

# Návrh dátových štruktúr databázy a entít potrebných pre modelovanie sústavy

*Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov  
II. etapa*



Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: *Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov – II. etapa*, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



**SFÉRA, a.s.** • Karadžičova 2 • 811 08 Bratislava  
tel.: +421 2 502 13 142

ISBN 978-80-89778-09-6  
© SFÉRA, a.s., 2022



EURÓPSKA ÚNIA  
Európsky fond regionálneho rozvoja  
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO  
DOPRAVY A VÝSTAVBY  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY



MINISTERSTVO  
ŠKOLSTVA, VEDY,  
VÝSKUMU A ŠPORTU  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Táto publikácia je dielom kolektívu autorov:

Holiš Martin, Ambrús Ladislav, Slávik Jakub, Novotný Jozef, Gulášová Anna, Moško Daniel

Ostatní autori:

Kosa Jozef, Jančo Rastislav, Beňo Michal, Čecho Miroslav, Galajda Miroslav, Fridrich Ľubomír, Ščípa Vladimír, Struhár Marcel, Terem Pavol, Ondruš Rastislav, Laco Martin, Mičev Petr, Láznička Libor, Franček Róbert, Jedinák Radovan, Kaňuk Martin, Hofierka Peter, Deák Tomáš, Hudec Miroslava, Haluška Andrej, Dovalová Lívia

# OBSAH

<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>6</b>
<b>2 NÁVRH DÁTOVÝCH ŠTRUKTÚR DATABÁZY A NÁVRH DÁTOVÝCH ENTÍT .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Dátový model.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Objektový strom.....</b>	<b>7</b>
<b>2.3 Typy objektov a ich triedy .....</b>	<b>8</b>
<b>2.4 Návrh DB štruktúr .....</b>	<b>9</b>
2.4.1 Návrh štruktúry DB a entít pre modelovanie sústavy.....	9
2.4.2 Diagramy navrhovaných vzťahov v rámci DB.....	9
<b>2.5 Číselníky a premenné .....</b>	<b>12</b>
<b>2.6 Spoločné parametre objektov .....</b>	<b>14</b>
<b>2.7 Parametre zariadení .....</b>	<b>14</b>
2.7.1 Asynchrónny generátor.....	14
2.7.2 Elektrolyzér .....	15
2.7.3 Fotovoltická elektrárňa.....	15
2.7.4 Generátor synchronný .....	17
2.7.5 Parná turbína .....	18
2.7.6 Paroplynová turbína.....	19
2.7.7 Spaľovacia turbína .....	20
2.7.8 TR trojfázový (3 vin.).....	22
2.7.9 Úložisko energie.....	23
2.7.10 Vedenie .....	24
2.7.11 Veterná turbína .....	24
2.7.12 Vodná turbína.....	25
2.7.13 Fotovoltický panel .....	26
2.7.14 Tepelné čerpadlo .....	26
2.7.15 Parametre palivových článkov .....	27
<b>3 DÁTOVÁ ENTITA - ZDROJOVÁ ZÁKLADŇA.....</b>	<b>28</b>
<b>3.1 Solárne elektrárne .....</b>	<b>28</b>
3.1.1 Analýza problematiky.....	28
3.1.2 Solárne panely .....	29
3.1.3 Merané parametre FV systému .....	32
3.1.4 Striedače (meniče).....	33
3.1.5 Technické údaje hybridných striedačov .....	35
3.1.6 Solárna mapa.....	37
<b>3.2 Veterné elektrárne .....</b>	<b>38</b>
3.2.1 Analýza problematiky.....	38
3.2.2 Faktory ovplyvňujúce efektivitu veternej elektrárne .....	39
<b>3.2.2.1 Rýchlosť vetra .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.2.2 Plocha rotora.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.2.3 Hustota vzduchu.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.2.4 Drsnosť terénu.....</b>	<b>41</b>
3.2.3 Potenciál vetra pre využitie v energetike, vhodné lokality .....	41

3.2.4	Výroba elektrickej energie.....	42
3.2.5	IoT poháňa veterné turbíny.....	44
<b>3.3</b>	<b>Malé vodné elektrárne .....</b>	<b>45</b>
3.3.1	Analýza problematiky.....	45
3.3.2	Rozdelenie MVE .....	46
3.3.2.1	<i>MVE umiestnené na toku .....</i>	<i>47</i>
3.3.2.2	<i>Derivačné MVE.....</i>	<i>47</i>
3.3.2.3	<i>Turbíny, Mikroturbíny.....</i>	<i>48</i>
3.3.2.4	<i>Časti a zariadenia vodných diel.....</i>	<i>49</i>
3.3.2.5	<i>Elektrotechnické zariadenia malých vodných elektrární.....</i>	<i>50</i>
3.3.2.6	<i>Parametre malých vodných elektrární .....</i>	<i>51</i>
3.3.2.7	<i>Spád.....</i>	<i>51</i>
3.3.2.8	<i>Prietok.....</i>	<i>52</i>
3.3.2.9	<i>Výber vhodných lokalít a zásady pre dimenzovanie .....</i>	<i>52</i>
3.3.2.10	<i>Ďalšie potrebné údaje.....</i>	<i>52</i>
<b>3.4</b>	<b>Bioplynové elektrárne.....</b>	<b>53</b>
3.4.1	Analýza problematiky.....	53
3.4.2	Rozdelenie bioplynových elektrární .....	53
3.4.3	Energetická bilancia bioplynovej elektrárne.....	54
3.4.4	Spôsoby využitia biomasy na energetické účely .....	55
3.4.4.1	<i>Výroba energie z biomasy.....</i>	<i>56</i>
3.4.5	Biopalivá.....	59
3.4.6	Vlastnosti rôznych typov biopalív .....	59
3.4.6.1	<i>Spôsoby konverzie biomasy na energiu.....</i>	<i>59</i>
3.4.6.2	<i>Vlastností pevných biopalív, obsah vody, obsah popola a výhrevnosť.....</i>	<i>60</i>
3.4.6.3	<i>Energetická hodnota niektorých palív .....</i>	<i>60</i>
3.4.7	Parametre bioplynových elektrární .....	60
<b>3.5</b>	<b>Palivové články.....</b>	<b>61</b>
3.5.1	Analýza problematiky.....	61
3.5.2	Typy palivových článkov .....	62
<b>3.6</b>	<b>Tepelné čerpadlo.....</b>	<b>65</b>
3.6.1	Analýza problematiky.....	65
3.6.2	Princíp tepelného čerpadla .....	65
3.6.3	Typ tepelného čerpadla .....	66
3.6.4	Parametre tepelného čerpadla.....	67
3.6.5	Kombinácia tepelného čerpadla a fotovoltiky .....	68
<b>3.7</b>	<b>Akumulátor elektriny .....</b>	<b>68</b>
3.7.1	Analýza problematiky.....	68
3.7.2	Dôvody pre akumuláciu energie .....	69
3.7.3	Účinnosť skladovania elektrickej energie.....	70
3.7.4	Rozvoj súvisiacej infraštruktúry.....	71
3.7.4.1	<i>Centrálne veľké úložiská využívané na reguláciu ES.....</i>	<i>72</i>
3.7.4.2	<i>Centrálne veľké úložiská na preklopenie dlhodobějších výpadkov .....</i>	<i>72</i>
3.7.4.3	<i>Decentralizované (distribúované) aplikácie .....</i>	<i>72</i>
3.7.4.4	<i>Multifunkčné skladovacie systémy .....</i>	<i>73</i>

3.7.5	<i>Technológie na uskladnenie elektrickej energie</i> .....	74
3.7.5.1	<i>Súčasná situácia a rozvojový potenciál</i> .....	74
3.7.5.2	<i>Akumulácia tepelnej energie</i> .....	75
3.7.5.3	<i>Elektrické skladovanie energie</i> .....	76
3.7.5.4	<i>Mechanické spôsoby skladovania energie</i> .....	76
3.7.5.5	<i>Elektrochemické technológie skladovania energie</i> .....	76
3.7.5.6	<i>Chemická akumulácia – vodíková technológia</i> .....	77
3.7.6	<i>Porovnanie jednotlivých technológií</i> .....	79
3.7.7	<i>Podmienky na zavádzanie akumulčných systémov do distribučných sústav</i> .....	80
<b>4</b>	<b>DÁTOVÁ ENTITA - ROZVODNÝ SYSTÉM</b> .....	<b>81</b>
4.1	<b>Vedenia</b> .....	<b>82</b>
4.2	<b>Distribučné transformátory</b> .....	<b>83</b>
4.3	<b>Analýza postupov automatického odhadovania parametrov rozvodnej siete pomocou dát pokročilej meracej infraštruktúry v súvislosti s ich vplyvom na návrh databázových štruktúr</b> .....	<b>85</b>
4.3.1	Úvod k problematike .....	85
4.3.2	Estimácia stavu distribučných sústav .....	86
4.3.3	Generovanie modelov distribučnej siete mikrogridu pomocou dát IMS.....	88
4.3.4	Algoritmus odhadu stavu na sledovanie zmien topológie v distribučných sieťach .....	89
4.3.5	Využitie inteligentných meracích systémov pre identifikáciu fáz transformátora pri modelovaní sietí nízkeho napätia .....	91
<b>5</b>	<b>DÁTOVÁ ENTITA – INTELIGENTNÉ MERACIE SYSTÉMY</b> .....	<b>93</b>
5.1	<b>IMS</b> .....	<b>93</b>
5.1.1	Analýza problematiky.....	93
5.1.2	Požadované technické parametre IMS .....	94
5.1.3	Špecifikácia a vzorové príklady pre používané formáty v rámci IMS .....	95
5.2	<b>IoT</b> .....	<b>98</b>
5.2.1	Analýza problematiky.....	98
5.2.2	Využitie IoT .....	98
5.2.3	Podporované typy a verzie zariadení.....	99
<b>6</b>	<b>DÁTOVÁ ENTITA – PARAMETRE PRODUKCIE A NÁKLADOV</b> .....	<b>101</b>
6.1.1	Analýza problematiky.....	101
6.1.2	Predikovanie spotreby elektrickej energie .....	101
6.1.3	Parametre produkcie a nákladov .....	102
<b>7</b>	<b>ZÁVER</b> .....	<b>105</b>
<b>8</b>	<b>ZOZNAM OBRÁZKOV</b> .....	<b>106</b>
<b>9</b>	<b>ZOZNAM TABULIEK</b> .....	<b>107</b>
<b>10</b>	<b>ZDROJE</b> .....	<b>108</b>
	<i>Použitá literatúra:</i> .....	108

# 1 ÚVOD

Dokument bol vytvorený, zavedený a udržiavaný v súlade s cieľom Aktivity č.5: „Priemyselný výskum v oblasti optimalizácie dátových štruktúr prvkov elektrizačnej sústavy pre modelovanie a simuláciu inteligentných sietí/mikrogridov“; konkrétne pre mília č.3 „Návrh dátových štruktúr databázy a entít potrebných pre modelovanie sústavy“.

Obsah mília č.3 sa opiera o výsledky dosiahnuté v predchádzajúcich prácach Aktivity č.5 mília č.1 a mília č.2, ktoré sú dôležitým východiskom pre návrh dátových štruktúr databázy a entít potrebných pre modelovanie elektrizačnej sústavy. Predchádzajúce dokumenty poukazujú na to, že významné zmeny, ktorými bude musieť prechádzať ES v dôsledku integrácie obnoviteľných zdrojov elektrickej energie, sa nezaobídu bez matematického modelovania energetických komponentov v lokálnych energetických sústavách, bez simulácií vytypovaných dejov v nich a simulácií pre zisťovanie ich vplyvu na prenosovú a distribučnú sústavu. Koncept sietí mikrogrid prináša ekonomickú a technickú výzvu pre spotrebiteľov, z ktorých sa stávajú aj výrobcovia, a preto je potrebné zapojiť koncových odberateľov do vytvárania svojich mikrogridov. Potrebu vývoja moderného programového nástroja pre modelovanie a simulácie moderných digitálnych mikrogridov zdôvodňuje mília č.1 Aktivity č.6 Návrh celkovej architektúry riešenia pre modelovanie a simuláciu mikrogridu. Navrhované riešenie, ktoré je výsledkom mília č.1 Aktivity č.6, bude poskytovať podporu modelovaniu inteligentných sietí / mikrogridov a simulácií v rámci týchto sietí. Zabezpečí prepojenie reálnej siete s jej digitálnym modelom. Jadrom navrhovaného riešenia bude Databáza modelu siete, ktorá bude zabezpečovať oblasť správy dát. Databáza bude obsahovať informácie o všetkých relevantných prvkoch siete (výrobné zariadenia, zariadenia pre akumuláciu energií, odberné miesta, nabíjacie stanice pre elektromobily, elektromery, meracie body,...), informácie o ich technických parametroch (inštalovaný výkon, maximálna rezervovaná kapacita,...), informácie obchodného charakteru (dodávateľ elektriny, agregátor, bilančná skupina, subjekt zúčtovania, zmluvné parametre,...), informácie o prepojeniach medzi prvkami a o technických vlastnostiach prepojenia (napätová úroveň,...), namerané údaje (z inteligentných meracích systémov, z IoT senzorov), výsledky analýz a simulácií.

V rámci predchádzajúcich mília č.5 bol analyzovaný široký rozsah dát potrebných pre modelovanie ES a široký rozsah vonkajších vplyvov a vzájomných interakcií prvkov ES v ustálených a prechodových javoch na dátové štruktúry modelov.

Cieľom mília č.3 nie je popis veľkej centrálnej databázy so všetkými možnými entitami a ich parametrami pokrývajúcimi všetky aspekty modelovania elektrizačnej sústavy napr. pre rozsiahle informačné systémy alebo pre projektovanie elektrických distribučných sietí v komerčných a priemyselných budovách vo všetkých jeho fázach až po vytváranie profesionálnej dokumentácie a pod.

Mília popisuje hlavné entity navrhovanej databázy odvíjajúce sa z predpokladaných simulácií a analýz predkladaného riešenia, ktoré budú zamerané najmä na optimalizačné bilančné úlohy v rámci mikrogridu. Riešenie prináša budovanie moderného databázového simulačného prostredia, ktoré bude poskytovať nielen otvorenú databázu prvkov inteligentnej siete, ale bude prepájať model digitálnej siete s údajmi získanými z meraní. Ďalej sa predpokladá, že systémové analýzy budú zamerané na schopnosť navrhovaných sietí mikrogrid účinne adaptovať rôznorodú zdrojovú a spotrebiteľskú štruktúru v nich so zohľadnením očakávaných legislatívnych požiadaviek, vývoja cien elektriny a dotačnej politiky zo strany štátu. Preto je potrebné tieto požiadavky zohľadniť pri návrhu dátových štruktúr databázy a entít potrebných pre modelovanie sústavy.

Mília č.3 poskytuje nielen samotný návrh dátových štruktúr databázy a entít potrebných pre modelovanie sústavy, popis ich parametrov, ale aj zdôvodnenie, prečo boli dané entity a parametre vybrané do databázy a ich vzťah k jednotlivým simuláciám. Ďalej poskytuje kritéria pre možné rozšírenie databázy s možnosťou zaraďovania ďalších algoritmov výpočtov a simulácií.

Výsledky mília č.3 Aktivity č.5 sú jedným z podkladov pre mília č.2 a pre mília č.3 Aktivity č.6, ktoré sa zaoberajú vývojom a nasadením prototypu riešenia.

## 2 NÁVRH DÁTOVÝCH ŠTRUKTÚR DATABÁZY A NÁVRH DÁTOVÝCH ENTÍT

### 2.1 Dátový model

Dátový model vychádza z overeného spôsobu ukladania objektov v hierarchickej štruktúre vychádzajúcej z kombinácie fyzického umiestnenia objektov a ich logického usporiadania. V takto vytvorenom „strome“ objektov budú evidované objekty predstavujúce logickú úroveň (napr. funkčné miesto objektu), ako aj objekty predstavujúce fyzické zariadenia (napr. solárny panel).

Ukážka ako bude vyzeráť objektový strom je v podkapitole 2.2 *Objektový strom*, pričom je v nej zároveň definované aké typy objektov je možné vytvárať pod akými uzlami. Zoznam typov objektov je uvedený v kapitole 2.3 *Typy objektov*, pričom sú v nej uvedené príklady typov objektov, ktoré budú v systéme evidované, tzn. aj tie, ktoré nebudú obsahovať samostatný zoznam špecifických položiek. Model v kapitole 2.6 obsahuje spoločný zoznam položiek, ktoré budú evidované pre každý objekt. Okrem týchto spoločných parametrov objektov bude pre vybrané typy objektov definovaná skupina špeciálnych atribútov. Ich popis je v samostatných podkapitolách kapitoly 2.7

V prípade, že ide o kombináciu logického a fyzického objektu, je v Poznámke popísané rozdelenie, ktorej časti sa aké položky týkajú. V dátovom modeli sa uvažuje len nad typmi objektov potrebnými pre vytvorenie podkladov sieťových modelov a neuvažuje sa nad evidenciou stožiarov, rozpätí a zariadení vlastnej potreby.

### 2.2 Objektový strom

Tabuľka 1 - Objektový strom

Objekt - úroveň 1	Objekt - úroveň 2	Objekt - úroveň 3	Objekt - úroveň 4	Objekt - úroveň 5	Typ objektu	Poznámka
Slovenská republika					Uzol	
	Lokalita 1				Umiestnenie	
		Solárny panel*			Zariadenie	
			Podobjekt		Zariadenie	
		Vedenia			Vedenia	
			V8207*		Vedenie	
		Budova			Umiestnenie	
			Poschodie		Umiestnenie	
				Miestnosť	Umiestnenie	
Uzlová oblasť					Uzol	
	Uzol A				Uzol	link na existujúce prvky pod SR
	Uzol B				Uzol	link na existujúce prvky pod SR
	Merací uzol				Meradlo	
		Meracie miesto			Meradlo	

## 2.3 Typy objektov a ich triedy

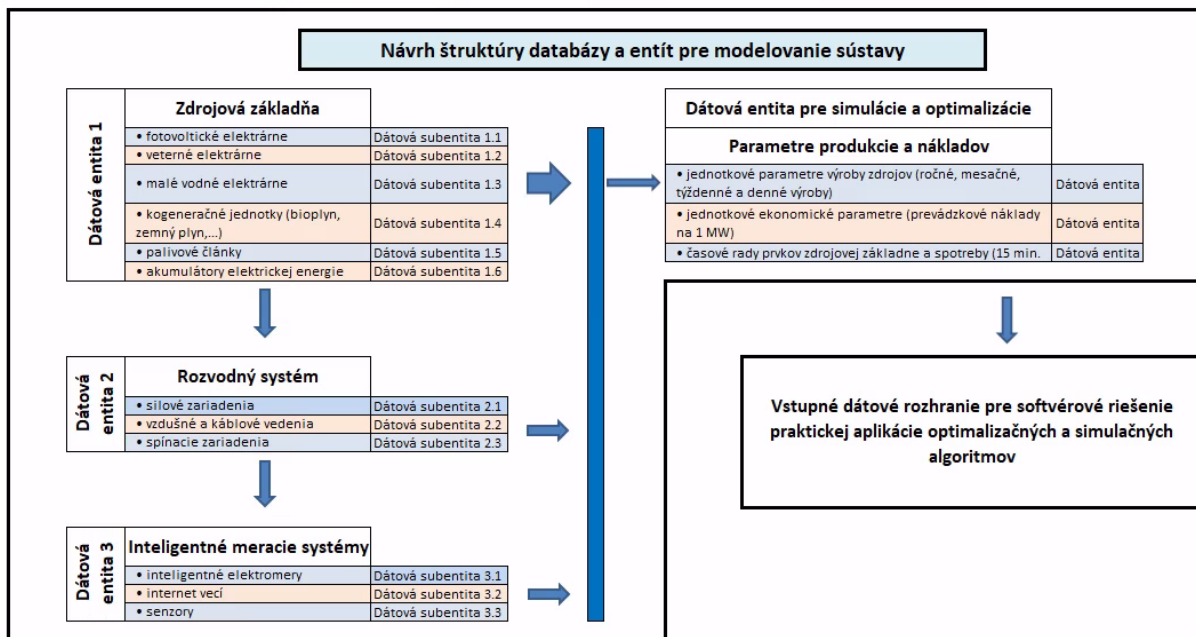
Tabuľka 2 - Typy objektov

Názov objektu	Trieda objektu
Elektrolyzér	Parametre_elektrolyzera
Fotovoltaická elektrárňa	__Parametre_fotovoltickej_elektrarne
Generátor synchronny	__Parametre_SG
Generátor asynchronny	Generator_asynchronny
Parná turbína	__Parametre_parne_j_turbiny
Paroplynová turbína	__Parametre_paroplynovej_turbiny
Spaľovacia turbína	Parametre_spalovacej_turbiny
TR trojfázový (3 vin.)	__3_VIN_TR_3FAZOVY
Úložisko energie	Parametre_uloziska_energie
Vedenie	__VEDENIE
Veterný generátor	Parametre_veterneho_generatora
Vodná turbína	__Parametre_vodnej_turbiny
Fotovoltaický panel	Parametre_fotovoltickeho_panela
Amorfny kremikovy panel	Parametre_amorf_kremik_panel
CIGS panel	CIGS_panel
Meteo panel	Parametre_Meteo_panel
Mikromorfny panel	Parametre_Mikromorf_panel
Organický panel	Parametre_Organic_panel
Tandemovy mikromorfny panel	Parametre_Tandem_mikromorf_panel
Teluridovo kademnaty panel	Parametre_Telurid_kadem_panel
Tepelne cerpadlo	Parametre_tepelne_cerpadlo
Budova	Parametre_tepelne_cerpadlo
Poschodie	Parametre_poschodie
Miestnosť	Parametre_miestnost
Meracie miesto	Parametre_meracie_miesto
Meradlo	Parametre_meradlo
Palivovy clanok	Parametre_pal_clanok



## 2.4 Návrh DB štruktúr

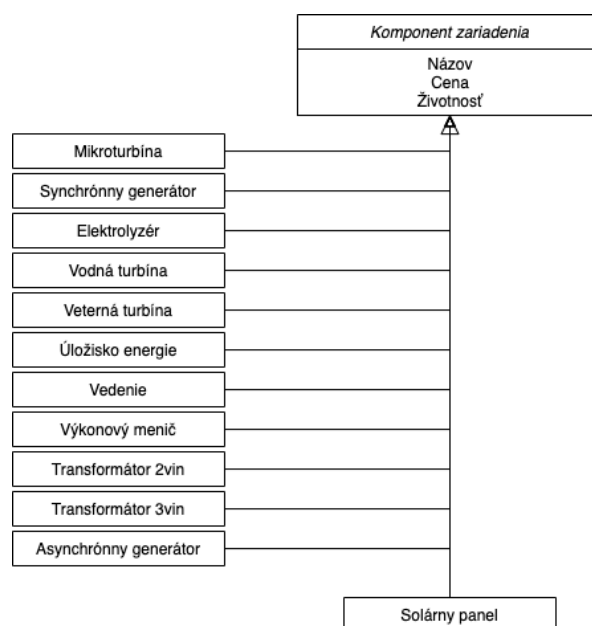
### 2.4.1 Návrh štruktúry DB a entít pre modelovanie sústavy



Obrázok 1 - Návrh štruktúry databázy a entít pre modelovanie sústavy

### 2.4.2 Diagramy navrhovaných vzťahov v rámci DB

Trieda „Komponent zariadenia“ obsahuje základné informácie o zariadení – jeho názov, jednotkovú cenu, predpokladanú životnosť a iné. Úplný zoznam parametrov uvedenej triedy je zobrazený v kapitole 2.6 - Spoločné parametre objektov. Parametre jednotlivých typov zariadení (mikroturbína, synchronný generátor, elektrolyzér, a ďalšie) sú taktiež zobrazené v príslušných podkapitolách kapitoly 2.7.



Obrázok 2 - Diagram navrhovaných vzťahov v rámci DB

Cieľom uvedenej štruktúry je vytvorenie prototypu, ktorý by bol schopný vytvárať viaceré varianty usporiadania resp. konfigurácie pre plánovaný mikrogrid, ktoré si bude vedieť koncový užívateľ navzájom porovnať a teda sa aj v konečnom dôsledku rozhodnúť pre jemu vyhovujúci variant.

Každý variant bude obsahovať odkazy na už vytvorené OOM, tieto odkazy nám zabezpečia odstránenie zbytočných duplicit pri kopírovaní celých OOM pre rôzne verzie.

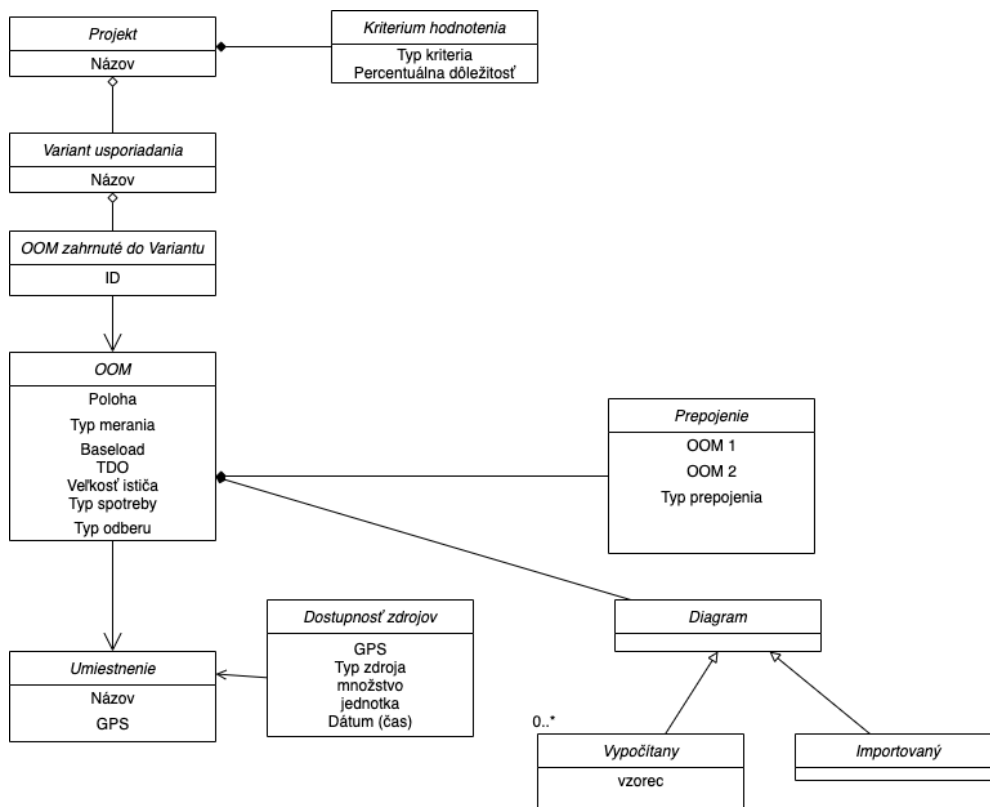
Samotné OOM je pre potreby prototypu definované nasledovným súborom parametrov:

- Poloha (GPS súradnice)
- Typ merania (číselník)
- Baseload
- TDO (číselník)
- Veľkosť ističa
- Typ spotreby (číselník)
- Typ odberu (číselník)

Odborné miesta je možné medzi sebou prepájať, na čo slúži trieda prepojenia. Prepojenie môže byť ako fyzické, tak aj virtuálne.

