

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE
2023**

**MÜNSTER
VILÉM**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Münster** Jméno: **Vilém** Osobní číslo: **485682**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav řízení a ekonomiky podniku**
Studijní program: **Řízení průmyslových systémů**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Ekonomické posouzení implementace zeleného vodíku v průmyslovém podniku

Název diplomové práce anglicky:

Economic assessment of Implementation of Green Hydrogen in Industrial Company

Pokyny pro vypracování:

1. Úvod do problematiky
2. Charakteristika typů vodíku a principy jeho získávání z OZE
3. Stanovení technických a ekonomických vstupních parametrů pro posouzení implementace zeleného vodíku v podniku
4. Posouzení vhodnosti implementace zeleného vodíku v podniku
5. Stanovení doporučení pro podnik

Seznam doporučené literatury:

1. VALACH, Josef. Investiční rozhodování a dlouhodobé financování. Praha: Ekopress, 2006, s. [1a]. ISBN 80-86929-01-9.
2. HERMESMANN, Matthias a Thomas Ernst MÜLLER. Green, Turquoise, Blue, or Grey? Environmentally friendly Hydrogen Production in Transforming Energy Systems. Progress in Energy and Combustion Science [online]. Volume 90, May 2022, 100996<https://doi.org/10.1016/j.pecs.2022.100996>.
3. KOŽÍŠEK Jan, STIEBEROVÁ Barbora, ŽILKA Miroslav, Rozhodovací modely pro manažery v průmyslové praxi, ČVUT, Praha 2020, ISBN 978-80-01-06698-0.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Barbora Stieberová, Ph.D. ústav řízení a ekonomiky podniku FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **04.04.2023** Termín odevzdání diplomové práce: **21.07.2023**

Platnost zadání diplomové práce: **29.02.2024**

Ing. Barbora Stieberová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Miroslav Žilka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně za použití podkladů, které jsem uvedl na konci práce ve zdrojích.

V Praze dne

Vilém Münster

Poděkování

Mé hlavní poděkování patří vedoucí práce Ing. Barboře Stieberové, Ph.D. za cenné rady a připomínky. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině, která mě podporovala po celou dobu studia.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá implementováním zeleného vodíku v průmyslovém podniku. První část práce je zaměřená teoreticky, kde je ve stručnosti popsána charakteristika a historie vodíku. Následuje popis typů vodíku, jejich výroba a vlastnosti. Větší pozornost je pak věnována zelenému vodíku, kde jsou popsány druhy elektrolyzy a následné skladování. Práce obsahuje problematiku týkající se podpory zeleného vodíku v EU a v ČR. Praktická část práce se pak věnuje samotnému hodnocení investice do výroby zeleného vodíku v podniku jako náhrady zemního plynu. Nejdříve jsou stanoveny technicko-ekonomické vlastnosti výrobních strojů a zařízení, které jsou v projektu použity. Jsou analyzovány různé varianty projektů se zeleným vodíkem a hodnotí se, za jakých podmínek by se v vyplatilo investovat do těchto projektů.

Klíčová slova

Zelený vodík, Elektrolyza, Elektrolyzér, OZE, Čistá současná hodnota

Abstract

The master's thesis focuses on the implementation of green hydrogen in an industrial enterprise. The first part of the thesis is theoretical, providing a brief description of the characteristics and history of hydrogen. This is followed by a description of the types of hydrogen, their production, and properties. More attention is then given to green hydrogen, including various electrolysis methods and subsequent storage. The thesis also includes the issue of legislation concerning the support of green hydrogen in the EU and in the Czech Republic. The practical part of the thesis is dedicated to the evaluation of the investment in the production of green hydrogen in the company as a substitute for natural gas. Firstly, the technical and economic characteristics of the production machinery and equipment used in the project are determined. Various project options involving green hydrogen are analyzed, and an assessment is made to determine under which conditions it would be profitable to invest in these projects.

Key words

Green hydrogen, Electrolysis, Electrolyzer, RES, Net Present Value

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Charakteristika vodíku	11
3	Historie vodíku	12
4	Současný stav	13
4.1	Typy vodíku	13
4.1.1	Šedý vodík.....	14
4.1.2	Modrý vodík.....	14
4.1.3	Zelený vodík.....	15
5	Získávání vodíku z OZE.....	16
5.1	Elektrolýza.....	16
5.1.1	Alkalická elektrolýza vody (AWE).....	16
5.1.2	PEM elektrolýza	17
5.1.3	Vysokoteplotní elektrolýza (SOEC).....	18
5.2	Skladování.....	19
5.2.1	Vysokotlaké skladování	20
5.2.2	Skladování vodíku v kapalné formě	20
5.2.3	Skladování vodíku v pevné fázi	21
6	Související legislativa	22
6.1	Obnovitelný vodík	22
6.2	Dotační podpora	23
6.3	Fungování evropských emisních povolenek	24
7	Směs zemního plynu s vodíkem	26
8	Metody hodnocení investice.....	28
8.1	Statické metody	28

8.2	Dynamické metody.....	29
9	Stanovení technických a ekonomických vstupních parametrů	31
9.1	Spotřeba a cena zemního plynu v podniku	31
9.2	Emisní povolenky a cena dodávané energie.....	32
9.3	Technické parametry výrobních zařízení.....	33
9.3.1	Elektrolyzér	34
9.3.2	Nízkotlaký buffer	35
9.3.3	Dusíkový podpůrný systém.....	36
9.3.4	Systém řízení a služby spojené s instalací	37
9.3.5	Fotovoltaická elektrárna.....	37
9.3.6	Větrná elektrárna	43
10	Hodnocení investice	46
10.1	Varianta bez dotace a bez samostatného zdroje energie.....	46
10.1.1	Investiční výdaje.....	46
10.1.2	Přínosy investice	47
10.1.3	Provozní náklady	50
10.1.4	Čistá současná hodnota.....	51
10.1.5	Citlivostní analýza.....	53
10.2	Varianta s dotací a bez samostatného zdroje energie	57
10.2.1	Analýza bodu zvratu	58
10.3	Varianta s dotací a se samostatným zdrojem energie.....	60
10.3.1	Analýza nulových bodů.....	63
10.4	Varianta s větrnou elektrárnou	67
10.5	Varianta odkupu vodíku	69
11	Závěr	71

Zdroje	73
Seznam obrázků	78
Seznam tabulek.....	79

1 Úvod

Tato diplomová práce se zaměřuje na ekonomické posouzení použití zeleného vodíku v průmyslovém podniku. Práce se zaměřuje na průmyslový sektor, který často vykazuje vysokou spotřebu energie (zemního plynu) a zároveň produkuje významné množství emisí skleníkových plynů. Zelený vodík je produkován pomocí elektrolýzy vody, která využívá obnovitelné zdroje energie, jako jsou solární a větrné elektrárny. Jeho výroba a využití představuje perspektivní a udržitelnou alternativu k tradičním fosilním palivům. Cílem této práce je analyzovat možnosti a výhody použití zeleného vodíku v průmyslovém podniku a navrhnout strategie pro jeho optimalizované využití.

První část práce je věnována teoretickému rozboru vodíku, jeho fyzikálním a chemickým vlastnostem a stručné historii. Jsou zde vypsány jednotlivé druhy vodíku a jejich výrobní metody a vlastnosti. Důraz je kladen na elektrolýzu vody, která je považována za jednu z klíčových technologií pro výrobu zeleného vodíku. Práce se věnuje i legislativní části týkající se zeleného vodíku a také možné dotační podpoře, která by mohla podporovat související projekty. Na závěr první části jsou pak ve stručnosti popsány metody hodnocení investice.

Druhá část práce se zaměřuje na konkrétní průmyslový podnik, který slouží jako případová studie. Jsou definovány technicko-ekonomické vlastnosti výrobních strojů a zařízení a náklady spojené s investicí a další potřebné infrastruktury. V práci byla využita simulace produkce fotovoltaické a větrné elektrárny na konkrétním místě, která vycházela z osvitů a rychlosti větru pro danou lokalitu v průběhu celého roku. Je zkoumáno celkem pět variant. U každé varianty byla vypočtena čistá současná hodnota a u vybraných variant byla provedena citlivostní analýza a analýza nulových bodů. V první variantě podnik nevyužívá dotační podpory a využívá cizí zdroj energie pocházející z fotovoltaické elektrárny. V druhé využívá dotační podpory a cizí zdroj energie. Ve třetí variantě k výrobnímu systému vyrábějící vodík, by byla postavena fotovoltaická elektrárna. Ve čtvrté by spolu fotovoltaickou elektrárnou byla postavena i elektrárna větrná. V poslední variantě by podnik zelený vodík pouze odkupoval.

2 Charakteristika vodíku

Vodík se řadí mezi nejjednodušší a nejrozšířenější prvky ve vesmíru, je složený pouze z jednoho protonu a jednoho elektronu. Je to také nejlehčí prvek s hustotou, která je 14krát menší než vzduch. Má atomové číslo 1 a jeho atomová hmotnost činí přibližně 1,008. Ve svém přirozeném stavu je to plyn bez barvy, zápachu a chuti, vyskytující se jako dvouatomová molekula, což znamená, že se skládá ze dvou atomů vodíku spojených dohromady. Tento prvek má 3 přirozeně se vyskytující izotopy – protium, deuterium a tritium. Nejvíce vyskytující izotop je protium, který tvoří více než 99 % všech atomů vodíku. Deuterium a tritium jsou izotopy vodíku, které mají ve svých atomových jádrech neutron navíc [1] [2].

Je vysoce reaktivní a tvoří kovalentní vazby s jinými prvky. Reaguje například s kyslíkem za vzniku vody, s dusíkem za vzniku amoniaku nebo uhlíkem za vzniku metanu. Využívá se v průmyslových procesech při výrobě hnojiv, chemikálií a paliv [1].

Jedna z velice důležitých vlastností vodíku je, že by mohl sloužit jako čistý zdroj energie, jelikož při spalování vodíku vzniká jediný vedlejší produkt, kterým je voda. V současnosti se většina vodíku vyrábí pomocí fosilních paliv, což produkuje emise skleníkových plynů. Nejlepší variantou je výroba vodíku pomocí obnovitelných zdrojů např. solární nebo větrné, avšak tato varianta sebou nese určité překážky, kterými jsou vysoké náklady a obtížnost výroby vodíku při větším množství [3].

3 Historie vodíku

Rané fáze vodíku sahají až do roku 1776, kdy britský vědec Henry Cavendish objevil vodík v plynném stavu, který vznikl reakcí kovového zinku s kyselinou chlorovodíkovou. Tuto látku nazval jako „vznětlivý vzduch“. V roce 1783 francouzský vynálezce Jacques Charles použil plynný vodík v horkovzdušném balónu a byl tak prvním člověkem, který díky vodíku dokázal vzlétnout. Díky těmto objevům dal o pět let později francouzský chemik Antoine Lavoisier vodíku jméno, složené pomocí dvou slov z řeckého jazyka, konkrétně „hydro“, což znamená voda a „geny“, jako zrozený, dohromady tedy Hydrogen. Jeden z důležitých objevů učinili v roce 1800 William Nicholson a Anthony Carlise, kteří zjistili, že pokud vodou projde elektrický proud, je možné ji rozdělit na vodík a kyslík. Tento proces je známý jako elektrolýza [4].

V průmyslové aplikaci se vodík začal hojně používat na počátku 20. století, jako palivo v plynných balónech a vzducholodní dopravě. Velký vliv na pokles využívání vodíku v dopravě měla katastrofa Hindenburg, kdy došlo ke vzplanutí vzducholodi naplněné touto látkou. K této události došlo ve 30. letech 20. století. Během druhé světové války se vodík hojně používal při výrobě čpavku pro výrobu výbušnin. To vedlo k rozvoji zařízení na jeho výrobu z fosilních paliv [4] [5].

Ve vesmírném programu byl vodík používán v 50. a 60. letech minulého století, jako raketové palivo. Rozvoj technologie palivových článků umožnil využití tohoto prvku, jako zdroje energie ve vesmírných dopravních prostředcích [4] [5].

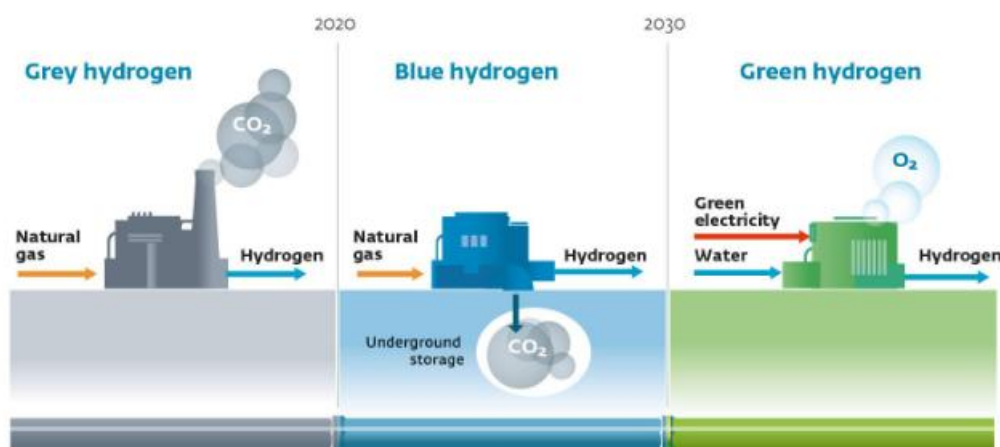
V 70. letech 20. století byl vodík navržen, jako potenciální zdroj čisté energie pro snížení emisí skleníkových plynů. V následujících letech společnosti, např. General Motors s Daimler-Benz, vyvinuly první vozidla s palivovými články. Tato technologie se nadále vyvíjí a dochází k její větší účinnosti a ke snižování nákladů na výrobu. V posledních letech získal vodík pozornost, protože by mohl sloužit ke skladování energie, která bude vyrobena pomocí obnovitelných zdrojů [4] [5].

4 Současný stav

V dnešním světě je poptávka po energii velmi vysoká. Značná její část je vyrobena pomocí fosilních paliv, což přispívá k emisím oxidu uhličitého. Díky tomu je na vzestupu globální energetická transformace, ve které by mohl zásadní roli hrát obnovitelný neboli zelený vodík (viz kapitola 4.1.3). V dnešní době jsou velkým problémem náklady, které jsou spojené s výrobou zeleného vodíku. Avšak tyto náklady mají klesající průběh, například za posledních 10 let klesly náklady na elektrolyzéry o 60 %, ale pořád nejsou konkurence schopné. V roce 2020 byla cena vodíku vyrobeného z obnovitelných zdrojů energie (OZE) okolo 2,5-5,5 €/kg, kdežto náklady pro vodík vyrobený pomocí fosilních paliv (viz kapitola 4.1.1) byly okolo 1,5 €/kg. Přepokládá se, že by celkové náklady na výrobu u zeleného vodíku mohly do roku 2030 klesnout až o polovinu. V tomtéž roce by v oblastech, kde je elektrická energie levná, mohl vodík vyrobený z OZE konkurovat vodíku vyrobeného pomocí fosilních paliv [6].

4.1 Typy vodíku

Vodík může být vyroben několika způsoby. Jednotlivé procesy jsou rozdílné v množství produkovaní emisí skleníkových plynů, použitých technologiích, zdroji energie a také mají odlišné náklady. Tyto metody jsou označovány pomocí barevné škály, které jsou vidět na obrázku (obr. 1), jako je šedá, modrá a zelená [7].

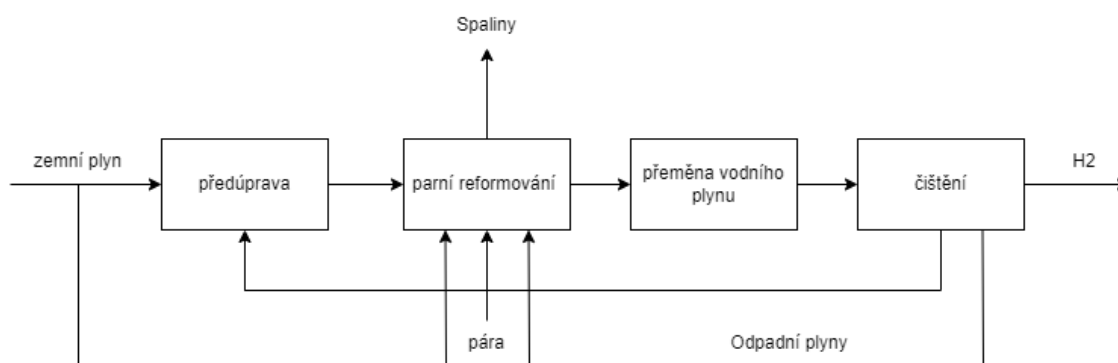


Obrázek 1 Typy vodíku dle barevnosti [7]

4.1.1 Šedý vodík

Šedý vodík je nejčastěji vyroben pomocí procesu Steam methane reforming (SMR), neboli parního reformování metanu. Tento chemický proces používá k výrobě vodíku reakce metanu (CH_4) a páry (H_2O) při vysokých teplotách a tlacích, kde je přítomen katalyzátor. Výsledkem reakce je oxid uhelnatý (CO) a plynný vodík (3H_2). Následně reaguje oxid uhelnatý s párou (přeměna vodního plynu) a výsledkem je další vodík (H_2) a oxid uhličitý (CO_2). Proces je zjednodušeně schematicky znázorněn na obrázku číslo 2. Běžným palivem je zemní plyn nebo odpadní plyny, které vznikají v důsledku čištění vodíku. Může se také využít teplo, které vzniká z reakce přeměny vodního plynu [8].

Metoda SMR je zatím nejběžnější metodou pro velkovýrobu vodíku, využívající se hlavně v chemickém a petrochemickém průmyslu. Šedý vodík je nejlevnější a nejdostupnější, ale hlavní nevýhodou tohoto procesu je značné přispívání emisí oxidu uhličitého, protože při výrobě šedého vodíku vzniká jako vedlejší produkt velké množství CO_2 .



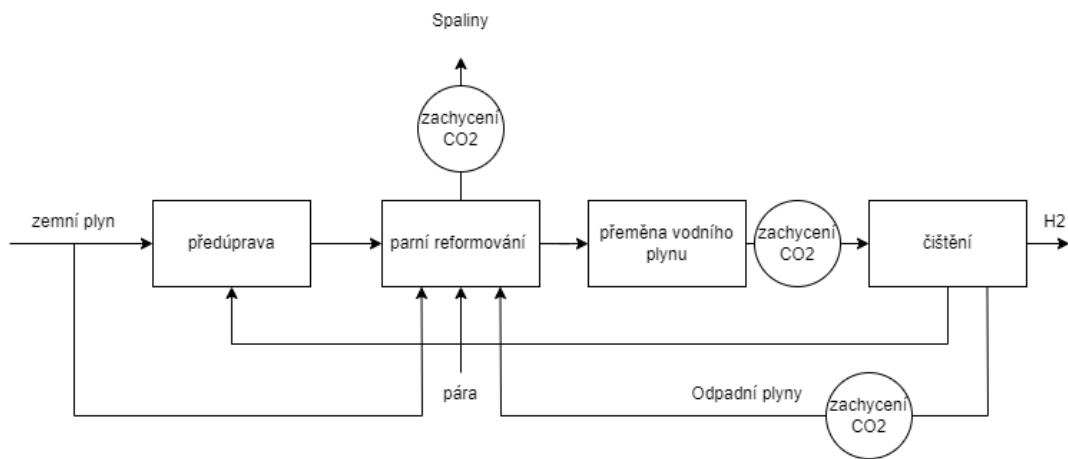
Obrázek 2 Schéma procesu SMR [8]

4.1.2 Modrý vodík

Tento druh vodíku je vyráběný stejně jako vodík šedý pomocí procesu SMR (viz kapitola 4.1.1). Navíc k tomuto procesu je využívána technologie Carbon capture and Storage (CSS), zachycování a ukládání uhlíku, která snižuje emise CO_2 v procesu a umožňuje výrobu vodíku s nižším obsahem oxidu uhličitého. Místo vypouštění znečišťujících látek do atmosféry jsou transportovány do země, kde jsou na dobu

neurčitou ukládány. Oxid uhličitý se může v procesu zachycovat jednou ze třech variant. První možností je zachytávat CO₂ po procesu přeměny vodního plynu. Druhou možností je zachytávat oxid uhličitý z odpadního plynu a poslední variantou záchytu je po parním reformování. Schematicky je proces znázorněn na obrázku (obr. 3), kde jsou vyznačeny všechny tři varianty [8].

