



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

PREDIKCE VYUŽITÍ OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE V RÁMCI LOKÁLNÍ DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY

PREDICTING USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN LOCAL DISTRIBUTION
NETWORK

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Oldřich Holcner

VEDOUČÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

BRNO 2022

Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Oldřich Holcner

ID: 171859

Ročník: 2

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Predikce využití obnovitelných zdrojů energie v rámci lokální distribuční soustavy

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Rešerše běžně používaných obnovitelných zdrojů energie a akumulčních prvků se zahrnutím jejich základních charakteristik a parametrů.
2. Na základě naměřených dat z objektu s FVE navrhnout predikční modely spotřeby.
3. Na základě naměřených dat z objektu s FVE navrhnout predikční modely výroby s přihlédnutím na aktuální počasí a jeho vývoj.
4. Na základě navrženého predikčního modelu provést predikci na následující dny/týden a porovnat přesnost predikce s reálnými daty.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího závěrečné práce

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 24.5.2022

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Předmětem diplomové práce *Predikce využití obnovitelných zdrojů energie v rámci lokální distribuční soustavy* je navrhnout predikční model spotřeby a výroby fotovoltaických elektráren a ověřit tyto modely s naměřenými daty. Nejprve jsou nastíněna obecná teoreticko-metodická východiska seznamující čtenáře zejména s obnovitelnými zdroji energie a různými způsoby akumulace elektrické energie. Následují predikční modely a jejich ověření s reálnými daty.

Klíčová slova

Obnovitelné zdroje energie, akumulace elektrické energie, predikce spotřeby, predikce výroby FVE.

Abstract

The subject of the diploma thesis *Predicting Use of Renewable Energy Sources in Local Distribution Network* is to design a predictive model of consumption and production of photovoltaic power plants and verify these models with measured data. First, general theoretical and methodological points are outlined, acquainting readers especially with renewable energy sources and various methods of electricity storage. Then, the prediction models follow and their verification with real data sums everything up.

Keywords

Renewable energy sources, electricity storage, consumption prediction, PV production prediction

Bibliografická citace

HOLCNER, Oldřich. Predikce využití obnovitelných zdrojů energie v rámci lokální distribuční soustavy. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/142402>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: *Bc. Oldřich Holcner*

VUT ID studenta: *171859*

Typ práce: *Diplomová práce*

Akademický rok: *2021/22*

Téma závěrečné práce: *Predikce využití obnovitelných zdrojů energie v rámci lokální distribuční soustavy*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 24. května 2022

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Petru Baxantovi, Ph.D za odborné vedení, metodickou pomoc a další cenné rady při vypracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat svému dlouholetému kamarádovi Martinovi Mečiarovi za pomoc při sestavování predikčních modelu a při programování. V neposlední řadě děkuji mockrát své rodině a manželce za neustálou podporu, pomoc a motivaci v průběhu celého studia.

V Brně dne: 24. května 2022

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	12
SEZNAM TABULEK.....	13
ÚVOD	15
1. ZDROJE ENERGIE	17
1.1 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE.....	19
1.2 VODNÍ ENERGIE.....	20
1.3 VĚTRNÁ ENERGIE	22
1.4 BIOMASA.....	24
1.5 SOLÁRNÍ ENERGIE	25
2. AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE	27
2.1 MECHANICKÁ AKUMULACE.....	28
2.1.1 Potenciální energie.....	28
2.1.2 Kinetická energie	29
2.2 TEPELNÁ AKUMULACE	29
2.3 ELEKTROCHEMICKÁ AKUMULACE.....	29
2.3.1 Olověné akumulátory	29
2.3.2 Lithiové akumulátory	30
2.3.3 Průtokové baterie.....	31
3. PREDIKČNÍ MODELY	33
3.1 PREDIKCE SPOTŘEBY	34
3.1.1 Predikce spotřeby první způsob	34
3.1.2 Predikce spotřeby druhým způsobem.....	38
3.1.3 Další predikční modely spotřeby.....	42
3.2 PREDIKCE VÝROBY.....	43
3.2.1 Predikce osvitu.....	44
3.2.2 Predikce výroby	45
4. ZÁVĚR.....	49
LITERATURA.....	51
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	54
SEZNAM PŘÍLOH.....	55

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Výroba elektřiny netto. [7]	17
1.2	Instalovaný výkon. [7].....	18
1.3	Podíl energie z obnovitelných zdrojů v roce 2017 napříč zeměmi v Evropské unii (v % hrubé konečné spotřeby energie) [14]	20
1.4	Mapa vodních elektráren v ČR (velké + přečerpávací) [20]	22
1.5	Schéma základních částí větrné elektrárny [22]	23
1.6	Větrné elektrárny v České republice v roce 2021 [23]	23
1.7	Vývoj cen fotovoltaických panelů [29]	26
2.1	Přehled možných technologií k akumulaci energie [31]	28
2.2	Princip průtokové baterie VRB [3]	32
3.1	Porovnání první predikce v náhodně vybraném týdnu, oranžovou barvu má předpovídaný průběh a modrou reálná data korelace v tomto týdnu byla 43,44 %	37
3.2	Vybraný den a záznam výkonu a jejich počty. (čtvrtek 10:00)	38
3.3	Predikce pomocí histogramu s velikostí rozsahu spotřeby 25 W.	40
3.4	Porovnání druhé predikce s reálnými daty, oranžovou barvu má předpovídaný průběh a modrou reálná data.	41
3.5	Porovnání predikčního modelu s reálnými daty osvitů. Zelená křivka představuje reálná data a červená křivka představuje predikovaná data osvitů.	45
3.6	Porovnání predikčního modelu výroby s reálnými daty v měsíci leden. Korelace dat a predikce 61,01 %	46
3.7	Porovnání predikčního modelu výroby s reálnými daty v měsíci září. Korelace dat a predikce 87,10 %	47

SEZNAM TABULEK

1.1	Netto instalovaný výkon a výroba elektřiny netto v ES ČR v roce 2020 [7].....	18
2.1	Porovnání účinnosti jednotlivých akumulačních systémů [31]	32
3.1	Porovnání jednotlivých koeficientu a korelace s reálnými daty (vybrané koeficienty s nejlepší korelací vůči reálným datům):.....	36
3.2	Porovnání korelace s reálnými daty na základě rozmezí spotřeby pro záznam:	39

ÚVOD

Jelikož se momentálně nacházíme ve velice složité době, kdy se neustále zvyšuje cena elektrické energie a zároveň jsme z důvodu klimatických změn a zmenšujícího se zásobíště fosilních paliv nuceni zvyšovat výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů, je na místě zefektivnit spotřebu energie vyrobené z fotovoltaických elektráren.

Hlavním problémem při výrobě energie z fotovoltaických elektráren je jejich nerovnoměrná výroba během dne a celého roku. Do procesu výroby energie vstupuje mnoho proměnných, jako je hodnota dopadajícího solárního záření na panel či teplota samotných panelů, přičemž maximální hodnoty výroby se během roku pohybují kolem poledních hodin. Na druhou stranu spotřeba typického rodinného domu dosahuje svého maxima v ranních a večerních hodinách.

Při znalosti predikce výroby a spotřeby můžeme být schopni efektivněji využívat vyrobenou energii a docílit tak nevypínání fotovoltaických elektráren během dne.

Tato diplomová práce si bere za cíl navrhnout predikční model spotřeby a výroby na základě naměřených dat z konkrétního rodinného domu s nainstalovanou fotovoltaickou elektrárnou a následně ověřit korelaci predikčních modelů s reálnými daty. Samotnému návržení predikčních modelů předchází shrnutí základních teoretických východisek, kdy je kladen důraz na běžně používané obnovitelné zdroje pro výrobu elektrické energie a akumulční prvky včetně jejich základních principů a popisů.

Práce je rozdělena do čtyř kapitol, kdy první kapitola obsahuje rešerši tuzemské i zahraniční literatury týkající se obnovitelných zdrojů elektrické energie. Druhá kapitola sumarizuje akumulaci elektrické energie, kdy jsou popsány různé typy akumulace včetně jejich základních principů. Následující kapitola se zabývá stěžejním cílem práce, kdy jsou představeny predikční modely spotřeby a výroby spolu s ověřením korelace predikčních modelů s reálnými daty. Celá práce je uzavřena shrnutím a závěrem.

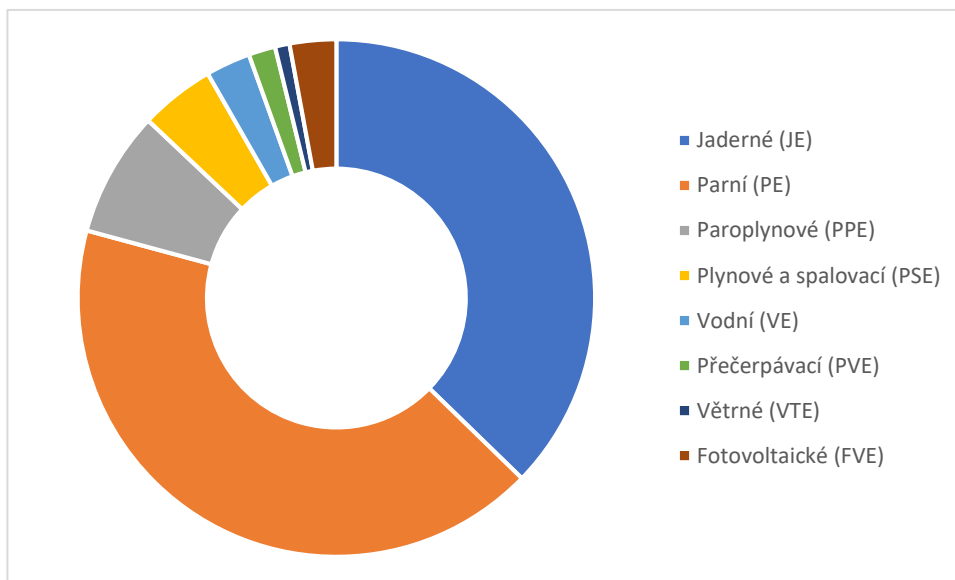
1. ZDROJE ENERGIE

Energetické zdroje využívané na naší planetě můžeme rozdělit mnoha způsoby. Například Janalík [1] rozděluje energetické zdroje na primární a sekundární, přičemž primární mají původ v přírodních silách a sekundární vznikají jako důsledek průmyslové výroby, při přeměně prvotních zdrojů energie na ušlechtilější formy nebo při spotřebě paliv a energií v technologických zařízeních. Jedno z podrobnějších rozdělení můžeme vidět u Olah et. al [2], který zdroje energie člení na fosilní paliva, obnovitelné zdroje, jadernou energii, vodík, metanol a etanol.

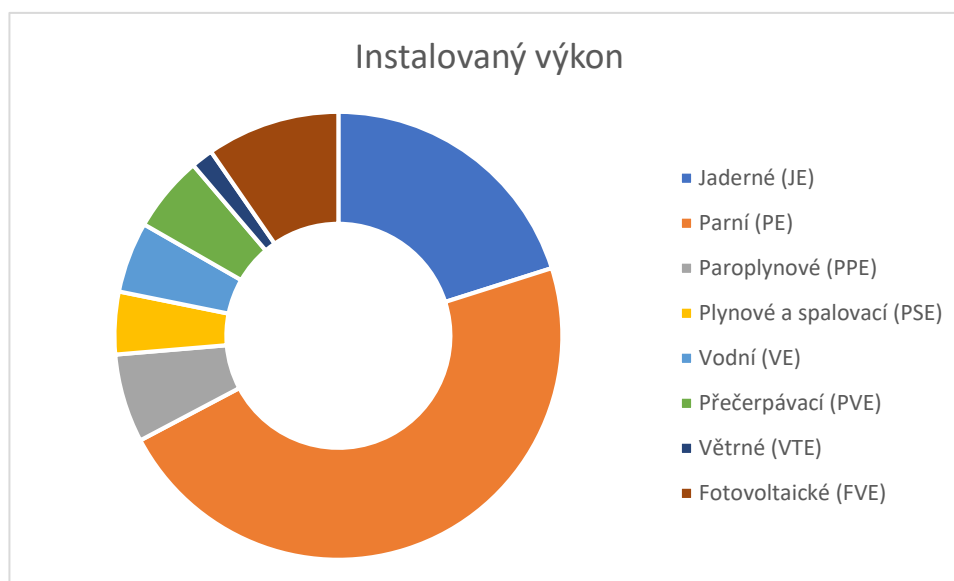
Obecně je ve společnosti nejběžnější rozdělení zdrojů energie na neobnovitelné a obnovitelné.

Neobnovitelné zdroje energie představují takové zdroje, kdy se vyčerpání očekává maximálně v řádu stovek let, přičemž jeho případné obnovení by trvalo několikanásobně déle. Jinými slovy, získávání a používání těchto zdrojů je nevratným procesem a jejich zásoby se neustále zmenšují. [3] Mezi tyto zdroje řadíme fosilní paliva (uhlí, ropa, zemní plyn) a jaderná paliva (uran, thorium).

