

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**VYUŽITÍ ODPADNÍCH VOD PRO VÝROBU
VODÍKU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracoval:

Bc. Vladislav Sveshnikov

Vedoucí práce:

Ing. Stanislav Frolík, Ph.D.

2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Sveshnikov Jméno: Vladislav Osobní číslo: 483365

Zadávací katedra: Katedra technických zařízení budov - K11125

Studijní program: B - Budovy a prostředí

Studijní obor/specializace: Budovy a prostředí - zaměření TZB

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Využití odpadních vod jako zdroje pro výrobu vodíku

Název diplomové práce anglicky: Usage of wastewater as a source for hydrogen production

Pokyny pro vypracování:

Teoretická část:

Současná situace ve výrobě, skladování, distribuci a využití vodíku jako paliva pro vytápění.

Praktická část:

Přehled na možnost využití odpadní vody pro výrobu vodíku.

Energetická a ekologická bilance výroby na vybraných objektech včetně koncepčního řešení systémů vytápění a hospodaření s vodou. 3D model systémů TZB ve vybraných objektech.

Seznam doporučené literatury:

Bc. Michal Bajtalon a Ing. Jiří Beranovský, Ph.D., MBA, „Akumulace přebytků z OZE do vodíku“.

P. Mastný, Obnovitelné zdroje elektrické energie, Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Stanislav Frolík, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 9.10.2023

Termín odevzdání DP v IS KOS: 8.1.2024

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze dne 8.1.2024

podpis.....

Vladislav Sveshnikov

PODĚKOVÁNÍ

Tímto chci poděkovat svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Stanislavu Frolíku, Ph.D. za odborné vedení, poskytnutí podkladů, připomínky a pomoc při vypracování mé diplomové práce.

Také bych chtěl poděkovat své rodině a kamarádům za podporu a trpělivost, kterou mi projevíli při vypracování této diplomové práce, ale také v průběhu celého studia.

Obsah

Abstrakt	
Klíčová slova.....	
Abstract.....	
Key words	
Úvod	1
Teoretická část	2
Výroba vodíku.....	2
Skladování vodíku.....	5
Distribuce vodíku	7
Praktická část.....	8
Údaje o zvolených objektech.....	8
Bytový dům.....	8
Administrativní budova	9
Školní budova.....	10
Okrajové podmínky.....	12
Výběr fotovoltaického panelu a vhodného sklonu a polohy	12
Bytový dům.....	17
Bilance.....	17
Ekonomické posouzení	19
Závěr	21
Administrativní budova	23
Bilance.....	23
Ekonomické posouzení	25
Závěr	27
Školní budova.....	29
Bilance.....	29
Ekonomické posouzení	31
Závěr	34
Hospodaření s kyslíkem.....	35
Závěr	36
Reference	38
Seznam literatury.....	38

Seznam obrázků	41
Seznam grafů	42
Seznam příloh	44

Abstrakt

Tato práce se věnuje problematice zpětného využívání odpadních vod pro výrobu vodíku v objektech prostřednictvím využití buď dešťové, nebo šedé vody. To by vedlo k úspoře pitné vody.

Práce popisuje možnosti výroby vodíku se soustředěním na výrobě zeleného vodíku. V praktické části se provádí bilance zpětně využitelné odpadní vody, kterou by bylo možné využít pro výrobu vodíku. Také se v práci provádí návrh koncepčního řešení daného systému pro vybrané budovy. Navíc se provádí odhad finančních nákladů pro výrobu, skladování a distribuce vodíku a následné porovnání s běžnými typy paliv.

Klíčová slova

Odpadní voda, dešťová voda, šedá voda, úspora pitné vody, vodík, výroba vodíku

Abstract

This thesis deals with the problematic of a wastewater reusage focusing on a hydrogen production by using rainwater or greywater. Such an approach has the potential to contribute significantly to the conservation of potable water resources.

The thesis presents possibilities of a hydrogen production focusing on a production of a green hydrogen. In the practical part of the thesis the evaluation of the possible amount of a wastewater that could be used for hydrogen production is done. Also, the conceptual design of that system on the chosen buildings is done. In addition, the cost estimation for the production, storing and distribution of the hydrogen system is made with a following up comparison with the common types of fuels.

Key words

Wastewater, rainwater, greywater, saving of a potable water, hydrogen, hydrogen production

Úvod

V současné době je velmi populární téma výroby a následného využití vodíku jako paliva pro vytápění a přípravu teplé vody v budovách. Vzhledem k tomu, že toto téma je ve vývojové fázi, celosvětově probíhají intenzivní diskuse o optimalizaci výroby vodíku, snížení nákladů a minimalizaci rizika spojeného se skladováním tohoto plynu. Při výrobě vodíku používáme vodu jako jeden ze zdrojů. Pokud se jedná o výrobu zeleného vodíku, vždy jde o to, že je použit obnovitelný zdroj energie. Řeší se to hodně, ale vždy se zanedbává zdroj vody. Proč bychom měli využívat při výrobě vodíku pitnou vodu, pokud máme odpadní, kterou můžeme zpětně použít i na tento proces?

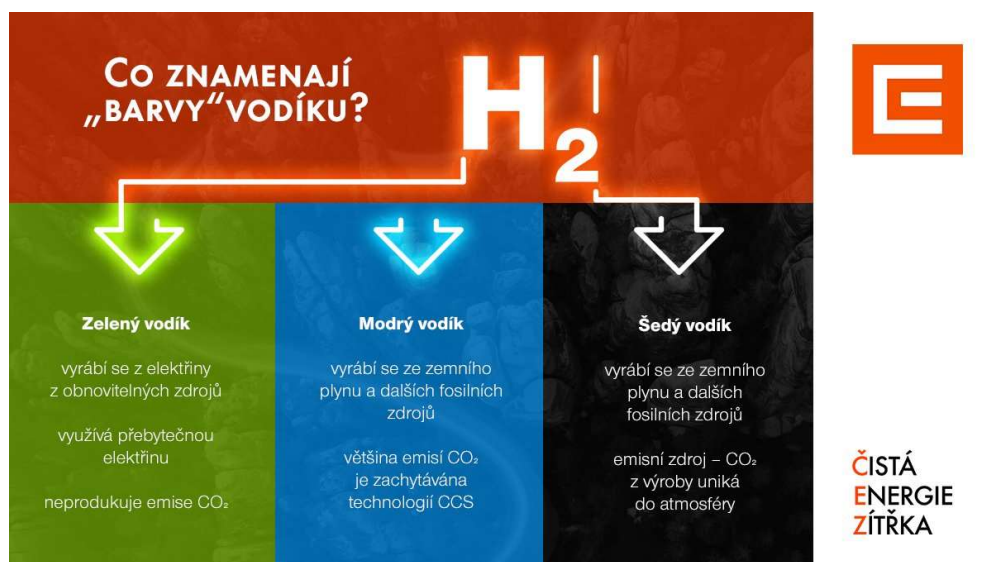
Tato práce si klade za cíl na příkladě zvolených objektů různých účelů provést roční bilanci a připravit koncepční návrh řešení systémů zpětného využití odpadních vod, vytápění a výroby a skladování vodíku. Na základě bilance se spočítá potenciální množství vyrobeného vodíku, náklady na výrobu a skladování a provede se ekonomické porovnání s běžnými typy paliv.

Teoretická část

Výroba vodíku

Vodík může být vyroben různými způsoby. Existují základní a rozšířené „barvy“ vodíku, ale každý stát může mít svoje „barevné“ schéma. Pro Českou republiku budeme uvažovat zatřídění podle společnosti Skupina ČEZ:

- Zelený vodík – tento vodík EU podporuje, je vyrobený elektrolýzou z obnovitelných zdrojů a neprodukuje emise CO₂
- Modrý vodík – je vyroben ze zemního plynu a dalších fosilních zdrojů a většina emisí CO₂ je zachytávána technologií CSS (Carbon Capture and Storage)
- Šedý vodík – je vyroben ze zemního plynu a dalších fosilních zdrojů, CO₂ z výroby uniká do atmosféry



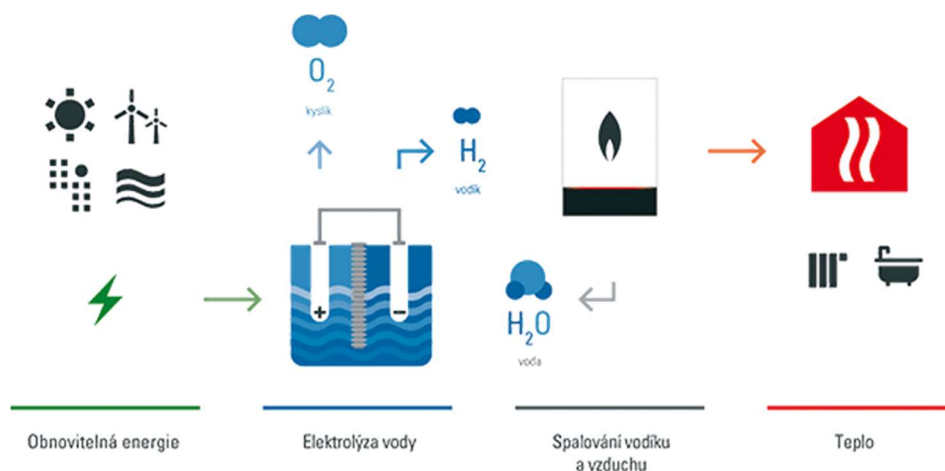
Obr. 1 – „Barvy“ vodíku dle Skupiny ČEZ [1]

Navíc existuje další „barva“ vodíku, kterou můžeme uvažovat pro Českou republiku.

- *Růžový vodík – využívá pro výrobu elektřinu z jádra. To je i případ ČR, která tak může využívat elektřinu ze svých elektráren v době mimo energetickou špičku. [2]*

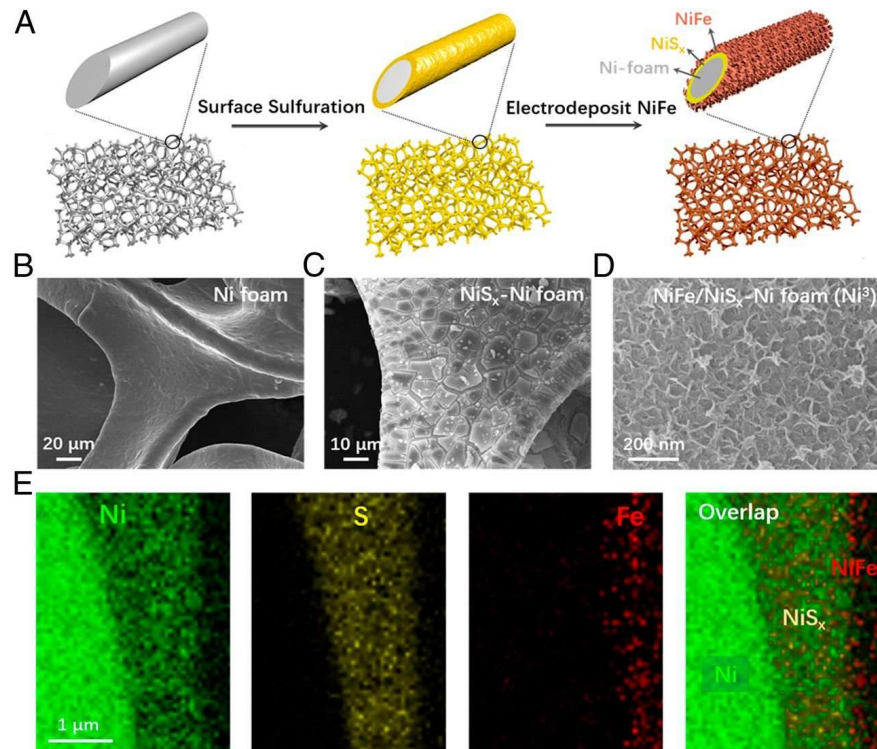
Tato práce se bude věnovat zelenému vodíku, který se vyrábí elektrolýzou pomocí obnovitelných zdrojů energie. „Při elektrolýze vody dochází v roztoku ke štěpení chemické vazby mezi vodíkem a kyslíkem za vzniku plynného vodíku a kyslíku. V současnosti se celková účinnost pohybuje okolo 50–60 % v závislosti na využití technologie elektrolyzátoru. Na výrobu 1 kg vodíku je potřeba cca 9 l vody a cca 50 kWh

elektrické energie.“ [3] Kromě potřeby elektrické energie, je potřeba zajistit určitou kvalitu vody. Jedná se o demineralizovanou vodu. „Na výrobu 1 kg vodíku a 8 kg kyslíku je potřeba 8,92 litrů demineralizované vody tzn. vody zbavené všech přítomných minerálů (ještě čistší než destilovaná voda). V praxi se ale celková spotřeba vody na 1 kg pohybuje mezi 20–30 litry“. [3] Finanční náklady pro tento proces jsou velmi nízké: „Voda potřebná pro produkci velmi čistého vodíku musí být demineralizovaná, tedy zbavená veškerých rozpuštěných látek a nečistot. Lze ji ale získat z prakticky jakéhokoliv vodního zdroje. Například proces desalinizace stojí dnes okolo 0,8 eur na 1 m³ vody. Pokud bychom přepočítali tento proces na produkci vodíku, stojí výroba vodíku z mořské vody o 0,007 eur více za 1 kg vodíku.“ [3]



Obr. 2 – Jednoduché schéma principu výroby a využití zeleného vodíku pro budovy [9]

Pokud bychom chtěli používat neupravenou vodu včetně mořské, potřebujeme změnit materiálové řešení anody a katody, abychom dosáhli větší odolnosti a životnosti. V roce 2019 fyzik Hongjie Dai s kolegy vyvinul vícevrstvou konstrukci anody a katody. Skládá se z vrstvy hydroxidu niklu a železa (NiFe), která je pokrytá vrstvou sulfidu niklu (NiS_x). Třetí vrstva je představena pórovitou niklovou pěnou. Taková konstrukce je schopná odolávat korozi během více než 1000 hodin elektrolýzy za běžných výkonech procesu. [4]



Obr. 3 – Ukázka konstrukce anody, odolné vůči korozi [4]

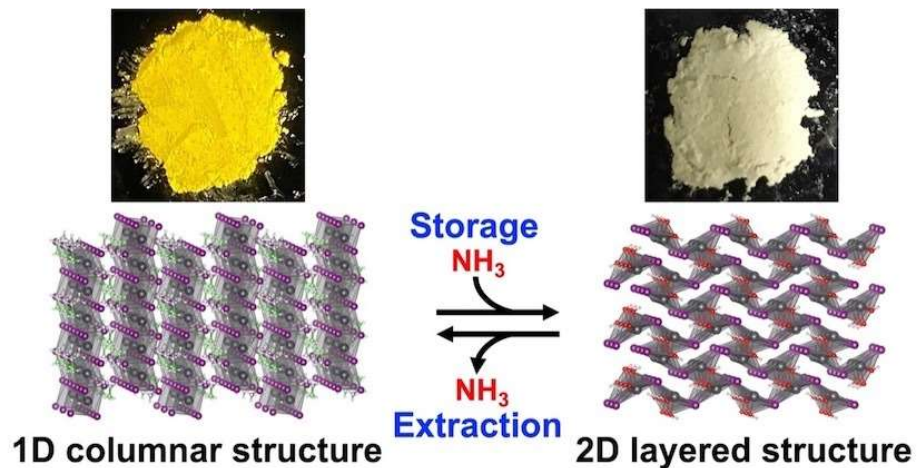
Výroba vodíku je již víceméně ověřený a technicky zajištěný proces. Současně dalším důležitým milníkem pro pokrok ve využití vodíku jako paliva a zdroje energie je jeho bezpečné a ekonomicky efektivní skladování.

Skladování vodíku

Vodík je velmi výbušným plynem. Pokud bychom ho chtěli skladovat ve zkapalněném stavu, potřebujeme zajistit teplotu -253 °C ve speciálním kryogenním zásobníku. „Při jeho manipulaci a využívání následně dochází k únikům, které se dějí následkem vypařování vodíku, který se takto chová při vyšší teplotě než -253 °C . Pouze na samotné zkapalnění je potřeba až 30–40 % celkově obsažené energie v palivu.“ [3] Takový proces je energeticky a ekonomicky náročný.

