



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Fakulta mechatroniky, informatiky  
a mezioborových studií ■

# Spolupráce obnovitelných zdrojů elektrické energie v rámci plovoucího energetického ostrova

## Bakalářská práce

*Studijní program:*

*Autor práce:*

*Vedoucí práce:*

B0714A270001 Mechatronika

**Vojtěch Marinič**

Ing. Jiří Kubín, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky





## Zadání bakalářské práce

# Spolupráce obnovitelných zdrojů elektrické energie v rámci plovoucího energetického ostrova

*Jméno a příjmení:* **Vojtěch Marinič**  
*Osobní číslo:* M19000206  
*Studijní program:* B0714A270001 Mechatronika  
*Zadávací katedra:* Ústav mechatroniky a technické informatiky  
*Akademický rok:* **2021/2022**

### Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se podrobně s možnostmi výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů použitelných na plovoucích elektrárnách.
2. Popište výhody a nevýhody jednotlivých obnovitelných zdrojů elektrické energie na plovoucích elektrárnách. Diskutujte možnosti ukládání elektrické energie formou energetického uložště.
3. Vytvořte modely jednotlivých obnovitelných zdrojů elektrické energie. Každý model bude umožňovat měnit intenzitu primární obnovitelné energie (vítr, slunce, příliv – odliv). Součástí práce bude také model energetického uložště.
4. Z jednotlivých dílčích modelů, vytvořte komplexní model plovoucího energetického ostrova s vyvedením energetického výkonu do energetické sítě. Model by měl umožňovat vyhodnocení energetických toků mezi plovoucím energetickým ostrovem a elektrickou sítí s ohledem na denní zátěžový diagram.
5. Diskutujte dosažené výsledky. Vyhodnoťte možnosti náhrady výroby elektrické energie z neobnovitelných zdrojů výrobou el. energie z plovoucích energetických ostrovů v zimním i letním období.

*Rozsah grafických prací:*  
*Rozsah pracovní zprávy:*  
*Forma zpracování práce:*  
*Jazyk práce:*

dle potřeby dokumentace  
30–40 stran  
tištěná/elektronická  
Čeština



### **Seznam odborné literatury:**

- [1] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 9788001049372;800104937X;.
- [2] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010. ISBN 9788024732503;8024732505;.
- [3] SRDEČNÝ, Karel a Česko. Ministerstvo životního prostředí. *Obnovitelné zdroje energie: Přehled druhů a technologií*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2009. ISBN 9788072125180;8072125184;.
- [4] KRIŠKOVÁ, Mahulena. *Obnovitelné zdroje energie z oceánů: Vysoké učení technické v Brně*. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2019.

*Vedoucí práce:*

Ing. Jiří Kubín, Ph.D.  
Ústav mechatroniky a technické informatiky

*Datum zadání práce:*

12. října 2021

*Předpokládaný termín odevzdání:*

16. května 2022

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.  
děkan

L.S.

doc. Ing. Josef Černožorský, Ph.D.  
vedoucí ústavu

V Liberci dne 12. října 2021

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

7. května 2022

Vojtěch Marinič



## Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Jirímu Kubínovy, Ph.D. za odborné vedení, spolupráci a rady při zhotovování této práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni, kteří mě při psaní této práce podporovali.

# Spolupráce obnovitelných zdrojů elektrické energie v rámci plovoucího energetického ostrova

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá rozbohem jednotlivých výrobních možností elektráren, které využívají obnovitelné zdroje energie pro výrobu elektrické energie, jako je voda, slunce a příliv, a následnou realizací energetického plovoucího ostrova, který spojuje všechny tyto elektrárny.

První část práce se zaměřuje na rozebrání možností a principů pro výrobu elektrické energie z jednotlivých zdrojů. Každý zdroj má samostatně vysvětlený princip přeměny energie, který přibližuje fungování elektrárny. Jelikož existuje spousta konstrukčních možností, jsou zde porovnávány vždy dva nejběžnější typy a následně je vybrán pro plovoucí ostrov ta více vyhovující. U zdroje energie z přílivu je popsán princip více podrobněji, jelikož se tyto elektrárny v dnešní době nevyskytují tak často, jako zbylé dvě.

Ke každé jednotlivé elektrárně je v této práci vytvořen samostatný model, který simuluje výrobu elektrické energie. U každého modelu je více popsán hlavní simulační blok, který je používán. Jsou zde zobrazeny i výstupní výkonové grafy, které znázorňují možný výstup.

Druhá část se již více zaměřuje na spolupráci zdrojů. Ze začátku je zde rozebrána kapitola o umístění plovoucího ostrova. Využívány jsou zde data nasbírána meteorologickými stanicemi po celém světě.

Dále je zde velmi důležitá kapitola, která se zabývá úložištěm přebytečné elektrické energie. Tato kapitola je velmi důležitá, jelikož při výrobě energie z obnovitelných zdrojů není zajištěna stálost zdrojů, tudíž vyvažování přebytku nebo nedostatku při výrobě je velmi důležité. Jsou zde rozebrány 3 hlavní způsoby uložení a následně je vybrána nejvíce přijatelná.

Finálním výsledkem práce je celkový model plovoucího ostrova, ve kterém jsou zkombinovány všechny zdroje včetně úložiště energie.

**Klíčová slova:** Obnovitelné zdroje energie, solární energie, větrná energie, energie přílivu, spolupráce, úložiště energie, simulace, modely

# Cooperation of Renewable Energy Sources within Floating Energy Sources

## Abstract

This bachelor thesis deals with the analysis of individual production possibilities of power plants that use renewable energy sources for the production of electricity, such as water, sun and tides, and the subsequent implementation of an energy floating island, which connects all these power plants.

The first part of the thesis focuses on the analysis of possibilities and principles for the production of electricity from individual sources. Each source has a separately explained principle of function. Since there are a lot of construction options, the two most common types are always compared here, and then the more suitable one is selected for the floating island. The principle of the tidal energy source is described in more detail, as these power plants do not occur as often today as the other two.

In this work, a separate model is created for each individual power plant, which simulates the production of electricity. For each model, the main simulation block that is used is described in more detail. Output power graphs are also displayed here, which show the possible output.

The second part focuses more on resource collaboration. From the beginning, the chapter on the location of the floating island is discussed. Data collected by meteorological stations around the world are used here.

Furthermore, there is a very important chapter that deals with the storage of excess electricity. This chapter is very important because the production of energy from renewable sources does not ensure the stability of resources, so balancing the surplus or shortage in production is very important. There are discussed 3 main methods of storage and then the most acceptable is selected.

The final result of the work is an overall model of a floating island, in which all sources, including energy storage, are combined.

**Keywords:** Renewable energy sources, solar energy, wind energy, tide energy, cooperation, energy storage, simulation, models

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>12</b>
1.1	Cíle práce . . . . .	13
<b>2</b>	<b>Seznámení s obnovitelnými zdroji energie</b>	<b>14</b>
2.1	Solární energie . . . . .	14
2.1.1	Fotovoltaický jev . . . . .	14
2.1.2	Fotovoltaický panel . . . . .	15
2.1.3	Monokrystalický panel . . . . .	15
2.1.4	Polykrystalický panel . . . . .	16
2.1.5	Zhodnocení . . . . .	16
2.2	Větrná energie . . . . .	17
2.2.1	Výkon větru . . . . .	17
2.2.2	Větrné turbíny . . . . .	18
2.2.3	Asynchronní generátor . . . . .	18
2.2.4	Synchronní generátor . . . . .	19
2.2.5	Zhodnocení . . . . .	19
2.3	Přílivová energie . . . . .	19
2.3.1	Slapový jev . . . . .	20
2.3.2	Přílivová elektrárna . . . . .	20
2.3.3	Zhodnocení . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Modely jednotlivých obnovitelných zdrojů elektrické energie</b>	<b>22</b>
3.1	Solární energie . . . . .	22
3.2	Větrná energie . . . . .	23
3.3	Přílivová energie . . . . .	25
<b>4</b>	<b>Plovoucí ostrov</b>	<b>27</b>
4.1	Umístění ostrova . . . . .	27
4.2	Ukládání přebytečné energie . . . . .	30
4.2.1	Elektrochemická akumulace . . . . .	30
4.2.2	Elektrochemická akumulace - Lithiové baterie . . . . .	30
4.2.3	Elektrochemická akumulace - Olověné baterie . . . . .	31
4.2.4	Elektrochemická akumulace - Průtokové baterie . . . . .	31
4.2.5	Mechanická akumulace . . . . .	32

4.2.6	Mechanická akumulace - Přečerpávací elektrárny . . . . .	32
4.2.7	Mechanická akumulace - Setrvačníky . . . . .	33
4.2.8	Zhodnocení . . . . .	34
4.3	Finální realizace . . . . .	35
4.4	Celkový model plovoucího ostrova . . . . .	37
4.4.1	Model bateriového úložiště energie . . . . .	37
4.4.2	Popis celkového modelu . . . . .	38
<b>5</b>	<b>Závěr</b>	<b>41</b>

## Seznam obrázků

1.1	Srovnání výroby elektrické energie [1] . . . . .	13
2.1	Princip činnosti fotovoltaického článku [2] . . . . .	15
2.2	Monokrystalický panel (vlevo) a Polykrystalický panel (vpravo) [4] . .	16
2.3	Výkonový graf větru [5] . . . . .	17
2.4	Charakteristika točivého momentu asynchronního generátoru [9] . . .	18
2.5	Výška přílivu v různých místech světových moří [11] . . . . .	20
2.6	Průřez přílivové elektrárny [12] . . . . .	21
3.1	Model solárního panelu . . . . .	22
3.2	Výstupní výkonový graf solárního panelu . . . . .	23
3.3	Model větrné elektrárny . . . . .	24
3.4	Výstupní výkonový graf větrných turbín . . . . .	24
3.5	Model přílivové elektrárny . . . . .	25
3.6	Výstupní výkonový graf přílivové elektrárny . . . . .	26
4.1	Místa ve světě, kde je příliv vyšší než 4 metry . . . . .	27
4.2	Mapa znázorňující intenzitu slunečního záření [14] . . . . .	28
4.3	Rychlost větru ve světě (čím tmavší oblast, tím rychlejší vítr v dané oblasti) [15] . . . . .	28
4.4	Konkrétní označení místa, kde budeme umisťovat plovoucí ostrov . .	29
4.5	Princip průtokové baterie [17] . . . . .	31
4.6	Schéma přečerpávací elektrárny [18] . . . . .	32
4.7	Schéma setrvačnicku [20] . . . . .	33
4.8	Podmořský kabel pro vedení elektrické energie [27] . . . . .	36
4.9	Bloky pro tvorbu vstupu k simulaci chování baterie . . . . .	38
4.10	Blok na tvorbu vstupů . . . . .	38
4.11	Blok na zobrazení výstupních grafů . . . . .	39
4.12	Výkonový výstup simulace letního dne . . . . .	40
4.13	Výkonový výstup simulace zimního dne . . . . .	40
5.1	Vstupní graf pro solární elektrárnu pro simulaci letního dne . . . . .	45
5.2	Vstupní graf pro větrnou elektrárnu pro simulaci letního dne . . . . .	45
5.3	Vstupní graf pro přílivovou elektrárnu pro simulaci letního dne . . . .	46
5.4	Vstupní graf pro odběratele pro simulaci letního dne . . . . .	46
5.5	Vstupní graf pro solární elektrárnu pro simulaci zimního dne . . . . .	47

5.6	Vstupní graf pro větrnou elektrárnu pro simulaci zimního dne . . . .	47
5.7	Vstupní graf pro přílivovou elektrárnu pro simulaci zimního dne . . .	48
5.8	Vstupní graf pro odběratele pro simulaci zimního dne . . . . .	48
5.9	Model pro finální simulace . . . . .	49

# 1 Úvod

Energetika je pro lidstvo velmi významné a potřebné téma. Elektrinu dnes potřebuje každý den přes 83% ze všech lidí na planetě Zemi. Je nedílnou součástí našich životů a bez ní už si život umí představit jen málo kdo. Problém nastává tehdy, když si uvědomíme, že potřeba elektrické energie je stále vyšší a bude tedy zapotřebí zvyšovat její výrobu.

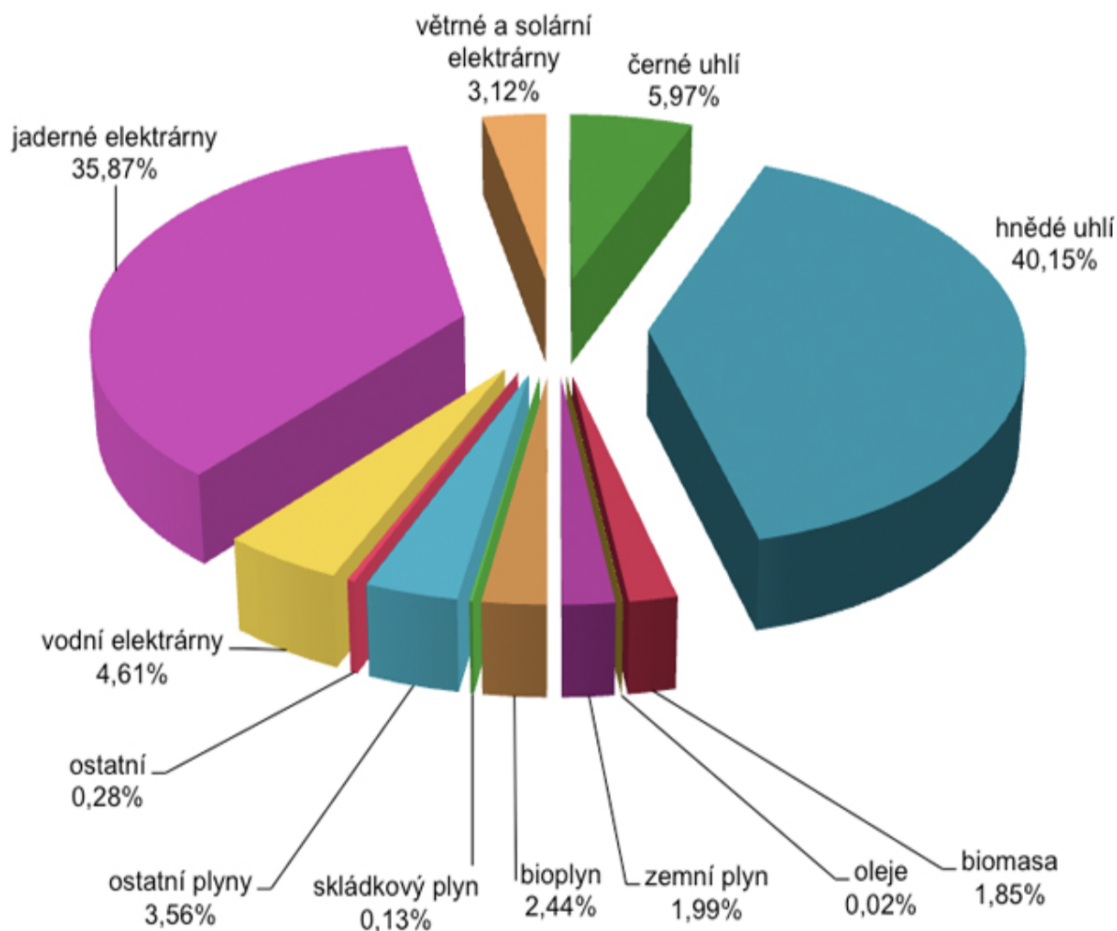
Dnes je většina této energie vyrobena v tepelných elektrárnách pomocí spalování uhlí. Jak ale víme, uhlí je neobnovitelný zdroj energie, nebo tedy obnovitelný je, ale vznik uhlí trvá kolem 300 milionů let, tudíž pro nás je neobnovitelný. Což znamená, že této planetě jednou dojdou zásoby, které má. To povede k výraznému poklesu výroby elektrické energie ve světě a tento deficit bude zapotřebí vykompenzovat.