Ku každému OOM je taktiež možné importovať, resp. zostaviť diagram spotreby (výroby). Určenie diagramu spotreby v prípade, že nie je dostupné priebehové meranie, je možné vytvoriť na základe údajov TDO, ročnej spotreby, polohy OOM, počtu osôb v domácnosti a ich typickým režime a v neposlednom rade je uvažovaný aj vplyv dní (sviatok, pracovný deň, deň po a pred dňom pracovného pokoja či sviatku a pod.)

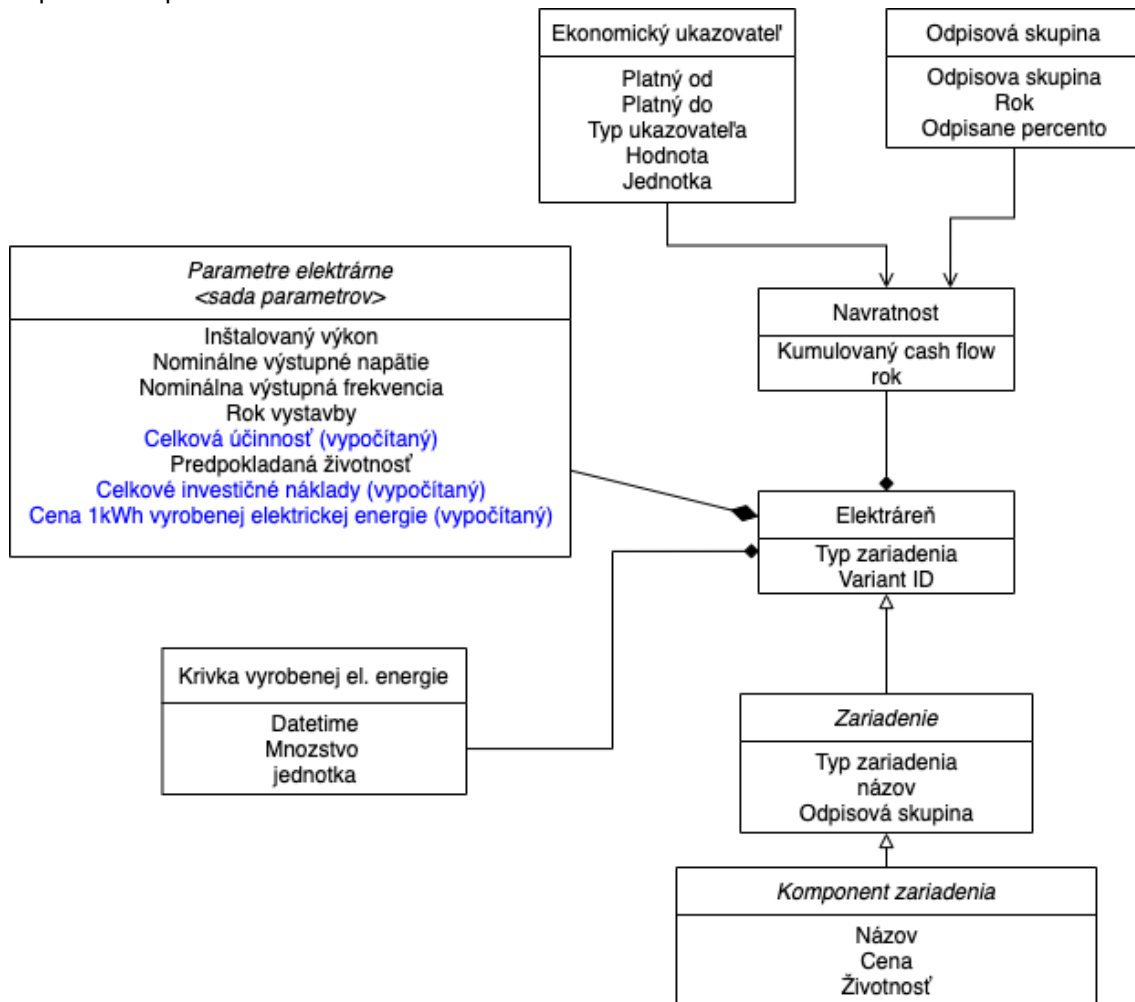
Vďaka tomu, že každé OOM má definovanú svoju presnú polohu (za pomoci GPS súradníc), je možné k tejto polohe napárovať dostupné zdroje. O danej dostupnosti hovorí trieda „Dostupnosť zdrojov“. Jedná sa o súbor parametrov naviazaných a geografickú polohu (napr. mapa intenzita slnečného žiarenia, mapa povodí s ich prietokmi a pod.). Táto trieda bude následne využívaná pri optimalizácii a taktiež samotnom návrhu mikrogridu, kedy systém na základe polohy OOM ponúkne užívateľovi dostupné typy zdrojov pre danú lokalitu.



Obrázok 3 - Diagram2 navrhovaných vzťahov v rámci DB

Pre výpočet ekonomickej návratnosti je potrebných viacero vstupov: Ekonomické ukazovatele ako cena elektriny, DPH, koeficienty rastu a pod. – jedná sa o triedu ekonomický ukazovateľ.

Nakoľko ceny komponentov a zariadení sú pomerne vysoké, nie je možné ich odpísať v priebehu jedného roku, ale je potrebné aplikovať odpisovanie a DPH po rokoch v závislosti od odpisových skupín – o výške odpisovanej sumy v závislosti od roku a odpisovej skupiny popisuje trieda, odpisová skupina.

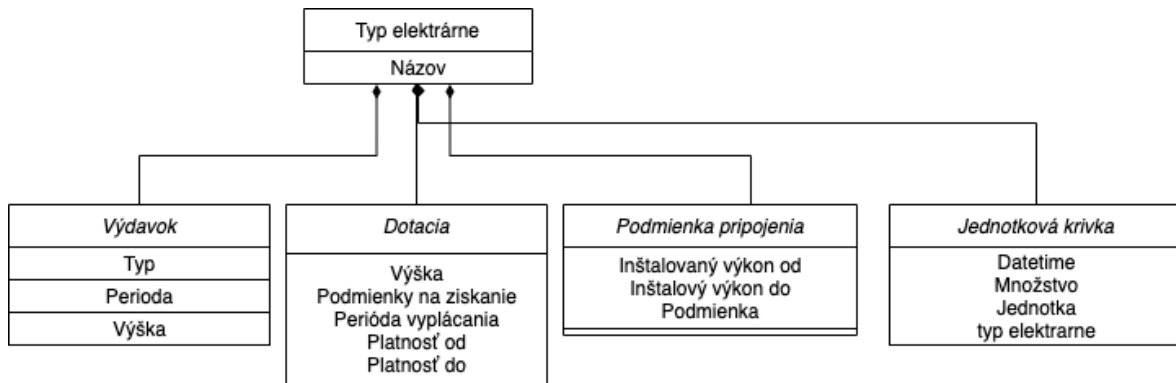


Obrázok 4 - Diagram3 navrhovaných vzťahov v rámci DB

Každý typ elektrárne (FVE, veterná, vodná,...) sa pri výstavbe a prevádzke riadi svojimi pravidlami. Tieto pravidlá sú zhrnuté v podmienkach pripojenia daného zdroja. Okrem toho, je v súčasnosti možné získať rôzne granty a dotácie či už pri výstavbe alebo samotnej prevádzke. Tieto dotácie výrazne ovplyvňujú samotnú ekonomiku výroby elektriny zo zdroja.

Počas životnosti každého zariadenia je potrebné uvažovať aj s istými typmi výdavkov, či už sú to výdavky na materiál potrebný pre výrobu el. energie ako v prípade bioplynových staníc a kogeneračných jednotiek, alebo prevádzkové či servisné výdavky. Tieto výdavky sú reprezentované triedou Výdavok.

Každý typ zdroja má taktiež svoju typovú krivku (trieda Jednotková krivka) – táto bude použitá pri optimalizácii a návrhu mikrogridu.



Obrázok 5 - Diagram4 navrhovaných vzťahov v rámci DB

## 2.5 Číselníky a premenné

V systéme sú potrebné aj tzv. číselníky a premenné, ktoré určujú vlastnosti existujúcich položiek a riadia aj príslušnosť objektu k typu zariadenia. Môžeme uviesť príklad fotovoltaických panelov, ktoré majú totožné parametre, ale odlišenie konkrétneho typu určuje práve číselník. V tejto etape výskumu, ponúkame iba všeobecný zoznam prvkov a ich číselníkov; ich konečný zoznam a použitie bude závisieť od špecifikácie vytvoreného prototypu Databázovej základne, ktorej tvorbu rieši míľnik č.3 aktivity 6 v rámci projektu Centrum excelentnosti II. Nižšie v tabuľke je návrh takéhoto zoznamu.

Tabuľka 3 - Číselníky

Prvok	Číselník
<b>OOM</b>	typ merania
	Baseload TDO
	Veľkosť ističa
	Typ spotreby
	Typ odberu
<b>Prepojenie</b>	Typ
<b>Typ hodnoty</b>	Nameraná
	Vypočítaná
<b>Typ elektrárne</b>	Solárna
	Veterná
	Malá vodná
	Kogeneračná
<b>Typ zariadenia</b>	Voda
	Vietor
	Slnko
	Iné
<b>Typ ekonomického ukazovateľa</b>	Trend rastu zaťaženia
	Trend rastu odoberanej ceny elektrickej energie
	Trend rastu ceny zazmluvnenej elektrickej energie
	Trend rastu prevádzkových nákladov
<b>Typ prepojenia</b>	Fyzické
	Virtuálne

Prvok	Číselník
Typ zdroja	Solárna
	Voda
	Vietor
	Bioplyn
Typ výdavku	Fixný
	Percentuálny
Typ odberu	Domácnosť
	Priemysel
	Uzlová oblasť
Typ merania	A
	B
	C
Typ profilu	P+
	P-
	Q+
	Q-
Odpisová skupina	1
	2
	3
	4
	5

<<enum>> Typ kritéria
Minimálna náklady Minimálna údržba Minimálny pretok do siete Maximálna dodávka do siete Potreba sebestačnosti

<<enum>> Typ hodnoty
Nameraná Vypočítaná

<<enum>> Typ elektrárne
Solárna Veterná Malá vodná Kogeneračná

<<enum>> Typ zariadenia
FV panel Generátor Transformátor Veterná turbína Menič Optimizér

<<enum>> Typ ekonomického ukazovateľa
Trend rastu zaťaženia Trend rastu odoberanej ceny el. energie Odbytová cena el. energie Trend rastu ceny zazmluvnenej el. energie Cena zazmluvnenej el. energie pre rok Trend rastu prevádzkových nákladov DPH Diskontná sadzba

<<enum>> Typ prepojenia
Fyzické Virtuálne

<<enum>> Typ zdroja
Voda Vietor Solar Bioplyn

<<enum>> Typ výdavku
Fixný Percentuálny

<<enum>> Typ odberu
Domácnosť Priemyselný Uzlová oblasť

<<enum>> Typ merania
A B C Názov

<<enum>> Typ profilu
P+ P- Q+ Q-

<<enum>> Odpisová skupina
1 2 3 4 5

Obrázok 6 - Diagram5 navrhovaných vzťahov v rámci DB

## 2.6 Spoločné parametre objektov

Typy zariadení, ktoré uvažujeme v dátovom modeli použiť, majú okrem svojich špecifických parametrov aj sadu spoločných, ktoré sú takzvané systémové parametre, a budú sa zobrazovať na zvlášť záložke formulára daného zariadenia bez ohľadu na typ zariadenia. V prípade, že pre niektoré zo zariadení nebude mať význam daný parameter vyplniť, položka ostane prázdna.

Tabuľka 4 - Spoločné parametre objektov

Parameter	Popis	Typ	Formát
Cesta	Dynamický popis umiestnenia v strome	string	s4000
Názov	Názov objektu	string	s255
Kód	Kód objektu	number	999999999
Typ objektu	Základný typ objektu. Číselník podľa, ktorého sa budú zobrazovať formuláre	číselník	
Označenie	Skratka uzla/vedenia podľa PI	string	s20
Vlastník		číselník	
Výrobca		číselník	
Zariadenie zapnuté	Stav zariadenia: áno, nie	číselník	
Rok výstavby od		dátum	
Rok výstavby do		dátum	
Rok výroby		dátum	
Rok uvedenia do prevádzky		dátum	
Plánovaná životnosť zariadenia	[rok]	number	99
Dátum aktualizácie údajov		dátum	

## 2.7 Parametre zariadení

### 2.7.1 Asynchrónny generátor

Tabuľka 5 - Parametre pre asynchrónny generátor

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
činný odpor rotorového vinutia	R2	[Ω]	number	999999
činný odpor statorového vinutia	R1	[Ω]	number	999999
magnetizačná reaktancia	Xm	[Ω]	number	999999
mechanický moment	Mm	[Nm]	number	999999
moment zvratu	Mzv	[Nm]	number	999999
nominálne fázové napätie	Un	[V]	number	999999
nominálny výkon	Sn	[VA]	number	999999

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
odpor, na ktorom vznikajú mechanické i činné straty v magnetickom obvode	Rfe	[ $\Omega$ ]	number	999999
počet fáz	M	[ - ]	number	999999
počet pólových dvojíc	P	[ - ]	number	999999
rozptylová reaktancia	Xr	[ $\Omega$ ]	number	999999
sklz zvratu	szv	[ - ]	number	999999

## 2.7.2 Elektrolyzér

Tabuľka 6 - Parametre pre elektrolyzér

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
Faradayova konštanta	F	[C/mol]	number	999999
Gibbsova voľná energia	$\Delta G$	[J/mol]	number	999999
Koeficient pre prepätie na elektródach	S	[V]	number	999999
Koeficient pre prepätie na elektródach	T	[V]	number	999999
Napätie článku	U	[V]	number	999999
Objemový prietok	Q	[Nm <sup>3</sup> /h]	number	999999
Plocha elektród	A	[m <sup>2</sup> ]	number	999999
Počet článkov	N	[-]	number	999999
Počet elektrónov	Z	[-]	number	999999
Ohmický odpor	R	[ $\Omega$ ]	number	999999
Rýchlosť výroby vodíka		[Nm <sup>3</sup> /h]	number	999999
Teplota	T	[°C]	number	999

## 2.7.3 Fotovoltická elektrárň

Tabuľka 7 - Parametre pre fotovoltickú elektrárň

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
Body napätia pre logiku riadenia činného výkonu lvpnt0	lvpnt0	[V]	number	999999
Body napätia pre logiku riadenia činného výkonu lvpnt1	lvpnt1	[V]	number	999999
Časová konštanta oneskorenia striedača	HG	[s]	number	999999
Časová konštanta snímača frekvencie	tf	[s]	number	999999
Dolné obmedzenie necitlivosti napäťovej charakteristiky	v0	[V]	number	999999
Dolné obmedzenie želanej hodnoty jalového výkonu	qmin	[Var]	number	999999

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
Horné obmedzenie necitlivosti napäťovej charakteristiky	v1	[V]	number	999999
Horné obmedzenie želanej hodnoty jalového výkonu	Qmax	[Var]	number	999999
Horné vymedzenie napätia pre regulátor jalového výkonu	VTmax	[V]	number	999999
Kompenzačná reaktancia	Xc	[-]	number	999999
Krivka pre odpínanie podľa napätia bod 0	vt0	[V]	number	999999
Krivka pre odpínanie podľa napätia bod 1	vt1	[V]	number	999999
Krivka pre odpínanie podľa napätia bod 2	vt2	[V]	number	999999
Krivka pre odpínanie podľa napätia bod 3	vt3	[V]	number	999999
Maximálna denná výroba	Fdmax	[Wh]	number	999999
Maximálna medziminútová diferencia výkonu	Pdiffmax1	[W]	number	999999
Maximálna medzištvrt' hodinová diferencia výkonu	Pdiffmax15	[W]	number	999999
Maximálna mesačná výroba	Fmmax	[Wh]	number	999999
Maximálna týždenná výroba	Ftmax	[Wh]	number	999999
Maximálny minútový výkon	Pmax1	[W]	number	999999
Maximálny štvrt' hodinový výkon	Pmax15	[W]	number	999999
Minimálna denná výroba	Edmin	[Wh]	number	999999
Minimálna mesačná výroba	Emmin	[Wh]	number	999999
Minimálna týždenná výroba	Etmin	[Wh]	number	999999
Napäťová charakteristika	Dqdv	[-]	number	999999
Napäťová úroveň	U	[V]	number	999999
Nastavenie ochrany od frekvencie	Frflag	[Hz]	number	999999
Nastavenie ochrany od napätia	Vrflag	[V]	number	999999
Necitlivosť regulátora pre nadfrekvenciu	Fbdb	[Hz]	number	999999
Obmedzenie pre logiku riadenia jalového výkonu	q_min	[Var]	number	999999
Obmedzenie prúdu	Lmax	[A]	number	999999
Počet panelov	Np	[A]	number	999
Priorita pre jalový výkon 0 alebo činný výkon	Pqflag	[-]	number	999999
Ročná výroba	Er	[Wh]	number	999999
Výkon	P	[Wp]	number	999999
Zosilnenie regulátora výkonu, väzba od frekvencie	Ddn	[-]	number	999999



## 2.7.4 Generátor synchronný

Tabuľka 8 - Parametre pre synchronný generátor

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
Budiaci prúd nakrátko generátora	Ik0	[A]	number	999999
Budiaci prúd naprázdno generátora	Ib0	[A]	number	999999
Budiaci prúd pri menovitom zaťažení generátora	IbN	[A]	number	999999
Čas	t	[s]	number	999
Časová konštanta jednosmernej zložky skratového prúdu statora	Ta	[s]	number	999
Frekvencia výstupného napätia generátora	f1	[Hz]	number	999999
Maximálne dovolené statorové napätie generátora	UMAXSTAT	[V]	number	999999
Nominálna impedancia	Zn	[ $\Omega$ ]	number	999999
Nominálny činný výkon generátora	PN	[W]	number	999999
Nominálny moment	MN	[N.m]	number	999999
Nominálny prúd generátora	IaN	[W]	number	999999
Nominálny zdanlivý výkon generátora	SN	[VA]	number	999999
Minimálne dovolené statorové napätie generátora	UMINSTAT	[V]	number	999999
Netočivá reaktancia	X0	[%]	number	999
Nominálne napätie generátora	UN	[V]	number	999999
Nominálny účinník generátora	cos $\phi$ N	[-]	number	999999
Otáčky točivého poľa	n1	[s-1]	number	999999
Počet pólových dvojc	p	[-]	number	999999
Pomerný strop budiaceho napätia	$\rho$	[-]	number	999999
Pozdĺžna prechodová reaktancia generátora	X'd	[ $\Omega$ ]	number	999999
Pozdĺžna rázová reaktancia generátora	X''d	[ $\Omega$ ]	number	999999
Pozdĺžna reaktancia kotvy	Xad	[ $\Omega$ ]	number	999999
Pozdĺžna synchronna reaktancia generátora	Xd	[ $\Omega$ ]	number	999999
Prechodná časová konštanta pre pozdĺžnu os	T'd	[s]	number	999
Prechodná časová konštanta pre priečnu os	T'q	[s]	number	999
Prechodná reaktancia v pozdĺžnej osi v nasýtenom stave	X'dn	[%]	number	999
Prechodná reaktancia v pozdĺžnej osi v nenasýtenom stave	X'ds	[%]	number	999
Prechodná reaktancia v priečnej osi v nasýtenom stave	X'qn	[%]	number	999

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
Prechodná reaktancia v priechnej osi v nenasýtenom stave	$X'_{qs}$	[%]	number	999
Priečna rázová reaktancia generátora	$X''_q$	[ $\Omega$ ]	number	999999
Priečna synchronná reaktancia generátora	$X_q$	[ $\Omega$ ]	number	999999
Rázová časová konštanta pre pozdĺžnu os	$T''_d$	[s]	number	999
Rázová časová konštanta pre priečnu os	$T''_q$	[s]	number	999
Rázová reaktancia v pozdĺžnej osi v nasýtenom stave	$X''_{ds}$	[%]	number	999
Rázová reaktancia v pozdĺžnej osi v nenasýtenom stave	$X''_{dn}$	[%]	number	999
Rázová reaktancia v priechnej osi v nasýtenom stave	$X''_{qs}$	[%]	number	999
Rázová reaktancia v priechnej osi v nenasýtenom stave	$X''_{qn}$	[%]	number	999
Rezistencia jednej fázy statorového vinutia	RST	[ $\Omega$ ]	number	999999
Rozptylová reaktancia budiaceho vinutia prepočítaná na stator	$X_{b\sigma}$	[ $\Omega$ ]	number	999999
Rozptylová reaktancia tlmiaceho vinutia v pozdĺžnej osi prepočítaná na stator	$X_{t\sigma d}$	[ $\Omega$ ]	number	999999
Rozptylová reaktancia vinutí statora	$X_{1\sigma}$	[ $\Omega$ ]	number	999999
Spätaná reaktancia v nenasýtenom stave	$X_{2N}$	[%]	number	999
Synchronná reaktancia v pozdĺžnej osi v nasýtenom stave	$X_{ds}$	[%]	number	999
Synchronná reaktancia v pozdĺžnej osi v nenasýtenom	$X_{dn}$	[%]	number	999
Synchronná reaktancia v priechnej osi v nasýtenom stave	$X_{qs}$	[%]	number	999
Synchronná reaktancia v priechnej osi v nenasýtenom stave	$X_{qn}$	[%]	number	999
Tlmenie	D	[N.m.s]	number	999999
Uhlová frekvencia	$\Omega$	[rad/s]	number	999
Uhol určujúci dobu vzniku skratu	A	[ $^\circ$ ]	number	999
Výstupné napätie generátora	$U_i$	[V]	number	999999
Záberový moment	MZAB	[N.m]	number	999999

### 2.7.5 Parná turbína

Tabuľka 9 - Parametre pre parnú turbínu

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
Mechanický výkon turbíny pre generátor 1	Mvt1	[W]	number	999
Mechanický výkon turbíny pre generátor 2	Mvt2	[W]	number	999
Riadiace ventily	RV		string	s20

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
Záchytné ventily	ZV		string	s20
Tlak pary z kotla	TPK	[Pa]	number	999
Časová konštanta reprezentujúca časti turbíny T4	T4	[S]	number	999
Časová konštanta reprezentujúca časti turbíny T5	T5	[S]	number	999
Časová konštanta reprezentujúca časti turbíny T6	T6	[S]	number	999
Časová konštanta reprezentujúca časti turbíny T7	T7	[S]	number	999
Zosilnenie uvádzajúce podiel na výkone príslušnej časti turbíny pre generátor 1 k1	1 k1	[-]	number	999
Zosilnenie uvádzajúce podiel na výkone príslušnej časti turbíny pre generátor 1 k3	1 k3	[-]	number	999
Zosilnenie uvádzajúce podiel na výkone príslušnej časti turbíny pre generátor 1 k5	1 k5	[-]	number	999
Zosilnenie uvádzajúce podiel na výkone príslušnej časti turbíny pre generátor 1 k7	1 k7	[-]	number	999
Zosilnenie uvádzajúce podiel na výkone príslušnej časti turbíny pre generátor 2 k2	2 k2	[-]	number	999
Zosilnenie uvádzajúce podiel na výkone príslušnej časti turbíny pre generátor 2 k4	2 k4	[-]	number	999
Zosilnenie uvádzajúce podiel na výkone príslušnej časti turbíny pre generátor 2 k6	2 k6	[-]	number	999
Zosilnenie uvádzajúce podiel na výkone príslušnej časti turbíny pre generátor 2 k8	2 k8	[-]	number	999
Prietok pary z kotla, prehrievača ms	PPK ms	[l/s]	number	999
Prietok pary z kotla, prehrievača mr	PPK mr	[l/s]	number	999
Prepojenie vysokotlakej časti s generátorom 1,2	VC		string	s20
Prepojenie nízkotlakej časti s generátorom 1,2	NC		string	s20

### 2.7.6 Paroplynová turbína

Tabuľka 10 - Parametre pre paroplynovú turbínu

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
Veľkosť paliva pri nulovom výkone turbíny	OVT		number	999
Referenčná hodnota výkonu	Rhv	[W]	number	999
Referenčná hodnota teploty spalín	Rhts	[°C]	number	999
Referenčná hodnota teploty spalín pre IGV	Rhts IGV	[°C]	number	999
Parameter pre regulátor IGV	P IGV		string	s20
Parameter pre regulátor teploty spalín	P rts		string	s20
Parameter pre regulátor výkonu	P rv		string	s20
Statická prevodová charakteristika ventilu paliva	Spvp		string	s20

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
Časová konštanta palivového systému turbíny a kompresora $T_{vp}$	$T_{vp}$	[s]	number	999
Časová konštanta palivového systému turbíny a kompresora $T_f$	$T_f$	[s]	number	999
Časová konštanta palivového systému turbíny a kompresora $T_{cd}$	$T_{cd}$	[s]	number	999
Parametre termočlánku a snímača teploty $K_{rs}$	$K_{rs}$		string	s20
Parametre termočlánku a snímača teploty $T_{rs}$	$T_{rs}$		string	s20
Časová konštanta IGV systému	IGV T	[s]	number	999
Časová konštanta kotla	KK T	[s]	number	999
Časová konštanta mechanického výkonu	KMV T	[s]	number	999

### 2.7.7 Spaľovacia turbína

Tabuľka 11 - Parametre pre spaľovaciu turbínu

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
Absolútny člen palivovej (regresnej) krivky	$f_0$	[m <sup>3</sup> kWh <sup>-1</sup> ]	number	999999
Aktuálny výkon mikroturbíny	$P_{mtakt}$	[kW]	number	999999
Celková účinnosť	$\eta_C$	[%]	number	999
Celková vnútorná tepelná účinnosť	$H_{ti}$	[-]	number	999999
Časová konštanta kompresora	$T_c$	[s]	number	999
Časová konštanta spaľovacej komory	$T_{cc}$	[s]	number	999
Časová konštanta turbíny	$T_t$	[s]	number	999
Elektrická účinnosť	$\eta_E$	[%]	number	999
Entalpia vodnej pary	$i_P$	[kJ/kg]	number	999999
Entalpia vzduchu	$i_V$	[kJ/kg]	number	999999
Hmotnostný prietok paliva	$m_P$	[kg/s]	number	999999
Hmotnostný prietok turbínou	$M_t$	[kg/s]	number	999999
Hmotnostný prietok výfukových plynov zo spaľovacej komory	$m_{CC}$	[kg/s]	number	999999
Hmotnostný prietok vzduchu	$M$	[kg/s]	number	999999
Hmotnostný tok spalín vzduchu	$M_{sp}$	[kg/s]	number	999999
Horná výhrevnosť paliva	$Q_h$	[J/kg]	number	999999
Izoentropická teplota na výstupe z turbíny	$T_{68}$	[°C]	number	999
Izoentropická teplota vo výtlaku kompresora	$T_{28}$	[°C]	number	999
Izoentropická účinnosť kompresora	$\eta_K$	[%]	number	999999

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
Izoentropická účinnosť turbíny	Ht	[%]	number	999999
Koeficient pre prepočet entalpie	K	[-]	number	999999
Kombinovaný zotrvačný moment rotora a záťaže	J	[kg/m <sup>2</sup> ]	number	999999
Mechanický výkon turbíny	PGT	[W]	number	999999
Menovitý výkon mikroturbíny	Pmtmen	[kW]	number	999999
Merná tepelná kapacita vzduchu	CP	[J/kg.°C]	number	999
Odvedené teplo	QO	[J]	number	999999
Pomerné množstvo paliva	Q	[-]	number	999999
Priemerná merná tepelná kapacita vstupného vzduchu	CPAIR	[J/kg.°C]	number	999
Priemerná merná tepelná kapacita výfukového plynu	CPEXH	[J/kg.°C]	number	999
Privedené teplo	QP	[J]	number	999999
Prúd vzduchu	mA	[m <sup>3</sup> /s]	number	999
Rampovanie - nárast výkonu turbíny	Ur	[kw/h]	number	999999
Rampovanie - pokles výkonu turbíny	Dr	[kw/h]	number	999999
Smernica palivovej (regresnej) krivky	f1	[m <sup>3</sup> kWh-1]	number	999999
Spodná výhrevnosť paliva	Qsp	[J/kg]	number	999999
Spotreba plynu v časovom intervale	fmt	[m <sup>3</sup> ]	number	999999
Tepelný výkon generovaný turbínou	Ptht	[W]	number	999999
Tepelný výkon spotrebovaný kompresorom	Pthc	[W]	number	999999
Teplota vzduchu vstupujúceho do kompresora	T1	[°C]	number	999
Teplota vzduchu vstupujúceho do spaľovacej komory	T3	[°C]	number	999
Teplota vzduchu vystupujúceho z kompresora	T2	[°C]	number	999
Tlak na výstupe z turbíny	p5	[Pa]	number	999999
Tlak na výstupe zo spaľovacej komory	p4	[Pa]	number	999999
Tlak vzduchu na vstupe do kompresora	p1	[Pa]	number	999999
Tlak vzduchu na vstupe do spaľovacej komory	p3	[Pa]	number	999999
Tlak vzduchu na výstupe z kompresora	p2	[Pa]	number	999999
Výkon spotrebovaný kompresorom	PK	[W]	number	999999
Výsledný hmotnostný prietok vzduchu	mC	[kg/s]	number	999999
Výstupná teplota spalín zo spaľovacej komory	T4	[°C]	number	999
Výstupní teplota spalín z turbíny	T5	[°C]	number	999

### 2.7.8 TR trojfázový (3 vin.)

Tabuľka 12 - Parametre pre trojfázový transformátor (3 vin.)