Dalším způsobem skladování vodíku jsou tlakové nádoby a zásobníky. Daná technologie skladování je již dlouhá leta ověřenou cestou pro skladování zemního plynu, propanu a butanu. „Stacionárně je vodík skladován ve velkoobjemových ocelových tlakových nádobách v plynném skupenství. Pro stlačení vodíku na 350 barů je potřeba cca 15–20 % energie v palivu. Moderní zásobníky jsou již vyrobeny z mimořádně pevných a neprodyšných materiálů, které umožňují bezpečné uskladnění s minimálními ztrátami uloženého vodíku (méně než 1 % ročně).“ [3]

Poslední novinkou ve skladování vodíku je červencové objevení japonských vědců. Masuki Kawamotovi a jeho výzkumnému týmu se podařilo najít způsob, jak skladovat vodík bezpečně a ekonomicky výhodně. Jedná se o skladování v molekule amoniaku pomocí sloučeniny ze skupiny perovskitů – perovskite *ethylammonium lead iodide* ($EAPbI_3$). Bylo odhaleno, že při pokojové teplotě a tlaku 1D struktura sloučeniny může reagovat s amoniakem, čím se přemění do 2D vrstevnaté struktury sloučeniny $Pb(OH)I$. Pro vysvobození molekuly ze sloučeniny ji stačí zahřát ve vakuu na 50 °C . Navíc navrácením do 1D struktury se původní sloučenina dá využít znovu. Bezpečnost takového skladování dělá i rozdíl barev mezi strukturami. Perovskit bez amonia má žlutou barvu a sloučenina $Pb(OH)I$ se změní na barvu bílou. Tím pádem pro kontrolu bezpečnosti je potřeba mít jednoduchý barevný senzor. [5] Daná technologie je nová, a ještě ji budou ověřovat, zda ji lze použít i v praxi..



Obr. 4 – Princip fungování technologií skladování vodíku v molekule amoniaku [5]

Pokud se jedná o velkokapacitní skladování vodíku, nejvhodnější variantou by bylo přizpůsobit podzemní zásobníky pro zemní plyn, aby tam bylo možné skladovat vodík. Rakouská společnost šla právě takovou cestou. Letos oznámila, že po dvou letech výzkumu se jim podařilo uvést do provozu první geologické úložiště vodíku ve světě. „*V tomto výzkumném projektu, jediném svého druhu na světě, je obnovitelná sluneční energie přeměněna na zelený vodík klimaticky neutrálním způsobem pomocí elektrolýzy a uložena v čisté formě v bývalých rezervoárech zemního plynu.*“ Podle generálního ředitele společnosti má tento zásobník kapacitu 4,2 GWh ve formě vodíku. Tento úspěch firma nepovažuje za dosažení cíle, ale za mezikrok. „*Toto geologické úložiště bude v budoucnu schopno přeměnit přebytky solární energie z letní sezóny z přibližně 1 000 rodinných domů na vodík a sezónně jej skladovat. Současně budou v reálných podmínkách na malém bývalém zásobníku zemního plynu prováděny mezioborové vědeckotechnické výzkumy pro energetickou budoucnost.*“ [6]

Téma velkokapacitních zásobníků nezbytně souvisí s tématem distribuce vodíku.

Distribuce vodíku

Pokud dojde ke scénáři, kdy vodík zdědí způsob skladování po zemním plynu a bude to převládající technologií skladování, je potřeba mít i spolehlivou distribuční síť. Vzhledem k fyzickým vlastnostem vodíku, je největším problémem materiálový návrh potrubí, aby nedocházelo k uniku a velkým ztrátám tohoto paliva. *„Německá vláda podporuje výstavbu 9 700 kilometrů dlouhé potrubní sítě pro přepravu vodíku po celé zemi a k sousedům, uvedlo německé ministerstvo hospodářství v tiskové zprávě. Síť propojí velká napájecí místa, kde se vodík bude buďto vyrábět nebo dovážet, například z Norska nebo Středomoří, s poptávkou například v průmyslových regionech. Německo bude podle předpokladů 30 až 50 procent potřebného vodíku vyrábět samo a zbytek dovážet.“* Zajímavým předpokladem je i to, že cca 60% potrubní sítě bude tvořeno stávajícím plynovodem. [7] Problémem stávající sítě může být nevhodnost materiálu z hlediska uniku vodíku potrubím. Naštěstí na jaře v Německu proběhl výzkum a jeho závěrem právě bylo: *„Ocelové potrubí instalované v německé plynárenské síti je vhodné pro přepravu vodíku. Plynovody nevykazují žádné rozdíly, pokud jde o základní vhodnost pro přepravu vodíku ve srovnání se zemním plynem. Provozní stárnutí i požadovaná lomová houževnatost splňují očekávání pro desítky let bezpečné dostupnosti.“* [8] Za vhodný materiál potrubí pro distribuce vodíku se považuje kov a plast.

Jednou z dalších možností rozvoje se může stát distribuce vodíku pomocí nákladních vozidel, jak je to realizováno pro propan a butan. Technologie přepravy by byla stejná, jen by se mohlo dojít ke změně materiálu a rozměrů nádrží, aby vodík byl skladován bezpečně. Tato možnost distribuce je co nejvíc navázaná na vývoj ve skladování vodíku v mobilních nádržích a zásobnících.

Praktická část

Jak již bylo zmíněno v teoretické části, pro výrobu zeleného vodíku elektrolýzou je potřeba mít obnovitelný zdroj energie a vodu. Během posledních 5 let bylo vydáno velké množství článků, které byly zaměřeny na toto téma. Bohužel, jenom malý podíl z nich se zabýval náhradou pitné vody za jiný zdroj H_2O . Pokud před elektrolýzou potřebujeme demineralizovat pitnou vodu, proč nevyužijeme na to odpadní vodu, třeba dešťovou nebo očištěnou šedou vodu? V této práci se soustředím na koncepční řešení výroby vodíku pomocí využití odpadních vod, resp. dešťové vody a očištěné šedé vody. Zároveň bude provedena roční bilance, která bude sloužit jako základ pro ekonomické vyhodnocení zavedením několika možných variant systému vytápění a přípravy teplé vody s využitím vodíku pro každou z vybraných budov. Pak bude provedeno porovnání ročních nákladů s běžnými typy paliv.

Údaje o zvolených objektech

Pro provedení koncepčního návrhu systému vytápění a hospodaření s vodou byly vybrány tři budovy s různým účelem: bytový dům, administrativní budova a školní budova. U každé budovy bylo předpokládáno stejné umístění: Praha 6.

Bytový dům

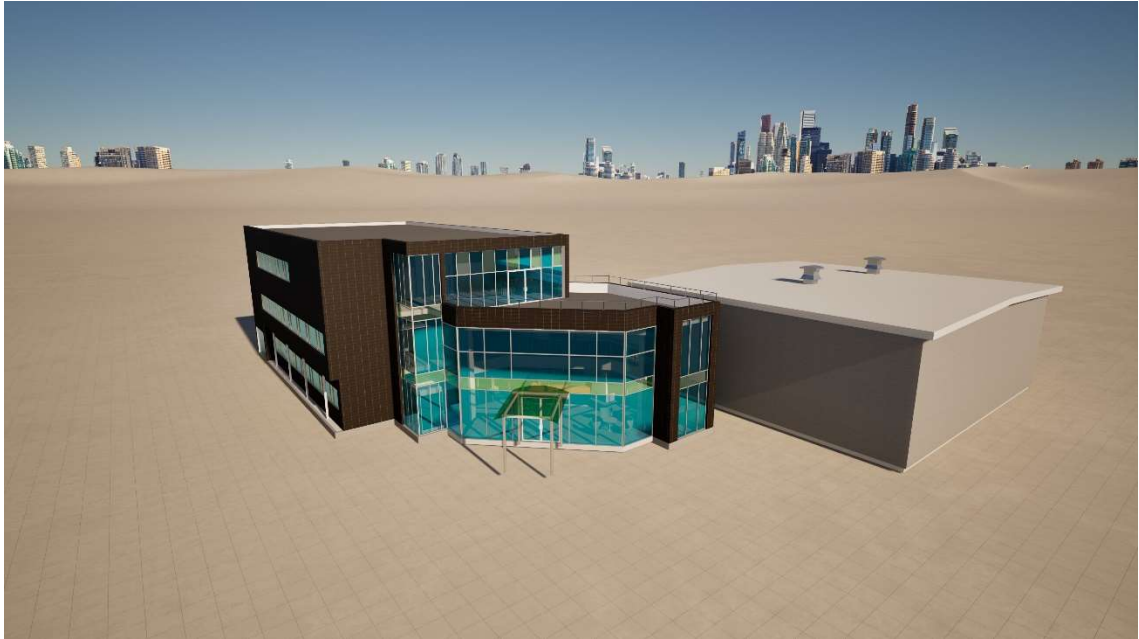
Jako referenční bytový dům byla zvolena budova z mé bakalářské práce. Jedná se o objekt s 4 nadzemními podlažími, není podsklepený, v 1NP se nachází technická místnost. Předpokládaný počet osob – 23. Objekt je založen na základových pásech, konstrukční systém je zděný, stěnový. Světlá výška činí 2,6 m. Plocha zahrady je 50 m². Úprava teplé vody v objektu je lokální – buď pomocí zásobníků teplé vody nebo průtokových ohřívačů. [11] Potřeba tepla na vytápění činí 49,8 MWh/rok. Vytápění je řešeno převážně systémem podlahového vytápění. V koupelnách jsou umístěna trubková otopná tělesa a na záchodech jsou malá otopná tělesa. Ve společných prostorech jsou umístěny patrové rozdělovače, v bytových jednotkách jsou bytové rozdělovače.



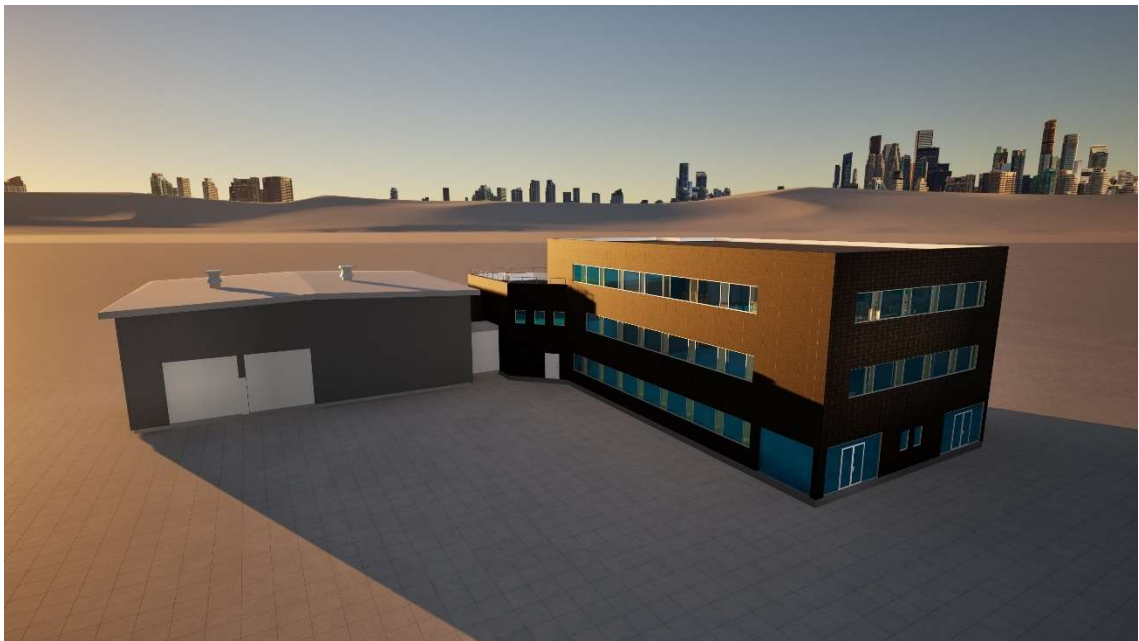
Obr. 5 – 3D pohled na referenční bytové domy

Administrativní budova

Zvoleným objektem je areál, který se skládá z administrativní budovy a s ní propojeného skladu. Administrativní budova má tři nadzemní podlaží a jedno pozemní podlaží vyhrazené pro parkování aut pracovníků. V tomto objektu se nachází technická místnost v podzemním podlaží. Spodní stavba je řešena bílou vanou. Konstruktivní systém budovy je monolitický stěnový. Světlá výška činí 2,7 m. Sklad je prefabrikovaným halovým objektem založeným na základové desce, s výškou objektu 6 m. V této budově se také nachází technická místnost. Potřeba tepla na přípravu teplé vody pro areál je 3,8 MWh/rok. Úprava teplé vody je centrální – pomocí zásobníku teplé vody v technické místnosti. Potřeba tepla na vytápění areálu je 52,8 MWh/rok. Vytápění v místnostech je řešeno deskovými otopnými tělesy. Čtyři místnosti s francouzskými okny jsou doplněny o podlahové konvektory. Rozdělovač je umístěn v technické místnosti. Předpokládaný počet osob – 50.



Obr. 6 – 3D pohled na referenční administrativní budovu



Obr. 7 – 3D pohled na referenční administrativní budovu z jiné strany

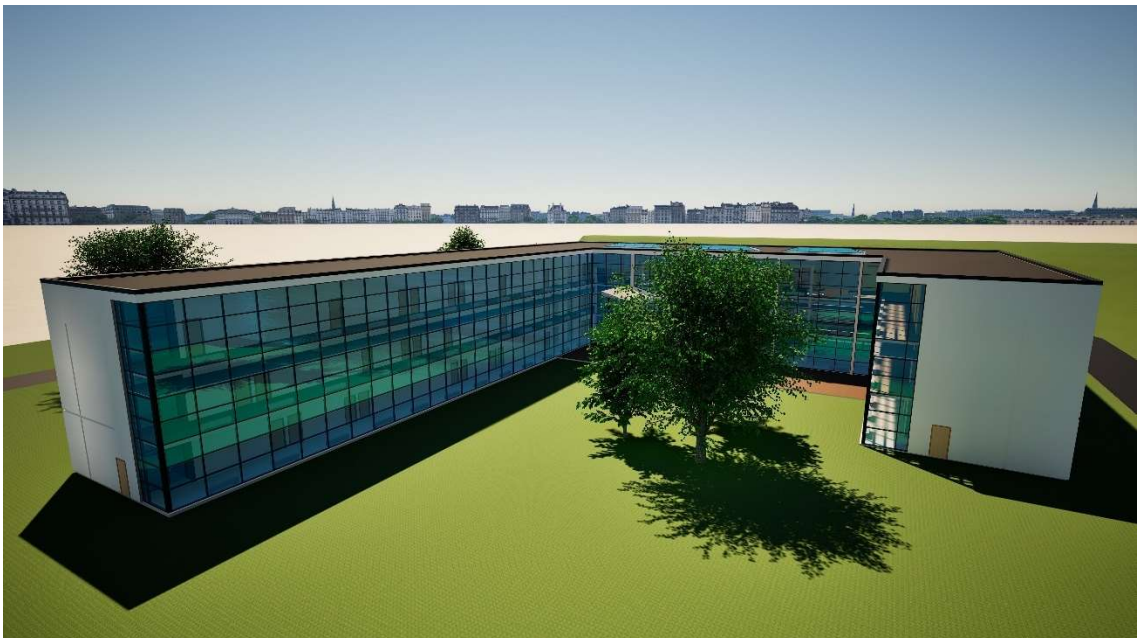
Školní budova

Referenční školní budovou je vzorový 3D model technické školy od společnosti *Autodesk*. [12] Objekt má 3 nadzemní podlaží, není podsklepený, založen na základové desce, navíc na prefabrikovaných základových pásech po obvodu. Konstruktivní systém je monolitický sloupový. Světla výška činí 2,6 m. Technická místnost je v každém podlaží. Potřeba tepla na přípravu teplé vody je 8,1 MWh/rok. Úprava teplé vody v objektu je centrální – pomocí zásobníku teplé vody v technické místnosti. Potřeba tepla na vytápění

je 300 MWh/rok. Vytápění v místnostech je řešeno převážně otopnými tělesy. Místnosti s lehkým obvodovým pláštěm jsou doplněny o podlahové konvektory. Bufety jsou vytápěny zcela podlahovými konvektory. Na chodbách jsou umístěny otopné lavice, plní účel nejen vytápění prostoru, ale i místa k sezení. V technických místnostech na každém podlaží jsou umístěny patrové rozdělovače. Předpokládaný počet osob – 250.