Tomuto problému bude pomáhat a vlastně již dnes pomáhá energie získaná v jaderných elektrárnách. Z tohoto zdroje získáváme přibližně stejně velké množství, jako z uhlí. Ovšem u těchto elektráren nastávají velké problémy spojené s uranem. Ten umíme zpracovat jen z velmi malé části a vzniká tak velké množství jaderného odpadu, se kterým lidstvo neumí nakládat. Samozřejmě v budoucnu doufejme že budeme mít technologie, které nám dovolí využít uran lépe a objem vyrobené energie z uranu se ještě zvýší.

Nedílnou součástí vyrábění energie budou ovšem obnovitelné zdroje. Ty dnes vyrábějí pouze malou část celkové elektrické energie, jak můžete vidět na obrázku 1.1. Pro budoucí generace je to ovšem klíč k výrobě elektrické energie z důvodu, že slunce, vítr a další obnovitelné zdroje tu budou pořád. Technologie kolem obnovitelných zdrojů energie se stále zdokonaluje a v budoucnu bude určitě na takové úrovni, že bude vyrábět většinu světové energie. Ale co kdybychom našli způsob, jak tyto zdroje lépe zužitkovat již dnes.

Pro lepší využitelnost energie slunce, větru a přílivu by mohl posloužit plovoucí ostrov, který by kombinoval právě tyto tři zmíněné zdroje. Ostrov, který by byl strategicky umístěn tak, aby se zajistila co největší možná výroba elektrické energie a který by kombinoval výkonové výstupy z jednotlivých elektráren do jednoho. Tento ostrov by poté mohl lépe komunikovat se spotřebními požadavky uživatelů a mohl by tak zajistit lepší a stabilnější dodávky elektrické energie novodobému světu.





Obr. 1.1: Srovnání výroby elektrické energie [1]

## 1.1 Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je přiblížit čtenáři výrobu elektrické energie pomocí obnovitelných zdrojů a hlavně jejich spolupráci v rámci plovoucího ostrova. Čtenář se dozví informace týkající se konstrukce jednotlivých typů elektráren a jejich funkčnosti. Výkonové výstupy z jednotlivých elektráren mohou nastínit přibližnou výrobu energie z jednotlivých zdrojů. Celkové schéma a výsledné výstupní grafy přibližují spolupráci zdrojů, která jistě bude do budoucna velmi užitečnou alternativou výroby elektrické energie, která nahradí dnešní spalovací elektrárny.

## 2 Seznámení s obnovitelnými zdroji energie

V následující kapitole jsou rozebrány a popsány možnosti výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů zvolených pro výstavbu plovoucího ostrova. Na konci každé podkapitoly se čtenář dozví, jaká možnost bude použita při následném zhotovení plovoucí elektrárny. Ke každému zdroji je zhotoven popsán model s výsledným výkonovým grafem.

### 2.1 Solární energie

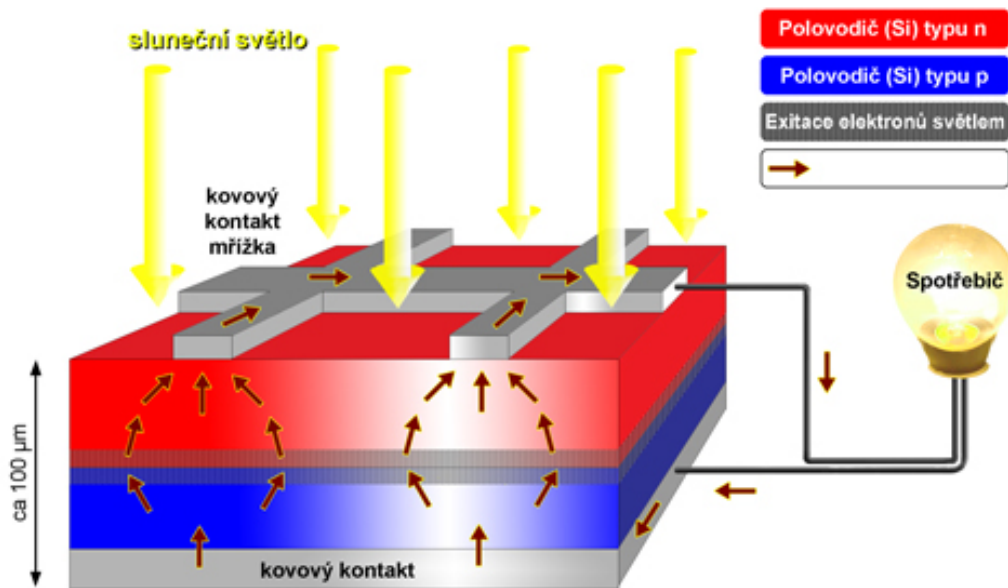
Fotovoltaika je přímá metoda, při níž se přeměňuje sluneční záření na elektrickou energii (stejnoseměrný proud). Při této metodě je využit fotoelektrický jev, který působí na polovodičové fotodiody. Tyto jednotlivé diody se nazývají fotovoltaické články, jejichž spojováním do větších skupin vznikají fotovoltaické panely.

#### 2.1.1 Fotovoltaický jev

Fotovoltaický jev nastává v polovodičích, jako je například křemík (Si) nebo germanium (Ge). Jelikož ale čistý polovodič neobsahuje dostatek volných elektronů, je nutné do něj přimísit atomy jiných prvků. Tato dotace zvýší celkovou vodivost v materiálu. K tomuto dotování se nejčastěji používají trojmocné (Al, B, Ga) nebo pětímocné (Sb, P, As) prvky. Pro tyto směsi se nejčastěji používá křemík. Pokud se křemík smísí s trojmocným prvkem, vznikne polovodič typu N, ve kterém se elektrony stávají majoritním nosičem a volné díry minoritním. Pokud se křemík smísí s pětímocným prvkem, vznikne polovodič typu P, ve kterém se volné díry stávají majoritním nosičem a elektrony nosičem minoritním. Tyto dva typy polovodiče spojíme a vytvoříme tak tenkou vrstvu, kterou nazýváme P-N přechod.

Pokud na P-N přechod bude dopadat sluneční záření, začnou se generovat volné elektrony a díry. Ty jsou následně poslány na opačné strany přechodu. Elektrony do typu P, kde vytvoří záporný pól a díry do typu N, ze kterého vytvoří kladný pól. Tímto momentem zde vzniká fotoelektrické napětí a fotoelektrický proud který souhrnně nazýváme fotovoltaickým jevem. [1]

## Princip činnosti fotovoltaického článku



Obr. 2.1: Princip činnosti fotovoltaického článku [2]

### 2.1.2 Fotovoltaický panel

Během svého vývoje prošly fotovoltaické články značnými změnami, kdy každá další generace vedla a vede k celkovému zdokonalení. Ačkoli nutno podotknout, že každá generace měla své výhody i nevýhody. Jejich tloušťka se z důvodu stability pohybuje od 0,2 do 0,3 mm. Solárních článků je v dnešní době nejrůznější množství typů, my si však v rozsahu této práce představíme jen dva základní, a to jsou monokrystalické a polykrystalické články.

### 2.1.3 Monokrystalický panel

Pro výrobu tohoto typu článku je zapotřebí vyrobit větší jednotný ingot velmi čistého křemíku. Z toho vyplývá, že výroba je poměrně náročná. Z takto připraveného ingotu se následně řezou tzv. wafery, které se následně oříznou na požadovanou velikost. Vzhledem k tomu, že tento panel vznikl jako jeden celistvý blok křemíku, je jeho výsledná struktura jednolitá a na pohled velice čistá. Zbarvení nejčastěji bývá tmavě modré až skoro černé. Na obrázku 2.2 je znázorněn vlevo. Teoretická účinnost tohoto panelu se pohybuje okolo 33 %, avšak skutečná účinnost se pohybuje mezi 14 až 17 %. Výkon těchto článků se udává v rozmezí 180 - 250 W.

Tyto články mají větší účinnost, než články polykrystalické a díky procesu výroby mají mírně pomalejší stárnutí, což znamená, že výkon panelu bude časem klesat pomaleji. [3] [4]

## 2.1.4 Polykrystalický panel

Pro výrobu polykrystalického panelu se využívá krystalizace množství menších krystalů křemíku. Z těchto krystalů se následně vyrobí substrát, který se lisuje do jednoho většího celku. Následně je celek rozřezán na požadovanou velikost stejně jako u monokrystalického panelu. Tento typ panelu má svou výraznou barvu a viditelnou strukturu až skvrnitou. Na obrázku 2.2 je zobrazen vpravo. Účinnost u tohoto panelu se pohybuje v rozmezí 12 až 15 %.

Klady těchto článků jsou nižší cena a větší možné výrobní rozměry. [3] [4]



Obr. 2.2: Monokrystalický panel (vlevo) a Polykrystalický panel (vpravo) [4]

## 2.1.5 Zhodnocení

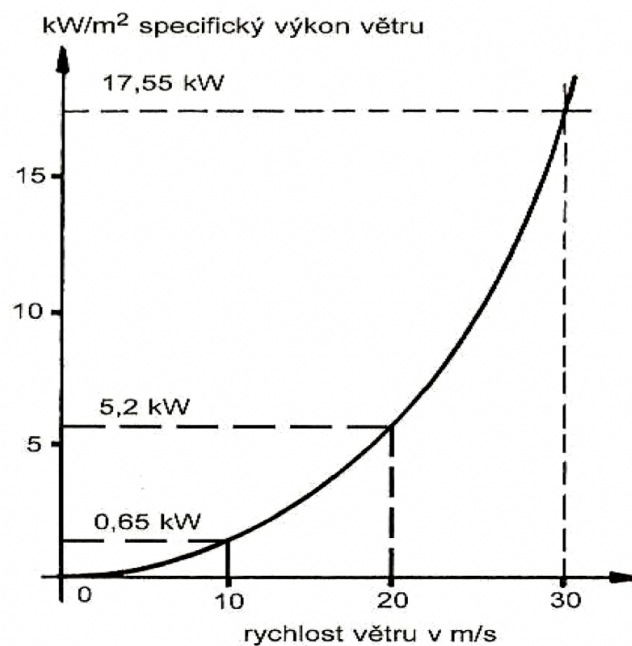
Z celkového pohledu na tyto dva typy můžeme usoudit, že v dnešní době už se od sebe odlišují jen minimálně. Myslím ale, že pro plovoucí ostrov se lépe budou hodit panely, které mají monokrystalické články. Výstavba bude, co se ekonomického pohledu týče, dražší a náročnější, nicméně delší životnost, větší výkon a větší účinnost těchto panelů zajistí kvalitní a dlouhotrvající spokojenost.

## 2.2 Větrná energie

Nerovnoměrným ohříváním vzdušných mas při zemském povrchu se vytvářejí tlakové výše a níže. Vlivem těchto tlakových rozdílů vzniká vítr. Těchto skutečností využívá větrná elektrárna, která za působení aerodynamických sil na listy rotoru převádí větrnou energii na rotační mechanickou energii. Ta je prostřednictvím větrného motoru zdrojem elektrické energie.

### 2.2.1 Výkon větru

Výkon větru rychle stoupá se třetí mocninou jeho rychlosti. Tedy výkon se stává osminásobným, jestliže se rychlost zvýší dvakrát.



Obr. 2.3: Výkonový graf větru [5]

Tento výkon plyne z rovnice:

$$P = \frac{1}{2} * q * v^3 * S$$

P - výkon větru (W)

q - hustota vzduchu (kg/m<sup>3</sup>)

v - rychlost větru (m/s)

S - plocha, kterou vítr proudí (m<sup>2</sup>)

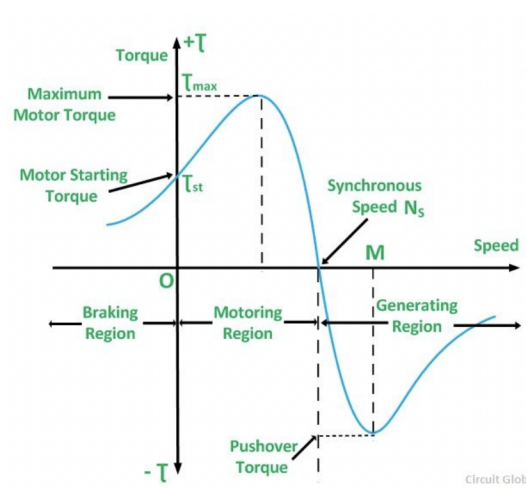
## 2.2.2 Větrné turbíny

Větrné turbíny jsou zařízení, která přeměňují energii větru na mechanickou rotační energii na hřídeli motoru. Těchto motorů můžeme nalézt spoustu. Jeden z prvních, dnes už v energetice nepoužívaný je motor odporový, používaný v předchůdci větrné turbíny, a to ve větrných mlýnech. Dále, dnes používaný motor vztlakový, který dosahuje teoretické účinnosti maximálně 59,3 %. Používají se zejména v Darieově rotoru či v mnoho lopatkových rotorech. V této práci si ale rozebereme nejčastěji používané typy, vhodné pro plovoucí ostrov, a to asynchronní a synchronní motory. [6]

## 2.2.3 Asynchronní generátor

Tyto generátory se používají u malých či středních větrných elektráren. Třífázový asynchronní motor lze bez jakýchkoliv úprav používat jako elektrický generátor pro výrobu elektrické energie. Pro jeho využití se používá s kotvou nakrátko nebo vinutým rotorem, nutnost využití převodovky. Tento druh generátoru pracuje rovnou do sítě bez potřebných úprav, proto o něm lze říct, že je velmi jednoduše přifázovatelný k síti. Mají levnější konstrukci a nemají žádné rotující kontakty oproti synchronním generátorům. Nejčastěji se využívají motory se čtyřmi nebo šesti póly.

Asynchronní generátory se spouštějí z třífázové sítě. Toto spouštění u větrných elektráren s motory o výkonu nad 3 kW je nutno domlouvat s dodavatelem elektrické sítě, protože při připojení motoru do sítě vznikne proudový náraz, který způsobí pokles napětí v celé síti. Při rozběhu stroj čerpá z napájecí sítě jalový výkon  $Q$  (VAR). Následně je rychlost zvýšena až nad synchronní otáčky. V tomto okamžiku začne stroj generovat moment. Změní se směr otáčení proudů ve vedení, výkon ve vzduchové mezeře a skluz je záporný, a proto začne generátor dodávat energii do sítě. Charakteristika asynchronního stroje je vidět na obrázku 2.4. [7] [8]



Obr. 2.4: Charakteristika točivého momentu asynchronního generátoru [9]

## 2.2.4 Synchronní generátor

Tyto generátory se využívají zejména do velkých větrných elektráren. Tyto generátory vyžadují elektroniku upravující energii, která je schopna snímat otáčky, napětí, fázový posun, okamžik připojení k síti a okamžik odpojení od sítě, proto jsou mnohem dražší než asynchronní generátory. Mají vysokou účinnost (95-98 %) a poměrně nízké pracovní otáčky. Mohou být nabuzeny na hodnotu účinníku  $\cos = 1$ , aby dodávaly do sítě pouze činný výkon. Jsou využitelné pro široký rozsah rychlostí větru, protože dokáží vyrábět proud a napětí dle parametrů i při vysokých otáčkách.