Výroba modrého vodíku se považuje za nízkouhlíkovou variantu oproti výrobě vodíku šedého. Stále produkuje uhlíkové emise, a proto není považován za zdroj energie s nulovými emisemi.



Obrázek 3 Schéma procesu SMR-CCS [8]

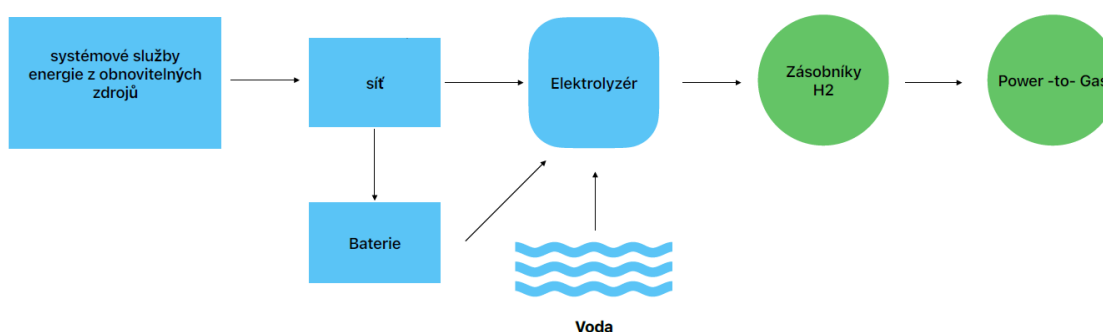
4.1.3 Zelený vodík

Zelený vodík je vyroben pomocí elektrolýzy, která využívá elektřinu z obnovitelných zdrojů ke štěpení molekul vody na vodík a kyslík (podrobněji je tento proces popsán v kapitole 5.1). Je považován za čisté palivo, jelikož neprodukuje žádné emise a nepřispívá ke změně klimatu. Nevýhodou je, že proces elektrolýzy spotřebuje hodně elektřiny, a proto se náklady na výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů stávají zásadním parametrem [9].

V budoucnu by mohl zelený vodík sloužit jako palivo v dopravě, surovina pro výrobu chemikálií a pro skladování obnovitelné energie pro pozdější použití. Jak již bylo řečeno, stále jsou náklady na výrobu vyšší než na výrobu šedého a modrého vodíku.

5 Získávání vodíku z OZE

Obnovitelné zdroje energie se můžou využít k výrobě vodíku v procesu elektrolýzy. Dalším přístupem může být uskladnění vodíku, kdy se využije přebytečné energie, která je vyrobena pomocí obnovitelných zdrojů. Uskladněný vodík se spotřebuje později, když je energie nedostatek. Tento proces se nazývá „Power to Gas“. Celý proces získávání vodíku je znázorněn na schématu níže.



Obrázek 4 Schéma získávání vodíku z OZE

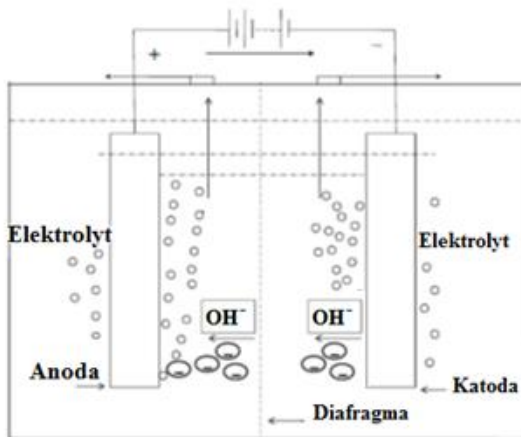
5.1 Elektrolýza

Elektrolýza je jednoduchý elektrochemický proces, ve kterém je voda reaktantem, kde se vlivem stejnosměrného proudu molekuly vody rozdělí na vodík a kyslík. V současné době se rozlišují tři základní typy elektrolýzy: alkalickou elektrolýzu vody (AWE – Alkaline water electrolysis), PEM elektrolýzu a vysokoteplotní elektrolýzu vody (SOEC – solid oxide electrolyzer cell). Principy fungování jsou u všech tří typů stejné, liší se v používání různých materiálů a provozních podmínkách. Opačným procesem elektrolýzy je možno získat energii z vodíku díky palivovým článkům [10].

5.1.1 Alkalická elektrolýza vody (AWE)

Tento typ elektrolýzy je nejstarší a zároveň nejrozšířenější. Voda je v tomto procesu smíchána s alkalickým elektrolytem, kvůli zvýšení vodivosti. Nejčastěji to bývá hydroxid draselný nebo sodný. Roztok je následně přiveden do elektrolýzáru, kde jsou umístěny dvě elektrody (katoda a anoda), které jsou oddělené diafragmou, to je přepážka

zabraňující míchání roztoků kolem nich. Jakmile je do elektrolytu přiveden proud, molekuly vody u anody uvolňují elektrony a vzniká plynný kyslík. Naopak u katody dochází k získávání elektronů a vzniká plynný vodík. Proces je schematicky znázorněn na obrázku číslo 5 [11].

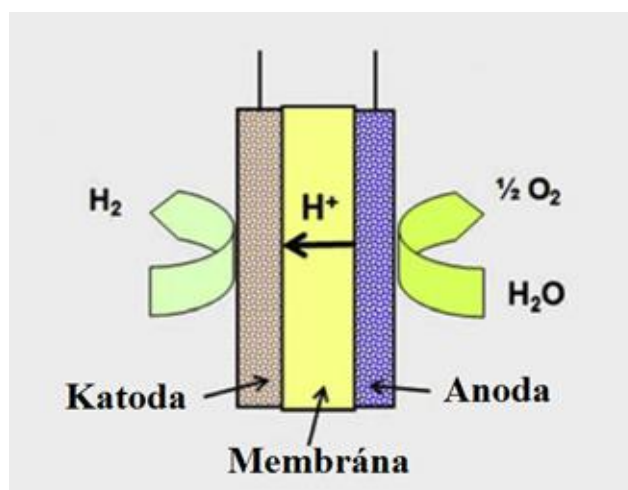


Obrázek 5 Schéma procesu alkalické elektrolýzy vody [12]

Tento proces má relativně nízké náklady a vyznačuje se dlouhodobou stabilitou. Jelikož se jedná o nejstarší proces, je technologie alkalické elektrolýzy dobře zavedená. Značnou nevýhodou je, že je potřeba vysoce koncentrovaný elektrolyt. Rozměry elektrolyzérů dosahují větších rozměrů, a proto nejde tato technologie uplatnit v mobilních aplikacích [11].

5.1.2 PEM elektrolýza

PEM elektrolýza je velmi podobná procesu alkalické elektrolýzy vody. Využívá se elektrolyt a mezi katodou a anodou se nachází protonově vodivá membrána (PEM), která propouští pouze kladně nabitě ionty. Proces funguje tak, že se k anodě přivede elektrolyt (v tomto procesu pouze čistá voda) a rozloží se zde molekula vody na plynný kyslík a protony, které přes proton vodivou membránu putují ke katodě. Následně se spojí protony s elektrony z elektrody a vzniká plynný vodík (obrázek 6) [10] [11].

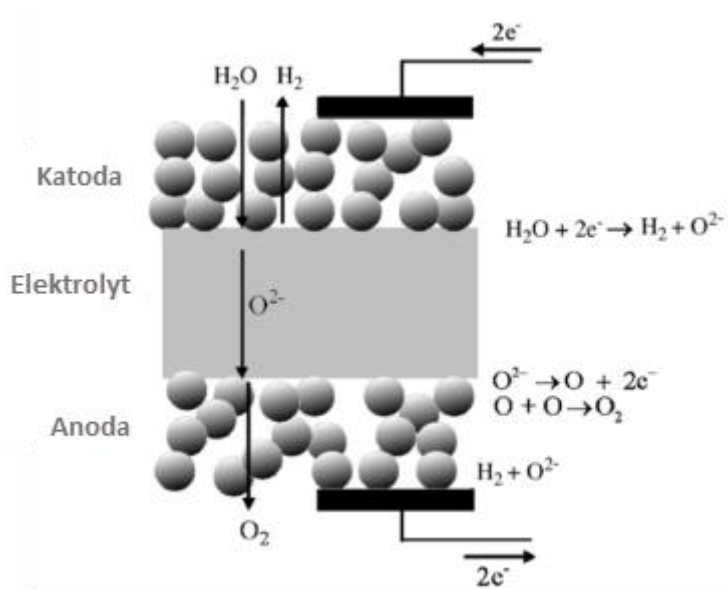


Obrázek 6 Schéma PEM elektrolýzy [12]

Výhodou je, že zařízení jsou kompaktnější než u alkalické elektrolýzy. Produkované plyny mají vyšší čistotu a technologie se začíná využívat pro komerční účely. Nevýhodou je pořizovací cena zařízení a náklady na údržbu, které jsou vyšší než u předchozího procesu [11].

5.1.3 Vysokoteplotní elektrolýza (SOEC)

Tento typ elektrolýzy využívá při přeměně elektrické energie na chemickou pevného oxidového elektrolytu, který odděluje reakce produkující vodík a kyslík. Jak název napovídá, celý proces probíhá za vysokých teplot, a to v rozmezí 500–1000 °C. Na začátku procesu je vodní pára přiváděna na katodu, kde se molekula vody redukuje na vodík a kyslíkové ionty. Ty procházejí pevným elektrolytem k anodě, kde dochází k jejich oxidaci a vzniká kyslík. Na obrázku 7 je schematicky znázorněn proces vysokoteplotní elektrolýzy [11].



Obrázek 7 Schéma vysokoteplotní elektrolýzy [12]

Proces má vysokou účinnost a vyrábí vysoce čistý vodík. Část energie může být dodávána ve formě tepla, kvůli potřebě vysokých teplot v procesu. Vysokoteplotní elektrolýza je velmi provozně náročná, má dlouhou spouštěcí dobu a není tak stabilní jako předchozí dva typy. Technologie je stále v procesu vývoje a výzkumu, a proto ještě není využívána v komerčních aplikacích [11] [12].

5.2 Skladování

Vodík je velmi lehký plyn, a proto za normálních podmínek (standardního tlaku a teplot) zaujímá velký objem. Za těchto podmínek váží jeden litr vodíku asi 90 mg. Aby bylo uskladněno 1 kg vodíku, je zapotřebí objem okolo 11 m³. Z těchto důvodů musí být jeho hustota zvýšena. Vodík také proniká většinou materiálů, a proto jsou požadovány vyšší nároky na materiály používané k uskladňování [13] [14].

Díky potřebě zvýšení hustoty může být vodík skladován pomocí třech technik. První technikou je vysokotlaké skladování v plynné formě, druhou je skladování při nízké teplotě v kapalně formě a poslední je skladování vodíku v pevné formě. Všechny tři metody jsou podrobněji popsány níže [13].

5.2.1 Vysokotlaké skladování

Jedná se o fyzické skladování stlačeného vodíkového plynu při tlacích až 700 bar. Pomocí vysoké tlaku se např. 5 kg vodíku vejde do 125 litrové nádrže. Obvykle se používají bezešvé láhve, které jsou vyrobeny z nízkouhlíkové nebo legované oceli. Na vyšší tlaky se používají mobilní nádoby (v dopravě) [13] [15].

Stlačený plyn představuje bezpečnostní riziko, hlavně pokud se uskládá v osídlených oblastech. Tlak je nejdůležitějším faktorem při skladování vodíku v plynné fázi, udává výsledný objem nádoby, ale také množství energie, kterou je potřeba vydat na stlačení vodíku. Na obrázku níže (obr. 8) je příklad tlakové nádoby, která může být využita v průmyslovém sektoru [14].



Obrázek 8 Příklad vysokotlakého skladování vodíku v plynné fázi [32]

5.2.2 Skladování vodíku v kapalně formě

Technika skladování vodíku v kapalně formě patří mezi nejmodernější. Vyžaduje kryogenní skladování, jelikož se vodík při teplotě $-252,87\text{ °C}$ mění na kapalinu. Při této teplotě a tlaku okolo 1 baru lze v nádrži, která má objem 75 litrů, uchovávat 5 kg vodíku. Kvůli kryogennímu skladování se zvyšují nároky na materiál nádoby, který musí mít několik vrstev a musí být dokonale izolovaný. Vlivem tepla z okolí dochází k odpařování a tím se zvyšuje tlak v nádobě. Pro zamezení destrukce se tlak reguluje odpouštěním odpařeného vodíku do přidavných tlakových láhví. Tyto ztráty jsou okolo 3 % za den [13] [15].

Celý proces je technologicky a energeticky náročný. Proto se metoda skladování v kapalné formě využívá výhradně ve speciálních aplikacích, jako například v high-tech oblastech nebo pro cestování vesmírem. Příklad takovéto nádoby je vidět na obrázku (obr. 9) [13] [14].



Obrázek 9 Příklad skladování vodíku v kapalné formě [31]

5.2.3 Skladování vodíku v pevné fázi

Princip této techniky spočívá v absorpci vodíku do jiného materiálu. Nejčastěji to jsou kovové hydridy, které mají schopnost vázat vodík a následně ho uvolnit. Kovové hydridy se silně váží s vodíkem, aby došlo k jeho uvolnění, musí se zaručit teploty okolo 120-200 °C. Nejlepší materiály jsou složeny z hořčíku a z tetrahydridohlinitanu sodného [14] [15].

Zde není hlavním sledovací parametrem tlak, ale provozní teplota, při které se uvolňuje vodík z materiálu. Sledují se i další vlastnosti např. objemová kapacita, hmotnost a cena.

6 Související legislativa

6.1 Obnovitelný vodík

Obnovitelný vodík je definován v návrhu směrnice o obnovitelných zdrojích energie (RED) (2021) 557 final 2021/0218 (RED III). Zde je definován jako „Obnovitelné palivo nebiologického původu“, jedná se o plynná a kapalná paliva, kde jejich energetický obsah je získáván z jiných obnovitelných zdrojů než z biomasy. Paliva se mohou využívat jak pro energetické účely, tak i pro účely neenergetické, kde palivo slouží jako vstupní surovina v daném průmyslu [16] [17].

Aby vodík spadl do vodíku obnovitelného, musí být vyráběn pomocí elektrolýzy vody, která využívá elektřinu z obnovitelných zdrojů. Existují určitá pravidla, která musí splňovat elektrolyzátor a OZE, níže jsou ve stručnosti uvedeny.

První z nich se týká adicionality. Obnovitelný zdroj energie, který je napojený na elektrolyzátor, nesmí být starší 36 měsíců. Pro elektrolyzéry zapojené do roku 2028 platí výjimky. Druhé říká, že pokud OZE je investičně nebo provozně podpořený zdroj, nesmí být k němu napojen elektrolyzátor (od roku 2028). Další pravidla se týkají přímo místa zapojení, jelikož elektrolyzátor se musí nacházet ve stejné obchodní zóně jako OZE. Pokud by chtěl čerpat elektřinu z jiné obchodní zóny, musí být tamější cena stejná nebo vyšší než v zóně, kde se elektrolyzátor nachází. Musí se také řešit časová korelace, která je do roku 2030 měsíční a od roku 2030 bude pouze hodinová. To znamená, že spotřebovávaná zelená elektřina elektrolyzátelem, musí být prokázána v určitém časovém horizontu, ať už v měsíčním (do roku 2030) nebo hodinovém (od roku 2030). Výrobci obnovitelného vodíku, kteří se spoléhají na dodávku zelené elektřiny, budou od roku 2030 schopni produkovat vodík pouze tehdy, když jsou k dispozici dostatečné zdroje energie. To znamená, že budou schopni vyrábět vodík pouze tehdy, když fouká vítr nebo svítí slunce a energie z těchto zdrojů je k dispozici. Pravidlo časové korelace se nemusí řešit, pokud je cena elektřiny pod 20 €/MWh nebo 0,36 ceny emisní povolenky [16] [17].

Tyto pravidla platí v EU i mimo ni. Země, kde je vyrobena elektřina z obnovitelných zdrojů z více jak 90 %, nemusí splňovat podmínky, které jsou vyjmenovány v předešlém odstavci. Avšak elektrolyzéry mohou běžet jenom po určitý čas, a to podle toho, kolik je procent obnovitelné energie v dané oblasti. V zemích, kde se

elektrické emise pohybují pod hranicí 18 g CO₂/MJ, nemusí splňovat pravidlo staří OZE, adicionality nebo provozně či investičně podpořeného projektu [16] [17].

6.2 Dotační podpora

Pravidla, podle kterých se řídí veřejná podpora jsou definovány v „Pokynech pro státní podporu v oblasti klimatu, životního prostředí a energetiky na rok 2022“. Udávají, na jaké aktivity je možné získat finanční podporu (v EU). Mezi aktivity patří: Omezení nebo odstranění emisí skleníkových plynů a podpora obnovitelných zdrojů a energetické účinnosti; Zlepšení energetické náročnosti a environmentální výkonnosti budov; Podpoření čisté mobility; Podpoření úrovně účinného využívání zdrojů [17] [18].

Evropská komise dále vydává „Obecné nařízení o blokových výjimkách“. Tento dokument umožňuje státům podpořit konkrétní projekty, které jsou v nařízení definovány. Státy tak nemusí oznamovat dotační podporu u Evropské komise. V pracovním procesu je návrh revize z roku 2022, který umožňuje různé výjimky z oznamovací povinnosti [17] [19].

Investiční podpora na ochranu životního prostředí nemusí být oznamována, pokud se jedná o investici do strojů, vybavení, které využívá nebo přepravuje vodík. Tento vodík musí být buď obnovitelný, nebo jeho emisní náročnost elektrické energie je 70 % nižší oproti fosilní variantě [17] [19].

Investiční podpora energie z obnovitelných zdrojů a obnovitelného vodíku nemusí být oznámena u zařízení, které vyrábějí přímo vodík z OZE. Musí se využívat elektrolyzér a zařízení vyrábějící energii z obnovitelných zdrojů z jednoho bodu připojeného k síti. Maximální kapacita elektrolyzéru nemůže být větší než kapacita zdroje energie. Podpora může pokrývat i zařízení pro skladování, distribuci a přepravu vodíku [17] [19].

Provozní podpora malých zařízení využívajících vodík z obnovitelných zdrojů nemusí být oznámena, za určitých podmínek. Pro projekty s instalovanou kapacitou do 1 MW pro výrobu nebo uskladnění a pro projekty malých výrobců obnovitelného vodíku s instalovanou kapacitou do 3 MW [17] [19].

