

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	<b>Dekarbonizace v rafinérském průmyslu</b>
<b>Jméno autora:</b>	<b>Štěpán Borovec</b>
<b>Typ práce:</b>	bakalářská
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta strojní (FS)
<b>Katedra/ústav:</b>	Ústav procesní a zpracovatelské techniky
<b>Oponent práce:</b>	Ing. Mgr. Vojtěch Bělohav, Ph.D.
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	Ústav procesní a zpracovatelské techniky

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>lehčí</b>
Zadání závěrečné práce zahrnuje zpracování rešerše technologií pro výrobu vodíku a jeho možné využití pro dekarbonizaci v rafinérském průmyslu. Zadání bakalářské práce neobsahuje žádné technicko-ekonomické zhodnocení plánovaných vodíkových technologií nebo komplexnější návrh či bilancování technologií. Zadání proto hodnotím jako lehčí a student by po absolvování předmětů základního studia neměl mít se splněním zadání žádný problém.	

<b>Splnění zadání</b>	<b>splněno</b>
Student zadání závěrečné práce splnil ve všech bodech. Zpracoval podrobné rozdělení jednotlivých barev vodíku a kriticky zhodnotil možnosti jeho uplatnění v rafinérském průmyslu. Student podrobně popsal stávající technologie vyrábějící vodík přímo v rafinérských komplexech a zpracoval přehled plánovaných dekarbonizačních projektů, které by měly být v následujících letech realizovány. Nad rámec zadání student zpracoval základní analýzu možné dekarbonizace výroby v rafinérii za použití zeleného vodíku ve spojení se solární elektrárnou. Analýzu modelové jednotky zpracoval pro realie rafinérie provozované v České republice. Zadání závěrečné práce bylo tedy splněno a oproti zadání dokonce rozšířeno.	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>správný</b>
Zvolené metody zpracování rešerše byly správné a student postupoval velice pečlivě. Podrobný popis existujících technologií pro výrobu všech barev vodíku umožňuje získat potřebný vhled do celé problematiky. Přehled plánovaných projektů dekarbonizace přibližuje trendy v uplatnění vodíku v rámci rafinérských, petrochemických či chemických závodů. Analýza modelové technologie obsahuje několik nepřesností, které jsou zmíněny v komentáři.	

<b>Odborná úroveň</b>	<b>A - výborně</b>
Student při zpracování závěrečné práce správně využívá teoretických znalostí získaných v rámci základního studia pro kritické zhodnocení dostupných informací. S ohledem na atraktivnost tématu se v dostupných zdrojích objevuje velké množství informací, které jsou také často zavádějící a neúplně reflektují realitu. Student však dokázal tyto informace eliminovat a také proto hodnotím odbornou úroveň práce jako výbornou.	

<b>Formální a jazyková úroveň, rozsah práce</b>	<b>B - velmi dobře</b>
Závěrečná práce je správně strukturovaná a psaná velice čtivou formou. Odkazy na jednotlivé kapitoly, vztahy a zdroje jsou pečlivě zpracovány a usnadňují tak orientaci v textu. V textu se však objevuje řada typografických chyb, které jsou však často velmi těžko postřehnutelné. Formální a jazykovou úroveň práce hodnotím jako velmi dobrou. Rozsah práce odpovídá běžným standardům bakalářských prací v tomto oboru.	

<b>Výběr zdrojů, korektnost citací</b>	<b>A - výborně</b>
Při zpracování rešerše student využil široké spektrum zdrojů od webových stránek výrobců vodíkových technologií až po odborné publikace. Použité zdroje jsou relevantní a s ohledem na data jejich publikování reflektují nejmodernější trendy dané problematiky. Pouze v jednom případě jsem narazil na citovaný zdroj, který by s ohledem na potenciál uplatnění vodíkových technologií měl být aktualizován pro rok 2024 (podrobnější popis v komentáři). V textu je řádně uvedeno, které prvky práce vycházejí z převzatých zdrojů. Citační etika či bibliografické citace jsou v souladu s citačními zvyklostmi a normami.	

