendations and comments.**

**Opinion:** The structure of the dissertation is illogical, from my point of view, because:

\*the goal and objectives of the PhD thesis are formulated before the structure of a hydrogen energy system is presented, before its constituent elements are described and the shortcomings of their existing design solutions are analyzed;

\*the presentation of the work performed is organized by elements of the system and similar activities, such as description of the element, modelling and study of the processes in it, presentation of the results is in different chapters, which are not sequentially arranged in the text, for example, a description of electrolyzers is given in Chapter 2, and of hydrogen fuel cells in Chapter 6, etc.;

...\*the modelling activities are presented illogically, for example: in the case of electrolyzers, the processes in them are studied, results are obtained and only then the validation of the computational procedure used is described, but there is no information about the computational grid used; in the case of fuel cells, the approach is the same, at the end information is given about the computational grid and a prove for a grid independent solution is provided, but there is no explicit information given about the validation of the computational procedure.

#### Notes:

\*there are uncorrected spelling errors in the text;

\*the conceptual apparatus of the doctoral student is built in English and some of the terms used in Bulgarian are inaccurate and unclear;

\*many literature sources are cited incompletely—the year of publication is missing for 35 sources;

\*in some foreign literature sources, Cyrillic letters remain;

\*in some places in the text, there is no subsequent editorial processing;

\*the lack of defined perspectives and further goals for the development of the work I accept as preserving confidential information.

The remarks and recommendations made do not belittle what has been achieved in the PhD thesis. Its merits are obvious.

#### **11. Conclusion with a clear positive or negative evaluation of the thesis.**

My personal opinion is that the presented work is up-to-date and valuable. It has sufficient scientific-applied and engineering-applied contributions. In terms of volume, number and complexity of the analyzed problems, found solutions and made author's developments, it satisfies the requirements for a PhD Thesis.

The developments in the PhD Thesis are described competently and with the necessary thoroughness; the findings and conclusions are very well structured and argued. The PhD Thesis meets the requirements of the Law on Scientific Research and Scientific Activity (ZRASRB), the Regulations for the Implementation of the ZRASRB Law, and the relevant Regulations of the Technical University of Sofia.

The scientific-applied and applied contributions obtained in the PhD Thesis, the demonstrated high educational level and accumulated theoretical and research experience with achieved even practical results in a current field, give me sufficient grounds to confidently recommend to the Honorable Jury to award the M.Sc. Eng. Dilyan Yordanov Gavrailov educational and scientific degree **Doctor** in the field of higher education **Technical Sciences**, professional field **5.4 Energy**, scientific specialty **Thermal and Nuclear Power Plants**.

Date: 11.05.2026

Reviewer:  
/Assoc. Prof. PhD Eng. Detelin Markov/