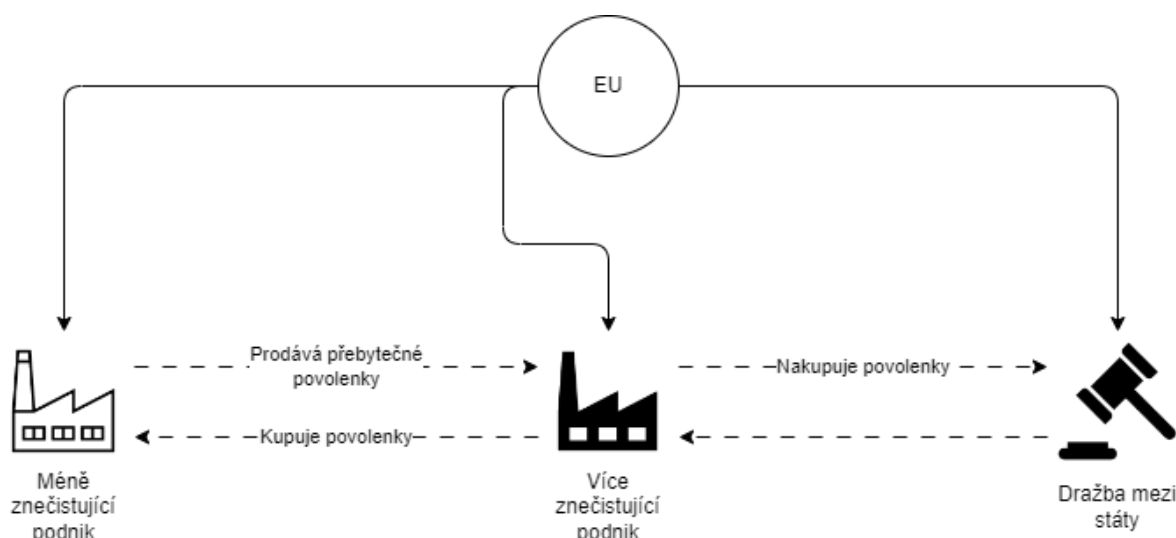
Provozní podpora by měla přijít také s nástupem Vodíkové banky Evropské unie. Úkolem této banky by bylo zajistit, aby byl režim podpory co nejjednodušší. Zvýšil by se

tak počet investorů do projektů souvisejících se zeleným vodíkem. Snížila by se administrativní a právní zátěž, a hlavně by došlo ke snížení nákladů na financování a mohly by tak být realizovány finančně náročné projekty. Vodíková banka by měla podporovat zvýšení výroby a snížení nákladů na výrobu tím, že by dávala odměny podle produkce zeleného vodíku. Maximální provozní dotace by činila 4 €/kg vyrobeného vodíku [20].

6.3 Fungování evropských emisních povolenek

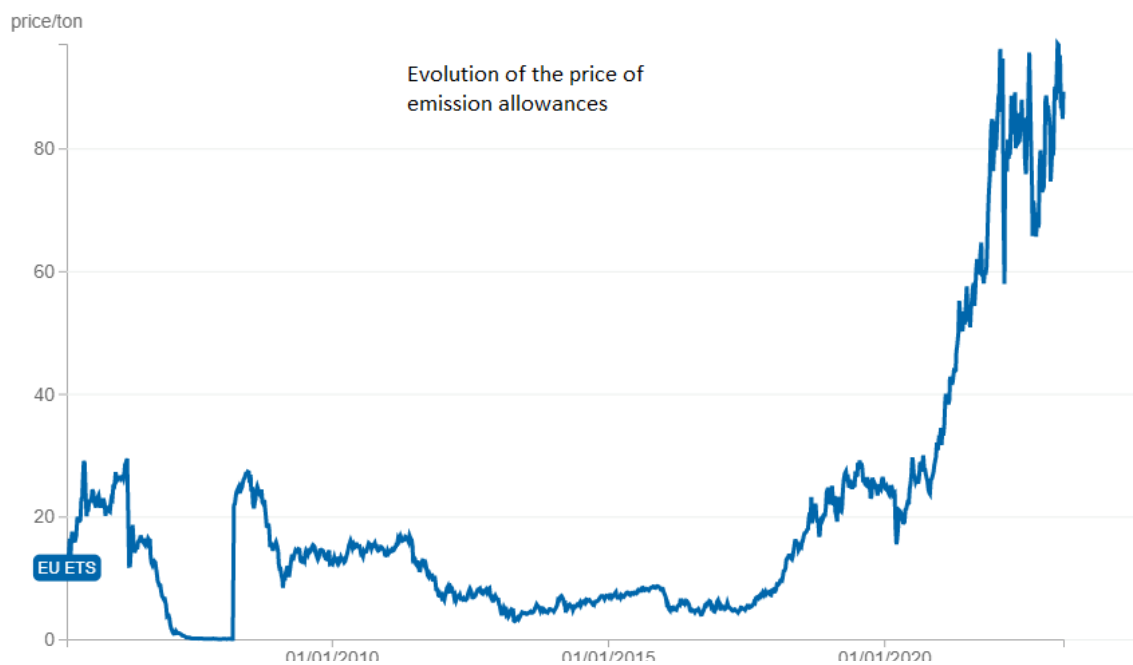
Evropské emisní povolenky jsou formy povolení, které mají za úkol omezovat a regulovat emise skleníkových v plynů v Evropské unii. Každý rok sama EU udává strop celkového množství emisních povolenek (emisní strop), které mohou produkovat určitá odvětví, například těžký průmysl a výroba elektřiny. Jedna povolenka umožňuje podniku vypustit jednu tunu CO₂. Množství emisních povolenek se každý rok rovnoměrně snižuje, aby byly naplněny emisní cíle EU [21] [22].

Princip fungování povolenek je založen na tom, že elektrárny a výrobní podniky si nakoupí emisní povolenky v aukci, a dále s nimi obchodují na burze. Pokud však podnik vypustí skleníkových plynů více než kolik má povolenek, je nucen zaplatit pokutu a musí své povolenky doplnit. Některé podniky mohou obdržet část povolenek zdarma. Tuto bezplatnou alokaci většinou získávají podniky, které by mohly přesunout svoji výrobu do zemí, kde nejsou emise skleníkových plynů nějak omezovány. Princip celého fungování je vidět na obrázku (obr. 10) [21] [22].



Obrázek 10 Princip fungování emisních povolenek

Cena emisní povolenky je důležitým parametrem. Nakupuje se vždy za tunu CO₂. Jak již bylo řečeno, evropská unie každý rok množství povolenek snižuje a tím dochází k rostoucí ceně samotné povolenky. To by mělo fungovat jako motivace pro firmy, aby své emise snižovaly. V historii vývoje ceny docházelo k velkým poklesům (obr. 11), a to například během finanční krize v roce 2008-2009. Nízká hladina ceny se také držela mezi roky 2013-2017, kde jich bylo naopak v oběhu hodně a jejich cena se držela okolo 5-8 €/t CO₂. K poklesu došlo také počátku roku 2020, kdy začala pandemie. Dnešní ceny povolenek se pohybují okolo 85-95 €/t CO₂. V roce 2030 by cena emisních povolenek mohla dosahovat až 140 €/t CO₂ [21][22].



Obrázek 11 Vývoj ceny emisní povolenky [33]

7 Směs zemního plynu s vodíkem

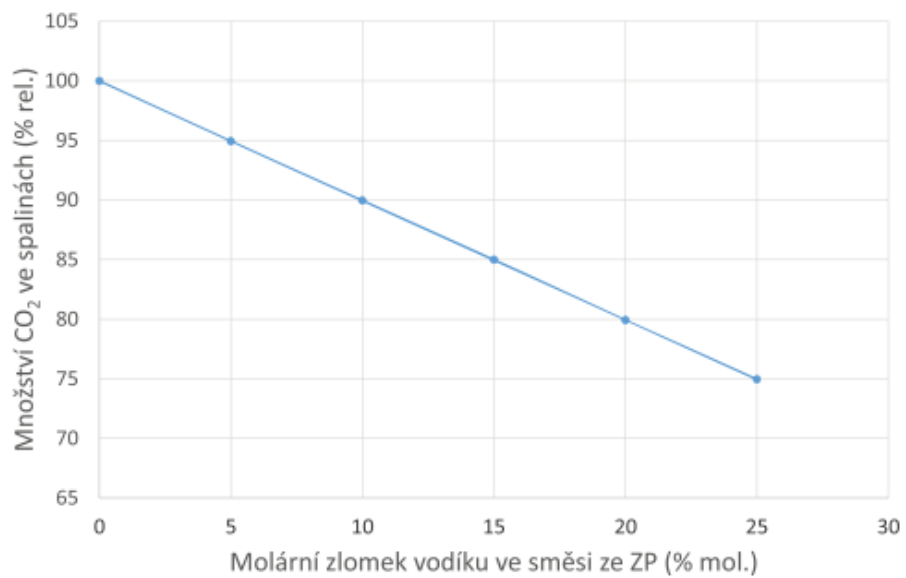
Fyzikální a chemické vlastnosti zemního plynu a vodíku jsou odlišné, a proto není možné přidávat libovolné množství vodíku do zemního plynu. Aby se plyny mohly považovat za zaměnitelné, musí mít stejné nebo podobné spalovací, fyzikální a chemické vlastnosti, energetický obsah, hustotu a spalovací rychlost. Jedním ze základních způsobů, jak určit zaměnitelnost plynů, je určení Wobbého čísla, který je podle ISO 6976 definovaný v rovnici 7.1. Kde $\tilde{H}[t_1, V(t_2, p_2)]$ je reálné objemové spalné teplo plyné směsi a $d(t_2, p_2)$ je relativní hustota ve stavu reálného plynu. Teplota t_1 je referenční teplota reaktantů a produktů spalovací reakce daného plynu a teplota t_2 je teplota objemu plynu. Obě tyto teploty jsou běžně 15 °C. Referenční tlak je označován p_2 a jeho hodnota je 101 325 Pa. Aby plyny byly zaměnitelné musí se jejich Wobbého čísla podobná. Vodík může být ve směsi se zemním plynem až do 25 % mol. a nedojde k velké změně Wobbého čísla a plyny se dají považovat za zaměnitelné. V rovnici 7.2 je Wobbého číslo zemního plynu a v rovnici 7.3 směsi zemního plynu a 25 % mol. vodíku. [23]

$$W \left[\frac{kWh}{m^3} \right] = \frac{\tilde{H}[t_1, V(t_2, p_2)]}{\sqrt{d(t_2, p_2)}} \quad (7.1)$$

$$W_{ZP} = 14,067 \frac{kWh}{m^3} \quad (7.2)$$

$$W_{25\%} = 13,194 \frac{kWh}{m^3} \quad (7.3)$$

Vodík má také vliv na výsledné emise CO₂. Pokud roste procentuální množství vodíku ve směsi se zemním plynem, množství CO₂ ve spalinách klesá. Závislost množství oxidu uhličitého na množství vodíku ve směsi se zemním plynem je vidět na grafu níže (obrázek 12). Pokud by směs tvořila 25 % mol. vodíku, kleslo by množství CO₂ ve spalinách o 25 % [23].



Obrázek 12 Závislost množství CO₂ na množství vodíku ve směsi se zemním plynem [23]

8 Metody hodnocení investice

V této kapitole budou popsány metody, které se používají při hodnocení investice. Při investování se peněžní prostředky vkládají do projektu, u kterého se v budoucnosti očekává, že přinese předpokládaný zisk. Vstupními veličinami sloužícími pro posouzení vhodnosti investice jsou peněžní toky během životnosti investičního projektu. Peněžními toky jsou investiční výdaje a cash flow. Další položkou je počet období, to je délka předpokládaného provozu investice. Třetí vstupní veličinou je diskontní sazba. Poslední vstupní veličinou může být zisk, náklady nebo technické charakteristiky investičního projektu [24].

Metody hodnocení investic se dělí do dvou skupin, a to na statické a dynamické. Statické metody se vyznačují tím, že neberou v úvahu proměnnou hodnotu peněz v čase a také opomíjí faktor rizika. Tyto metody se nejčastěji používají u projektů, které mají krátkou dobu životnosti. Výhodou statických metod je jejich snadný výpočet, výsledky jsou většinou snadno srozumitelné a snadno se interpretují. Dynamické metody už zahrnují faktor rizika i proměnnou hodnotu peněz v čase. Dynamické metody jsou mnohem přesnější, avšak jejich výpočet je složitější [24] [25].

8.1 Statické metody

Mezi základní statické metody patří rentabilita investice (ROI) a statická doba návratnosti (PP – Payback period). Následně budou jednotlivé metody popsány podrobněji.

Rentabilita investice se vypočítá podle vzorce 8.1. Tento ukazatel měří ziskovost a efektivitu investice a obvykle se vyjadřuje v procentech. Čistý zisk je roční zisk, která generuje samotná investice. Ve jmenovateli je pak investice, představující celkovou finanční částku, která byla vynaložená na pořízení investice. Výsledek by se měl pohybovat v kladných a v co nejvyšších číslech [25].

$$ROI [\%] = \frac{\text{Čistý zisk}}{\text{Investice}} * 100 \quad (8.1)$$

Statická doba návratnosti neboli Payback period je dalším základním ukazatelem patřící do statických metod. Tento ukazatel říká, za jakou dobu se investice vrátí. Tedy, kdy se kumulované výnosy z investice vyrovnají nebo přesáhnou počáteční náklady, které byly vynaloženy na začátku investičního procesu. Ukazatel se vypočítá podle jednoduchého vzorce (vzorec 8.2). V čitateli jsou počáteční investiční náklady a ve jmenovateli je průměrné roční cash flow, které generuje investice. Obvykle se toto číslo pohybuje v rámci měsíců a let. Doba návratnosti by měla být nižší než životnost investičního projektu. Výsledky statické doby návratnosti mohou být občas zkreslené, důvodem může být lišící se cash flow v jednotlivých letech. Tento údaj může být také zjištěn pomocí kumulovaného cash flow. Zde se doba návratnosti rovná tomu, kdy mezi roky přechází kumulované cash flow ze záporných čísel na čísla kladná [24] [25].

$$Doba\ návratnosti = \frac{Investice}{Cash\ flow} \quad (8.2)$$

8.2 Dynamické metody

Mezi základní dynamické metody hodnocení investice patří čistá současná hodnota (ČSH), vnitřní výnosové procento (VVP), dynamická doba návratnosti a index výnosnosti.

Čistá současná hodnota je z těchto metod používaná nejvíce. Ukazuje rozdíl mezi hodnotou investice a současnou hodnotou budoucích peněžních toků v průběhu celé životnosti investice. Tato metoda bere v úvahu časovou hodnotu peněz. ČSH se stanoví podle rovnice 8.4. součtem diskontovaných budoucích ročních cash flow plynoucích z investice. Diskontní faktor se vypočítá pomocí diskontní sazby (rovnice 8.3). Diskontní sazbu si určuje každý podnik individuálně, je to sazba, která se odvíjí od sazeb stanovených Českou národní bankou, bere v úvahu inflaci, riziko investice a také alternativní výnos investovaných prostředků. Od celkového součtu budoucích diskontovaných cash flow po dobu životnosti investice je odečtena výše počátečních investičních nákladů. Čistá současná hodnota by měla vyjít v kladných číslech, aby byla přijatelná. Pokud se rovná nule, znamená to, že současná hodnota budoucích příjmů, které investice generuje se rovnají investičním nákladům [24] [25].

$$\text{diskontní faktor} = \frac{1}{(1 + \text{diskontní sazba})^{\text{rok}}} \quad (8.3)$$

$$\text{ČSH [Kč]} = -\text{investice} + \sum_{\text{rok}=0}^n \frac{CF}{(1 + \text{diskontní sazba})^{\text{rok}}} \quad (8.4)$$

Dalším ukazatelem patřících do dynamických metod je vnitřní výnosové procento (VVP). Vychází z čisté současné hodnoty a představuje diskontní sazbu, při které je ČSH rovna nule (rovnice 8.5). Vnitřní výnosové procento je vlastně míra výnosnosti, kdy se příjmy rovnají výdajům samotné investice. Ze vzorce je vidět, že pro jeho stanovení lze použít metodu lineární interpolace nebo metodu iterační, kdy se postupně do vzorce dosazuje hodnota diskontní sazby. Aby byla investice přijatelná, měla by být hodnota vnitřního výnosového procenta vyšší než podnikem požadovaná diskontní sazba [24] [25].

$$0 = -\text{investice} + \sum_{\text{rok}=0}^n \frac{CF}{(1 + VVP)^{\text{rok}}} \quad (8.5)$$

Dynamická doba návratnosti využívá ke svému zjištění kumulované diskontované cash flow. Postupuje se stejně jako u statické varianty, kde se zjišťuje rok, kdy kumulované diskontované cash flow mění svoji hodnotu ze záporných čísel na kladná. Ve srovnání se statickou metodou je tato hodnota větší, jelikož se jedná o dynamickou metodu, která bere v úvahu měnící se hodnotu peněz v čase.

Poslední základní dynamická metoda je ukazatel indexu výnosnosti neboli profitability index (PI). Tento index nám říká kolikrát se investice vrátí za celou životnost investičního projektu. Vypočítá se podle vztahu 8.6. V čitateli je součet diskontovaného cash flow. Ve jmenovateli je pak investice, která představuje vynaložené počáteční náklady. Aby byla investice přijatelná, měl by být výsledek větší než jedna.

$$PI = \frac{\sum_{\text{rok}=0}^n dCF}{\text{Investice}} \quad (8.6)$$

9 Stanovení technických a ekonomických vstupních parametrů

Podnik, ve kterém by mohl být tento projekt realizován, je zaměřený na průmyslové a stavební trhy. Podnik disponuje širokým sortimentem textilních technologií a technologií tužení, zahrnujícím sklovláknitou přízi, syntetické i přírodní vlákna.