Na druhou stranu obnovitelné zdroje představují takové zdroje, které se v lidském časovém měřítku přirozeně obnovují. [4] V podmínkách České republiky do těchto zdrojů řadíme využití energie vody, větru, slunečního záření, biomasy a bioplynu, geotermální energii, teplo okolního prostředí zachycené tepelnými čerpadly a energii kapaných biopaliv. [5] Dále se ve světě setkáme ještě s oceánskými zdroji energie, jako je vlnění či podmořské proudy a energií slapových sil Slunce a Měsíce, tedy energií přílivovou. [6]



Obrázek 1.1 Výroba elektřiny netto. [7]



Obrázek 1.2 Instalovaný výkon. [7]

Na základě Obrázku 1.1 můžeme říct, že v České republice pochází kolem 22 % instalovaného výkonu z obnovitelných zdrojů, zatím co zbylých 78 % pochází ze zdrojů neobnovitelných.

Vzhledem k omezenému množství neobnovitelných zdrojů a jejich nestále rostoucí ceně si společnost uvědomila, že se do popředí musí více dostat neobnovitelné zdroje. Také celosvětová změna klimatu dopomohla k tomu, že se těmto zdrojům dostává v poslední době velké pozornosti. [8] I pro účely této diplomové práce budou podrobně popsány pouze obnovitelné zdroje.

Tabulka 1.1 Netto instalovaný výkon a výroba elektřiny netto v ES ČR v roce 2020 [7]

	Instalovaný výkon [MW]	Instalovaný výkon [%]	Netto výroba [GWh]	Netto výroba [%]
Jaderné (JE)	4290,00	20,11	28372,30	37,27
Parní (PE)	10058,30	47,16	31920,40	41,93
Paroplynové (PPE)	1363,50	6,39	5961,10	7,83
Plynové a spalovací (PSE)	962,10	4,51	3562,00	4,68
Vodní (VE)	1090,80	5,11	2125,10	2,79
Přečerpávací (PVE)	1171,50	5,49	1276,10	1,68
Větrné (VTE)	339,40	1,59	690,70	0,91
Fotovoltaické (FVE)	2054,00	9,63	2212,90	2,91
Celkem	21329,60	100,00	76120,60	100,00

1.1 Obnovitelné zdroje energie

V české legislativě jsou obnovitelné zdroje ukotveny a popsány hned v několika zákonech. V zákoně č. 17/1992 Sb., O životním prostředí, se o obnovitelných zdrojích mluví jako o zdrojích, které: „Mají schopnost se při postupném spotřebování částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka.“ [9]

Zákon č. 165/2012 Sb., O podporovaných zdrojích energie, popisuje obnovitelné zdroje jako zdroj, kdy je využita: „Energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu z čistíren odpadních vod a energie bioplynu.“ [10]

Důležitým zákonem pro energetický průmysl v České republice je mimo jiné i Zákon č. 458/2000 Sb., O podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích, který se zkráceně nazývá „energetický zákon“. [11]

Oproti neobnovitelným zdrojům můžeme spatřovat výhodu obnovitelných zdrojů v jejich rozptýlení po celém světě. Naopak nevýhody můžeme například spatřovat podle Škorpíka a Kasárníka [12] v prostorově a materiálově náročných jímacích zařízeních či těžko předvídatelných výkyvech ve výrobě.

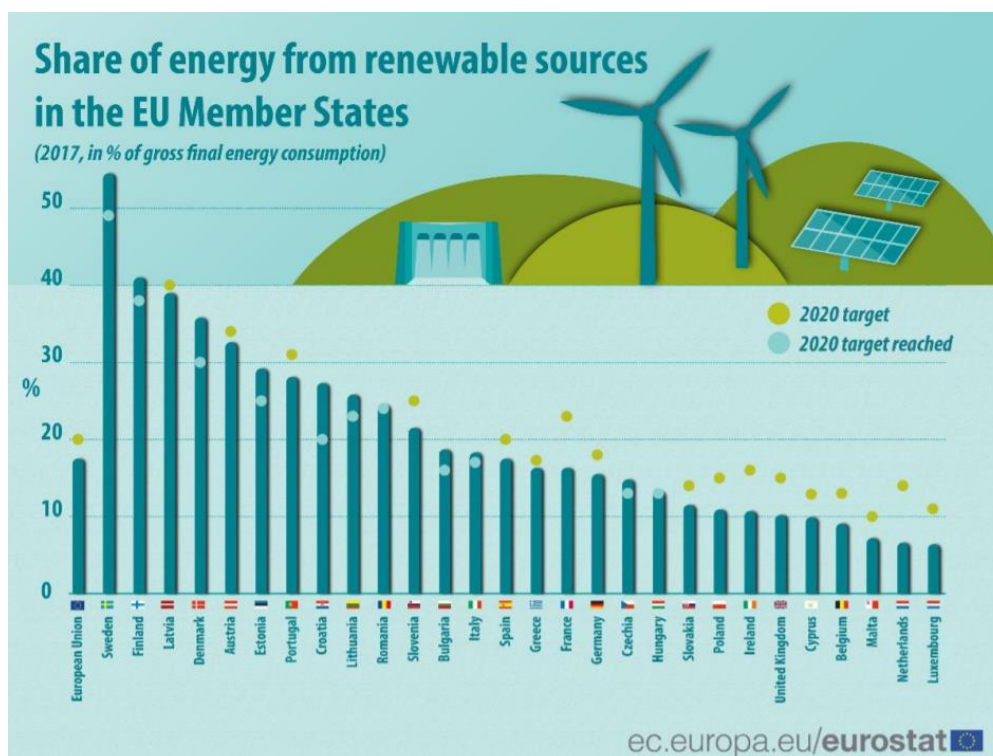
Jelikož je nynější získávání energie v České republice založeno především na využívání fosilních paliv, stále více je kladen důraz na užívání obnovitelných zdrojů. To totiž momentálně tvoří z celkového objemu hrubé spotřeby energetických zdrojů pouze velmi malou část. [3]

Z obrázku 1.1 výše je patrné, že v České republice pochází nejvíce elektrické energie z parních elektráren, které nejčastěji spalují hnědé a černé uhlí a dále z elektráren jaderných.

Samotná Evropská unie chce v tomto ohledu učinit změny, tudíž se 11. prosince 2019 v projektu Zelená dohoda pro Evropu zavázala, že do roku 2030 chce navýšit podíl obnovitelné energie v energetickém mixu EU na 40%. [13]

Obrázek 1.3 představuje země Evropské unie a jejich podíl energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě. Česká republika měla závazný cíl, aby do roku 2020 měla podíl obnovitelných zdrojů energie na hrubé konečné spotřebě 13 %, což dokonce splnila už v roce 2017. Tato skutečnost je zaznamenána i v obrázku 1.3.

Další stanovený závazný cíl je, aby Česká republika dosáhla do roku 2030 podílu 32 % energie z obnovitelných zdrojů energie.



Obrázek 1.3 Podíl energie z obnovitelných zdrojů v roce 2017 napříč zeměmi v Evropské unii (v % hrubé konečné spotřeby energie) [14]

1.2 Vodní energie

Z historického hlediska je vodní energie nejstarší využívanou energií. [1] Zároveň se jedná o čistý zdroj energie, který neznečišťuje ovzduší a je bezodpadový. Využívají se zejména vodní toky s přírodním spádem nebo mohou umělý prudký spád vytvářet přehrady.

Obecně vzniká energie ve vodní elektrárně na principu vody roztáčející turbínu, která je na jedné hřídeli společně s elektrickým generátorem. Mechanická energie vody se tak mění na energii elektrickou. Vodních turbín je mnoho druhů a správný výběr závisí na účelu a podmínkách vodního díla. [15]

Na rozdělení vodních elektráren se můžeme dívat z mnoha různých aspektů. Rozdělit je můžeme jak podle velikosti instalovaného výkonu, tak způsobu přívodu vody, či dle tzv. diagramu zatížení.

Podle velikosti instalovaného výkonu vodní elektrárny rozděluje na velké (nad 200 MW), střední (10 MW až 200 MW) a malé (do 10 MW). Malé vodní elektrárny se dále rozdělují na průmyslové, minielektrárny, mikroelektrárny a domácí.

Z pohledu způsobu přívodu vody jsou vodních elektráren rozděleny na akumulární (spád vody je zajištěn přehradou), derivační (voda je uměle vedena mimo vodní tok

pomocí přivaděče) a přečerpávající (voda se přečerpává z dolní nádrže do horní a naopak). [16]

Jelikož máme omezené možnosti, jak skladovat vyprodukovanou elektrickou energii, musí být její výroba uzpůsobená její spotřebě. K pokrytí této spotřeby nám pomáhá tzv. diagram zatížení, který na základě mnoha aspektů odhaduje spotřebu elektrické energie v určitém časovém období. Diagram je rozdělen do tří základních pásem – pásmo základního zatížení, pásmo pološpičkového zatížení a pásmo špičkového zatížení.

Z pohledu diagramu zatížení jsou vodní elektrárny do jednotlivých pásem rozděleny následovně:

- 1.) základní pásmo – průtočné vodní elektrárny (mají nízké výrobní náklady a omezenou možnost regulace)
- 2.) pološpičkové pásmo – akumulární vodní elektrárny
- 3.) špičkové pásmo – přečerpávací vodní elektrárny + akumulární vodní elektrárny (mají dobrou schopnost regulace a rychle reagují na změny zatížení elektrizační soustavy)

Podle Kadrnožky [17] je hydraulický potenciál světa vyčerpán pouze z 36 %, zbylý potenciál vody se ve většině případů nachází ve špatně dosažitelných lokalitách či mimo těžiště spotřeby energie.

Česká republika na tom není o mnoho lépe. Ani zde bohužel nejsou přírodní podmínky pro vytváření vodních energetických elektráren nejlepší. [3] Nicméně příkladem efektivních vodních elektráren vybudovaných na našem území je určitě přečerpávací hydroelektrárna Dlouhé Stráně na Šumpersku, Dalešická hydroelektrárna u Jaderné elektrárny Dukovany na Třebíčsku nebo třeba kaskáda vodních elektráren na řece Vltavě. Ke konci roku 2016 bylo v České republice nainstalováno celkem 9 velkých klasických vodních elektráren nad 10 MW a 1614 malých vodních elektráren. [18]

Největší vodní elektrárnu na světě bychom našli v Číně, kde se na řece Jang-c'-iang nachází elektrárna Tři soutěsky. Čína je také největším absolutním producentem elektřiny z vody na světě. Evropským lídrem je Norsko.

Broža [19] o vodních elektrárnách říká, že jsou typické nízkou poruchovostí, malým počtem potřebných pracovníků a dlouhou životností. Také dokážou pružně krýt spotřebu či výpadek elektrické energie.



Obrázek 1.4 Mapa vodních elektráren v ČR (velké + přečerpávací) [20]

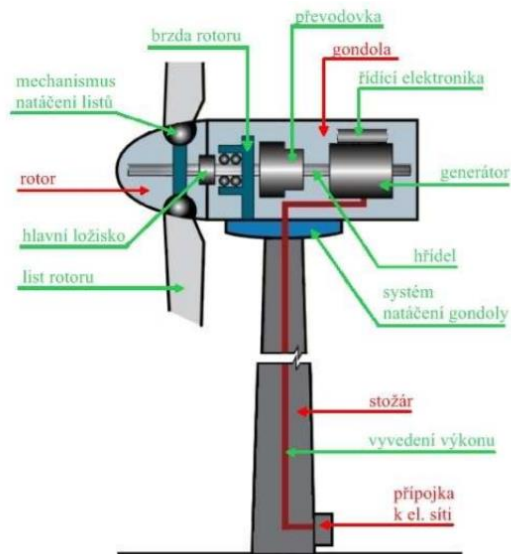
V globálním měřítku je vodní energie nejvýznamnějším obnovitelným zdrojem. Celosvětově vodní elektrárny produkují 17 % celkově vyrobené elektřiny a zauímají podíl 70 % na produkci energie z obnovitelných zdrojů. Pokud se podíváme na český energetický mix, vodní energie u nás tvoří okolo 4,5 % na celkové elektrické energie. [21]

1.3 Větrná energie

Větrná energie je společně s vodní nejpoužívanější formou využívání obnovitelných zdrojů. V Evropě se začaly první větrné mlýny využívat už od 13. století a začátkem 19. století došlo k velkému rozmachu využívání větrné energie v USA. [15]

Pro využívání větrné energie je nejdůležitějším faktorem jeho rychlost, která má nejvýznamnější vliv jednak na celkový, tak na využitelný výkon větru. Rychlost větru je ovlivněna zejména členitostí zemského povrchu, nicméně mezi důležité faktory, které rychlost větru ovlivňují, patří i různé uměle vytvořené překážky, jako jsou například budovy. Ty mají za příčinu pokles rychlosti větru, změnu jeho směru či vytváření větrných vírů. [3]

Větrné elektrárny pracují na principu, kdy se za pomoci větrných motorů přeměňuje kinetická energie větru na energii mechanickou. Jejich základní části nejčastěji jsou rotor, gondola, stožár a přípojka k elektrické síti. Další části jsou zobrazeny na obrázku níže.