Obr. 8 – 3D pohled na referenční školní budovu



Obr. 9 – 3D pohled na referenční školní budovu z jiné strany

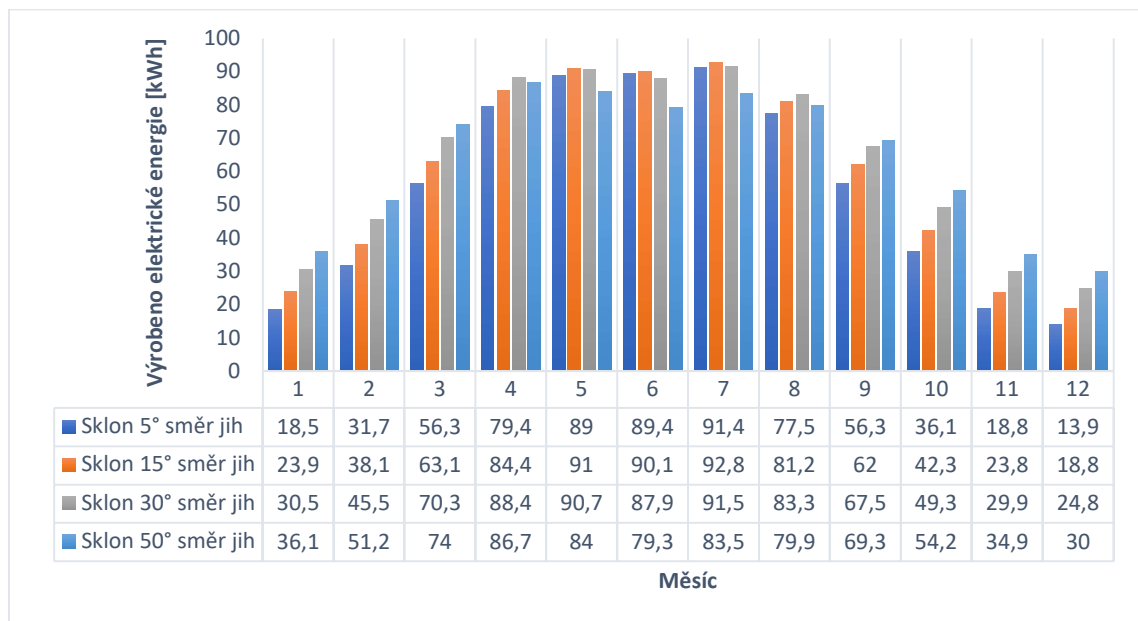
Okrajové podmínky

Pro výpočty ročních energetických a vodních bilancí byly stanoveny okrajové podmínky. Data o vyrobené šedé vodě v bytovém domě byla převzata z mé bakalářské práce. Výpočet ročního množství dešťové vody byl proveden pomocí vzorce: $Q_r [m^3] = \text{roční úhrn srážek} * \text{odtokový součinitel} * \text{plocha střechy}$. Pro výpočet množství vyrobeného vodíku byl převzat vztah ze stránek platformy Hytep: *Na výrobu 1 kg vodíku je potřeba cca 9 l vody a cca 50 kWh elektrické energie.* [3] Potřeba vody pro výrobu 1 kg vodíku byla upravena podle následující informace ze stejného zdroje: *V praxi se ale celková spotřeba vody na 1 kg pohybuje mezi 20–30 litry.* [3] Byla zvolena průměrná hodnota – Pro výrobu 1 kg vodíku potřebujeme 25 litrů vody a 50 kWh elektrické energie. Výhřevnost vodíku je 33 kWh/kg. Účinnost spalování vodíku ve formě plynu byla uvažována 60 %. Energie potřebná na skladování vodíku v tlakové nádobě se rovná 20 % energie paliva. [3] Zároveň bylo uvažováno, že při skladování vodíku se ztratí 1 % plynu. [3] Náklady na systém měření a regulace činí 10 % nákladů na pohon kompresoru. Servisní náklady činí 5 % celkových nákladů na výrobu a skladování vodíku. Cena silové elektrické energie k datu 27.11.2023 je 3,58 Kč/kWh. [13] Byla uvažována čista cena silové energie pro lepší ekonomický přehled. Paušální poplatek se hradí vždy a předpokládá se, že bude zahrnut v ceně pro běžné využití elektrické energie: běžné spotřebiče ze zásuvky, osvětlení apod. Cena vodného k datu 27.11.2023 je 65,42 Kč/m³. [14] Cena vodíku na čerpací stanici je 399 Kč/kg [15]. Cena dováženého vodíku dle studií je 4 USD/kg, což je 92 Kč/kg (uvažovaný měnový kurz 1USD = 23 Kč). [16] Doprava vodíku nákladním autem byla odhadnuta na základě ceny dopravy jiných plynů a rovná se 4 Kč/kWh. Tepelná ztráta objektů byla spočítána v softwaru *PROTECH* [19]. Následně pomocí online kalkulačky na webu tzb-info [20] byl proveden orientační výpočet ročních nákladů na vytápění a přípravu teplé vody běžnými typy paliv. Při ekonomickém posouzení s uvažováním vlivu degradace fotovoltaických panelů byl proveden pouze jednoduchý výpočet bez vlivu diskontního faktoru. Důvodem je stále nestabilní situace na trhu, kdy se nedá posoudit, zda ceny budou stoupat, klesat nebo zůstanou přibližně stejné.

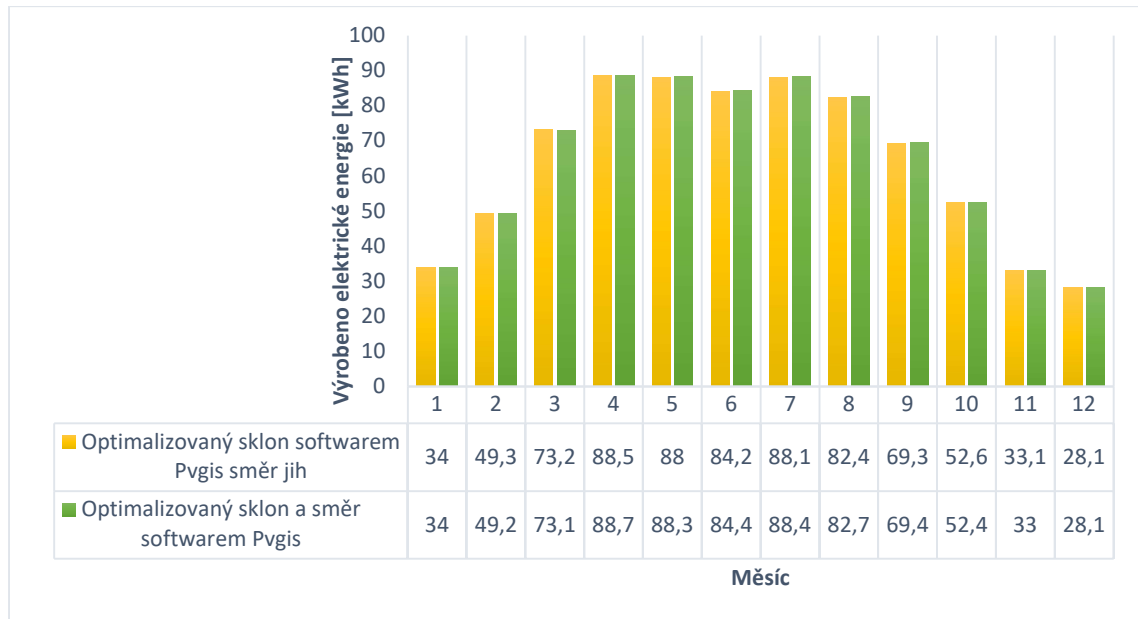
Výběr fotovoltaického panelu a vhodného sklonu a polohy

Vzhledem k tomu, že se jedná o výrobu zeleného vodíku, před výpočtem roční bilanci je potřeba si vybrat fotovoltaický panel. Byl zvolen jeden z nejvýkonnějších panelů od výrobce München Energieprodukte. Daný panel má uvedený výkon 700 Wp.

Kromě špičkového výkonu je důležité optimálně rozmístit fotovoltaický systém pro nejefektivnější výrobu elektrické energie. V softwaru *PVgis* byl proveden návrh různých variant rozmístění sklonu panelů. Byla také uvažována možnost využití systémů pro natočení panelů kolem různých os. Všechny varianty byly porovnány a byla zvolena nevhodnější z nich. Pro porovnání staticky umístěných panelů byly vybrány sklony: 5°, 15°, 30° 50°. Také byla zvolena možnost softwaru, která podle umístění objektu optimalizovala sklon panelu. Optimalizovaný sklon je 41°. Panely byly orientovány směrem na jih. Navíc byla přidána varianta s optimalizací nejen sklonu, ale i polohy panelů.

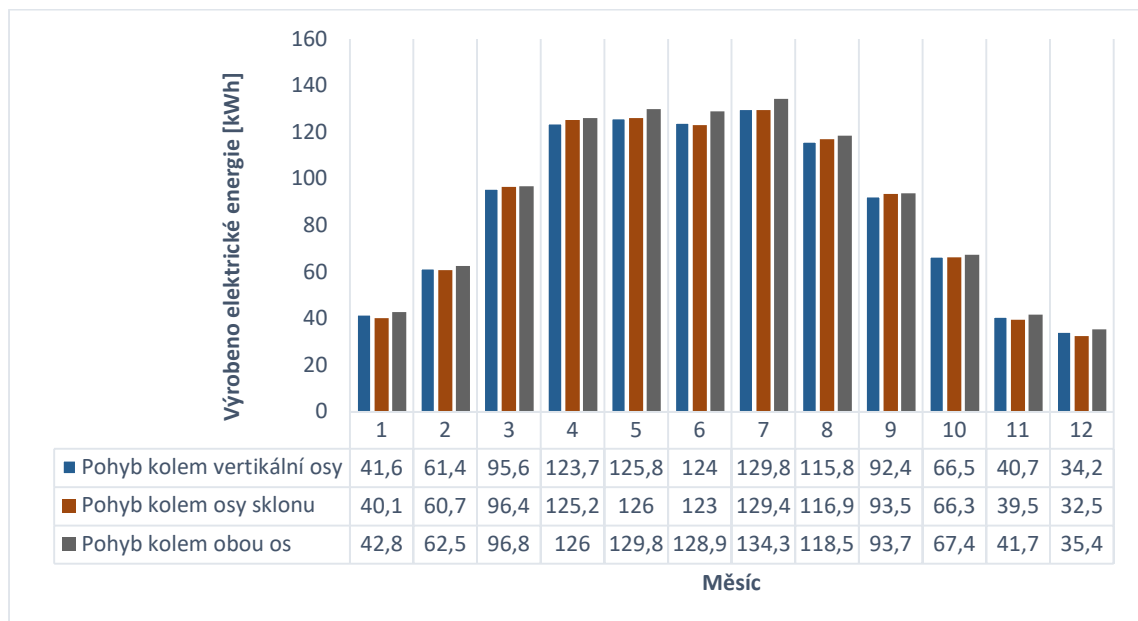


Graf 1 – Porovnání měsíční výroby elektrické energii pevně umístěnými panely, různé varianty sklonů



Graf 2 – Porovnání měsíční výroby elektrické energie pevně umístěnými panely, optimalizace softwarem *PVgis*

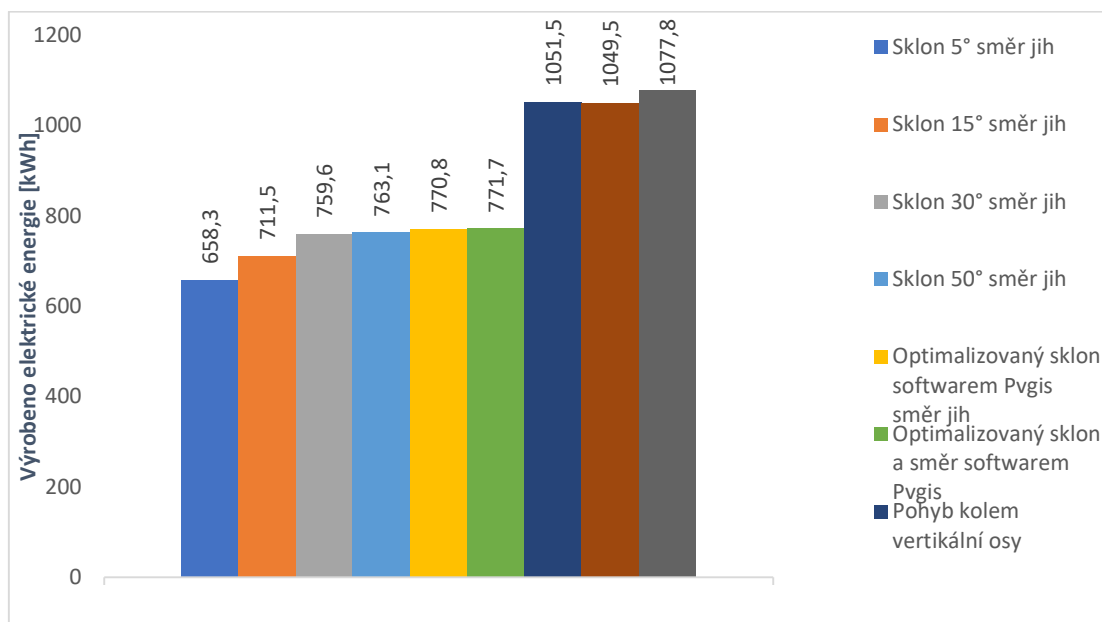
V případě pohyblivých systémů pro panely byly zvolené pouze optimalizované hodnoty sklonů pro jednoosý pohyb. Dvojosý pohyb nepotřebuje optimalizace ani zadání specifických hodnot, je řízen čidlem.



Graf 3 – Porovnání měsíční výroby elektrické energie pohyblivým systémem pro panely, optimalizace softwarem *PVgis*

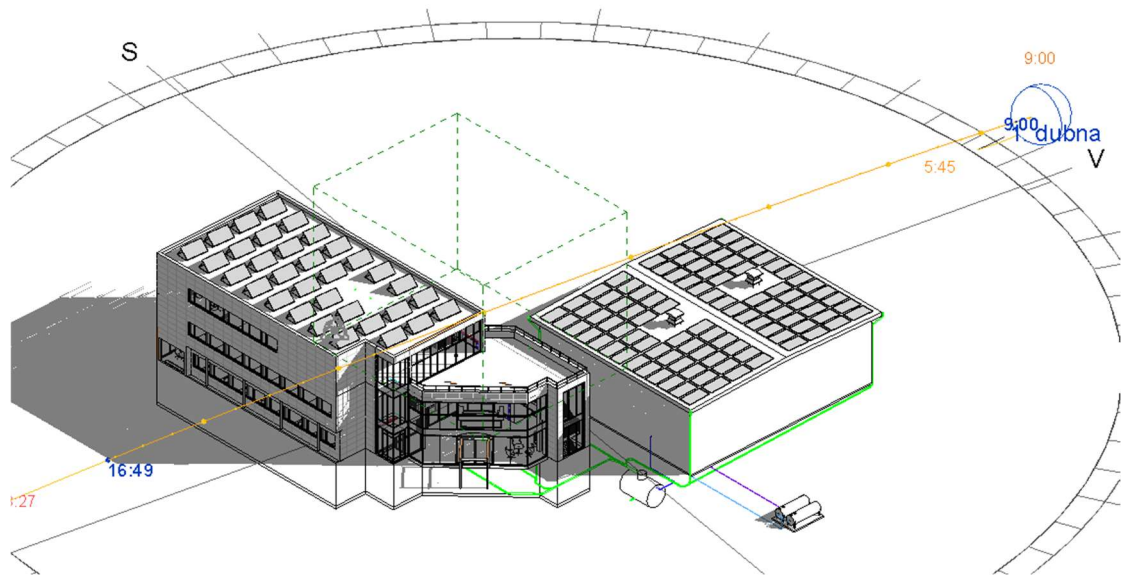
Podle výsledků roční výroby elektrické energie fotovoltaickými panely nejúčinnějšími jsou panely umístěné na systému s dvojosým pohybem. Mezi pevně

umístěnými panely je neúčinnější polohou ta, která byla optimalizována softwarem *PVgis*.



Graf 4 – Porovnání roční výroby elektrické energii mezi možnými variantami umístění fotovoltaických panelů

Problémem pohyblivých systémů může být vysoká vstupní investice. Navíc by to mohlo vést k přetížení střechy nebo snížení počtu osazených panelů na střeše, což by mohlo ovlivnit výkon celé fotovoltaické elektrárny. V této práci bude primárně uvažováno neúčinnější statické umístění panelů – optimalizované softwarem směr a sklon. Část střechy posuzovaného bytového domu a střecha skladu vedle administrativní budovy není plochá. Pro dané střechy umístění fotovoltaických panelů bude přizpůsobeno tvarům střech. Navíc pro správné umístění fotovoltaických panelů z hlediska odstupových vzdáleností byla použita novinka softwaru *Autodesk Revit 24 – studie oslunění*. Pomocí dané novinky byly fotovoltaické panely umístěny ve velkém počtu a během celého roku nebyl žádný panel stíněn o více než 10 % své plochy.



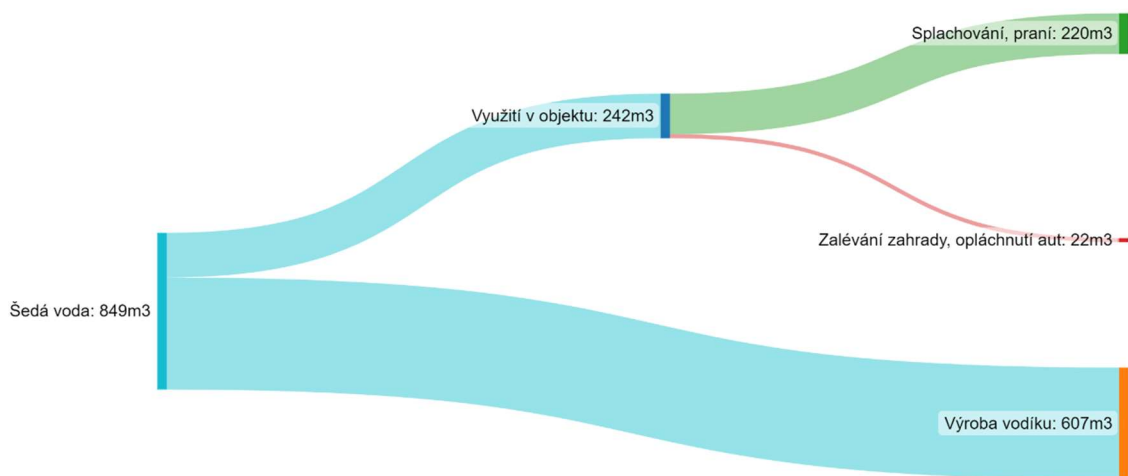
Obr. 10 – Ukázka nového doplňku „Studie oslunění“ v Revitu 24

V následujících kapitolách bude provedena roční bilance pro každou budovu zvlášť. Na to se naváže ekonomické posouzení a také porovnání nákladů oproti ostatním běžným typům paliv. Každá kapitola bude mít dílčí závěr.