Projekt se zabývá implementováním zeleného vodíku v tomto podniku jako náhrada za zemní plyn. Studie bude hodnotit pět variant, které budou mezi sebou následně srovnány:

- V první variantě podnik pořídí výrobní zařízení na výrobu vodíku a zelenou energii bude nakupovat a nebude využita dotační podpora
- Ve druhé variantě bude podnik využívat dotační podpory, ale zelená energie bude stále dodávána.
- Ve třetí variantě bude podnik využívat dotační podpory a spolu s výrobním zařízením vyrábějící vodík by byla postavena i fotovoltaická elektrárna.
- Ve čtvrté variantě by spolu s fotovoltaikou byla postavena i elektrárna větrná.
- V poslední variantě bude určena cena zeleného vodíku, za kterou by podnik nakupoval, aby dosáhl stejné roční finanční úspory

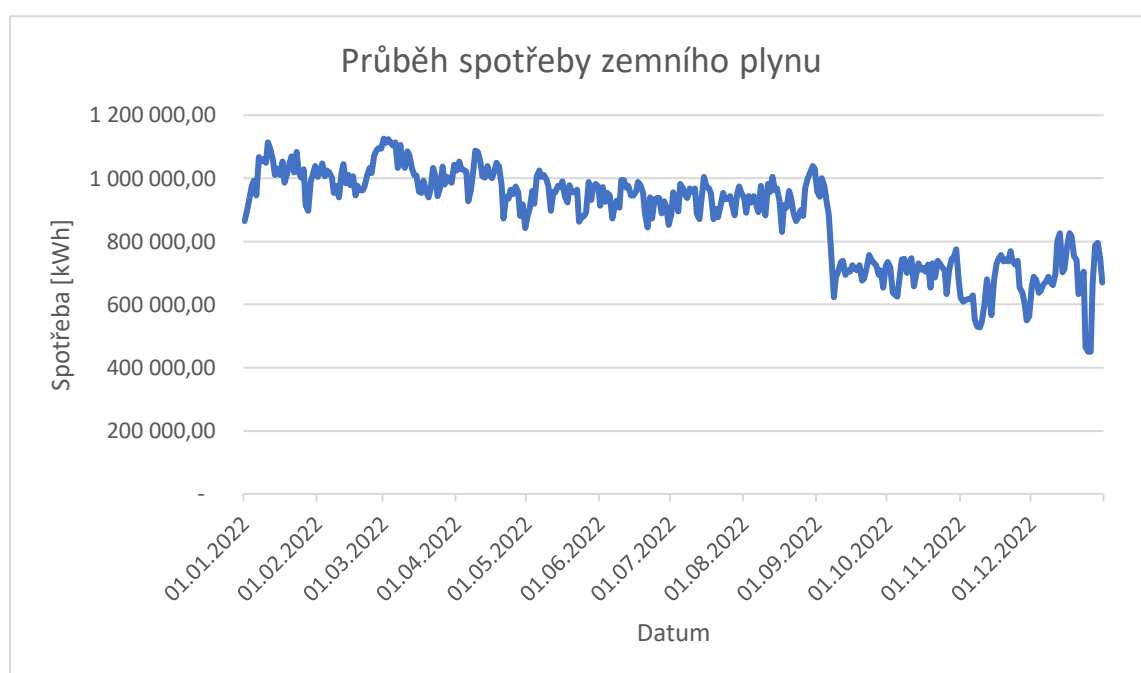
Pro jednotlivé varianty bude stanovena jejich investiční náročnost, budou vyčísleny její roční úspory, náklady a bude proveden výpočet čisté současné hodnoty. Na základě těchto výpočtů bude u vybraných variant investice podrobena citlivostní analýze, která bude zkoumat, jaký dopad mají jednotlivé vstupní parametry na čistou současnou hodnotu projektu. Budou zjištěny hodnoty parametrů, kdy se ČSH rovná nule tzv. nulové body, od kterých by se investice vyplatila. Dále budou vyčísleny pravděpodobné budoucí scénáře kombinující změny parametrů v horizontu 10 let.

9.1 Spotřeba a cena zemního plynu v podniku

Výrobní závod, ve kterém by mohl být projekt realizován, má celkovou roční spotřebu zemního plynu 30 278 888,00 Nm³ (normované metry krychlové). Spotřeba v kWh je 319 442 268,40. Toto číslo vychází se vzorce 9.1.

$$1\text{m}^3\text{zemního plynu} = 10,55\text{ kWh energie} \quad (9.1)$$

Na grafu (obrázek 13) je vidět že celoroční spotřeba je poměrně stálá, jelikož výroba v podniku probíhá 24 hodin denně. K poklesu došlo na přelomu srpna září, kdy potřeba po stavebních materiálech klesá. Průměrná denní spotřeba ZP (zemního plynu) činí 83 643,34 Nm³, což je 882 437,21 kWh. Protože je spotřeba celoročně relativně stálá, nebudou zapotřebí velké skladovací stanice, ale pouze stanice menších objemů a vyrobený vodík bude hned mixován do zemního plynu. Podnik nakupuje zemní plyn za cenu 55 €/MWh. Při použití kurzu eura 23,4 převedení na kWh je částka 1, 29 Kč/kWh.



Obrázek 13 Graf roční spotřeby zemního plynu v podniku

9.2 Emisní povolenky a cena dodávané energie

Počet emisních povolenek, které podnik potřebuje nakupovat při stávající spotřebě zemního plynu, je vypočten podle vzorce 9.2. Měrná uhlíková stopa zemního plynu je 0,2 kg CO₂/kWh. Roční spotřeba je uvedena v kapitole 9.1. Podle vzorce 9.2 vyjde, že podnik produkuje 63 888 454 kg CO₂/rok. Emisní povolenka se nakupuje za jednu tunu CO₂, proto podnik musí nakoupit 63 889 ks emisních povolenek. V kapitole 6.3 byl

popsán vývoj cen emisních povolenek. Ve studii se využije cena emisní povolenky 90 €/t CO₂. Při použití kurzu eura 23,4 a převedení na kg je tato hodnota rovna 2,1 Kč/kg CO₂.

$$Emise \left[\frac{kgCO_2}{rok} \right] = \text{měrná hlíková stopa ZP} * \text{roční spotřeba ZP} \quad (9.2)$$

$$Emise = 0,2 * 319\,442\,268,4 = 63\,888\,454 \frac{kgCO_2}{rok}$$

Jak již bylo řečeno, zdroj energie musí pocházet z obnovitelných zdrojů. Podle Evropské energetické burzy jsou pro následující roky ceny energie uvedeny v Tabulce 1. Pro studii se využije průměrná hodnota, která přibližně činí 130 €/MWh. Po přepočtení na české koruny, při použití stejného kurzu eura a přepočtení na kWh se hodnota rovná 3,042 Kč/kWh.

Tabulka 1 Ceny energií [26]

Rok 2024	150 €/MWh
Rok 2025	127,5 €/MWh
Rok 2026	110 €/MWh

9.3 Technické parametry výrobních zařízení

Pro výrobu vodíku se budou využívat následující zařízení:

- Elektrolyzér
- Nízkotlaký buffer pro H₂
- Dusíkový podpurný systém
- Systém toku plynu a potrubí
- Ovládací a bezpečnostní prvky

Jako další do ceny investice budou vstupovat služby spojené s instalací celého systému, např. instalace, uvedení do provozu, schválení, školení. Další položkou je

podle uvažované varianty samotná fotovoltaická a větrná elektrárna. Následně jsou jednotlivé prvky popsány detailněji i s jejich technickými parametry a cenami.

9.3.1 Elektrolyzér

Pro výrobu vodíku se bude využívat elektrolyzér 1,2MVA, který je vidět na obrázku číslo 14. Tento Elektrolyzér byl zvolen na základě cenové nabídky, která byla poskytnuta. Elektrolyzér vyrábí vodík pomocí alkalické elektrolýzy vody. Technická parametry zařízení jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 2). Přepočet m^3 na kWh je odlišný oproti zemnímu plynu, jak je vidět v rovnici (9.3).

$$1m^3 \text{ vodíku} = 3 \text{ kWh energie} \quad (9.3)$$



Obrázek 14 Elektrolyzér 1,2MVA

Tabulka 2 Technicko-ekonomické parametry elektrolyzéry

Výkon	1,2 MW
Objem výroby H ₂	4800 Nm ³ /d
Výroba H ₂ v kWh	14 400 kWh/d
Produkce H ₂	432 kg/d
Čistota H ₂	99,999 %
Výstupní tlak	30 bar
Spotřeba energie	4,28 kWh/ Nm ³
Spotřeba energie za den	20 544 kWh/d
Spotřeba čisté vody	3936 l/d
Cena	36 732 000 Kč

9.3.2 Nízkotlaký buffer

Toto zařízení slouží ke krátkodobému skladování, a díky tomu je možné výrobu vyrovnávat, aby se docílilo požadovaného objemu vypouštěného do plynovodu. Buffer má také za úkol vyrovnávat tlaky pro míchání se zemním plynem. Na obrázku je vidět příklad nízkotlakého bufferu (obrázek 15) a pod ním jsou v tabulce 3 uvedeny technické parametry.



Obrázek 15 Nízkotlaký buffer pro H₂

Tabulka 3 Technicko-ekonomické parametry nízkotlakého bufferu

Celkový vodní objem	25 000 l
Skladovací kapacita H ₂	90 kg
Cena	2 258 880 Kč

V systému je dobré mít vždy zapojené buffery dva, aby se do nich vešla přibližně polovina denní produkce elektrolyzérů. Důvod zapojení dvou bufferů je ten, že pokud by byla za potřebí větší produkce, nebo dodávaná energie z fotovoltaické elektrárny nebude dostatečná, mohou se využít zásoby v obou bufferech a potřebný objem doplnit.

9.3.3 Dusíkový podpůrný systém

Dusíkový podpůrný systém slouží k ovládní aktivních prvků technologie a k zajištění bezpečnosti v případě poruchy. Zde nezáleží na počtu elektrolyzérů v systému, cena se nemění s přibývajícím počtem, ale zůstává stejná, její výše je 5 331 498 Kč.

9.3.4 Systém řízení a služby spojené s instalací

Systém řízení toku plynu, potrubí, ovládací prvky a bezpečnostní prvky jsou nedílnou součástí celého systému. Jejich úkolem je správně vše regulovat, dbát na bezpečnost pomocí senzorů a čidel. Tato zařízení musí být instalována vždy a nezáleží na počtu elektrolyzérů. Cena se pohybuje okolo 6 150 000 Kč.

Do služeb patří věci, které jsou spojené s celkovou instalací projektu. Je to konkrétně samotná instalace a spuštění, zavádění systému do provozu, přítomnost experta při zkušebním provozu, zaškolení kvalifikovaných pracovníků a schválení potřebné certifikace. Cena těchto služeb se pohybuje okolo 3 700 000 Kč.

9.3.5 Fotovoltaická elektrárna

Podle HYTEPU (České vodíkové technologické platformy) by elektrolyzér o výkonu 500 kW, měl být napojený na 1,5 MWp (megawatt peak) fotovoltaickou elektrárnu. Je zřejmé, že by napojený zdroj energie měl být alespoň třikrát větší než výkon elektrolyzéro [27].

Při použití tohoto typu elektrolyzéro je podle České vodíkové technologické platformy potřeba zapojení 3,6 MWp fotovoltaické elektrárny. Pokud by se uvažovala cena za 1kWp 20 000 Kč, celkové investiční náklady by činily 72 mil. Kč (rovnice 9.4). Všechny údaje jsou uvedeny v tabulce níže. (*Konzultace s firmou Environmental Invest s.r.o.*)

Tabulka 4 Cena fotovoltaické elektrárny

Cena za 1 kWp [Kč/kWp]	20 000,00
Potřebný výkon fotovoltaické elektrárny [kWp]	3 600,00
Cena fotovoltaické elektrárny [Kč]	72 000 000,00

$$\text{Cena fotovoltaické elektrárny [Kč]} \quad (9.4)$$

$$= \text{Cena za 1 kWp}$$

$$* \text{Potřebný výkon fotovoltaické elektrárny}$$

$$\begin{aligned} \text{Cena fotovoltaické elektrárny} &= 20\,000 * 3\,600 \\ &= 72\,000\,000 \text{ Kč} \end{aligned}$$

Aby bylo zjištěno, jakou část z roku bude elektrolyzátor fungovat na určité procento z výkonu, případně kdy bude vyrábět vodík v menším objemu, je zapotřebí zjistit hodinové profily během roku v dané lokalitě. Na obrázku (obrázek 16) je znázorněn diagram, který ukazuje výkon fotovoltaické elektrárny v jednotlivých hodinách.

Average hourly profiles

Total photovoltaic power output [MWh]

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5					0	0	0	0				
5 - 6			0	0	0	0	0	0	0			
6 - 7			0	0	0	0	0	0	0	0		
7 - 8	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	
8 - 9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
9 - 10	0	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	0
10 - 11	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	0
11 - 12	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
12 - 13	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
13 - 14	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	0
14 - 15	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
15 - 16	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
16 - 17		0	0	1	1	1	1	1	0	0		
17 - 18		0	0	0	0	0	0	0	0			
18 - 19				0	0	0	0	0				
19 - 20					0	0	0					
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	4	8	12	15	16	16	15	15	12	9	5	3

Obrázek 16 Výkon fotovoltaické elektrárny v jednotlivých hodinách [27]

Podle simulačního programu, kde byla nasimulována 3,6 MWp fotovoltaická elektrárna v dané lokalitě, je možné přibližně určit, na jaké procento svého výkonu bude elektrolyzátor fungovat v určité části roku (tabulka 5), a jaká bude roční hmotnost vyrobeného vodíku. Elektrolyzátor, který pracuje pod 20 % své účinnosti, žádný vodík nevyrábí, a proto značnou část roku (66 %) neprodukuje nic. (*data poskytnuta od firmy Powrev s.r.o.*)

Tabulka 5 Účinnost elektrolyzéry v roce

účinnost elektrolyzéry [%]	výkonnost elektrolyzéry [W]	počet hodin v roce	procentuální část z roku	
20 %	240 000,00	5 765,00	66 %	nevyrábí <20 %
30 %	360 000,00	279	3 %	od 20 % do 30 %
40 %	480 000,00	247	3 %	od 30 % do 40 %
50 %	600 000,00	231	3 %	od 40 % do 50 %
60 %	720 000,00	197	2 %	od 50 % do 60 %
70 %	840 000,00	169	2 %	od 60 % do 70 %
80 %	960 000,00	161	2 %	od 70 % do 80 %
90 %	1 080 000,00	170	2 %	od 80 % do 90 %
100 %	1 200 000,00	151	2 %	od 90 % do 100 %
		1390	16 %	na 100 %

Na základě osvitů území a dalších parametrů (např. sluneční výškový úhel, úhel dopadu slunce, průměrná teplota, rychlost větru) byla nasimulována každá hodina produkce elektrické energie z celého roku. Pro názornou ukázkou je na obrázku níže (obrázek 17) vidět část nasimulovaných dat (grid_power), která byla poskytnuta. (*data poskytnuta od firmy Powrev s.r.o.*)

hour_index	timestamp	grid_power [W]	H2 [kg]	H2 celkově [Kg]
34	02.01.2021 9:00	103842,1094	0	0
35	02.01.2021 10:00	194113,9375	4,081835134	4,081835134
36	02.01.2021 11:00	238546,8906	5,016172934	5,016172934
37	02.01.2021 12:00	252512,2344	5,309836704	5,309836704
38	02.01.2021 13:00	185765,7813	3,906289793	3,906289793
39	02.01.2021 14:00	91155,64844	0	0
40	02.01.2021 15:00	2269,101318	0	0
41	02.01.2021 16:00	0	0	0
42	02.01.2021 17:00	0	0	0
43	02.01.2021 18:00	0	0	0
44	02.01.2021 19:00	0	0	0
45	02.01.2021 20:00	0	0	0
46	02.01.2021 21:00	0	0	0
47	02.01.2021 22:00	0	0	0
48	02.01.2021 23:00	0	0	0
49	03.01.2021 0:00	0	0	0
50	03.01.2021 1:00	0	0	0
51	03.01.2021 2:00	0	0	0
52	03.01.2021 3:00	0	0	0
53	03.01.2021 4:00	0	0	0
54	03.01.2021 5:00	0	0	0
55	03.01.2021 6:00	0	0	0
56	03.01.2021 7:00	0	0	0
57	03.01.2021 8:00	222185,0469	4,672115472	4,672115472
58	03.01.2021 9:00	1073371,75	22,57090129	18
59	03.01.2021 10:00	1521847,125	32,00145824	18
60	03.01.2021 11:00	1838612	38,66240187	18
61	03.01.2021 12:00	1867479,625	39,26943137	18
62	03.01.2021 13:00	1559189,25	32,78668984	18
63	03.01.2021 14:00	750804	15,78793458	15,78793458
64	03.01.2021 15:00	16733,0957	0	0
65	03.01.2021 16:00	0	0	0
66	03.01.2021 17:00	0	0	0
67	03.01.2021 18:00	0	0	0
68	03.01.2021 19:00	0	0	0
69	03.01.2021 20:00	0	0	0

Obrázek 17 Ukázka simulovaných dat (hmotnost vodíku)

Podle tabulky 2 je zřejmé, že elektrolyzér má spotřebu 20 544 000 W. Jednoduchým výpočtem bylo zjištěno, jaká je maximální spotřeba elektrolyzéro za hodinu, tato hodnota činí 856 000 W. Z této hodnoty se vypočetlo 20 % a to je 171 200 W. Elektrolyzér vyrobí 432 Kg vodíku za den, za hodinu je jeho maximální produkce 18 kg vodíku. Z čísel 856 000 W a 18 kg vodíku bylo stanoveno kolik kilo vodíku se vyrobí za jeden watt (rovnice 9.5). Ve sloupci „grid_power“ je znázorněn výkon fotovoltaické elektrárny po hodinách ve wattech. Následně bylo zjištěno, kdy elektrárna nedosahuje výkonu, který je potřeba, aby elektrolyzér pracoval nad 20 % své účinnosti, pokud tomu tak bylo, hodnota ve sloupci „H2“ je nula. Pokud se však hodnota pohybovala nad 20 %, byla hodnota ve sloupci „H2“ násobkem sloupce „grid_power“ a výsledkem z rovnice 8.5. Ve sloupci „H2 celkově“ bylo zjištěno, kdy hodnota ve sloupci „H2“ přesahuje hodnotu 18 Kg, jelikož to je maximální hodinová produkce, kterou je tento elektrolyzér schopný

vyrobit. Pokud tento jev nastal hodnota zůstala na 18 Kg. Směs se v průběhu celého roku pohybuje v rozmezí 0-1,5 % vodíku v zemním plynu.

$$\text{potřebný výkon} \left[\frac{\text{kgH}_2}{\text{W}} \right] = \frac{\text{hmotnost vodíku za hodinu}}{\text{spotřeba za hodinu}} \quad (9.5)$$

$$\text{potřebný výkon} = \frac{18}{856\,000} = 2,1 * 10^{-5} \frac{\text{kgH}_2}{\text{W}}$$

Dle této simulace bylo zjištěno že elektrolyzér vyrobí 46 790,2 Kg vodíku za rok. Podle tabulky 2 se při objemu výroby 4800 Nm³ vyrobí 432 kg vodíku, z toho vyplývá, že přibližně 11,1 Nm³ je 1 kg vodíku. Proto se podle jednoduchého přepočtu zjistí celkový roční objem výroby elektrolyzéra (rovnice 9.6), který je 519 371,22 Nm³.

$$\text{Objem výroby} \left[\frac{\text{Nm}^3}{\text{rok}} \right] = \text{hmotnost vodíku} * 11,1 \quad (9.6)$$

$$\text{Objem výroby} = 46\,790,2 * 11,1 = 519\,371,22 \frac{\text{Nm}^3}{\text{rok}}$$

Následně se spočítá roční produkce elektrolyzéra v kWh, využije se vztah v rovnici 9.3, který říká že 1 Nm³ vodíku jsou 3 kWh energie. Výpočet je uveden v rovnici 9.7. Roční produkce elektrolyzéra činí 1 558 114,66 kWh.

$$\text{roční produkce} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{rok}} \right] = \text{objem výroby} * 3 \quad (9.7)$$

$$\text{roční produkce} = 519\,371,22 * 3 = 1\,558\,114,66 \frac{\text{kWh}}{\text{rok}}$$

Z tabulky 2 je zřejmé, že spotřeba energie je 4,28 kWh/ Nm³. Jednoduchým výpočtem může být zjištěna i celková roční spotřeba elektrolyzéra (rovnice 9.8), která vychází 2 222 908,82 kWh/rok.

$$\text{Spotřeba} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{rok}} \right] = \text{objem výroby} * 4,28 \quad (9.8)$$

$$\text{Spotřeba} = 519\,371,22 * 4,28 = 2\,222\,908,82 \frac{\text{kWh}}{\text{rok}}$$