Obrázek 1.5 Schéma základních částí větrné elektrárny [22]

Větrné elektrárny lze dělit podle různých kritérií, jako je jejich velikost instalovaného výkonu, konceptu uložení rotoru, či aerodynamického principu. [15]

Na základě konceptu uložení rotoru se setkáváme s větrnými elektrárnami s vertikální (svislou) osou rotace a horizontální (vodorovnou) osou rotace.

Dle velikosti instalovaného výkonu větrné elektrárny rozdělujeme na velké (od 750 kW do 6 400 kW, průměr vrtule 45 až 128 metrů), střední (od 60 kW do 750 kW, průměr vrtule 16 až 45 metrů), malé (do 60 kW, průměr vrtule do 16 metrů).

Dle aerodynamického principu se můžeme setkat s rozdělením větrných elektráren na horizontální či vertikální podle uložení osy rotace. [15]



Obrázek 1.6 Větrné elektrárny v České republice v roce 2021 [23]

Za zmínku taktéž stojí skutečnost, že větrné elektrárny se staví jednak na pevnině, kdy se jim anglicky říká onshore (on=na, shore=pobřeží) nebo se staví na moři, což reprezentuje název offshore (off=mimo, shore=pobřeží). Nejzásadnější rozdíl u těchto dvou typů je v základech, na kterých stojí. Zatímco u větrných elektráren postavených na pevnině se jedná o železobetonový základ nejčastěji čtvercového nebo kruhového půdorysu, u větrných elektráren postavených mimo pevninu se jedná o instalaci na mořském dně ve vodě hluboké průměrně 23 metrů a vzdálené od pobřeží do 30 kilometrů. [24]

Podle České společnosti pro větrnou energii [25] byla ke konci roku 2020 celosvětová kapacita instalovaného výkonu 743 GW (na Evropu připadá 220 GW instalovaného výkonu a vedoucí pozici má Německo), což je téměř dvojnásobek výkonu jaderných elektráren (393 GW). Zároveň byl v roce 2020 zaznamenán doposud nejvyšší nárůst nových instalací, které byly ve výši 93 GW.

Česká republika má bohužel pouze minimální podíl na celkovém instalovaném výkonu z větrných elektráren v Evropě a za dalšími státy z Evropské unie dost zaostává. [26]

1.4 Biomasa

Pokud mluvíme o obnovitelných zdrojích energie, většinu z nás jako první zdroj energie napadne voda, vítr, či slunce. Nicméně je potřeba nezapomenout zmínit i další obnovitelné zdroje, které mnohdy stojí ve stínu těch známějších. Jedním z nich je právě energie získaná z biomasy, kdy biomasa představuje hmotu organického původu a můžeme ji rozdělit na živočišnou nebo rostlinou.

Mezi biomasu rostlinného původu můžeme zařadit například dřevo a dřevní odpad včetně rychle rostoucích dřevin (topol, vrba, platan, ...), rostliny bylinného charakteru (konopí, šťovík,...), obilná a řepná sláma, olejnaté plodiny (řepka olejná, slunečnice, len) a škrobu-cukernaté rostliny (brambory, cukrová řepa,...).

Na druhou stranu biomasa živočišného původu zahrnuje exkrementy hospodářských zvířat, jako je močůvka či hnůj a biologicky rozložitelný průmyslový odpad, kam spadají například odpady z jatek.

Nejčastější způsoby přeměny energie biomasy na elektřinu jsou buďto spalování suché hmoty v tepelné elektrárně nebo přeměna biomasy na bioplyn, který se následně spálí v motorových agregátech. [27]

I z tohoto pohledu můžeme biomasu rozdělit. Na základě jejich vlastností máme biomasu suchou, která lze spalovat přímo a dále vlhkou, která spalovat přímo nelze a končí ve velkých nádržích v bioplynových stanicích. [28]

1.5 Solární energie

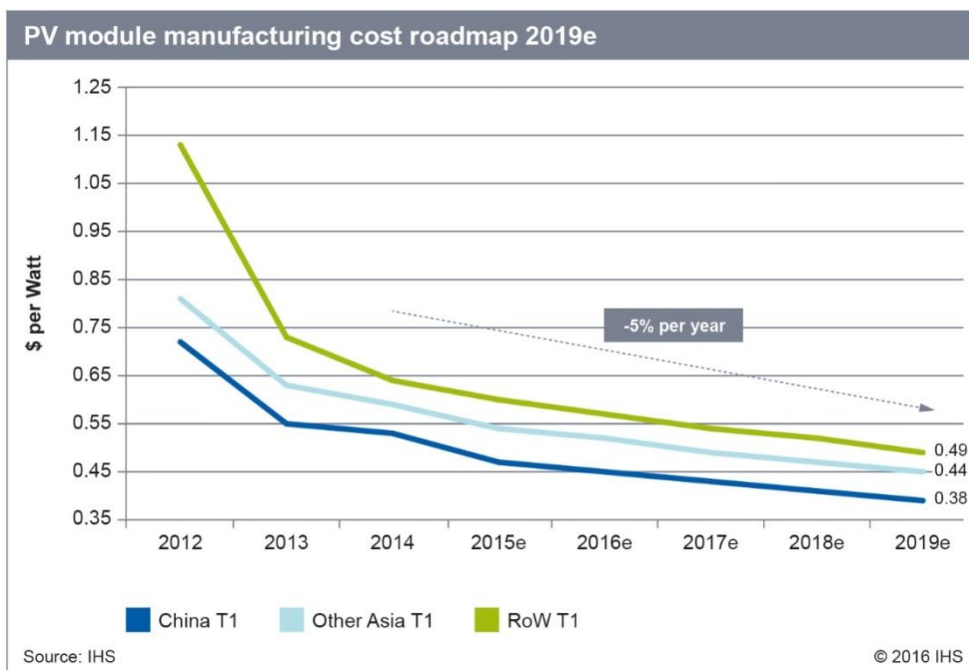
Sluneční záření je jeden z nejdostupnějších zdrojů, o kterém se dá tvrdit, že je dostupný na celé planetě. Jedná se tak o jeden z obnovitelných zdrojů, který by se dal používat všude. Samozřejmě jsou místa, kde je osvit větší a je zřejmé, že větší využití by se našlo zejména v rovníkových oblastech. Naproti tomu výkon panelů závisí i na teplotě a to tak, že se zvyšující se teplotou, klesá výkonnost panelů. Narážíme tady na dva trendy, které jdou proti sobě. Jednak bychom chtěli co největší osvit, nicméně na druhé straně bychom chtěli nízkou teplotu panelů.

Sluneční energii nezískáváme jen ve fotovoltaických systémech. Obecně můžeme solární systémy dělit na aktivní a pasivní. Pod pasivní systémy spadají teplo zachytávající budovy. Aktivní pak můžeme rozdělit na výrobu tepla a výrobu elektřiny. Výrobou tepla rozumíme hlavně kolektory, které jsou buďto ploché, trubicové nebo teplovzdušné. Výrobu elektřiny můžeme dále rozdělit na fotovoltaické články a solárně-termickou přeměnu. [3]

Solární termické články pracují na principu zahřívání teplonosné látky na určitou teplotu v primárním okruhu. Ta předává svoje teplo například přes parogenerátor do sekundárního okruhu, kde se generuje pára, která roztáčí turbínu, a ta pak generuje elektrický proud. Je vidět, že se nejedná o přímé zpracování slunečního záření, ale sluneční záření slouží k oteplení systému, kde pomocí mechanické práce páry tvoříme elektrickou energii.

Fotovoltaické systémy na druhou stranu využívají fotovoltaického jevu. Ten funguje tak, že při dopadu fotonu na povrch látky při určité vlnové délce, dojde k vybuzení elektronu do vyšší hladiny. Následně další dopadající fotony vyrazí tento elektron přes PN přechod v polovodiči. Vzniká tak volný elektron a elektrická energie. [15]

Kvůli tlaku na větší využívání obnovitelných zdrojů a rostoucímu vývoji cen elektrické energie začíná být v poslední době čím dál tím větší zájem o fotovoltaické systémy. Tomu pomáhá i to, že cena panelů se snížila (viz 1.7), a že se státy snaží podporovat tento rozvoj například v programu „Nová zelená úsporám“ pro Českou republiku.



Obrázek 1.7 Vývoj cen fotovoltaických panelů [29]

2. AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE

Pojem akumulace lze chápat jako hromadění nebo nahromadění. Pokud se tedy bavíme o akumulaci energie, můžeme říct, že se jedná o hromadění energie. Je známo, že celkový součet energie se nemění, ale pouze mění svůj stav například elektrická energie na tepelnou. V tomto případě tedy mluvíme o zákonu zachování energie. [30]

Tento zákon jednoduše popisuje, že energie pouze mění svůj stav mezi různými typy energií. Například energie potenciální se při spádu ve vodní elektrárně změní na kinetickou, předá část své energie na turbínu, která přes hřídel roztočí generátor a ten následně změní energii mechanickou na elektrickou.

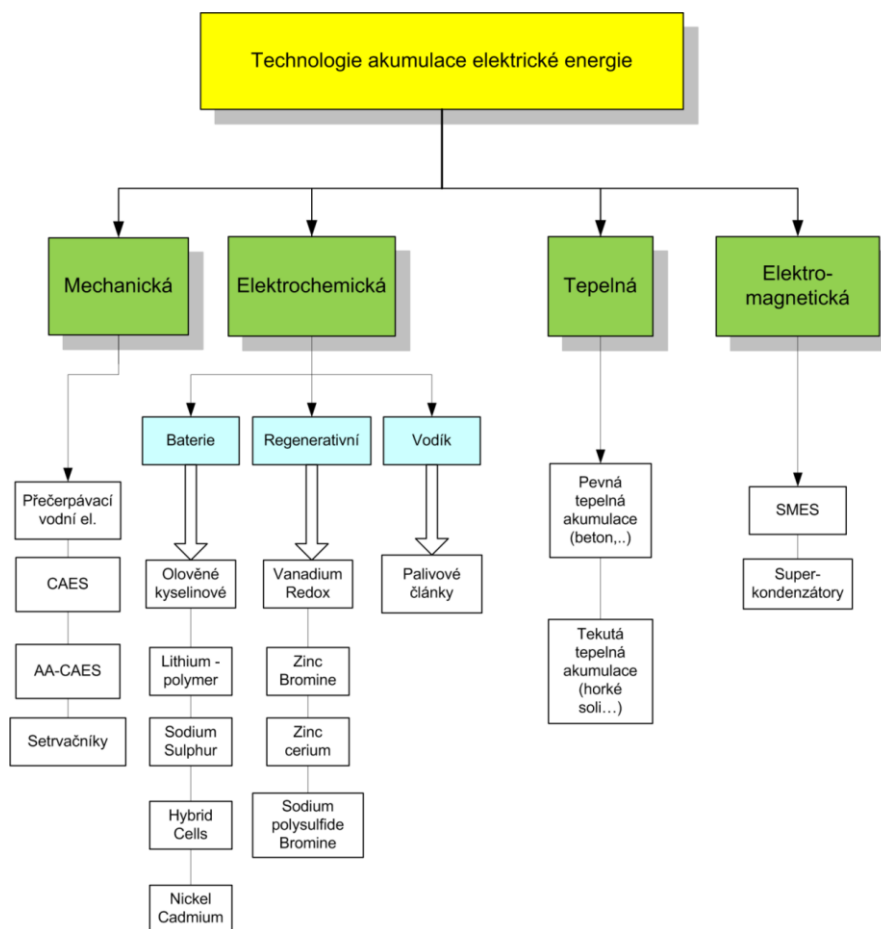
Pokud bychom brali vstupní energii k výstupní energii, kterou jsme zamýšleli přeměnit, pak je patrné, že bude tento poměr vždy menší než jedna. Tato skutečnost je způsobena tím, že při každé z přeměn vznikají i složky energie, které jsou pro nás nepotřebné. Tyto nepotřebné složky energie bývají označovány jako ztráty a jedná se například o tepelnou energii.

Na místě je položit si otázku, proč vůbec potřebujeme energii akumulovat neboli někam ukládat? Elektrická síť pracuje na základě výroby a spotřeby, které musí být neustále v rovnováze a pokud dojde k odpojení/připojení velikých výkonů/zátěží, pak se v síti mění prvky, které chceme, aby byly konstantní (tj. napětí, frekvence). V denním diagramu pak můžeme pozorovat, že během dne není stálý odběr, a tudíž na něj musí reagovat i výroba elektrické energie.

Pokud se jedná o elektrárny spalovací, parní a paroplynové, zde je určitá regulace výkonu možná. Nicméně u obnovitelných zdrojů elektrické elektřiny je tato regulace velice omezená, ba dokonce u některých takřka nemožná. Příkladem je regulace na straně „paliva“ u fotovoltaiky slunečního záření a u větrných elektráren rychlost větru.

Dále do těchto parametrů, jako je slunečný svit a rychlost větru, vstupují další prvky, které je ovlivňují, a proto se velice obtížně předpovídá jejich vývoj. Také jsme omezeni svitem Slunce, kdy nemůžeme provozovat fotovoltaickou elektrárnu v noční době. Z tohoto důvodu usilujeme o maximální využití v denních hodinách.