Bytový dům

Bilance

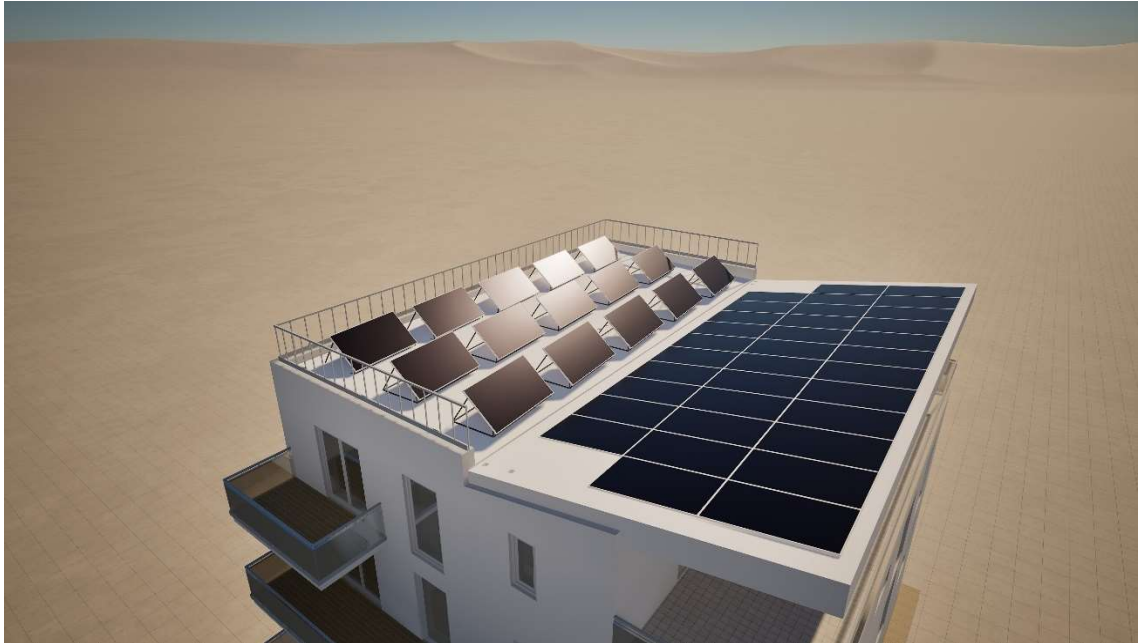
Na základě provedené ekonomické analýzy pro tento objekt nejvýhodnější technologií je zpětné využití očištěné šedé vody. Ročně by bylo možné vyrobit 849 m³ šedé vody, kterou by po vyčištění bylo možné použít nejen pro splachování, praní, zalévání zahrady a opláchnutí aut, ale i pro výrobu vodíku. Podle grafu je vidět, že pro typické potřeby v objektu je potřeba 242 m³ ročně. Zbytek se dá využít jako zdroj vody pro elektrolýzu.



Graf 5 – Bytový dům: předpoklad využití očištěné šedé vody podle roční bilance

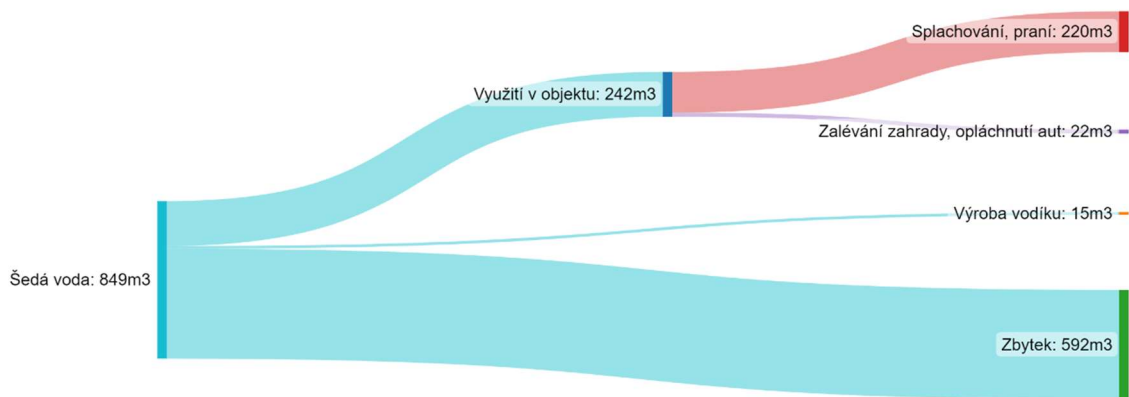
Kdybychom mohli využít takové množství odpadní vody pro výrobu vodíku, dokázali bychom potenciálně vyrobit skoro 24,3 tuny vodíku ročně.

Bohužel, je výroba zeleného vodíku omezena množstvím vyprodukované elektrické energie z obnovitelných zdrojů, resp. fotovoltaických panelů. Střecha bytového domu umožnila umístit celkem 49 panelů. Patnáct z nich byly umístěny na ploché části střechy v nejúčinnější poloze a každý panel ročně vyráběl 771,51 kWh elektrické energie. Umístění zbylých 34 panelů bylo přizpůsobeno druhé části střechy. Panely jsou umístěny na sever a pod sklonem 10°. Ročně každý panel vyrábí 550,86 kWh elektrické energie.



Obr. 10 – Bytový dům: umístění fotovoltaických panelů na střeše

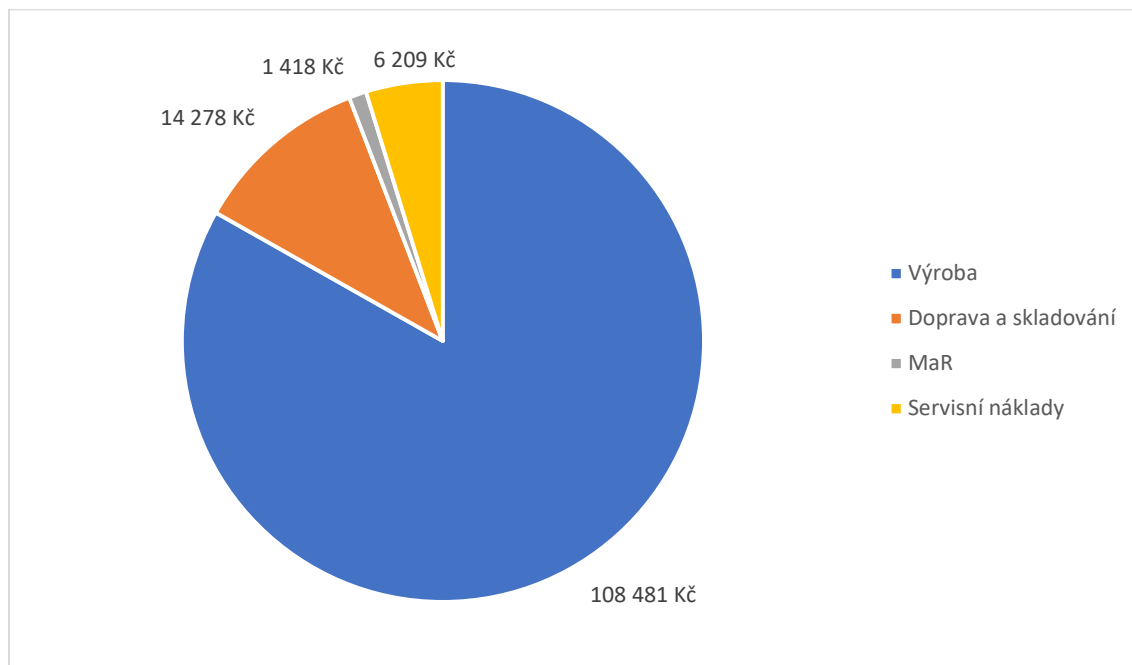
Celkem by tedy došlo k výrobě 30,3 MWh/rok elektrické energie. Z takového množství energie můžeme vyrobit 600 kg vodíku, což tvoří 2,5 % od potenciálního množství. Pro výrobu potřebujeme pouze 15 m³ vody. Tím bychom mohli pokrýt 24,8 % potřeby vodíku na vytápění. Zbytek paliva by mohl být dokoupen buď na čerpací stanici, nebo u distributora, až se taková možnost objeví.



Graf 6 – Bytový dům: skutečné využití očištěné šedé vody podle roční bilance

Ekonomické posouzení

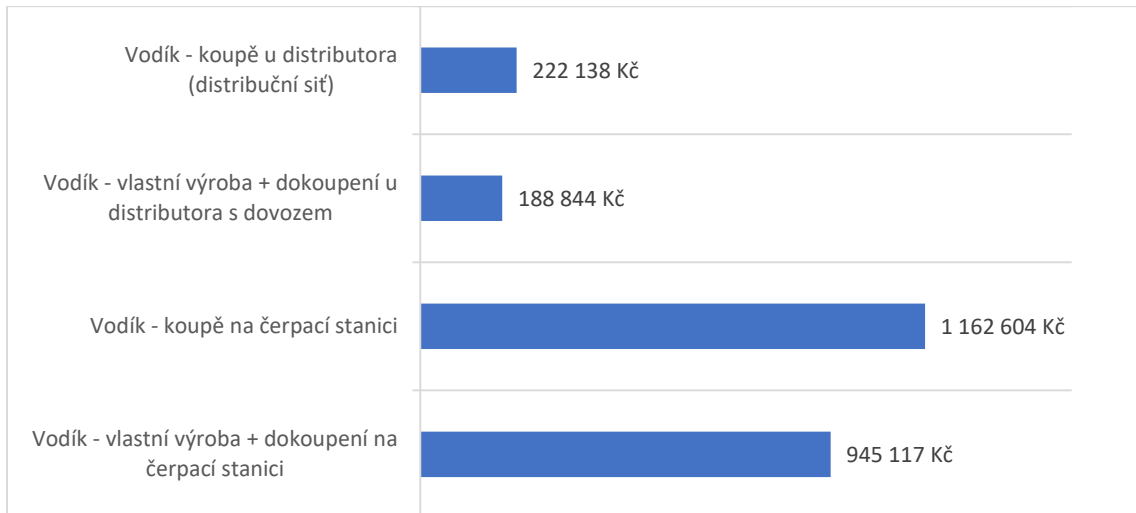
Pro ekonomické vyhodnocení je potřeba stanovit náklady na výrobu, skladování a dopravu vodíku, servisní náklady a také náklady na elektrickou energii pro systém měření a regulace.



Graf 7 – Bytový dům: vypočet ročních nákladu na údržbu systému pro výrobu a skladování vodíku

Náklady na výrobu vodíku – pohon elektrolyzérů jsou zajištěny fotovoltaickou elektrárnou. Podle grafu je vidět, že roční náklady jsou 21 905 Kč.

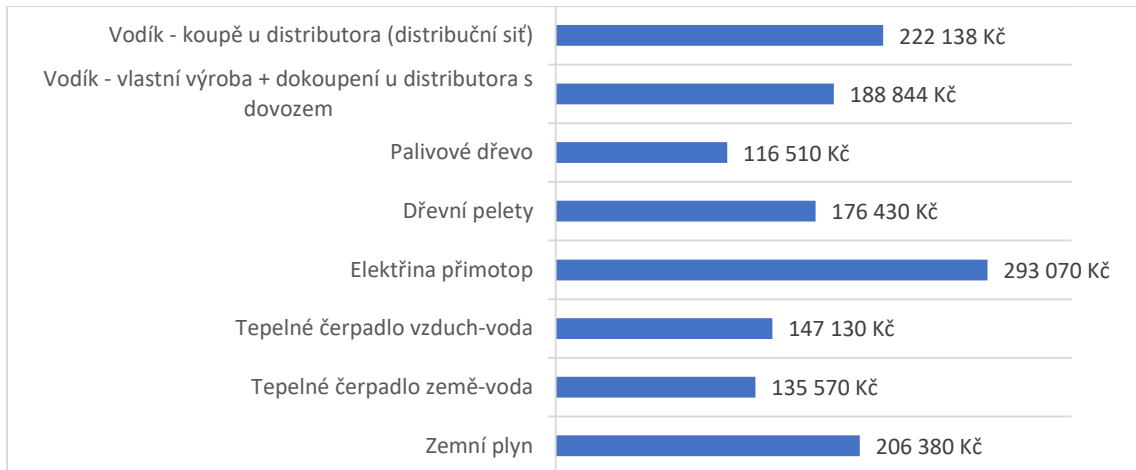
Pro ekonomické porovnání byly zvoleny 4 varianty: vlastní výroba vodíku + dokoupení zbytku u distributora, vlastní výroba vodíku + dokoupení zbytku na čerpací stanici, nákup celého množství u distributora, nákup celého množství na čerpací stanici. Poslední dvě varianty jsou zvoleny pro výzkum ekonomické vhodnosti i takové možnosti jako náhrada zemního plynu za vodík při použití plynovodní sítě. Výsledkem ekonomické simulace je graf, ve kterém se porovnávají 4 varianty.



Graf 8 – Bytový dům: porovnání variant výroby a dokoupení vodíku

Je vidět, že dvě nejlevnější možnosti jsou vlastní výroba s dokoupením u distributora a nákup celého množství u distributora. Zbylé dvě varianty nejsou ekonomicky výhodné.

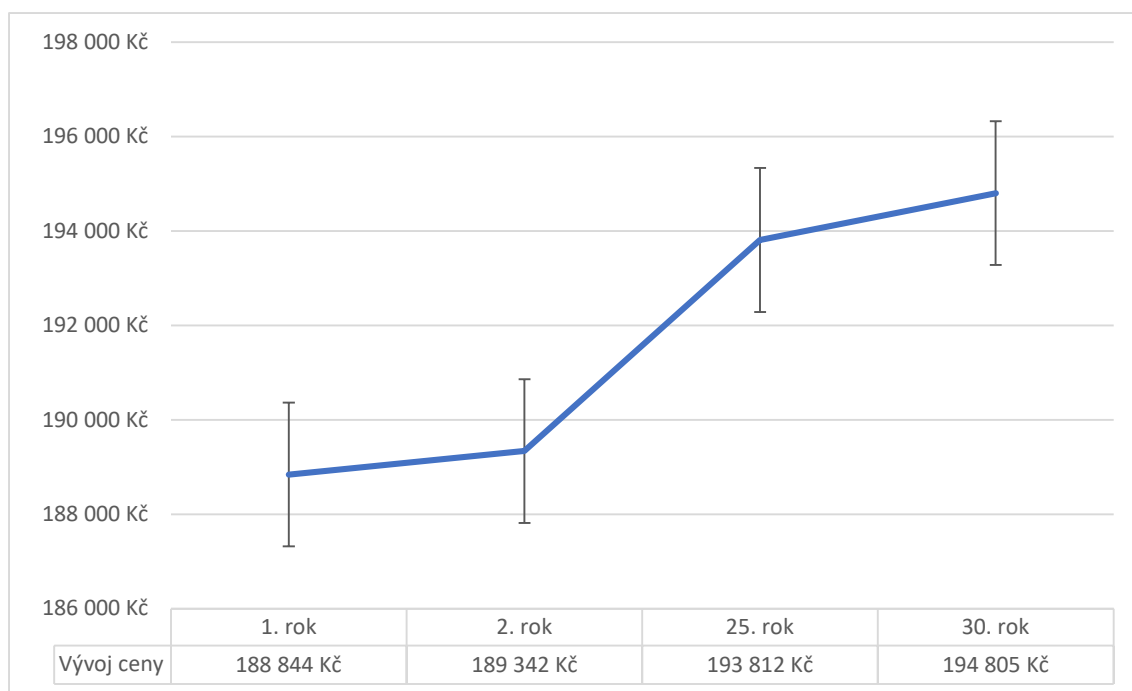
Při porovnání s typickými typy paliv je vidět, že pokud budeme vyrábět vodík a dokupovat u distributora zbytek, roční náklady budou o trochu dražší než náklady u kotle na dřevěné pelety. Pokud by vznikla distribuční síť s výměnou zemního plynu za vodík, na začátku by cena byla o trochu vyšší než současná cena za zemní plyn.