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
Menovité napätie primárneho vinutia	U1	[V]	number	999
Menovité napätie sekundárneho vinutia	U2	[V]	number	999
Menovité napätie terciárneho vinutia	U3	[V]	number	999
Menovitý výkon primárneho vinutia transformátora	S1	[VA]	number	999
Menovitý výkon sekundárneho vinutia transformátora	S2	[VA]	number	999
Menovitý výkon terciárneho vinutia transformátora	S3	[VA]	number	999
Menovitý prúd primárneho vinutia	I1	[A]	number	999
Menovitý prúd sekundárneho vinutia	I2	[A]	number	999
Menovitý prúd terciárneho vinutia	I3	[A]	number	999
Straty naprázdno	P0	[W]	number	999
Prúd naprázdno	I0	[A]	number	999
Napätie nakrátko pri meraní medzi prim. a sek. vinutím	Uk12	[V]	number	999999
Napätie nakrátko pri meraní medzi prim. a terc. vinutím	Uk13	[V]	number	999999
Napätie nakrátko pri meraní medzi sek. a terc. vinutím	Uk23	[V]	number	999999
Straty nakrátko medzi primárnym a sekundárnym vinutím	Pk12	[W]	number	999999
Straty nakrátko medzi primárnym a terciárnym vinutím	Pk13	[W]	number	999999
Straty nakrátko medzi sekundárnym a terciárnym vinutím	Pk23	[W]	number	999999
Zapojenie vinutí autotransformátora	ATR		string	s20
Typ regulácie na transformátore	TR		string	s20
Reg. +	R+	[-]	number	999999
Odb. +	O+	[-]	number	999999
Reg. -	R-	[-]	number	999999
Odb. -	O-	[-]	number	999999
Hmotnosť	M	[Kg]	number	999999
Väzobný odpor primárneho a sekundárneho vinutia	R12	[Ω]	number	999999
Väzobný odpor primárneho a terciárneho vinutia	R13	[Ω]	number	999999
Väzobný odpor sekundárneho a terciárneho vinutia	R23	[Ω]	number	999999

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
Väzobná reaktancia primárneho a sekundárneho vinutia	X12	[ $\Omega$ ]	number	999999
Väzobná reaktancia primárneho a terciárneho vinutia	X13	[ $\Omega$ ]	number	999999
Väzobná reaktancia sekundárneho a terciárneho vinutia	X23	[ $\Omega$ ]	number	999999
Zvod	G	[S]	number	999999
Susceptancia	B	[S]	number	999999
Možnosť regulácie pod zaťažéním			string	s20
Izolačné médium			string	s20
Olejová náplň			string	s20
Hmotnosť oleja	mo	[kg]	number	999999

### 2.7.9 Úložisko energie

Tabuľka 13 - Parametre pre uložisko energie

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
Energia uložená v akumulátore na konci časového intervalu	EBESS	[Wh]	number	999999
Energia uložená v akumulátore na začiatku časového intervalu	E'BESS	[Wh]	number	999999
Kapacita akumulátora	Cmax	[Ah]	number	999999
Menovitá kapacita akumulátora	EBESSmen	[Wh]	number	999999
Menovitý výkon akumulátora	PBESS	[W]	number	999999
Nabíjací prúd akumulátora	Ibatnab	[A]	number	999999
Napätie akumulátora	Ubat	[V]	number	999999
Ohmický odpor	Rohm	[ $\Omega$ ]	number	999999
Status nabitia	SOC	[%]	Number	999
Účinnosť akumulátora pri nabíjaní	$\eta_{nab}$	[%]	Number	999
Účinnosť akumulátora pri vybíjaní	$\eta_{vyb}$	[%]	Number	999
Vybíjací prúd akumulátora	Ibatvyb	[A]	Number	999999
Výkon akumulátora pri nabíjaní	PBESSnab	[kW]	Number	999999
Výkon akumulátora pri vybíjaní	PBESSvyb	[Wh]	Number	999999

## 2.7.10 Vedenie

Tabuľka 14 - Parametre pre vedenie

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
Prevádzkové napätie	Un	[V]	Number	999
Odpor vedenia na km dĺžky	R1	[ $\Omega$ /km]	Number	999
Reaktancia vedenia na km dĺžky	X1	[ $\Omega$ /km]	Number	999
Susceptancia vedenia na km dĺžky	B1	[ $\Omega$ /km]	Number	999
R0	R0	[ $\Omega$ ]	Number	999999
X0	X0	[ $\Omega$ ]	Number	999999
B0	B0	[ $\Omega$ ]	Number	999999
Dovolené prúdové zaťaženie vedenia (leto)	Imaxleto	[A]	Number	999
Dovolené prúdové zaťaženie vedenia (zima)	Imaxzima	[A]	Number	999
Prúdový limit vývodového poľa na začiatku vedenia	X	[A]	Number	999999
Prúdový limit vývodového poľa na konci vedenia	X	[A]	Number	999999
Nabíjací kapacitný výkon vedenia	X	[Var]	Number	999999
Menovitý výkon vedenia	S0	[VA]	Number	999999
Menovitý výkon vedenia (leto)	S0leto	[VA]	Number	999999
Dĺžka celkom	L	[km]	Number	999999

## 2.7.11 Veterná turbína

Tabuľka 15 - Parametre pre veternú turbínu

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
Aerodynamický moment	Twt	[Nm]	number	999999
Hustota vzduchu	P	[kg/m <sup>3</sup> ]	number	999999
Koeficient momentu rotora turbíny	Cq	[-]	number	999999
Maximálna rýchlosť vetra	Vmax	[m/s]	number	999999
Menovitá rýchlosť vetra	Vn	[m/s]	number	999999
Menovitý činný výkon	Pm	[W]	number	999999
Moment zotrvačnosti turbíny	Jm	[kg.m <sup>2</sup> ]	number	999999
Plocha cez ktorú prúdi vietor	S	[m <sup>2</sup> ]	number	999999
Priemerná rýchlosť vetra	V	[m/s]	number	999999
Rýchlobežnosť	$\lambda$	[-]	number	999999



Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
Spúšťacia rýchlosť vetra	Vi	[m/s]	number	999999
Tlmiaci koeficient	Bm	[-]	number	999999
Točivý moment turbíny	TT	[N.m]	number	999999
Uhlová rýchlosť generátora	$\omega_{gen}$	[rad/s]	number	999999
Uhlová rýchlosť otáčania turbíny	$\omega$	[rad/s]	number	999999
Výkonový koeficient	Cp	[-]	number	999999
Vypínacia rýchlosť vetra	Vvyp	[m/s]	number	999999

### 2.7.12 Vodná turbína

Tabuľka 16 - Parametre pre vodnú turbínu

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
Celková účinnosť turbíny	$\eta$	[%]	number	999
Časová konštanta servosystému vodnej turbíny	Ksvt	[s]	number	999
Časová konštanta vody	KH2O	[s]	number	999
Hydraulická účinnosť turbíny	Hh	[%]	number	999
Charakteristická rýchlosť otáčania turbíny	Nc	[ot/min]	number	999
Kavitačný koeficient	$\sigma_T$	[-]	number	999
Mechanická účinnosť turbíny	Hm	[%]	number	999
Mechanický výkon turbíny	PT	[W]	number	999
Objemová účinnosť turbíny	$\eta_Q$	[%]	number	999
Priemer turbíny	D	[m]	number	999
Prietok turbíny	Q	[m <sup>3</sup> /s]	number	999
Spád turbíny	HT	[m]	number	999
Špecifická energia	YT	[J/kg]	number	999
Špecifická hmotnosť	GSP	[N/kW]	number	999
Špecifická rýchlosť otáčania turbíny	Ns	[ot/min]	number	999
Točivý moment turbíny	TT	[N.m]	number	999
Uhlová rýchlosť otáčania turbíny	$\Omega$	[rad/s]	number	999

## 2.7.13 Fotovoltický panel

Tabuľka 17 - Parametre pre fotovoltický panel

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
Dopadajúce slnečné žiarenie	kDOP	[W/m <sup>2</sup> ]	number	999
Hmotnosť panelu	M	[kg]	number	999
Menovité napätie	Vmp	[V]	number	999
Menovitý výkon	Pm	[Wp]	number	999
Napätie naprázdno	Voc	[V]	number	999
Nominálna prevádzková teplota	TNOM	[°C]	number	999
Plocha panelu	A	[m <sup>2</sup> ]	number	999
Prúd pri menovitom výkone	I <sub>mp</sub>	[A]	number	999
Referenčné slnečné žiarenie	kREF	[W/m <sup>2</sup> ]	number	999
Skratový prúd	I <sub>sc</sub>	[A]	number	999
Tepelná kapacita panelu	CPANEL	[J/K]	number	999
Teplota panelu	T <sub>panel</sub>	[°C]	number	999
Teplota prostredia	T <sub>pros</sub>	[°C]	number	999
Teplotný koeficient napätie naprázdno	T <sub>oc</sub>	[%/°C]	number	999
Teplotný koeficient pri menovitom výkone	T <sub>m</sub>	[%/°C]	number	999
Teplotný koeficient skratového prúdu	T <sub>sc</sub>	[%/°C]	number	999
Účinnosť fotovoltického panelu	H	[%]	number	999

## 2.7.14 Tepelné čerpadlo

Tabuľka 18 - Parametre pre tepelné čerpadlo

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
Maximálny vykurovací výkon	P <sub>MAXVYK</sub>	[W]	number	999
Menovitý elektrický príkon	P <sub>MEN</sub>	[W]	number	999
Menovitý chladiaci výkon	P <sub>MENCHLAD</sub>	[W]	number	999
Menovitý vykurovací výkon	P <sub>MENVYK</sub>	[W]	number	999
Minimálny vykurovací výkon	P <sub>MINVYK</sub>	[W]	number	999
Rozsah prevádzkovej teploty pri chladení	T <sub>CHLAD</sub>	[°C]	number	999
Rozsah prevádzkovej teploty pri vykurovaní	T <sub>VYK</sub>	[°C]	number	999
Výkonové číslo	COP	[-]	number	999

## 2.7.15 Parametre palivových článkov

Tabuľka 19 - Parametre pre palivové články

Popis	Označenie	Jednotka	Typ	Formát
Zmena reakčnej entalpie	$\Delta H$	[kJ.kmol <sup>-1</sup> ]	number	999
Zmena Gibbsovej entalpie	$\Delta G$	[kJ.kmol <sup>-1</sup> ]	number	999
Merná molárna práca	W	[kJ.kmol <sup>-1</sup> ]	number	999
Merné molárne teplo	Q	[kJ.kmol <sup>-1</sup> ]	number	999
Merná molárna tepelná kapacita	$C_p$	[kJ.kmol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	number	999
Univerzálna plynová konštanta	R=8,3144126	kJ.kmol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	number	999
Faradayova konštanta	F=96487	[C.mol <sup>-1</sup> ]	number	999
Stupeň využitia paliva	$U_f$	[-]	number	999
Maximálna teoret. účinnosť	$\eta_{max}$	[-]	number	999
Napät'ová účinnosť	$\eta_v$	[-]	number	999
Celková účinnosť palivového článku	$\eta_{FC}$	[-]	number	999
Molárny pomer množstva okysličovadla a paliva	$X_{OF}$	[-]	number	999
Reverzibilný potenciál	$\Delta E_{rev}$	[V]	number	999
Skutočné napätie palivového článku	$\Delta V$	[V]	number	999
Termodynamická teplota	T	[K]	number	999
Teplota	T	[°C]	number	999
Absolútny tlak	P	[Pa]	number	999
Merná molárna entalpia	H	[kJ.kmol <sup>-1</sup> ]	number	999
Plošná prúdová hustota	I	[A.m <sup>-2</sup> ]	number	999
Molárna hmotnosť	M	[kg.kmol <sup>-1</sup> ]	number	999
Počet elektrónov účastniacich sa reakcie na 1 molekulu	N	[-]	number	999
Elektrický prúd	I	[A]	number	999
Hmotnostný tok	$\Phi$	[kg.s <sup>-1</sup> ]	number	999

## 3 DÁTOVÁ ENTITA - ZDROJOVÁ ZÁKLADŇA

Energetické zdroje poskytujú také formy energie, ktoré sú, alebo môžu byť využiteľné pre potreby ľudstva. Zdroje energie sa podľa využitia v energetike môžu rozdeliť na základné a doplnkové zdroje. Základný zdroj energie je využívaný hlavne pre veľkú energetiku a používa fosílna palivá, jadrové palivo alebo vodu. Doplnkový zdroj energie má lokálny význam. V našich podmienkach je to zdroj, ktorý využíva vodnú, veternú a geotermálnu energiu a odpadné produkty, ktoré sú nositeľom využiteľnej energie prostredníctvom spaľovania alebo inými procesmi. Elektrická energia sa získava premenou (niekedy aj viacnásobnou) zo základných a doplnkových zdrojov energie.

Zdrojmi elektrickej energie obvykle nazývame také zariadenia alebo technologické celky, ktoré sú schopné poskytnúť na svojom výstupe spoľahlivo presne definovanú kvalitu elektrickej energie. Problematika zdrojov elektrickej energie je podrobnejšie spracovaná v míľnikoch č.1 a č.2 aktivity č.5.

V rámci tejto kapitoly je problematika riešená z pohľadu návrhu dátových štruktúr databázy, ktorá bude poskytovať údajovú základňu potrebnú pre generovanie digitálneho modelu elektrickej siete. Databáza modelu siete bude spravovať jednotlivé prvky siete a ich parametre, topológiu siete v podobe prepojení príslušných prvkov a súvisiacu technickú dokumentáciu.

Modely predstavujú abstraktný matematický popis vo forme algebrických a diferenciálnych rovníc. Pri zostavovaní modelov sa uvažuje s množinou zjednodušení a predpokladov. Od týchto modelov sa odvíja výber základných veličín, ktoré tvoria množinu parametrov pre daný simulačný model.

Slnéčné elektrárne, veterné elektrárne, malé vodné elektrárne (MVE), bioplynové elektrárne, palivové články a akumulátor energie sú zaradené medzi základné entity v evidencii prvkov siete navrhovanej databázy. Týmto typom elektrárni z pohľadu vyššie uvedeného prístupu je venovaná nasledujúca kapitola.

### 3.1 Solárne elektrárne

#### 3.1.1 Analýza problematiky

Slnéčná elektráreň mení energiu slnečného žiarenia na elektrickú energiu. Premenu je možné uskutočniť dvojakým spôsobom:

- Fotovoltickou premenou, kde fotovoltický (FV) článok alebo solárny článok (veľkoplošná polovodičová súčiastka) priamo premieňa slnečnú energiu na energiu elektrickú pomocou fotoelektrického javu. Účinnosť premeny je teoreticky asi 30 % (bežne dostupné fotoelektrické články by však mali mať účinnosť okolo 20 %). Pre získanie väčšieho výkonu je nutné sériovo paralelne prepojiť viac článkov do tzv. solárneho panelu (vyrábajú sa v niekoľkých výkonových radoch). Fotovoltické články sú zdrojom jednosmerného elektrického prúdu s napätím obvykle 16 V. Ďalšou súčasťou systému slnečnej elektrárne je striedač, ktorý premieňa jednosmerný prúd na striedavý, a transformátor, ktorý zvyšuje striedavé napätie na úroveň vyžadovanú spotrebičmi (napr. 230 V). Celková účinnosť slnečnej elektrárne tohto typu je v súčasnej dobe asi 9 %. U nás sa budujú slnečné elektrárne strechové s výkonom 3 kW a možnosťou pripojenia k sieti, alebo slnečné elektrárne s výkonom 100 – 4000 kW, ktoré dodávajú elektrickú energiu do siete.
- Solárnou tepelnou premenou, keď sa slnečné žiarenie sústreďuje na absorbér, ktorým preteká teplotná kvapalina, ktorá sa zohrieva na vysokú teplotu. Vytvára sa prehriata para, ktorá je využitá rovnakým spôsobom ako v tepelnej elektrárni. Žiarenie sa sústreďuje buď rovinnými, alebo parabolickými zrkadlami. Takéto zariadenia sa stavajú obvykle na púšťach, kde je miesto pre inštaláciu mnoho tisíc zrkadiel a dostatočný počet slnečných dní v roku.

Výroba elektrickej energie vo fotovoltaickej elektrárni patrí k jedným z najrozšírenejších z pohľadu využitia zdrojov obnoviteľnej energie. Tento zdroj obnoviteľnej energie v súčasnosti, aj vďaka dotáciám a klesajúcim cenám jednotlivých komponentov, zaznamenáva veľký vzostup.

Fotovoltaika :

- Patrí medzi obnoviteľné zdroje energie a funguje iba vďaka žiareniu zo Slnka, ktoré nám bude k dispozícii najbližších 5-8 miliárd rokov.
- Znižuje závislosť od elektriny produkovanej z jadrových elektrární, či nutnosť výstavby ďalších uhoľných elektrární, ktoré negatívne zasahujú do zdravia nás všetkých. Je to vhodná technológia pre lokálnu výrobu elektrickej energie, bez nutnosti dlhých transportov.
- Technológia funguje zväčša na báze kremíka, ktorý patrí na zemi medzi najrozšírenejšie prvky.
- Pri výrobe elektrickej energie nevznikajú skleníkové plyny (napr. CO<sub>2</sub>) a ani iné nebezpečné, znečisťujúce látky. Ide o bezhlučnú výrobu.
- Energia spotrebovaná pri výrobe jedného fotovoltaického panelu sa vyprodukuje za niečo vyše roka, to je teda čas, za ktorý fotovoltaický panel vyrobí toľko elektriny, koľko sa do neho investovalo.
- Pri malých inštaláciách je možné prispôbiť projekt vzhľadu fasády, či domu, a teda nie je nutné pre ňu hľadať špeciálne miesto na inštaláciu.
- Systém sa dá pomerne jednoducho zväčšiť, či zmenšiť, teda flexibilne reagovať na potreby užívateľov, vzhľadom k zmenám spotreby elektrickej energie.
- Fotovoltaika si vyžaduje minimálnu údržbu a technológia fotovoltaického generátora je vysoko spoľahlivá
- Fotovoltaika je navyše jedným z najekologickejších spôsobov výroby elektrickej energie.
- Hoci je solárna energia menším znečisťovateľom životného prostredia než fosílna palivá, nie je úplne bez škvrny. Tú predstavujú niektoré fázy výrobného procesu fotovoltaických panelov, kedy sa uvoľňujú do ovzdušia skleníkové plyny.
- Slnčné lúče nedopadajú na dané miesto na zemi nepretržite a preto solárne panely nevyrobajú elektrinu v noci. Okrem toho intenzita žiarenia sa líši podľa ročného obdobia a aj počas dňa. Množstvo vyrobenej elektriny zo solárnych panelov závisí tiež od oblačnosti a počtu slnečných dní. Tieto faktory značne vplývajú na vnímanie solárnej energie ako nespoľahlivého hlavného zdroja energie. Tento problém je možné riešiť napríklad použitím fotovoltaických systémov s batériovými zásobníkmi elektriny.

### 3.1.2 Solárne panely

Fotovoltaická elektráreň ako zariadenie, ktoré premieňa slnečné žiarenie na elektrickú energiu pozostáva zo solárnych panelov (modulov), ktoré sú najdôležitejšou časťou fotovoltaického systému. Solárne panely sa ďalej skladajú z fotovoltaických (FV) článkov.

V súčasnosti najvyužívanejší materiál na výrobu fotovoltaických článkov je kremík. Táto surovina je štvrtá najpoužívanejšia surovina na svete. Na výrobu solárnych panelov sa však využíva približne len 1 % z tohto množstva. Používa sa v niekoľkých podobách ktoré závisia od použitej výrobnéj technológie. Sú to tieto podoby: monokryštalický kremík, polykryštalický kremík, multikryštalický kremík a hydrogenizovaný amorfný kremík. Na výrobu fotovoltaických článkov sa tiež používajú iné prvky či zlúčeniny. Patrí medzi ne napr. arzenid gália, telurid kademnatý, sulfid kademnatý a v neposlednom rade rýchlo sa rozvíjajúce organické zlúčeniny.

Rozdelenie FV článkov podľa generácií:

- Prvá generácia  
Základom FV článkov sú kremíkové dosky. Účinnosť premeny energie je 16-19%. (70-te roky)

- **Druhá generácia**  
Články 2. generácie majú 100 až 1000 krát tenšiu absorbujúcu polovodičovú vrstvu. (napr. články z amorfneho a monokryštalického kremíka, silikón-germánie, silikón-karbidu). Účinnosť premeny energie je pod 10%. (80-te roky)
- **Tretia generácia**  
Využíva viacvrstvé štruktúry článku pri ktorých každá vrstva absorbuje určitú časť spektra a teda maximalizuje sa energetická využiteľnosť fotónov. Účinnosť premeny energie je nad 40%.
- **Štvrtá generácia**  
Pre štvrtú generáciu sú charakteristické viacvrstvé profily, ktoré na 100% využívajúce dopadajúce slnečné spektrum. Profily sú po vrstvách nastavené na rôzne vlnové dĺžky, lebo žiarenie sa často mení. Vrstva, ktorá nedokáže využiť slnečné žiarenie o istej vlnovej dĺžke, prepúšťa ho k vrstve, ktorá ho vie vhodne využiť.

Solárne články poznáme kremíkové alebo tenkovrstvé. Kremíkové môžu byť polykryštalické, alebo monokryštalické.

### **Polykryštalické panely**

Sú vhodné na miesta inštalácie, kde nie je možné nasmerovať panely ideálne, pričom intenzita slnečného žiarenia je premenlivá vyplývajúca z meteorologických podmienok. Majú nižšiu účinnosť ako monokryštalické panely.

Polykryštalické články sú číro modré a majú kryštalickú štruktúru.



**Obrázok 7 - Polykryštalický článok**

#### Výhody:

- Spracovávajú rozptýlené (difúzne) žiarenie s vysokou efektívnosťou. Pri zlých meteorologických podmienkach majú vyšší výkon ako monokryštalické panely.

#### Nevýhody:

- Nižšia účinnosť pri priamom žiarení (10-14%)
- Klesanie účinnosti v čase je rýchlejšie ako pri monokryštalických paneloch
- Účinnosť klesá aj so znižujúcou teplotou

### **Monokryštalické panely**

Majú najvyššiu účinnosť zo všetkých typov panelov pri nasmerovaní priamo k slnku. Výkon rapídne klesá pri menšej intenzite slnečného žiarenia. Monokryštalické články sa skladajú z jedného kryštálu a sú tmavomodrej až čiernej farby.



Obrázok 8 - Monokryštalický článok

Výhody:

- Vyššia účinnosť pri priamom žiarení (13 - 17%).

Nevýhody:

- Nižšia účinnosť pri nízkej intenzite žiarenia
- Nie je vhodný pre rozptýlené (difúzne) žiarenie
- Účinnosť klesá so znižujúcou sa teplotou

**Amorfne panely**

Spracovávajú rozptýlené žiarenie podobne ako polykryštalické panely. Skladajú sa z aplikovaných tenkých vrstiev mikrokryštalického alebo amorfného kremíka.

Výhody:

- Dokážu spracovať rozptýlené žiarenie

Nevýhody:

- Nižšia účinnosť (8 - 9%)
- Nižšia životnosť
- Väčšie rozmery

Jednotlivé fotovoltaické panely sa navzájom spájajú do radov a niekoľko radov tak spolu vytvára fotovoltaický generátor. Fotovoltaické generátory môžu byť umiestnené na strechách, fasádach budov alebo inštalované priamo na zemi. Tieto fotovoltaické moduly je možné zapojiť sériovo (pre zvýšenie napätia), či paralelne (pre zvýšenie prúdu), alebo použiť kombináciu oboch zapojení.