Pokud je naším záměrem maximalizovat energii z obnovitelných zdrojů, pak se zároveň musíme snažit o maximalizování jejich výroby. Akumulace pomůže s vyhlazením denního diagramu, taktéž může mít vliv na cenu elektřiny a dokáže snížit emisní stopy člověka. [15] Akumulace je tedy prostředkem k vyvážení výroby a spotřeby. V době větší výroby nám dovolí ukládat nadbytečnou energii, kdežto v době větší spotřeby můžeme tuto energii využít.



Obrázek 2.1 Přehled možných technologií k akumulaci energie [31]

2.1 Mechanická akumulace

Mechanická akumulace funguje na principu uložení energie z elektrické do mechanické, a to do potenciální nebo kinetické.

2.1.1 Potenciální energie

Na tomto principu fungují například přečerpávací vodní elektrárny. Ve špičkovém pásmu se elektrárny spouští a uvolňují tak nakumulovanou vodu (potenciální energii). Naopak v době malé spotřeby přecházejí do čerpacího módu a vodu čerpají do nádrží (ukládají do potenciální energie). Jedná se tedy o přeměnu mezi elektrickou a mechanickou energií, kdy při dějích vzniká i tepelná a další energie, které bereme jako ztráty.

Principem CAES (Compressed Air EnergyStorage) technologie je akumulace energie pomocí stlačeného vzduchu. V době, kdy je energie dostatek, je kompresorem stlačován vzduch, který je následně vháněn do podzemních prostor. Při nedostatku energie je

naakumulovaný vzduch vypouštěn přes vzduchovou turbínu. Vylepšenou variantou CAES systému je AA – CAES (AdiabaticAdvanced – Compressed Air EnergyStorage).

2.1.2 Kinetická energie

Na principu kinetické energie pracují setrvačníky. Jedná se o jeden z nejstarších principů uchování kinetické energie. Energie se ukládá do otáčející se hmoty rotoru. Jinými slovy, čím hmotnější setrvačnick je, tím dokáže uschovat více energie. V tomto případě platí pro energii následující rovnice:

$$E_j = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mr^2\omega^2, \quad (2.1)$$

Z rovnice vyplývá, že množství energie spočívá na rychlosti otáček, jelikož tvar a hmotnost setrvačnicku jsou dány výrobou.

2.2 Tepelná akumulace

Další z možností úkladní energie je přeměňovat energii na tepelnou. Jeden z příkladů je při využití rodinných FVE, kdy se může přebytek energie ukládat do teplé vody. Nejedná se o uložení elektrické energie do tepelné a následnou zpětnou přeměnu, ale o umělé zvýšení spotřeby v době výroby naakumulovaní tepla a snížení spotřeby v době, kdy bude teplá voda odebírána.

Možným zdrojem tepelné akumulace jsou mimo jiné i pevné soli. Jedná se o zahřívání solí a využívání skupenského tepla, jelikož platí, že na změnu skupenství je potřeba dodat látky určité množství tepla. Pokud tedy máme sůl v jednom skupenství, kdy dojde k maximálnímu oteplování, tak se zbylé teplo ukládá do této soli a mění se skupenství. V době potřeby funguje princip obráceně, kdy teplo, které je uloženo ve změně skupenství, se začne odebírat (konstantní teplota soli) a po odebrání začne teplota soli klesat.

2.3 Elektrochemická akumulace

Mezi nejrozšířenější a zároveň nejrozvíjenějším druh akumulace patří akumulace elektrochemická. Jedná se o typ, kde akumulaci zajišťuje chemická přeměna, u které se uvolňují volné ionty. Tyto elektrochemické akumulátory můžeme rozdělit na několik druhů, což zobrazuje i obrázek 2.1. V následujícím textu jsou tyto druhy postupně stručně představeny.

2.3.1 Olověné akumulátory

Jedním z nejstarších akumulátorů jsou olověné baterie a zaujímají více než 45 % vyráběných baterií. Byly vynalezeny v roce 1859 Gastonem Plante a jsou složeny ze dvou olověných desek, které vždy tvoří anodu a katodu. Dále se mezi elektrodami nachází vodný roztok kyseliny sírové. Tyto elektrody jsou pak vždy propojeny katody s katodami a anody s anodami. [32]

Při vybíjení klesá koncentrace kyseliny sírové, protože se vytváří voda a na druhou stranu při nabíjení její obsah stoupá. Této skutečnosti se může využívat při kontrole nabití baterie.

Dále můžeme akumulátory rozdělit podle typu elektrod, jednak na deskové nebo na trubkové. Deskové akumulátory jsou levnější a jejich cena se pohybuje kolem 50 euro/kWh. Jejich nevýhodou je nicméně nižší životnost, a to od půl do tří let. Trubkové akumulátory se zaplavenou konstrukcí jsou naopak dražší, a to 150 euro/kWh, ale jejich životnost se pohybuje kolem 8 let.

Obecně je velkou předností těchto baterií jejich cena. Nejnovější typy se provádí v bezúdržbovém provedení, kdy není potřeba dolévat vodu. Dalším pokrokem je gelový elektrolyt, který je tvořen elektrolytickým gelem (kyselina sírová a skelný prach), jež spojuje výhodu obou systémů. Gelové systémy jsou bezpečnější a pohodlnější na obsluhu.

Za nevýhody naopak můžeme považovat toxicitu Pb, velkou hmotnost, poměrně nízkou hustotu energie a dlouhou dobu nabíjení, která se pohybuje v rozmezí 8 až 16 hodin v závislosti na velikosti baterie.

2.3.2 Lithiové akumulátory

Na základě toho, že se jedná o velmi reaktivní kov, se lithium stalo velice atraktivní pro energetickou akumulaci. Lithium iontové a lithium polymerové akumulátory jsou v současnosti na vzestupu díky rozmachu elektro-automobilového průmyslu, přičemž využití nacházejí i v domácnostech s FVE.

Základ akumulátoru tvoří katoda z kobalnatanu lithného, anoda z uhlíku s vrstevnatou strukturou a elektrolyt lithné soli rozpuštěné v organickém karbonátu. Principem lithiumových akumulátoru je na přechodu Li^+ , která se při vybíjení a nabíjení přesouvá z kladné elektrody a naopak. Velkou výhodou je bezúdržbový provoz baterií a lehkost lithia, což je ovšem vykoupeno vyšší pořizovací cenou.

Naopak problém je spatřován v samovybíjení, které je u baterií nežádoucí. Záměrem je, aby byl tento problém odstraněn a lithiové baterie mohly fungovat jako dlouhodobé akumulátory energie.

Obecně tedy mezi výhody tohoto typu akumulátoru patří malá hmotnost na instalovanou kapacitu, možnost rychlého nabíjení, dlouhá životnost, či relativně dobrá recyklovatelnost. Konkrétně rychlého nabíjení nebo malé hmotnosti by se mohlo používat ve větrných elektrárnách, kde by lithiové akumulátory sloužily k omezení nadbytečného výkonu nebo by mohly pomáhat regulovat stálost vyráběného výkonu.

Velkého rozmachu dosáhly lithiové baterie i v odvětví elektro-automobilového průmyslu, kde se využívá právě jejich malé hmotnosti a velkého počtu cyklů. Při správném nastavení nabíjecích a vybíjecích cyklů je životnost přes 1500 cyklů. U FVE to činí přes 10 let provozu.

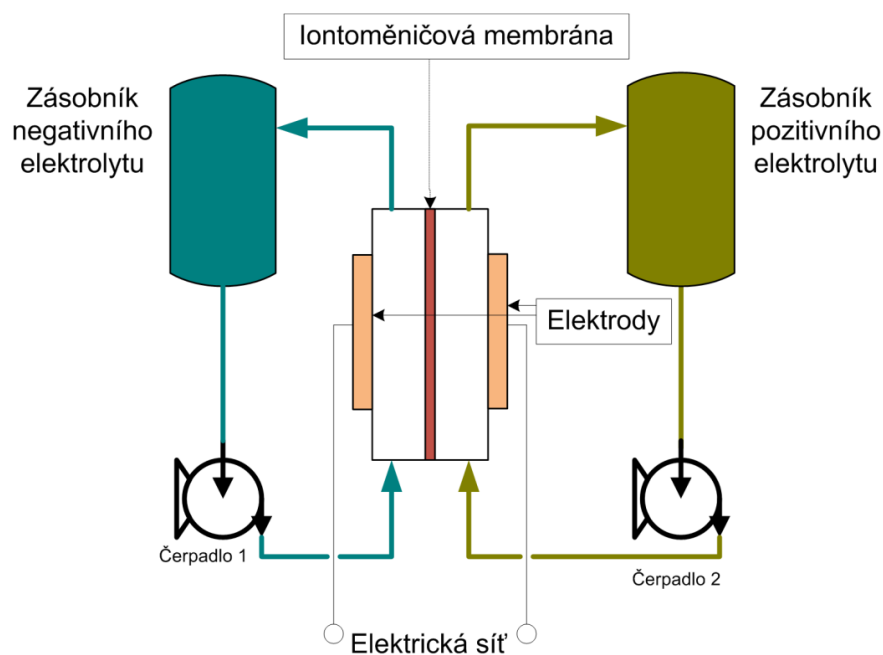
2.3.3 Průtokové baterie

Jedná se o docela novou technologii. Tyto baterie byly vyrobeny za účelem ukládání velkého množství energie. Energie je ukládána do elektrolytu podobně jakou konvenčních baterií. Dle dosavadních zjištění jsou tyto baterie vhodné k zapojení do elektrizační sítě, jelikož mají velký počet nabíjecích a vybíjecích cyklů a dokážou dodávat energii v řádech milisekund.

Základním principem je, že elektrolyty jsou od sebe odděleny Iont-měníčovou membránou a zásobníky na elektrolyt viz (2.2). V těchto elektrolytech je uskladněna energie. Základními elektrolyty používanými v průtokových bateriích jsou roztoky vanadu, zinku nebo sodíku. Jeden elektrolyt je pozitivní a druhý negativní, navzájem jsou odděleny iontovou membránou. Tato membrána zajišťuje, že se dva elektrolyty nesmíchají dohromady. Zároveň ale umožňuje, aby ve společné nádobě jeden elektrolyt zoxidoval a na druhém proběhla redukce. Tím dochází ke vzniku proudu a ten je následně odváděn přes elektrody.

Množství elektrolytu ovlivňuje celkovou kapacitu baterií, je tedy jednoduché kapacitu baterie zvětšit přidáním dalších nádob na elektrolyty. Ty jsou pak odděleny, aby nedocházelo k samovybíjení.

Hlavní nevýhodou těchto typů baterií je velká pořizovací cena. V systému jsou potřeba velké nároky na čerpadla, senzory apod. Velká pořizovací cena znemožňuje použití u malých systému, jako jsou rodinné domy s FVE. Naopak je vhodnější použít je pro velké systémy jako FVE nebo větrné parky s velkým instalovaným výkonem. Jejich výhodou v takovémto provedení by pak byla, že by dokázaly pomáhat k vyhlazení výroby a spotřeby a stabilizovat tak dodávaný výkon do sítě.



Obrázek 2.2 Princip průtokové baterie VRB [3]

Tabulka 2.1 Porovnání účinnosti jednotlivých akumulčních systémů [31]

Metoda akumulace	Celková účinnost
Ultracapacity	0,90
Lithium-ion baterie	0,86
Setrvačníky	0,81
Olověné baterie	0,77
Přečerpávající vod. El.	0,72
Stačený vzduch	0,64
Plynný vodík	0,32
Kapalný vodík	0,25
Horká voda	0,90

3. PREDIKČNÍ MODELY

V této části práce se zaměříme na jednotlivé predikční modely, které budou postupně v textu popsány a vysvětleny. Na závěr bude vyzkoušena jejich predikce na reálných datech. Hlavním cílem je navrhnout predikční modely tak, aby mohly do budoucna spolehlivě předávat informace o spotřebě a výrobě, což by sloužilo jako základ pro předpověď, kdy má objekt dostatek či nedostatek energie.

Predikční modely jsou navrženy pro konkrétní stavbu, v našem případě se jedná o rodinný dům s FVE nacházející se v okrese Plzeň-jih. Veškerá naměřená data týkající se zkoumaného objektu byla pro účely této práce poskytnuta firmou EnergyCloud. Naměřená data z rodinného domu obsahovala následující veličiny: Boxinput, Boxoutput, Gridimport, Gridexport, Pvproduction, Batcharged, Batdischarged, Invoutput, Invcharged.

Pro práci s daty byl použit programovací jazyk Python, za jehož pomoci bylo následně zpracováno i navrhování predikčních modelů a ověřování získaných výsledků na reálných měřených datech.

Jelikož datový balíček poskytnutý zadavatelskou firmou EnergyCloud obsahoval i chybné položky, jako například zápornou hodnotu integeru, bylo potřeba provést nejprve očištění dat. Chybné položky byly odstraněny, aby neovlivňovaly další zpracování a hlavně samotné predikční modely a jejich předpovídající schopnost.