Graf 9 – Bytový dům: porovnání nákladů na vytápění vodíkem s běžnými typy paliv

Bohužel, fotovoltaické panely jsou náchylné k postupné degradaci během své životnosti. To znamená, že ročně bude klesat množství vlastně vyrobeného vodíku a bude růst množství paliva, které by bylo nutně dokoupit u distributora. Jak uvádí výrobce fotovoltaických panelů, po 30 letech využití panelů, dojde ke snížení maximálního výkonu o 12 %. Tím bychom ročně vyrobili o 72 kg méně vodíku. Podle následujícího grafu je vidět, že za předpokladu stejných cen za sílovou elektřinu a za vodík u

distributora, nedojde k růstu ceny za palivo více než o 3,5 %. Chybové úsečky jsou nastaveny na standardní chybu, což znamená, že nemůžeme být jistí, že nedojde k mimořádnému růstu nebo poklesu cen za palivo.



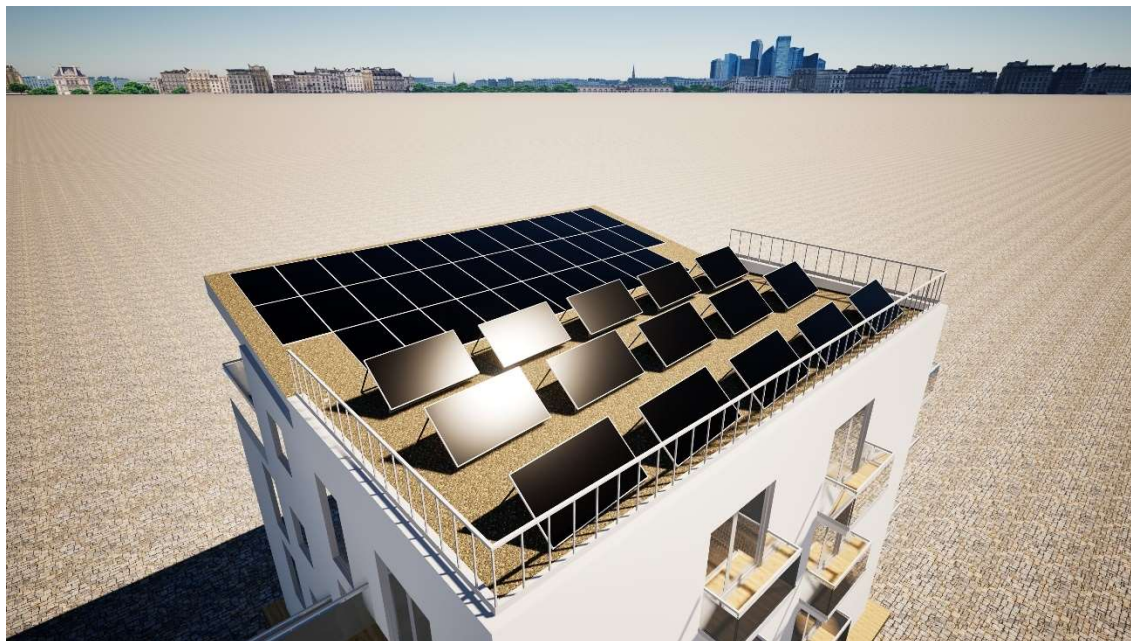
Graf 10 – Bytový dům: vývoj ceny za vodík při vlastní výrobě a dokoupení zbytku u distributora

Závěr

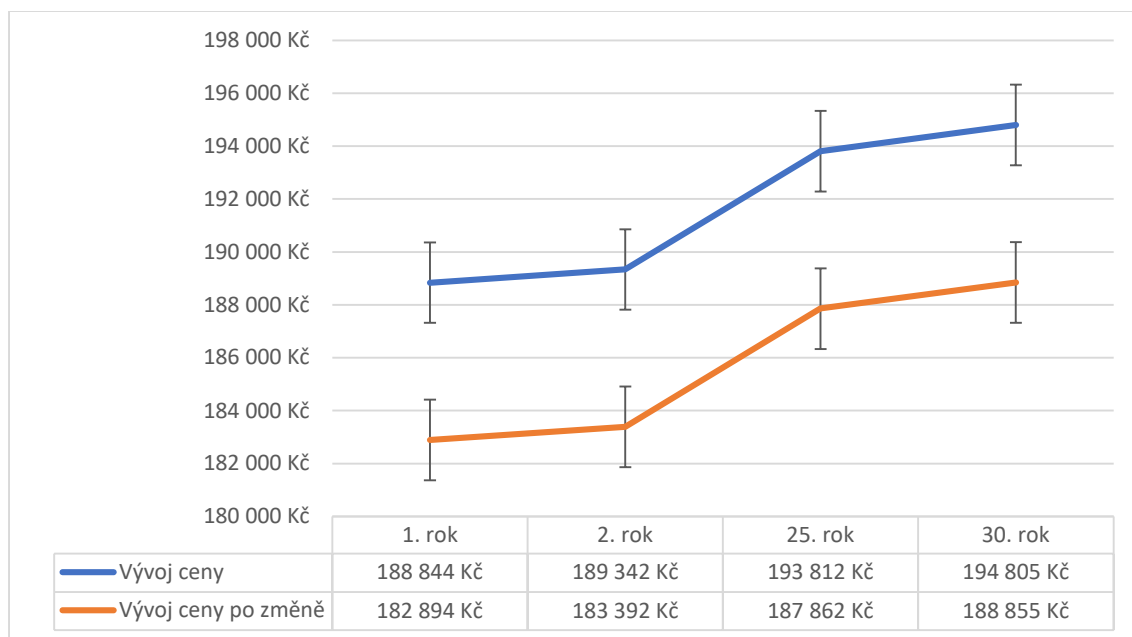
Po provedení roční bilance a ekonomického vyhodnocení lze říct, že vytápění zeleným vodíkem bytových domů je docela perspektivní cestou. Jedním z hlavních omezení je potřeba většího výkonu z fotovoltaických panelů pro zajištění většího podílu vlastně vyrobeného vodíku. Tím by došlo ke snížení nákladů na dokoupení paliva u distributora. Jednou z dalších možností zlepšení výsledků by mohlo být rozmístění fotovoltaických panelů na fasádě objektu. Bohužel, bytové domy se většinou nacházejí v zastaveném území, kde fasáda docela často bývá stíněna ostatními objekty. Díky tomu investice do takového malého navýšení množství vyrobené elektrické energie nebude zajímavou.

Pokud se jedná o předběžný návrh budovy, bylo by možné prostě otočit budovu o 180° a tím by panely na střeše pod sklonem 10° byly orientovány na jih. Panely na ploché střeše by zůstaly v optimalizované poloze. Došlo by k větší výrobě elektrické energie. Povedlo by si vyrobit o 4625 kWh víc energie, což je 92,5 kg vodíku. Tím by došlo k úspoře přibližně 5 950 Kč ročně. Tato jednoduchá úprava by přispěla k lepším

ekonomickým výsledkům ve variantě s vlastní výrobou a dokoupením u distributora a cenově by se to přiblížilo ročním nákladům pro kotel na dřevěné pelety.



Obr. 12 – Bytový dům: umístění fotovoltaických panelů po otočení budovy na 180°



Graf 11 – Bytový dům: změna vývoje ceny po změně orientace objektu

Administrativní budova

Bilance

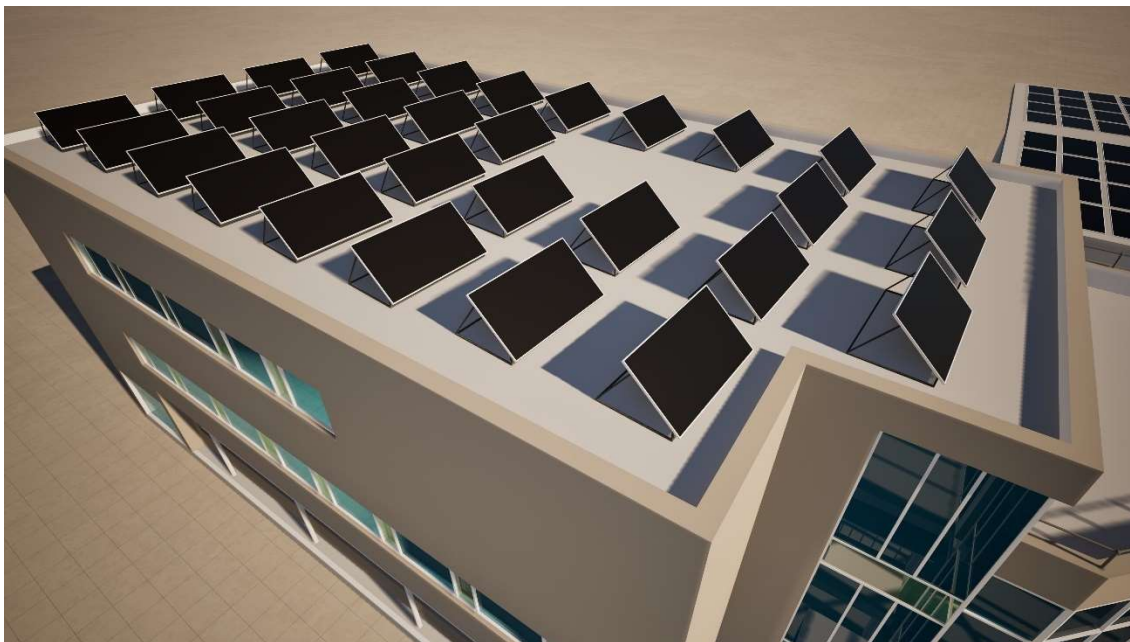
Vzhledem k účelu budovy a počtu zařizovacích předmětů, které by mohly produkovat šedou vodu, by tato technologie nebyla ekonomicky vhodná. Administrativní budova se skladem disponuje velkou plochou střechy, což je 925 m². Zavedení technologie pro hospodaření s dešťovou vodou by bylo vhodnějším řešením. Podle výpočtu ročního množství zachycené srážkové vody můžeme produkovat 401 m³ dešťové vody pro zpětné využití v areálu. Roční potřeba vody v objektech na splachování je 100 m³. To znamená, že zbylých 301 m³ by bylo možné využít pro výrobu vodíku.



Graf 12 – Administrativní budova: předpoklad využití dešťové vody v areálu podle roční bilance

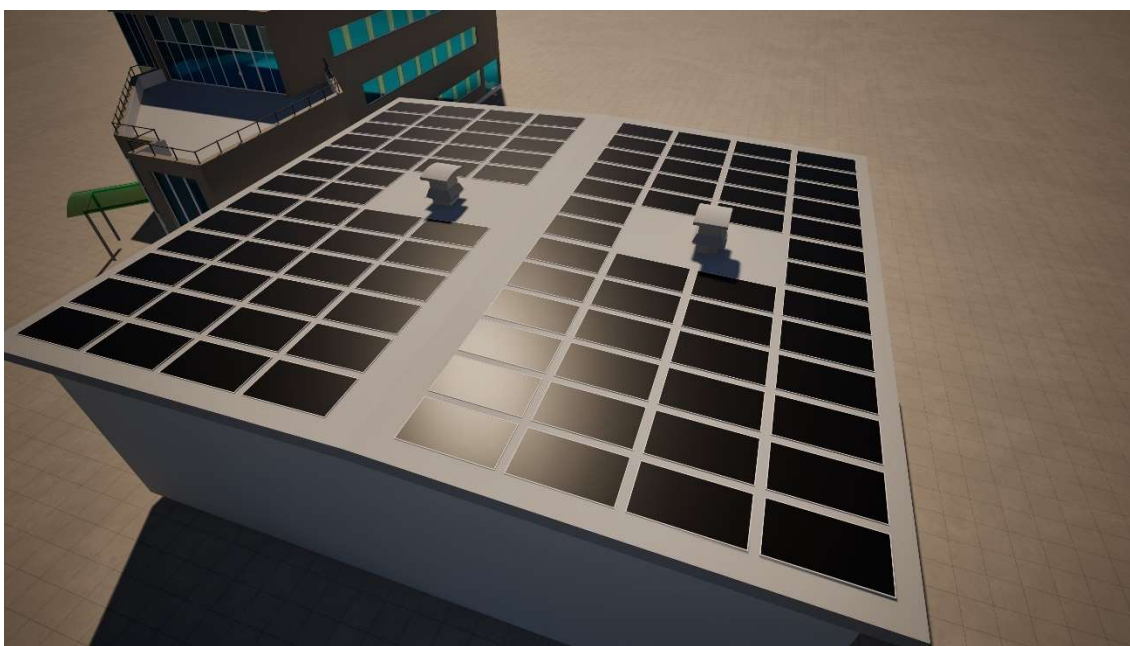
Pokud by došlo k plnému využití tohoto množství, mohli bychom vyrobit 12,04 tuny vodíku.

Pro stanovení reálného množství vyrobeného zeleného vodíku je potřeba uvažovat množství produkované elektrické energie fotovoltaickou elektrárnou. Jednou z výhod takové obrovské střešní plochy je možnost umístění velkého množství fotovoltaických panelů.



Obr. 13 – Administrativní budova: umístění fotovoltaických panelů na střeše administrativní budovy

Na střeše administrativní budovy bylo umístěno 33 fotovoltaických panelů v nejučinnější poloze. Střecha skladu na sebe umístila 96 panelů pod sklonem 2° : 48 z nich jsou orientovány směrem na východ a 48 – směrem na západ.



Obr. 14 – Administrativní budova: umístění fotovoltaických panelů na střeše skladu

Celkem ročně by došlo k výrobě 85,3 MWh elektrické energie. Z takového množství energie můžeme vyrobit 1689 kg vodíku, což tvoří 14 % od potenciálního množství. Pro výrobu potřebujeme 42 m^3 vody. Tím bychom mohli pokrýt 61,5 % potřeby vodíku na vytápění a přípravu teplé vody v areálu. Stejně jako pro bytový dům zbytek

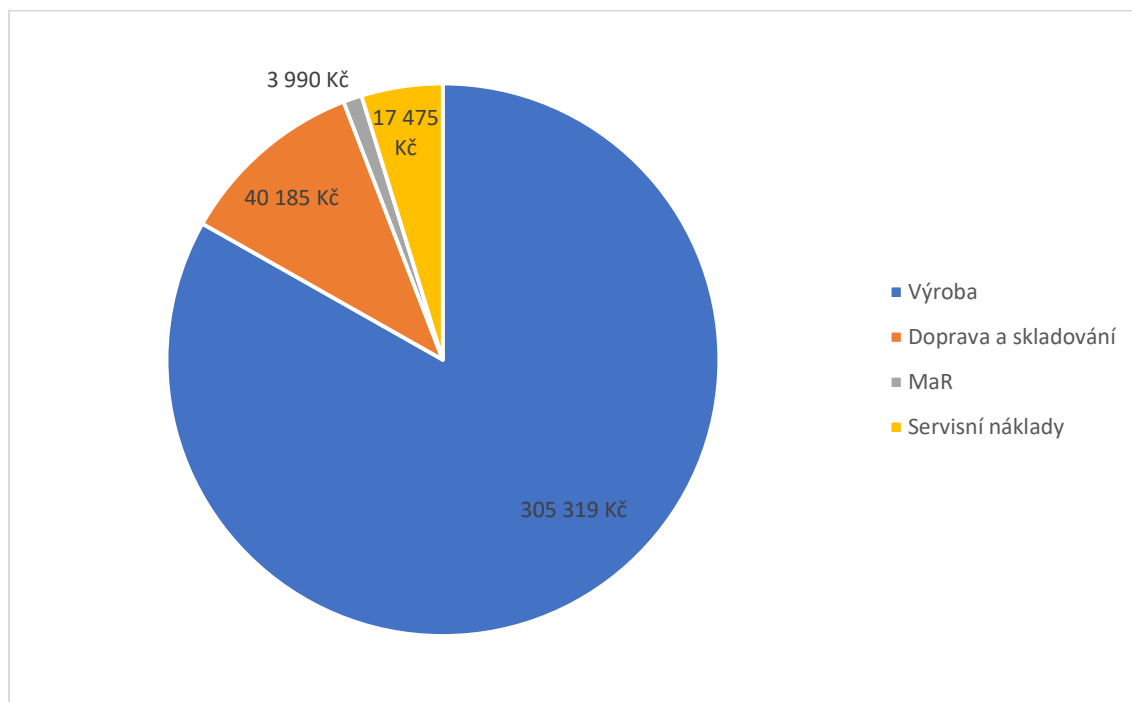
paliva by mohl být dokoupen buď na čerpací stanici, nebo u distributora, až se taková možnost objeví.