Vďaka kvalitnému spracovaniu je dnes trvanlivosť fotovoltaických panelov natoľko dobrá, že výrobcovia môžu dávať záruky na zachovanie výkonu v rozmedzí 5 až 25 rokov. Výrobcovia poväčšine garantujú maximálny pokles účinnosti o 10% za 10-12 rokov a o 20% za 25 rokov. Prax však ukázala, že pokles účinnosti po 25 rokoch je len okolo 6-8%. Skutočná životnosť bude výrazne dlhšia, t.j. 30-40 rokov. Po tomto období sa prejaví 20%-ný pokles účinnosti.

Fotovoltaické systémy je možné použiť rôznym spôsobom, avšak medzi najrozšírenejšie patria nižšie uvedené systémy:

ON-GRID sieťový systém, ktorých časť produkcie elektrickej energie je odovzdaná do verejnej elektrickej siete často za vopred dohodnutú výkupnú cenu, prípadne trhovú cenu (v závislosti od platnej legislatívy). Čoraz častejšie sa aplikuje tzv. net-metering, teda zápočtový systém vyrobenej a odobratej elektrickej energie. Akousi nadstavbou sieťového systému je systém, ktorého celú produkciu výrobcu spotrebuje a do siete neodovzdáva nič.

OFF-GRID ostrovné systémy sú systémy priamo napojené na spotrebiče (napr. na celý dom). V tomto prípade je tak fotovoltaický generátor, ako aj spotrebič galvanicky oddelený od distribučnej sústavy. Často je vyprodukovaná elektrická energia, ktorá sa nespotrebováva v reálnom čase, zálohovaná pomocou batérií.

HYBRID-ný sieťový systém – podľa potreby pracuje ako ON-GRID alebo OFF-GRID, rovnako je možné zálohovať pomocou batérií.

Z pohľadu zapojenia fotovoltaického systému do rozvodnej siete, do ktorej dodávajú elektrickú energiu. Taktiež existujú aj tzv. ostrovné systémy, ktoré nie sú napojené na distribučnú sieť a sú od nej galvanicky oddelené.

Hybridná fotovoltaická elektrárň (HFVE) využíva na akumuláciu energie akumulátory.

Okrem fotovoltaických panelov rozlišujeme solárno-termálne panely, ktoré využívajú teplo z tzv. heliostatov. V ploche absorbéra dochádza vplyvom slnečných lúčov k ohrevu teplotonosnej kvapaliny. Ide o tzv. koncentračnú solárnu elektrárň resp. solárnu termálnu elektrárň.

### 3.1.3 Merané parametre FV systému

Fotovoltaický článok je prúdový zdroj, ktorého veľkosť dodávaného prúdu závisí od množstva dopadajúceho svetla na plochu panela. Výkon, ktorý sa meria na fotovoltaických paneloch sa často udáva vo  $W/m^2$ .

Energetická hustota ( $W/m^2$ ) je ukazovateľ určujúci koľko elektriny možno získať z určitej plochy, na ktorej sa zdroj energie nachádza. Nízka hustota znamená, že na získanie potrebnej energie za rozumnú cenu je treba príliš veľa priestoru v rámci danej nehnuteľnosti. Keďže solárne panely vyžadujú veľa priestoru, nemusia byť zrovna praktickým riešením pre menšie domy alebo firmy. Priemerná energetická hustota slnečného žiarenia na zemi je  $170 W/m^2$ . To je viac ako ostatné zdroje obnoviteľnej energie, no neporovnateľne menej než energetická hustota ropy, plynu alebo jadra.

Volt-ampérová charakteristika je základná informáciou o činnosti fotovoltaického článku. Jej krajnými veličinami sú napätia naprázdno a prúd nakrátko.

Napätie naprázdno predstavuje napätie na ožiarenom článku v prípade, že na článok nie je pripojený žiadny spotrebič, teda je odpor medzi elektródami ideálne nekonečný.

Prúd nakrátko potom predstavuje maximálny skratový prúd, ktorý je schopný článok dodávať za daného osvetlenia.

Výkon solárneho článku sa rovná súčinu prúdu a napätia v danom bode volt-ampérovej charakteristiky. Dôležitým bodom charakteristiky je bod maximálneho výkonu (MPP).

Ďalšou charakteristickou hodnotou je faktor plnenia (označuje sa FF - Fill Factor). Faktor plnenia je charakterizovaný ako podiel maximálneho výkonu v bode MPP a maximálneho výkonu definovaného pomocou napätia naprázdno a prúdu nakrátko.

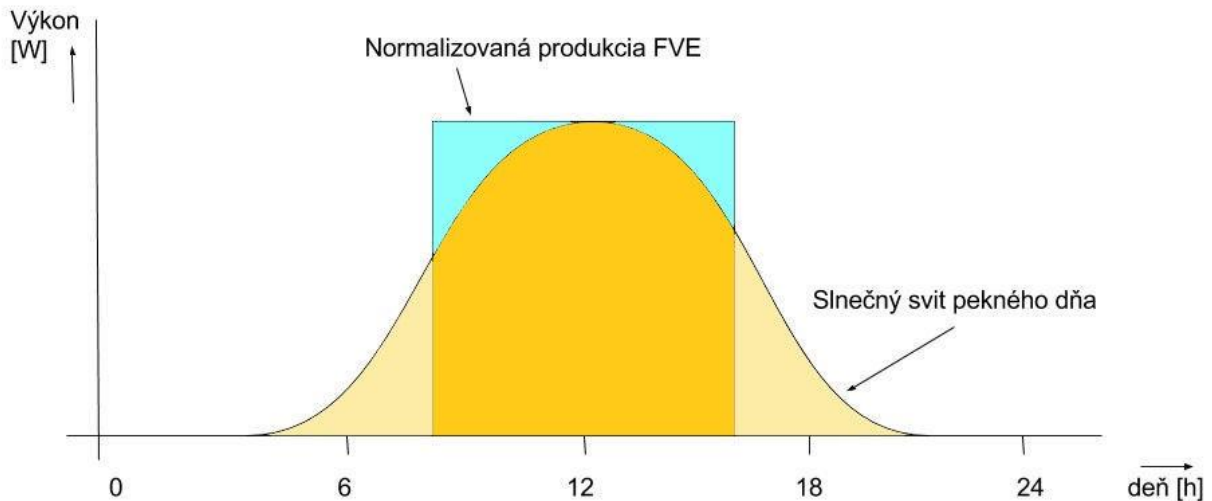
Dôležitým parametrom solárneho panelu resp. modulu je jeho účinnosť (označuje sa  $\eta$ ). Pre účinnosť solárneho článku platí, že je to podiel maximálneho výkonu článku v bode MPP a výkonu dopadajúceho slnečného žiarenia. Treba rozlišovať medzi účinnosťou fotovoltaických článkov a účinnosťou modulov resp. panelov. Účinnosť článku bude vždy vyššia ako účinnosť modulu resp. panelu. Je to dané tým, že články sú pospájané do reťazcov, tvoria modul. A práve spoje a prepojenia tvoria prvé straty v systéme. Prechodový odpor na jednotlivých kontaktoch a ďalšie parazitné javy, ktoré sú spôsobené defektami kryštalickej mriežky a zvodovým prúdom okolo okrajov článkov majú vplyv nielen na účinnosť modulu, ale aj na spektrálnu citlivosť solárnych článkov. Ďalšie straty spôsobuje kabeláž, ktorou sú pospájané moduly do fotovoltaického systému.

Všetky tieto faktory musia byť testované za štandardných testovacích podmienok. Pre meranie fotovoltaických článkov a panelov sú medzinárodnou elektrotechnickou komisiou IEC vydané príslušné normy zaväzujúce dodržaním testovacích podmienok. Solárne články je nutné testovať za teploty  $STC = 25^\circ C$ , intenzity slnečného žiarenia  $1000 W/m^2$  a definovanom koeficientu atmosférickéj masy (AM), ktorá definuje vlastnosti spektra svetla u hladiny mora, ktoré svetlo získa po prejdení dráhy v zemskej atmosfére v pomere ku dráhe svetla, ktoré by dopadalo kolmo na hladinu, ktorá sa rovná  $AM = 1,5$ .



Mätúci môže byť preto údaj výkonu solárneho panela, ktorý je uvedený na štítku FV panela. Tento výkon je určený za štandardných testovacích podmienok. Dodávaný výkon sa však mení v závislosti od intenzity slnečného žiarenia dopadajúceho na fotovoltaický panel počas dňa, pretože práve svetlom sa uvoľňujú elektróny pre elektrický prúd. A jedna z tých testovacích podmienok je definovaný výkon dopadajúceho svetla – 1 000 W/m<sup>2</sup>. Takýto výkon slnko neposkytuje stále. Dokonca takýchto výkonov (a vyšších) sa dosahuje iba pár sto hodín v priebehu roka.

Reálnejší priebeh slnečného svitu je na obrázku nižšie – žltá plocha. Aj to je priebeh krásneho bezoblačného dňa. Modrou plochou (aj pod tou žltou) je označený obdĺžnik tzv. normalizovanej produkcie. To je výroba elektriny (v kWh) vztiahnutá na štítkový výkon panela.



Obrázok 9 - Slnečný svit a normalizované FV výroba Zdroj: EnergiaWeb

Je logické, že FV panel vyrába elektrinu podľa slnka, ale pre zjednodušenie sa o výrobe rozpráva v pojmoch tejto normalizovanej produkcie. V najsilnejšie slnečné dni – dlhé letné dni, alebo mrazivé slnečné dni v skorých jarných obdobiach – bude mať FVE normalizovanú produkciu okolo 6,5 až 7,5 hodiny. V bežných pekných letných dňoch – okolo 5,5 až 6,5 hodiny. V zimných dňoch aj menej ako 1,5 hodiny. Alebo vôbec nič – buď málo slnka, alebo môže byť FVE aj zasnežená. Priemerná ročná normalizovaná produkcia na Slovensku je menej ako 3 hodiny denne.

### 3.1.4 Striedače (meniče)

Ďalšou súčasťou systému slnečnej elektrárne je striedač. V technických podmienkach prevádzkovateľov distribučných systémov v prípade fotovoltaickej elektrárne pod pojmom generátor sa rozumie časť výrobného bloku vrátane striedača, kde dochádza k výrobe elektrickej energie.

Striedač mení jednosmerné napätie dodávané solárnymi panelmi na jednofázové striedavé napätie 230 V / 50 Hz, prípadne pri väčších výkonoch na 400 V / 50 Hz. Striedače sa ponúkajú v rôznych vyhotoveniach podľa rozsahu a konfigurácie fotovoltaického systému. Podľa konfigurácie existujú meniče centrálné pre jeden obvod panelov, spoločné pre viac obvodov a modulové meniče.

Striedače majú väčšinou nasledujúce funkcie: optimalizácie, meniča a dohľad.

- Optimalizácia prevádzky meniča pre maximálne využitie energie dodávanej fotovoltaickým systémom v závislosti na slnečnom žiarení. Striedač automaticky nastaví optimálny pracovný režim prevodníka DC/DC na vstupe striedača. Táto funkcia sa nazýva MPP Tracer (Maximum Power Point).
- Premena jednosmerného napätia dodávaného panelmi na striedavé sieťové napätie.
- Dohľad a ochrana pred zmenou frekvencie a napätia na výstupe do siete.

Rozlišujeme tri základné typy meničov:

- GRID ON = sieťový menič
- ON GRID+OFF GRID = Hybridné meniče
- GRID OFF = ostrovný menič

GRID ON – sieťové – Tieto meniče sa automaticky vypínajú pri strate AC siete z bezpečnostných dôvodov. Neposkytujú záložné napájanie počas výpadkov AC siete. Tieto meniče sú určené na premenu jednosmerného elektrického napätia generovaného na svorkách fotovoltaického panelu na či už sieťové jednofázové alebo trojfázové striedavé napätie.

OFF GRID – ostrovné, alebo Stand-alone striedače sa používajú v izolovaných systémoch. Menič čerpá energiu z batérií DC a batérie sú zásobované energiou z fotovoltaických panelov. Ostrovné meniče môžu tiež obsahovať integrálnu nabíjačku – regulátor nabíjania na doplnenie batérii zo striedavého zdroja prúdu. Takéto OFF GRID systémy sa inštalujú na chaty, karavany a domčeky bez napojenia na distribučnú sieť.

Hybridný menič - smart grid menič je nová generácia meničov pre špecifické solárne systémy využívajúce obnoviteľné zdroje energie pre domácu spotrebu. Elektrická energia zo solárnych panelov vyrábaná v priebehu dňa je skladovaná. Nakoľko maximálna produkcia je cez deň a zvýšená spotreba až večer, tak na zosúladenie tejto výroby a spotreby energie slúži riadenie skladovania energie na jej neskoršie použitie.

Z vyššie uvedeného vyplýva, že striedače môžeme rozdeliť:

- Striedače riadené vlastnou frekvenciou - nepotrebujú pre komutáciu žiadne cudzie napätie, pre paralelný chod so sieťou, ale potrebujú odvodiť riadenie zapaľovacích impulzov od frekvencie siete (samokomutačné napäťové invertory s riadením striedavého napätia, alebo hybridné systémy). Sú schopné ostrovej prevádzky, pokiaľ majú vnútornú referenčnú frekvenciu a prídavnú reguláciu pre trvalú ostrovnú prevádzku, na ktorú sa pri výpadku siete prechádza buď automaticky alebo ručným prepnutím. Zdroje so striedačmi s vlastnou synchronizáciou majú minimálnu spotrebu jalového výkonu, takže kompenzácia jalového výkonu sa u nich všeobecne nepožaduje.
- Striedače riadené sieťou - potrebujú ku komutácii cudzie napätie, ktoré nepatrí ku zdroju striedača. Tieto striedače nie sú schopné ostrovej prevádzky. Zdroje so striedačmi riadenými sieťovou frekvenciou majú spotrebu jalového výkonu odpovedajúcu približne asynchrónnemu generátoru. Preto pre kompenzáciu týchto striedačov platia rovnaké podmienky ako u asynchrónnych generátorov.

Striedače členené podľa druhu napájania alebo podľa použitej metódy riadenia rozlišujeme nasledovne:

- *Jednofázové striedače*, v prípade ktorých je združené výstupné napätie medzi dvoma fázami rovné 230 V. Vyplýva to z toho, akým spôsobom je tento typ zariadení napájaný, a teda z napájania jednofázovým napätím 230 V.
- *Trojfázové striedače*, v prípade ktorých je združené výstupné napätie medzi dvoma fázami rovné 230 – 500 V. Súvisí to s napájaním zariadení trojfázovým napätím v rozpätí od 230 do 500 V.
- *Skalárne striedače*, ktorých názov pochádza od typu implementovaného skalárneho riadenia. Toto riadenie môže mať lineárnu charakteristiku s konštantným pomerom výstupného napätia a výstupnej frekvencie ( $U/f = \text{konšt.}$ ) alebo parabolickú charakteristiku ( $U/f^2 = \text{konšt.}$ ), pri ktorej nárast napätia závisí od štvorca nárastu frekvencie.
- *Vektorové striedače*, v ktorých sa často využívajú pokročilé riadiace algoritmy. Môžeme tu spomenúť dva typy vektorového riadenia: riadenie Field Oriented Control (poľovo-orientované riadenie) a Direct Torque Control (priame riadenie točivého momentu).

Striedače sa podobne ako všetky elektrické zariadenia vyznačujú parametrami, ktoré umožňujú ich klasifikáciu. Medzi najdôležitejšie parametre patria:

- Maximálny výstupný výkon [W]
- Menovité výstupné napätie [V]
- Maximálna účinnosť [%]
- Maximálne vstupné napätie [V] , ktoré môže mať, v závislosti od počtu fáz, rôzne hodnoty. Rozsah napájacieho napätia striedačov sa väčšinou pohybuje v rozmedzí od 230 do 500 V AC.

Systém pre slnečnú elektrárňu sa okrem FV panelov a striedačov ďalej skladá z prepojavacích elementov, z vodičov prepätia a káblov. Pri návrhu systému je treba venovať pozornosť tomu, koľko má daný striedač výstupov, aká je jeho prevádzková teplota a aký je jeho stupeň ochrany krytím. Okrem toho treba mať na pamäti, že striedače je možné programovať rôznymi metódami, napr. prostredníctvom počítača, potenciometra alebo klávesnice zariadenia.

Vybrať správne vodiče pre striedače nie je pre každého jednoduchou záležitosťou. Oplatí sa preto využiť výrobcom poskytnuté údaje.

V tabuľke 1 sú zostavené výkony striedačov (kW), ku ktorým je priradený najvýhodnejší rozsah prierezov žíl vodičov (mm).

**Tabuľka 20 - Prierez žíl vodičov pre jednotlivé výkony striedačov**

Výkon striedača [kW]	Prierez žily [mm <sup>2</sup> ]
Do 1,5	1,5
1,5-3	2,5
3-7,5	4
7,5-11	6
11-18,5	10
18,5-22	16
22-30	25
30-37	35
37-45	50
45-75	70
75-90	95
90-110	120

### 3.1.5 Technické údaje hybridných striedačov

Prevádzkovatelia distribučných sústav majú záujem podporiť aplikácie inovatívnych systémov. Hybridné systémy sú systémy zariadení na výrobu elektriny, ktoré pracujú paralelne s distribučnou sústavou, sú schopné akumulovať elektrinu v batériách, pričom v prípade výpadku distribúcie elektriny v DS sú schopné z naakumulovanej elektriny v dočasnom režime tzv. ostrovnej prevádzky zásobiť časť spotrebiteľov domácnosti. Vzhľadom na špecifický charakter týchto hybridných systémov je nevyhnutné najprv každý typovo otestovať v laboratóriu, v spolupráci s výrobcami týchto technológií a overiť splnenie predpísaných Technických podmienok pripojenia a vplyv takéhoto zdroja na distribučnú sústavu. Prevádzkovatelia DS sa v tomto prípade odvolávajú na § 31 ods. 2 zákona č. 251/2012 o energetike, podľa ktorého majú povinnosť zabezpečiť spoľahlivé, bezpečné a účinné prevádzkovanie sústavy, ktoré môže byť týmito typmi zdrojov výrazne ovplyvnené.

V prípade splnenia týchto podmienok a dosiahnutia akceptovateľnej úrovne ich vplyvov na DS počas testov bude pripájanie takéhoto systému akceptované v miestach, kde bude zároveň dostupná

kapacita pre jeho pripojenie. Každé zariadenie pracujúce paralelne s DS musí mať schválenú maximálnu rezervovanú kapacitu v smere „dodávka do DS“, a v beznapäťovom stave DS nesmie dodávať elektrinu, ani negatívne ovplyvňovať DS z pohľadu predpísaných parametrov kvality napätia (vyhl. č. 275/2012, ktorou sa ustanovujú štandardy kvality, okrem iného aj v distribúcii elektriny).

Medzi známe typy striedačov patria: Fronius, Schneider Electric, Siemens, Eaton electric.

Napríklad Západoslovenská distribučná spoločnosť schválila dokument Hybridné striedače, v ktorom zafinovala podmienky pripojenia zariadení na výrobu elektriny s hybridnými striedačovými systémami paralelne pracujúcimi s distribučnou sústavou spoločnosti Západoslovenská distribučná, a.s.

Podľa článku 6 prílohy č. 4 Technických podmienok pripojenia zariadení na výrobu elektriny, vrátane fotovoltických zdrojov: „Pripojenie fotovoltických zdrojov so striedačmi riadenými vlastnou frekvenciou (samokomutačné napäťové invertory s riadením striedavého napätia, alebo hybridné systémy), ktoré sú schopné ostrovnej prevádzky, je zakázané paralelne pripájať s distribučnou sústavou z titulu zabezpečenia bezpečnosti a ochrany zdravia pri prácach v distribučnej sústave“.

V prípade striedačov riadených vlastnou frekvenciou - samokomutačné napäťové invertory s riadením striedavého napätia, alebo hybridné systémy - (ďalej len „Hybridné striedače“) ide o zariadenia schopné vyrábať elektrinu v spolupráci s batériovým systémom v ostrovnej prevádzke aj bez napätia z distribučnej sústavy. Vo všeobecnosti nie je možné pri týchto zariadeniach konštatovať, že za žiadnych okolností nemôže dôjsť k vzniku a výrobe elektriny na kontaktoch Hybridného striedača, ktorými je Hybridný striedač pripojený paralelne s distribučnou sústavou v čase, kedy v distribučnej sústave nie je napätie.

Pre naplnenie požiadavky bezpečnej a spoľahlivej prevádzky distribučnej sústavy musí hybridný striedač konštrukčne (typovo predpripravené) spĺňať podmienku akéhokoľvek zamedzenia možnosti vzniku napätia na výstupných svorkách (pomocou ktorých je pripojený paralelne s distribučnou sústavou) v čase, kedy v DS nie je napätie (napríklad v prípade poruchy alebo plánovaného prerušenia distribúcie elektriny v Distribučnej sústave). V prípade, že Hybridný striedač má možnosť spolupráce s batériami je potrebné overenie funkcionality, že za žiadnych okolností nedochádza k pretoku elektrickej energie z batérii do DS. Za typovo predpripravený Hybridný striedač je možné považovať taký Hybridný striedač, ktorého technické riešenie spĺňa uvedené požiadavky bez ďalších dodatočných technických zásahov, inštalácie prídavných externých zariadení a pod., pričom funkcionality nie je možné vypnúť zo strany prevádzkovateľa zdroja.

Ak je predpoklad, že príslušný Hybridný striedač spĺňa typovo predpripravené požiadavku v zmysle vyššie uvedeného, spoločnosť Západoslovenská distribučná, a.s. požaduje, za účelom objektívneho preukázania jeho funkčnosti, vykonanie typového overenia a merania takéhoto Hybridného striedača uskutočnené na žiadosť a náklady výrobcu takéhoto Hybridného striedača nezávislou akreditovanou osobou (napr. Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky).

Aktuálne typovo predpripravené Hybridné striedače, ktoré spĺňajú požiadavku bezpečnej a spoľahlivej prevádzky, sú v nasledujúcej tabuľke.

Vzhľadom na technický pokrok / vývoj sa ZSD nebráni schváleniu ďalších typovo predpripravených Hybridných striedačov, pokiaľ ich technické prevedenie a vlastnosti zabezpečia úplné vylúčenie ich negatívnych vplyvov a táto skutočnosť bude potvrdená subjektom s príslušnou odbornosťou a akreditáciou.

Tabuľka 21 - Typovo predpripravené hybridné striedače

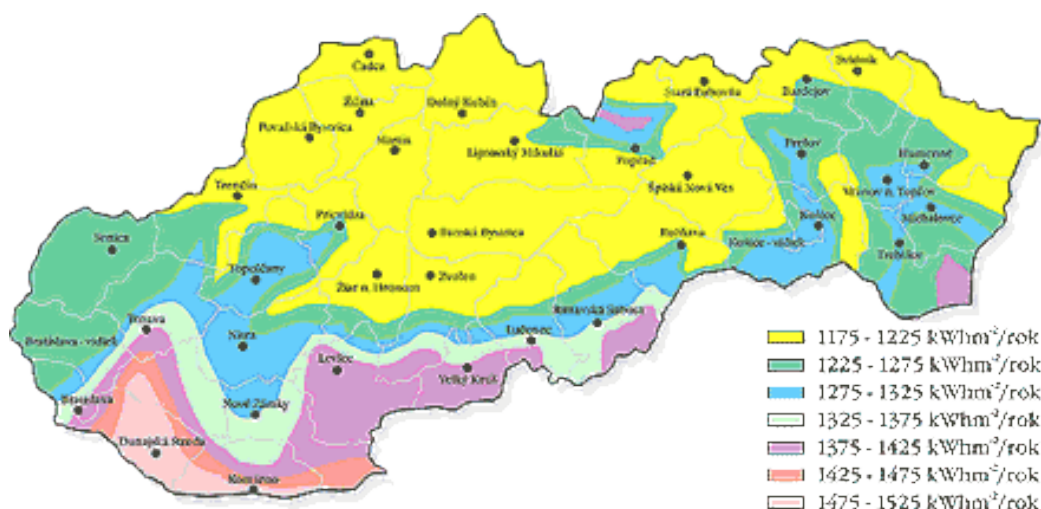
Dátum	Hybridný striedač	Certifikácia
12.12.2017	EasySolar 12/1600/70, 24/1600/40, 24/3000/70, 48/3000/35, 48/5000/70	Nakoľko v zmysle deklarácie výrobcu a doložených typových listov je zrejmé, že zariadenia EasySolar využívajú už akreditované hybridné striedače Victron Energy Multiplus tak akreditované potvrdenie, Protokol o skúške č. 01/01/2016/SLVN vydaný skúšobňou Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Fakultou elektrotechniky a informatiky platí aj na predmetné zariadenia EasySolar.
02.11.2017	Schneider Electric Conext SW 2524 230, SW 4024 230, SW 4048 230	Akreditované potvrdenie, Protokol o skúške č. 02/11/2017/SLVN vydaný skúšobňou Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Fakultou elektrotechniky a informatiky
02.11.2017	Schneider Electric Conext XW+ 7048 E, XW+ 8548 E	Akreditované potvrdenie, Protokol o skúške č. 01/11/2017/SLVN vydaný skúšobňou Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Fakultou elektrotechniky a informatiky
08.06.2016	Modulárny hybridný systém pozostávajúci z komponentov: striedač – FOTO CONTROL 1f 230/48 DC nabíjač – FOTO CHARGER DC 48 analyzátor – RM GRID MONITOR	Akreditované potvrdenie, Protokol o skúške č. 01/06/2016/SLVN vydaný skúšobňou Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Fakultou elektrotechniky a informatiky
15.03.2016	Solax X-Hybrid (Emergency Power Supply resp. typ „E“) SK-SU3000E, SK-SU3700E, SK-SU5000E	akreditované potvrdenie, Protokol o skúške č. 01/03/2016/SLVN vydaný skúšobňou Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Fakultou elektrotechniky a informatiky
18.01.2016	Victron Energy MultiPlus C12/800/35, C12/1200/50, C12/1600/70, C12/2000/80, 12/3000/120, C24/800/16, C24/1200/25, C24/1600/40, C24/2000/50, 24/3000/70,	akreditované potvrdenie, Protokol o skúške č. 01/01/2016/SLVN vydaný skúšobňou Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Fakultou elektrotechniky a informatiky
4. 3. 2013	Schneider Electric Xantrex XW4548-230-50 230 V AC 50 Hz	akreditované potvrdenie, Protokol o skúške č. 01/02/13/SLVN vydaný skúšobňou Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Fakultou elektrotechniky a informatiky

### 3.1.6 Solárna mapa

Pre charakteristiku fotovoltickej elektrárne je dôležitá jej lokalita a s tým súvisiace dopadajúce solárne žiarenie na fotovoltickú elektráreň. Vhodnosť lokality pre využitie slnečného žiarenia najlepšie vystihuje globálne množstvo energie, ktoré dopadne na 1 m<sup>2</sup>, ktoré sa získalo z dlhodobého meteorologického merania. Pri solárnom, resp. slnečnom žiarení rozlišujeme priame slnečné žiarenie a difúzne slnečné žiarenie. Difúzne slnečné žiarenie je rozptýlené svetlo z odrazu o molekuly plynov, prachu a mrakov. Intenzita difúzneho žiarenia vzrastá so súčiniteľom znečistenia.