Ukázka kódu odstraňující nesprávné hodnoty:

```
grid_import['value'] = grid_import['value'].apply(lambda x : 0 if x < 0
else x)
bat_charged['value'] = bat_charged['value'].apply(lambda x : 0 if x < 0
else x)
bat_discharged['value'] = bat_discharged['value'].apply(lambda x : 0 if
x < 0 else x)
inv_output['value'] = inv_output['value'].apply(lambda x : 0 if x >
2000 else x)
inv_charged['value'] = inv_charged['value'].apply(lambda x : 0 if x >
2000 else x)
```

Při procesu navrhování predikčních modelů se uvažovaly následující kritéria:

- 1.) Aby mohl být predikční model spuštěn a implementován do všech objektů s FVE.
- 2.) Aby predikční model nepotřeboval žádné informace od uživatele a mohl fungovat na základě měřených dat z minulosti.
- 3.) Aby predikční modely měly co největší korelaci s reálnými daty.

3.1 Predikce spotřeby

Pro samotnou předpověď je nutné nejprve určit aktuální spotřebu zkoumaného objektu. Jelikož se jedná o rodinný dům s FVE, nemůžeme brát jako spotřebu pouze odběr ze sítě. Tento odběr ze sítě se promítne na údajích měřených elektroměrem (Gridimport), dále musíme rovněž uvažovat nad skutečností, že zdrojem může být i výroba (Pvproduction) nebo také vybíjení baterek (Invoutput). Zápornou bilanci nám pak dělají přetoky do sítě (Gridexport), které by neměly u této instalace nastat, ale pro účely tvorby predikčních modelů s nimi je počítáno, stejně jako s nabíjením baterek (Invcharged). Díky tomu by spotřeba měla odpovídat co nejpřesněji realitě.

Výsledný výpočet spotřeby pro zkoumaný objekt pak vypadá následovně:

$$con = grid_{import} - grid_{export} + pv_{production} - inv_{charged} + inv_{output}, \quad (3.1)$$

kde con je celková spotřeba objektu. Nyní známe, jak vypadá spotřeba rodinného domu a na základě tohoto zjištění je možné začít navrhovat predikční model.

Pro účely diplomové práce uvažujeme nad několika způsoby predikce spotřeby. Podrobně si představíme dvě z nich.

3.1.1 Predikce spotřeby první způsob

U prvního způsobu predikce spotřeby je pro každého zákazníka jeho spotřeby počítána v čtvrt hodinových intervalech jako aritmetický průměr z dané čtvrt hodiny z minulého týdne a z dané čtvrt hodiny z předminulého týdne.

Základním předpokladem tohoto způsobu je, že se zkoumaný objekt, co se spotřeby týče, bude chovat periodicky. Pro názorné vysvětlení je počítáno s tím, že spotřeba v pondělí tento týden bude přibližně stejná jako spotřeba v pondělí minulý týden. Obdobně to platí pro další dny v týdnu, přičemž by se mohlo zdát, že ideálním řešením by bylo rozdělit pro predikci týden na dny pracovní a víkend. To se ovšem při další analýze dat o spotřebě zkoumaného objektu ukázalo jako nevhodné řešení, protože nebyla nalezena podobnost napříč pracovními dny a dny o víkendu, ale pouze mezi konkrétními stejnými dny (pondělí s pondělím, úterý s úterým,...).

Z tohoto důvodu byl skript na výpočet predikce spotřeby navržen tak, aby porovnával stejné dny včetně časového úseku, tzn. předpověď na pondělí v 10:00 se dělala z dat předcházejících pondělí stejného času.

Nejjednodušším námi popsaným způsobem predikce, je aritmetický průměr daný následující rovnicí:

$$pred_1(dt) = [fv(dt) + sv(dt)]/2, \quad (3.2)$$

kde fv jsou data z minulého týdne a sv jsou data z předminulého týdne. Tento způsob je nejjednodušší, nicméně oba dva dny mají stejnou váhu, a to 0,5. Pokud bychom chtěli

docílit větší přesnosti predikce, je potřeba zavést koeficienty k_1 a k_2 , pro které platí následující:

$$k_1 + k_2 = 1, \quad (3.3)$$

Rovnice (3.2) může být tedy přeepsaná do tvaru:

$$pred_1(dt) = k_1 \cdot fv(dt) + k_2 \cdot sv(dt), \quad (3.4)$$

Koeficienty k_1 a k_2 mohou pro naše účely například znázornovat i teplotní závislost výkonu. Uvažuje se, že spotřeba více odpovídá spotřebě týden dozadu, jelikož v tu dobu byly podobnější podmínky počasí. Naopak závislost na datech dva týdny starých bude menší. Dalším zpřesněním se docílí, pokud je zavedeno počítání spotřeby na základě tří týdnů. Rovnice pak obsahuje tři koeficienty, kdy opět platí, stejně jako v rovnici (3.3), že jejich součet se musí rovnat jedné. Pro tuto situaci vypadá rovnice následovně:

$$pred_1(dt) = k_1 \cdot fv(dt) + k_2 \cdot sv(dt) + k_3 \cdot tv(dt), \quad (3.5)$$

kde k_3 je koeficient pro třetí týden a tv jsou data tři týdny dozadu. Přidáním třetího týdne vyrovnáme predikční model, jelikož se výsledek opírá o více dat. Tímto je docíleno přesnějšího výsledku předpovědi.

Výhodou tohoto predikčního modelu je, že nepotřebuje vědět o objektu téměř žádné bližší informace, jako například počet spotřebičů, včetně délky a přesného času jejich používání, či další podrobnosti.

Nicméně nám při predikci spotřeby vyvstává problém, že je zapotřebí mít nashromážděna data z minulých týdnů. Pokud nastane v měřených datech vynechání, například vznikne časová mezera z důvodu údržby na instalaci nebo problémy se zapisováním, může to mít za následek to, že predikce nemůže být řádně provedena. Nastala by totiž situace, že v rovnici chybí jedna proměnná, což by způsobilo nepřesnost v předpovědi.

Další problém při predikci spotřeby, s kterým je nutné dopředu počítat, je změna času. Z tohoto důvodu je žádoucí data exportovat například v UTC. Změna času má v předpovědi za následek to, že se v naměřených datech objeví pro stejnou časovou známku záznam spotřeby dvakrát, nebo se objeví vynechaná hodina. To, který z těchto dvou jevů se nám ve spotřebě objeví, záleží na tom, zda se jednalo o časový posun ze zimního času na letní nebo naopak.

Ověření prvního způsobu predikce spotřeby

První způsob predikce spotřeby byl proveden pomocí programovacího jazyku Python. V následující části je uvedena tabulka s koeficienty a přesnými hodnotami koeficientů pro jednotlivé predikce. Koeficienty v tabulce 3.1 odpovídají rovnici (3.5).

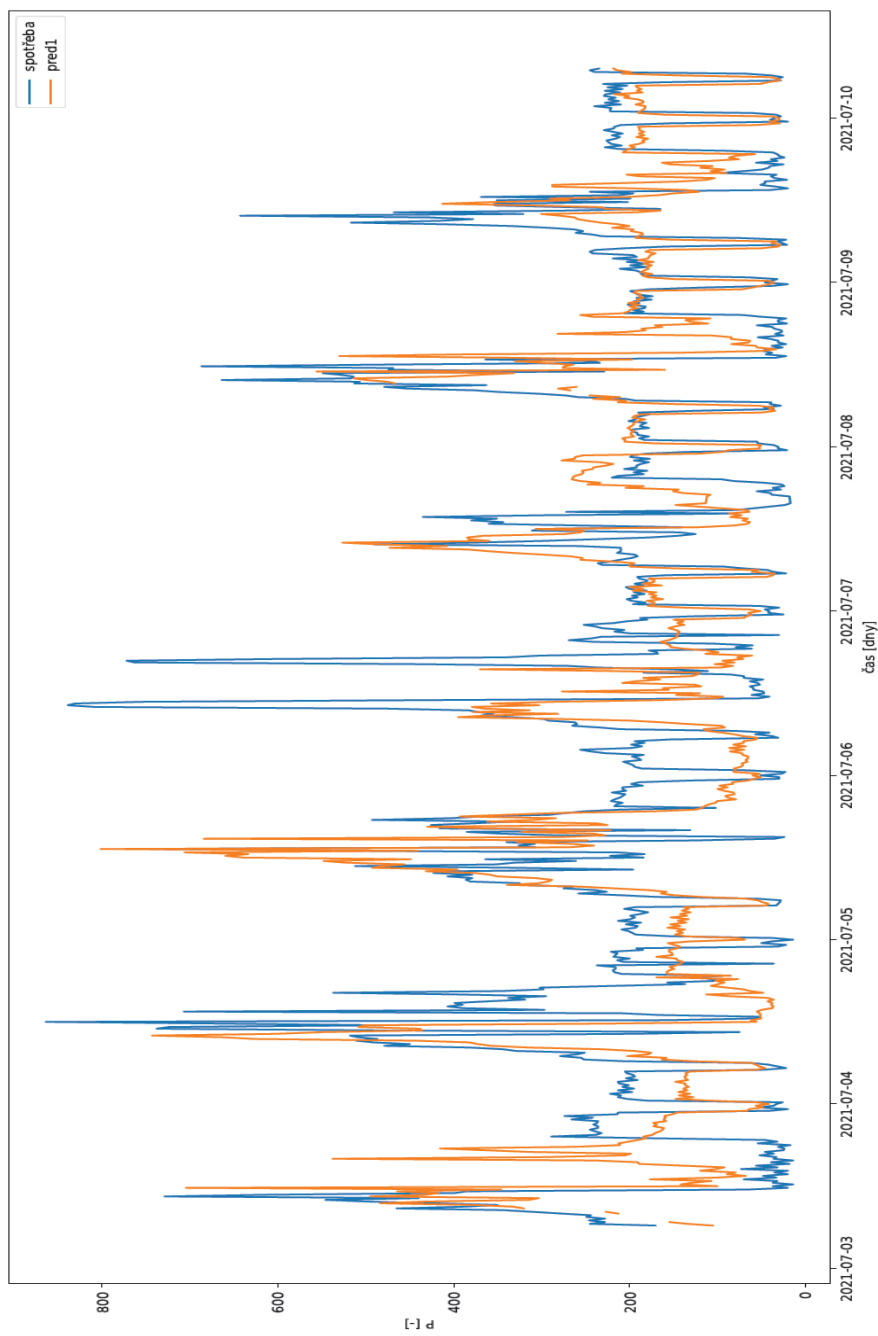
Tabulka 3.1 Porovnání jednotlivých koeficientu a korelace s reálnými daty (vybrané koeficienty s nejlepší korelací vůči reálným datům):

k_1 [-]	k_2 [-]	k_3 [-]	Korelace [%]
0,50	0,50	0,00	46,34
0,55	0,45	0,00	46,98
0,60	0,40	0,00	47,43
0,65	0,35	0,00	47,71
0,70	0,30	0,00	47,82
0,75	0,25	0,00	47,77
0,80	0,20	0,00	47,57
0,85	0,15	0,00	47,25
0,90	0,10	0,00	46,82
0,60	0,25	0,15	49,51
0,65	0,20	0,15	49,53
0,60	0,20	0,20	49,85
0,70	0,15	0,15	49,37

Můžeme si všimnout, že pokud pracujeme se třemi koeficienty, tedy s průměrem tří posledních týdnů, tak se korelace predikce s reálnými daty zlepšila o 3%. Z tabulky je dále patrné, že při práci pouze s dvěma koeficienty, je nejlepší možné korelace dosaženo při hodnotách $k_1 = 0,70$ a $k_2 = 0,30$. V tomto navrženém poměru se dosažená korelace rovná 47,82 %.

Pokud jsou pro účely výpočtu predikce použity koeficienty tři, rovná se dosažená korelace 49,85 %, při uvažovaných hodnotách koeficientů $k_1 = 0,60$, $k_2 = 0,20$ a $k_3 = 0,20$. V případě, kdy by byl predikční model použit na jiné objekty než je námi zkoumaný rodinný dům, je nutné tyto koeficienty upravit tak, aby nejlépe odpovídaly danému objektu, pro který predikci spotřeby tvoříme.

Predikce spotřeby rodinného domu v náhodně vybraném týdnu je vykreslena v následujícím grafu 3.1.

