

Report k projektu Ostrovní Energie

Team Vibašštěto

19. října 2024

1 Popis problému

Úkolem bylo zajistit stabilní provoz ostrovního systému výroby elektrické energie potřebné k výrobě zeleného vodíku. K dispozici jsme měli data o výkonu elektrárny pro obnovitelné zdroje. V dokumentu postupně probereme prostředky a algoritmus, které jsme zvolili pro zajištění kontinuální dodávku vodíku zákazníkovi.

1.1 Elektrolyzéry

K výrobě vodíku jsme využili elektrolyzéry AWE (alkalické vodní elektrolyzéry) a PEM (elektrolyzér využívající protonově vodivou membránu). Jejich technické parametry jsme převzali z [1] a [3]. Zajímalo nás, kolik kubíku vodíku vytvoří za hodinu a kolik energie na to spotřebují. V tabulce 1 jsou produkce a průměrná spotřeba pro nejčastější typy elektrolyzérů.

| | AWE | PEM |
|-------------------------|------|-----|
| Produkce [Nm^3/h] | 1000 | 210 |
| Spotřeba [kWh/Nm^3] | 4.1 | 4.7 |

Tabulka 1: Produkce a průměrná spotřeba elektrolyzérů. (Normální m^3/h .)

1.2 Uložiště přebytečné energie

Pro sklad nadbytečné energie můžeme využít několik úložišť. Z osvědčených metod to jsou různé typy baterií, které mohou ukládat různé typy energií a jinou rychlostí ji dodávat zpátky do systému, jako jsou akumulátory elektrické energie, gravitační baterie či přečerpávací vodní elektrárny.

Mezi teoretičtější metody, které by bylo možné použít v blízké budoucnosti, jsou supravodivá magnetická úložiště a kvantové baterie.

2 Popis problému

Navzdory konkrétním typům elektrolyzérů a skladišť nadbytečné energie (bufferů) přistupujeme k modelování systému obecně a definujeme si n elektrolyzérů a m bufferů s obecnými parametry. Předpokládáme, že vstup do systému je posloupnost $P(k)$, která značí momentální vstupní výkon. Modelovaný systém je vyobrazen na obrázku 1.

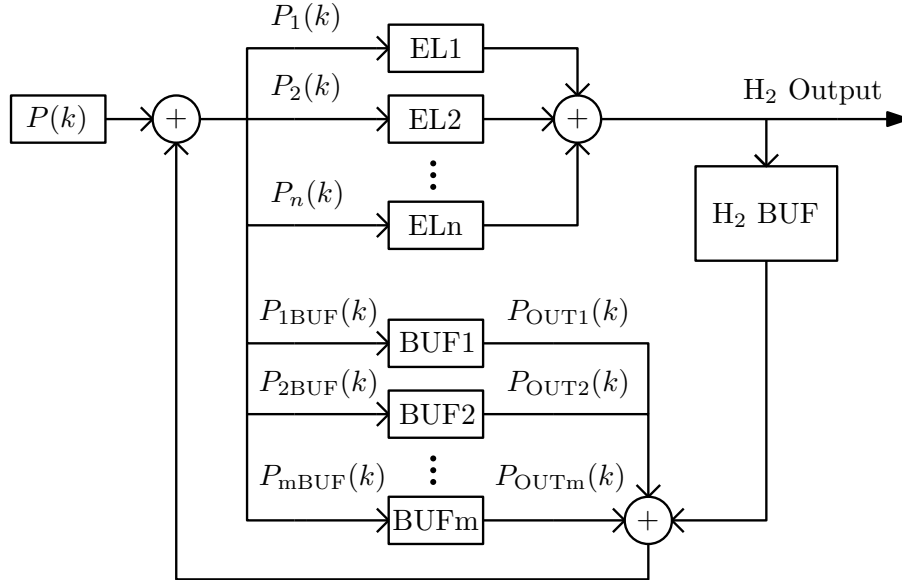
Bloky ELi označují obecně jiné typy elektrolyzérů s jinými parametry a bloky BUFi označují obecně jiné typy bufferů. Teoreticky lze uvažovat i buffer s vodíkem, který v případě nadbytečného množství vodíku jej bude přeměňovat ve vstupní výkon, což může být výhodné ve chvíli, kdy je nutné, aby byly elektrolyzéry v provozu. V našich výpočtech však není používán.

Vstupem do elektrolyzérů jsou výkony $P_i(k)$ a vstupem do bufferů jsou výkony $P_{i\text{BUF}}(k)$. Výstupní výkony z bufferů jsou $P_{\text{OUT}i}(k)$. V systému je modelována kladná zpětná vazba, kdy výkony uložené v bufferech mohou být opět připojeny na začátek systému.

Úkolem optimalizace je nastavit hodnoty $P_i(k)$, $P_{i\text{BUF}}(k)$ a $P_{\text{OUT}i}(k)$ podle optimalizačních kritérií, jako je stabilita výroby či množství vyrobeného vodíku.