Teoretické množstvo energie dopadajúce na oslnenú plochu za deň je závislé od sklonu kolektoru  $\alpha$  a súčiniteľa znečistenia  $Z$ . Ideálny uhol pre využitie slnečného žiarenia v maximálnej možnej miere sa v priebehu roka mení a to nasledovne:

- Letné obdobie 30° - 45°
- Zimné obdobie 60° - 90°



Obrázok 10 - Množstvo dopadajúceho slnečného žiarenia na Slovensku Zdroj: Energetické centrum Bratislava

## 3.2 Veterné elektrárne

### 3.2.1 Analýza problematiky

Energia vetra je len jedna z foriem slnečnej energie. Zemský povrch ohrievajú slnečné lúče s rôznou intenzitou, v dôsledku čoho dochádza pri nich k teplotným a tlakovým rozdielom. Nerovnomerným zahrievaním vzdušných mäs pri zemskom povrchu sa vytvárajú tlakové výše a tlakové níz. Vietor vzniká vplyvom tlakových rozdielov a vanie v zásade od tlakovej výše ku tlakovej níži špirálovite, tangenciálne k izobarám, okolo výše v zápornom a okolo níže v kladnom smere. Miestna rýchlosť vetra závisí na tvare zemského povrchu, so vzdialenosťou od mora klesá, s nadmorskou výškou rastie. Mení sa s časom a v závislosti od meteorologickej situácie.

Veternú energiu využíva ľudská civilizácia už od nepamäti. Podstatne väčší význam nadobudlo využívanie energie vetra na výrobu elektriny. V posledných desaťročiach sa stali veterné elektrárne druhým najpoužívanejším obnoviteľným zdrojom hneď po tých vodných.

Výrobcovia veterných turbín sa v posledných rokoch predhávajú v tom, kto uvedie na trh väčšie a výkonnejšie turbíny. Bežne sa jedná o turbíny určené pre nasadenie na mori, kde prípadný nedostatok priestoru alebo dopravné obmedzenia nie sú obmedzujúcim faktorom pre veľkosť elektrární. Teraz prichádza s novým modelom aj čínska spoločnosť Mingyang Smart Energy, ktorá predstavila turbínu mysom 16.0-242 s inštalovaným výkonom 16 MW, ktorá môže podľa spoločnosti ročne vyrobiť až 80 GWh elektrickej energie. S ohľadom na dĺžku jednotlivých lopatiek 118 metrov má priemer rotora dosahovať 242 metrov. Zvyšovanie výkonu veterných turbín je jednou z ciest, ako znížiť náklady na výrobu elektriny z obnoviteľných zdrojov.

Počas posledných rokov došlo k rozvoju a rozšíreniu aj veterných mikroturbín (produkcia do 50 kW). Vo Veľkej Británii sa väčšinou jedná o voľne stojace turbíny, ktoré siahajú do výšky 6-12 m. Technologický pokrok mikroturbíny cenovo sprístupnil aj súkromníkom a tí sú často dokonca podporovaní vládami, ktoré im poskytujú napríklad zľavu na daniach. Neexistujú však žiadne štúdie o skutočnom vplyve veterných mikroturbín na životné prostredie.

Malé veterné turbíny majú výrazne nižšiu účinnosť ako veľké turbíny, čo v kombinácii s relatívne vyššími investičnými nákladmi znamená, že sú len veľmi ťažko využiteľné v domácnostiach podobným spôsobom ako fotovoltaika. Vo všeobecnosti veľké veterné turbíny dokážu vyrábať elektrinu s nižšími nákladmi ako fotovoltaika. Ich návratnosť však bude závisieť od predajnej ceny elektriny, respektíve systému podpory. Na Slovensku využívanie veternej energie stagnuje už 18 rokov.

Problémy s veternými elektrárnami nastávajú vtedy, keď sa končí ich životnosť. Predovšetkým vrtule z veterných elektrární je možné len veľmi ťažko recyklovať či zlikvidovať. Pre skutočne efektívne aplikovanie ekológie v riešení environmentálnych problémov je nutná spoločná spolupráca medzi vedcami, politikmi a priemyselným odvetvím.

Hlavné obmedzenia vo výstavbe veterných elektrární sú v rukách prírody, pretože najpodstatnejším limitom v širšom využívaní veterných turbín sú vhodné poveternostné podmienky. Nevýhodou je, že vietor je menej predvídateľný ako napr. slnečná energia, avšak jeho dostupnosť počas dňa je obyčajne dlhšia ako v prípade slnečného žiarenia. Veterná energia sa javí ako nespoľahlivý energetický zdroj najmä v krajinách s vnútrozemskou geografickou polohou, akú má aj Slovensko.

Veterná energetika prechádza neustálou modernizáciou, aby spĺňala prísne kritériá udržateľnosti. Okrem neustáleho znižovania produkčných nákladov, sa vývoj veternej energetiky posúva vpred aj technologicky. Výrobcovia čoraz viac využívajú na výrobu turbín recyklované materiály, ktoré je možné po ukončení životnosti opätovne využiť v iných sektoroch. Zároveň sa neustále zmierňujú dopady na životné prostredie, ako napríklad hlučnosť elektrárne alebo optimalizácia úžitkovej plochy.

V prospech veternej energetiky hovoria aj najnovšie výsledky ekonomickej efektivity, podľa ktorých produkčné náklady veternej elektrárne klesli od roku 2010 o 56%. Elektrina z vetra dnes môže po finančnej stránke pokojne konkurovať fosílnym zdrojom, pričom výhľadovo bude energia z OZE čoraz lacnejšia v porovnaní s tradičnými zdrojmi.

Pozitívam využívania veternej energie, rozdeleniu veterných elektrární podľa rôznych kritérií, možnostiam ich pripojenia do elektrických sietí, veterným farmám atď. sa venuje mília 1 aktivity č.5. Nasledujúce podkapitoly pokračujú v analýze danej problematiky a sú zamerané, vzhľadom na návrh dátových štruktúr pripravovanej databázy, na faktory, ktoré ovplyvňujú efektivitu veternej energie, na technické parametre významných častí veterných elektrární, a podobne.

### 3.2.2 Faktory ovplyvňujúce efektivitu veternej elektrárne

Pre návrh energetických ziskov z veterných turbín je potrebné poznať niekoľko základných vzťahov.

Energia vetra sa používa vo forme jej kinetickej energie

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

kde je E – kinetická energia [J],

m - hmotnosť vzduchu [kg],

v - rýchlosť prúdenia vzduchu [m/s].

Pretože hmotnosť vzduchu  $m = \rho \cdot V$ ,

$$E = \frac{1}{2} \rho \cdot V \cdot v^2$$

kde je  $\rho$  – hustota vzduchu [kg/m<sup>3</sup>],

V – objem vzduchu, ktorý prúdi v závislosti od rýchlosti vetra cez plochu S [m<sup>2</sup>] opísanú listami vrtule

Výkon vzdušného prúdu

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot v \cdot v^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot v^3$$

Za predpokladu, že plocha

$$S = \pi \cdot \frac{D^2}{4} = 0,785 \cdot D^2 ,$$

bude teoreticky výkon veternej elektrárne

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot v^3 = \frac{1}{2} \rho \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot v^3 = 0,393 \cdot \rho \cdot D^2 \cdot v^3 ,$$

kde je D – priemer vrtule [m].

Kinetická energia vetra sa po prechode cez vrtuľu veternej elektrárne znižuje, pretože jej časť sa mení na mechanickú energiu. Albert Betz v roku 1920 dokázal, že ideálna veterná elektrárň môže premeniť na mechanickú energiu maximálne 59,3 % kinetickej energie vetra, pri spomalení jeho rýchlosti na jednu tretinu. Vo svojej práci definoval Betz výkonový činiteľ  $r(x)$ , ktorý udáva, aká časť kinetickej energie vetra je premenená na mechanickú energiu ( $x$  je pomer rýchlosti vetra za turbínou ku rýchlosti vetra pred turbínou). Táto hodnota je vždy menšia ako 0,593. Pri výpočte maximálneho výkonu veternej elektrárne sa potom berie do úvahy len 59,3 % z celkového výkonu, t. j.

$$P_{max} = (0,393 \cdot \rho \cdot D^2 \cdot v^3) \cdot 0,593 = 0,233 \cdot \rho \cdot D^2 \cdot v^3 .$$

Dôležité faktory ovplyvňujúce efektivitu veternej elektrárne sú: rýchlosť vetra, plocha rotora, hustota vzduchu a výrazne ju ovplyvňuje aj charakter terénu.

### 3.2.2.1 Rýchlosť vetra

Rýchlosť vetra je najdôležitejší parameter. Okamžitá rýchlosť vetra v ľubovoľnej výške nad zemou vykazuje určité fluktuácie s určitými frekvenciami (hlavnou príčinou tohto javu sú turbulencie). To znamená, že rýchlosť vetra nie je konštantná a pre jeden merací bod sa v čase mení určitými frekvenciami. Takéto zmeny rýchlosti vetra sa dejú nezávisle od seba v rôznych meraciach výškach. Vzhľadom na to že veterná turbína nie je bodový objekt uplatňuje sa na nej stredná „určujúca“ rýchlosť tohto prúdenia.

Keďže energia vetra rastie s treťou mocninou jeho rýchlosti, pri zdvojnásobení rýchlosti vetra vzrastie jeho energia osemkrát. Aj malá odchýlka rýchlosti vetra sa teda výrazne prejaví na množstve získanej elektriny.

Veterné turbíny sú konštruované na rýchlosť vetra od 3 do 30 m/s. Vyššia rýchlosť by mohla turbínu poškodiť. Preto sú väčšie turbíny vybavené brzdami, ktoré v prípade potreby zastavia otáčanie rotora. Menšie turbíny sú často stavané tak, aby boli schopné využiť aj rýchlosti vetra nižšie ako 3 m/s, pričom v prípade veľmi silného vetra ich možno natočiť do bezpečnej polohy.

### 3.2.2.2 Plocha rotora

Rotor (vrtuľa) veternej turbíny "zachytáva" energiu vzduchu, ktorý na neho dopadá. Je zrejme, že čím je plocha rotora väčšia, tým viac energie je schopný vyrobiť. Keďže plocha vytvorená rotorom rastie s druhou mocninou priemeru rotora, dvakrát väčšia turbína je schopná vyrobiť štyrikrát viac energie. Priemer rotora sa však nedá zväčšovať ľubovoľne. Rastúci priemer vrtule znamená väčší tlak na celý systém pri danej rýchlosti vetra. Aby turbína tento tlak vydržala, je potrebné použiť pevnejšie mechanické časti, čo celý systém predražuje.

### 3.2.2.3 Hustota vzduchu

Rotor turbíny sa krúti v dôsledku tlaku vzduchu na jeho listy. Čím viac vzduchu na tlačí, tým rýchlejšie sa rotor krúti a tým je produkcia energie väčšia. Kinetická energia vzduchu je priamo úmerná jeho hmotnosti. Z toho vyplýva, že energia vetra závisí od hustoty vzduchu. Hustota vyjadruje množstvo



molekúl v jednotke objemu vzduchu. Pri normálnom atmosférickom tlaku a pri teplote 15 °C má 1 m<sup>3</sup> vzduchu hmotnosť 1,225 kg. Keďže hustota vzduchu mierne rastie s rastúcou vlhkosťou, vzduch je hustejší v zime ako v lete. Preto je aj výroba energie pri rovnakej rýchlosti vetra v zime väčšia ako v lete. Tlak vzduchu závisí od teploty vzduchu a od nadmorskej výšky. Hustota vzduchu je jediný parameter, ktorý sa nedá v daných podmienkach meniť.

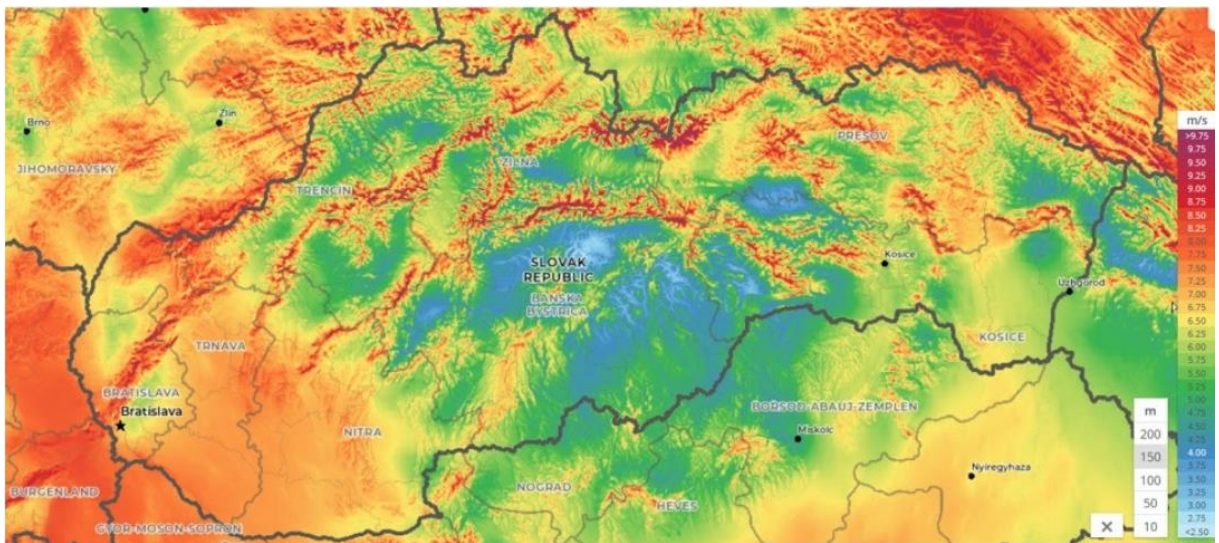
### 3.2.2.4 Drsnosť terénu

Povrch zeme so svojou vegetáciou a stavbami je dôležitým faktorom ovplyvňujúcim rýchlosť vetra. Množstvo prekážok v teréne sa často označuje ako jeho drsnosť. So zvyšujúcou sa výškou nad terénom sa drsnosť znižuje a prúdenie vzduchu sa stáva laminárne, čo znamená aj vyššiu rýchlosť vetra.

Čím je vyššia drsnosť terénu, tým viac sa vietor spomaľuje. Pre jednotlivé typy terénov je priradená trieda drsnosti (konštanta). Rýchlosť vetra najviac brzdia lesy a veľké mestá (trieda drsnosti je 3 až 4). Na rovinách alebo vodných plochách ho prakticky nič neovplyvňuje (trieda drsnosti je 0 až 0.5). Budovy, lesy a iné prekážky nielen spomaľujú rýchlosť vetra, ale často vytvárajú aj jeho turbulencie, ktoré nepriaznivo vplyvajú na chod turbíny.

### 3.2.3 Potenciál vetra pre využitie v energetike, vhodné lokality

Základným parametrom, ktorý je dôležitý pri výstavbe veterných elektrární, je veternosť v danej oblasti. Celková veternosť sa dá odhadovať (napr. približným odhadom podľa veternosti v blízkych meraných oblastiach ako napr. letiská), alebo ju môžeme určiť meraním. Meranie by malo trvať minimálne rok a jeho výsledky je vhodné porovnať s meraniami meteorologických staníc SHMÚ. Okrem rýchlosti vetra sa vyhodnocujú aj ďalšie údaje ako frekvencia výskytu, smer vetra, turbulencie.



Obrázok 11 - Veterná mapa Slovenska (Zdroj: SAPI)

Klimatické podmienky na Slovensku sú odlišné v porovnaní s krajinami s vysokým potenciálom veternej energie (napríklad Nemecko, Dánsko a Rakúsko). Neznamená to však, že neexistujú lokality na jej vhodné využívanie. Z hľadiska priemernej rýchlosti vetra sú na Slovensku vhodné najmä horské oblasti, naopak väčšina údolných a kotlinových oblastí je pre veternú energetiku nepriaznivá. V nížinách západného Slovenska sa priemerná ročná rýchlosť vetra vo výške 10 m pohybuje v intervale od 3 do 4 m/s, na východnom Slovensku od 2 do 3 m/s. Priaznivejšie veterné podmienky pre veternú energetiku sú na vrcholoch vyšších pohorí, kde je priemerná ročná rýchlosť vetra 4 až 8 m/s. Za najvhodnejšie lokality sú považované hrebene najvyšších slovenských pohorí – Nízkyh Tatier, Slovenského

rudohoria, Malých Karpát, Bielych Karpát, Malej Fatry a Veľkej Fatry. Podunajská nížina a Východoslovenská nížina sú lokality tiež vhodné na výstavbu veterných elektrární.

Legislatívne a ekonomické podmienky sú oveľa menej priaznivé ako tie prírodné. Zníženie energetickej závislosti a postupná diverzifikácia energetických zdrojov na Slovensku nie je možná bez efektívnej podpory zo strany štátu, a preto sa veterným elektrárnam v podmienkach Slovenskej republiky nedarí nateraz konkurovať ostatným zdrojom elektriny. Integrovaný národný energetický a klimatický plán však ráta s vybudovaním nových veterných elektrární do roku 2030.

### 3.2.4 Výroba elektrickej energie

Základným výrobným prostriedkom veterných elektrární sú vrtuľové veterné turbíny pripojené na asynchrónny, synchrónny alebo jednosmerný generátor. Generátory s bežným inštalovaným výkonom 500 kW až 3 MW môžu pracovať s konštantnými alebo aj premenlivými otáčkami.

Veterné elektrárne vybavené asynchrónnymi generátormi sú určené pre paralelný chod so sieťou. Je vhodné doplniť ich mikroprocesorovým riadiacim systémom, ktorý umožňuje diaľkové ovládanie a sledovanie chodu. Jednotky so synchrónnymi generátormi môžu pracovať nielen paralelne so sieťou, ale i nezávisle na nej. Môžu sa využívať napríklad ako zdroje, ktoré zabezpečujú potrebnú dodávku elektrickej energie do elektrickej siete pri štarte z tmy. Prúd jednosmerného generátora sa používa na elektrolýzu vody a nosičom energie je potom vodík.

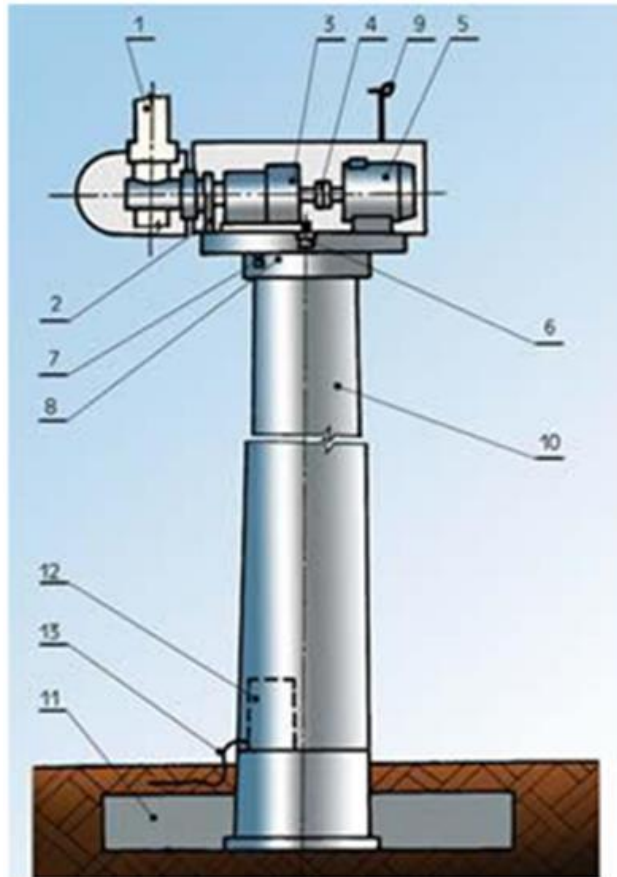
Z dôvodu nízkych a premenlivých otáčok veternej turbíny je výhodnejšie používať asynchrónne generátory a meniče s jednosmerným medziobvodom, ktorými sa získané napätie najprv usmerní a potom invertuje na požadované striedavé napätie o frekvencii 50 Hz. Na jednej strane tento statický usmerňovač s invertorom zvyšuje kapitálové náklady, na druhej strane umožňuje vyrábať veľmi kvalitné napätie a zjednodušuje paralelnú prevádzku so sieťou.

V súčasnosti sa začali uplatňovať tzv. multifrekvenčné alternátory budené permanentnými magnetmi, u ktorých je možná výroba elektrickej energie s konštantným napätím a frekvenciou pri rozličných zaťaženiach bez ohľadu na otáčky veternej turbíny. Pretože výstupná frekvencia generátora je premenlivá, medzi generátor a záťaž je vložený výkonový polovodičový menič, ktorý zabezpečuje na svojom výstupe konštantnú frekvenciu. Keďže amplitúda výstupného a vstupného napätia, vďaka meniču, nie je spriahnutá, je zbytočné v tomto systéme používať tradičný generátor so všetkými jeho komponentmi (budič, regulátor, rotujúce diódy, budiace cievky). Vhodnejšie je preto používať generátor budený permanentnými magnetmi.

Energia vetra sa mení na elektrickú energiu vo veterných turbínach. Veterná turbína je výrazne najväčšou položkou v projekte využitia veternej energie (tvorí až 65 - 82 % celkových nákladov).

Podľa orientácie osy otáčania delíme veterné elektrárne na:

- s vertikálnou osou otáčania,
- s horizontálnou osou otáčania.



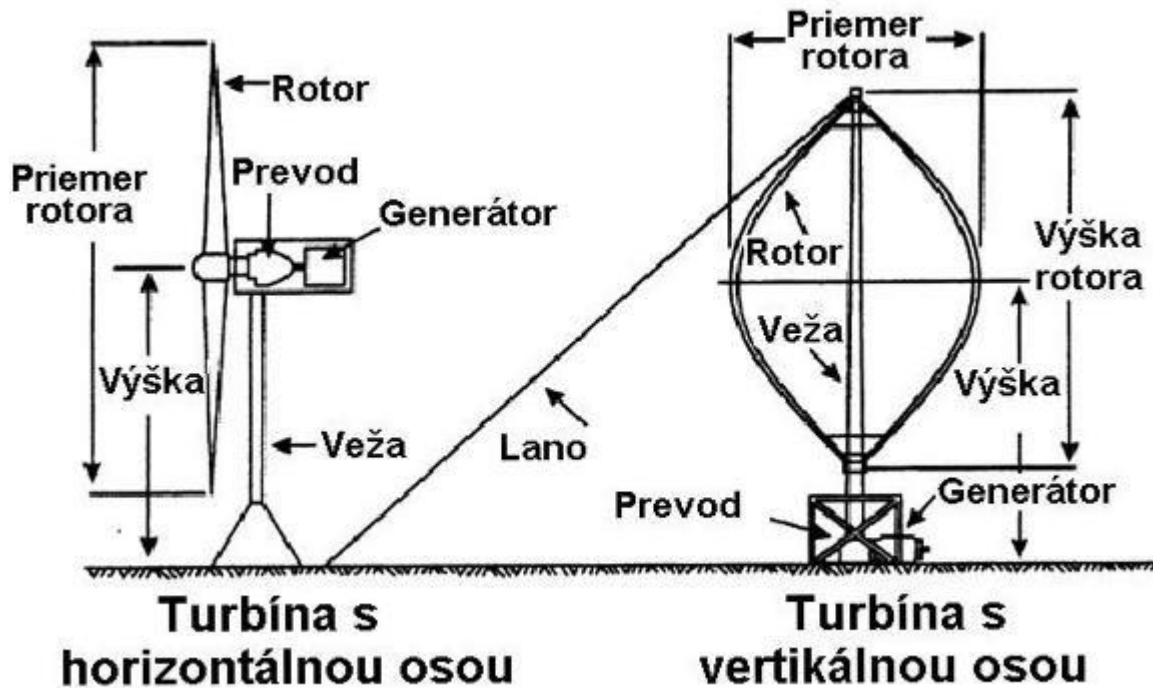
**Obrázok 12 - Konštrukcia veternej elektrárne s horizontálnou osou natáčania** (ZDROJ STU)

- 1 – rotor s rotorovou hlavou a listami; 2 – brzda rotora; 3 – planetová prevodovka  
 4 – spojka; 5 – generátor; 6 – natáčanie strojovne  
 7 – brzda; 8 – ložisko; 9 – meranie rýchlosti a smeru vetra  
 10 – veža elektrárne; 11 – betónový základ; 12 – rozvádzač; 13 – elektrická prípojka

Najbežnejšie typy turbín sú turbíny s horizontálnou osou. Existujú však aj turbíny so zvislou osou otáčania. Ich výhodou je vyššia rýchlosť otáčania a tým aj vyššia účinnosť. Fungujú teda aj pri nižšej rýchlosti vetra a nie je potrebné ich natáčať podľa smeru vetra. Tento typ elektrární sa doteraz v praxi príliš nepoužíval kvôli vyššiemu dynamickému namáhaniu a kratšej životnosti. Tento problém sa však už podarilo do značnej miery konštrukčne vyriešiť a vďaka ich výhodám a menšej hlučnosti sa začínajú využívať aj v mestskej zástavbe. Stále ide však o menšie zariadenia s nižšími výkonmi.

Napriek rozdielnej konštrukcii turbín s horizontálnou a vertikálnou osou je ich mechanika prakticky rovnaká. Rýchlosť otáčania listov sa prenáša na generátor pomocou prevodov. Prevody sú potrebné na to, aby bolo možné účinne využiť meniacu sa rýchlosť vetra. V súčasnosti sa vyvíjajú turbíny bez prevodov, čo by znamenalo značné zníženie nárokov na ich konštrukciu, životnosť a tým aj cenu.

Niektoré turbíny sú konštruované tak, že sa natáčajú do smeru vetra. Obidva typy (natáčané aj nenatáčané) majú niekoľko výhod i nevýhod. Lepšie využitie sily vetra pri natáčaných turbínach si vyžaduje komplikovanejšie ložiská a ďalšie zariadenia, čo negatívne ovplyvňuje ich spoľahlivosť. Turbíny s pevne fixovaným rotorom sú jednoduchšie a nevyžadujú až takú údržbu, ale produkujú menej elektriny ako natáčacie systémy.