Rotor je poháněn větrnou turbínou. Budící vinutí rotoru, které je napájeno stejnosměrným proudem indukuje statické magnetické pole. Toto rotující magnetické pole indukuje ve statorových vinutích pootočených vůči sobě o  $120^\circ$  tři střídavá napětí, která spolu vytvářejí třífázové napětí. Ze statoru je při zatížení odváděn třífázový proud. [7] [8]

## 2.2.5 Zhodnocení

Pro plovoucí ostrov bude žádoucí, aby měl co možná největší vyráběnou energii, hlavně z tohoto důvodu použijeme pro výrobu větrných turbín synchronní generátory. Jako u solární energie bude tato výroba dražší a budou zapotřebí komplikované řídicí systémy, ale účinnost při výrobě bude vyšší.

## 2.3 Přílivová energie

Přílivová energie je energie, kterou lze získat díky měnící se hladiny moří a oceánů. Tento princip získávání energie spočívá na střídajícím se přílivu a odlivu. Jinými slovy, přílivová energie je důsledkem přesunu vody z vyšší vodní hladiny do nižší, tedy vyrovnáváním dvou hladin.

Jelikož se jedná o energii, která je závislá na hladině moře či oceánu, je tato energie považována za obnovitelnou, ale co je důležitější, je brána jako nevyčerpatelná. Čemuž napomáhá i stále se zvyšující hladina vody po celém světě z důvodu globálního oteplování. Výroba energie z tohoto zdroje nijak neznečišťuje okolní prostředí.

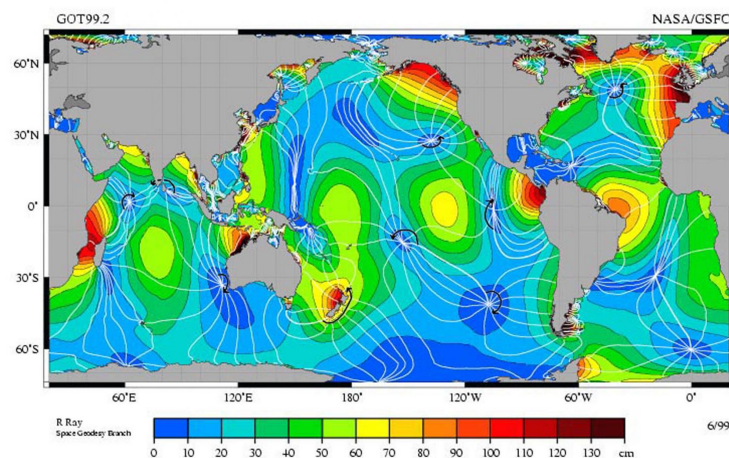
Slapová energie, tedy energie přílivu a odlivu je brána jako velice spolehlivý zdroj energie. Na rozdíl od energie sluneční či větrné u ní lze předvídat a dopředu zjistit, jak se bude chovat, protože se vyskytuje pravidelně. Zdroj této energie není ovlivňován ročním obdobím nebo počasím, lze tedy počítat se stále stejným množstvím vyrobené energie. [10]



### 2.3.1 Slapový jev

Slapové jevy jsou přírodní procesy, ve kterém se uplatňují zákony o gravitačním působení mezi dvěma tělesy. Mezi nejznámější slapové jevy se řadí příliv a odliv. Ty vznikají působením gravitačních sil mezi Zemí a Měsícem (v menší míře i mezi Zemí a Sluncem) na mořskou vodu.

Příliv a odliv se na témže místě na planetě vystřídá dvakrát za den, a to po 6 hodinách a 12 minutách. V následujících dnech se doba přílivu posouvá tak, že po 7 dnech a 9 hodinách nastane v témže místě odliv místo plánovaného přílivu. Velikost hladiny při přílivu se po celém světě liší, ale pohybuje se od 0,8 metru do 20 metrů. Na obrázku 2.5 můžeme vidět tuto různorodost velikosti přílivu na různých místech světa. [11] [12]

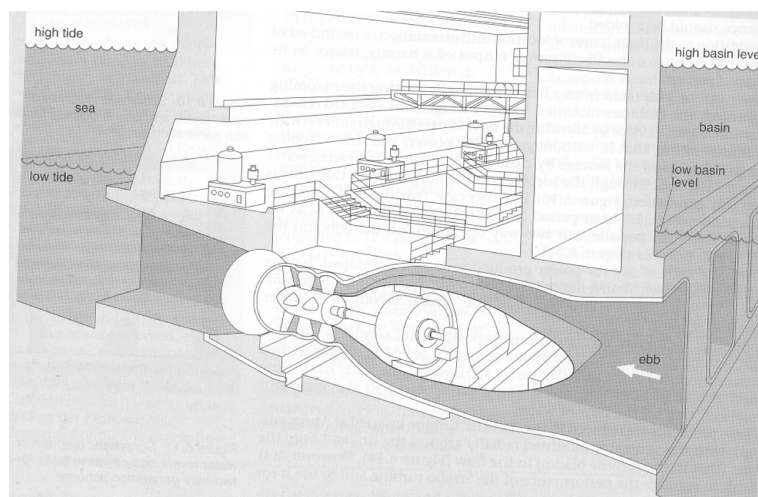


Obr. 2.5: Výška přílivu v různých místech světových moří [11]

### 2.3.2 Přílivová elektrárna

Tento druh elektráren je nejstarším a nejznámějším způsobem využívání energie moře pro výrobu elektrické energie. Vzhledem připomíná hráz nebo přehradu. Jednu stranu této hráze omývá moře a na druhé to může být navazující řeka nebo uměle vytvořená nádrž. Ve většině případů se pro chod využívají Kaplanovy turbíny. Tyto turbíny jsou umístovány jednotlivě do bloků a ty následně vytváří elektrárnu jako celek. Momentálně největší přílivová elektrárna se nachází ve Francii na řece Rance. Její délka činí 333 metrů a je osazena 24 turbínami. [13]





Obr. 2.6: Průřez přílivové elektrárny [12]

Voda přílivu je přiváděna k vodní turbíně, která pohání generátor. Tyto turbíny jsou konstruovány tak, aby dokázaly využívat energii vody tekoucí v obou směrech. Při obousměrném chodu ale dochází k poklesu účinnosti.

### 2.3.3 Zhodnocení

Pro plovoucí ostrov bude vyžadována výška přílivu vysoká alespoň čtyři metry, samozřejmě čím větší, tím lepší. Světová místa, kde k tomuto dochází, můžete vidět na obrázku 2.5 všude, kde se nachází oranžová až rudě červená barva.

Bohužel u realizace tohoto zdroje energie nastává problém. Jak již bylo řečeno výše, tyto elektrárny jsou stavěny jako přehrady. Tudíž jediná možnost, jak tuto elektrárnu vystavit na plovoucím ostrově je taková, že by se nacházela po okraji ostrova, protože z jedné strany ji musí omývat moře. Zádrhel ale nastává v momentě, kdy si uvědomíme, že tato elektrárna potřebuje i svou druhou stranu, kde jsou jen dvě již zmíněné možnosti, navazující řeka nebo velká vodní nádrž, což pro plovoucí ostrov představuje neřešitelný problém. Respektive, na tomto ostrově by se teoreticky dala vystavět vodní nádrž, ta by ale musela být tak veliká, že by se velikost ostrova zvětšila hned několikanásobně, ať už do šířky, tak i do výšky a náklady na jeho realizaci by se proto enormně zvýšily, což nás vede k závěru, že je tato možnost nepřijatelná.

Avšak i tento problém má své řešení a to takový, že tato elektrárna nebude přímou součástí plovoucího ostrova, ale bude vystavěna u pevniny, konkrétně bude oddělovat širé moře a přírodně vytvořený záliv. Proto budeme muset tuto skutečnost vhodně zahrnout při výběru místa pro náš systém. Naštěstí pro nás je takových míst po celém světě spousta, tudíž nás to nebude nijak omezovat.

Ačkoliv tato elektrárna nebude přímou součástí ostrova, bude i nadále brána jako by byla, a tudíž všechna energie zde získána bude spolupracovat s energiemi získanými z větrné a solární energie.

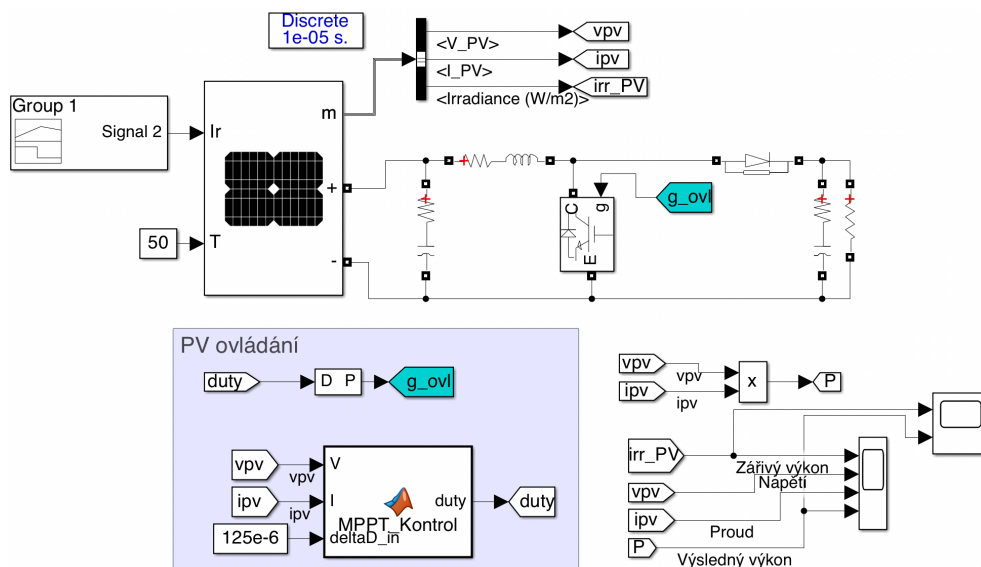
## 3 Modely jednotlivých obnovitelných zdrojů elektrické energie

### 3.1 Solární energie

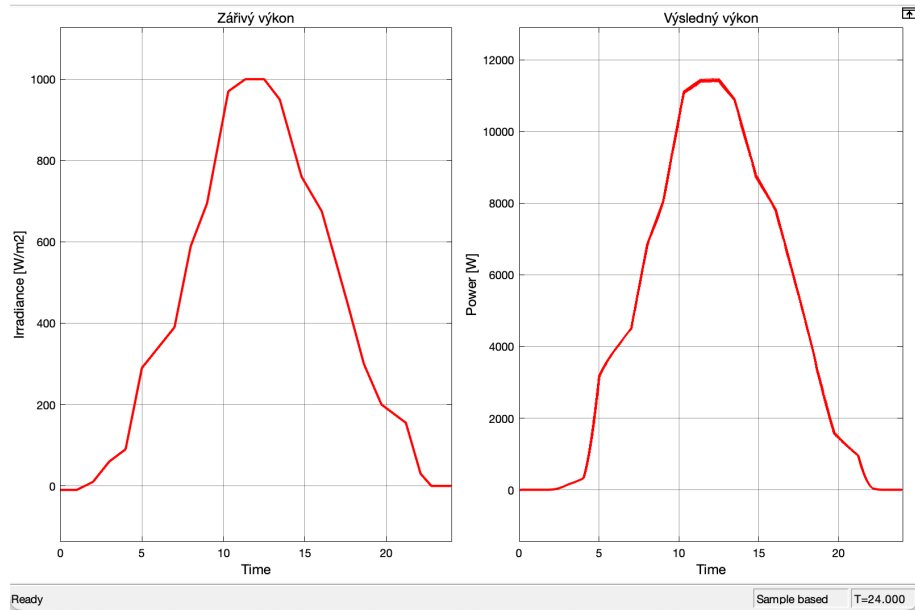
Pro simulaci výroby energie solárními články je zde použit blok PV array, který se nachází v knihovně simulinku. Tento blok nám umožňuje odsimulovat chování určitého typu solárního panelu. Do tohoto bloku vstupují dvě proměnné, vstupní graf, který simuluje ideální chování slunce během jednoho dne, a teplota jednoho článku ve stupních Celsia. Výstupem z tohoto bloku je měření, které nám vypočítá výstupní napětí a proud ze solárního panelu, ze kterého lze vypočítat výstupní výkon. Máme také možnost nastavit počet článků na jednom panelu.

Pro mou simulaci jsem využil článek s nejvyšší účinností na trhu od značky Sunpower, který má uváděný výkon 400 W a solární panel se skládá z deseti řad o šesti článcích. Výsledný výkon je tedy výstup pouze z jednoho panelu.

Celý model je ovládán diskretním krokem o velikosti 0,01 ms.



Obr. 3.1: Model solárního panelu



Obr. 3.2: Výstupní výkonový graf solárního panelu

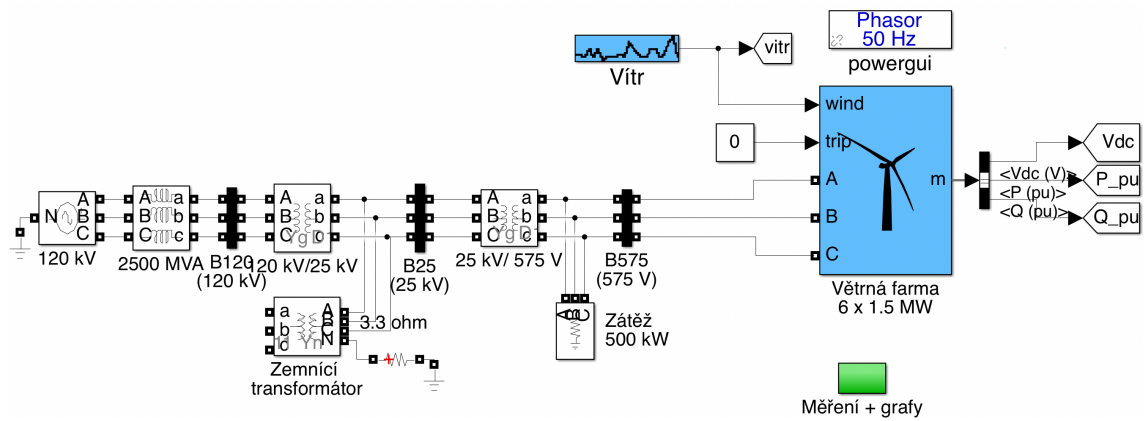
## 3.2 Větrná energie

K simulaci výroby elektrické energie z tohoto zdroje jsem využil blok, který lze v Simulinku najít pod názvem **Wind turbine**. Do zmíněného bloku jako hlavní proměnná vstupuje rychlost větru, která je v modelu určována vstupním grafem. Dále je zde nutnost tří fázového napájení, které je modelováno z VVN sítě až na 575 voltů, které je zapotřebí pro napájení větrných turbín. Uvnitř bloku lze nastavit počet turbín (v tomto případě jsem zvolil 6 turbín). Všechny tyto turbíny jsou realizovány synchronními generátory.