#### **Další komentáře a hodnocení**

- Str. 5: Student v přehledu spotřeby energie z OZE na území ČR uvádí zdroj z roku 2013. Od tohoto roku došlo k poměrně výrazné změně a do roku 2030, kdy by měla být řada vodíkových projektů realizována, by se podíl OZE na celkové výrobě měl ještě dále výrazně zvýšit.
- Str. 9. a Str. 35: Student uvádí zkratky (DRI a TTO), které však nejsou v textu popsány. Jejich definice je popsána v přehledu zkratek, ale pro přehlednost by jejich význam měl být popsán již v samotném textu.
- Str. 38, Tabulka 5.4.: Předpokládaná hmotnostní produkce vodíku je řádově posunuta. Produkce vztažená na provozní hodinu by se měla pohybovat v rozsahu 0,5 až 10 t vodíku. Na následné bilance však hmotnostní produkce nemá vliv.
- Student uvádí, že analýza výroby zeleného vodíku pro náhradu šedého vodíku vychází z plánovaného projektu ORLEN Unipetrol. Dle [37] se plánuje výstavba solární elektrárny s instalovaným výkonem 60 MWp. Student však stanovuje výkon solární elektrárny na základě rozlohy části plochy přilehlé petrochemickému komplexu v Litvínově – Záluží. Dle vypočítané produkce elektrické energie (164 138 MWh/rok) a průměrného koeficientu využití solární elektrárny na území ČR (12,5 % dle faktaoklimatu.cz) by však solární elektrárna v analyzovaném modelu odpovídala hodnotě téměř 150 MWp instalovaného výkonu.
- Str. 42: Uvažovaná hodnota průměrného slunečního záření vztažená na m<sup>2</sup> osvětlené plochy je přibližně 10x menší než běžně uváděné hodnoty průměrných ročních úhrnů slunečního záření. Doplnující komentář je zahrnut v otázkách k obhajobě.
- Str. 43, vztah 5.16.: Výpočet uvádí energii slunečního záření vztaženou na zastavěnou plochu. Student však v tomto případě uvažuje, že tato energie je s účinností 100 % převedena na energii elektrickou. Dostupné solární panely však pracují s účinností přibližně 20 %. Tento předpoklad tak výrazně ovlivňuje celkovou bilanci technologie.
- Str. 43, kapitola 5.2.6.: Student uvádí, že solární elektrárna by pokryla 82 % spotřeby elektrolyzátoru. Tato bilance je však velice zjednodušující a nedostatečně reflektuje realitu. V letních měsících, kde je výroba energie pomocí solárních elektráren dominantní, by kapacita vyrobené elektřiny výrazně převyšovala kapacitu instalovaných elektrolyzátorů (více jak 2x pro elektrárnu 60 MWp a více jak 5x pro 150 MWp). V tomto případě by tak byla značná část přebytečné elektřiny posílána do distribuční sítě. Naopak v zimních měsících, kdy dosahuje koeficient využití solárních elektráren na území ČR méně než 4 %, lze předpokládat, že bude nutné dodávat elektřinu z externích zdrojů. Právě z tohoto důvodu je nutné zapojení PPA kontraktorů, které jsou zmiňovány také v [37]. Celková bilance je z tohoto důvodu složitější a uvedené zjednodušení je tak zavádějící.

### **III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE**

Student velice pečlivě zpracoval rešerši metod výroby vodíku a z toho plynoucí jeho barevné rozdělení. Zároveň velice přehledně zpracoval technologie výroby vodíku v stávajících rafinérských komplexech. S využitím podkladů od výrobců vodíkových technologií a odborné literatury student zpracoval přehled plánovaných nebo již částečně realizovaných projektů dekarbonizace rafinérského průmyslu za využití zeleného vodíku. Zpracovaná rešerše tak může posloužit jako podklad pro další podrobnější studium problematiky či návrh vodíkových technologií. Student při vypracování závěrečné práce správně využívá teoretických znalostí získaných v rámci základního studia pro kritické zhodnocení dostupných informací. Práce je psaná velice čtivou formou a struktura odpovídá standardům závěrečných prací. Student zadání závěrečné práce splnil bez připomínek. Dokonce nad rámec zadání vypracoval základní analýzu dekarbonizace výroby v rafinérii za použití zeleného vodíku ve spojení se solární elektrárnou. Nicméně právě v této oblasti se objevují drobné nepřesnosti, které by mohly být doplněny či upřesněny v rámci odpovědí na otázky k obhajobě.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **B - velmi dobře**.

**K předložené bakalářské práci mám následující otázky:**

1. Narazil student v rámci zpracování rešerše na plánované projekty výroby vodíku pomocí elektřiny z jaderných zdrojů? Můžete komentovat využití baseloadových zdrojů energie na výrobu vodíku?
2. Student na str. 31 zmiňuje, že dle plánů ORLEN Unipetrol by se měla produkce zeleného vodíku navýšit z 4,5 kt v roce 2028 až na 43,8 kt v roce 2030. Podařilo se v dostupných zdrojích dohledat, jaké konkrétní projekty by měly být realizovány a jakým způsobem bude docházet k navýšení produkce na téměř desetinásobek v průběhu pouhých dvou let? Bude se jednat o pouhé násobení plánovaného elektrolyzéro o výkonu 26 MW? Bude docházet k výstavbě vlastních OZE, nebo rozšíření PPA kontraktů?
3. Str. 38: Student v modelovém výpočtu postaveném na plánované realizaci ORLEN Unipetrol uvažuje použití PEM elektrolyzérů. Tento předpoklad vychází přímo z plánů ORLEN Unipetrol, případně proč byl pro modelový výpočet vybrán tento typ elektrolyzéro?
4. Str. 40: Student uvádí rozdíl ročních nákladů pro produkci zeleného a šedého vodíku. Uváděná cena šedého vodíku je 47 Kč/kg. Jaká je cena vyprodukovaného zeleného vodíku dle modelového schématu?
5. Str. 42: Student uvádí, že průměrná hodnota slunečního záření vztažená na m<sup>2</sup> je přibližně 100 kWh. Dle průměrných ročních úhrnů slunečního záření (Solargis) jsou však hodnoty pro lokalitu Litvínov – Záluží až 10x vyšší. Lze určit, proč systém PVGIS uvádí tolik odlišné hodnoty od dlouhodobých měření?
6. Můžete demonstrovat zjednodušený výpočet výroby elektřiny pro pokrytí spotřeby elektrolyzérů na základě dat z [37]? Tzn. instalovaný výkon solární elektrárny je 60 MWp a průměrný koeficient využití solární elektrárny v ČR dosahuje hodnoty 12,5 %.

Datum: 9.8.2024

Podpis: Vojtěch Bělohav