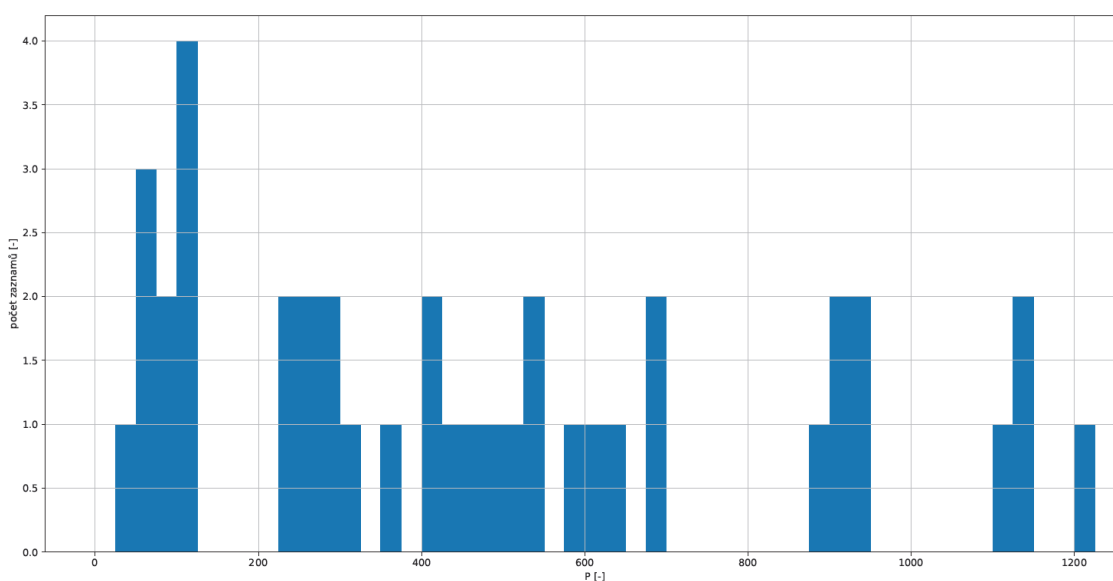


Obrázek 3.1 Porovnání první predikce v náhodně vybraném týdnu, oranžovou barvu má předpovídaný průběh a modrou reálná data korelace v tomto týdnu byla 43,44 %.

3.1.2 Predikce spotřeby druhým způsobem

U druhého způsobu predikce spotřeby je pro každého zákazníka počítána jeho spotřeba na základě histogramu v rámci historicky naměřených dat. Histogram analyzuje naměřená data a řadí je podle spotřeby do jednotlivých kategorií. Jak bylo popsáno v prvním predikčním modelu, nejde se dívat jen na pracovní dny a dny o víkendu, nicméně musíme srovnávat konkrétní dny, tj. pondělí s dalšími pondělky.

Pro účely predikce spotřeby druhým způsobem je pro každý den, pro každou hodinu a pro každou čtvrt hodinu vytvořen záznam, přičemž jednotlivé spotřeby jsou následně řazeny do příslušných skupin podle velikosti spotřeby. Následně je možné se podívat, jaká je nejčastější velikost spotřeby za daný časový úsek v určitý den, konkrétně například čtvrtý den v týdnu v čase od 10:00 do 10:15.



Obrázek 3.2 Vybraný den a záznam výkonu a jejich počty. (čtvrtek 10:00)

Nevýhodou tohoto predikčního modelu je, že se každý den porovnává stejně, nerozlišuje tedy zda je pondělí v létě, nebo se jedná o pondělí v zimě. Pro zpřesnění predikce bychom do modelu museli zavést dělení na jaro, léto, podzim a zimu. Dále by se mohlo aplikovat dělení na svátky či další mimořádné události, jako jsou například letní prázdniny, protože se v těchto dnech očekává spotřeba odlišná než v dny školní.

Výhodou predikčního modelu druhým způsobem je, že mu nevádí, pokud nejsou data kompletní každého jednoho týdne. Pokud bude probíhat oprava na instalaci, nebo dojde k výpadku zápisů, či jinému poškození nasbíraných dat, predikční model bude používat záznamy z dalších týdnů. I na základě neúplných dat udělá model požadovanou predikci.

Ověření druhého způsobu predikce spotřeby

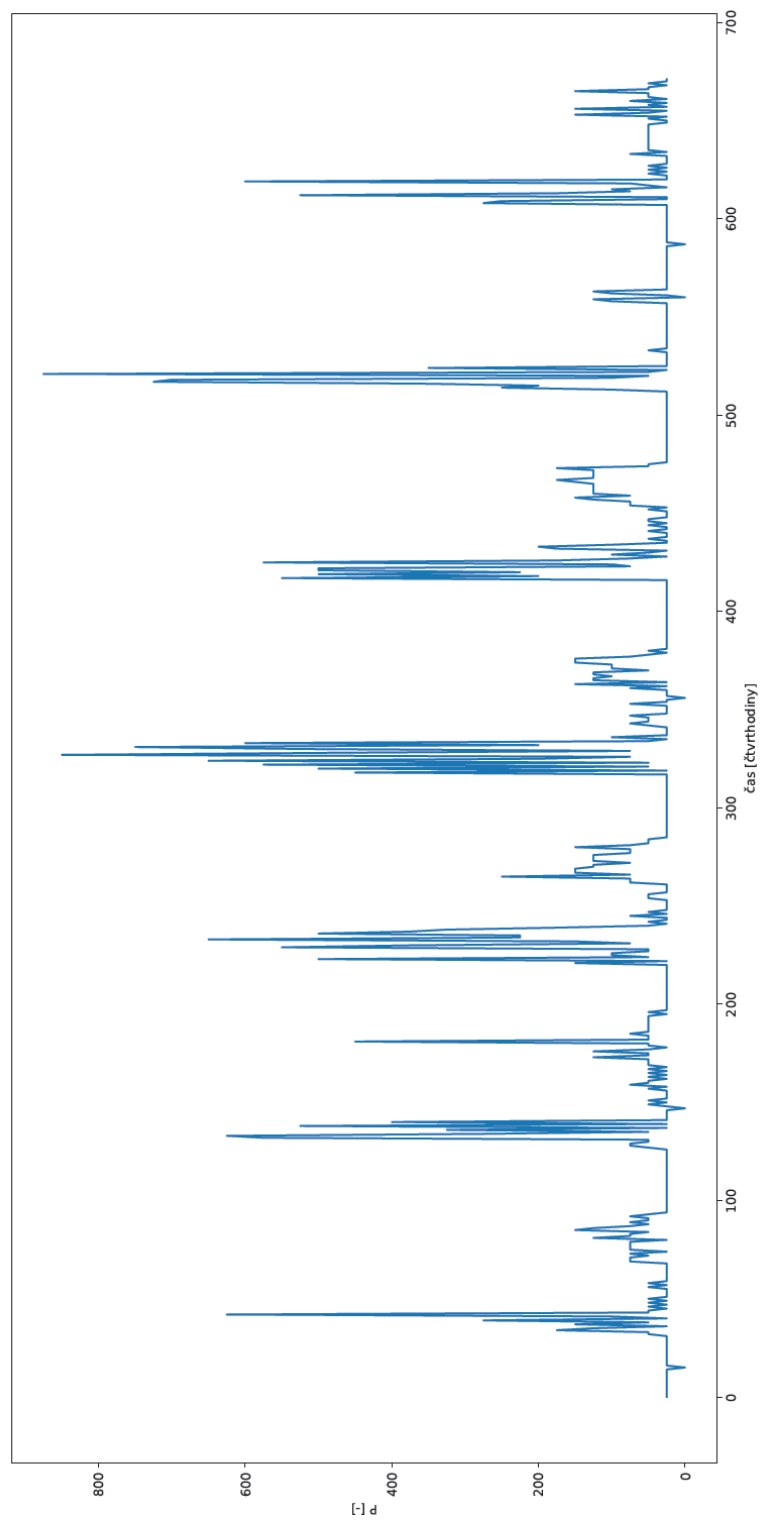
V následující tabulce 3.2 jsou uvedeny korelace predikce s reálnými daty na základě rozmezí pro jednotlivý záznam. Pro potřeby histogramu uvažujeme, že spotřeba v rozmezí 0-4,9 W bude uvedena jako jeden záznam do košíku 5 W.

Tabulka 3.2 Porovnání korelace s reálnými daty na základě rozmezí spotřeby pro záznam:

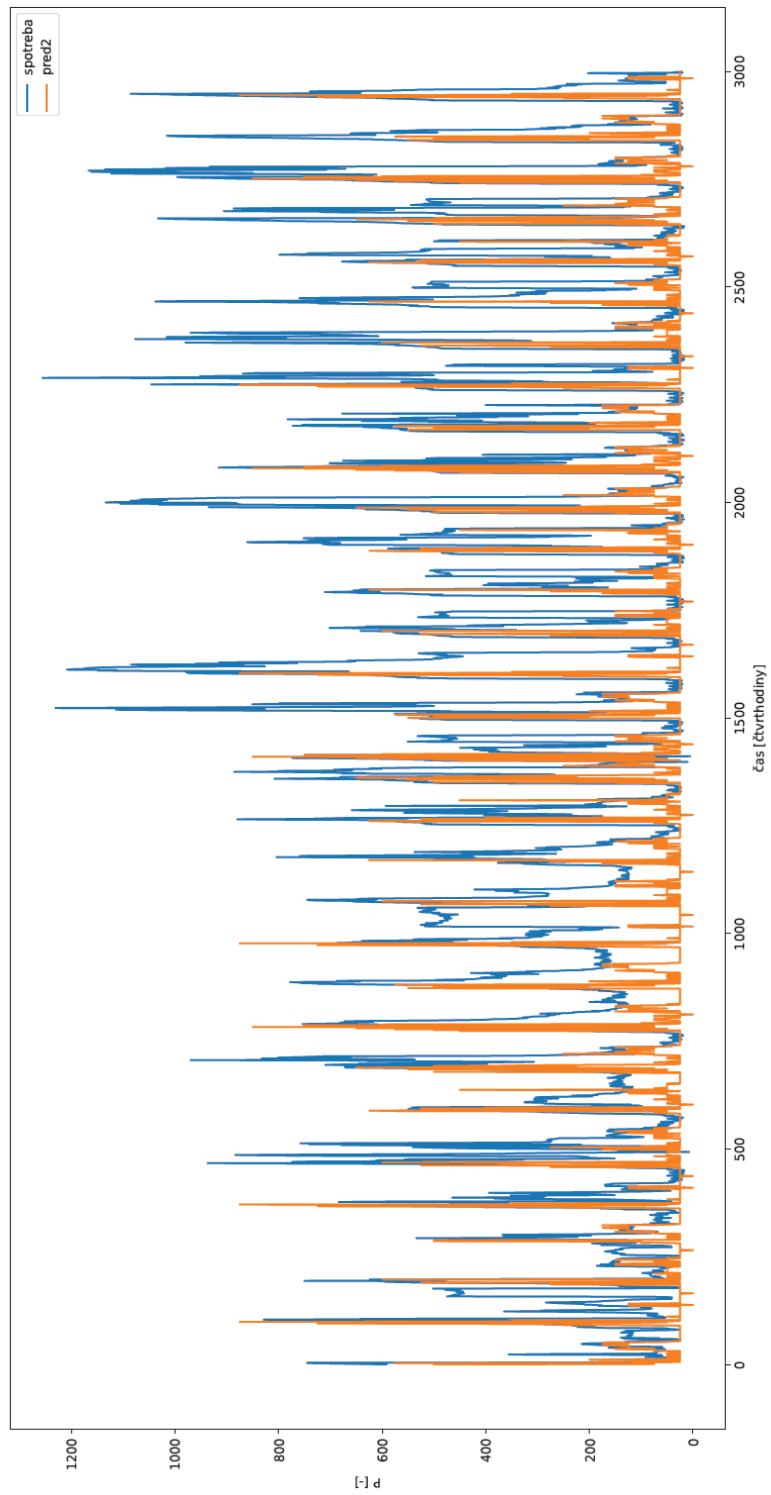
Bin_size[W]	Korelace [%]
5	35,69
10	33,16
15	29,32
20	29,83
25	26,61
30	23,10
35	25,84
40	30,81
45	27,16
50	24,62

Z tabulky výše vyplývá, že pokud je malé rozpětí zaznamenávané spotřeby, tak je korelace s reálnými daty nejpřesnější. Toto malé rozpětí nicméně způsobuje i to, že je v jeden den v určitý časový usek 20 záznamů po jednom (1x5 W, 1x10 W atd.). Nastaly tedy všechny možné případy a predikční model vybere jen jeden.

Obrázek 3.2 vykresluje zajímavou situaci, kdy je v jeden okamžik nejčastěji zaznamenáno 100 W (v našem případě celkem čtyřikrát), dále 50 W (celkem třikrát) a několik mnoho dalších hodnot s četností dvou záznamů. Tato predikce ukazuje, že nejpravděpodobněji nastane velikost spotřeby o hodnotě 100 W. Samozřejmě, pokud chceme mít co nejpřesnější predikci, potřebujeme mít pro analýzu co největší počet dostupných dat. S predikčním modelem se dá pracovat i jinými způsoby, můžeme se například zaměřit na hodinové záznamy výkonu.



Obrázek 3.3 Predikce pomoci histogramu s velikostí rozsahu spotřeby 25 W.



Obrázek 3.4 Porovnání druhé predikce s reálnými daty, oranžovou barvu má předpovídaný průběh a modrou reálná data.

3.1.3 Další predikční modely spotřeby

Kromě predikčních modelů spotřeby prvním a druhým způsobem, které byly podrobně popsány výše, je i mnoho dalších způsobů tvorby predikčních modelů. Mezi ty, které byly diskutovány, ale následně zavrhnuty jako nevhodné, jsou popsány v následujícím textu.