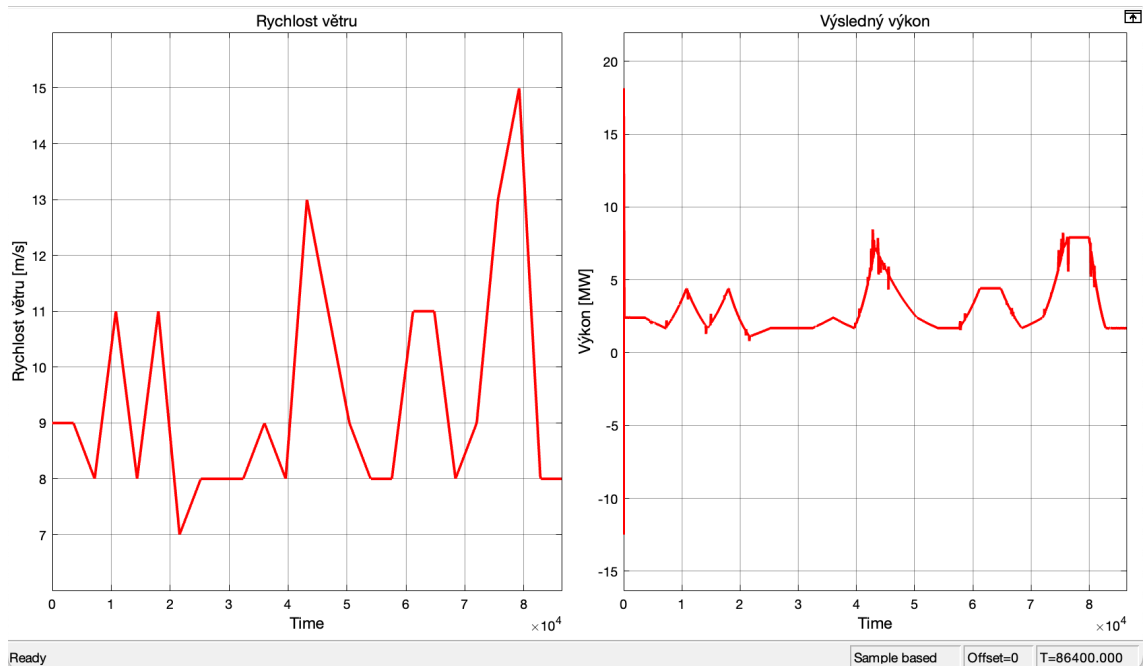
Výstupem je výkon, který je vypočítáván samotným blokem. U tohoto bloku lze na výstupu vidět jak činný, tak jalový, který nám může více přiblížit chování větrných turbín. Ve výsledném grafu je zobrazen pouze výkon činný.

Model je puštěn po dobu, která odpovídá jednomu dnu, ale jiným způsobem, než u předchozího modelu. Čas je zde nastaven na 86400 sekund, což odpovídá počtu sekund v jednom dni. Toto řešení je z důvodu lepší čitelnosti v grafu a také proto, že blok použit pro simulaci nemá dostatečně rychlou odezvu, aby nám stačil čas použitý u ostatních modelů.

Tento model je ovládán fázovým řízením, který má frekvenci 50Hz.



Obr. 3.3: Model větrné elektrárny



Obr. 3.4: Výstupní výkonový graf větrných turbín

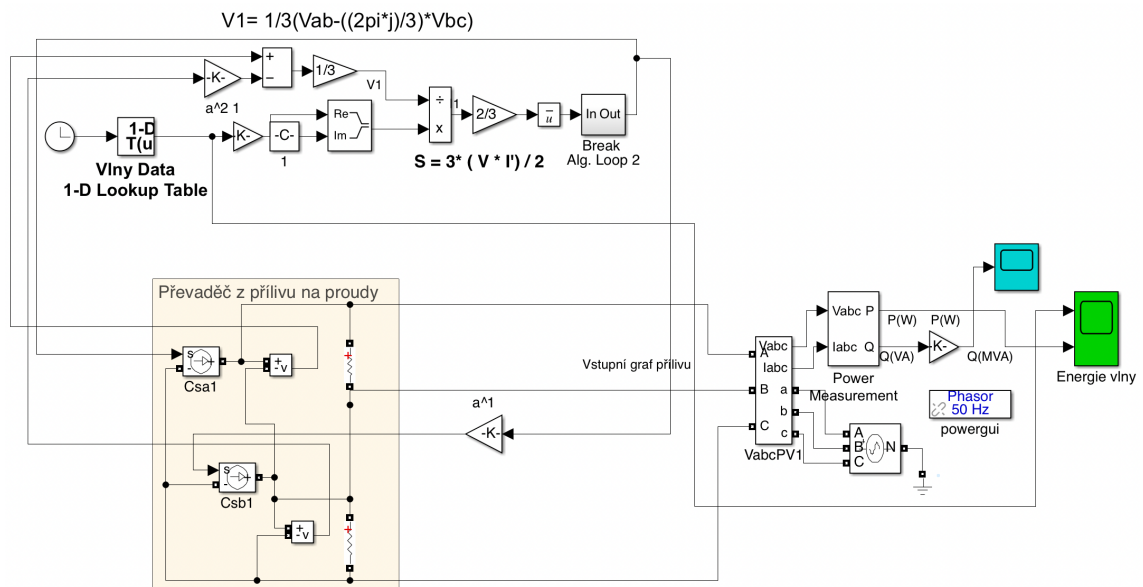
### 3.3 Přílivová energie

K simulaci výroby elektrické energie z přílivu neexistuje v simulinku před připravený blok, proto se simulační schéma liší od ostatních. K simulaci jsou zde použity zdroje elektrického proudu.

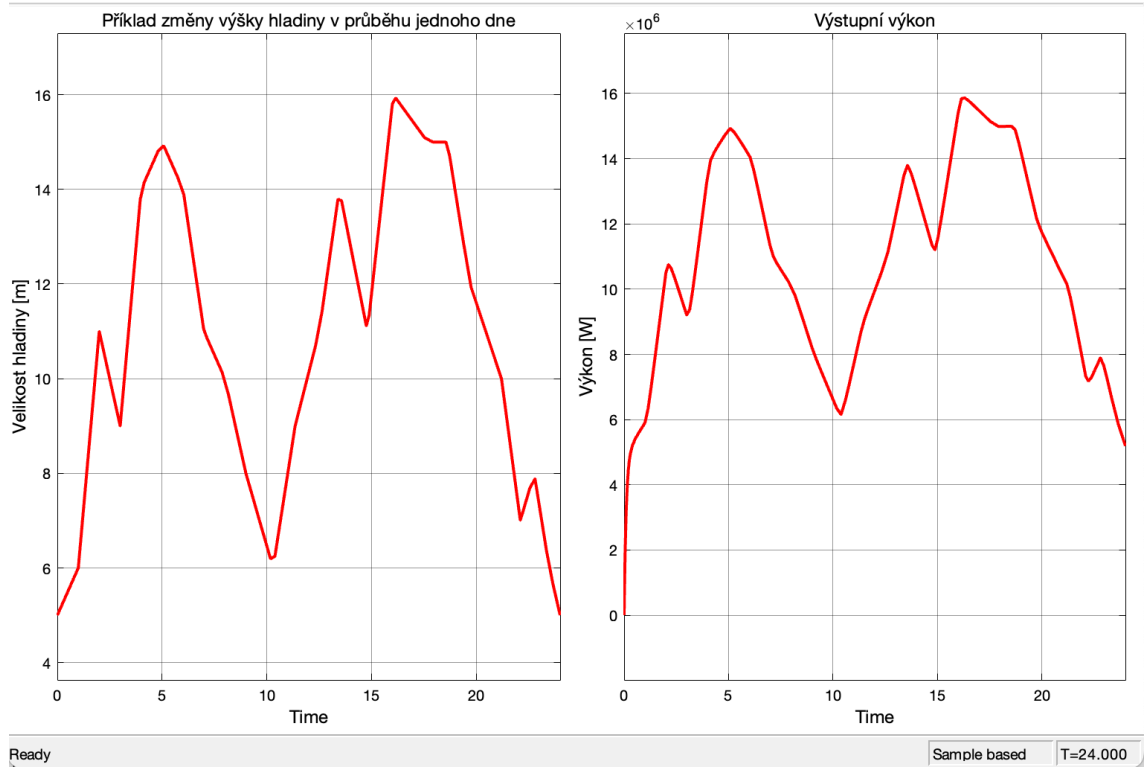
Jako vstup do modelu je využito tří fázové napětí, které je měřeno mezi fázemi pro další počítání. Tato měření jsou dále využita pro výpočet jednofázového napětí. Následně je vypočítán zdánlivý výkon, který je zde potřeba pro vstup do bloku, který měří proud. Ten je v tomto bloku změřen a poslán dále, kde se z něj vypočítá činný výkon, který je výkonovým výstupem. Ten je zobrazen v bloku scope, jako výstupy v předchozích simulacích.

Jako vstup do tohoto modelu je graf, který znázorňuje možný průběh přílivu a odlivu během jednoho dne. Přibližný výkon jedné turbíny, použité na výstavbě přílivové elektrárny, se pohybuje kolem 1,5 MW. Pro tuto simulaci předpokládejme, že máme takových turbín 10.

Tento model je ovládán fázorově s frekvencí 50 Hz.



Obr. 3.5: Model přílivové elektrárny



Obr. 3.6: Výstupní výkonový graf přílivové elektrárny

## 4 Plovoucí ostrov

V této kapitole se budeme už koukat na celkovou realizaci plovoucího ostrova jako celku s využitím znalostí nabranými v předchozí kapitole. Probereme si a vhodně zvolíme umístění ostrova tak, aby byla zaručena co největší možnost výroby elektrické energie. K tomuto účelu nám poslouží data nasbíraná za několik let ústavy po celém světě.

Dále se podíváme na možnost ukládání přebytečně vyrobené elektrické energie. Rozebereme si zde všechny možnosti, ze kterých následně zvolíme tu nejvíce optimální.

V závěru kapitoly se zaměříme na vzhled a rozložení všech součástí ostrova.

### 4.1 Umístění ostrova

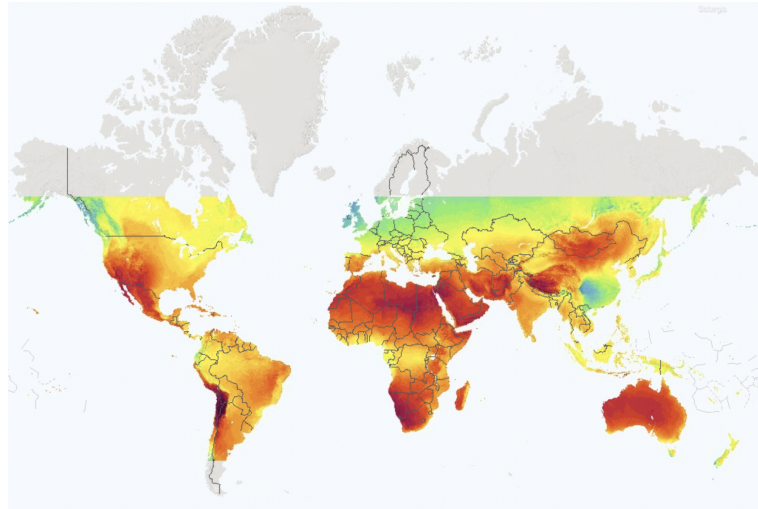
Volba vhodného umístění ostrova se na první pohled nemusí zdát obtížná, ale při bližším pohledu na meteorologické údaje zjistíme, že tomu tak není. Ideálních míst, kam by se mohly postavit jednotlivé elektrárny je po celém světě spousta, avšak ideálních míst pro ostrov, kde se nachází elektráren více, je jen malá hrstka. Nejvíce obtížné je vybrat umístění pro přílivovou elektrárnu, protože v předchozí kapitole jsme se dozvěděli, že ideální místo pro tuto elektrárnu je tam, kde výška přílivu dosahuje alespoň čtyř metrů. Tyto místa můžeme dobře vidět na následujícím obrázku (4.1).



Obr. 4.1: Místa ve světě, kde je příliv vyšší než 4 metry

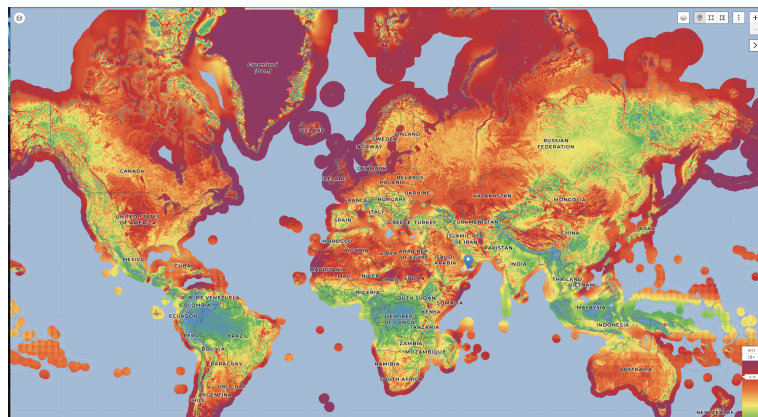


Nyní se nám výběr místa zúžil z celého světa na 22 míst. Na těchto místech nyní budeme zkoumat, zda budou vyhovovat i dalším elektrárnám. S jistotou už teď můžeme vyřadit místa, která se nacházejí na severu Ameriky, protože jak uvidíme na následujícím obrázku, pokrytí slunečním zářením je tam hodně malé. To samé platí i o spodním výběžku jižní Ameriky.



Obr. 4.2: Mapa znázorňující intenzitu slunečního záření [14]

Z této mapy můžeme vidět, že by bylo ideální, kdybychom vybrali oblast, která se nachází v tropickém podnebném pásmu. Ať už sever jižní Ameriky nebo oblasti poblíž Japonska. Nutno ale podotknout, že v těchto oblastech nám nepřeje poslední živel, a to vítr. Ten nejvíce fouká na severu zeměkoule, jak vidíme na obrázku 4.3.