2.1 Model elektrolyzéru

V modelování používáme zjednodušený model, který předpokládá, že výroba vodíku je lineárně závislá na vstupním výkonu. Je simulované i zpoždění, které se projevuje v případě, kdy se elektrolyzér zapne po vypnutí stavu, což je v konkrétním případě časté u elektrolyzérů AWE.



Obrázek 1: Namodelovaný systém

3 Optimalizace

Problém je popsán následujícím MIP modelem. Pro dané parametry elektrárny je řešením optimální řízení elektrolyzérů na daných vstupech.

$$\min \left(-\frac{\sum_{t=1}^T H_t}{\sum_{n=1}^N p_{\max,n} + T} \right)$$

za podmínek

$$\forall n \in \{1, \dots, N\}, t \in \{1, \dots, T\}:$$

$$\text{on}_{n,t} = 1 \Rightarrow L_{n,t} \geq l_{\min,n} \quad (1)$$

$$\text{on}_{n,t} = 0 \Rightarrow L_{n,t} = 0 \quad (2)$$

$$l_{n,t} = \frac{1}{t_{\delta,n}} \sum_{i=\max(0,t-t_{\delta,n})}^t L_{n,i} \quad (3)$$

$$(4)$$

$$\forall t \in \{1, \dots, T\}:$$

$$H_t = \sum_{n=1}^N l_{n,t} \cdot p_{\max,n} \cdot H_n \quad (5)$$

$$P_{\text{out},t} = \sum_{n=1}^N l_{n,t} \cdot p_{\max,n} \quad (6)$$

$$P_{\delta,t} = |P_t - P_{\text{out},t}| \quad (7)$$

$$(8)$$

kde

$$\forall n \in \{1, \dots, N\}, t \in \{1, \dots, T\}:$$

$$l_{n,t} \in [0,1] \quad (9)$$

$$L_{n,t} \in [0,1] \quad (10)$$

$$\text{on}_{n,t} \in \{0,1\} \quad (11)$$

$$(12)$$

$\forall t \in \{1, \dots, T\}$:

$$H_t \geq 0 \quad (13)$$

$$P_{\text{out},t} \geq 0 \quad (14)$$

$$P_{\delta,t} \quad (15)$$

$$(16)$$

4 GUI

Uživatel má pro analýzu k dispozici data získaná od mentora z ABB, či je možné získat pro konkrétní lokalitu kdekoli na zemi množství slunečné a větrné energie pomocí API z tohoto odkazu [2], v GUI vyobrazeno na 3. Data se následně přepočítají pomocí vzorců na energie získanou ze solárních panelů a větrných elektráren. Po zadání souřadnic se objeví druhé okno 4, kde je možné ovlivnit další parametry a to dobu náběhu, maximální výkon, minimální a maximální pracovní hodnoty elektrolyzérů a jejich produkci vodíku za kW.

Parametry systému, zde konkrétně elektrolyzérů, se definuje pomocí `.json` souboru, který vypadá následovně:

```
{
  "t_delta": 2,
  "p_max": 2.170000,
  "min_load": 0.3,
  "max_load": 1.0,
  "H2_per_kW": 0.56
}
```

Obrázek 2: Struktura JSON souboru.

The screenshot shows a web interface with a light gray background. At the top, there's a section titled 'Choose an option:' with a button labeled 'Select CSV File'. Below this, there's a section titled 'Or enter coordinates:'. This section contains two input fields, one for 'Latitude' and one for 'Longitude', both pre-filled with '0.000000'. Each input field has a minus button to its left and a plus button to its right. Below the input fields is a button labeled 'Submit Coordinates'.

Obrázek 3: GUI

Electrolyzer Model Files (.json)

Add Electrolyzer File
Remove Selected

awe.json
pem.json

Buffer Model Files (.json)

Add Buffer File
Remove Selected

Confirm Selection

| t_delta | p_max | min_load | max_load | H2_per_kW |
|---------|-----------|----------|----------|-----------|
| 2 | 2.17 | 0.30 | 1.00 | 0.56 |
| 2 | 2.17 | 0.30 | 1.00 | 0.56 |
| 0 | 200000.00 | 0.50 | 1.00 | 0.56 |

Obrázek 4: Parametry systému.

5 Výsledky

V rámci hackathonu jsme naimplementovali optimalizační metody, které umožňují řídit množství výkonu jdoucí do obecného počtu elektrolyzátorů a úložišť pro přebytečnou energii v době výkonu a k dodávání energie pro dobu menšího výkonu. Mezi optimalizační metody, které jsme použili patří Mixed integer programming a prediktivní řízení. Data lze získávat z otevřených zdrojů a je možnost nastavit si vlastní parametry elektráren (parametry elektráren zatím ve zdrojovém kódu).



Obrázek 5: Optimální řízení elektrolyzátoru.

Reference

- [1] GUOFUHEE. Awe parametry. https://en.guofuheee.com/site/product_detail_1/1, 2024.
- [2] Open-Meteo. Odkaz na Open-Meteo data. <https://open-meteo.com/>, 2024.
- [3] QUEST ONE. Pem parametry. <https://www.questone.com/en/products/detail/quest-one-pem-electrolyzer-me450/me450/>, 2024.