Graf 13 - Administrativní budova: skutečné využití dešťové vody v areálu podle roční bilance

Ekonomické posouzení

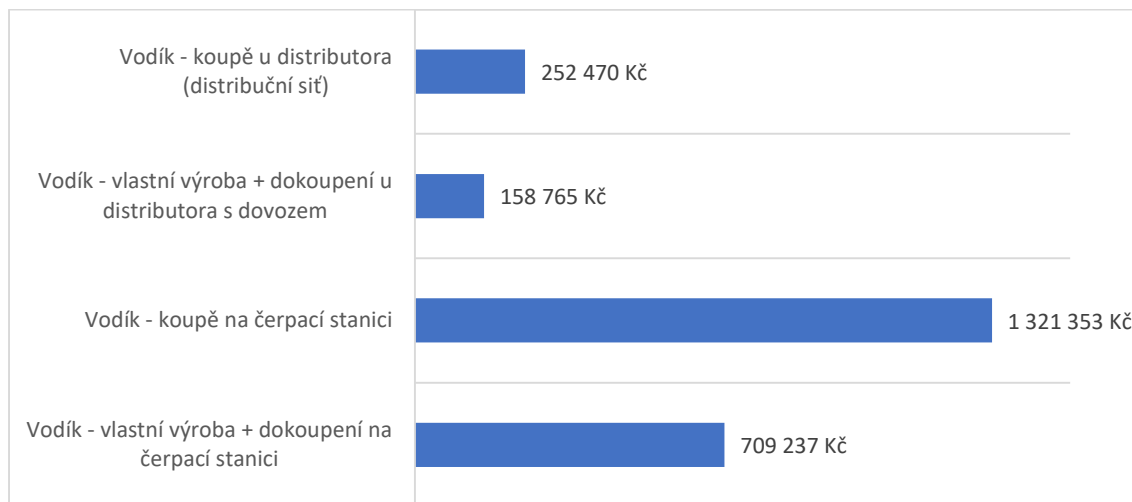
Po provedení výpočtů byly stanoveny celkové náklady pro celou technologii výroby, skladování a dopravy vodíku v administrativní budově a skladu.



Graf 14 – Administrativní budova: výpočet ročních nákladů na údržbu systému pro výrobu a skladování vodíku

Zde náklady na výrobu vodíku jsou také zajištěny fotovoltaickou elektrárnou. Z grafu lze odečíst, že celkové roční náklady jsou 61 650 Kč.

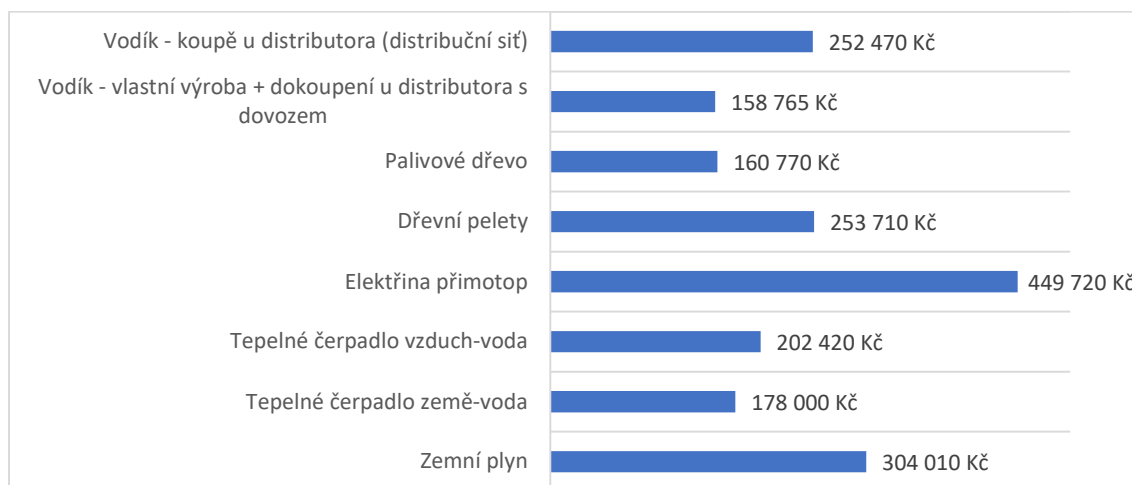
Pro ekonomické porovnání byly zvoleny stejné 4 varianty: vlastní výroba vodíku + dokoupení zbytku u distributora, vlastní výroba vodíku + dokoupení zbytku na čerpací stanici, nákup celého množství u distributora, nákup celého množství na čerpací stanici. Výsledkem ekonomické simulace je graf, ve kterém se porovnávají 4 varianty.



Graf 15 – Administrativní budova: porovnání variant výroby a dokoupení vodíku

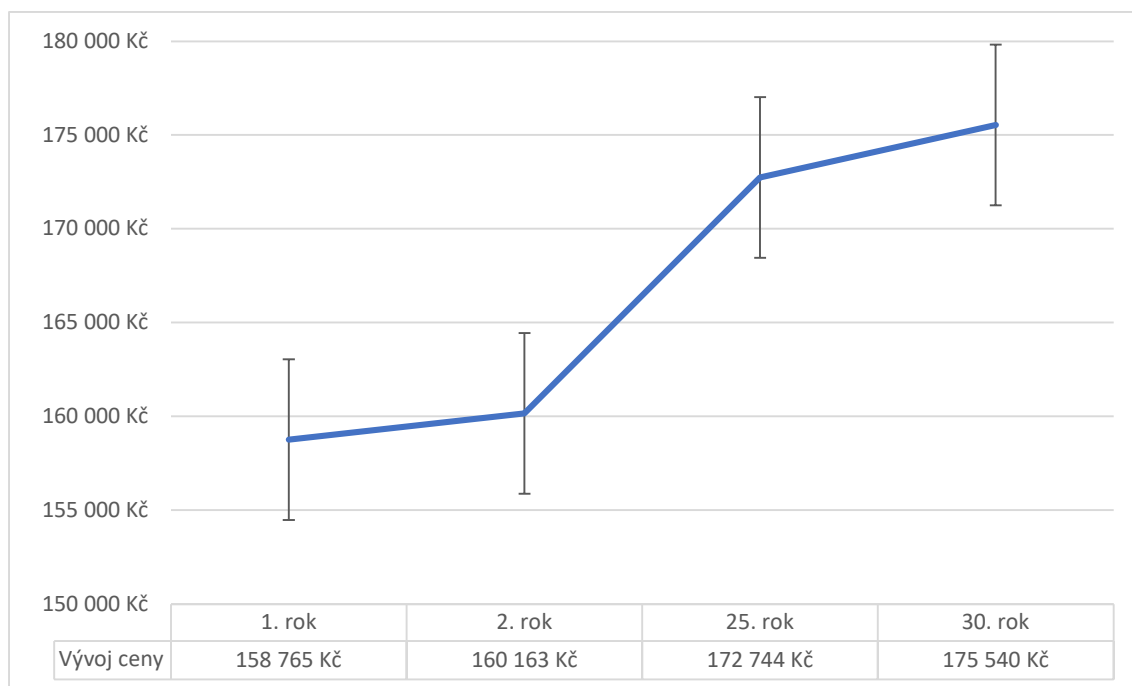
Z grafu je dobře vidět, jak vlastní výroba více než 60 % potřeby paliva snižuje náklady na vytápění a přípravu teplé vody. Cena vodíku na čerpací stanici neumožňuje zařadit dvě varianty do ekonomicky vhodných cest pro nákup vodíku.

Při porovnání dvou nejvhodnějších variant s běžnými typy paliv nastává velmi zajímavá situace. Varianta s vlastní výrobou vodíku a dokoupení zbytku u distributora je oproti ostatním typům paliv cenově nejvýhodnější. Pokud by se jednalo o distribuční síť, vytápění vodíkem v tomto objektu by byla levnější než zemním plynem.



Graf 16 – Administrativní budova: porovnání nákladů na vytápění vodíkem s běžnými typy paliv

Při uvažování degradace fotovoltaických panelů po 30 letech využití dojde k poklesu roční výroby vodíku o 230 kg. Podle grafu je vidět, že za předpokladu stejných cen za silovou elektřinu a za vodík u distributora, dojde k růstu ceny paliva o 10,6 %. Je zajímavé, že i když se náklady na vytápění a přípravu teplé vody zvednou, výsledná cena u varianty s vlastní výrobou vodíku a dokoupením zbytku u distributora bude jednou z ekonomicky nejvýhodnějších. Náklady budou o pár tisíc korun menší, než náklady při aplikování tepelného čerpadla země-voda. Chybové úsečky v grafu jsou nastaveny na standardní chybu.



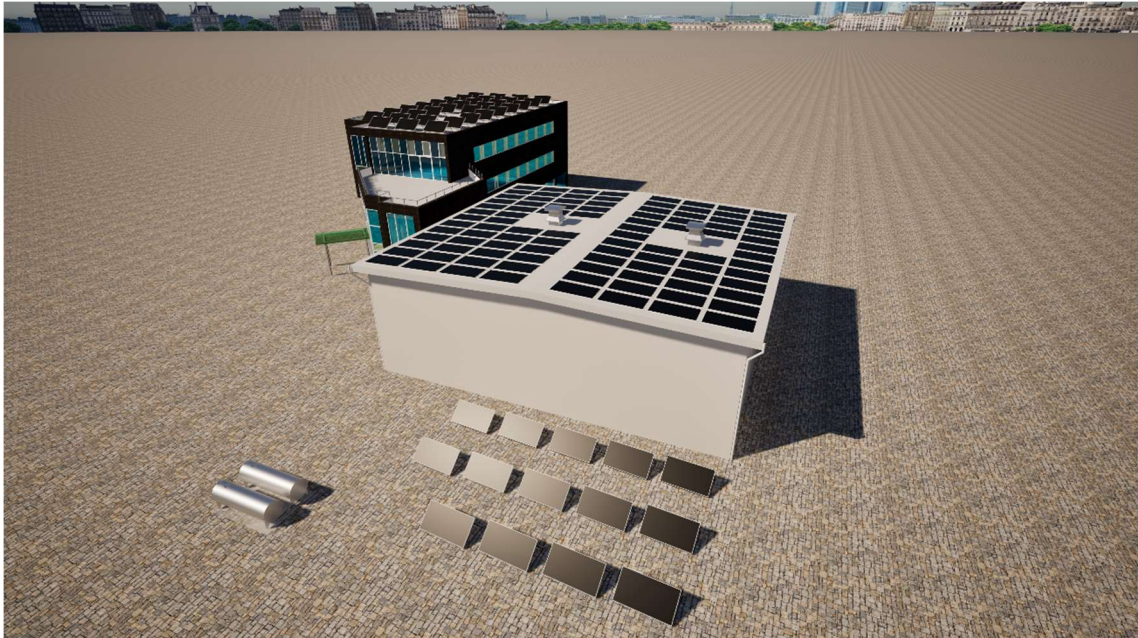
Graf 17 – Administrativní budova: vývoj ceny za vodík při vlastní výrobě a dokoupení zbytku u distributora

Závěr

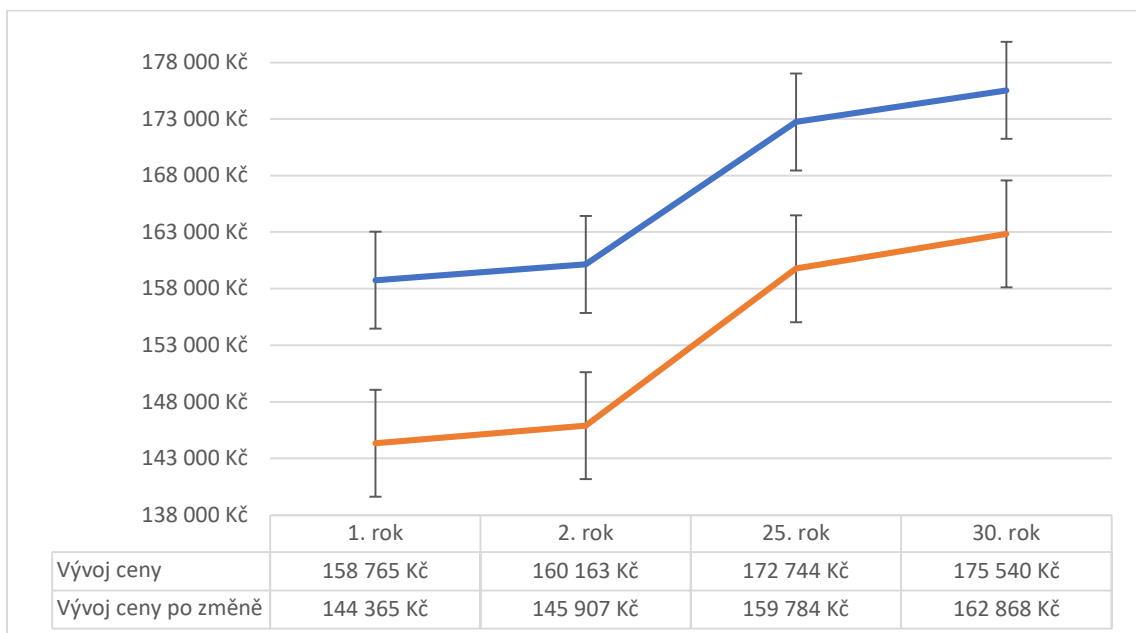
Vzorová administrativní budova se skladem dosáhla velmi optimistických výsledků nejen během roční bilanci, ale i během ekonomického vyhodnocení, kde předběhlo všechny běžné typy paliv. Navíc cena paliva by zůstala mezi nejlepšími i po 30 letech. Pro nejlepší výsledky by bylo možné zvýšit buď počet, nebo výkon fotovoltaických panelů.

Vzhledem k dostatečně velkému území areálu a na základě studie osvětlení provedené v Revitu 24, můžeme přidat 14 fotovoltaických panelů před jižní fasádou skladu. Tato poloha je nejvhodnějším místem na pozemku. Panel rozmístěný jako volně stojící na pozemku podle softwaru PVgis vyrobí ještě víc energií – 797,36 kWh oproti panelu stejně orientovanému pod stejným sklonem na střeše – 771,51 kWh. Takovým

opatřením bychom vyrobili o 11 163 kWh víc energie, což je 223,26 kg vodíku. V prvním roce by došlo k ušetření přibližně 14 400 Kč, dále by se počítalo s degradací výkonu panelů. Takové opatření sice vyžaduje další náklady, ale vzhledem k budoucí úspoře by doba návratnosti nepřevyšovala 7 let.



Obr. 15 – Administrativní budova: umístění fotovoltaických panelů před jižní fasádou skladu

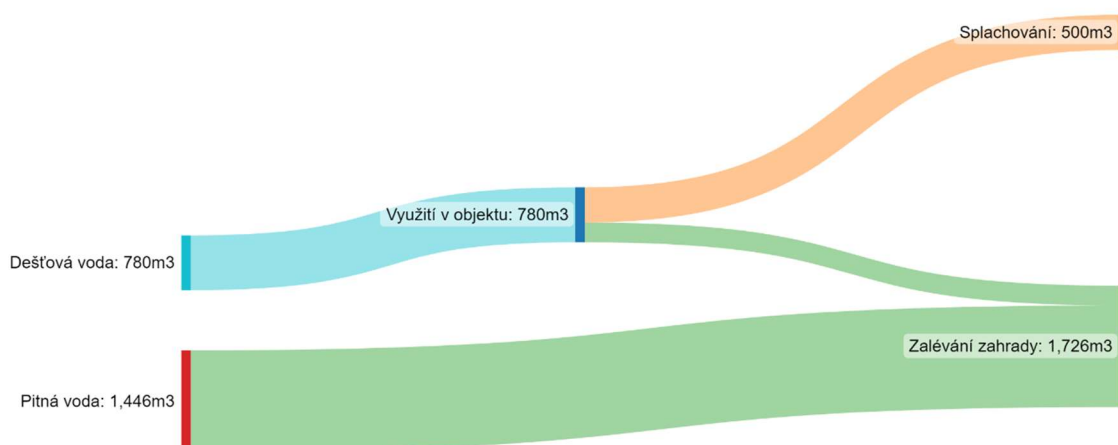


Graf 18 – Administrativní budova: změna vývoje ceny po přidání fotovoltaických panelů před jižní fasádou skladu

Školní budova

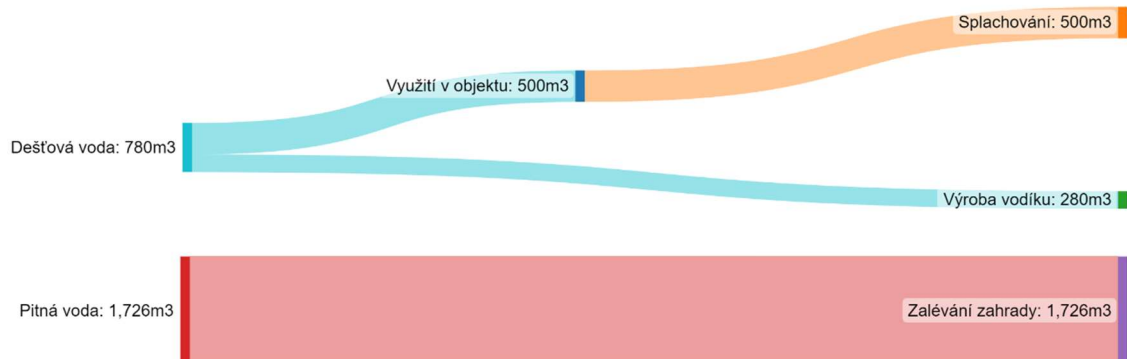
Bilance

Účel této budovy a počet zařizovacích předmětů, které by mohly produkovat šedou vodu, neumožní návrh této technologie. Školní budova taky disponuje velkou plochou střechy, což je 1798 m². Vhodnějším řešením bude taky zavedení technologie pro hospodaření s dešťovou vodou. Podle výpočtu ročního množství zachycené srážkové vody můžeme produkovat 780 m³ dešťové vody pro zpětné využití. Roční potřeba vody v objektu na splachování je 500 m³ a na zalévání zahrady o ploše 4930 m² je 1726 m³. To znamená, že bude potřeba využít i pitnou vodu. V tomto případě se o výrobu vodíku z dešťové vody nejedná.