Podle simulace má fotovoltaická elektrárna přebytky, které by podnik mohl použít k prodeji. Přebytky vznikly, protože elektrolyzátor nevyrobí pod 20 % své účinnosti, a tak by fotovoltaická elektrárna běžela „naprázdno“. Dalším důvodem vzniku přebytků je, že byla překročena maximální kapacita samotného elektrolyzátoru a to tak, že by se vyrobilo víc jak 18 kg vodíku za hodinu. Na obrázku 18 je ukázka simulovaných dat, kde jsou vidět přebytky.

hour_index	timestamp	grid_power [W]	Přbytek k prodeji [W]	Přbytek k prodeji 2 [W]	Celkový přbytek k prodeji [W]
1	01.01.2021 0:00	0	0	0	0
2	01.01.2021 1:00	0	0	0	0
3	01.01.2021 2:00	0	0	0	0
4	01.01.2021 3:00	0	0	0	0
5	01.01.2021 4:00	0	0	0	0
6	01.01.2021 5:00	0	0	0	0
7	01.01.2021 6:00	0	0	0	0
8	01.01.2021 7:00	0	0	0	0
9	01.01.2021 8:00	2216,211426	2216,211426	0	2216,211426
10	01.01.2021 9:00	26638,15625	26638,15625	0	26638,15625
11	01.01.2021 10:00	48857,19531	48857,19531	0	48857,19531
12	01.01.2021 11:00	64925,23047	64925,23047	0	64925,23047
13	01.01.2021 12:00	71363,11719	71363,11719	0	71363,11719
14	01.01.2021 13:00	52916,60156	52916,60156	0	52916,60156
15	01.01.2021 14:00	27085,85547	27085,85547	0	27085,85547
16	01.01.2021 15:00	1910,603394	1910,603394	0	1910,603394
17	01.01.2021 16:00	0	0	0	0
18	01.01.2021 17:00	0	0	0	0
19	01.01.2021 18:00	0	0	0	0
20	01.01.2021 19:00	0	0	0	0
21	01.01.2021 20:00	0	0	0	0
22	01.01.2021 21:00	0	0	0	0
23	01.01.2021 22:00	0	0	0	0
24	01.01.2021 23:00	0	0	0	0
25	02.01.2021 0:00	0	0	0	0
26	02.01.2021 1:00	0	0	0	0
27	02.01.2021 2:00	0	0	0	0
28	02.01.2021 3:00	0	0	0	0
29	02.01.2021 4:00	0	0	0	0
30	02.01.2021 5:00	0	0	0	0
31	02.01.2021 6:00	0	0	0	0
32	02.01.2021 7:00	0	0	0	0
33	02.01.2021 8:00	6632,253418	6632,253418	0	6632,253418
34	02.01.2021 9:00	103842,1094	103842,1094	0	103842,1094
35	02.01.2021 10:00	194113,9375	0	0	0
36	02.01.2021 11:00	238546,8906	0	0	0
37	02.01.2021 12:00	252512,2344	0	0	0

Obrázek 18 Ukázka simulovaných dat (přebytky k prodeji)

Jako první byl vypočítán sloupec „Přbytek k prodeji“. Ten se spočítal následujícím způsobem. Pokud hodnota ve sloupci „grid_power“ byla menší, než kterou

potřebuje elektrolyzátor, aby fungoval nad 20 % své účinnosti, byla hodnota rovna právě sloupci „grid_power“. Pokud tomu tak nebylo, k žádnému přebytku nedošlo a hodnota zůstala nulová. Ve sloupci „Přebytek k prodeji 2“ byl vypočítán opačný jev přebytku, kdy byla překročena maximální kapacita elektrolyzátoru. Byl spočten rozdíl hodnot ve sloupci „H2“ a „H2 celkově“, aby byl zjištěn hmotnostní přebytek. Toto číslo bylo vyděleno číslem, které vzniklo v rovnici 9.5. Nakonec pak ve sloupci „Celkový přebytek k prodeji“ byly hodnoty ze sloupců přebytků k prodeji sečteny. Roční přebytek by tedy činil 1 207,28 MWh.

Společnost Pražská plynárenská odkupuje za cenu 3 500 Kč/MWh, proto bude ve studii využita tato hodnota [28].

9.3.6 Větrná elektrárna

Větrná elektrárna by mohla pomoci fotovoltaice v tom, že by daný elektrolyzátor mohl vyrábět delší dobu. Případně by docházelo k větším přebytkům, jelikož by se energie vyráběla i v noci a vítr by nebyl dostatečný pro napájení elektrolyzátoru. Podle společnosti ČEZ stojí 4MW okolo 150 mil Kč. Toto je však moc velká větrná elektrárna, jelikož v tomto případě slouží jako doplnění fotovoltaické elektrárny. Ve studii se bude uvažovat elektrárna o výkonu 850 kWh, od společnosti Vestas, typ elektrárny V52. Cena této elektrárny by byla 32 mil Kč. Spouštěcí rychlost větrné elektrárny je 4 m/s. Plocha, kterou opisuje rotor je 2 124 m² [29] [30].

V simulaci, která byla provedena pro fotovoltaickou elektrárnu, jsou i data o rychlosti větru pro dané území. Podle vzorce (rovnice 9.9) byl spočten výkon větrné elektrárny. Kde „ c_p “ je součinitel výkonu, jeho hodnota je 0,5. „ S “ je plocha, kterou opisuje rotor, „ ρ “ je hustota vzduchu (1,29) a „ u “ je rychlost větru. Pod rovnicí je ukázán příklad ze simulace, kde byla analyzována varianta s větrnou elektrárnou (obrázek 19).

$$P[W] = \frac{1}{2} c_p * S * \rho * u^3 \quad (9.9)$$

hour_index	timestamp	grid_power [W]	Rychlost větru	Výroba větrné elektrárny	Výkon větrné elektrárny [W]
1	01.01.2021 0:00	0	2,03958	0	0
2	01.01.2021 1:00	0	1,62833	0	0
3	01.01.2021 2:00	0	1,375	0	0
4	01.01.2021 3:00	0	1,56125	0	0
5	01.01.2021 4:00	0	1,63625	0	0
6	01.01.2021 5:00	0	1,81292	0	0
7	01.01.2021 6:00	0	1,63625	0	0
8	01.01.2021 7:00	0	2,07333	0	0
9	01.01.2021 8:00	2216,211426	2,15625	0	0
10	01.01.2021 9:00	26638,15625	3,37083	0	0
11	01.01.2021 10:00	48857,19531	2,97917	0	0
12	01.01.2021 11:00	64925,23047	2,78625	0	0
13	01.01.2021 12:00	71363,11719	3,19583	0	0
14	01.01.2021 13:00	52916,60156	3,575	0	0
15	01.01.2021 14:00	27085,85547	3,3975	0	0
16	01.01.2021 15:00	1910,603394	4,025	4,025	44666,49613
17	01.01.2021 16:00	0	3,4025	0	0
18	01.01.2021 17:00	0	3,53875	0	0
19	01.01.2021 18:00	0	3,00333	0	0
20	01.01.2021 19:00	0	2,9	0	0
21	01.01.2021 20:00	0	2,80333	0	0
22	01.01.2021 21:00	0	2,14292	0	0
23	01.01.2021 22:00	0	1,64042	0	0
24	01.01.2021 23:00	0	1,45	0	0
25	02.01.2021 0:00	0	1,73125	0	0
26	02.01.2021 1:00	0	2,865	0	0
27	02.01.2021 2:00	0	3,82167	0	0
28	02.01.2021 3:00	0	3,81125	0	0
29	02.01.2021 4:00	0	4,15	4,15	48958,54714
30	02.01.2021 5:00	0	3,81375	0	0
31	02.01.2021 6:00	0	3,76792	0	0
32	02.01.2021 7:00	0	2,64292	0	0
33	02.01.2021 8:00	6632,253418	2,63708	0	0
34	02.01.2021 9:00	103842,1094	2,55	0	0
35	02.01.2021 10:00	194113,9375	2,60167	0	0
36	02.01.2021 11:00	238546,8906	2,31042	0	0
37	02.01.2021 12:00	252512,2344	3,08208	0	0

Obrázek 19 Ukázka simulovaných dat (větrná elektrárna)

Ve sloupci „výroba větrné elektrárny“ se muselo určit, kdy bude větrná elektrárna vyrábět, jelikož její rozběhová rychlost musí být větší než 4 m/s. Následně sloupec „výkon větrné elektrárny“ byl spočítán pomocí vzorce v rovnici 9.9. Nakonec došlo k sečtení sloupců „grid_power“ a „výkon větrné elektrárny“, aby byl zjištěn celkový výkon obou elektráren. Dále se postupovalo stejně, jako v kapitole 9.3.5, kde byla analyzována fotovoltaická elektrárna.

Bylo zjištěno, že s pomocí větrné elektrárny se vyrobí 50 771 kg vodíku, což je o necelých 4 000 kg vodíku více, než když je zapojena pouze fotovoltaická elektrárna.

Stejným přepočten se z roční hmotnosti vyrobeného vodíku zjistí roční produkce a roční spotřeba elektrolyzéro.

$$\text{roční produkce} = 563\,558,1 \text{ Nm}^3/\text{rok}$$

$$\text{roční spotřeba} = 2\,412\,028,67 \text{ kWh/rok}$$

Roční přebytek, který by mohl podnik využít je 1 348,49 MWh.

10 Hodnocení investice

10.1 Varianta bez dotace a bez samostatného zdroje energie

10.1.1 Investiční výdaje

V této variantě se uvažuje postavení výrobního systému vyrábějícího vodík bez použití dotační podpory a samostatného zdroje energie. Energie by pocházela z fotovoltaické elektrárny, která se nachází nedaleko výrobního závodu. Energie musí samozřejmě mít certifikát původu, aby bylo zajištěno, že se jedná o zelenou energii.

Celkové investiční výdaje jsou uvedeny v tabulce číslo 6. Ceny jsou brány z kapitoly 9.3, kde byly stanoveny technické a ekonomické parametry zařízení, které budou v projektu využity. Pro tuto variantu je zapotřebí 1 elektrolyzér, 2 nízkotlaké buffery, jeden dusíkový podpůrný systém, jeden systém potřebný pro řízení a výdaje spojené s instalací celého systému. Celková investice bude činit 56 431 258 Kč.

Tabulka 6 Celková cena investice

Položka	počet	Jednotková cena [Kč]	Konečná cena [Kč]
Elektrolyzér	1	36 732 000,00	36 732 000,00
Nízkotlaký buffer	2	2 258 880,00	4 517 760,00
Dusíkový podpůrný systém	1	5 331 498,00	5 331 498,00
Systém řízení	1	6 150 000,00	6 150 000,00
Služby spojené s instalací	1	3 700 000,00	3 700 000,00
Celkem			56 431 258,00

Všechna zařízení patří do odpisové skupiny číslo tři. Proto se zařízení budou odepisovat po dobu 10 let a bude se využívat rovnoměrné odepisování. V prvním roce bude odpisové procento 5,5 a v následujících letech 10,5 procenta z celkové ceny investice. Přepokládaná životnost zařízení je 20 let. V tabulce 7 jsou uvedeny konečné částky odpisů a pod tabulkou je naznačen výpočet pro první rok investice (rovnice 10.1).

Tabulka 7 Odpisy

Procento odpisu [%]	Odpis [Kč]
5,5 %	3 103 719,19
10,5 %	5 925 282,09

$$\text{Odpis v prvním roce [Kč]} = \text{cena investice} * \text{procento odpisu} \quad (10.1)$$

$$\text{Odpis v prvním roce} = 56\,431\,258 * 0,055 = 3\,103\,719,19 \text{ Kč}$$

10.1.2 Přínosy investice

Jelikož podnik, produkuje velké množství CO₂, mohl by ušetřit na nákupu emisních povolenek, jejíž cena se do budoucna bude určitě zvyšovat, jak vyplývá z cílů Evropské unie. Zároveň se jedná o relativně novou technologii v rámci průmyslových podniků, a proto by podnik mohl získat i pozitivní publicitu. Dojde také k úspoře nákladů za nákup zemního plynu. V tabulce (Tabulka 8) je vypočtena celková roční finanční úspora, kterou by mohla investice přinést.

Tabulka 8 Finanční úspora

Spotřeba zemního plynu současný stav [kWh]	319 442 268,40
Roční produkce elektrolyzéro [kWh]	1 558 114,66
Spotřeba plynu s elektrolyzérem [kWh]	317 884 153,74
Cena zemního plynu [Kč/kWh]	1,29
Cena za plyn při současném stavu [Kč/rok]	411 122 199,43
Cena za plyn s elektrolyzérem [Kč/rok]	409 116 905,86
Úspora na zemního plynu [Kč/rok]	2 005 293,57
Měrná uhlíková stopa zemního plynu [kg CO ₂ /kWh]	0,20
Vyprodukované emise současný stav [kgCO ₂ /rok]	63 888 453,68
Vyprodukované emise s elektrolyzérem [kgCO ₂ /rok]	63 576 830,75
Rozdíl vyprodukovaných emisí [kgCO ₂ /rok]	311 622,93
Cena emisní povolenky [Kč/kgCO ₂]	2,10
Úspora na emisních povolenkách [Kč/rok]	654 408,16
Úspora celkem [Kč/rok]	2 659 701,72

Roční spotřeba plynu s elektrolyzérem se vypočítá podle jednoduchých vztahů, které jsou vypsány níže. Spotřeba plynu by v podniku klesla o 1 558 114,66 kWh a celkově by podnik, při použití současných cen, ušetřil přes 2 mil. Kč ročně na zemním plynu.

$$\begin{aligned} \text{Spotřeba plynu s elektrolyzérem} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{rok}} \right] &= & (10.2) \\ &= \text{Spotřeba plynu současný stav} \\ &\quad - \text{Roční produkce elektrolyzéru} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spotřeba plynu s elektrolyzérem} &= 319\,442\,268,4 - 1\,558\,114,66 = \\ &= 317\,884\,153,74 \frac{\text{kWh}}{\text{Rok}} \end{aligned}$$

$$\text{Cena za plyn} \left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right] = \text{spotřeba plynu} * \text{cena plynu} \quad (10.3)$$

$$\begin{aligned} \text{Cena plynu při současném stavu} &= 319\,442\,268,4 * 1,29 = \\ &= 411\,122\,199,43 \frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cena plynu s elektrolyzérem} &= 317\,884\,153,74 * 1,29 = \\ &= 409\,116\,905,86 \frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Úspora na zemním plynu} \left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right] &= & (10.4) \\ &= \text{Cena plynu při současném stavu} \\ &\quad - \text{Cena plynu s elektrolyzérem} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Úspora na zemním plynu} &= 411\,122\,199,43 - 409\,116\,905,86 = \\ &= 2\,005\,293,57 \frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \end{aligned}$$

Jak bylo řečeno, podnik by také mohl ušetřit na nákupu emisních povolenek. V současném stavu musí podnik nakupovat povolenky v objemu necelých 63 888 454 kgCO₂/rok, jak bylo stanoveno v kapitole 9.2. Pokud by byla použita varianta s elektrolyzérem podnik by nakupoval o necelých 312 000 povolenek méně (rovnice 10.6) a ušetřil by ročně přes 0,5 mil. Kč (rovnice 10.7). Celková roční úspora díky investici činí 2 659 701,72 Kč.

$$\begin{aligned} \text{Emise s elektrolyzérem} \left[\frac{\text{kgCO}_2}{\text{rok}} \right] &= & (10.5) \\ &= \text{měrná hlíková stopa ZP} * \text{roční spotřeba ZP} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emise s elektrolyzérem} &= 0,2 * 317\,884\,153,74 = \\ &= 63\,576\,830,75 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{rok}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rozdíl vyprodukovaných emisí} \frac{\text{kgCO}_2}{\text{rok}} &= & (10.6) \\ &= \text{Emise současný stav} - \text{emise s elektrolyzérem} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rozdíl vyprodukovaných emisí} &= 63\,888\,453,68 - 63\,576\,830,75 = \\ &= 311\,623 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{rok}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Úspora na emisních povolenkách} \left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right] & & (10.7) \\ &= \text{Rozdíl vyprodukovaných emisí} * \text{cena povolenky} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Úspora na emisních povolenkách} &= 311\,623 * 2,1 = \\ &= 654\,408,16 \text{ Kč/rok} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Úspora celkem} \left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right] &= \\
 &= \text{Úspora na zemním plynu} \\
 &+ \text{Úspora na emisních povolenáck}
 \end{aligned}
 \tag{10.8}$$

$$\text{Úspora celkem} = 2\,005\,293,57 + 654\,408,16 = 2\,659\,701,72 \frac{\text{Kč}}{\text{rok}}$$

10.1.3 Provozní náklady

Největší vliv na provozní náklady má samotný elektrolyzátor. Roční spotřeba elektrolyzátoru je 2 222 908,82 kWh. Elektrolyzátor také spotřebovává vodu, a to v objemu 3936 l/den, avšak náklady za vodu jsou při těchto cenách zanedbatelné, a proto nejsou ve výpočtu zahrnuty. V tabulce (Tabulka 9), jsou uvedeny celkové roční provozní náklady investice.

Tabulka 9 Provozní náklady

Cena energie [Kč/kWh]	3,042
Roční spotřeba elektrolyzátoru [kWh]	2 222 908,82
Cena roční spotřebované energie [kč]	6 762 088,63

Celkové provozní náklady jsou 6 762 088,63 Kč. Je vidět, že provozní náklady zásadně převyšují finanční úsporu, kterou by investice mohla přinést.

$$\begin{aligned}
 \text{Cena roční spotřebované energie} \left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right] &= \\
 &= \text{celková roční spotřeba investice} * \text{cena energie}
 \end{aligned}
 \tag{10.9}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cena roční spotřebované energie} &= 2\,222\,908,82 * 3,042 = \\
 &= 6\,762\,088,63 \frac{\text{Kč}}{\text{Rok}}
 \end{aligned}$$

10.1.4 Čistá současná hodnota

Při použití hodnot z předchozích kapitol je níže (Tabulka 10) vypočtena čistá současná hodnota (ČSH), kde jsou vidět první dva roky a následně poslední rok životnosti investice. Hodnoty jsou zaokrouhleny na celá čísla. Pod tabulkou je uveden postup, kterým byla jednotlivá čísla vypočítána. Pro příklad je uveden postup v prvním roce investice.