Obr. 4.3: Rychlost větru ve světě (čím tmavší oblast, tím rychlejší vítr v dané oblasti) [15]

Tudíž, když si shrneme co jsme se dozvěděli, tak víme, že ideální bude oblast, která se bude nacházet v mírném či subtropickém podnebném páse. Bude se tedy jednat o oblast u Číny, Francie nebo Kanady. Oblast u Kanady je ale chudá na sluneční



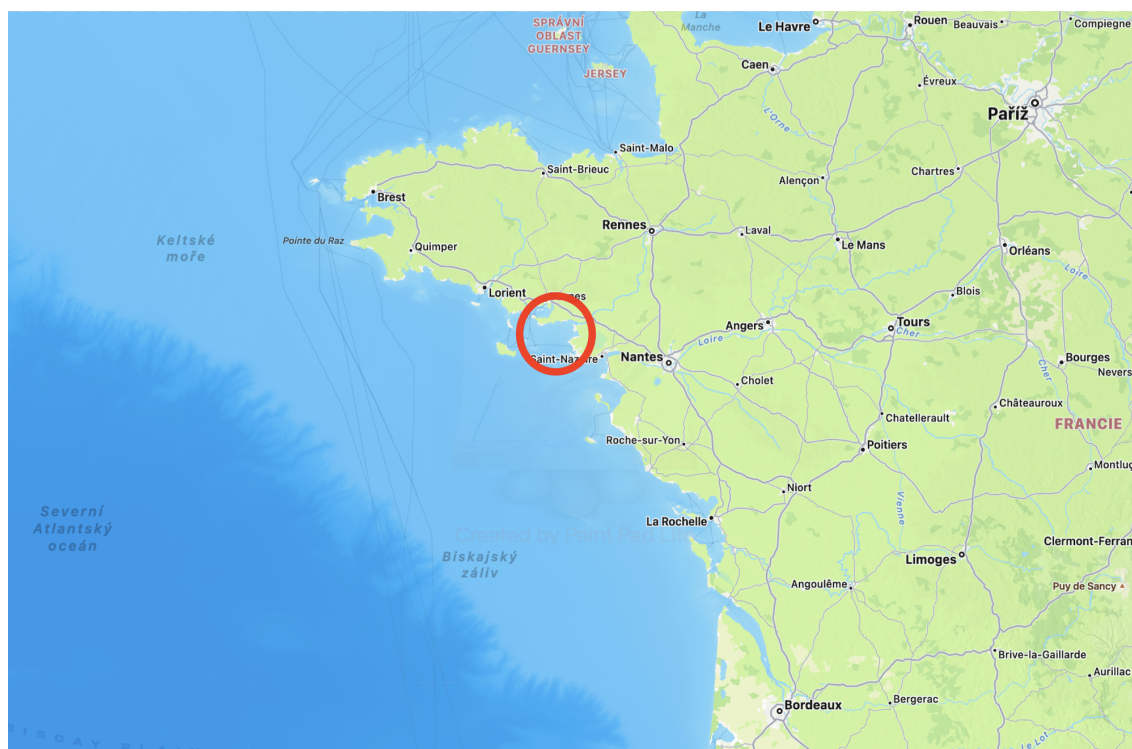
záření, tudíž ji rovnou vyřadíme. Oblast kolem Francie i Číny jsou v mnoha ohledech hodně podobné, tudíž se naskytují obě tyto možnosti.

Nicméně oblast u Francie bude lepší volbou. U Číny, Thaj-wanu a Japonska často dochází k záplavám a povodním. Z tohoto důvodu si myslím, že by tento faktor byl jen dalším zbytečným problémem, se kterým by se muselo počítat, a který by nepřinášel nic pozitivního našemu ostrovu. Docházelo by k častějším výpadkům či poruchám, což není žádoucí.

Vybrat ale konkrétní místo je velmi obtížné. Jedná se totiž o velký zásah do životů lidí žijících v místech, kde bychom umísťovali přílivovou elektrárnu. V dnešní době jsou místa na pobřeží, která by byla vhodná, jako jsou přírodní zálivy nebo ústí řek, v hodně případech obydlená, jsou zde postaveny přístavy nebo se na těchto místech nacházejí pláže pro veřejnost.

## Zhodnocení

Použitelných míst na západním pobřeží Francie je spousta, ovšem myslím, že toto místo nedaleko Nantes bude dobrou volbou.



Obr. 4.4: Konkrétní označení místa, kde budeme umísťovat plovoucí ostrov

Jak můžeme vidět, v tomto místě se nachází řeka Vilaine, která nám poslouží jako navázání pro přílivovou elektrárnu. Ovšem by zde byla potřeba vytvořit průplav či zdymadlo pro zajištění lodní dopravy, která je zde využívána. Bylo by zapotřebí vytvořit hráz, která bude dlouhá přibližně 750 metrů. Při potřebě patnácti metrů

pro jeden blok vychází tato vzdálenost na využití padesáti turbín. Nicméně jak bylo zmíněno, bude zde potřeba počítat s výstavou zdymadla, což počet turbín zmenší. Výsledný počet bloků by tedy mohl být 40, což při výšce přílivu, která se zde nachází, zajistí dostatečně vysokou výrobu elektrické energie. Samotný ostrov obsahující větrnou a solární elektrárnu bude umístěn v Biskajském zálivu.

## 4.2 Ukládání přebytečné energie

V této kapitole se rozebírá téma uskladňování přebytečné energie vyrobené plovoucím ostrovem.

Uskladnění přebytečné energie je v dnešní době již potřebná součást elektráren, které vyrábějí elektřinu. Největší využití však zastává u obnovitelných zdrojů, u kterých nelze regulovat, kolik energie se v danou chvíli vyrobí. U spalovacích elektráren lze snadno vypočítat, kolik bude v danou chvíli zapotřebí vyrobit energie, aby nedošlo k výpadku nebo nedostatku. To ale u obnovitelných zdrojů nelze z důvodu jejich nestálosti. Úložiště energie je schopno v momentech, kdy výroba energie klesne pod potřebné minimum, vykompenzovat tento propad do doby, než se výroba znovu ustálí. Možností, jak ukládat energii je spousta, proto si teď všechny nejvíce používané představíme a následně zvolíme tu, která bude nejlépe vyhovovat našemu ostrovu.

### 4.2.1 Elektrochemická akumulace

Jednou z hlavních možností, jak uchovávat energii, je elektrochemická akumulace. Ta s využitím chemických jevů ukládá elektrickou energii v bateriích nebo akumulátorech. Akumulátor využívá přeměnu elektrické energie na chemickou, kterou je možno v případě potřeby transformovat zpět na energii elektrickou. Každý akumulátor aby fungoval musí obsahovat alespoň jeden článek. Ten aby fungoval, musí obsahovat 3 reaktanty. První je záporná elektroda (anoda), druhým reaktantem je prostředí, které nazýváme elektrolyt a třetí je kladná elektroda (katoda). Jakmile akumulátor připojíme ke zdroji energie, začne docházet k chemickým reakcím, tedy nabíjení či vybíjení. Při vybíjení prochází elektrická energie od záporné elektrody ke kladné, při čemž dochází k přeměně chemické energie na elektrickou. Tedy do té doby, dokud nejsou aktivní hmoty zcela vyčerpány, respektive přeměněny. Výhodou akumulátoru od baterie je, že u akumulátorů můžeme donutit proud elektronů proudit opačně, to znamená od katody k anodě, a tak znovu přeměníme hmotu, tedy znovu nabijeme akumulátor pro další použití. [16]

### 4.2.2 Elektrochemická akumulace - Lithiové baterie

Baterie využívající lithium jsou dnes nejvíce rozšířený typ baterií. Její anoda je tvořena vrstvou uhlíku, elektrolyt je tvořen lithiovou solí a katoda je z oxidu kovů. Napětí tohoto článku se pohybuje v rozmezí od 1,4 V do 1,5 V. Výhodou tohoto

článku je nižší hmotnost, doba skladovatelnosti a dodávky vyšších proudů. Díky rozměrům mají tyto baterie rozsáhlou použitelnost.

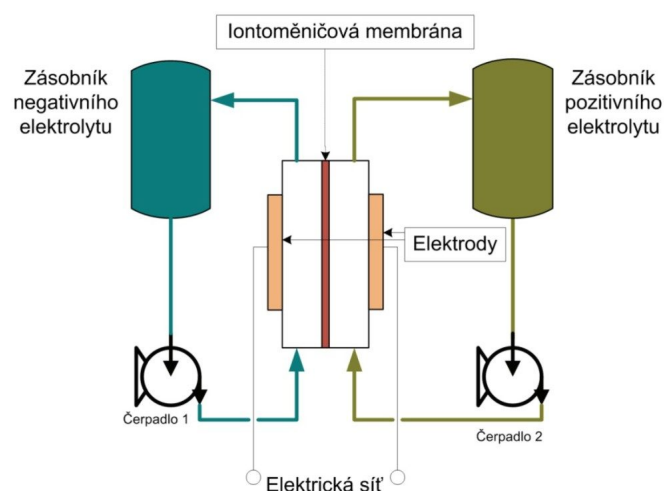
Nejvíce používaným typem je Li-ion baterie. Tyto baterie mají velmi vysokou hustotu energie (530 Wh/l). Vyrábí se v různých tvarech a nedochází u nich v podstatě k žádnému samo vybíjení (maximálně 5 %). Životnost se pohybuje mezi 500 až 1200 cyklů. Jmenovité napětí této baterie se udává 3,6 V. Největší nevýhodou může být fakt, že jakmile se baterie dostane na úplné vybití a zůstane vybité delší dobu, je možné, že už se baterii nepodaří znovu oživit a bude zapotřebí článek vyměnit. [16]

### 4.2.3 Elektrochemická akumulace - Olověné baterie

Olověný akumulátor je článek s elektrodami na bázi olova a jako elektrolyt je zde použita kyselina sírová. Tyto baterie se nejvíce používají v automobilech. Jejich jmenovité napětí je 2,1 V. Jejich velikou výhodou je schopnost dodávat velké rázové proudy. Odolnost vůči nízkým teplotám, cena baterie a její bezpečnost jsou další důvody použití tohoto článku.

### 4.2.4 Elektrochemická akumulace - Průtokové baterie

Průtokové baterie skladují energii pomocí tekutého elektrolytu. Nabíjí se stejně jako ostatní typy baterií. Elektrolyt je vháněn do zásobních tanků a poté opět přiveden do chemického článku. Největší využití najde v instalacích, kde je zapotřebí dlouhodobé zálohování. Jmenovité napětí se pohybuje v rozmezí 1,4 V až 1,6 V. Tyto baterie poskytují možnost okamžitého přechodu mezi vybíjením a nabíjením, proto jsou optimální k vyrovnávání krátkodobých a střednědobých výkyvů výkonu fotovoltaických a větrných elektráren, způsobených proměnlivostí zdroje. Princip průtokové baterie je znázorněn na obrázku 4.5. [17]



Obr. 4.5: Princip průtokové baterie [17]

## 4.2.5 Mechanická akumulace

Mechanické akumulátory jsou takové akumulátory, které převádí přebytečnou elektrickou energii na energii mechanickou, která může při potřebě být zpět převedena na elektrickou. Nejznámější dva typy takových akumulátorů jsou přečerpávací elektrárny a setrvačníky.

## 4.2.6 Mechanická akumulace - Přečerpávací elektrárny

Přečerpávací vodní elektrárny čerpají vodu z níže položené vodní nádrže do výše položené v době, kdy je energetický přebytek. Tyto nádrže jsou spojeny potrubím, ve které je umístěna reverzní turbína. V momentě, kdy je energie nedostatek, se voda vypustí přes tuto turbínu zpět do dolní nádrže. Turbína tedy přemění mechanickou energii proudu vody zpět na elektrickou, aby vyrovnala nedostatek vyrobené energie. Celý tento proces se může opakovat stále dokola, jedná se tedy o spolehlivý akumulátor energie.

Tento typ elektrárny klade velmi vysoké nároky na geografické podmínky, jelikož je zapotřebí velkých ploch pro obě nádrže a velký výškový rozdíl mezi nádržemi. Kvůli tomuto důvodu se tyto elektrárny staví v místech, kde jsou velké rozdíly nadmořské výšky. Je zde i možnost umělého vystavění místa pro výše položenou nádrž, ale tato varianta by byla velmi finančně náročná a dlouhá na výstavbu, proto je tato možnost nepřijatelná.

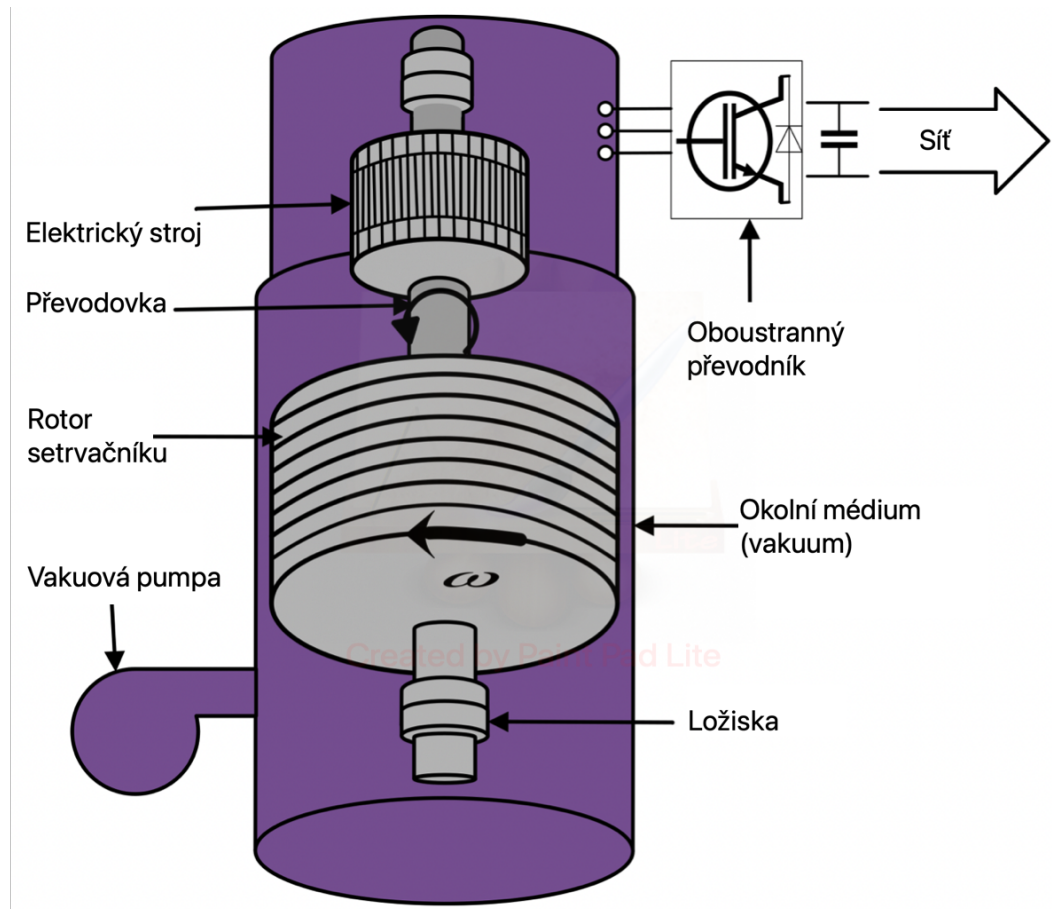
Přečerpávací vodní elektrárny jsou zatím jediným nástrojem, jak uchovat větší množství přebytečné elektrické energie na delší dobu. [18]



Obr. 4.6: Schéma přečerpávací elektrárny [18]

#### 4.2.7 Mechanická akumulace - Setrvačníky

Setrvačníky jsou tím vůbec nejstarším akumulátorem energie. Jeho konstrukce je velmi jednoduchá a má velké množství využitelnosti. Setrvačnick akumuluje energii ve formě kinetické energie rotoru, který se otáčí velmi vysokou úhlovou rychlostí. Rotor má obvykle tvar válce, kola, prstence, disku nebo dutého válce. Rotor je umístěn ve sníženém tlaku okolního média a je tvořen z plastů, které jsou vyztuženy uhlíkovými vlákny. Setrvačnick jsou konstruovány tak, aby měly co možná největší moment setrvačnosti při co nejmenších rozměrech a hmotnosti. Vyrábějí se nejčastěji z oceli. Schéma setrvačnicku si lze prohlédnout na obrázku 4.7. [19]



Obr. 4.7: Schéma setrvačnicku [20]

Jeho princip spočívá v tom, že se přebytečnou elektrickou energií roztočí rotor na co nejvyšší otáčky, tedy energii mechanickou. Jakmile začne docházet k nedostatku energie, setrvačnick se odpojí od zdroje. Ten však pokračuje v rotaci a sám se stává zdrojem kinetické energie. Setrvačnick mají velmi vysokou účinnost, která je zaručena speciálními konstrukčními prvky a dosahuje hodnoty přes 90 %. Otáčky setrvačnicku se pohybují v rozmezí od 5000 otáček za minutu až po 50000 otáček za minutu.