Obrázok 13 - Porovnanie konštrukcií turbín s horizontálnou a vertikálnou osou (ZDROJ energoportál)

Veterná turbína sa zvyčajne skladá z týchto hlavných komponentov:

- listy rotora
- rotor
- prevody
- generátor
- elektronika a regulačné zariadenie

Veľké turbíny majú rotor najčastejšie s tromi listami umiestnenými na vrchu stožiaru, ale počet listov môže byť rôzny. Listy rotora musia čo najviac zachytávať prúdiaci vzduch. Rotor s veľkým počtom listov pokrýva celú plochu zabranú rotorom aj pri malých otáčkach, kým rotor s menším počtom listov sa musí otáčať rýchlejšie, aby pokryl celú plochu. Teoreticky čím viac má rotor listov, tým by mal byť účinnejší. V skutočnosti sa však listy rotora vzájomne ovplyvňujú a veľký počet listov spomaľuje otáčky. Na druhej strane väčší počet listov dáva vyšší počiatočný moment krútenia, čo využívajú malé agregáty štartujúce už pri malých rýchlostiach vetra.

Prevody a ložiská sú dôležité z pohľadu účinného prenosu krútiaceho momentu na generátor elektrického prúdu. Veterný generátor má podobnú konštrukciu ako generátor v tradičnej elektrárni na fosílnu palivú. Činnosť jednotlivých komponentov v turbíne je regulovaná elektronicky a môže byť riadená aj diaľkovo. Úlohou regulácie je udržať rovnaké napätie pri meniacich sa otáčkach generátora.

### 3.2.5 IoT poháňa veterné turbíny

Moderné veterné turbíny môžu obsahovať stovky senzorov a akčných členov – od tenzometrov, nástrojov na monitorovanie ložísk až po technológie kondicionovania energie. Ročne tak vykazujú astronomické množstvá informácií s veľkým potenciálom.

Riadenie turbíny je sofistikovanou úlohou, ktorá vyžaduje veľa spolupracujúcich procesorov uzatvárajúcich vysokorýchlostné slučky a implementáciu inteligentných algoritmov na monitorovanie a

optimalizáciu. Skutočnou výzvou je však integrácia týchto turbín tak, aby spolupracovali. Kritickým faktorom je aj zaťaženie a potenciálne poškodenie veterných turbín v prípade nepriaznivého počasia, keď treba zosúladiť výrobu energie so zaťažením. V búrke sa musí napr. riadiaci systém rozhodnúť, ako vyťažiť energiu z nárazov vetra, aby sa vytvorila konštantná energia.

Siemens Wind Power je jedným z najväčších výrobcov inteligentných veterných turbín. Spoločnosť sa rozhodla integrovať svoje systémy pomocou priemyselného internetového riešenia založeného na technológii RTI Connex® DDS. Priemyselný internet s technológiou Connex DDS umožňuje rýchlu komunikáciu a kontrolu turbín, distribúciu zmiernenia nárazov vetra na celej veternej farme a integráciu späť do riadiaceho centra s cieľom prediktívnej údržby a diagnostiky.

Dnes spoločnosť Siemens Gamesa uchováva najväčšie množstvo historických údajov v tomto odvetví – databázu, ktorá rastie denne zhromažďovaním údajov z viac ako 10 000 turbín na celom svete. Vnútri každej inteligentnej turbíny je viac ako 300 senzorov nepretržite vysielajúcich viac ako 200 gigabajtov údajov denne do najmodernejšieho vzdialeného diagnostického centra spoločnosti Siemens Gamesa v Brande v Dánsku. Pokročilými analytickými metódami a nepretržitým monitorovaním veterných fariem získavajú údaje, ktoré tu premieňajú na cenné poznatky. To im umožňuje predvídať a predchádzať neplánovaným prestojom a podstatne predĺžiť životný cyklus každej inteligentnej veternej turbíny. Zo servisných správ podobných modelov v globálnej flotile určujú aj to, kedy a ako by sa mala turbína opravovať – dni, týždne, mesiace a dokonca roky vopred. Táto prediktívna schopnosť redukuje neplánovanú údržbu a prestoje.

Využitie technologického pokroku v oblasti analýzy údajov a internetu vecí (IoT) tak umožňuje vývoj inteligentných veterných turbín so zvýšenou konektivitou, optimalizáciou prevádzky a prediktívnou údržbou.

### 3.3 Malé vodné elektrárne

#### 3.3.1 Analýza problematiky

K dnešnému dňu sú vodné elektrárne najviac rozšíreným zdrojom elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov. Je to najmä pre ich účinnosť a spôsob regulácie výkonu. Zdrojom energie vo vodných elektrárnach je potenciálna energia vody, ktorá sa pri dopade na turbínu mení na mechanickú a následne v generátore na elektrickú. Pomimo výroby elektrickej energie je možné využiť vodné elektrárne aj na reguláciu toku, možnosť plavby lodí, zavlažovanie, rybolov či na rekreačné účely.

MVE predstavuje stavbu vodohospodársku a energetickú. Ich primárna funkcia je však výroba elektrickej energie. Pohľad na postavenie a funkcie MVE sa menil s historickým vývojom energetiky. Vodné elektrárne sú jednými z prvých elektrární na našom území. Najskôr to bola dodávka elektrickej energie pre samostatné prevádzky, neskôr, po vybudovaní jednotnej elektrizačnej sústavy (ES), boli zapojené do tejto ES. S postupným zvyšovaním spotreby elektriny sa zvýšilo budovanie nových zdrojov (vodné, tepelné alebo jadrové) výkonovo oveľa väčšie, ako 10 MW. Tým došlo k zmene postavenia MVE. Stali sa v podstate doplnkovými zdrojmi. V súčasnosti ich význam je predovšetkým v regionálnej energetike, čo prináša lokálne vylepšovanie bilancie výroby elektrickej energie.

Na výkon VE všeobecne má vplyv najmä stav povodia, resp. konkrétnych tokov, na ktorých sú jednotlivé VE postavené. Stav výšky vodných tokov (a ich prietok) ovplyvňujú atmosférické javy. Úhrn zrážok významne určuje prietok a následné využitie tejto energie na výrobu elektrickej energie. Na mnohých miestach sú stavané zádržné vodné plochy, ktoré sú poistkou práve pred nepriaznivými atmosférickými javmi, v tomto prípade dlhotrvajúcimi suchami. Prirodzene, že dopad vyschnutia miestneho potoka na výrobu a pokrytie prevádzky infraštruktúry je fatálny hlavne pri malých domácich VE (inštalovaný výkon do 35 kW).

Pracovný proces každého vodného stroja, každej vodnej turbíny je určený ich základnými pracovnými parametrami, t. j. veličinami, ktoré charakterizujú proces premeny mechanickej energie vody na mechanickú energiu rotujúceho hriadeľa.

### 3.3.2 Rozdelenie MVE

Za malé vodné elektrárne sa chápu tie, ktoré majú inštalovaný výkon do 10 MW (STN 73 6881). Samotné malé vodné elektrárne sa podľa normy delia na:

- domáce vodné elektrárne s inštalovaným výkonom do 35 kW,
- vodné mikro elektrárne s inštalovaným výkonom od 35 kW do 100 kW,
- vodné mini elektrárne s inštalovaným výkonom od 100 kW do 1 MW,
- priemyselné vodné elektrárne s inštalovaným výkonom od 1 MW do 10 MW.

V súčasnosti sa, aj vďaka štátnej podpore, rozšírili malé vodné elektrárne s inštalovaným výkonom do 1MW.

Delenie MVE z hľadiska umiestnenia výroby - 3 typy:

- MVE, ktoré dodávajú všetku vyrobenú energiu do elektrizačnej sústavy
- MVE, ktoré sa využívajú prednostne na krytie vlastnej spotreby, iba prebytky sa dodávajú do sústavy
- MVE, ktoré sa využívajú výlučne na krytie vlastnej spotreby a nie sú pripojené do sústavy

Medzi výhody použitia Archimedovej skrutky v malých vodných elektrárnach patrí:

- možnosť využitia malých spádov a prietokov aj tam, kde by bolo problematické inštalovať iný zdroj,
- robustnosť, možnosť spracovať znečistené vody bez ich predchádzajúceho čistenia, odolnosť proti abrázii, vysoká spoľahlivosť, minimálna obsluha,
- ekologická vhodnosť – ryby, žaby a ostatné vodné živočíchy prejdú skrutkou bez problémov,
- pri malých zdrojoch a mikro zdrojoch s asynchrónnym motorom v generátorovom chode nie je žiadna regulácia, a tým lacnejší agregát,
- skrutkové čerpadlá sa bežne vyrábajú, preto je možné sériové diely výhodne použiť vo funkcii vodného motora.

Jedná sa o skrutku šikmo uloženú v žľabe alebo v trubke, pričom využíva potenciálnu energiu vody.

Podľa spôsobu využitia vodnej energie rozlišujeme rôzne typy vodných elektrární:

- **Kinetická energia** je daná rýchlosťou prúdenia vodných tokov, pričom rýchlosť vody závisí od spádu toku. Kinetickú energiu v minulosti premieňali vodné kolesá na mechanickú prácu, dnes sa v turbínach typu Banki a Pelton mení na elektrickú energiu.
- **Potenciálna energia** vzniká v dôsledku gravitácie a závisí od výškového rozdielu hladín. Využíva sa pomocou turbín typu Kaplan, Francis, Reiffenstein a rôznych typov turbín vrtuľových a čerpadiel v turbínovej prevádzke.

Základné schémy MVE (poloha voči vodnému toku):

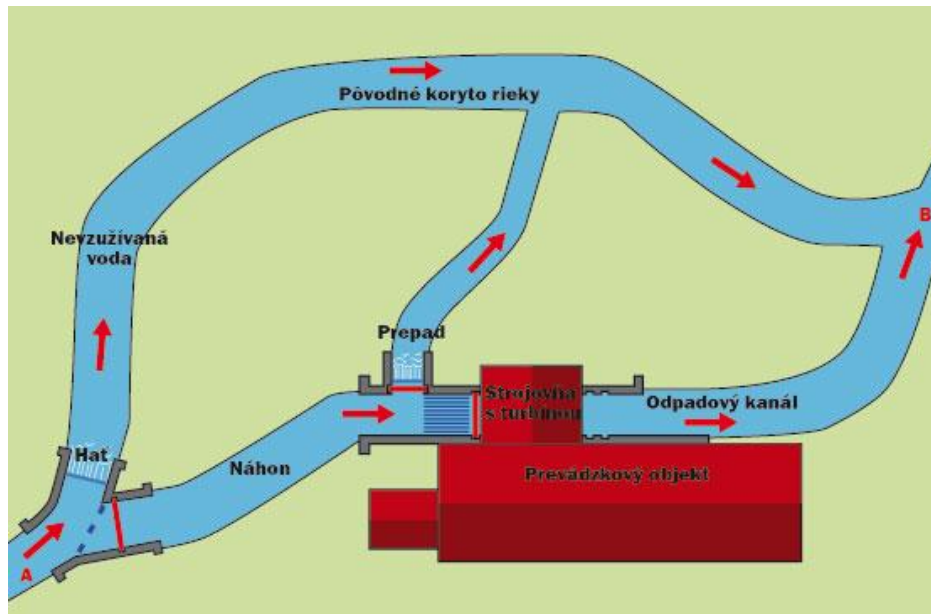
- prihaťová (priamo na toku),
- derivačná
  - beztlaková derivácia (koryto, kanál),
  - tlaková derivácia (potrubie, tlaková stôlna),
  - kombinovaná derivácia -> beztlakovo-tlaková (napred kanál a potom potrubie).

### 3.3.2.1 MVE umiestnené na toku

MVE využíva rozdiel hladín medzi bodmi A a B. Potrebný spád sa získa vzduťím vody na hati. Strojovňa tohto typu MVE stojí priamo na brehu hlavného toku. Voda na pohon turbíny sa odoberá na hati a za strojovňou sa vracia do toku. Hať musí byť vysoká. Pri tomto riešení nie je potrebný dlhý náhon a odpadový kanál. Takáto MVE je vhodná pri malých spádoch a veľkých prietokoch, obyčajne v nížinách. Akumuláciu vody možno využiť iba v rámci vzduťia hladiny haťou. V porovnaní s derivačnou MVE toto riešenie si nevyžaduje veľkú plochu zastavaných pozemkov. Prevádzkové priestory sú konštrukčne jednoduché, ale sú vystavené riziku povodní. Stavbu i opravy je potrebné realizovať počas trvalého prietoku vody v toku.

### 3.3.2.2 Derivačné MVE

MVE aj v tomto prípade využíva rozdiel hladín medzi bodmi A a B. Strojovňa MVE stojí mimo pôvodný vodný tok. Voda sa k nej privádza pomocou náhonu a späť do toku sa vracia odpadovým kanálom. Okrem hate a odberného objektu nie sú na hlavnom toku ďalšie stavby a zásahy. Hať nemusí byť taká vysoká ako v predchádzajúcom prípade. Je potrebná iba na to, aby ňou bolo možné vodu odoberať do náhonu (stačí výška 20 cm a viac).



Obrázok 14 - Derivačná MVE

Potrebný spád pre pohon turbíny sa získa takmer vodorovným vedením náhonu, zatiaľ čo pôvodné riečište klesá rýchlejšie. Podobne sa rieši aj odpadový kanál. Preto je hladina vody pod turbínou oveľa nižšia než je hladina v bode C. Takto sa doteraz navrhovala väčšina MVE. Ich výhodou bolo, že k prevádzkovému objektu sa privádzal iba potrebný objem vody a preto bol objekt počas povodní lepšie chránený. Výraznou nevýhodou však bola náročná údržba dlhého náhonu.

Členený terén neraz vyžadoval zložitejšie, ale efektívne kaskádové riešenia, pri ktorých náhon privádzal vodu odobratú z hlavného toku do niekoľkých MVE alebo vodných mlynov pod sebou. Náklady na stavbu a údržbu hate prípadne akumulačnej nádrže sa tak rozložili medzi viacerých majiteľov vodných diel a voda vyčistená na prvých česlách slúžila všetkým.

Podľa veľkosti spádu rozdeľujeme derivačné MVE na:

- nízkotlakové (spád do 8 m)
- vysokotlakové (spád nad 8 m).

### 3.3.2.3 Turbíny, Mikroturbíny

Od počiatku až po súčasnosť bolo snahou pri vývoji vodných turbín, resp. ich hydraulického a konštrukčného riešenia, zvyšovať účinnosť stroja pri znižovaní hmotnosti na jednotku jeho výkonu a raste výkonu turbíny. V súčasnej dobe sa bežne používajú:

- *pretlakové stroje: Francisova, Dériazova, Kaplánova turbína*
- *rovnotlaké stroje: Peltonova a Bánkiho turbína*

Vodné turbíny sú lopatkové vodné motory, ktoré menia energiu vody na mechanickú prácu na hriadeli. Napr. na spoločnom hriadeli so synchronným generátorom vo vodnej elektrárni. Turbína sa skladá z rozvádzacieho zariadenia (rozvádzacieho kolesa, dýzy), ktoré usmerňuje prietok vody a z obežného kolesa, ktoré vode odoberá energiu. Rovnotlakové vodné turbíny, môžu spracovávať spády vyše 1000 metrov a pretlakové turbíny, ktoré sa používajú na spracovanie menších spádov do 400 m.

Pri výbere najvhodnejšej turbíny je dôležité zamerať sa na účinnosť, odolnosť voči erózii v prípade väčších nánosov piesku a bahna, prevádzkovú rýchlosť a flexibilitu zariadenia, dlhú životnosť a jednoduchú a ľahkú údržbu.

Turbíny možno rozdeliť podľa princípu premeny energie na:

- *impulzné* - Tieto turbíny menia smer prúdu tekutiny, ktorý má vysokú rýchlosť a tým aj vysokú kinetickú energiu. Prúd je vytváraný prechodom tekutiny o vysokom tlaku tryskou. Po jej opustení naráža na lopatky turbíny, výsledný impulz roztáča turbínu za súčasného zníženia kinetickej energie prúdu, resp. zmeny jeho smeru. Po opustení trysky ani počas impulzu sa tlak tekutiny nemení. Príkladom aplikovania takéhoto princípu je Peltonova turbína. Premena energie sa pre tento princíp riadi druhým Newtonovým zákonom.
- *reakčné* - Tieto turbíny vytvárajú krútiaci moment na základe pôsobenia reakčných síl pri zmene smeru a rýchlosti prúdenia tekutiny v priestore medzi lopatkami rotora. Príkladom aplikovania takéhoto princípu je Francisova turbína. Premena energie sa pre tento princíp riadi tretím Newtonovým zákonom.

Podľa konštrukcie sa turbíny delia na:

- *otvorené* - pri ktorých nie je rotor uzavretý telesom statora. Sú to napríklad veterné turbíny. Pracujú s priamo nemerateľným množstvom tekutiny.
- *zatvorené* - pri ktorých je rotor uzavretý telesom statora. Množstvo tekutiny pretečené telesom za jednotku času je známe.

Podľa smeru prúdenia tekutiny sa delia na:

- *axiálne* - v ktorých tekutina prúdi prevažne v smere osi rotácie rotora.
- *radiálne* - v ktorých sa smer prúdenia tekutiny mení, avšak na významnej časti dráhy je kolmé na os rotácie rotora.
- *diagonálne*

Pretože väčšina vhodných lokalít pre výstavbu MVE je už obsadená, pozornosť sa obracia aj na miesta, kde inštalácia elektrárne dosiaľ nebola technicky možná alebo ekonomicky výhodná.

Mikroturbína je určená pre oblasť malých spádov (do 2 m) a nízkych prietokov (do 20 l/s), kde nie sú vhodné bežne používané turbíny. Využitie tejto oblasti s malými spádmi bude v budúcnosti veľmi významné, pretože hydroenergetický potenciál sa postupne vyčerpáva. Turbína disponuje dvomi spôsobmi regulácie – natočením lopatiek a posunom výsuvnej časti žľabu.

Mikroturbíny sú zariadenia s výkonom menším ako 1 000 W. Sú schopné zabezpečiť energiu pre jednu domácnosť vybavenú energeticky úspornými spotrebičmi. Majú veľkosť prenosného kufríka vybaveného alternátorom produkujúcim jednosmerný prúd. Typická mikro-vodná elektráreň využíva časť vodného toku privádzanú do zásobníka, ktorým môže byť napr. 200 litrový sud. Sud funguje ako usadzovacia nádrž filtrujúca vodné nečistoty. Voda zo suda je k turbíne privádzaná potrubím s priemerom 5 až 10 cm a po vypustení z turbíny je odvádzaná naspäť do vodného toku. Dôležité je dbať na presný výpočet dĺžky a priemeru potrubia, lebo práve tam dochádza k najväčším stratám energie. Použitie dlhých potrubí s malým priemerom v dôsledku zvýšeného trenia zbytočne znižuje výkon



zariadenia. Preto sú investície do kvalitného potrubia a turbíny zvyčajne efektívnejšie než investície do kvalitných batérií.

Dodávajú sa v dvoch verziách. Jedna využíva alternátor podobný zariadeniu v automobiloch, druhá využíva permanentný magnet. Zariadenia s alternátorom sú vhodné pre väčšie systémy (100 až 1000 W), kým permanentné magnety sa používajú pre systémy s výkonom menším ako 80 W. Mikroturbíny sa často využívajú na dobíjanie série batérií. Batérie sú dobíjané okamžite po odbere energie z nich a preto nie je potrebné používať tzv. solárne batérie s hlbokým cyklom vybíjania, ale stačí použiť klasické automobilové batérie, ktoré sú lacnejšie.

### 3.3.2.4 Časti a zariadenia vodných diel

**Vodné dielo** je sústava stavebných a strojných zariadení, ktoré premieňajú energiu vody na elektrickú energiu. Premena sa však uskutočňuje iba vo vodnom motore (turbíne), zatiaľ čo úlohou ostatných častí je dopraviť k motoru s minimálnym odporom potrebné množstvo neznečistenej vody a maximálne zachovať získaný spád.

**Vzdúvacie zariadenia (hrádze, hate a stavidlá)** slúžia na zvýšenie vodnej hladiny v toku a na usmernenie vody do privádzača.

**Hrádze** sa vyznačujú obvykle väčšou výškou vzdúvania, väčším objemom zadržanej vody a plochou zaplavovaného územia. Ich výstavba len na prevádzkovanie malých vodných elektrární je z ekologického aj ekonomického hľadiska zväčša neúnosná, avšak využitie už existujúcich hrádzí môže byť ekonomicky veľmi výhodné. Napríklad u základových výpustov nádrží je nutné meniť energiu pretekajúcej vody, napríklad inštaláciou rozstrekovacích uzáverov. Pritom túto funkciu môže čiastočne prebrať vodná turbína. Ďalšia možnosť je inštalácia vodnej turbíny na privádzače pitnej vody.

**Stavidlá a hate** zabezpečujú v porovnaní s hrádzami menšiu výšku vzdúvania a podstatne menší objem zadržanej vody. Náklady na ich výstavbu rastú s ich šírkou. Pri širších tokoch sú nákladné, lebo pri stavbe vyžadujú špeciálnu mechanizáciu. Pri nižinných tokoch je zachovalé stavidlo väčšinou nutnou podmienkou výstavby MVE.

**Privádzače (náhony)** sústreďujú spád do miesta inštalácie vodnej turbíny.

- **Beztlakové privádzače (náhony, kanály)** sa budujú prevažne výkopom v teréne. Náklady závisia od dĺžky, priečnej svahovitosti terénu, typu zemin a s tým súvisiaceho druhu opevnenia stien koryta. Najvýhodnejšia je oprava pôvodného náhonu, prípadne voľba rovnakej trasy z dôvodu jednoduchšieho získavania a zamerania pozemku.
- **Tlakové privádzače** sú najčastejšie zhotovené z oceľových rúr, prípadne zo železobetónu. Merné náklady na ich výstavbu sú vyššie než u beztlakových náhonov, najmä pri tokoch podhorských a horských. Ekonomicky môžu byť výhodnejšie než beztlakové iba pri veľkom pozdĺžnom spáde toku, preto sa realizujú čo najkratšie. Často sa oba typy privádzačov kombinujú, aby sa dosiahol maximálny spád a minimálne náklady.

**Česlá (hrablice)** zhotovované prevažne ako mreža z pásovej ocele zabraňujú vniknutiu vodou unášaných nečistôt do turbíny. Obvykle sú pred turbínou najmenej dve česlá: hrubé a jemné, často s automatickým čistením.

V **strojovni** je umiestnené strojové a elektrotechnické zariadenie elektrárne. **Stavebná časť turbíny** (základy, betónová špirála atď.) spolu so strojovou časťou tvoria elektrárňu ako celok. Pri voľbe typu turbíny je nutné zohľadniť rozmery a konštrukciu stavebnej časti, pretože drahšie strojové vybavenie môže svojou kompaktnosťou celkové investičné náklady znížiť.

**Odpadové kanály** vracajú vodu do pôvodného koryta. Budujú sa čo najkratšie, takže náročnosť ich výstavby a prevádzkové náklady sú oproti ostatným častiam vodnej elektrárne skoro bezvýznamné. Pri dlhších kanáloch je treba posúdiť podobné kritériá ako pri beztlakových privádzačoch.

**Vodné koleso** je dnes už historický vodný motor, ktorý môže nájsť uplatnenie najmä pre spády do 1 m a prietoky až do niekoľko  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Výroba je vždy individuálna.

**Kaplanova turbína** je klasická pretlaková turbína. V základnom prevedení je výborne regulovateľná, ale výrobné náročná. Dnes ju vyrába viacero firiem v Českej republike s rôznymi úpravami regulácie aj dispozičným usporiadaním (kolenové alebo priamoprúdové turbíny). Je použiteľná pre spády od 1 do 20 m, prietoky 0,15 až niekoľko  $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , niekedy až niekoľko desiatok  $\text{m}^3/\text{s}$ . Vhodná je predovšetkým pre stavidlové a riečne elektrárne.

**Vírová turbína** bola vyvinutá pre nízke spády, pri ktorých Kaplanove turbíny vykazovali nízku účinnosť. Princíp vírovej turbíny spočíva v tom, že voda vstupuje do obežného kola v smere osi rotácie a až za ním začne rotovať. Vírová turbína pracuje bez špirály a rozvádzačieho kola. Regulácia sa realizuje zmenou otáčok. Turbína pracuje pri vyšších otáčkach a vďaka tomu nepotrebuje prevodovku. Celkovo je teda konštrukčne jednoduchšia a finančne menej nákladná.

**Francisova turbína** je v minulosti najpoužívanejšia pretlaková turbína vhodná pre takmer celé spektrum prietokov a spádov. Na rekonštruovaných MVE je možné vidieť ju už od spádu 0,8 m. Jej oprava sa oplatí najmä od spádu 3 m. Inštalácia nových turbín v MVE sa dnes obmedzuje na spády od 10 m a pre väčšie prietoky (vyššie výkony).

**Bánkiho turbína** je rovnotlaková turbína s dvojnásobným prietokom obežného kola. Výrobné je nenáročná. Turbíny sú podľa veľkosti použiteľné pre spády 5 až 60 m a prietoky 0,01 až  $0,9 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ .

**Peltonova turbína** je rovnotlaková turbína vhodná pre spády nad 30 m. Využitelné prietoky sú od  $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$  (10 l/s). Lacnejšou náhradou môžu byť v niektorých prípadoch sériovo vyrábané odstredivé čerpadlá v reverznom chode použité za cenu nižšej účinnosti.

**Turbína SETUR** pracuje na princípe odvaľovania rotačného telesa vo výtokovom konfuzore, pričom využíva hydrodynamický paradox. To je jav, ktorý spôsobuje, že guľa je ku stene priťahovaná o to viac, čím rýchlejšie medzi telesom a stenou prúdi kvapalina. Možno ju využiť pre spády do 20 m a prietoky od 4 l/s do 20 l/s.

### 3.3.2.5 Elektrotechnické zariadenia malých vodných elektrární

Už pri návrhu stavebnej časti MVE je potrebné poznať aj druh a rozsah elektrického zariadenia, pretože toto má vplyv na dispozičné riešenie a statické riešenie strojovne elektrárne.

Základnými prvkami elektrického systému MVE sú:

- generátor
- vývody z generátora
- rozvodňa generátorových vývodov
- blokový transformátor
- vonkajšia rozvodňa
- transformátor vlastnej spotreby
- elektrické motory pre ovládanie rôznych zariadení (žeriavy, čerpadlá, klapky atď.)
- budiče generátorov
- pomocné zariadenia (odpojovače, ističe, vypínače a pod. )

Vlastnú premenu mechanickej energie, dodávanej vo forme momentu z rotujúceho hriadeľa vodného stroja, zaisťuje elektrický generátor. Tento generátor je pripojený prostredníctvom prenosového a obvykle aj transformačného zariadenia k miestu spotreby. Prenosovú cestu tvorí elektrický obvod so spínacími a istiacimi prístrojmi, riadiacimi, meracími a zabezpečovacími obvodmi. Elektrické zariadenie MVE úzko súvisí s usporiadaním hydroagregátu, jeho parametrami a s charakterom spotreby vyrobenej elektrickej energie.