Graf 19 – Školní budova: předpoklad využití dešťové vody v objektu podle roční bilance

Jednou z možných variant by mohlo být využití dešťové vody pro splachování a zbytek pro výrobu vodíku. Na zalévání zahrady by byla zcela použita pitná voda. Není to moc ekologická varianta, ale mohlo by to být výhodnější z ekonomického hlediska. Pokud by došlo k využití pitné vody na zalévání zahrady, ročně by se mělo zaplatit o 18 320 Kč víc za vodné.



Graf 20 - Školní budova: předpoklad využití dešťové vody v objektu podle roční bilance, aby se umožnila výroba vodíku z dešťové vody

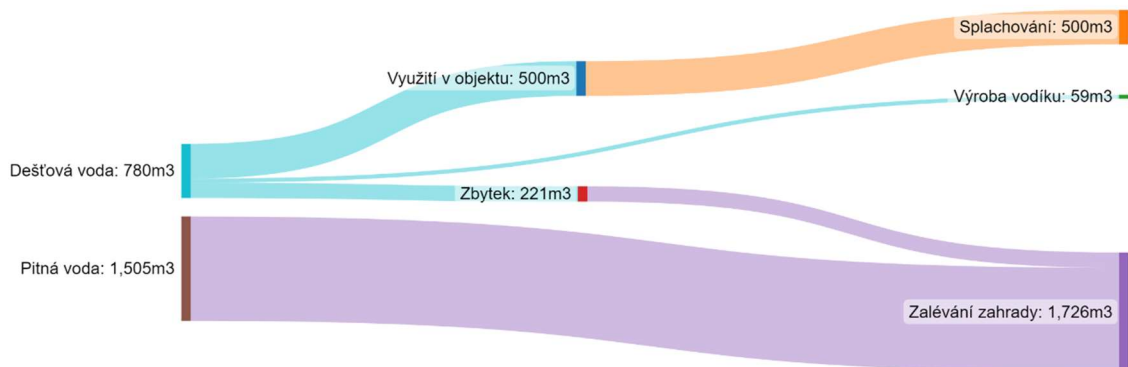
Pokud by došlo k plnému využití tohoto množství, mohli bychom vyrobit 11,19 tuny vodíku. Školní budova je jedinou budovou, ve které by takové velké množství vody nepokrylo potřebu vodíku na vytápění a přípravu teplé vody.

Pro reálné množství vodíku, které by bylo možné vyrobit, byly rozmístěny fotovoltaické panely. Díky tomu, že celá střecha budovy je velká a plochá, bylo možné rozmístit 155 panelů v nejúčinnější statické poloze.



Obr. 16 – Školní budova: umístění fotovoltaických panelů na střechě

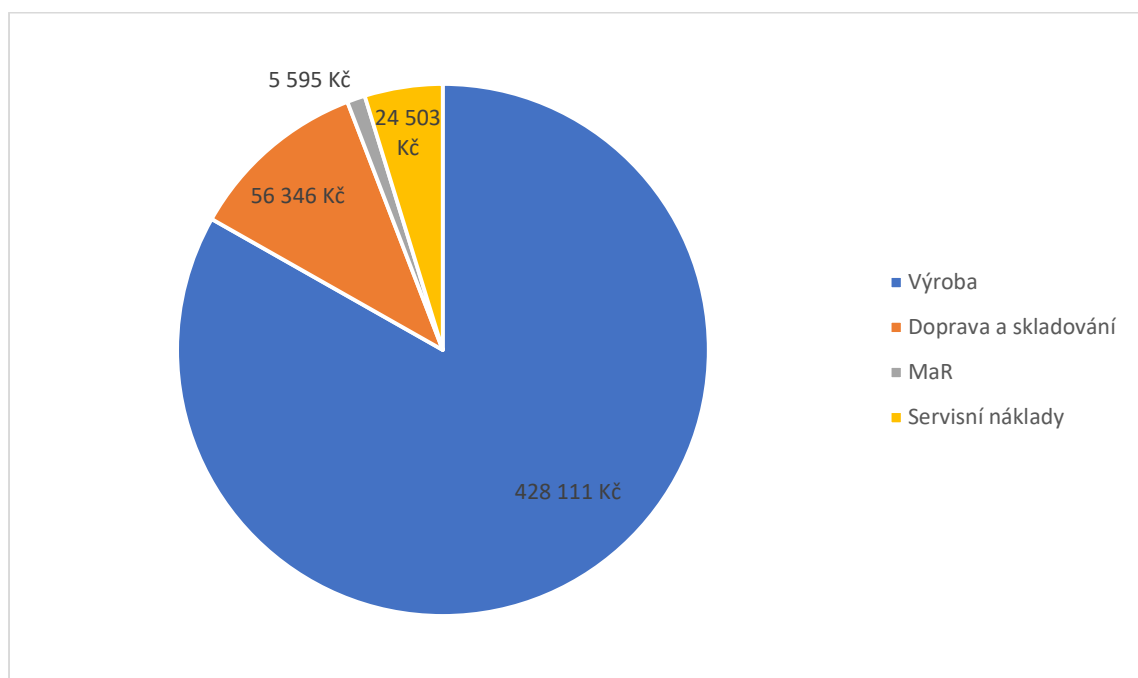
Ve výsledku by bylo možné vyrobit 2,39 tun vodíku, což je 21,1 % od potenciálního množství. Vyrobené palivo pokryje pouze 15,9 % potřeby objektu. Dobrou zprávou je to, že potřebujeme na výrobu 59 m³ dešťové vody. To znamená, že zbylých 221 m³ odpadní vody můžeme použít na výpomoc pitné vodě při zalévání zahrady.



Graf 21 – Školní budova: skutečné využití dešťové vody v objektu podle roční bilance

Ekonomické posouzení

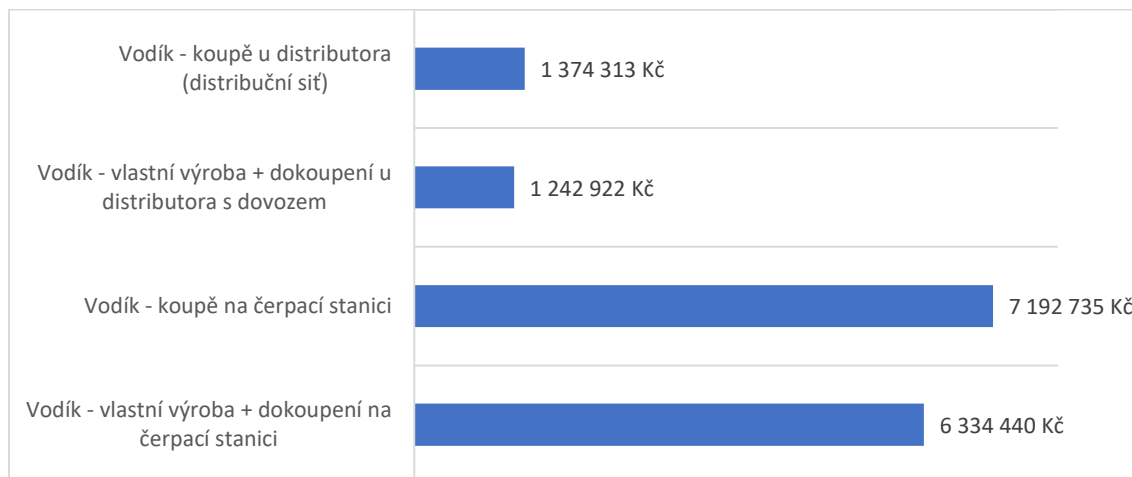
Po provedení výpočtů byly stanoveny celkové náklady pro celou technologii výroby, skladování a dopravy vodíku ve školní budově.



Graf 22 – Školní budova: výpočet ročních nákladů na údržbu systému pro výrobu a skladování vodíku

Náklady na výrobu vodíku jsou také zajištěny fotovoltaickou elektrárnou. Z grafu lze odečíst, že celkové roční náklady jsou 86 444 Kč.

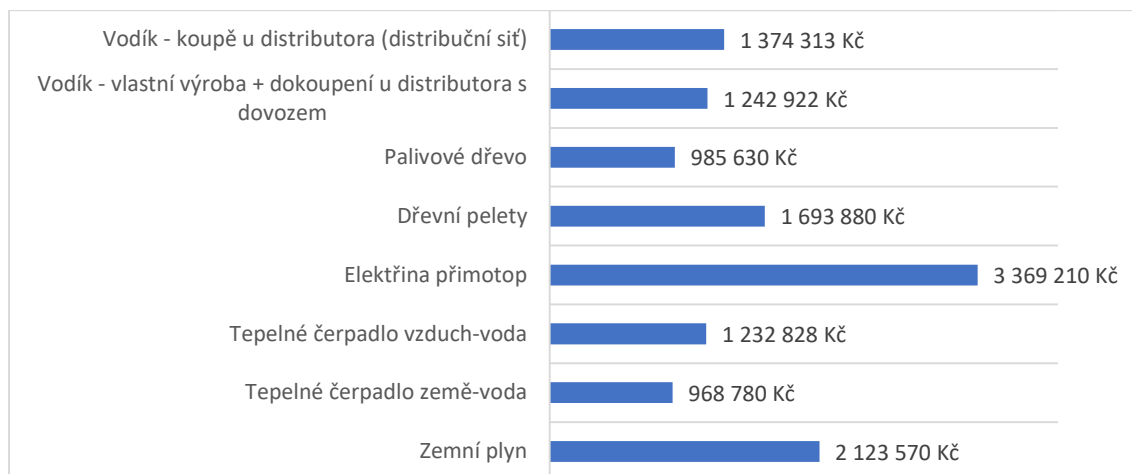
Pro ekonomické porovnání byly zvoleny stejné 4 varianty: vlastní výroba vodíku + dokoupení zbytku u distributora, vlastní výroba vodíku + dokoupení zbytku na čerpací stanici, nákup celého množství u distributora, nákup celého množství na čerpací stanici. Výsledkem ekonomické simulace je graf, ve kterém se porovnávají 4 varianty



Graf 23 – Školní budova: porovnání variant výroby a dokoupení vodíku

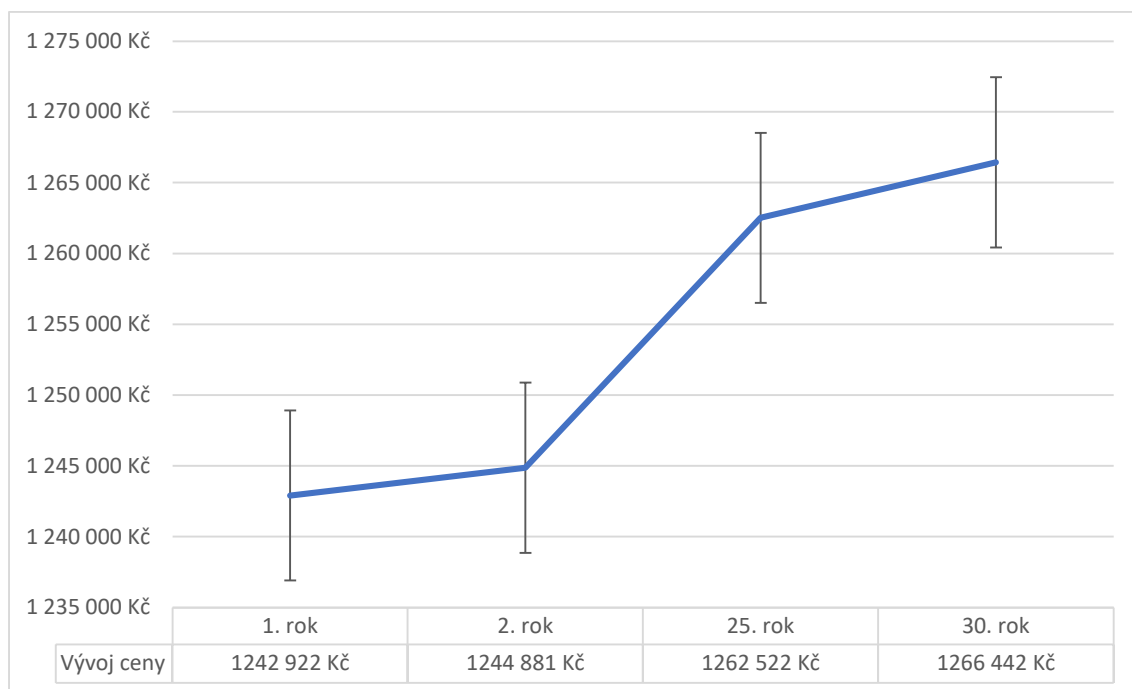
Z grafu je vidět, že malý podíl vlastně vyrobeného vodíku plně znehodnocuje zavedení takové technologie do budovy, pokud se objeví možnosti zcela odebírat vodík u distributora. Takový výsledek je způsoben omezeným množstvím vyprodukované elektrické energie fotovoltaickými panely.

Při porovnání s běžnými typy paliv je možné pozorovat, že varianta s vodíkem koupeným zcela u distributora je mnohem výhodnější než zemní plyn. Navíc náklady jsou skoro stejné jako u špičkových zdrojů jako tepelné čerpadlo vzduch-voda. Vlastní výroba s dokoupením u distributora má taky dobrý výsledek. Bohužel, takový malý rozdíl nebude zajímavým pro investora, pokud bude celostátně zavedena distribuční síť „vodikodů“.



Graf 24 – Školní budova: porovnání nákladů na vytápění vodíkem s běžnými typy paliv

Při uvažování degradace fotovoltaických panelů po 30 letech využití dojde k poklesu roční výroby vodíku o 284 kg. Podle grafu je vidět, že za předpokladu stejných cen za sílovou elektřinu a za vodík u distributora, dojde k růstu ceny paliva pouze o necelých 1,9 %. Chybové úsečky v grafu jsou nastaveny na standardní chybu. Je zajímavým, že výsledně pro investora nejatraktivnější variantou bude nákup celého množství vodíku u distributora i když cena je trochu dražší než kombinace vlastní výroby a dokoupení. Není to nejvýhodnější variantou i oproti některým běžným typům paliv, ale všechno záleží na vývoje technologii nejen výroby a skladování vodíku, ale i pokračování ve vývoji účinnějších fotovoltaických panelů.



Graf 25 – Školní budova: vývoj ceny za vodík při vlastní výrobě a dokoupení zbytku u distributora

Závěr

Po provedení roční bilance a ekonomického vyhodnocení pro školní budovu lze říct, že vytápění zeleným vodíkem takových objektů je docela perspektivní cestou, ale zatím pouze pokud se jedná o distribuční síť, která by nahradila zemní plyn. Hlavním omezením je samozřejmě potřeba většího výkonu z fotovoltaických panelů pro zajištění většího podílu vlastně vyrobeného vodíku. Tím by došlo ke snížení nákladů na dokoupení paliva u distributora a varianta s vlastní výrobou by byla ekonomicky výhodnou. Vzhledem k velkému počtu studentů a zaměstnanců zatím není možné pokryt 100 % potřeby vodíku při jeho výrobě pouze z dešťové vody.

Hospodaření s kyslíkem

Při výrobě vodíku elektrolýzou nám vzniká i čistý kyslík. Je prokázáno, že při výrobě 1 kg vodíku elektrolýzou, se zároveň vyrobí 8 kg kyslíku, což je obrovské množství. Pokud ho nebudeme skladovat, budeme vypouštět do atmosféry produkt, který je žádoucím pro některá odvětví. Třeba v medicíně je potřeba čistý kyslík pro umělou ventilaci plic. Právě během první vlny koronaviru hodně nemocnic měly nedostatek čistého kyslíku. Další možnosti využití kyslíku je při cestách do prostředí, kde kyslík buď vůbec není, nebo jeho množství není dostačující pro lidské tělo: potápění (směs kyslíku a inertních plynů), vysokohorské horolezení (čistý kyslík) anebo cesty do vesmíru (čistý kyslík). Kyslík potřebujeme i k výrobě různých materiálů. Při výrobě oceli potřebujeme pro odstranění přebytečného uhlíku z matrice železa také kyslík. Pokud bavíme o oceli, nesmíme zapomínat na to, že jeden z typů svařování oceli je pomocí směsi hořlavého plynu a kyslíku. Většinou se jedná o kombinace acetylenu a kyslíku. [21] Já si myslím, že v budoucnu může dojít k využití kyslíku v systémech vzduchotechniky. Třeba ve školách nebo administrativních budovách přivádět spolu se vzduchem do místnosti a zvyšovat tím pozornost a výkon žáků a zaměstnanců.

Navíc by prodej kyslíku mohl pokrýt náklady na jeho skladování. Tím by se vytápění vodíkem mohlo stát dostupnější volbou pro více lidí.