Rovnice pro výpočet kinetické energie setrvačnicku je:

$$Ek = \frac{1}{2} * J * \omega^2$$

- J - moment setrvačnosti tělesa
- $\omega$  - úhlová rychlost

Protože je úhlová rychlost přímo úměrná frekvenci, lze vzorec přepsat následovně:

$$Ek = 2 * \pi^2 * J * f^2$$

Energie je tedy dána velikostí momentu setrvačnosti a otáčkami setrvačnicku.

Průměrné množství akumulované energie se pohybuje od 5 Wh/kg (u pomaloběžných setrvačnicků) až po 100 Wh/kg (u rychloběžných setrvačnicků). Největší vyrobený setrvačnick je schopen akumulovat až 5 MJ a má hmotnost kolem 10 tun. K dodávání energie do setrvačnicku a k jejímu uvolňování slouží elektrický rotační stroj, který pracuje buď jako motor, nebo jako generátor.

#### 4.2.8 Zhodnocení

Možností pro ukládání energie je mnoho, a proto si v této kapitole zvolíme tu nejlepší pro plovoucí ostrov. Je nutné podotknout, že úložiště energie nebude přímo na ostrově. Jelikož se přílivová elektrárna nachází na pobřeží, umístíme úložiště také tam. Bude k němu tedy mnohem lepší přístupnost v případě, že by se něco pokazilo a došlo k poruše nějakého systému.

První věc, kterou lze s přehledem vyloučit, je přečerpávací elektrárna. Tato elektrárna je sice nejlepší úschovnou energie na delší dobu, což by ostrovu zajisté prospělo, ale v podmínkách, kde ostrov vystavujeme, tato možnost nepřipadá v úvahu. Na pobřeží určitě nenajdeme dostatečně vysoké místo, abychom tuto elektrárnu mohli vybudovat. A jak již bylo zmíněno dříve, umělé vybudování takového místa není výhodné.

Setrvačnický oproti bateriím jsou rychlejší dodavatelem zásobené energie a jejich hlavní výhoda oproti bateriím je, že nedochází k jejich opotřebení s dobou opotřebení. Jejich hlavní nevýhodou v tomto porovnání je relativně malá velikost skladované energie. Navíc v setrvačnicích dochází ke tření, které snižuje jejich účinnost. Tudíž jejich jediná výhoda oproti bateriím je životnost, která není dostatečným faktorem při výběru úložiště pro ostrov. Tam bude více vyhovující lithiová baterie.



V hodně již fungujících systémech se ale tato dvě úložiště používají současně, tudíž není vyloučeno, že by se ostrovu dopřála i tato varianta. Vše ale ukáže budoucnost, kde zjistíme, zda bude zapotřebí většího úložiště.

## 4.3 Finální realizace

Pro naši finální realizaci budeme uvažovat ostrov, který bude ve tvaru kruhu a bude o průměru 800 metrů. To jest 124 akrů, které máme k dispozici pro vybudování solárních panelů a větrných turbín. Tyto 2 elektrárny na ostrov rozdělíme rovným dílem, to znamená, že každý zdroj energie bude mít k dispozici 62 akrů místa. Vzhledem k tomu, že přílivová elektrárna je na pevnině, nemusíme ji prozatím řešit. Pojdme si tedy udělat přehled o tom, kolik energie bude ostrov možný vyrábět.

### Větrná energie

Větrné turbíny se vyrábějí v různých velikostech, samozřejmě čím větší turbína, tím větší vyrobená energie. Na plovoucím ostrově by nebylo žádoucí, aby větrné turbíny byly moc vysoké, protože ostrov bude plout na moři, což pro nás znamená, že příliš vysoké turbíny by se mohli po nějaké době začít hroutit z důvodu pohyblivosti moře. Na druhou stranu nemohou ale být příliš malé, protože by se jich muselo postavit hodně, což by nebylo ekonomicky přijatelné. Například jedna 100 kW turbína potřebuje pro správný chod přibližně 500 metrů čtverečných, což by na velikost, kterou máme pro turbíny k dispozici vycházelo na 490 turbín. [21]

Vybereme tedy přijatelnější variantu a použijeme 2 MW turbíny. Tyto turbíny potřebují pro správný chod jeden a půl akru (5128 metrů čtverečných), což by znamenalo, že na ostrově bude 40 těchto turbín. Tyto turbíny budou schopny dohromady vyrábět 80 MW. Každá turbína bude vysoká přibližně 90 metrů. [22]

Samozřejmě je zapotřebí uvést náklady na výstavbu, které se u těchto větrných turbín pohybují mezi 2,6 a 4 miliony dolarů. Z toho lze jednoduše vypočítat, že se cena za všechny turbíny bude pohybovat v rozmezí od 104 do 160 milionů dolarů. [23]

### Solární energie

U solárních panelů víme, že vyrábějí 100 - 150 wattů na 1 metr čtverečný. Jelikož se ostrov bude nacházet v oblasti subpolárního pásu a ne tropického předpokládejme, že výroba na 1 metr čtverečný bude 140 wattů. Za těchto podmínek můžeme vypočítat, že celková výroba na 61 akrů bude 35 MW. [24]

Největší problém u solárních panelů po obvodu ostrova může být ten, že vlivem stříkající slané vody z moře se mohou postupem času panely začít zanášet solí, která na nich bude zůstatvát potom, co se voda vypaří. Toto se bude řešit pravidelným čištěním, aby se výroba energie nezmenšovala a vlastník ostrova mohl počítat se stále stejnou dodávkou vyrobené energie.

Co se týče ceny výstavby, tak jeden metr čtverečný solárního panelu stojí od 40 do 110 dolarů, tedy na tomto ostrově budou panely v celkové hodnotě od 10 milionů do 27,5 milionu dolarů. V těchto částkách nejsou brány v potaz možné množstevní slevy, tedy tyto částky se mohou ve finále nepatrně lišit. [25]

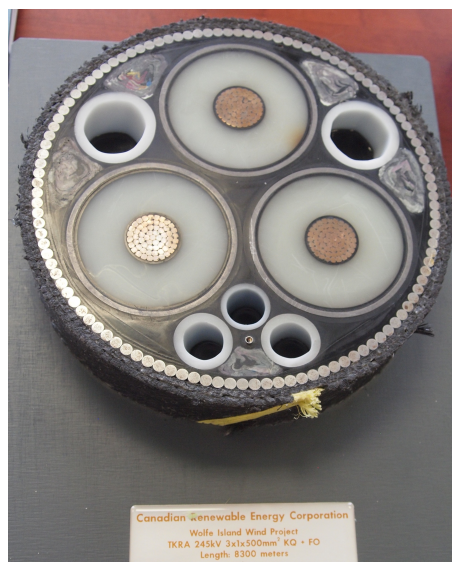
### **Přílivová energie**

Jak bylo již zmíněno v kapitole 4.1, vzhledem k umístění přílivové elektrárny máme k dispozici přibližně 750 metrů dlouhý pás, kde budeme umisťovat turbíny. Tato kapitola nastínila, že takových turbín zde bude 40. V předešlé kapitole 3.3 bylo uvedeno, že jedna taková turbína má výkon 1,5 MW. Tudíž lze vypočítat, že celkový výkon přílivové elektrárny bude 60 MW.

Tato elektrárna bude zajisté tou nejdražší. Zde se cena vyšplhá do stovek milionů dolarů, protože jedna turbína stojí bez mála 5 milionů dolarů. Tudíž celková cena této elektrárny se bude pohybovat kolem 200 milionů dolarů. [26]

### **Vedení**

Nedílnou součástí systému plovoucího ostrova samozřejmě musí být i vedení, které nám zajistí přenos elektrické energie z ostrova na pevninu, kde se nachází bateriové úložiště energie. Vzhledem k tomu, že se ostrov bude pohybovat, nepřipadá v úvahu jakákoliv jiná možnost než podvodní kabel, nebo jak se mu říká, ponorkový kabel. Tyto kabely jsou schopny přenášet energii pod hladinou slané vody a jsou v dnešní době velmi používané. Dokáží přenést energii, i několik set kilometrů, což je pro nás vyhovující. Jak tento kabel vypadá v průřezu se můžete podívat na obrázku 4.8. [27]



Obr. 4.8: Podmořský kabel pro vedení elektrické energie [27]

Tyto kabely se prodávají v cenové relaci od 30 do 50 tisíc dolarů. [28]



## Úložiště energie

Baterií použitelných na systému ostrova, tedy pro elektrárny se vyrábí velké množství. Od několika desítek wattů až po gigawatty. Nám by mohli vystačit baterie, jejichž velikost bude 48 MWh. To by znamenalo, že by baterie dokázaly zásobit ve špičce 48 MW na dobu jedné hodiny nebo 1 MW po dobu 48 hodin. To by mohlo zajistit dostatečně vysoký výkon v době delší energetické krize, ale také při delším nedostatku ovlivněným nestálostí obnovitelných zdrojů.

Podobné úložiště již ve světě existuje a stálo přibližně 81 milionů dolarů. Tudíž dnes je nutno počítat s vývojem ceny, tudíž se u tohoto úložiště dostaneme na částky blízké stovce milionu dolarů.

## Shrnutí

Pojďme si tedy vše zrekapitulovat. V konečném návrhu počítáme s tím, že ostrov je ve tvaru kruhu s průměrem 800 metrů. Na této ploše se bude vyrábět energie, jejíž velikost bude 115 MW. Když k tomu připočteme výkon z nedaleké přílivové elektrárny, dostaneme se až na výkon 175 MW. Máme zde baterie, které jsou schopny vyvažovat nedostatky energie a vedení, které dostane energii na pobřeží, odkud je dodávána spotřebitelům.

Pokud se na ostrov podíváme z hlediska ceny, tak ze zjištěných údajů se dostaneme na částku 425 až 518 milionů dolarů. V této hodnotě ovšem nejsou započítány částky na vystavení samotného ostrova, na který umísťujeme turbíny a panely, tudíž je nutno počítat s tím, že tato částka není finální, ale pouze naznačuje možnou částku. Myslím ale, že finální částka bude klidně i dvojnásobná.

## 4.4 Celkový model plovoucího ostrova

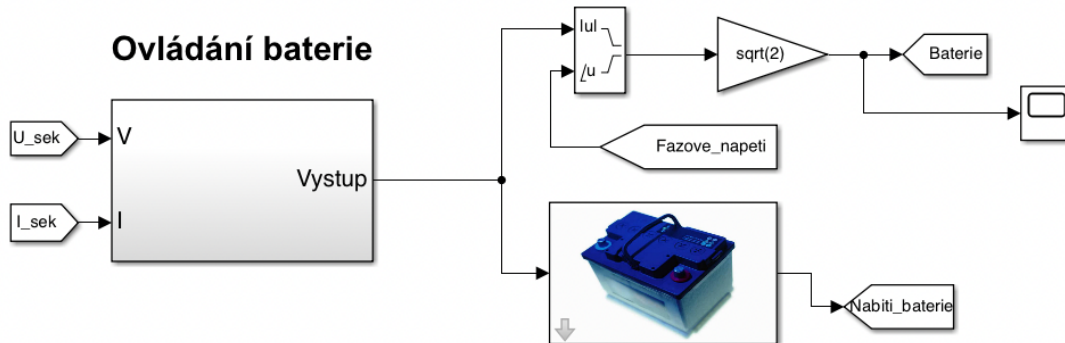
V této kapitole se podíváme na finální model plovoucího ostrova se všemi komponenty, to jest modely všech tří elektráren plus model úložiště energie. Všechny tyto komponenty reagují společně na požadavky odběratele.

### 4.4.1 Model bateriového úložiště energie

Model, který simuluje chování baterie, která ukládá přebytečnou energii je samozřejmě potřebnou součástí celkového modelu a simulací. Jelikož se v matlabu nenachází použitelný před připravený blok, který by simuloval chování baterie, je zapotřebí tento problém vyřešit jiným způsobem.

Všechny dílčí modely jsou simulovány pomocí zdrojů proudu, do kterých vstupují hodnoty ze vstupních grafů. Model baterie není v ničem jiný. Blok zdroje proudu také potřebuje vstupní hodnoty, které jsou získávány po zpracování výkonu ze sekundárního vynutí. Tento výkon se upraví přes integrátory. Výsledné hodnoty,

kteře ovládají zdroj proudu, se pohybují kolem nuly. Jakmile je hodnota nad nulou, baterie je v chodu a je zapotřebí vyvažovat nedostatek výroby. Je-li hodnota pod nulou, baterie není využívána a dochází k nabíjení. Celý proces je popsán pomocí bloků, které jsou znázorněny na následujícím obrázku obrázku 4.9.

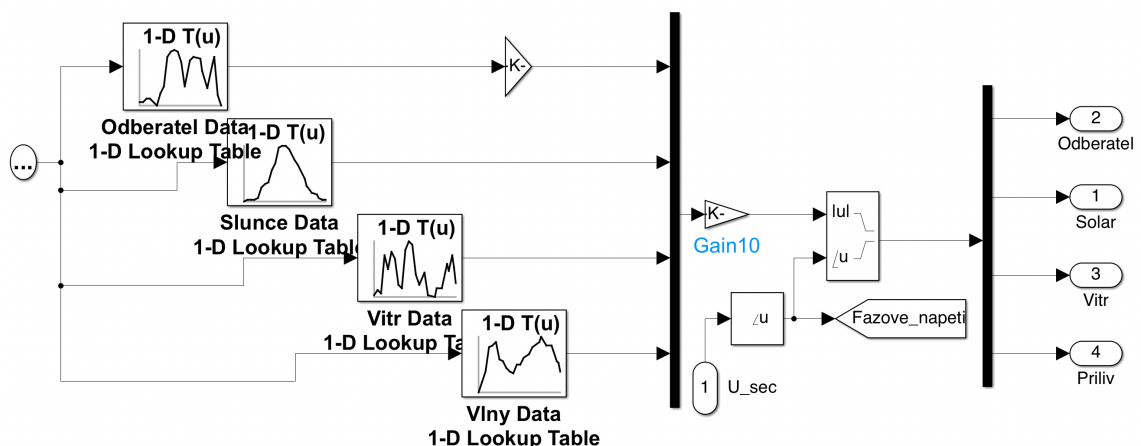


Obr. 4.9: Bloky pro tvorbu vstupu k simulaci chování baterie

Na konci je ještě zapotřebí převést reálné číslo na číslo komplexní, protože blok zdroje proudu pracuje s komplexními čísly.

#### 4.4.2 Popis celkového modelu

Jako první věc, co je zapotřebí udělat, jsou vstupní grafy. Ty jsou uvedeny v bloku **Vstupní grafy** (obrázek 4.10). Zde se za každý časový krok pošle jedna hodnota z každého grafu. Tyto vstupní grafy jsou vytvořeny z průměrných meteorologických dat za několik let. [14] [15] Vstupní graf pro chování odběratele je vytvořen přibližně, podle očekávání spotřeby, která se liší podle ročního období.