Tabulka 10 Výpočet ČSH

Rok	0	1	2	...	20
Celkové výnosy [Kč]	0	2 659 702	2 659 702	...	2 659 702
Provozní náklady [Kč]	0	6 762 089	6 762 089	...	6 762 089
Odpisy [Kč]	0	3 103 719	5 925 282	...	0
Hrubý zisk [Kč]	0	-7 206 106	-10 027 669	...	-4 102 387
Daň [Kč]	0	-1 369 160	-1 905 257	...	-779 454
Čistý zisk [Kč]	0	-5 836 946	-8 122 412	...	-3 322 933
Cash-flow [Kč]	-56 431 258	-2 733 227	-2 197 130	...	-3 322 933
Kum. CF [Kč]	-56 431 258	-59 164 485	-61 361 615	...	-112 167 987
Diskontní faktor	1,00	0,91	0,83	...	0,15
Diskontované CF [Kč]	-56 431 258	-2 484 752	-1 815 810	...	-493 933
Kum. dCF [Kč]	-56 431 258	-58 916 010	-60 731 819	...	-78 291 048

Hrubý zisk je vypočítán pomocí vzorce (10.10). Odpisy jsou nákladem, který představuje opotřebení stroje, ale nejsou nijak placeny.

$$\text{hrubý zisk [Kč]} = \text{celkové výnosy} - \text{celkové náklad} - \text{odpisy} \quad (10.10)$$

$$\begin{aligned} \text{hrubý zisk [Kč]} &= 2\,659\,702 - 6\,762\,089 - 3\,103\,719 = \\ &= -7\,206\,106 \text{ Kč} \end{aligned}$$

Další položkou je daň, která činí 19 %. Pokud hrubý zisk vychází v záporných číslech, je daň v záporu, ale neznamená to, že by podnik dostal zapláceno od státu z důvodu špatné investice, to není možné, slouží zde jako daňová úleva. Vypočítá se dle vzorce 10.11 a dále se spočte čistý zisk (vzorec 10.12), kde je pouze hrubý zisk očištěn o daň.

$$daň [Kč] = 0,19 * hrubý zisk \quad (10.11)$$

$$daň = 0,19 * (-7\,206\,106) = -1\,369\,160 \text{ Kč}$$

$$čistý zisk [Kč] = hrubý zisk - daň \quad (10.12)$$

$$čistý zisk = -7\,206\,106 - (-1\,369\,160) = -5\,836\,946 \text{ Kč}$$

Následujícím údajem v tabulce je cash-flow, K němu jsou zpětně přičteny odpisy (vzorec 10.13). Hned za ním následuje kumulované cash-flow, kde je v každém roce připočtena suma cash-flow z minulých let.

$$CF [Kč] = čistý zisk + odpisy \quad (10.13)$$

$$CF = -5\,836\,946 + 3\,103\,719 = -2\,733\,227 \text{ Kč}$$

Aby hodnocení investice nezůstalo pouze u statických hodnot, využívá se tzv. diskontní faktor (vzorec 10.14). Ve vzorci se objevuje diskontní sazba, ta zohledňuje změnu hodnotu peněz v čase. V tomto případě byla zvolena diskontní sazba 10 %. Diskontované cash-flow získáme vynásobením diskontovaného faktoru a cash-flow (vzorec 10.15). Poslední položkou je kumulované diskontované cash-flow, které se získá sečtením diskontovaných cash-flow z minulých let.

$$\text{diskontní faktor} = \frac{1}{(1 + \text{diskontní sazba})^{\text{rok}}} \quad (10.14)$$

$$\text{diskontní faktor} = \frac{1}{(1 + 0,1)^1} = 0,91$$

$$dCF [Kč] = CF * \text{diskontní faktor} \quad (10.15)$$

$$dCF = -2\,733\,227 * 0,91 = -2\,484\,752 \text{ Kč}$$

Číslo, které by vzniklo pomocí vzorce ČSH (10.16), by mělo být stejné jako poslední položka v tabulce řádku kumulovaného diskontovaného cash-flow. Hodnota ČSH po 20 letech činí – 78 291 048 milionů Kč. Je vidět, že investice při těchto podmínkách je opravdu nevýhodná. Aby podnik mohl uvažovat o přijetí tohoto projektu

měla by ČSH vyjít větší než nula. Z tohoto důvodu bude následně provedena citlivostní analýza, aby bylo zjištěno, jaký vstupní parametr má největší vliv na výsledek.

$$\check{C}SH \text{ [Kč]} = -investice + \sum_{rok=1}^{15} \frac{CF}{(1 + \text{diskontní sazba})^{rok}} \quad (10.16)$$

$$\check{C}SH = -56\,431\,258 + (-21\,859\,790) = -78\,291\,048 \text{ Kč}$$

10.1.5 Citlivostní analýza

Na základě výsledku z minulé kapitoly, kde byla vypočítána čistá současná hodnota investice po 20 letech, byla provedena citlivostní analýza. Je potřeba zjistit, jaké vstupní parametry mají největší vliv na výslednou hodnotu (v tomto případě na ČSH).

V analýze byly zkoumány hlavní vstupní parametry, kterými jsou: cena elektrolyzéry (Tabulka 11), ta má na celkovou cenu investice největší vliv, proto byla vybrána za hlavní vstupní parametr, dále pak cena zemního plynu (Tabulka 12), cena emisní povolenky (Tabulka 13) a cena energie (Tabulka 14). Pro lepší názornost byl vytvořen tornádo diagram, kde je vidět procentuální změny ČSH, pokud se vstupní parametry zvýší nebo sníží o 50 %. Pro lepší přehlednost jsou některá čísla zaokrouhlena na celá.

Tabulka 11 Citlivostní analýza: Cena elektrolyzéry

	Cena elektrolyzéry [Kč]	ČSH [Kč]	Absolutní změna [Kč]	Procentuální změna [%]
		-78 291 048		
50 %	55 098 000	-94 564 284	-16 273 236	21 %
40 %	51 424 800	-91 309 637	-13 018 588	17 %
30 %	47 751 600	-88 054 990	-9 763 941	12 %
20 %	44 078 400	-84 800 343	-6 509 294	8 %
10 %	40 405 200	-81 545 695	-3 254 647	4 %
0 %	36 732 000	-78 291 048	0	0 %
-10 %	33 058 800	-75 036 401	3 254 647	-4 %
-20 %	29 385 600	-71 781 754	6 509 294	-8 %
-30 %	25 712 400	-68 527 107	9 763 941	-12 %
-40 %	22 039 200	-65 272 460	13 018 588	-17 %
-50 %	18 366 000	-62 017 813	16 273 236	-21 %

Z tabulky 10 je patrné, že pokud by v budoucnu docházelo k poklesu ceny elektrolyzéro např. při větším používání této technologie a díky prosazování ekologických zařízení, mohlo by to výslednou ČSH zlepšit. Ale i kdyby došlo k poklesu ceny o polovinu, pořád při současných hodnotách nedojde k výraznému zlepšení a čistá současná hodnota vychází negativně a její hodnota je – 62 017 813 Kč. Procentuálně by se investice zlepšila o 21 %.

Tabulka 12 Citlivostní analýza: Cena zemního plynu

	Cena zemního plynu [Kč/kWh]	ČSH [Kč]	Absolutní změna [Kč]	Procentuální změna [%]
		-78 291 048		
50 %	1,93	-71 376 810	6 914 239	-9 %
40 %	1,80	-72 759 657	5 531 391	-7 %
30 %	1,67	-74 142 505	4 148 543	-5 %
20 %	1,54	-75 525 353	2 765 696	-4 %
10 %	1,42	-76 908 201	1 382 848	-2 %
0 %	1,29	-78 291 048	0	0 %
-10 %	1,16	-79 673 896	-1 382 848	2 %
-20 %	1,03	-81 056 744	-2 765 696	4 %
-30 %	0,90	-82 439 592	-4 148 543	5 %
-40 %	0,77	-83 822 439	-5 531 391	7 %
-50 %	0,64	-85 205 287	-6 914 239	9 %

Cena zemního plynu má na výslednou hodnotu značně menší vliv než cena elektrolyzéro. Zvýšení ceny plynu o 50 %, má na výsledek čisté současné hodnoty pouze 9 % vliv. Je však těžké předpokládat, že cena zemního plynu takto rapidně vzroste, a i výsledná hodnota ČSH je stále v negativních číslech.

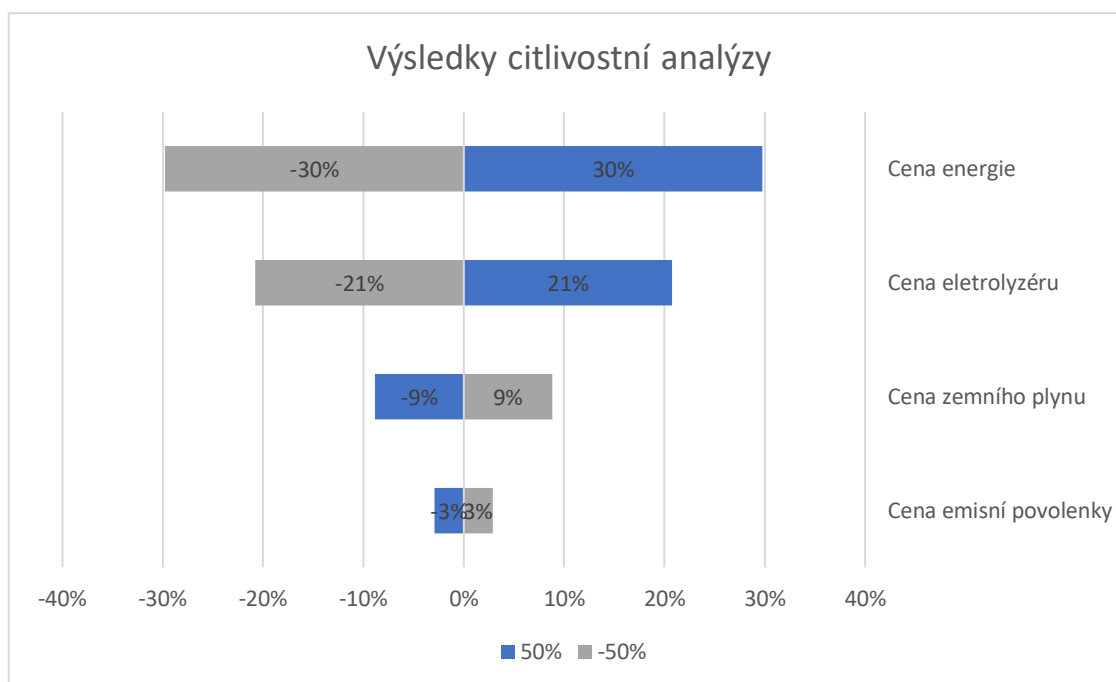
Tabulka 13 Citlivostní analýza: cena emisní povolenky

	Cena emisní povolenky [Kč/kgCO ₂]	ČSH [Kč]	Absolutní změna [Kč]	Procentuální změna [%]
		-78 291 048		
50 %	3,16	-76 015 313	2 275 735	-3 %
40 %	2,95	-76 467 881	1 823 167	-2 %
30 %	2,74	-76 920 450	1 370 599	-2 %
20 %	2,53	-77 373 018	918 030	-1 %
10 %	2,32	-77 825 586	465 462	-1 %
0 %	2,11	-78 278 155	12 894	0 %
-10 %	1,90	-78 730 723	-439 675	1 %
-20 %	1,68	-79 183 291	-892 243	1 %
-30 %	1,47	-79 635 860	-1 344 811	2 %
-40 %	1,26	-80 088 428	-1 797 380	2 %
-50 %	1,05	-80 540 996	-2 249 948	3 %

Cena emisní povolenky má velice zanedbatelný vliv na výsledek čisté současné hodnoty. Pokud by se cena zvýšila o 50 %, na výsledek to má pouze 3 % vliv, což je velice málo. Je sice v cílech Evropské unie cenu povolenek zvyšovat, avšak je těžké předpokládat, že by v dohledné době došlo tak k rapidnímu zvýšení.

Tabulka 14 Citlivostní analýza: Cena energie

	Cena energie [Kč/kWh]	ČSH [Kč]	Absolutní změna [Kč]	Procentuální změna [%]
		-78 291 048		
50 %	4,56	-101 606 685	-23 315 636	30 %
40 %	4,26	-96 943 557	-18 652 509	24 %
30 %	3,95	-92 280 430	-13 989 382	18 %
20 %	3,65	-87 617 303	-9 326 255	12 %
10 %	3,35	-82 954 176	-4 663 127	6 %
0 %	3,04	-78 291 048	0	0 %
-10 %	2,74	-73 627 921	4 663 127	-6 %
-20 %	2,43	-68 964 794	9 326 255	-12 %
-30 %	2,13	-64 301 666	13 989 382	-18 %
-40 %	1,83	-59 638 539	18 652 509	-24 %
-50 %	1,52	-54 975 412	23 315 636	-30 %



Obrázek 20 Tornádo diagram: Výsledky citlivostní analýzy

Z tabulky 14 a obrázku 20 je vidět, že cena energie, kterou celý systém spotřebovává, má oproti všem vstupním parametrům na výslednou hodnotu ČSH vliv největší. Ale situace je stejná, jako u dvou předešlých vstupních parametrů, je těžké předpokládat, kdy dojde k poklesu cen energií, navíc i kdyby došlo k polovičnímu poklesu ceny, čistá současná hodnota sice vzroste o 30 %, ale stále vychází záporně, a to je pro podnik nepřijatelné. Její hodnota by byla – 54 975 412 Kč.

Z výsledku je jasné, že by investice při současných cenách nemohla být nikdy přijata. Pomoci by mohla dotační podpora, kterou bude vydávat evropská unie, aby napomohla s výstavbou těchto projektů. Proto se v dalším kroku bude studie zabývat výsledkem při použití dotační podpory.

10.2 Varianta s dotací a bez samostatného zdroje energie

Z důvodu negativních výsledků z předchozí varianty je dále analyzována varianta, která využívá dotační podpory. Energie by zde stále byla nakupována, jak to bylo u varianty předchozí.

Pokud dojde ke vzniku Vodíkové banky EU, předpokládá se maximální výše dotace 4 €/kgH₂, při použití kurzu na české koruny 23,4, je hodnota 93,6 Kč/kgH₂. Což znamená, že do tabulky ČSH bude vložen ještě jeden řádek s dotační podporou.

Tabulka 15 Dotační podpora

Dotace [Kč/kgH ₂]	93,6
Hmotnost vyrobeného vodíku [Kg/rok]	46 790
Dotační podpora [Kč/rok]	4 379 562,72

V kapitole 9.3.5 byl spočteno, že za daných podmínek vyprodukuje elektrolyzér ročně 46 790 kg vodíku. Celková dotace by ročně činila 4 379 526,72 Kč. (rovnice 10.17).

$$\begin{aligned} \text{Dotační podpora} \left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right] & \quad (10.17) \\ & = \text{dotace} * \text{hmotnost vyrobeného vodíku} \end{aligned}$$

$$\text{Dotační podpora} = 93,6 * 46\,790 = 4\,379\,562,72 \frac{\text{Kč}}{\text{rok}}$$

Při použití hodnot z tabulky 13, byl proveden výpočet ČSH (Tabulka 16). Výsledek je pozitivnější než u varianty bez dotace, ale výsledek stále vychází v záporných číslech. Čistá současná hodnota zde vychází – 48 089 642 Kč.

Tabulka 16 Vypočet ČSH (varianta s dotací)

Rok	0	1	2	...	20
Celkové výnosy [Kč]	0	2 659 702	2 659 702	...	2 659 702
Provozní náklady [Kč]	0	6 762 089	6 762 089	...	6 762 089
Dotační podpora [Kč]	0	4 379 563	4 379 563	...	4 379 563
Odpisy [Kč]	0	3 103 719	5 925 282	...	0
Hrubý zisk [Kč]	0	-2 826 543	-5 648 106	...	277 176
Daň [Kč]	0	-537 043	-1 073 140	...	52 663
Čistý zisk [Kč]	0	-2 289 500	-4 574 966	...	224 512
Cash-flow [Kč]	-56 431 258	814 219	1 350 316	...	224 512
Kum. CF [Kč]	-56 431 258	-55 617 039	-54 266 723	...	-41 219 071
Diskontní faktor	1,00	0,91	0,83	...	0,15
Diskontované CF [Kč]	-56 431 258	740 199	1 115 964		33 372
Diskontované CF [Kč]	-56 431 258	-55 691 059	-54 575 095	...	-48 089 642

Hrubý zisk zde byl vypočítán podle rovnice 10.18, kde byla přičtena dotační podpora. Jako příklad je uveden první rok investice. Jelikož dotace je příjem, musí být také následně zdaněna. Dále se postupuje stejně, jako v kapitole 10.1.4.

$$\begin{aligned}
 \text{hrubý zisk [Kč]} &= & (10.18) \\
 &= \text{celkové výnosy} - \text{provozní náklady} - \text{odpisy} \\
 &\quad + \text{dotační podpora}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{hrubý zisk} &= 2\,659\,702 - 6\,762\,089 - 3\,103\,719 + 4\,379\,563 \\
 &= -2\,826\,543 \text{ Kč}
 \end{aligned}$$

I při pomoci dotační podpory je investice nepřijatelná, hlavním důvodem je cena energie, která je vysoká a má největší vliv na celkovou cenu čisté současné hodnoty. Proto v následující části studie bude provedena analýza bodu zvratu.

10.2.1 Analýza bodu zvratu

V této části studie bude zjištěna, jaká musí být maximální hodnota cen energií, aby výsledná čistá současná hodnota byla alespoň rovna nule. Výsledek by mohl pomoci v následujícím rozhodování, zda by bylo možné s touto cenou něco udělat, aby byla investice přijatelná.

V tabulce 15 je ukázka čisté současné hodnoty, jejíž výsledek by byl po 20 letech životnosti investice roven 0. Z tabulky 18 vidět, že provozní náklady jsou v záporných číslech, je to z toho důvodu, že by se cena energií musela rovnat – 0,095 Kč/kWh. Tabulka provozních nákladů je vidět níže pod tabulkou čisté současné hodnoty (tabulka 17). Všechny hodnoty vyšly za pomoci řešitele v excelu.

Tabulka 17 Čistá současná hodnota (bod zvratu)

Rok	0	1	2	...	20
Celkové výnosy [Kč]	0	2 659 702	2 659 702	...	2 659 702
Provozní náklady [Kč]	0	-211 481	-211 481	...	-211 481
Dotační podpora [Kč]	0	4 379 563	4 379 563	...	4 379 563
Odpisy [Kč]	0	3 103 719	5 925 282	...	0
Hrubý zisk [Kč]	0	4 147 026	1 325 463	...	7 250 745
Daň [Kč]	0	787 935	251 838	...	1 377 642
Čistý zisk [Kč]	0	3 359 091	1 073 625	...	5 873 104
Cash-flow [Kč]	-56 431 258	6 462 810	6 998 907	...	5 873 104
Kum. CF [Kč]	-56 431 258	-49 968 448	-42 969 540	...	71 752 756
Diskontní faktor	1,00	0,91	0,83	...	0,15
Diskontované CF [Kč]	-56 431 258	5 875 282	5 784 221		872 999
Diskontované CF [Kč]	-56 431 258	-50 555 976	-44 771 755	...	0

Tabulka 18 Provozní náklady (bod zvratu)

Cena energie [Kč/kWh]	-0,095
Roční spotřeba elektrolyzéry [kWh]	2 222 908,82
počet strojů	1,00
Celková roční spotřeba investice [kWh]	2 222 908,82
Cena roční spotřebované energie [kč]	- 211 480,94

Je nerealistické předpokládat zápornou cenu energií. Zde se nabízí jediné řešení, a to je také, aby byla cena energie nulová. Řešením by mohlo být postavení spolu s elektrolyzérem fotovoltaickou elektrárnou s požadovaným výkonem. Proto se touto variantou bude studie zabývat dále.

10.3 Varianta s dotací a se samostatným zdrojem energie

Fotovoltaická elektrárna, která by sloužila jako zdroj energie, musí mít výkon 3,6 MWp. Tento údaj vychází podle České vodíkové technologické platformy, jak bylo řečeno v kapitole 9.3.5 [27].