Predikční model spotřeby, kdy je spotřebu počítána na základě koeficientu odpovídající teplotám a počasí obecně.

$$P_{pred} = P_{nez} + \sum_{i=1}^k P_i \cdot k_i, \quad (3.6)$$

kde P_{pred} je predikovaný výkon, P_{nez} je nezávislý výkon na teplotě, a P_i jsou závislé výkony na teplotě každý podle svého koeficientu k_i .

Tento postup byl zavrhnut, jelikož by celkový výkon musel být rozložen do sum a každá část by měla jinou teplotní závislost, například klimatizace v létě oproti topení v zimě. Muselo by se určit, kolik z celkového výkonu v daných čtvrtodinách odpovídá výkonu závislému na počasí, a kolik výkonu je neovlivněno jednotlivými spotřebiči, jako je televize, rychlovarná konvice a další. I za předpokladu, že by se tyto výkony podařilo rozřadit a najít k nim příslušné koeficienty počasí, tak by tento model nemohl být aplikovaný na další objekty a platil by pouze pro jeden konkrétní objekt, kterého by se údaje týkaly.

Další diskutovaný model vycházel z výpočtu predikce na základě listu spotřebičů v dané domácnosti a jejich frekvenci zapínání. V tomto případě by model vyžadoval od každé domácnosti vypsání listu spotřebičů, velikost jejich spotřeby, popřípadě udělat knihovnu spotřebičů a přibližnou spotřebu. Na základě těchto informací by následně bylo nutné zjistit, jak často, a jak dlouho jsou dané spotřebiče v chodu. Tento model byl zavrhnut pro další potřebu zejména z toho důvodu, že by kladl na zákazníka (domácnost) povinnost listu spotřebičů aktualizovat při koupi nového spotřebiče či vyřazení spotřebiče stávajícího.

3.2 Predikce výroby

V případě odhadu budoucích hodnot výroby FVE nemůžeme postupovat podobně jako u odhadu spotřeby. Hlavní rozdíl je v tom, že nemůžeme odhad výroby dělat na základě historických dat měřených na zkoumaném objektu a zároveň musíme počítat se skutečností, že výroba nebude závislá na aktuálním dnu v týdnu, tudíž nerozlišujeme, zda se jedná o den pracovní či víkend.

Při predikci výroby jsou reálná data použita pouze k ověření funkčnosti predikčního modelu. Otázkou tedy je, jak vypočítat výkon FVE, a na jakých parametrech bude tento výkon závislý. Případně musíme uvažovat, které parametry nebudou predikci zhoršovat a je možné je v modelu zanedbat.

Nejprve můžeme začít u podmínek STC (standardních testovacích podmínek), při kterých se udává výkon panelu. Podmínky STC obsahují intenzitu záření 1000 W/m^2 , spektrum AM 1,5 Global a teplotu panelu $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Je tedy zřejmé, že pokud se tyto parametry budou měnit, pak se bude měnit i výkon panelu.

Nejprve se zaměříme na intenzitu záření. Dle práce [33], kde bylo provedeno měření na FVE, výsledky ukazují, že závislost výkonu na intenzitě záření je lineární. Můžeme tedy říct, že pokud je výkon při 1000 W/m^2 nominální, pak v případě, kdy je intenzita záření menší, bude menší i výkon vyráběný FVE.

Dalším parametrem je teplota panelu. Každý panel má od výrobce na štítku uvedeno, jaké jsou jeho teplotní koeficienty. Tyto koeficienty jsou tři, konkrétně se jedná o koeficient výkonový, napěťový a proudový. Jakmile tyto koeficienty známe, je možné spočítat výkon v závislosti na teplotě panelu, a to následovně:

$$P = P_{in} \cdot [1 - \chi \cdot (T_C - 25)], \quad (3.7)$$

kde P_{in} je výkon instalace (panelu), χ je teplotní koeficient výkonu (0,003-0,005), T_C je teplota panelu a P je výkon při teplotě panelu T_C .

Instalovaný výkon nebo výkon panelu známe. Jelikož také víme, o jaký typ panelu se jedná, tak známe i teplotní koeficient výkonu. Jedinou neznámou v rovnici tedy zůstává teplota samotných panelů. Postup, jakým můžeme zjistit i tuto veličinu je takový, že můžeme FVE opatřit teploměrem a nechávat si posílat naměřené údaje o teplotě. Nicméně nesmíme zapomenout, že tento údaj nám nepomůže s predikcí. Mohl by pomoci s dalším nastavováním a zpřesněním například χ , pokud by bylo v čase nestálé. Pokud chceme určit teplotu panelu, musíme využít následující rovnici:

$$T_C = T + (T_{NOCT} - 20) \cdot \left(\frac{G}{800}\right), \quad (3.8)$$

kde T je teplota okolí panelu, T_{NOCT} je teplota článku za nominálních provozních podmínek (Nominal Operating Cell Temperature) a G je intenzita záření. [34]

Pro určení výkonu FVE potřebujeme znát teplotu okolí a intenzitu záření. Pokud máme tyto údaje, je možné predikovat výkon na základě počasí. Taková rovnice je pak ve tvaru:

$$P = P_{in} \cdot [1 - \chi \cdot (T_c - 25)] \cdot \left(\frac{G}{1000}\right), \quad (3.9)$$

kde první část představuje teplotní závislost a druhá část ukazuje lineární závislost na osvitu.

3.2.1 Predikce osvitu

Predikce osvitu má vliv na výkon panelu a jeho teplotu. Tyto závislosti byly popsány v rovnicích (3.8) a (3.9). Úskalí predikce osvitu tkví v tom, že při předpovědi počasí tento údaj nedostáváme. Z předpovědi počasí máme k dispozici údaje o oblačnosti, teplotě nebo tlaku. Z tohoto důvodu bylo zapotřebí udělat predikci osvitu na základě oblačnosti.

Abychom znali správný osvit, byla stažena potřebná data z webového serveru Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) [35], kde byla data vyfiltrována pro konkrétní požadovanou lokalitu, což v našem případě představovalo město Plzeň. Data o denních průměrných osvitech byla stažena a nahrána do programovacího jazyku Python, kde probíhalo následné modelování.

Při předpovědi počasí se setkáme s následujícími předpověďmi oblačnosti: jasno, skoro jasno, malá oblačnost, polojasno, oblačno, skoro zataženo a zataženo. Pro potřeby vytvoření modelu osvitu bylo nutné určit, jakým koeficientem násobit tyto denní průměry při znalosti oblačnosti. První úvahy byly, že při jasné obloze bude koeficient jedna a při zatažené obloze bude koeficient 0, přičemž zbytek bude lineární. Vzorec pro tento případ je pak následující:

$$G = G_{average} \cdot h, \quad (3.10)$$

kde G je predikovaný osvit, $G_{average}$ je průměrný denní osvit a h je koeficient oblačnosti. Porovnáním predikovaných dat a reálných dat se ukázalo, že se jedná o lineární závislost, nicméně následně bylo při modelování přistoupeno k rozložení koeficientů následujícím způsobem:

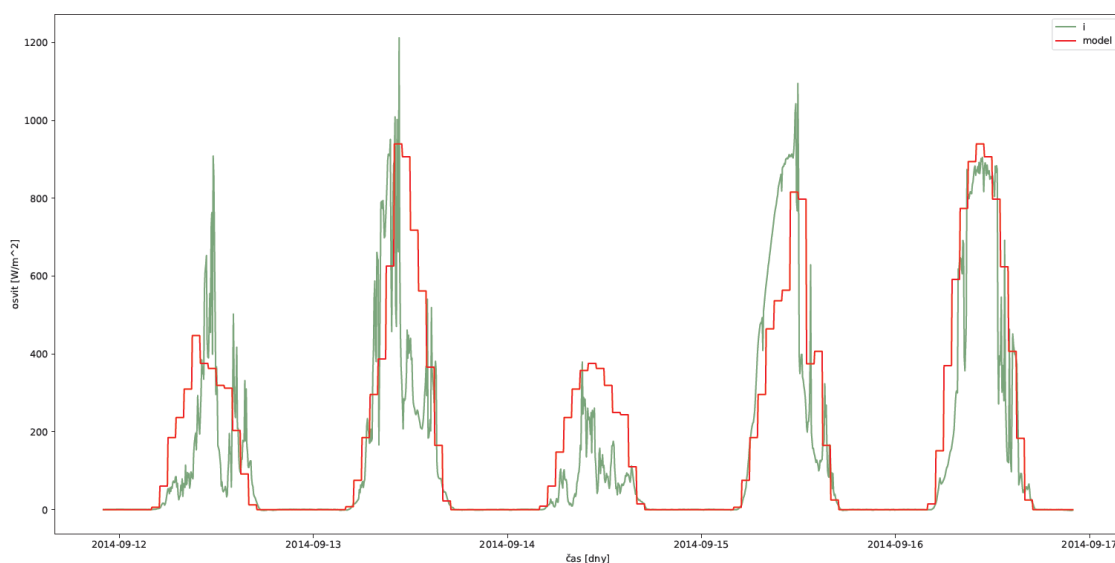
- jasno $h = 1,00$
- skoro jasno $h = 0,90$
- malá oblačnost $h = 0,80$
- polojasno $h = 0,70$
- oblačno $h = 0,60$
- skoro zataženo $h = 0,50$
- zataženo $h = 0,40$

Predikce osvitu byla ověřovaná s naměřenými daty zpětně, tedy neprojevovalo se, že i předpověď oblačnosti není 100%. Predikce počasí má svoji pravděpodobnost naplnění.

Pokud bude predikční model osvitů pracovat s předpovědí počasí, zákonitě se do jeho přesnosti projeví i nepřesnosti v předpovědi počasí. Tato nepřesnost je větší, čím je předpověď počasí vzdálenější od aktuální doby predikce osvitů. Pokud se budeme dívat na předpověď počasí a oblačnosti na následující hodinu, máme přesnost kolem 90 %, ovšem u dalších dnů pak přesnost klesá.

Ověření predikce osvitů

Predikce osvitů byla ověřena s reálnými daty a je zobrazena v obrázku 3.5. Korelace naměřených a predikovaných dat je 86,90 %, pokud je uvažována korelace v průběhu celého dne. Při neuvažování noci je pak korelace 84,98 %.



Obrázek 3.5 Porovnání predikčního modelu s reálnými daty osvitů. Zelená křivka představuje reálná data a červená křivka představuje predikovaná data osvitů.

3.2.2 Predikce výroby

Predikce výroby na základě počasí byla provedena pomocí vzorce (3.9). Díky predikci osvitů bylo možné dopočítat teplotu panelu, takže při znalosti těchto veličin bylo následně možné dopočítat výkon fotovoltaické elektrárny.

Ověření predikce výroby

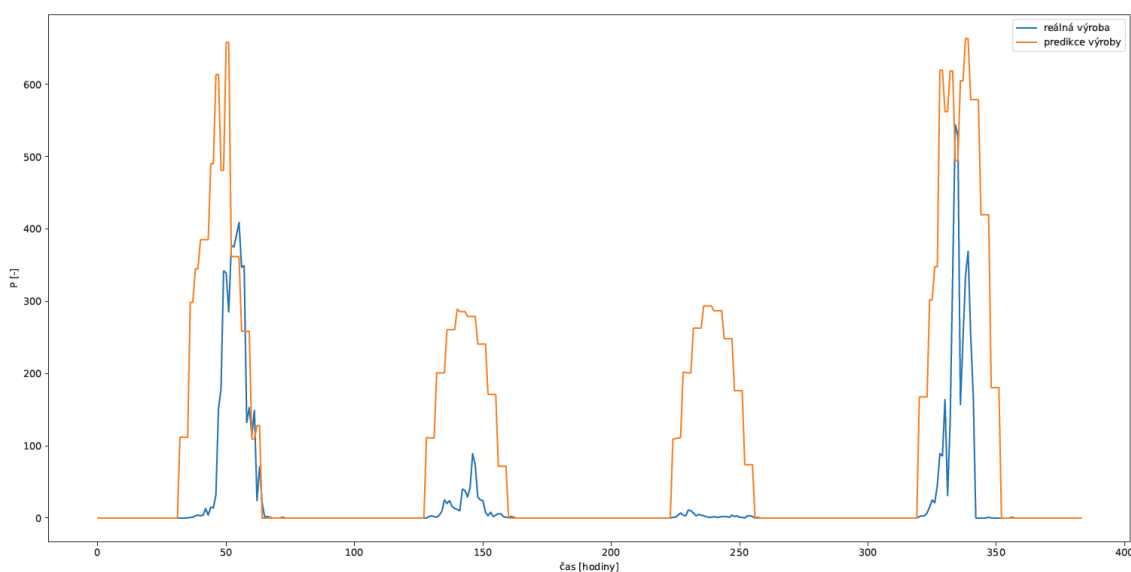
Ověřování predikce výroby probíhalo porovnáváním reálných dat naměřených s daty predikovanými. Pro ověření se používaly náhodně vybrané dny v měsících, kdy se z historických dat o počasí doplnily teploty a informace o oblačnosti.

Celkovým výsledkem tohoto ověřování jsou dva grafy porovnávající reálnou výrobu a predikci za měsíce leden a září, což je názorně vykresleno na obrázcích 3.6 a 3.7. Predikční modely měly korelaci s reálnými daty 61,01 % pro leden a 87,10 % pro září.