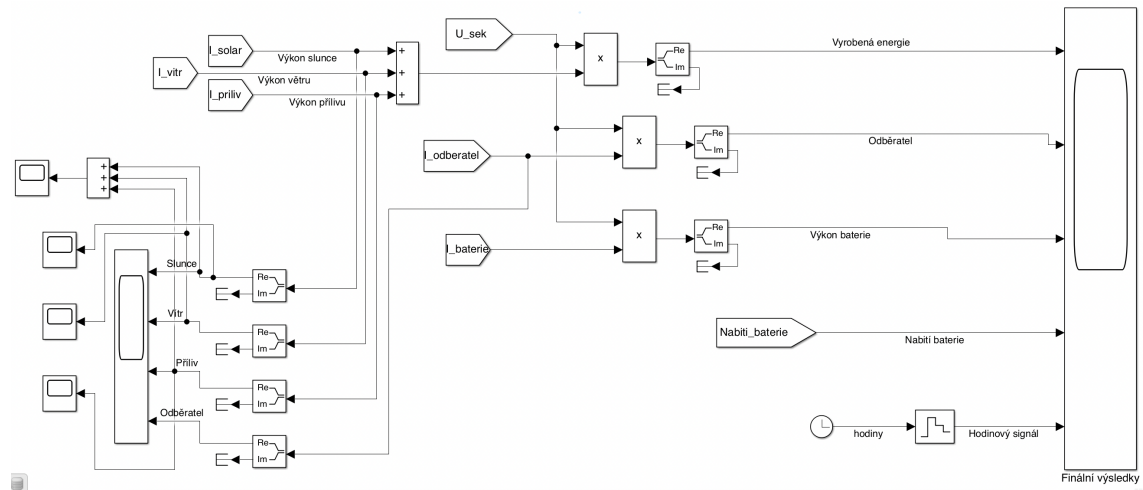


Obr. 4.10: Blok na tvorbu vstupů

Prvním blokem modelu je zdroj napětí. Tento blok simuluje vysokonapěťovou síť (zde je použito 35 kV). Následně je přes kabel a transformátory sníženo napětí až

na 200V. Toto napětí používají všechny bloky zdroje proudu, které simulují chování jednotlivých elektráren. Vše je vidět na celkovém modelu uvedeném na obrázku 5.9.

Dále jsou samotné modely pro jednotlivé elektrárny. Výstupy z těchto modelů, tedy výstupní grafy jsou zobrazovány v bloku **výstupy** (obrázek 4.11). Hlavní výstupový graf, má 4 vstupy. Součet vyrobené energie z každého ze tří zdrojů, graf, který znázorňuje chování odběratele a následně je zde výkon a nabití baterie.



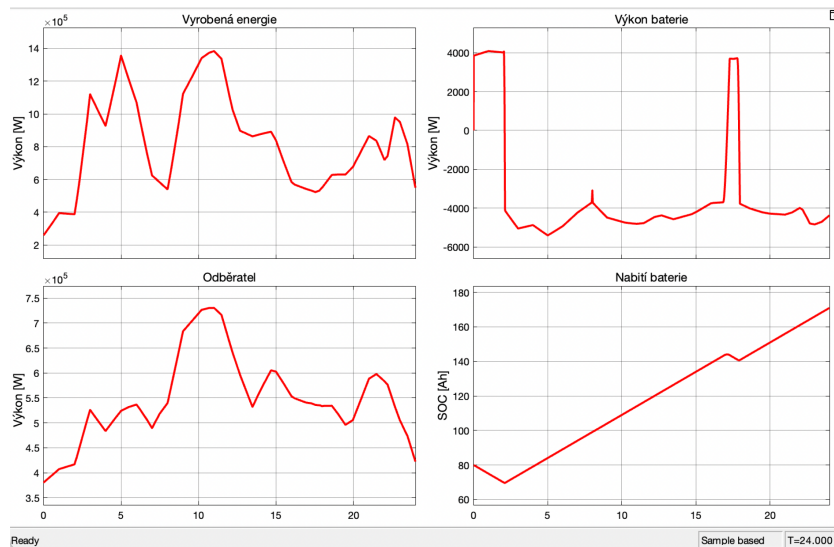
Obr. 4.11: Blok na zobrazení výstupních grafů

Celkový čas pro jednu simulaci je 24 kroků, kde každý krok představuje jednu hodinu. Pro výstupní 2 grafy je vždy zvolen jeden den, jeden je v létě a druhý v zimě. Tyto roční období jsou zvoleny pro jasnou viditelnost odlišností v ročních dobách. V létě je spotřeba elektrické energie podstatně menší. Hlavní rozdíl je, že v zimě se daleko déle svítí a používají se elektrická topení, která spotřebovávají spoustu energie.

Baterie v simulacích je hned ze začátku nabita. Samozřejmě není nabita na plnou kapacitu, aby bylo vidět nabíjení i vybíjení. Vstupní grafy pro simulaci dne v létě jsou zobrazeny v příloze A na obrázcích 5.1 5.2 5.3 5.4. Pro zimní den, je to příloha A obrázky 5.5 5.6 5.7 5.8. Ještě nutno dodat, že všechny hodnoty v rámci simulace jsou 10 krát zmenšeny. Tedy například u větrné elektrárny je simulovaný výkon 8 MW místo vypočítaných 80 MW.

### Simulace letního dne

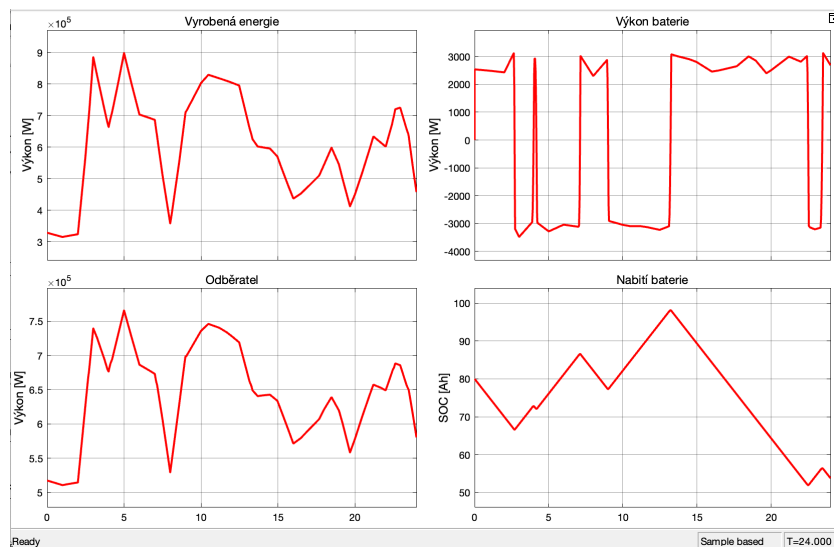
V této simulaci je vidět, že výroba energie většinu času převyšuje energii požadovanou. Až na výjimky, které znázorňují energetickou špičku v průběhu dne, kdy lidé využívají techniku v práci a večer, kdy je ve většině domácnostech zapnuta televize. Baterie se tedy většinu času nabíjí a není využívána pro vyvažování ztrát. Výstupové grafy lze vidět na obrázku 4.12.



Obr. 4.12: Výkonový výstup simulace letního dne

### Simulace zimního dne

U této simulace se výrazně navýšily hodnoty u odběrového grafu, kvůli již zmíněnému topení a svícení. Baterie je tedy v mnohem větším provozu, stále se bude přepínat nabíjení a vybíjení. Zároveň kvůli snížení doby, kdy svítí slunce je zmenšena výroba energie ze slunce. Zimní období na sílu větru či výšku přílivu nemá vliv, proto se výstupní grafy příliš neliší. Výstupové grafy lze vidět na obrázku 4.13.



Obr. 4.13: Výkonový výstup simulace zimního dne

## 5 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem plovoucího energetického ostrova, který se skládá ze solární, větrné a přílivové elektrárny.

V první části jsou rozebrány výrobní možnosti pro jednotlivé elektrárny. U každé je dle nalezených informací vybrána nejlepší varianta tak, aby se zajistila co největší účinnost zdrojů. Čtenář se tedy dozví, jaké možnosti při konstrukci má k dispozici. Tyto informace se dají využít i v běžném životě, například při budování solárních panelů či větrných turbín pro vlastní potřebu k rodinnému domu.

Na toto navazuje hned další kapitola, kde je nastíněna možná výroba elektrické energie z jednotlivých elektráren. V této kapitole jsou umístěny i jednotlivé modely, ze kterých se čtenář může v případě potřeby inspirovat. Matlab je pro tyto simulace velmi vhodný nástroj, protože nabízí velké množství již připravených bloků, které se dají podle potřeby snadno modifikovat.

Poslední kapitola je zaměřena už na samotný ostrov. Jako první věc je zde rozebráno umístění ostrova. Samozřejmě míst po světě je spousta, ale myslím, že to co je vybráno v mé práci je jedno z těch nejvíce ideálních. Následovně je rozebráno velmi důležité téma, a to úložiště energie. Zde je nastíněno spousta možností, jak ukládat přebytečnou energii. V této kapitole je pro ostrov vybráno bateriové úložiště. Po finálních simulacích jsem zjistil, že přes zimní měsíce nebudou baterie nejspíše stačit a bude zapotřebí buď rozšíření například v podobě setrvačníků nebo zvážit jiné varianty uložení, třeba stlačování vodíku.

Poslední částí jsou simulace, které znázorňují chod celého systému. V těchto simulacích je nastíněno možné chování všech elektráren a bateriového úložiště. Odběrový graf, který byl zapotřebí vyrobit pro vstupní hodnoty do simulaci odběratele, byl vytvořen hlavně tak, aby bylo ve výsledku zcela jasné, jak se bude chovat baterie. Toto chování je jako všechny ostatní výstupy zobrazeno ve výsledných grafech.

Vzhledem k tomu, že všechny údaje pro zhotovení finální simulace byly čerpány z volně dostupných zdrojů na internetu si myslím, že výstupní grafy odpovídají skutečnosti.

## Seznam literatury

1. ELEKTRINA.CZ. *VÝROBA Elektriny v ČR: Nejvíc Energie stále získáváme Z uhelných elektráren*. 2014. Available also from: <https://www.elektrina.cz/vyroba-elektriny-v-cr-nejvic-energie-stale-ziskavame-z-uhelných-elektraren>.
2. Available also from: <https://www.nemakej.cz/fotovoltaicky-clanek.php>.
3. ŠIMONÍK, Pavel. *Autonomnost Solárních systémů*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010-06.
4. S.R.O., Cybersoft. *Monokrystalický Nebo polykrystalický solární panel? Jaký Vybrat?* Available also from: <https://www.abctech.cz/default.asp?show=wm&wmpart=article&wmaid=99>.
5. *šablona pro dp/bp práce - otik.uk.zcu.cz*. Available also from: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/7257/1/BP-Matousek.pdf>.
6. *Větrné elektrárny - Princip, rozdělení, Elektrárny v ČR*. Available also from: <https://oenergetice.cz/typy-elektraren/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni>.
7. MĚŘIČKA, Jiří; HAMATA, Václav; VOŽENÍLEK, Petr. *Elektrické Stroje*. ČVUT, 2000.
8. Available also from: [http://user.mendelu.cz/xklepar0/fls/ez/oez\\_wind.htm](http://user.mendelu.cz/xklepar0/fls/ez/oez_wind.htm).
9. *illustrationprize.com*. Available also from: <https://illustrationprize.com/cs/400-induction-generator.html>.
10. *Slapové Jevy*. Wikimedia Foundation, 2021. Available also from: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Slapov%C3%A9\\_jevy](https://cs.wikipedia.org/wiki/Slapov%C3%A9_jevy).
11. TYC, Tomáš. *Jak fungují Slapové Jevy?* Masarykova univerzita, 2015.
12. Available also from: <https://web.natur.cuni.cz/sbv/soubory/t/emore.pdf>.
13. *Přehrada na Rance*. Wikimedia Foundation, 2021. Available also from: [https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99ehrada\\_na\\_Rance](https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99ehrada_na_Rance).
14. SOLARGIS. Available also from: <https://globalsolaratlas.info/map?c=11.609193%2C8.613281%2C3>.

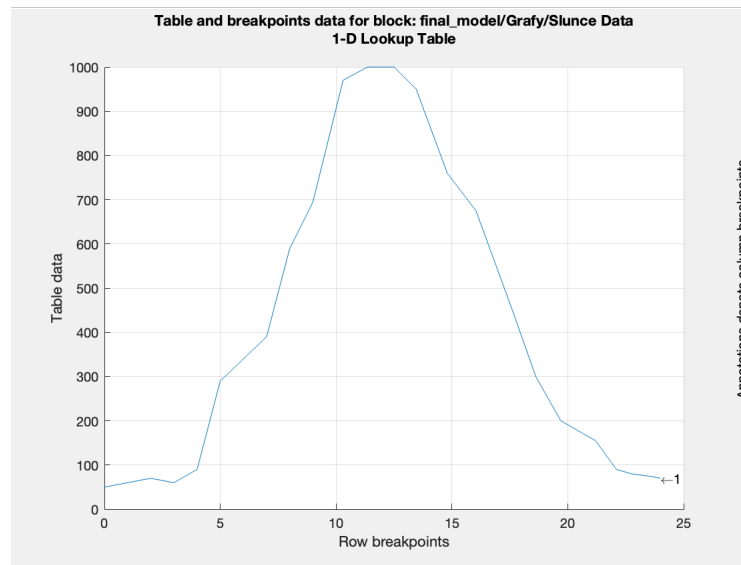
15. *Global wind atlas*. Available also from: <https://globalwindatlas.info/>.
16. BATTERY.CZ. *Informace*. Available also from: <https://www.battery.cz/informace/#co-je-to-akumulator>.
17. *Průtoková Baterie*. Available also from: <https://oenergetice.cz/elektroenergetika/prutokova-baterie>.
18. *Věda a technika V pozadí činnost Přečerpávací Elektrárny*. Available also from: <http://edu.techmania.cz/cs/veda-v-pozadi/663>.
19. *Skladování Energie – Setrvačnický* published by Jana Lahovská on Leden 29, 2018. Available also from: <http://upase.it.cas.cz/skladovani-energie-setrvacniky/>.
20. SOOMRO, Abid; PULLEN, Keith R.; AMIRYAR, Mustafa E. *Hybrid PV system with high speed flywheel energy storage for remote residential loads*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2021.
21. *Norvento Ned 100 wind turbine - renewables first*. 2016. Available also from: <https://www.renewablesfirst.co.uk/windpower/wind-turbines/norvento-ned100-100-kw-wind-turbine/>.
22. Available also from: [https://www.ge.com/renewableenergy/sites/default/files/related\\_documents/ge-2mw-onshore-wind-turbine-platform.pdf](https://www.ge.com/renewableenergy/sites/default/files/related_documents/ge-2mw-onshore-wind-turbine-platform.pdf).
23. 2020, 10th November. *How much money does a wind turbine produce from electricity it generates?* 2020-11. Available also from: <http://anemoiservices.com/industry-news/how-much-money-does-a-wind-turbine-produce-from-electricity-it-generates/>.
24. *How much land is needed for wind and solar farms?* Available also from: <https://wernerantweiler.ca/blog.php?item=2020-04-30>.
25. DONALDSON, Alan; FAM, About The AuthorAlan DonaldsonHi. *Cost of solar panels per square meter - bank breaking beauty*. 2021.
26. *How much does tidal energy cost*. Available also from: <https://lisbdnet.com/how-much-does-tidal-energy-cost/>.
27. *Submarine Power Cable*. Wikimedia Foundation, 2022. Available also from: [https://en.wikipedia.org/wiki/Submarine\\_power\\_cable](https://en.wikipedia.org/wiki/Submarine_power_cable).
28. *The above isn't correct. subsea cable system costs are about 30Kto50k per ki...: Hacker news*. Available also from: <https://news.ycombinator.com/item?id=25024968>.