Závěr

V rámci této diplomové práce se podrobně zabývalo výrobou zeleného vodíku z odpadních vod. Pro tři zvolené budovy s různým účelem byly vytvořeny koncepční řešení systémů vytápění, hospodaření se zpětně využitelnou odpadní vodou a výroby, skladování a distribuce vodíku. Data z BIM modelů byla použita pro výpočet tepelných ztrát objektů. Navíc v programu *Revit 2024* byla provedena studie oslunění pro každý objekt. Tato analýza umožnila rozmístit fotovoltaické panely tak, aby nedocházelo ke vzájemnému stínění a snížení vyrobeného množství elektrické energie. Výsledkem ekologické bilance bylo spočítáno množství pitné vody, které lze nahradit vyčištěnou odpadní vodou. Energetická bilance poskytla informace o množství elektrické energie, které může každá budova vyrobit pomocí fotovoltaických panelů. Tato bilance také prokázala, že při výrobě zeleného vodíku z odpadních vod hlavním omezením je nedostatečné množství energie. Podle mě by mohlo dojít buď ke zvýšení účinnosti fotovoltaických panelů v důsledku vývoje technologií, nebo by mohlo dojít k prodeji jednotlivými objekty přebytku očištěné odpadní vody výrobcům zeleného vodíku, kteří disponují velkým množstvím energie. Tato možnost může fungovat podobně jako návrat přebytku elektřiny vyrobené fotovoltaikou zpět do sítě. Provedením ekonomického posouzení, byly stanoveny orientační náklady pro výrobu, skladování a distribuce vodíku. Také výsledné náklady byly porovnány s běžnými typy paliv. Pro bytový dům a administrativní budovu se skladem bylo navrženo jedno z možných řešení pro zvýšení množství vyrobeného vodíku elektrolýzou. Pro školní budovu bylo stanoveno, že nejlepší cestou je zcela nakupovat vodík u distributora. Ve výsledku, vodík jako palivo pro vytápění a přípravu teplé vody může stát jednou z cest k dosažení nejen ekonomické, ale i ekologické revoluce ve stavebnictví. Potenciál tohoto odvětví záleží nejen na vědcích, ale i na hlavách států, kteří budou podporovat pokračování ve vývoji. Věřím, že neustálý vývoj může přivést ke zefektivnění výroby zeleného vodíku.

Současně výroba zeleného vodíku se vždy porovnává se skladováním elektrické energie vyrobené fotovoltaikou pomocí bateriových uložišť. Při takových porovnáních lidi vždy čekají na jednoduchou odpověď. Bohužel, zatím tady není takový případ. Každá z variant má svoje klady a protiklady. Navíc bateriové uložště se používá již více než 5 let. Vodík naopak, konečně získává víc popularity a vědců, co se tím zabývají. Tím, že bateriová uložště jsou na trhu dlouho, dochází k tomu, že účinnost systému je lepší oproti vodíku. Na druhou stranu, všechny systémy, kde je přítomen proces nabíjení a vybití

akumulátoru má docela malou životnost. Navíc degradace akumulátoru není lineární, většinou se jedná o exponenciální pokles kapacity. U vodíku tento jev neexistuje. Může docházet ke ztrátě paliva během skladování, ale i u bateriových uložení během nějaké doby dochází ke ztrátě části energie. Pokud by se uvažovalo o ekologii, vodík je v tom mnohem lepší. Ano, novější bateriová uložení se plánuje vyrábět recyklací elektromobilových baterií. [22] Každopádně se jedná o dostatečně velkou uhlíkovou stopu při výrobě a recyklaci. Až se skončí životnost tohoto uložení druhá recyklace ještě v plánu výrobců není. Můj názor je spíše takový, že lepší cestou by mohla být spolupráce na sloučení kladů, aby došlo k vývoje účinného systému, který bude vhodný jak ekonomicky, tak ekologicky.

Jak již bylo zmíněno, výroba zeleného vodíku je docela omezena výkonem fotovoltaických elektráren. Možná tento názor bude kontroverzní, ale já si myslím, že pokud není možné vyrábět zelený vodík, nejlepší cestou bude výroba růžového vodíku, což je využití energie jádra. V Evropské unii nejvíc jaderných elektráren má Francie. Ročně. Podle studie francouzské společnosti EDF v roce 2022 emise CO₂ z jaderných elektráren jsou menší než 4 gramy na 1 kWh. Toto posouzení bylo provedeno na základě LCA, kde bylo stanoveno, že ze 3,7 g emisí jenom 28 % jsou z „produkční“ fáze elektrárny. [23] Štěpení jádra uranu je velmi účinným procesem pro výrobu energie, ale hodně lidí se toho obávají. Největším důvodem obavy je vzpomnutí na katastrofu z roku 1986 v Černobylu. Důležitým je pamatovat si, že po té době uplynulo skoro 38 let a pokrok v zajištění bezpečnosti reaktorů je obrovský. Došlo k vývoji systému měření a regulace, zabezpečení reaktoru a okruhů. Navíc byl mnohem zlepšen okruh chlazení reaktorů, aby nedocházelo k přehřátí systému. Podle mého názoru energie jádra je jednou z možných cest, jak zvýšit a zoptimalizovat výrobu vodíku pro vytváření velkých zásob tohoto paliva, které by pak mohlo zcela nahradit zemní plyn.

Reference

Seznam literatury

- [1] Socialní síť X (dříve Twitter), příspěvek uživatele Skupina ČEZ
<https://pbs.twimg.com/media/FCFBvO-WUAKpnmg?format=jpg&name=medium> [Online] [Citace: 20.11.2023.]
- [2] Webový portál ČESKÉSTAVBY.cz. [Online] [Citace: 20.11.2023.]
<https://www.ceskestavby.cz/clanky/vodikem-budeme-doma-topit-i-varit-planuje-eu-je-to-bezpecne-a-vyplati-se-to-31721.html>
- [3] Webová stránka české vodíkové technologické platformy HYTEP [Online] [Citace: 20.11.2023.] <https://www.hytep.cz/o-vodiku/ve-zkratce>
- [4] Vědecký článek od 18.3.2019 „Solar-driven, highly sustained splitting of seawater into hydrogen and oxygen fuels“, skupina autorů: Yun Kuang, Michael J. Kenney, Yongtao Meng, Wei-Hsuan Hung, Yijin Liu, Jianan Erick Huang, Rohit Prasanna, Pengsong Li, Yaping Li, Lei Wang, Meng-Chang Lin, Michael D. McGehee, Xiaoming Sun, and Hongjie Dai [Online] [Citace: 20.11.2023] <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1900556116>
- [5] Novinky výzkumu společnosti Riken. Článek od 12.7.2023 „A safe, easy, and affordable way to store and retrieve hydrogen“ [Online] [Citace: 20.11.2023] https://www.riken.jp/en/news_pubs/research_news/pr/2023/20230710_3/index.html
- [6] Článek v časopisu Ekonomický deník od 6.5.2023 [Online] [Citace: 20.11.2023] <https://ekonomickydenik.cz/v-rakousku-bylo-uvvedeno-do-provozu-prvni-geologicke-uloziste-vodiku-na-svete-pracuje-s-prebytky-solarni-energie-z-letni-sezony/>
- [7] Článek v časopisu Ekonomický deník od 19.11.2023 [Online] [Citace: 21.11.2023] <https://ekonomickydenik.cz/nemecko-podporuje-investice-do-vybudovani-vodikove-site-bude-dlouha-9-700-kilometru-a-stat-bude-20-miliard-eur/>
- [8] Článek v časopisu Ekonomický deník od 30.3.2023 [Online] [Citace: 21.11.2023] <https://ekonomickydenik.cz/studie-dokazuje-ze-nemecke->

- [plynovody-z-oceli-jsou-na-vodik-pripraveny-ceska-republika-ma-uz-pres-60-procent-lokalniho-potrubi-v-polyetylenu/](#)
- [9] Článek „Vytápění vodíkem: technologie blízké budoucnosti“ od 3.2.2022
[Online] [Citace: 21.11.2023] <https://www.topin.cz/clanky/vytapeni-vodikem-technologie-blizke-budoucnosti-detail-12122>
- [10] Ing. Vladimír Krystyn, diplomová práce „Využití vodíku v systémech budov“
<https://dspace.cvut.cz/handle/10467/110632>
- [11] Bc. Vladislav Sveshnikov, bakalářská práce „Využití odpadních vod v bytovém domě“
<https://dspace.cvut.cz/handle/10467/102423>
- [12] Oficiální stránky společnosti Autodesk <https://www.autodesk.com/>
- [13] Webová stránka s aktuálními cenami elektrické energie v České republice
[Online] [Viděno: 27.11.2023] <https://www.usetreno.cz/energie-elektrina/cena-za-1-kwh/>
- [14] Webová stránka s aktuálními cenami vodného a stočného v České republice
[Online] [Viděno: 27.11.2023] <https://www.kupnisila.cz/cena-vody-vodne-stocne/>
- [15] Článek na webovém portálu pro elektrotechniky [Online] [Viděno: 27.11.2023]
<https://www.proelektrotechniky.cz/elektromobilita/412.php>
- [16] Článek „Dovoz zeleného vodíku do Evropy má být od roku 2024 levnější než jeho domácí výroba“ [Online] [Viděno: 27.11.2023]
<https://www.volty.cz/2022/05/16/dovoz-zeleneho-vodiku-do-evropy-ma-byt-od-roku-2024-levnejsi-nez-jeho-domaci-vyroba/>
- [17] PVgis online software pro výpočet fotovoltaických panelů
https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- [18] Oficiální stránky softwaru pro vizualizace Twinmotion
<https://www.twinmotion.com/en-US/home>
- [19] Oficiální stránky softwaru PROTECH spol. s r.o. <https://www.protech.cz/>
- [20] Porovnání nákladů na vytápění, teplou vodu a elektrickou energii – TZB-info
<https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-teplou-vodu-a-elektrickou-energi-tzb-info>
- [21] Webový portál se zabývající plyny „Universal Industrial Gases inc.“
<https://www.uigi.com/oxygen.html>

- [22] Článek o nových typech bateriových uložišť [Online] [Viděno: 10.12.2023]
<https://www.e-flotila.cz/2023/06/15/cez-chysta-bateriove-uloziste-z-vyrazenych-elektromobilu/>
- [23] Článek o studii společnosti EDF emisí z jaderných elektráren pomocí LCA [Online] [Viděno: 10.12.2023] <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/EDF-study-confirms-very-low-carbon-nature-of-nucle>
- [24] Miniencyklopedie „Jaderná elektrárna“ od Skupiny ČEZ [Online] [Viděno: 10.12.2023] <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/nuklear.htm>
- [25] Statistika o energetice ve světě od skupiny ČEZ [Online] [Viděno: 10.12.2023] <https://www.cez.cz/cs/pro-media/cisla-a-statistiky/energetika-ve-svete>

Seznam obrázků

- Obr. 1 – „Barvy“ vodíku dle Skupiny ČEZ [1]
- Obr. 2 – Jednoduché schéma principu výroby a využití zeleného vodíku pro budovy [9]
- Obr. 3 – Ukázka konstrukce anody, odolné vůči korozi [4]
- Obr. 4 – Princip fungování technologie skladování vodíku v molekule amoniaku [5]
- Obr. 5 – 3D pohled na referenční bytový dům
- Obr. 6 – 3D pohled na referenční administrativní budovu
- Obr. 7 – 3D pohled na referenční administrativní budovu z jiné strany
- Obr. 8 – 3D pohled na referenční školní budovu
- Obr. 9 – 3D pohled na referenční školní budovu z jiné strany
- Obr. 10 – Ukázka nového doplňku „*Studie oslunění*“ v *Revitu 24*
- Obr. 11 – Bytový dům: umístění fotovoltaických panelů na střeše
- Obr. 12 – Bytový dům: umístění fotovoltaických panelů po otočení budovy na 180°
- Obr. 13 – Administrativní budova: umístění fotovoltaických panelů na střeše administrativní budovy
- Obr. 14 – Administrativní budova: umístění fotovoltaických panelů na střeše skladu
- Obr. 15 – Administrativní budova: umístění fotovoltaických panelů před jižní fasádou skladu
- Obr. 16 – Školní budova: umístění fotovoltaických panelů na střeše

Seznam grafů

- Graf 1 – Porovnání měsíční výroby elektrické energií pevně umístěnými panely, různé varianty sklonů
- Graf 2 – Porovnání měsíční výroby elektrické energií pevně umístěnými panely, optimalizace softwarem PVgis
- Graf 3 – Porovnání měsíční výroby elektrické energií pohyblivým systémem pro panely, optimalizace softwarem PVgis
- Graf 4 – Porovnání roční výroby elektrické energií mezi možnými variantami umístění fotovoltaických panelů
- Graf 5 – Bytový dům: předpoklad využití očištěné šedé vody podle roční bilance
- Graf 6 – Bytový dům: skutečné využití očištěné šedé vody podle roční bilance
- Graf 7 – Bytový dům: výpočet ročních nákladů na údržbu systému pro výrobu a skladování vodíku
- Graf 8 – Bytový dům: porovnání variant výroby a dokoupení vodíku
- Graf 9 – Bytový dům: porovnání nákladů na vytápění vodíkem s běžnými typy paliv
- Graf 10 – Bytový dům: vývoj ceny za vodík při vlastní výrobě a dokoupení zbytku u distributora
- Graf 11 – Bytový dům: změna vývoje ceny po změně orientace objektu
- Graf 12 – Administrativní budova: předpoklad využití dešťové vody v areálu podle roční bilance
- Graf 13 – Administrativní budova: skutečné využití dešťové vody v areálu podle roční bilance
- Graf 14 – Administrativní budova: výpočet ročních nákladů na údržbu systému pro výrobu a skladování vodíku
- Graf 15 – Administrativní budova: porovnání variant výroby a dokoupení vodíku
- Graf 16 – Administrativní budova: porovnání nákladů na vytápění vodíkem s běžnými typy paliv
- Graf 17 – Administrativní budova: vývoj ceny za vodík při vlastní výrobě a dokoupení zbytku u distributora
- Graf 18 – Administrativní budova: změna vývoje ceny po přidání fotovoltaických panelů před jižní fasádou skladu

- Graf 19 – Školní budova: předpoklad využití dešťové vody v objektu podle roční bilance
- Graf 20 - Školní budova: předpoklad využití dešťové vody v objektu podle roční bilance, aby se umožnila výroba vodíku z dešťové vody
- Graf 21 – Školní budova: skutečné využití dešťové vody v objektu podle roční bilance
- Graf 22 – Školní budova: výpočet ročních nákladů na údržbu systému pro výrobu a skladování vodíku
- Graf 23 – Školní budova: porovnání variant výroby a dokoupení vodíku
- Graf 24 – Školní budova: porovnání nákladů na vytápění vodíkem s běžnými typy paliv
- Graf 25 – Školní budova: vývoj ceny za vodík při vlastní výrobě a dokoupení zbytku u distributora

Seznam příloh

Deska 1 – Návrh FV panelů:

- Technický list fotovoltaického panelu München Energieprodukte MSMD700G12-HJT132DS
- Protokol o výpočtu fotovoltaického panelu pevně umístěného směrem na jih pod sklonem 5°
- Protokol o výpočtu fotovoltaického panelu pevně umístěného směrem na jih pod sklonem 15°
- Protokol o výpočtu fotovoltaického panelu pevně umístěného směrem na jih pod sklonem 30°
- Protokol o výpočtu fotovoltaického panelu pevně umístěného směrem na jih pod sklonem 50°
- Protokol o výpočtu fotovoltaického panelu pevně umístěného směrem na jih pod optimalizovaným sklonem 41° (optimalizace softwarem *PVgis*)
- Protokol o výpočtu fotovoltaického panelu pevně umístěného v optimalizovaném směru a pod optimalizovaným sklonem 41° (optimalizace softwarem *PVgis*)
- Protokol o výpočtu fotovoltaického panelu pohyblivě umístěného ve třech variantách s využitím optimalizace (optimalizace softwarem *PVgis*)
- Protokol o výpočtu fotovoltaického panelu pevně umístěného směrem na sever pod sklonem 10° (část střechy bytového domu)
- Protokol o výpočtu fotovoltaického panelu pevně umístěného směrem na západ pod sklonem 2° (levá polovina střechy skladu)
- Protokol o výpočtu fotovoltaického panelu pevně umístěného směrem na východ pod sklonem 2° (pravá polovina střechy skladu)
- Protokol o výpočtu fotovoltaického panelu pevně umístěného směrem na jih pod sklonem 10° (část střechy bytového domu)
- Protokol o výpočtu fotovoltaického panelu pevně umístěného v optimalizovaném směru a pod optimalizovaným sklonem 41° (optimalizace softwarem *PVgis*) – volně stojící na terénu

Deska 2 – Bytový dům:

- 3D model budovy
- 3D model systémů
- Výroba a skladování vodíku
- 3D model budovy – optimalizace

Deska 3 – Administrativní budova:

- 3D model budovy
- 3D model systémů
- Výroba a skladování vodíku
- 3D model budovy – optimalizace

Deska 4 – Školní budova:

- 3D model budovy
- 3D model systémů
- Výroba a skladování vodíku