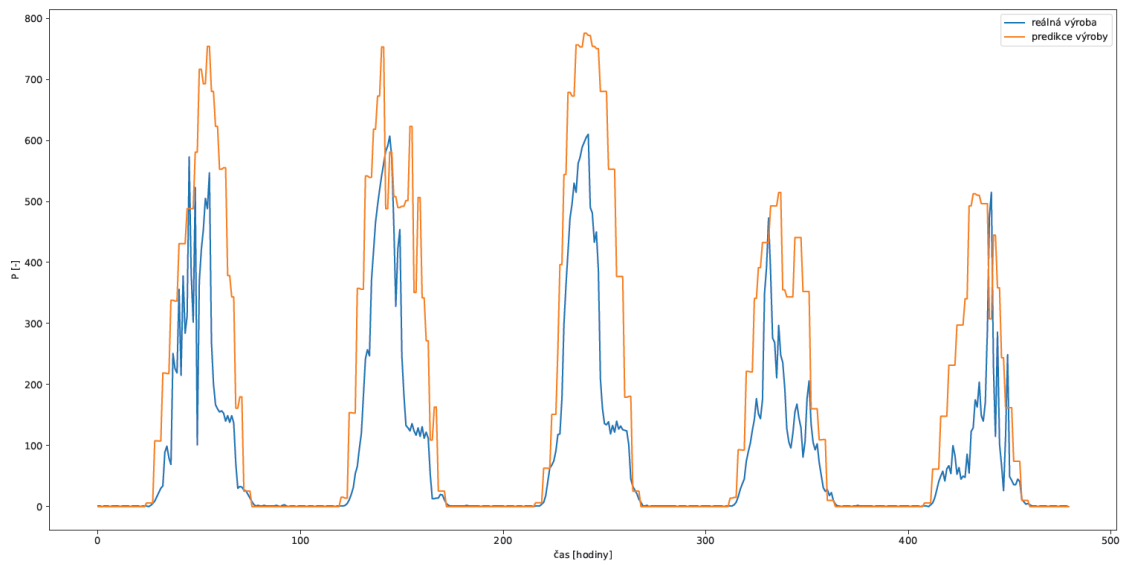
V lednových datech byla jeden den výroba menší. Tento jev nastal z toho důvodu, že nebyla tak velká spotřeba a zároveň se jedná o mikro zdroj, tudíž není možné dodávat do sítě přebytky výkonu a výroba z panelů byla omezena. Z toho důvodu predikce a reálná data tolik nekorelovala.

Predikce v měsíci září měla velkou korelaci s reálnými daty, jelikož FVE nebyla ani v jednom okamžiku vypnuta a porovnání bylo tudíž přesnější. Z důvodu, že se jedná právě o mikro zdroj bez přetoků do sítě, je potřeba porovnávat predikci s výrobou hlavně ve dnech, kdy není omezení výroby. Naopak časový úsek, kdy k omezení výroby došlo, má za důsledek zkreslení predikčního modelu.

Dále je potřeba brát v potaz skutečnost, že při ověřování predikčního modelu se pracovalo s historickými daty počasí a oblačnosti, tudíž zde byla odstraněna jedna proměnná. Pokud bychom uvažovali nad tím, že i předpovědi počasí a oblačnosti mají svoji limitaci v přesnosti, a tuto přesnost sloučili s modelem, tak by byla korelace predikce výroby s reálnými daty menší, než bylo v našem případě.



Obrázek 3.6 Porovnání predikčního modelu výroby s reálnými daty v měsíci leden. Korelace dat a predikce 61,01 %.



Obrázek 3.7 Porovnání predikčního modelu výroby s reálnými daty v měsíci září. Korelace dat a predikce 87,10 %.

4. ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce bylo navrhnout predikční modely spotřeby a predikční modely výroby. Pomocí naměřených dat následně ověřit korelaci predikčních modelů s reálnými daty.

V první části práce je vypracována rešerše literatury týkající se tématu obnovitelných zdrojů elektrické energie. V druhé části se práce zabývá akumulací elektrické energie a popisuje základní principy akumulčních prostředků.

Třetí část práce se zabývá predikčními modely. Nejprve jsou představeny predikční modely spotřeby, poté následuje jejich ověření pomocí korelace s měřenými daty. První predikční model při volbě vhodných koeficientů dosahuje korelace 49,85 %. Druhý predikční model dosahuje korelace s reálnými daty 35,69 %.

Po predikčních modelech spotřeby se práce zabývá predikčním modelem výroby. Nejprve se práce zabývá predikcí osvitů na základě předpovědi oblačnosti. Tento predikční model osvitů má korelaci s reálnými daty 86,90 % při započítání celodenní korelace. Při vynechání dat sbíraných v průběhu noci dosahuje model korelace 84,98 %. Následuje ověření predikčního modelu výroby fotovoltaické elektrárny s naměřenými daty, kdy se dosáhlo korelace 61,01 %.

Predikční modely a jejich algoritmy byly předány firmě EnergyCloud, která poskytla data k ověření predikčních modelů, a která téma diplomové práce také iniciovala. Firma tak může obohatit svoje aplikace nejen o historická data spotřeby a výroby, ale i o jejich predikci. Zákazník získá díky predikčním modelům přehled, kdy bude mít nabitá baterie a může tak přizpůsobit spotřebu domácnosti.

Při dalším rozpracování by mohly predikční modely sloužit v lokálních distribučních sítích nebo komunitní energetice, kde by se dalo zároveň využívat kapacit úložišť mezi různými objekty. Dále by se také dalo pracovat s těmito predikčními modely v případě optimalizace lokálních distribučních sítí.

LITERATURA

- [1] JANALÍK, Radim. Zdroje energie. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2012. Dostupné také z: https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/old_web/_files/projekty/enazp/17/IUT/098_Zdroje_energie_-_Janalik_-_P3.pdf
- [2] OLAH, George A., Alain GOEPPERT a G. K. Surya PRAKASH. Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy. 2009-09-23. Dostupné z: doi:10.1002/
- [3] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. Obnovitelné zdroje elektrické energie. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011.
- [4] Renewable Energy ... into the Mainstream: IEA, Renewable Energy Working Party. The Netherlands, 2002. Dostupné také z: <https://library.um.edu.mo/ebooks/b1362376x.pdf>
- [5] Obnovitelné zdroje. ČEZ [online]. 2021 [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/obnovitelne-zdroje>
- [6] MATYÁŠEK, Jiří a Miloš SUK. Antropogeneze v geologii. Masarykova univerzita Pedagogická fakulta, Katedra biologie Přírodovědecká fakulta, Ústav geologických věd, 2010. Dostupné také z: <https://is.muni.cz/elportal/estud/pedf/js10/antropog/web/pdf/Antropogeneze-v-geologii.pdf>
- [7] ERU (obrázek)
- [8] AUGUSTA, Pavel. Velká kniha o energii. Praha: L.A. Consulting Agency, 2001, 583 s. ISBN 80-238-6578-1.
- [9] Zákon č. 17/1992 Sb., O životním prostředí
- [10] Zákon č. 165/2012 Sb., O podporovaných zdrojích energie
- [11] Zákon č. 458/2000 Sb., O podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích
- [12] ŠKORPIL, Jan. Obnovitelné zdroje energie. 2. vyd. přeprac. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2675-4.
- [13] Realizace Zelené dohody pro Evropu. Evropská komise [online]. nedatováno [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_cs
- [14] Eurostat (obrázek)
- [15] MASTNÝ, Petr, Jan MORÁVEK a Jiří PITRON. Malé zdroje elektrické energie. 1. Brno: FEKT VUT v Brně, 2015.
- [16] KOČÁRNÍK, Petr: Přednášky z předmětu Strojní struktury elektráren (BIM14SSE), ČVUT FEL v Praze, 2019
- [17] KADRNOŽKA, Jaroslav. Globální oteplování Země: příčiny, průběh, důsledky, řešení. 1. Brno: VUTIUM, c2008. ISBN 978-80-214-3498-1.

- [18] WAGNER, Vladimír. Nejvyužívanější obnovitelný zdroj světa. Vodní elektrárny jako důležitý zdroj u nás i ve světě. Oenergetice.cz [online]. 2018 [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/nejvyuzivanejsi-obnovitelny-zdroj-sveta-vodni-elektrarny-jako-dulezity-zdroj-u-nas-i-ve-svete>
- [19] BROŽA, Vojtěch. Využití vodní energie. 1. vydání. Frýdek-Místek: České vysoké učení technické v Praze. 1990
- [20] Využívání vodní energie v ČR: skupina ČEZ-výroba elektřiny. Skupina ČEZ [online]. nedatováno [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/informace-o-vodni-energetice.html>
- [21] Vodní elektrárny loni doplácely na sucho, letos se jim daří. Elektřina na zeleno [online]. 2019 [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://elektrinanazeleno.cz/vodni-elektrarny-loni-doplacely-na-sucho-letos-se-jim-dari/>
- [22] Větrné elektrárny. Envi Web [online]. 2009 [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://www.enviweb.cz/79312>
- [23] Mapa aktuální instalace. Česká společnost pro větrnou energii [online]. 2021 [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://www.csve.cz/cz/aktualni-instalace>
- [24] The European offshore wind industry key 2011 trends and statistics: A report by the European Wind Energy Association. 2012. Dostupné také z: http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA_stats_offshore_2011_02.pdf?__cf_chl_f_tk=XsbS71JUbyXYksyVfiGUj83zg3xM.Hc52ccVNR0tfwT4-1642345619-0-gaNycGzNA-U
- [25] Větrné elektrárny v ČR - statistika. Česká společnost pro větrnou energii [online]. 2021 [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://www.csve.cz/cz/clanky/statistika/281>
- [26] Je den větrné energie, ČR podle svazů zaostává za Evropou čím dál více. České noviny [online]. Česká tisková kancelář, 2021 [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/je-den-vetrne-energie-cr-podle-svazu-zaostava-za-evropou-cim-dal-vice/2051368>
- [27] KAŠINSKÝ, Jan. Jaký je potenciál využití biomasy v Česku a ve světě. Oenergetice.cz, 2019. Dostupné také z: <https://oenergetice.cz/nazory/jaky-potencial-vyuziti-biomasy-cesku-ve-svete>
- [28] JÍLEK, Petr. Akumulace elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie. 2013. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Prof. Jan Škorpil.
- [29] Study: The Price of Solar. SAFE: Solar Alliance for Europe [online]. nedatováno [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: http://safe-eu.org/study-the-price-of-solar/?lang=en&fbclid=IwAR3QQoCPk2IBkIscylyXHkPa4Etf_Pv7qIxryVng1ClNTd4wHbCBcCXCd9I
- [30] Zákon zachování energie. Západočeská univerzita v Plzni [online]. nedatováno [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://www.kme.zcu.cz/kmet/bio/mechenzze.php>

- [31] GATZEN, Christoph. The Economics of Power Storage. 1. Mnichov, 2008, 254 s. ISBN 978-3-8356-3138-0.
- [32] LINDEN, David a Thomas REDDY. Handbook of batteries. 1. TheMcGraw-HillCompanies, 2002. ISBN 0-07-135978-8.
- [33] BODNÁR, Nikolas. Hodnocení výkonu a účinnosti fotovoltaické elektrárny v hostětíně. Brno, 2016. Bakalářská práce. Masarykova univerzita přírodovědecká fakulta geografický ústav. Vedoucí práce Mgr. Kamil Láska, Ph.D.
- [34] GIUSEPPINA, Ciulla, Lo Brano VALERIO a Moreci EDOARDO. Forecasting the Cell Temperature of PV Modules with an Adaptive System. International Journal of Photoenergy. Hindawi Publishing Corporation, 2013, 10.
- [35] Photovoltaic Geographical Information System [online]. [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#api_5.1

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
FVE	Fotovoltaická elektrárna
JE	Jaderná elektrárna
PE	Parní elektrárna
PPE	Paroplynová elektrárna
PSE	Plynová a spalovací elektrárna
VE	Vodní elektrárna
PVE	Přečerpávací elektrárna
VTE	Větrná elektrárna
EU	Evropská unie
ČR	Česká republika
USA	Spojené státy americké
VRB	Vanadium Redox baterie
STC	Standardní testovací podmínky
NOCT	Teplota článků za nominálních provozních podmínek

Symbyly:

U	napětí	(V)
I	proud	(A)
E	energie	(J)
m	hmotnost	(kg)
v	rychlost	(m/s)
r	poloměr	(m)
ω	úhlová rychlost	(rad/s)
f_v	první týden	(W)
s_v	druhý týden	(W)
t_v	třetí týden	(W)
k_1, k_2, k_3	konstanta	(-)
h	konstanta	(-)
$pred_1$	predikce jedna	(W)
P	výkon	(W)
χ	teplotní koeficient výkonu	(K ⁻¹)
T_C	teplota panelu	(K)
T_{NOCT}	teplota článku za nominálních podmínek	(K)
G	intenzita záření	(W/m ²)

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A..... SKRIPT NA PREDIKČNÍ MODELY