## Seznam příloh

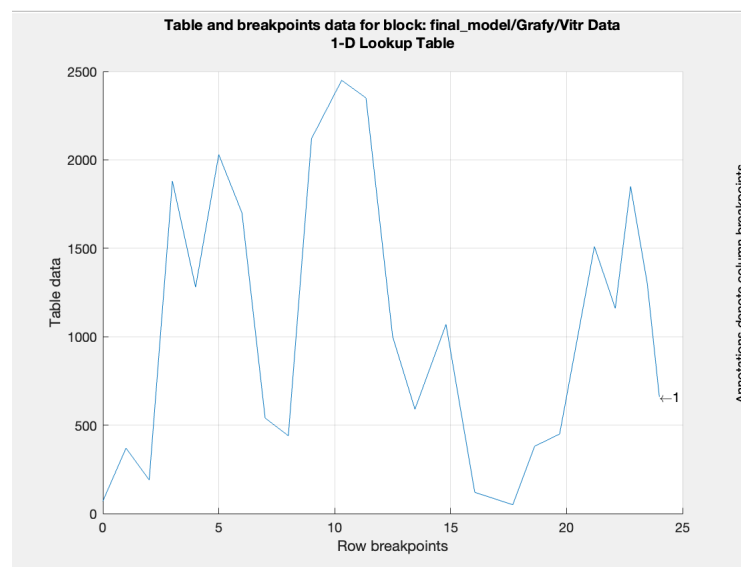
- Příloha A: Vstupní grafy
  - Obr. 1: Vstupní graf pro solární elektrárnu pro simulaci letního dne
  - Obr. 2: Vstupní graf pro větrnou elektrárnu pro simulaci letního dne
  - Obr. 3: Vstupní graf pro přílivovou elektrárnu pro simulaci letního dne
  - Obr. 4: Vstupní graf pro odběratele pro simulaci letního dne
  - Obr. 5: Vstupní graf pro solární elektrárnu pro simulaci zimního dne
  - Obr. 6: Vstupní graf pro větrnou elektrárnu pro simulaci zimního dne
  - Obr. 7: Vstupní graf pro přílivovou elektrárnu pro simulaci zimního dne
  - Obr. 8: Vstupní graf pro odběratele pro simulaci zimního dne
- Příloha B: Finální model
  - Obr. 9: Model pro finální simulace
- Příloha C: Přiložený obsah



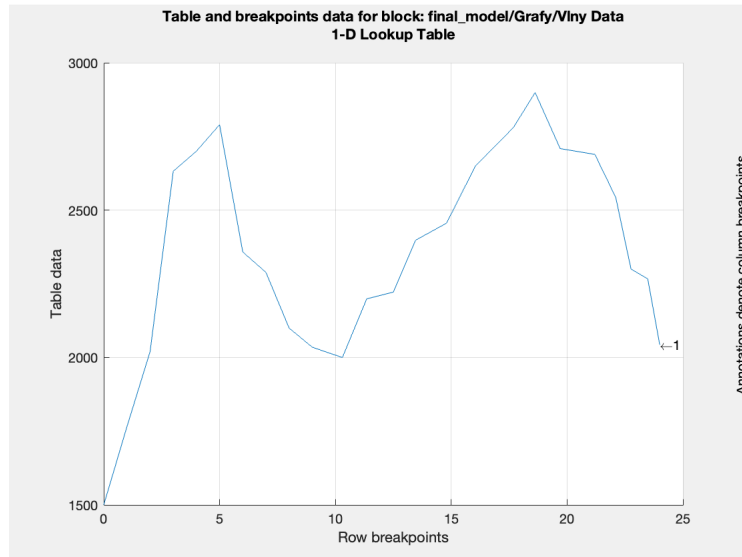
## Příloha A:



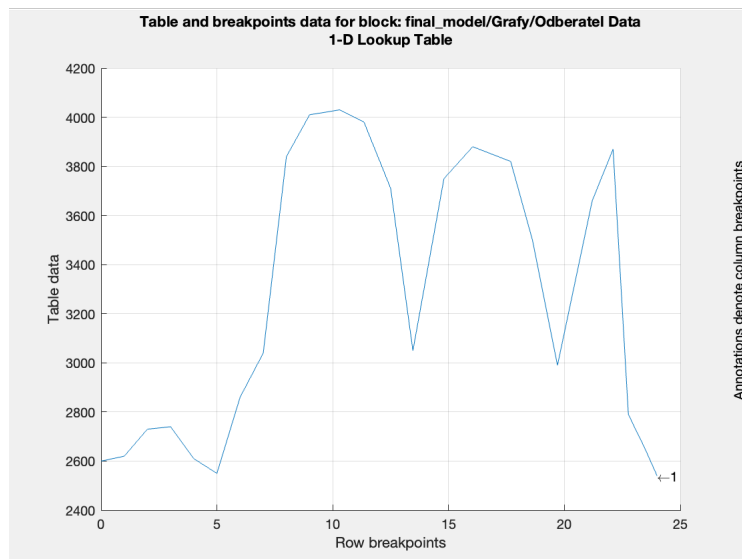
Obr. 5.1: Vstupní graf pro solární elektrárnu pro simulaci letního dne



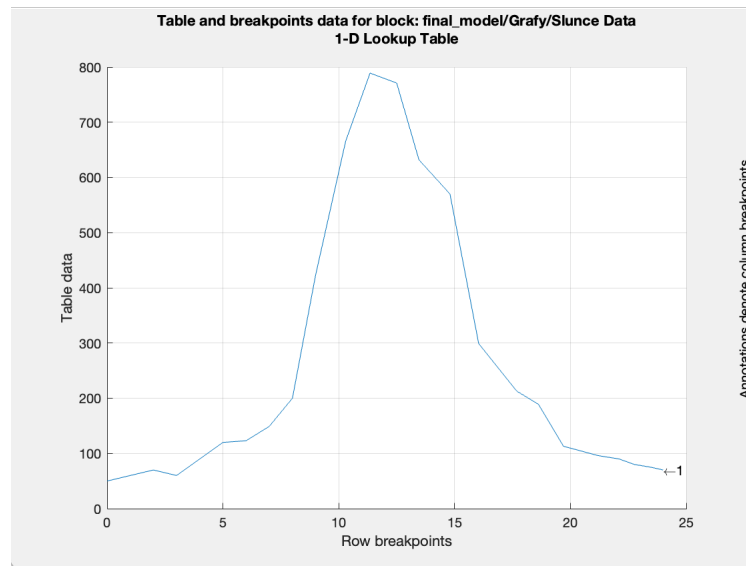
Obr. 5.2: Vstupní graf pro větrnou elektrárnu pro simulaci letního dne



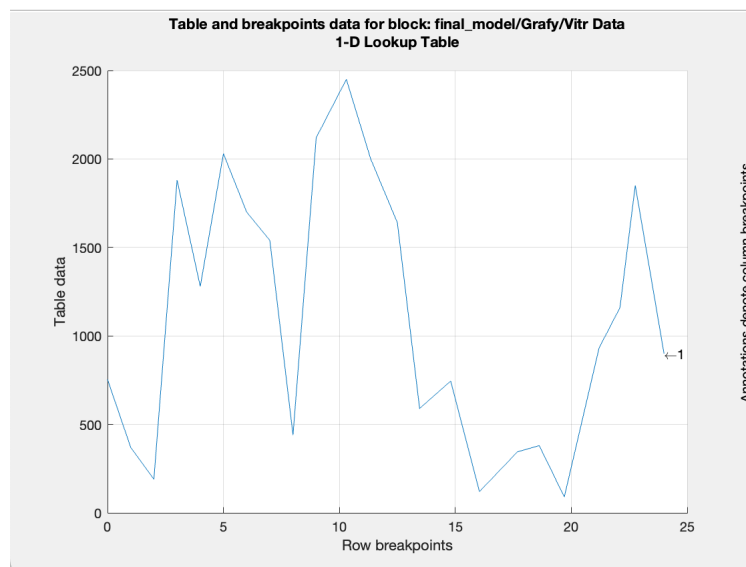
Obr. 5.3: Vstupní graf pro přílivovou elektrárnu pro simulaci letního dne



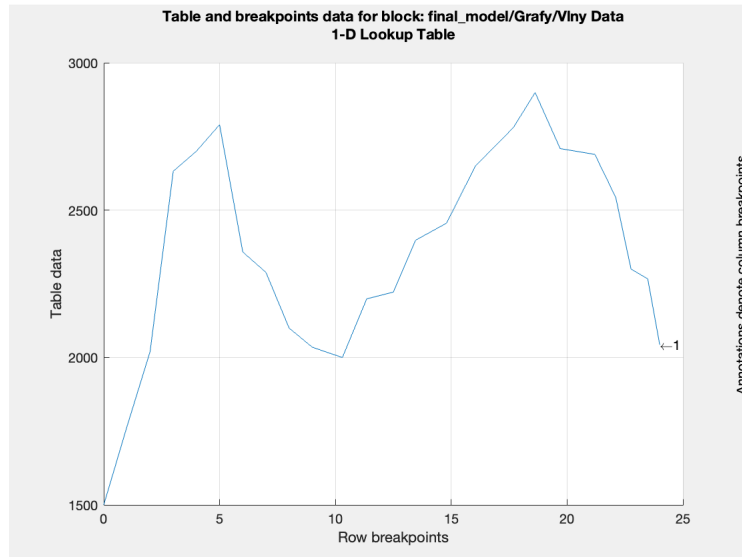
Obr. 5.4: Vstupní graf pro odběratele pro simulaci letního dne



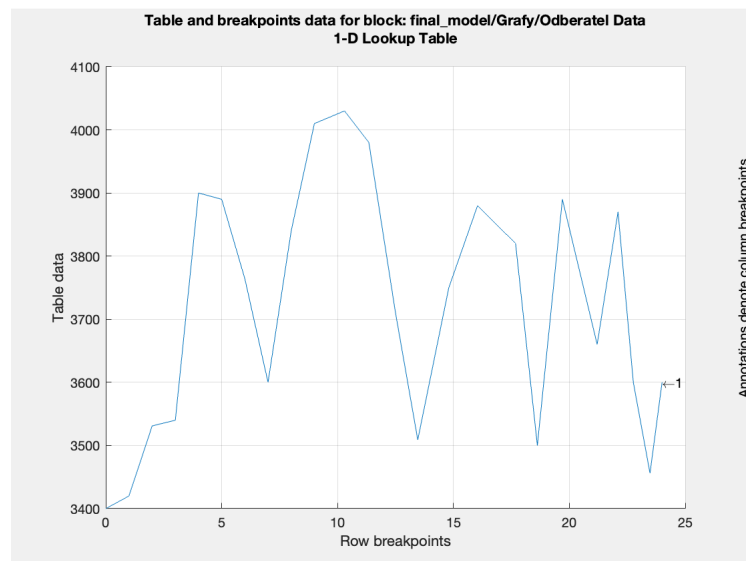
Obr. 5.5: Vstupní graf pro solární elektrárnu pro simulaci zimního dne



Obr. 5.6: Vstupní graf pro větrnou elektrárnu pro simulaci zimního dne

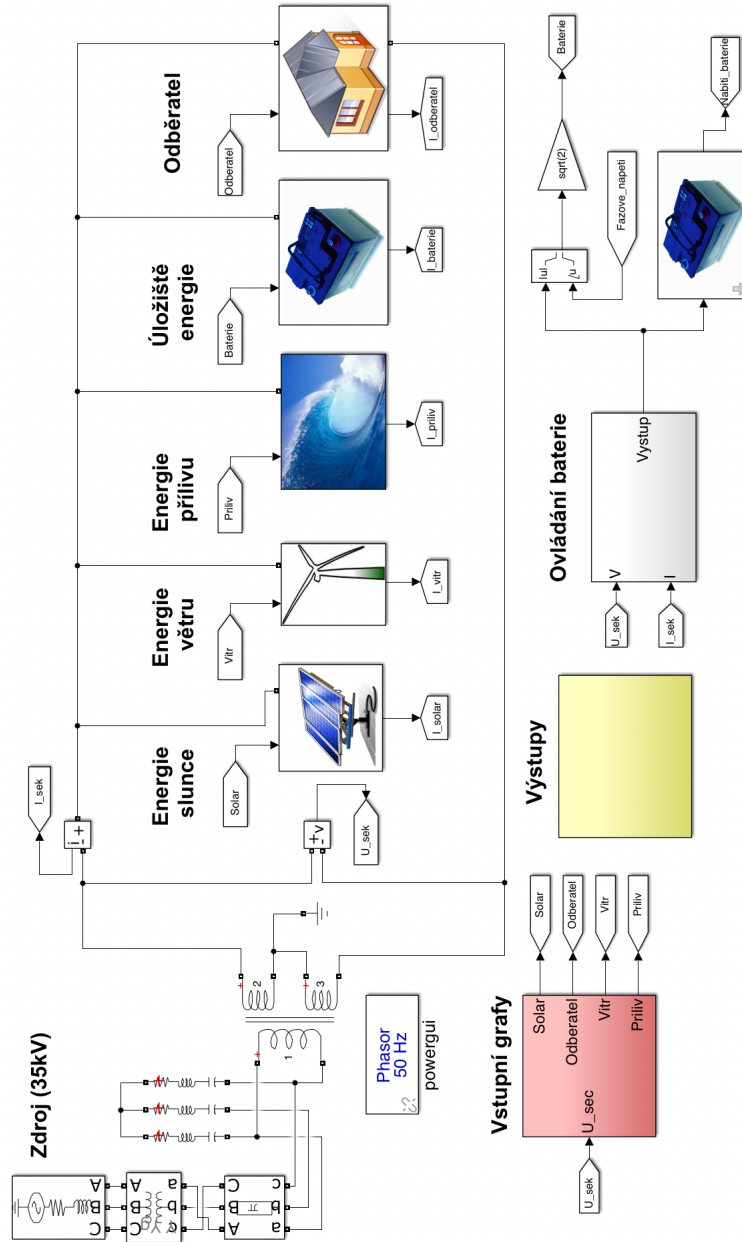


Obr. 5.7: Vstupní graf pro přílivovou elektrárnu pro simulaci zimního dne



Obr. 5.8: Vstupní graf pro odběratele pro simulaci zimního dne

## Příloha B:



Obr. 5.9: Model pro finální simulace

## **Příloha C:**

- BP.pdf - Bakalářské práce v elektronické podobě
- final\_model.slx - Celkový model
- Synchronni\_vetrna\_farma.slx - Model pro simulace větrné elektrárny
- Energie\_vln.slx - Model pro simulaci přílivové elektrárny
- Solarni\_farma.slx - Model pro simulace solární elektrárny