### 3.3.2.6 Parametre malých vodných elektrární

Vytypované parametre a ich označenie pre vodnú turbínu a hydrogenerátor, s ktorými sa uvažuje v databáze pripravovanej aplikácie, sú uvedené v Prílohe č.1 tohto materiálu.

Z fyzikálneho hľadiska je pri využití energie vody rozhodujúci predovšetkým prietok  $Q$ , t.j. množstvo / objem vody, ktorý pretečie daným profilom za jednotku času ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ) a vertikálna výška spádu vody  $H$  (m), vyjadrujúceho tlak padajúcej vody.

V nasledujúcej tabuľke sú zobrazené hodnoty pre základné parametre pre vybrané vodné stroje.

**Tabuľka 22 - Vybrané vodné zdroje**

Vybrané vodné stroje	Spád H m	Prietok Q l/s	Účinnosť %
Archimedova skrutka	1 - 8	100 - 5 000	70 - 82
Bánkiho turbína	1 - 50	0,5 - 20 000	78 - 84
Peltonova turbína	30 - 700	1,5 - 34 000	85 - 90
Turbína SETUR	0,6 - 20	4 - 500	40 - 75
Vírová turbína	1 - 5	od 200	75 - 85
Vodné kolo	1 - 12	do 5 000	60 - 78

Pre výpočet výkonu s uvažovaním účinnosti turbíny potom platí nasledujúci vzorec:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta$$

$P$  – výkon [kW]

$\rho$  – hustota vody [ $kg \cdot m^{-3}$ ]

$g$  – gravitačné zrýchlenie [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$Q$  – prietok [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

$H$  – spád [m]

$\eta$  – účinnosť turbíny [-]

**Predbežný odhad dosiahnuteľného výkonu MVE:  $P = k \cdot Q \cdot H$**

$P$  - je výkon [kW]

$Q$  - je prietokové množstvo vody, priemerný prietok [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

$H$  je spád využiteľný turbínou v [m]

$k$  - je konštanta uvádzaná v rozsahu 5-7 pre malé vodné elektrárne, 8-8,5 pre stredné a veľké; jej veľkosť ovplyvňuje účinnosť agregátu a technickú úroveň použitej technológie

**Množstvo vyrobenej elektriny vo vodnej elektrárni počas roka:  $E = P \cdot T$**

$E$  - je množstvo vyrobenej energie počas roka [kWh]

$P$  - je výkon [kW]

$T$  - je počet prevádzkových hodín počas roka [h]

Počet prevádzkových hodín počas roka sa stanoví podľa počtu dní  $M$ , v ktorých môže turbína so zvoleným regulačným rozsahom pracovať (aspoň 4 000 h).

### 3.3.2.7 Spád

Spád je výškový rozdiel vodných hladín. V praxi sa väčšinou rozlišujú dva druhy spádov:

- **Hrubý (celkový) spád**  $H_b$  je celkový statický spád daný rozdielom hladín pri nulovom prietoku vodnou elektrárnou. Pre veľmi hrubé odhady ho možno určiť z mapy. Spád možno stanoviť výškovou niveláciou na úseku od vtokového objektu (nad stavidlom), po úroveň spodnej hladiny na odpade z turbíny. Pre relatívne presný odhad postačí latka s centimetrovým delením. Presné meranie, najmä u dlhších privádzačoch, možno objednať u špecialistu.
- **Využitelný (čistý) spád**  $H$  sa líši od hrubého spádu odčítaním hydraulických strát, ktoré vznikajú tesne pred vodným motorom a za ním (v privádzači a odpade) vplyvom poklesu hladiny hornej vody pri prevádzke, vplyvom vzdúvania hladiny spodnej vody a ďalej zmenami smeru toku a objemovými stratami (v česliach, v privádzacom kanáli, v potrubí a podobne).

### 3.3.2.8 Prietok

Prietok je množstvo vody, ktoré pretečie za časovú jednotku v danom využitelnom profile. Presný prietok na tokoch sa dá zistiť z databáz Slovenského hydrometeorologického ústavu alebo z údajov príslušnej správy toku ako tzv. dlhodobý priemerný prietok  $Q_a$ , N-ročné prietoky a M-denné prietoky.

Na stanovenie využiteľnej energie vody sú najdôležitejšie M-denné prietoky (krivka prekročenia prietoku v priemernom vodnom roku alebo M-denná odtoková závislosť). Tieto hodnoty udávajú prietok zaručený v danom profile toku po určitý počet dní. Údaje sa uvádzajú číselne v obvyklom členení po 30 dňoch v roku.

MVE sa obvykle dimenzujú na 90-dňový až 180-dňový priemerný prietok v závislosti od úrovne plánovanej technológie – najmä schopnosti turbíny prispôbiť sa reguláciou zmenám prietokov. Pre výpočet využiteľného prietoku v elektrárni je potrebné počítať s minimálnym sanačným prietokom pôvodným korytom. Sanačné množstvo býva stanovené vo vodoprávnom konaní a zodpovedá obvykle 330, 355 alebo 364-dňovému dennému prietoku vody, ktorý je nevyhnutné ponechať v riečišti a nemožno s ním kalkulovať pre energetické využite.

### 3.3.2.9 Výber vhodných lokalít a zásady pre dimenzovanie

Lokality pre výstavbu nových MVE treba vyberať veľmi citlivo a dôsledne pri tom rešpektovať limity prírodného prostredia. Pri ich plánovaní možno využiť miesta bývalých vodných mlynov a píl. Zvyšky bývalého vodného diela (odtokový kanál, stavidlo a ďalšie časti) môžu výrazne znížiť náklady na výstavbu MVE. Vďaka technológii tzv. mikroturbín možno využiť aj toky s veľmi malým energetickým potenciálom alebo aj vodovodné zariadenie.

Ďalšou možnosťou je inštalácia moderných a účinnejších turbín a agregátov v existujúcich MVE. V prevádzke sú totiž aj storočné zaradenia, čo svedčí o precíznosti práce našich predkov. Moderné technológie však umožňujú využiť vodný potenciál efektívnejšie a energetická produkcia môže byť až o niekoľko desiatok percent vyššia.

Pre posudzovanie vhodnosti konkrétnej lokality z pohľadu využiteľnosti vodnej energie sú rozhodujúce dva základné parametre: využiteľný spád a prietokové množstvo vody v danom vodnom profile.

### 3.3.2.10 Ďalšie potrebné údaje

Na posudzovanie vhodnosti konkrétnej lokality sú ešte dôležité nasledujúce parametre:

- možnosť umiestnenia vhodnej technológie vhodné geologické podmienky a dostupnosť lokality pre ťažké mechanizmy, prípadne vhodnosť pre vybudovanie potrebnej spevnenej komunikácie
- vzdialenosť od prípojky VN alebo VVN s dostatočnou kapacitou
- minimalizácia možného rušenia obyvateľov hlukom, inak je nutné uskutočniť odhlučnenie
- miera zásahu do okolitej prírody a vhodné začlenenie do reliéfu lokality, záťaž pri výstavbe elektrárne a budovaní prípojky, ohrozenie vodných živočíchov

- dodržovanie odberu dohodnutého množstva vody (využitím spoľahlivého automatického riadenia s hladinovou reguláciou sa vylúči nevhodný vplyv obsluhy MVE)
- spôsob odstraňovania naplavenín vyťažených z vody – je nutné zabezpečiť ich odvoz a likvidáciu
- majetkoprávne vzťahy k pozemku – vlastníctvo alebo dlhodobý prenájom pozemku, postoj miestnych úradov

## 3.4 Bioplynové elektrárne

### 3.4.1 Analýza problematiky

Energie z obnoviteľných zdrojov získavajú stále väčší význam – medzi nimi aj získavanie bioplynu z obnoviteľných surovín a biogénnych odpadov. Je to jeden z najefektívnejších spôsobov zhodnotenia biologicky rozložiteľných odpadov. Bioplynové stanice predstavujú vhodný decentralizovaný zdroj z hľadiska stability dodávok elektrickej energie a spätných vplyvov na elektrizačnú sústavu. Výroba elektrickej energie v bioplynových elektrárňach je podobná ako v tepelných elektrárňach pri spaľovaní fosílnych palív, ale s podstatne nižšími hodnotami emisií oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>). Palivom je biomasa alebo biopalivo.

Bioplynové stanice pracujú na princípe anaeróbného rozkladu substrátov s vysokým obsahom organického uhlíka (TOC, CHSK, BSK). Produktmi anaeróbného rozkladu substrátu sú bioplyn (s majoritným podielom metánu v rozsahu od 50 % do 75 %) a digestát, ktorý sa v prípade optimálneho zloženia môže aplikovať na poľnohospodársku pôdu.

Biomasa je organická hmota zámerne produkovaná na energetické účely. Predstavuje najväčší potenciál obnoviteľnej energie. Tvoria ju materiály rastlinného a živočíšneho pôvodu vhodné pre energetické využitie. Biomasa sa považuje z hľadiska emisií CO<sub>2</sub> za neutrálne palivo, pretože pri jej spaľovaní sa uvoľní iba toľko CO<sub>2</sub>, koľko rastlina počas svojho rastu prijala.

Biopalivo je ušľachtilé palivo vyrábané z biomasy – napr. drevné štiepky, pelety, brikety, drevoplyn, bioplyn, bionafta, bioalkohol. Premena biomasy na energiu prebieha dvoma základnými spôsobmi, premenou termochemickou (priame spaľovanie, pyrolýza, splyňovanie) a biochemickou (alkoholové kvasenie, metánové kvasenie).

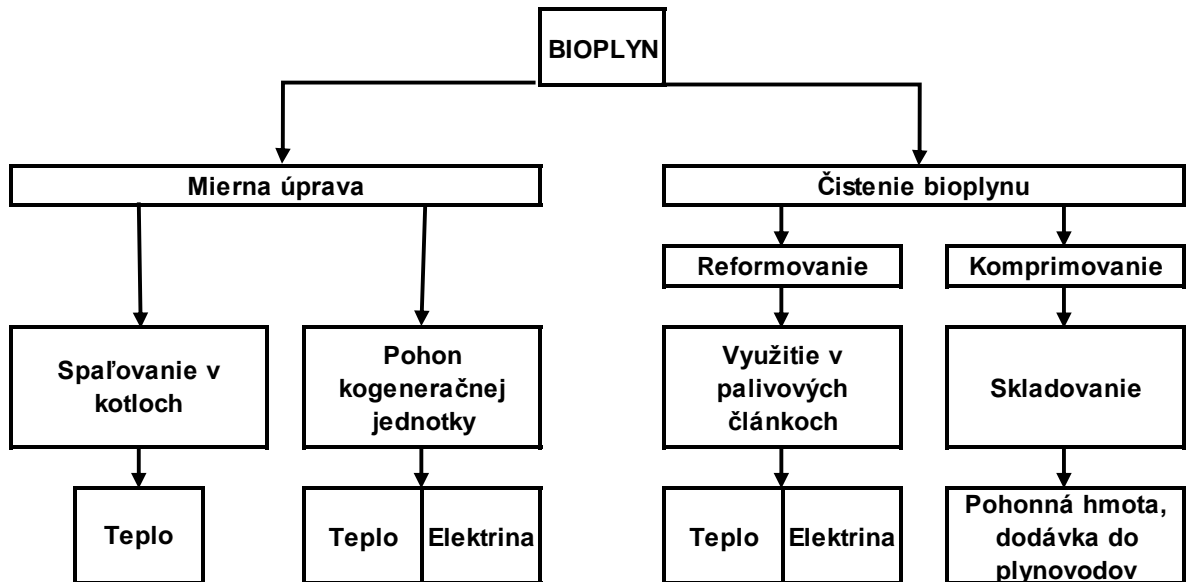
Nájsť vhodnú lokalitu pre výstavbu a prevádzku bioplynových staníc nie je až také problematické ako je to v prípade iných obnoviteľných zdrojov, napríklad malej vodnej elektrárne či veternej elektrárne, kde sa z hľadiska umiestnenia existuje mnoho bariér. Z hľadiska efektivity využitia infraštruktúry je potrebné zaistiť kontinuálny prísun vstupov a tiež vyvedenie elektrického výkonu a tepla. Väčšinou bioelektrárne pracujú do rozvodnej siete. Spravidla však vyrábajú menej energie ako je vlastná spotreba prevádzkovateľa (poľnohospodársky podnik). Majú ale svoje nezastupiteľné miesto pri riešení zálohového napájania.

### 3.4.2 Rozdelenie bioplynových elektrární

Podľa druhu použitého biopaliva a zariadenia na premenu bioenergie na elektrickú energiu, existuje viac spôsobov výroby elektrickej energie:

- parný kotol na pevné, resp. plyné biopalivo s parnou turbínou a generátorom,
- spaľovacia turbína s generátorom poháňaná bioplynom zo živočíšnych exkrementov alebo na drevný plyn,
- piestový motor s generátorom poháňaný bioplynom, bionaftou, etanolom alebo drevným plynom,
- elektrochemický palivový článok napájaný bioplynom, alebo kvapalným biopalivom.

Pre dosiahnutie maximálneho využitia energie v palive sú uvedené zdroje realizované prevažne ako kombinovaná výroba tepla a elektrickej energie – kogeneračné jednotky. Energetický význam tejto produkcie elektrickej energie je relatívne malý. Podstatne väčší význam má dnes ako ekologický spôsob zneškodňovania odpadov. Z 1m<sup>3</sup> bioplynu sa vyrobí až 1,6 kWh elektrickej energie a asi 3,5 kWh tepelnej energie.



Obrázok 15 - Možnosti využitia bioplynu

### 3.4.3 Energetická bilancia bioplynovej elektrárne

Bioplynové elektrárne majú výkon rádovo 100 kW. Výrobné sústrojenstvo tvorí bioplynový motor a elektrický generátor.

Bioplynový motor je obvykle vysokotlakový vznetový piestový motor, často upravovaný z vznetového naftového motora. Motor býva vybavený elektrickými ovládacími prvkami, reguláciou otáčok a signalizáciou. Elektrický generátor je väčšinou synchronný s regulátorom napätia, činného a jalového výkonu. Má tiež ochrany proti preťaženiu a spätnú wattovú ochranu, meracie, fázovacie a registračné prístroje. Miesto synchronného sa môže použiť aj asynchronný generátor, ktorý je jednoduchší a lacnejší. Elektrická výzbroj sa zjednoduší o fázovacie a ochranné prístroje.

V bioplynovej elektrárni sa asi tretina energie obsiahnutej v bioplyne premieňa na elektrickú energiu. Pre zlepšenie energetickej bilancie je treba využiť aj energiu výfukových plynov a chladiacej vody. Udáva sa, že teoretická účinnosť bioelektrárne je asi 83 %, pričom 31 % pripadá na vyrobenú elektrickú energiu a 52 % na vyrobené teplo.

Vstupnou surovinou je biomasa (kukuričná siláž, trávna siláž, biologicky rozložiteľný odpad), ktorá je spracovaná kontinuálne procesom mokrej anaeróbnej fermentácie. Energetickými vstupmi sú tiež elektrická energia na pohon miešadiel a dopravníkov a palivo pre dopravu vyfermentovanej časti biomasy – digestátu.,

Energetickú bilanciu bioplynovej elektrárne môžeme vyjadriť vzťahom:

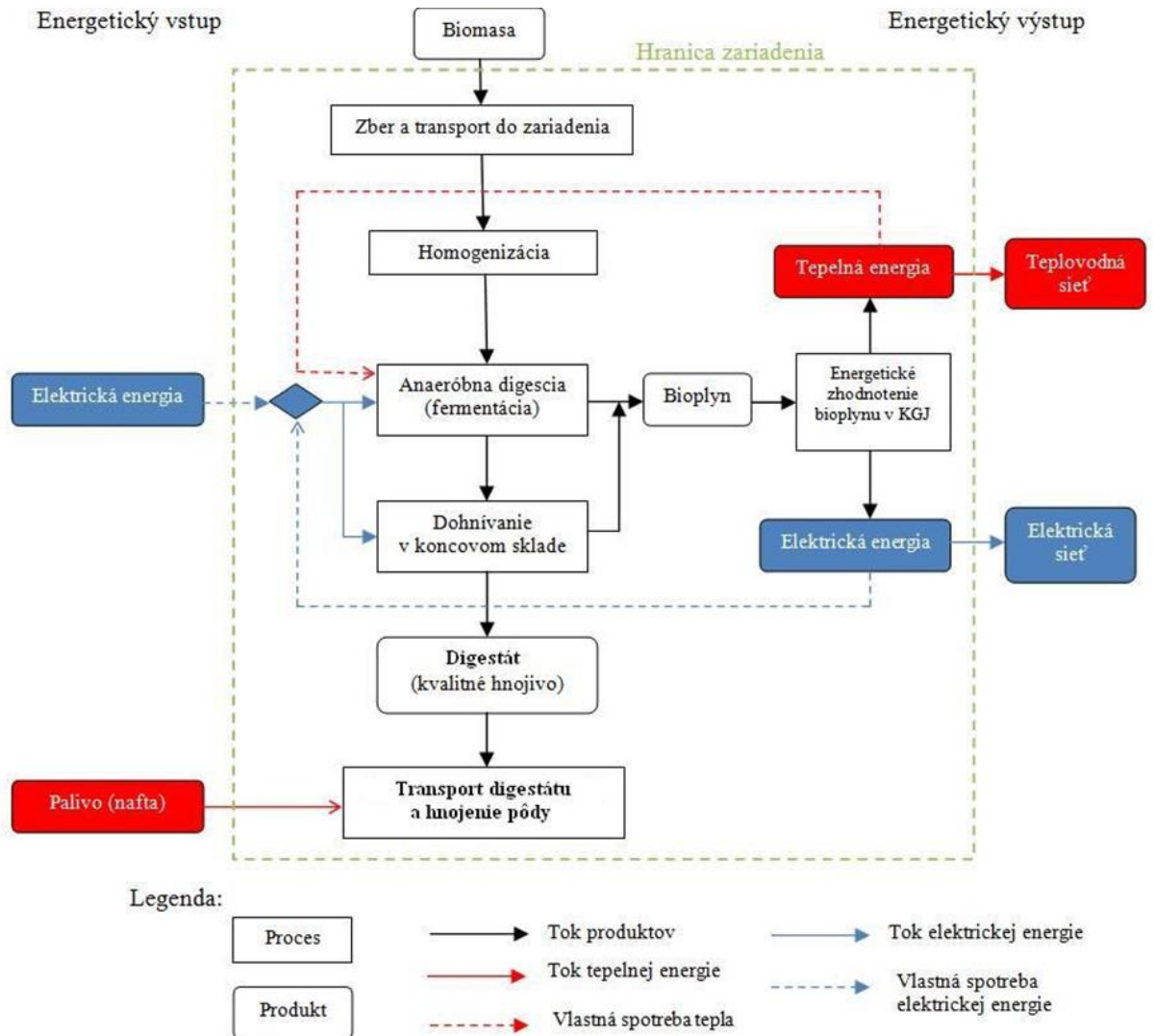
$$E_B = E_E + E_T + E_S,$$

kde je  $E_B$  energia bioplynu,

$E_E$  vyrobená elektrická energia,

$E_T$  získaná tepelná energia,

Es straty (výfukové plyny, nedokonalé spaľovanie, vyžarovanie, mechanické a elektrické straty v generátore).



Obrázok 16 - Energetická bilancia bioplynovej stanice

### 3.4.4 Spôsoby využitia biomasy na energetické účely

Možnosti využitia biomasy na energetické účely predurčujú hlavne jej fyzikálne a chemické vlastnosti. Veľmi dôležitým parametrom je vlhkosť, resp. obsah sušiny v biomase. Hodnotu 50 % sušiny je možné považovať za hraničnú medzi procesmi mokrými (obsah sušiny je menší ako 50 %) a suchými (obsah sušiny je vyšší ako 50 %). Podľa princípu samotnej konverzie energie je možné definovať niekoľko spôsobov získavania energie z biomasy:

a) termochemická premena biomasy (suché procesy):

- spaľovanie,
- splyňovanie,
- pyrolýza;

b) biochemická premena biomasy (mokrý procesy):

- alkoholické kvasenie,
- metánové kvasenie;

c) fyzikálna a chemická premena biomasy:

- mechanická (štiepenie, drtenie, lisovanie, briketovanie, peletovanie, mletie atď.),
- chemická (esterifikácia surových rastlinných olejov);

d) získavanie odpadového tepla pri spracovávaní biomasy (napríklad pri kompostovaní, aeróbnom čistení vôd, anaeróbnej fermentácii a pod.).

Existuje viacero spôsobov využitia biomasy na energetické účely, v praxi prevládajú pri suchých procesoch rôzne formy spaľovania, pri mokrych procesoch výroba bioplynu anaeróbnou fermentáciou. Z ostatných spôsobov najmä výroba metylesteru z bio olejov.

#### **3.4.4.1 Výroba energie z biomasy**

Na základe metódy použitej pri výrobe energie z biomasy sa dnes v praxi presadzujú nasledovné procesy:

- priame spaľovanie,
- termochemické spracovanie s cieľom zvýšenia kvality biopaliva; sem patrí napríklad pyrolýza alebo splyňovanie,
- biologické procesy, ako sú anaeróbne hnitie alebo fermentácia, ktoré vedú k produkcii plyných a kvapalných biopalív.

Bezprostredným produktom týchto procesov je teplo využívané v mieste výroby alebo v jej blízkosti. Teplo je možné využívať buď priamo na prípravu teplej vody, alebo na výrobu pary a následný pohon generátorového agregátu na výrobu elektriny. Inými produktmi sú napríklad drevné uhlie alebo kvapalné biopalivá aplikované ako pohonná hmota pre motorové vozidlá.

##### **3.4.4.1.1 Spaľovanie**

Technológia priameho spaľovania biomasy je najbežnejším spôsobom jej energetického využitia. Je to metóda v praxi overená a komerčne dostupná na vysokej úrovni. Význam má predovšetkým spaľovanie odpadového dreva a odpadov z poľnohospodárskej produkcie (slama). Vznikajúce teplo sa využíva na vykurovanie, v technologických procesoch (procesné teplo) alebo na výrobu elektrickej energie.

##### **3.4.4.1.2 Pyrolýza**

Pyrolýza je to termochemický rozklad organického materiálu pri vysokých teplotách, pričom absentuje kyslík (alebo halogény). Tento dej v sebe zahŕňa súčasnú zmenu chemického zloženia a materiálnej fázy. Pyrolýza je nevratná. Ide o jednoduchý a pravdepodobne najstarší spôsob úpravy biomasy na palivo vyššej kvality – tzv. drevné uhlie. Na jeho výrobu je okrem dreva možné využiť aj iné suroviny, napríklad slamu. Pyrolýza spočíva v zohrievaní biomasy (ktorá je často rozdrvená a dodávaná do reaktora) za spomínanej neprítomnosti vzduchu na teplotu 300 – 500 °C, až do doby, pokiaľ z nej neuniknú všetky prchavé látky. Zvyšok – drevné uhlie – je palivo, ktoré má takmer dvojnásobnú energetickú hustotu v porovnaní so vstupnou surovinou a navyše lepšie horí (horí pri vyššej teplote). V mnohých krajinách sveta sa dnes vyrába drevné uhlie pyrolýzou dreva. V závislosti od obsahu vlhkosti a účinnosti procesu je potrebných asi 4 – 10 ton dreva na výrobu jednej tony drevného uhlia. Z procesu sa nedá úplne vylúčiť kyslík, a preto aj pri pyrolýze dochádza v malej miere ku oxidácii. Z technologického hľadiska možno pyrolýzu ako proces rozdeliť podľa dosahovanej teploty na:

- Nízkoteplotnú (<500 °C)
- Stredoteplotnú (500 – 800 °C)
- Vysokoteplotnú (>800 °C)

V závislosti na dosahovanej teplote môžeme pri procese pyrolýzy pozorovať rad dejov, ktoré možno pre jednoduchosť rozdeliť do 3 teplotných intervalov. V oblasti teplôt do 200 °C dochádza k



sušení a tvorbe vodnej pary fyzikálnym odštiepením vody. Tieto procesy sú silne endotermické. V rozmedzí teplôt 200 až 500 °C nasleduje oblasť tzv. suchej destilácie. Tu nastáva v značnej miere odštiepenie bočných reťazcov z vysokomolekulárnych organických látok a premena makromolekulárnych štruktúr na plynné a kvapalné organické produkty a pevný uhlík. Vo fáze tvorby plynu v oblasti teplôt 500 až 1200 °C sú produkty vzniknuté suchou destiláciou ďalej štiepené a transformované. Pritom ako z pevného uhlíku, tak aj z kvapalných organických látok vznikajú stabilné plyny, ako napr. H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub>.

#### 3.4.4.1.3 Splyňovanie

Splyňovanie je proces, ktorý premieňa organické materiály na horľavé plyny (vodík, oxid uhoľnatý, metán), ale vznikajú tu aj nehorľavé látky. Proces splyňovania bol využívaný už od 19. storočia na splyňovanie uhlia. V dnešnej dobe sa splyňovanie uhlia využíva najmä v moderných uhoľných elektrárnach, ktorých výhodou je že sú ekologickejšie. Na splyňovanie biomasy sú v súčasnej dobe používané dva základné spôsoby:

- splyňovanie v kotloch s pevným roštom
- splyňovanie vo fluidných kotloch

Celý proces prebieha pri nedokonalom (čiastočnom) horení a ohrievaní biomasy teplom vznikajúcim pri horení. Vznikajúca zmes plynov má vysokú energetickú hodnotu a môže byť použitá ako iné plynné palivo pri výrobe tepla a elektriny aj v motorových vozidlách. Vo vozidlách však tento plyn vedie k nižšiemu výkonu motora asi o 40 %.

Splyňovanie prebieha v kotli s obmedzeným prístupom vzduchu. Nedostatok kyslíka spôsobuje nedokonalé horenie. Pri úplnom horení uhľovodíkov (z ktorých sa drevo skladá) sa kyslík spája s uhlíkom, pričom vzniká CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O. Obmedzený prístup vzduchu ešte stále umožňuje mierne horenie, pri ktorom vzniká CO, ale vodík sa nespája len s kyslíkom za vzniku molekuly vody, ale uvoľňuje sa ako čistý plyn – vodík – H<sub>2</sub>. Pri procese sa uvoľňujú aj iné zložky, ako napríklad uhlík, ktorý tvorí dym. Teplo vznikajúce pri nedokonalom spaľovaní sa využíva na porušovanie väzby medzi uhľovodíkovými atómami. Vznikajúce uhlíkové a vodíkové atómy sa však spájajú s inými, pričom sa uvoľňuje teplo, ktoré udržuje celý proces bez dodávania energie zvonku. Výsledkom je vznik plynov, ktoré sa ďalej môžu spaľovať.