Celkové investiční výdaje by se tedy zvýšily o 72 mil. Kč. Tato částka by byla přičtena k celkové investici výrobních zařízení vodíku a celkově by její hodnota činila 128 431 258 Kč. Částka by měla vliv na odpisy, jejíž hodnoty by byly jiné než v předchozích variantách. Fotovoltaická elektrárna patří do čtvrté odpisové skupiny. Proto se využije rovnoměrné odepisování po dobu 20 let. V prvním roce investice jsou odpisy rovny 2,15 % z ceny investice a v dalších letech 5,15 %. V tabulce 19 jsou výsledné hodnoty odpisů solární elektrárny a pod tabulkou je uveden výpočet pro první rok investice (rovnice 10.20).

Tabulka 19 Odpisy fotovoltaické elektrárny

Procento odpisu [%]	Odpis [Kč]
2,15 %	1 548 000,00
5,15 %	3 708 000,00

$$\text{Odpis v prvním roce [Kč]} = \text{cena investice} * \text{procento odpisu} \quad (10.20)$$

$$\text{Odpis v prvním roce} = 72\,000\,000 * 0,0215 = 1\,548\,000 \text{ Kč}$$

Provozní náklady je těžké určit, jelikož se liší podle místa, kde se solární elektrárna nachází, a proto nejdou jednoznačně určit. Jedná se například o náklady na údržbu, kam patří čištění samotných panelů, sekání trávy pod panely, aby nedocházelo ke stínění. V zimních měsících se jedná o čištění panelů od sněhu atd. Podle odborníků, kteří staví solární elektrárny, by se cena mohla pohybovat okolo 500 000 Kč za rok. (*Konzultace s firmou Environmental Invest s.r.o.*)

Cena energie se zde předpokládá nulová, jelikož si energie potřebná k fungování celého systému, bude vyráběna z vlastní solární elektrárny. V tabulce níže (tabulka 20) jsou ukázány celkové roční provozní náklady varianty s dotací a samostatným zdrojem energie.

Tabulka 20 Provozní náklady (fotovoltaická elektrárna)

Údržba elektrárny [Kč/rok]	500 000
Celkové provozní náklady [Kč/rok]	500 000,00

Zároveň by měl podnik možnost prodávat přebytky, které byly stanoveny v kapitole 9.3.5. Roční přebytky se rovnají 1 207,28 MWh. Pokud by byla využita cena, za kterou odkupuje společnost Pražská plynárenská, je tato cena 3 500 Kč/MWh. Roční přebytek je uveden v tabulce 21.

Tabulka 21 Cena ročního přebytku

Cena [Kč/MWh]	3 500,00
Přebytek k prodeji [MWh/rok]	1 207,28
Celkem [Kč/rok]	4 225 480,00

$$\text{Cena přebytku} \left[\frac{\text{Kč}}{\text{rok}} \right] = \text{cena} * \text{přebytek k prodeji} \quad (10.21)$$

$$\text{Cena přebytku} = 3500 * 1,207,28 = 4 225 480 \text{ Kč}$$

U této varianty byla také vypočítána čistá současná hodnota, ta je vidět v tabulce číslo 22. Zde vychází -42 142 625 Kč, což je také nepřijatelné. Pod tabulkou je ukázán výpočet hrubého zisku pro první rok.

Tabulka 22 Čistá současná hodnota (fotovoltaická elektrárna)

Rok	0	1	2	...	20
Celkové výnosy [Kč]	0	2 659 702	2 659 702	...	2 659 702
Provozní náklady [Kč]	0	500 000	500 000	...	500 000
Dotační podpora [Kč]	0	4 379 563	4 379 563	...	4 379 563
Odpisy [Kč]	0	3 103 719	5 925 282	...	0
Odpisy elektrárna [Kč]	0	1 548 000	3 708 000	...	3 708 000
Výkup přebytku [Kč]	0	4 225 480	4 225 480	...	4 225 480
Hrubý zisk [Kč]	0	6 113 025	1 131 462	...	7 056 744
Daň [Kč]	0	1 161 475	214 978	...	1 340 781
Čistý zisk [Kč]	0	4 951 550	916 485	...	5 715 963
Cash-flow [Kč]	-128 431 258	9 603 270	10 549 767	...	9 423 963
Kum. CF [Kč]	-128 431 258	-118 827 988	-108 278 222	...	70 359 541
Diskontní faktor	1,00	0,91	0,83	...	0,15
Diskontované CF [Kč]	-128 431 258	8 730 245	8 718 815	...	1 400 812
Kum. dCF [Kč]	-128 431 258	-119 701 013	-110 982 197		-42 142 625

$$\text{hrubý zisk [Kč]} = \quad (10.22)$$

$$= \text{celkové výnosy} - \text{provozní náklady} - \text{odpisy} \\ - \text{odpisy elektrárna} + \text{dotační podpora} \\ + \text{výkup přebytku}$$

$$\text{hrubý zisk} = 2\,659\,702 - 6\,762\,089 - 3\,103\,71 - 1\,548\,000 \\ + 4\,379\,563 + 4\,225\,480 = 6\,113\,025 \text{ Kč}$$

Tato varianta má mnohem rychlejší tendenci, aby se dostala do kladných čísel, ale počáteční investice je zde až příliš nákladná. Proto bude podrobena analýze nulových bodů, aby bylo zjištěno, při jakých cenách vstupních parametrů by se čistá současná hodnota u této varianty rovnala nule.

10.3.1 Analýza nulových bodů

V této kapitole budou postupně zjišťovány ceny vstupních parametrů, které by musely mít, aby ČSH přešla do kladných čísel. Bude využívána varianta s fotovoltaickou elektrárnou.

Prvním hlavním vstupním parametrem je cena elektrolyzéry. V tabulce 23 je celková cena investice, při které by čistá současná hodnota vyšla nulová. Cena elektrolyzéry je záporná, to znamená, že by podnik dostal elektrolyzér zadarmo, a ještě k tomu zaplaceno, což je nerealistické, a proto studie bude brát v potaz pouze třetinové snížení ceny elektrolyzéry.

Tabulka 23 Cena elektrolyzéry (nulový bod)

Položka	počet	Jednotková cena [Kč]	Konečná cena [Kč]
Elektrolyzér	1	- 10 830 234,09	- 10 830 234,09
Nízkotlaký buffer	2	2 258 880,00	4 517 760,00
Dusíkový podpůrný systém	1	5 331 498,00	5 331 498,00
Systém řízení	1	6 150 000,00	6 150 000,00
Služby spojené s instalací	1	3 700 000,00	3 700 000,00
Celkem			- 8 869 023,91

Dalším důležitým vstupním faktorem je cena zemního plynu, jejíž zvýšení by přineslo větší přínos investice. Její hodnota by musela činit 5,21 Kč/kWh, to je zvýšení o více než 300 %. Finanční úspora by činila skoro 9 mil. Kč ročně.

Níže v tabulkách jsou uvedeny přínosy investice při této ceně zemního plynu a výsledek čisté současné hodnoty (tabulky 24 a 25).

Tabulka 24 Finanční úspora (analýza nulových bodů) varianta zemního plynu

Spotřeba zemního plynu současný stav [kWh]	319 442 268,40
Roční produkce elektrolyzéry [kWh]	1 558 114,66
Spotřeba plynu s elektrolyzérem [kWh]	317 884 153,74
Cena zemního plynu [Kč/kWh]	5,21
Cena za plyn při současném stavu [Kč/rok]	1 664 027 182,34
Cena za plyn s elektrolyzérem [Kč/rok]	1 655 910 707,46
Úspora na zemního plynu [Kč/rok]	8 116 474,88
Měrná uhlíková stopa zemního plynu [kg CO ₂ /kWh]	0,20
Vyprodukované emise současný stav [kgCO ₂ /rok]	63 888 453,68
Vyprodukované emise s elektrolyzérem [kgCO ₂ /rok]	63 576 830,75
Rozdíl vyprodukovaných emisí [kgCO ₂ /rok]	311 622,93
Cena emisní povolenky [Kč/kgCO ₂]	2,10
Úspora na emisních povolenkách [Kč/rok]	654 408,16
Úspora celkem [Kč/rok]	8 770 883,04

Tabulka 25 ČSH (analýza nulových bodů) varianta zemního plynu

Rok	0	1	2	...	20
Celkové výnosy [Kč]	0	8 770 883	8 770 883	...	8 770 883
Provozní náklady [Kč]	0	500 000	500 000	...	500 000
Dotační podpora [Kč]	0	4 379 563	4 379 563	...	4 379 563
Odpisy [Kč]	0	3 103 719	5 925 282	...	0
Odpisy elektrárna [Kč]	0	1 548 000	3 708 000	...	3 708 000
Výkup přebytku [Kč]	0	4 225 480	4 225 480	...	4 225 480
Hrubý zisk [Kč]	0	12 224 207	7 242 644	...	13 167 926
Daň [Kč]	0	2 322 599	1 376 102	...	2 501 906
Čistý zisk [Kč]	0	9 901 607	5 866 541	...	10 666 020
Cash-flow [Kč]	-128 431 258	14 553 327	15 499 823	...	14 374 020
Kum. CF [Kč]	-128 431 258	-113 877 931	-98 378 108	...	169 360 678
Diskontní faktor	1,00	0,91	0,83	...	0,15
Diskontované CF [Kč]	-128 431 258	13 230 297	12 809 771	...	2 136 606
Kum. dCF [Kč]	-128 431 258	-115 200 961	-102 391 190		0

Dalším parametrem, který vstupuje do celého systému je cena emisních povolenek. Zde by nárůst ceny musel být opravdu veliký. Její cena by se z 2,1 Kč/kgCO₂ musela zvýšit až na 21,71 Kč/kgCO₂. To je vzrůst o více než 1000 %. Finanční úspora při použití této ceny je 8 770 889,15 Kč ročně (tabulka 26). Jelikož finanční úspora vychází stejně

jako ve variantě se zemním plynem, bude průběh čisté současné hodnoty stejný, jako v tabulce 25.

Tabulka 26 Finanční úspora (analýza nulových bodů) varianta emisních povolenek

Spotřeba zemního plynu současný stav [kWh]	319 442 268,40
Roční produkce elektrolyzéry [kWh]	1 558 114,66
Spotřeba plynu s elektrolyzérem [kWh]	317 884 153,74
Cena zemního plynu [Kč/kWh]	1,29
Cena za plyn při současném stavu [Kč/rok]	411 122 199,43
Cena za plyn s elektrolyzérem [Kč/rok]	409 116 905,86
Úspora na zemního plynu [Kč/rok]	2 005 293,57
Měrná uhlíková stopa zemního plynu [kg CO ₂ /kWh]	0,20
Vyprodukované emise současný stav [kgCO ₂ /rok]	63 888 453,68
Vyprodukované emise s elektrolyzérem [kgCO ₂ /rok]	63 576 830,75
Rozdíl vyprodukovaných emisí [kgCO ₂ /rok]	311 622,93
Cena emisní povolenky [Kč/kgCO ₂]	21,71
Úspora na emisních povolenkách [Kč/rok]	6 765 595,58
Úspora celkem [Kč/rok]	8 770 889,15

Následujícím parametrem, který vstupuje do této varianty je cena fotovoltaických panelů. Jejich cena by musela klesnout z 20 000 Kč/kWp na zhruba 7 302 Kč/kWp, to je snížení ceny o více než polovinu. V tabulce (tabulka 27) je ukázána celková cena fotovoltaické elektrárny, při které se čistá současná hodnota rovná nule. Níže je také ukázán průběh čisté současné hodnoty (tabulka 28), jelikož se liší od předchozích vstupních parametrů tím, že počáteční náklady jsou nižší.

Tabulka 27 Cena fotovoltaické elektrárny (analýza nulových bodů)

Cena za 1 kWp [Kč/kWp]	7 301,68
Potřebný výkon fotovoltaické elektrárny [kWp]	3 600,00
Cena fotovoltaické elektrárny [Kč]	26 286 045,81

Tabulka 28 ČSH (analýza nulových bodů) varianta fotovoltaické elektrárny

Rok	0	1	2	...	20
Celkové výnosy [Kč]	0	2 659 702	2 659 702	...	2 659 702
Provozní náklady [Kč]	0	500 000	500 000	...	500 000
Dotační podpora [Kč]	0	4 379 563	4 379 563	...	4 379 563
Odpisy [Kč]	0	3 103 719	5 925 282	...	0
Odpisy elektrárna [Kč]	0	565 150	1 353 731	...	1 353 731
Výkup přebytku [Kč]	0	4 225 480	4 225 480	...	4 225 480
Hrubý zisk [Kč]	0	7 095 875	3 485 731	...	9 411 013
Daň [Kč]	0	1 348 216	662 289	...	1 788 092
Čistý zisk [Kč]	0	5 747 659	2 823 442	...	7 622 921
Cash-flow [Kč]	-82 717 304	9 416 528	10 102 456	...	8 976 652
Kum. CF [Kč]	-82 717 304	-73 300 776	-63 198 320	...	107 387 844
Diskontní faktor	1,00	0,91	0,83	...	0,15
Diskontované CF [Kč]	-82 717 304	8 560 480	8 349 137	...	1 334 322
Kum. dCF [Kč]	-82 717 304	-74 156 824	-65 807 687		0

Jelikož je těžké předpokládat tak rapidní růst cen samotného zemního plynu, emisní povolenky a snížení cen za fotovoltaické panely, bude navržen pravděpodobný scénář kombinující změnu všech těchto parametrů v roce 2030.

Pokud by se přepokládalo, že náklady na fotovoltaické panely budou sníženy na polovinu, tedy jejich cena bude 10 000 Kč/kWp, zvýšení cen plynu 2 Kč/kWh, což je zvýšení o 50 %. Cena emisních povolenek by se uvažovala 140 €/t CO₂, hodnota vychází z kapitoly 6.3. Při přepočtu je hodnota emisní povolenky 3,276 Kč/kg CO₂. To je zvýšení cen emisní povolenky přibližně o 56 %. Dále by se uvažovalo snížení ceny elektrolyzéry o třetinu, jeho hodnota by byla 25 712 400 Kč. Tyto hodnoty do budoucna nejsou tak nereálné. Při těchto hodnotách by se investice podniku vyplatila a mohla by uvažovat o jejím provedení. V tabulce 30 je pak vypočtena čistá současná hodnota při použití těchto hodnot, která vychází 10 997 035 Kč.

Tabulka 29 Výsledky analýzy nulových bodů

Cena fotovoltaiky [Kč/kWp]	10 000
Cena zemního plynu [Kč/kWh]	2
Cena emisní povolenky [Kč/kgCO ₂]	2,76
Cena elektrolyzéry [Kč]	25 712 400

Tabulka 30 Čistá současná hodnota (výsledek analýzy nulových bodů)

Rok	0	1	2	...	20
Celkové výnosy [Kč]	0	4 137 106	4 137 106	...	4 137 106
Provozní náklady [Kč]	0	500 000	500 000	...	500 000
Dotační podpora [Kč]	0	4 379 563	4 379 563	...	4 379 563
Odpisy [Kč]	0	2 497 641	4 768 224	...	0
Odpisy elektrárna [Kč]	0	774 000	1 854 000	...	1 854 000
Výkup přebytku [Kč]	0	4 225 480	4 225 480	...	4 225 480
Hrubý zisk [Kč]	0	8 970 508	5 619 925	...	10 388 149
Daň [Kč]	0	1 704 396	1 067 786	...	1 973 748
Čistý zisk [Kč]	0	7 266 111	4 552 139	...	8 414 400
Cash-flow [Kč]	-81 411 658	10 537 752	11 174 363	...	10 268 400
Kum. CF [Kč]	-81 411 658	-70 873 906	-59 699 543	...	132 379 367
Diskontní faktor	1,00	0,91	0,83	...	0,15
Diskontované CF [Kč]	-81 411 658	9 579 775	9 235 011	...	1 526 332
Kum. dCF [Kč]	-81 411 658	-71 831 883	-62 596 872		10 997 035

10.4 Varianta s větrnou elektrárnou

Dalším pomocným faktorem, který by mohl zlepšit přínos investičním projektu do výroby zeleného vodíku, by mohlo být postavení větrné elektrárny, která by mohla zvýšit dobu činnosti elektrolyzéro v době, kdy není dostatek elektřiny z fotovoltaické elektrárny.

Dojde ke změnám u celkové ceny investice, která se zvýší o 32 mil. Kč. Celková hodnota investice bude tedy 160 431 258 Kč. Větrná elektrárna, stejně jako fotovoltaická, patří do čtvrté odpisové skupiny, proto bude výše těchto odpisů odlišná než v předchozích variantách (tabulka 31). Hodnota těchto odpisů vychází ze sečtení cen fotovoltaické a větrné elektrárny, která je 104 mil Kč.

Tabulka 31 Odpisy větrná a fotovoltaická elektrárna

Procento odpisu [%]	Odpis [Kč]
2,15 %	2 236 000,00
5,15 %	5 356 000,00

Dojde také ke změně finanční úspory, jelikož elektrolyzér vyprodukuje mnohem více energie, jak bylo stanovena v kapitole 9.3.6. Celková finanční úspora pro tuto variantu činí 2 885 981,03 Kč za rok.

Tabulka 32 Finanční úspora (fotovoltaická a větrná elektrárna)

Spotřeba zemního plynu současný stav [kWh]	319 442 268,40
Roční produkce elektrolyzáru [kWh]	1 690 674,30
Spotřeba plynu s elektrolyzárem [kWh]	317 751 594,10
Cena zemního plynu [Kč/kWh]	1,29
Cena za plyn při současném stavu [Kč/rok]	411 122 199,43
Cena za plyn s elektrolyzárem [Kč/rok]	408 946 301,61
Úspora na zemního plynu [Kč/rok]	2 175 897,82
Měrná uhlíková stopa zemního plynu [kg CO ₂ /kWh]	0,20
Vyprodukované emise současný stav [kgCO ₂ /rok]	63 888 453,68
Vyprodukované emise s elektrolyzárem [kgCO ₂ /rok]	63 550 318,82
Rozdíl vyprodukovaných emisí [kgCO ₂ /rok]	338 134,86
Cena emisní povolenky [Kč/kgCO ₂]	2,10
Úspora na emisních povolenkách [Kč/rok]	710 083,21
Úspora celkem [Kč/rok]	2 885 981,03

Změní se také dotační podpora (tabulka 33) a výkup přebytku (tabulka 34). Dojde k jejich zvýšení, jelikož v této variantě se vyrobí 50 771 kg vodíku za rok a přebytek je 1 348,49 MWh ročně.

Tabulka 33 Dotační podpora (fotovoltaická a větrná elektrárna)

Dotace [Kč/kgH ₂]	93,6
Hmotnost vyrobeného vodíku [Kg/rok]	50 771
Dotační podpora [Kč/rok]	4 752 165,60

Tabulka 34 Cena ročního přebytku (fotovoltaická a větrná elektrárna)

Cena [Kč/MWh]	3 500,00
Přebytek k prodeji [MWh/rok]	1 348,49
Celkem [Kč/rok]	4 719 715,00

Výsledek čisté současné hodnoty u této varianty je vidět v tabulce níže (tabulka 35), i po 20 letech životnosti investice je hodnota stále záporná, a tudíž pro podnik nepřijatelná. Její hodnota je -64 104 554 Kč. Dokonce dosahuje většího záporu než varianta, která uvažuje pouze fotovoltaickou elektrárnu. Důvod vzniku ještě většího záporu, než u předchozí varianty je proto, protože náklady, vynaložené na investici, jsou

příliš vysoké v porovnání s nízkým přínosem větrné elektrárny v místě, kde nejsou dobré povětrnostní podmínky.

Tabulka 35 ČSH (varianta fotovoltaická a větrná elektrárna)

Rok	0	1	2	...	20
Celkové výnosy [Kč]	0	2 885 981	2 885 981	...	2 885 981
Provozní náklady [Kč]	0	500 000	500 000	...	500 000
Dotační podpora [Kč]	0	4 752 166	4 752 166	...	4 752 166
Odpisy [Kč]	0	3 103 719	5 925 282	...	0
Odpisy elektrárna [Kč]	0	2 236 000	5 356 000	...	5 356 000
Výkup přebytku [Kč]	0	4 719 715	4 719 715	...	4 719 715
Hrubý zisk [Kč]	0	6 518 142	576 580	...	6 501 862
Daň [Kč]	0	1 238 447	109 550	...	1 235 354
Čistý zisk [Kč]	0	5 279 695	467 029	...	5 266 508
Cash-flow [Kč]	-160 431 258	10 619 415	11 748 312	...	10 622 508
Kum. CF [Kč]	-160 431 258	-149 811 843	-138 063 532	...	62 148 039
Diskontní faktor	1,00	0,91	0,83	...	0,15
Diskontované CF [Kč]	-160 431 258	9 654 013	9 709 348	...	1 578 968
Kum. dCF [Kč]	-160 431 258	-150 777 245	-141 067 896		-64 104 554

10.5 Varianta odkupu vodíku

Další možnou variantou, která by mohla nastat je ta, že by podnik pouze kupoval vyrobený zelený vodík. Podnik by nakupoval stejné množství, jako by vyrobila fotovoltaická elektrárna, tudíž 46 790, 2 Kg ročně. V tabulce 36 je vidět roční finanční úspora, která by byla při použití těchto kil vodíku. Hodnoty vycházejí za varianty 10.3, kde byla tato finanční úspora vypočítána.

Tabulka 36 Finanční úspora (varianta odkupu vodíku)

Úspora na zemním plynu [Kč/rok]	2 005 293,57
Úspora na emisních povolenkách [Kč/rok]	654 408,16
Úspora celkem [Kč/rok]	2 659 701,72

Jednoduchým výpočtem se stanoví, kolik by podnik mohl zaplatit za kilo vodíku, aby dosáhl právě takovéto finanční úspory (rovnice 10.23). Při těchto hodnotách by

podnik musel zaplatit 56,84 Kč/kg. Při srovnání s dnešní cenou vodíku, který v České republice stojí 278 Kč/Kg, je to částka výrazně nižší, proto se podniku za stávajících podmínek nevyplatí kupovat vodík za cenu 278 Kč/kg.

$$Cena\ vodíku\ \left[\frac{Kč}{kg}\right] = \frac{úspora\ celkem}{hmotnost\ vyrobeného\ vodíku} \quad (10.23)$$

$$Cena\ vodíku = \frac{2\ 659\ 701,72}{46\ 790,2} = 56,84\ \frac{Kč}{kg}$$

Pokud by se uvažoval stejný scénář pro rok 2030, tedy zvýšení ceny plynu a ceny emisní povolenky stejné jako v kapitole 10.3.1, celková finanční úspora potom činí 4 137 106,05 Kč za rok. Cena vodíku by tomto případě byla 88,42 Kč/kg. Všechny výsledné ceny jsou pro obsah vodíku v zemním plynu v rozmezí 0-6 %. Při této směsi mohou všechny výrobní zařízení, které používá podnik pracovat bez problému a nemusí být optimalizovány z důvodu použití jiného plynu.

11 Závěr

Diplomová práce byla zaměřena na ekonomické posouzení implementace zeleného vodíku v průmyslovém podniku. V první části práce byla popsána charakteristika vodíku a jeho stručná historie. Byly charakterizovány typy vodíku, konkrétně šedý, modrý a zelený. U každého typu byl uveden i proces jejich výroby, kde se největší pozornost zaměřovala na proces výroby zeleného vodíku, který je vyráběn elektrolyzérem fungující na principu elektrolýzy vody a je připojen na obnovitelný zdroj energie. Práce se také zabývá skladováním vodíku, kde nejčastějším typem je skladováním za pomoci vysokých tanků. Legislativní část věnuje pozornost hlavně zelenému vodíku a možným dotačním podporám, kde nejdůležitějším bodem je vznik evropské vodíkové banky. Část práce se také týká vývoje cen emisních povolenek, kde se předpokládá její postupné zvyšování do budoucích let. V závěru první části jsou pak uvedeny metody hodnocení investic, jako je rentabilita investice, doba návratnosti, čistá současná hodnota, vnitřní výnosové procento a index výnosnosti.

Druhá část práce byla zaměřena na samotné posouzení pěti variant. Byla stanovena spotřeba a cena zemního plynu v podniku a výše plateb za emisní povolenky. Byly stanoveny technicko-ekonomické vlastnosti výrobních strojů pro elektrolýzu zeleného vodíku, investiční a provozní náklady na fotovoltaiku a větrnou elektrárnu. Podle simulačního programu fotovoltaické elektrárny bylo zjištěno, kolik hodin v roce elektrolyzér pracuje na určité procento své výkonosti a byla zjištěna jeho produkce a spotřeba.

V první variantě, kde nebyla využita dotační podpora a zdroj energie pocházel z fotovoltaické elektrárny nedaleko výrobního závodu, vycházela čistá současná hodnota velice negativně. Důvodem byly velké provozní náklady. Svoji hodnotou překračovaly úsporu, kterou by investice přinesla. Dále byla provedena citlivostní analýza, kterou bylo zjištěno, že největší vliv na konečnou hodnotu čisté současné hodnoty má cena energií. V druhé variantě byla do výpočtu zahrnuta dotační podpora. Ta sice pomohla zvýšit ČSH investičního projektu, ale stále vycházela její hodnota záporná. Byl určen bod zvratu pro cenu energie, kde bylo zjištěno, jaká musí být hodnota cen energií, aby ČSH byla rovna nule. Výsledek této varianty vycházel v záporných číslech, což je nerealistické. Proto byly

analyzovány varianty se samostatným zdrojem energie, jakými jsou fotovoltaická elektrárna a větrná elektrárna. Čistá současná hodnota má u těchto variant nejrychlejší tendenci dostat se do kladných hodnot, ale její výsledek je stále záporný. Cena energie je u těchto variant sice nulová, avšak počáteční náklady, které je potřeba vynaložit na postavení těchto elektráren jsou stále pořád vysoké. U varianty s fotovoltaickou elektrárnou byla provedena analýza nulových bodů. Také byly nastaveny parametry pravděpodobného scénáře pro rok 2030 kde bylo zjištěno, že pokud by cena fotovoltaických panelů klesla o polovinu, cena emisních povolenek se zvýšila o 56 %, cena plynu o 50 % a cena elektrolyzéry by se snížila o třetinu, ČSH projektu by byla 10 997 035 Kč. U varianty s větrnou elektrárnou bylo zjištěno, že postavení větrné elektrárny spolu s fotovoltaikou, se jeví jako zbytečné, jelikož v oblasti, kde se podnik nachází nejsou vhodné povětrností podmínky. U poslední varianty byla stanovena cena zeleného vodíku, za kterou by ho podnik mohl nakupovat, aby se úspora plynu a povolenek vyrovnala. Při současné ceně zeleného vodíku by se ho nevyplatilo nakupovat.

Podniku, při použití cen stanovených ve studii, by se nevyplatilo do takovýchto projektů investovat. V budoucnu by však tyto projekty mohly přinést podniku užitek. Musí však nejprve dojít ke snížení nákladů na fotovoltaické panely. Cena emisních povolenek do budoucna určitě bude růst. Složitější situace je u ceny plynu a cen energií, jejíž hodnota se do budoucna těžko odhaduje. Zelený vodík představuje nejen udržitelnou energetickou alternativu, ale také posiluje konkurenceschopnost podniku a přispívá ke snižování emisí skleníkových plynů, což je v souladu s globálními environmentálními cíli.

Zdroje

- [1] Vodík. In: *Prvky.com* [online]. Praha: prvky.com, 2009 [cit. 2023-03-01]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/1.html#vlastnosti>
- [2] JOLLY, William Lee. Hydrogen. *Encyclopedia Britannica* [online]. 2022 [cit. 2023-03-02]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/hydrogen>
- [3] A study on hydrogen, the clean energy of the future: Hydrogen storage methods. *Journal of Energy Storage* [online]. 2021, (40), 10 [cit. 2023-03-02]. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X21004151?casa_token=Lx03WRNyn4sAAAAA:9esAoss_IURFZhDJFpDoRAYLvEQFucAz0qGpB1di76xcqCHMN6va1MauMq8W0r8jRtXadjM
- [4] JONAS, James. THE HISTORY OF HYDROGEN. In: *Altenergymag* [online]. altenergymag, 2009 [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.altenergymag.com/article/2009/04/the-history-of-hydrogen/555/>
- [5] Hydrogen in history. In: *The world of hydrogen* [online]. 2019 [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.theworldofhydrogen.com/gasunie/history/>
- [6] Questions and answers: A Hydrogen Strategy for a climate neutral Europe. In: *European Commission* [online]. Brusel: QANDA, 2020 [cit. 2023-03-08]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_20_1257
- [7] What is hydrogen and how is it made?. In: *The world of hydrogen* [online]. 2019 [cit. 2023-03-08]. Dostupné z: <https://www.theworldofhydrogen.com/gasunie/what-is-hydrogen/>
- [8] Green, Turquoise, Blue, or Grey? Environmentally friendly Hydrogen Production in Transforming Energy Systems. *Progress in Energy and Combustion Science*

- [online]. 2022, (100996), 28 [cit. 2023-03-08]. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128522000053?casa_token=AnCUja7vW9wAAAAA:cRTR8b6DqELVB5jC_7IdcZHRt-02NVK3iLwEg9Z8BA_kyfPGER5f7dOvCEg68MUx8wwYhkg
- [9] Green hydrogen as an alternative fuel for the shipping industry. *Current Opinion in Chemical Engineering* [online]. 2021, (31), 8 [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221133982030071X?casa_token=Vv_Oyrgd57cAAAAA:ZyPIWPFyVyEYYbkUzI0WwcuqmEztYGPeU_UnMB4v7o7kSvXLNC5bbD7bHCoeqdrIBLnb58k
- [10] Water electrolysis based on renewable energy for hydrogen production. *Chinese Journal of Catalysis* [online]. 2018, (39), 4 [cit. 2023-03-16]. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1872206717629498?casa_token=WQF5i8GaBPUAAAAA:QR4RSZvPLPwp9IJ2zIBU3Uq5qv99ph_SWw3grHhfKppyQcd1zWlyn74vCqObvML9mSOo5Wc
- [11] An overview of water electrolysis technologies for green hydrogen production. *Energy Reports* [online]. 2022, (8), 20 [cit. 2023-03-16]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722020625>
- [12] Výroba vodíku elektrolýzou vody. In: *Hydro race 4 school* [online]. 2019 [cit. 2023-03-16]. Dostupné z: <https://www.hydro-race.eu/V%C3%BDroba-vod%C3%ADku-elektrol%C3%BDzou-vody>
- [13] Storing Hydrogen. In: *Air Liquide* [online]. Air Liquide Energies [cit. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://energies.airliquide.com/resources-planet-hydrogen/how-hydrogen-stored>
- [14] Skladování vodíku. In: *Hydro race 4 school* [online]. Praha, 2019 [cit. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://www.hydro-race.eu/Skladov%C3%A1n%C3%ADvod%C3%ADku>

- [15] Hydrogen storage: Materials, methods and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2015, (50), 12 [cit. 2023-03-17]. Dostupné z:
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115004694?casa_token=CXMLpeK1JoMAAAAA:ikFv6ZuEs_aaxskwVdKvN54BaWR10LUqOOREDzWEsttStT4R7mW5vdDBF4hUeNTfdkmRurI
- [16] *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY, kterou se mění směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/2001, nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1999 a směrnice Evropského parlamentu a Rady 98/70/ES, pokud jde o podporu energie z obnovitelných zdrojů, a zrušuje směrnice Rady (EU) 2015/652*. In: . Brusel, 2021, ročník 557.
- [17] SOCHOR, Jan. *Analýza: Definice různých druhů vodíků a přehled podmínek pro poskytování státní podpory v oblasti vodíkových projektů* [online]. In: . Praha: HYTEP, 2023, s. 17 [cit. 2023-04-17].
- [18] Pokyny pro státní podporu v oblasti klimatu, životního prostředí a energetiky na rok 2022. In: *Evropská komise* [online]. Brusel, 2022 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/cs/qanda_22_566
- [19] OBECNÉ NAŘÍZENÍ O BLOKOVÝCH VÝJIMKÁCH (GBER). In: *Úřad pro ochranu hospodářské soutěže* [online]. [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://www.uohs.cz/cs/verejna-podpora/obecne-narizeni-o-blokovych-vyjimkach-gber.html>
- [20] The European Hydrogen Bank Kickstarting the European hydrogen market. *Hydrogen Europe* [online]. 2023, 9 [cit. 2023-05-29]. Dostupné z: https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2023/03/2023.03_Hydrogen-Bank_H2Europe_paper.pdf

- [21] PROTIVÍNSKÝ, Tomáš. Jak fungují evropské emisní povolenky?. In: *Fakta o klimatu* [online]. 2021 [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: https://faktaoklimatu.cz/explainery/emisni-povolenky-ets?gclid=CjwKCAjw__ihBhADEiwAXEazJuro9qtLzovDD6qb3dxr7VEsUsrFUJV_qdQVJbPre26oIJFJ7FaR5BoCI-gQAvD_BwE
- [22] Principles of emissions trading. In: *Austrian Emission Trading Registry* [online]. Vienna: Austrian Emissions Trading Registry [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://www.emissionshandelsregister.at/en/emissionstrading/principlesemissionstrading>
- [23] Spalování směsí zemního plynu s vodíkem v domácích plynových spotřebičích – 1. část. In: *Tzbinfo* [online]. LABGAS, 2021 [cit. 2023-07-17]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-plynem/21952-spalovani-smesi-zemniho-plynu-s-vodikem-v-domacich-plynovych-spotrebicich-1-cast>
- [24] *Investiční controlling: Jak zhodnotit investiční záměry a řídit podnikové investice* [online]. Praha: Grada Publishing a.s., 2009 [cit. 2023-07-03]. ISBN 978-80-247-6748-2.
- [25] KOŽÍŠEK, Jan, Barbora STIEBEROVÁ a Miroslav ŽILKA. *Rozhodovací modely pro manažery v průmyslové praxi*. P. Praha: ČVUT, 2020. ISBN 978-80-01-06698-0.
- [26] Futures. In: *EEX* [online]. Leipzig: European Energy Exchange AG, 2023 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.eex.com/en/market-data/power/futures#%7B%22snippetpicker%22%3A%2228%22%7D>
- [27] SOCHOR, Jan. *Jak vyrobit obnovitelný vodík a pravidla veřejné podpory*. Praha, 2023.
- [28] Výkup elektřiny z fotovoltaiky. In: *1T* [online]. 1T, 2022 [cit. 2023-07-04]. Dostupné z: <https://1t.cz/vykup-elektřiny-z-fve>

Seznam obrázků

Obrázek 1 Typy vodíku dle barevnosti [7]	13
Obrázek 2 Schéma procesu SMR [8].....	14
Obrázek 3 Schéma procesu SMR-CCS [8]	15
Obrázek 4 Schéma získávání vodíku z OZE.....	16
Obrázek 5 Schéma procesu alkalické elektrolýzy vody [12].....	17
Obrázek 6 Schéma PEM elektrolýzy [12]	18
Obrázek 7 Schéma vysokoteplotní elektrolýzy [12].....	19
Obrázek 8 Příklad vysokotlakého skladování vodíku v plynné fázi [32]	20
Obrázek 9 Příklad skladování vodíku v kapalné formě [31]	21
Obrázek 10 Princip fungování emisních povolenek.....	24
Obrázek 11 Vývoj ceny emisní povolenky [33].....	25
Obrázek 12 Závislost množství CO ₂ na množství vodíku ve směsi se zemním plynem [23]	27
Obrázek 13 Graf roční spotřeby zemního plynu v podniku.....	32
Obrázek 14 Elektrolyzér 1,2MVA	34
Obrázek 15 Nízkotlaký buffer pro H ₂	36
Obrázek 16 Výkon fotovoltaické elektrárny v jednotlivých hodinách [27]	38
Obrázek 17 Ukázka simulovaných dat (hmotnost vodíku).....	40
Obrázek 18 Ukázka simulovaných dat (přebytky k prodeji)	42
Obrázek 19 Ukázka simulovaných dat (větrná elektrárna).....	44
Obrázek 20 Tornádo diagram: Výsledky citlivostní analýzy.....	56

Seznam tabulek

Tabulka 1 Ceny energií [26]	33
Tabulka 2 Technicko-ekonomické parametry elektrolyzéro	35
Tabulka 3 Technicko-ekonomické parametry nízkotlakého bufferu.....	36
Tabulka 4 Cena fotovoltaické elektrárny.....	37
Tabulka 5 Účinnost elektrolyzéro v roce	39
Tabulka 6 Celková cena investice	46
Tabulka 7 Odpisy	47
Tabulka 8 Finanční úspora.....	47
Tabulka 9 Provozní náklady.....	50
Tabulka 10 Výpočet ČSH	51
Tabulka 11 Citlivostní analýza: Cena elektrolyzéro.....	53
Tabulka 12 Citlivostní analýza: Cena zemního plynu.....	54
Tabulka 13 Citlivostní analýza: cena emisní povolenky	55
Tabulka 14 Citlivostní analýza: Cena energie	55
Tabulka 15 Dotační podpora.....	57
Tabulka 16 Vypočet ČSH (varianta s dotací)	58
Tabulka 17 Čistá současná hodnota (bod zvratu).....	59
Tabulka 18 Provozní náklady (bod zvratu).....	59
Tabulka 19 Odpisy fotovoltaické elektrárny.....	60
Tabulka 20 Provozní náklady (fotovoltaická elektrárna)	61
Tabulka 21 Cena ročního přebytku	61
Tabulka 22 Čistá současná hodnota (fotovoltaická elektrárna)	62
Tabulka 23 Cena elektrolyzéro (nulový bod).....	63

Tabulka 24 Finanční úspora (analýza nulových bodů) varianta zemního plynu.....	64
Tabulka 25 ČSH (analýza nulových bodů) varianta zemního plynu.....	64
Tabulka 26 Finanční úspora (analýza nulových bodů) varianta emisních povolenek.....	65
Tabulka 27 Cena fotovoltaické elektrárny (analýza nulových bodů).....	65
Tabulka 28 ČSH (analýza nulových bodů) varianta fotovoltaické elektrárny.....	66
Tabulka 29 Výsledky analýzy nulových bodů	66
Tabulka 30 Čistá současná hodnota (výsledek analýzy nulových bodů)	67
Tabulka 31 Odpisy větrná a fotovoltaická elektrárna.....	67
Tabulka 32 Finanční úspora (fotovoltaická a větrná elektrárna).....	68
Tabulka 33 Dotační podpora (fotovoltaická a větrná elektrárna).....	68
Tabulka 34 Cena ročního přebytku (fotovoltaická a větrná elektrárna).....	68
Tabulka 35 ČSH (varianta fotovoltaická a větrná elektrárna)	69
Tabulka 36 Finanční úspora (varianta odkupu vodíku).....	69