#### 3.4.4.1.4 Fermentácia

Fermentácia roztokov cukrov je spôsob výroby etanolu (etylalkoholu) z biomasy. Je to anaeróbny biologický proces, pri ktorom sa cukry menia pôsobením mikroorganizmov (kvasinky) na alkohol – etanol, resp. metanol. Etanol je veľmi kvalitné kvapalné palivo, ktoré podobne ako metanol je možné využiť ako náhradu za benzín v motorových vozidlách. Na výrobu etanolu, ale aj metanolu, sa ako vhodné suroviny dajú využiť viaceré rastliny napríklad obilie, zemiaky, kukurica, cukrová trstina, cukrová repa, ovocie a iné plodiny. Hodnota ktorejkoľvek vstupnej suroviny pre fermentačný proces závisí od jednoduchosti, s akou je možné z nej získať cukry. Najlepšou surovinou sa ukazuje cukrová trstina resp. melasa vznikajúca po extrakcii z jej šťavy. Inými vhodnými surovinami sú zemiaky alebo obilniny. Cukry je možné vyrobiť aj z celulózy (dreva), ale proces je komplikovanejší. Celulóza sa najskôr pomelie a potom zmieša s horúcou kyselinou. Po 30 hodinách kaša obsahuje asi 6 – 10 % alkoholu, ktorý je možné získať destiláciou. Vzhľadom na to, že použitá surovina sa nepremení celá na biopalivo, vznikajú pri tomto procese cenné vedľajšie produkty, ktoré môžu nahradiť bielkovinové krmivá. Celý proces fermentácie si vyžaduje značné množstvo tepla, ktoré sa zvyčajne vyrába spaľovaním rastlinných zvyškov. Hoci strata energie je pri výrobe etanolu veľká, býva zvyčajne vykompenzovaná kvalitou paliva a jeho transportovateľnosťou.

#### **3.4.4.1.5 Anaeróbne vyhnívanie**

Je to súbor procesov, pri ktorom vďaka mikroorganizmom dochádza k rozkladu organického materiálu za neprítomnosti kyslíka, tak ako tomu bolo pri pyrolýze. Tento proces sa využíva pre priemyselné alebo domáce účely pre nakladanie s odpadmi alebo k produkovaniu palív. Anaeróbne vyhnívanie sa využíva pri väčšine priemyselných fermentácií k produkcii potravinových výrobkov, taktiež aj fermentácia v domácnostiach. Vyskytuje sa prirodzene v niektorých pôdach a v jazerných a oceánskych sedimentoch, kde sa zvyčajne hovorí o tzv. „anaeróbnej činnosti“. Toto je zdrojom močiarového metánu, ktorý bol objavený Voltom v 1776. Príroda má teda schopnosť postarať sa o likvidáciu organických zvyškov cestou ich rozkladu. Získavanie bioplynu z odpadov a jeho spaľovanie plynovými turbínami je proces nenáročný a technologické prvky sú bežne dostupné na trhu. Nenáročnosť získavania bioplynu a jeho premeny na užitočnú energiu je evidentná aj tým, že v rozvojových krajinách, ako sú India alebo Čína, existuje niekoľko miliónov veľmi jednoduchých rodinných zariadení, využívajúcich bioplyn len na výrobu tepla na varenie v domácnostiach.

#### **3.4.4.1.6 Výroba štiepok**

Štiepky sú 2 – 4 cm dlhé kusy dreva, ktoré sa vyrábajú štiepkovaním z drevných odpadov. Výhodou štiepok je, že rýchlejšie schnú, než kusové drevo a tiež umožňujú automatickú prevádzku kotlov. Problémom je zabezpečenie paliva s optimálnou vlhkosťou v zimných mesiacoch.

#### **3.4.4.1.7 Výroba brikiet**

Briketa je zlisované teleso zväčša valcovitého tvaru s dĺžkou asi 15 – 25 cm vyrobené z odpadovej biomasy. Vyrábajú sa lisovaním materiálu na tvarovacích lisoch. Vstupný materiál je pod vysokým tlakom pretláčaný cez kruhové otvory ocelevej matrice, pričom sa zahrieva na teplotu okolo 100 °C. Celulóza, ktorá sa nachádza v dreve vplyvom teploty mäkne a stáva sa lepivou. To umožní lisovať drevené piliny, alebo jemnú štiepku do tvaru brikety bez pridávania akýchkoľvek prísad. Po vychladnutí sú brikety pevné a zachovávajú si svoj tvar. Brikety sa používajú ako náhrada fosílnych palív v kotloch, domácich pieckach a krboch.

V porovnaní s drevom alebo drevnou štiepkou majú vyššiu hustotu a teda nižší objem, čo zjednodušuje transport. Nevýhodou je, že ich nie je možné používať v kotolniach s automatickou prevádzkou.

#### **3.4.4.1.8 Drevené pelety**

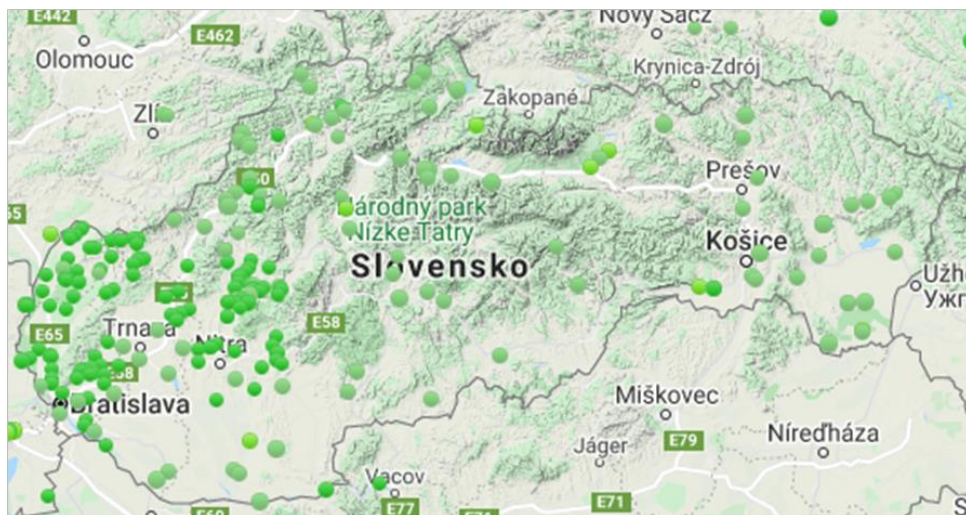
Peleta je obvyčajne malý zlisovaný kusok ľubovoľnej hmoty valcovitého tvaru. Drevené pelety sa vyrábajú lisovaním drevných pilín ako vedľajší produkt pri spracovaní dreva. Vyznačujú sa extrémnou hustotou a nízkym obsahom vody. Používajú sa ako kvalitné ekologické palivo. Pelety sa vyrábajú obdobným spôsobom, ako brikety. Vstupný materiál sa pod vysokým tlakom pretláča cez malé kruhové otvory ocelevej matrice, pričom sa zahrieva na teplotu okolo 100 °C. Celulóza, ktorá sa nachádza v dreve vplyvom teploty mäkne a stáva sa lepivou, čo umožňuje zlisovať drevené piliny do tvaru pelety bez pridávania akýchkoľvek prísad.

Z prebytkov poľnohospodárskej produkcie ako je slama, seno alebo z odpadov vznikajúcich pri čistení obilia, olejnin a strukovín sa vyrábajú sa aj alternatívne pelety, tzv. agropelety. Oproti dreveným peletám majú vyšší obsah popola (5 %). Agropelety sú významným zdrojom obnoviteľnej energie a predstavujú značný potenciál pre ekonomický rozvoj vidieka. Pelety sa používajú ako náhrada fosílnych palív v kotloch a domácich pieckach. Keďže sú sypké, môžu sa používať v kotolniach s automatickou prevádzkou. Pomocou dopravníka je možné presne a plynule regulovať prísun paliva a tým regulovať

tepelný výkon kotla. Vykurovanie týmto palivom je momentálne značne rozšírené v škandinávskych krajinách, ale veľký rozmach vykurovania peletami je významný v celej EÚ.

### 3.4.5 Biopalivá

Výroba elektrickej energie v bioelektrárnach je podobná ako v tepelných elektrárnach pri spaľovaní fosílnych palív, ale s podstatne nižšími hodnotami emisií oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>). Palivom je biomasa alebo biopalivo. Biomasa je organická hmota zámerne produkovaná na energetické účely. Predstavuje najväčší potenciál obnoviteľnej energie. Tvoria ju materiály rastlinného a živočíšneho pôvodu vhodné pre energetické využitie. Pre dosiahnutie maximálneho využitia energie v palive sú uvedené zdroje realizované prevažne ako kombinovaná výroba tepla a elektrickej energie – kogeneračné jednotky. Energetický význam tejto produkcie elektrickej energie je relatívne malý. Podstatne väčší význam má dnes ako ekologický spôsob zneškodňovania odpadov. Z 1 m<sup>3</sup> bioplynu sa vyrobí až 1,6 kWh elektrickej energie a asi 3,5 kWh tepelnej energie. Možnosti využitia biomasy na energetické účely predurčujú hlavne jej fyzikálne a chemické vlastnosti. Veľmi dôležitým parametrom je vlhkosť, resp. obsah sušiny v biomase. Hodnotu 50 % sušiny je možné považovať za hraničnú medzi procesmi mokrymi (obsah sušiny je menší ako 50 %) a suchými (obsah sušiny je vyšší ako 50 %).



Obrázok 17 - Mapa zariadení vyrábajúcich elektrickú energiu z biomasy

### 3.4.6 Vlastnosti rôznych typov biopalív

#### 3.4.6.1 Spôsoby konverzie biomasy na energiu

Tabuľka 23 - Spôsoby konverzie biomasy na energiu

Typ konverzie biomasy	Spôsob konverzie biomasy	Energetický výstup	Odpadový materiál alebo druhotná surovina
Termochemická konverzia	Spaľovanie	Teplo viazané na nosič	Popol
	Splyňovanie	Generátorový plyn	Dechtový olej, uhlíkaté palivo
	Pyrolýza	Generátorový plyn	Dechtový olej, pevné horľavé zvyšky
Biochemická konverzia	Anaeróbná fermentácia	Bioplyn	Fermentovaný substrát
	Aeróbná fermentácia	Teplo viazané na nosič	Fermentovaný substrát
Fyzikálno-chemická konverzia	Esterifikácia bioolejov	Metylester, biooleje	Glycerín

### 3.4.6.2 Vlastnosti pevných biopalív, obsah vody, obsah popola a výhrevnosť.

Tabuľka 24 - Vlastnosti rôznych typov palív

PALIVO	VLASTNOSTI						
	Obsah vody		Výhrevnosť		Obsah popola		Teplota mäknutia
	(%)		(MJ/kg)		(%)		(°C)
	rozsah	Ø	rozsah	Ø	rozsah	Ø	
Drevná štiepka	20-55	40	5-13	9	0,5-2	0,8	900
Čerstvá kôra	40-65	55	4-10	7	0,5-5	1,5	850
Repková slama	15-25	17	13-17	14	3-10	4	750
Surová rašelina	45-55	50	8-11	10	0,5-4	1	900
Domový odpad	10-50	25	4-15	9	10-50	25	650
Drevo, polená	20-30	25	12-15	13	0,5-2	0,7	900
Drevo, obaly	10-15	13	15-17	16	0,5-2	0,7	900
drevný odpad							

### 3.4.6.3 Energetická hodnota niektorých palív

Tabuľka 25 - Energetická hodnota vybraných palív

Biomasa	Obsah vody [%]	Výhrevnosť [MJ.kg <sup>-1</sup> ]	Výhrevnosť [kW.kg <sup>-1</sup> ]
Drevo – dub	20	14,1	3,9
Drevo – smrek	20	13,8	3,8
Slama	15	14,3	4
Obilie	15	14,2	3,9
Repkový olej	–	37,1	10,3
Čierne uhlie	4	30 – 35	8,3
Hnedé uhlie	20	10 – 20	5,5
Vykurovací olej	–	42,7	11,9
Bio-metanol	–	19,5	5,4
Skládkový plyn	–	16	4,4
Drevoplyn	–	5	1,4
Bioplyn z hnojovice	–	22	6,1
Zemný plyn	–	31,7	8,8
Vodík	–	10,8	3

### 3.4.7 Parametre bioplynových elektrární

Fermentácia biomasy na bioplyn umožňuje vyrábať z rozličných vstupných surovín jednotný nosič energie, ktorým je metán – hlavná zložka bioplynu. Na návrh efektívneho systému výroby a využitia bioplynu je potrebné vyhodnotiť rôzne vstupné podmienky, ako je napríklad záber pôdy a jej cena, spôsoby obhospodarovania, použiteľná technológia, výroba vedľajších produktov, ceny alternatívnych zdrojov energie a ďalšie parametre, ktoré ovplyvňujú prevádzku bioplynovej stanice.

Pri vytváraní modelu pre bioplynovú elektrárňu je potrebné zvažovať:

- energetickú náročnosť,
- ekonomickú návratnosť,
- ekologickú stopu.

Na účely posúdenia ekonomickej efektívnosti projekty slúžia najčastejšie tieto ekonomické ukazovatele:

- čistý tok hotovosti po realizácii projektu na báze cash – flow (CF),
- diskontovaný tok hotovosti – diskontovaná hodnota cash – flow (DCF),
- doba návratnosti investície,
- čistá súčasná hodnota – NPV,
- vnútorné výnosové percento – IRR.

Bioplynové stanice predstavujú vhodný decentralizovaný zdroj z hľadiska stability dodávok elektrickej energie a spätných vplyvov na elektrizačnú sústavu. Kombinovaná výroba elektriny a tepla môže konkurovať konvenčným zdrojom z hľadiska efektivity vynaložených investičných nákladov a zaručiť tak trvalo udržateľnú nízkouhlíkovú elektroenergetiku.

Tradičný spôsob výroby elektriny z biomasy je vo väčšine prípadov založený na jej priamom spaľovaní a výrobe pary, ktorá poháňa parnú turbínu, podobne ako je to v konvenčných tepelných elektrárňach využívajúcich uhlie. Táto technológia je dnes veľmi prepracovaná a umožňuje použitie viacerých druhov vstupných surovín. Jej nevýhodou je, že si vyžaduje relatívne vysoké investičné náklady na jednotku výkonu, celková účinnosť výroby je nízka a navyše neposkytuje možnosti ďalšieho zlepšenia.

Výroba elektriny splyňovaním biomasy je relatívne novou metódou. Namiesto priameho spaľovania biomasy sa využíva proces jej splyňovania a následného spaľovania plynu v plynovej turbíne, podobne ako je to pri výrobe elektriny v elektrárňach na plyn. V najjednoduchších plynových turbínach sú horúce odpadové plyny vypúšťané priamo do ovzdušia. V moderných technológiách sú však tieto plyny využívané na výrobu pary v osobitných parogenerátoroch. Táto para sa môže použiť buď na vykurovanie objektov (kogeneračná jednotka), alebo je vháňaná späť do turbíny, čím sa zvyšuje výkon a účinnosť výroby (Steam-injected gas turbine – STIG), alebo sa použije na ďalšiu výrobu elektriny v parnej turbíne (Gas turbine/steam turbine combined cycle – GTCC), čo taktiež vedie k zvýšeniu celkového výkonu a účinnosti zariadenia.

Z vyššie uvedených možností využitia bioplynu v bioplynových staniciach vyplýva, že pre potreby vytvárania programových modelov bioplynových elektrární sú potrebné parametre jednotlivých zariadení napríklad plynových turbín, generátorov atď. podľa konkrétneho typu prevádzky bioplynového systému. Úroveň modelov jednotlivých prvkov bioplynovej stanice závisí od účelu, pre ktorý sú určené.

## 3.5 Palivové články

### 3.5.1 Analýza problematiky

Palivové články (PČ) sú alternatívou k súčasným malým a stredným zdrojom na fosilné palivá: plynovým motorom, dieselagregátom, plynovým mikroturbínam, malým kogeneračným jednotkám a počíta sa s ich nasadením v automobilovom priemysle. V budúcnosti by mali nahradiť aj väčšie elektrárňenské zdroje. Uplatnenie nájdu tiež ako náhrada za batérie a akumulátory. Pre niektoré špeciálne aplikácie (vesmírne projekty, podmorský výskum) sú už dnes bežne využívané. Palivové články vykazujú podstatne veľkú pripravenosť pre široké komerčné uplatnenie.

Palivový článok je zariadenie, v ktorom sa elektrická energia získava z chemickej energie paliva. Premena chemickej energie na elektrickú sa uskutočňuje priamo bez sprostredkujúceho procesu na

rozdiel od spaľovania fosílnych palív. Proces premeny v palivovom článku prebieha tak, že do jeho priestoru je privádzané palivo a okysličovadlo, pričom dochádza k tzv. studenému spaľovaniu, a premenou chemickej energie paliva vzniká elektrická energia a menší podiel tepelnej energie. Palivový článok je elektrochemický reaktor, ktorý trvalo premieňa chemickú energiu priamo na elektrickú energiu (a teplo), kým je privádzané palivo a oxidant.

Existuje niekoľko typov palivových článkov. Základný princíp transformácie energie je pre všetky tieto palivové články rovnaký. Napriek rovnakému funkčnému princípu, jednotlivé typy PČ sa vzájomne značne líšia a každý z nich je vhodný pre iné použitie. Jednotlivé typy sa líšia materiálom elektród, použitým elektrolytom a pracovnou teplotou a taktiež konkrétnymi chemickými reakciami na anóde a katóde.

Cieľom tejto kapitoly je nadviazať na popis palivového článku v míľniku č.1 aktivity č.5 a priblížiť vybrané parametre pre palivové články vhodné pre ďalšie modelovanie inteligentných sietí.

### 3.5.2 Typy palivových článkov

V súčasnej dobe existuje niekoľko základných typov PČ, ktoré sa líšia predovšetkým druhom elektrolytu a prevádzkovou teplotou a z toho sa odvíjajú aj odlišné konštrukčné prevedenia a príprava paliva.

Palivové články podľa pracovnej teploty rozdeľujeme na nízko teplotné ( $60 \div 130^{\circ}\text{C}$ ), stredne teplotné ( $160 \div 220^{\circ}\text{C}$ ) a vysoko teplotné ( $600 \div 1050^{\circ}\text{C}$ ). Nízko teplotné palivové články s vodnými elektrolytmi sú vo väčšine praktických aplikácií odkázané na vodík ako palivo. Vo vysoko teplotných palivových článkoch môžeme zúžitkovať aj ďalšie plyné zložky paliva, ako napríklad oxid uhoľnatý a metán. Na energetické účely sa využívajú najmä vysoko teplotné palivové články, ktoré môžu byť typu MCFC (s taveninou uhličitanov), alebo SOFC (s tuhými oxidmi). Vysoko teplotné palivové články umožňujú privádzať ako palivo napríklad metán z bioplynovej stanice, ktorý sa s príspevom katalyzátora termicky rozkladá na vodík a oxid uhličitý.

Podľa technológie katalýzy existujú palivové články (FC – fuel cell) mnohých typov, napríklad:

- Nízko teplotné – ich pracovná teplota je 60 až  $210^{\circ}\text{C}$ 
  - AFC (Alkaline Fuel Cell) – elektrolyt tvorí KOH,
  - PE FC (Polymer Electrolyte FC), označované tiež PEM FC (Proton Exchange Membrane FC) – katalycky spaľuje vodík a elektrolyt tvorí polymérová membrána,
  - DM FC (Direct Methanol FC) – ako palivo slúži kvapalný metanol  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ,
  - PA FC (Phosphoric Acid FC) – elektrolyt tvorí kyselina fosforečná.
- Vysoko teplotné - ich pracovná teplota je 600 až  $1000^{\circ}\text{C}$ 
  - MC FC (Molten Carbonate FC) – elektrolytom sú roztavené uhličitaný,
  - SO FC (Solid Oxide FC) – elektrolyt je z pevných oxidov vzácnych kovov (napríklad zirkónia).

Najčastejšie používaným palivom je čistý vodík, ktorý môže v palivovom článku priamo reagovať za vývoja elektrického prúdu. Pretože vodík nie je vhodným palivom pro všetky typy palivových článkov, je veľká pozornosť venovaná i tzv. nepriamym palivám, z ktorých je vodík uvoľnený reformovacím procesom. Medzi najvýznamnejšie nepriame zdroje vodíka patrí zemný plyn, metan, metanol, ethanol, prípadne čpavok. Reformovaním týchto zdrojov vodnou parou alebo tzv. parciálnou oxidáciou pri vysokých teplotách vzniká vodík s oxidmi uhlíka.

Pretože vo väčšine palivových článkov sú používané katalyzátory na bázy platiny, je potrebné po prevedenom reformovaní odstrániť CO, ktorý spôsobuje otravu týchto katalyzátorov. Za potenciálne nepriame palivá do palivových článkov sa považujú aj súčasné kvapalné pohonné hmoty do spaľovacích motorov automobilov.

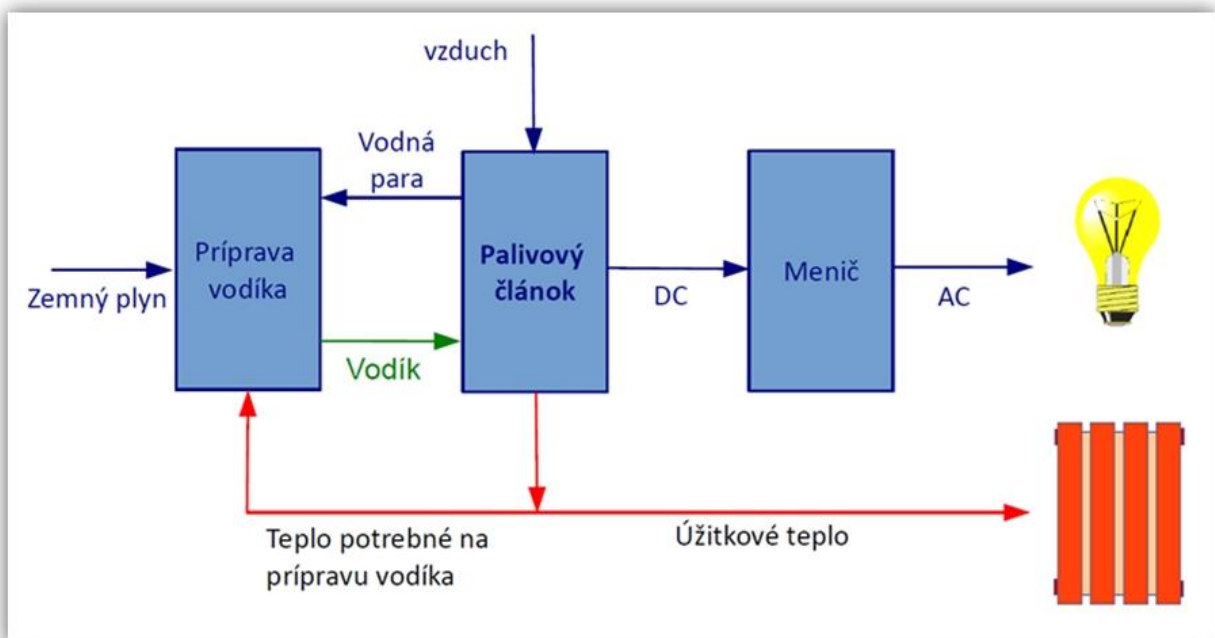
V poslednej dobe sa pre veľa aplikácií s využitím palivových článkov ukazuje methanol ako veľmi perspektívne kvapalné priame palivo bez potreby reformovania.

Na obrázku xx je schematické znázornenie PČ ako elektro – chemický systém, ktorý priamo premieňa chemickú energiu v zemnom plyne (palivo), prostredníctvom oxidačného procesu, na elektrickú. Princíp palivového článku je obdobný ako u bežných batérií, s tým rozdielom, že chemická látka nie je umiestnená medzi elektródami ako v klasickej batérii, ale je dodávaná kontinuálne z vonkajšieho zdroja. Funkčný princíp palivového článku je porovnateľný s „obrátenu“ elektrolýzou vody. Palivový článok je zložený z dvoch elektród – anódy a katódy, ktoré sú od seba oddelené elektrolytom. Na anódu sa privádza vodík a na katódu kyslík.

Súčasťou palivového článku, resp. umiestnený pred ním, je reformér, v ktorom sa zo zemného plynu pripravuje vodík. Do palivového článku vstupuje vodík z reforméra a vzdušný kyslík. Palivový článok generuje priamo elektrickú energiu a teplo ako výsledok procesu medzi anódou, elektrolytom a katódou. Z palivového článku vystupuje elektrická energia vo forme jednosmerného prúdu, ktorý sa následne v meniči mení na striedavý a ten sa ďalej využíva v elektrickej sieti. Časť vygenerovaného tepla sa použije na prípravu vodíka v reforméri a zvyšná časť sa využije ako „úžitkové teplo“ na ohrev teplej úžitkovej vody, vykurovanie, ako technologické teplo, resp. v sorpčných zariadeniach na prípravu chladu.

Niektoré systémy palivových článkov (podľa použitého elektrolytu) generujú tepelnú energiu o vysokých teplotách nad 400 °C a teda môžu byť využité aj na výrobu pary.

Na rozdiel od iných systémov majú palivové články výhodnejší pomer medzi elektrickým a tepelným výkonom a preto sa ľahšie prispôbujú požiadavkám väčšiny bežných spotrebiteľov. Elektrická účinnosť moderných palivových článkov sa pohybuje na úrovni cca 60 % – 70 %, celková účinnosť potom je cca 85 %.



**Obrázok 18 - Schematické znázornenie palivového článku (palivo – zemný plyn)**

Palivový článok má podobné súčasti a charakteristiky ako bežná batéria. Batéria je zariadenie na úschovu energie. Maximálna dostupná energia v batérií je určená množstvom chemických reaktantov nachádzajúcich sa v batérii samotnej. Keď sa reaktanty spotrebujú (batéria sa vybije), prestane sa

uvolňovať elektrická energia. Akumulátor umožňuje reaktanty obnoviť nabíjaním, čiže dodaním energie do batérie z vonkajšieho zdroja. Palivový článok premieňa reaktanty dodávané priebežne a jeho životnosť je obmedzená len dodávkou paliva a životnosťou jednotlivých komponentov.

Ako výhody tohto typu palivových článkov (palivo – zemný plyn) sa uvádza:

- nízka cena generovanej elektrickej energie,
- tichý chod,
- výborná regulovateľnosť – Palivové články si zachovávajú vysokú účinnosť aj pri zníženom výkone. Regulovateľnosť palivového článku v rozsahu (50 až 100 %) pri minimálnom poklese účinnosti,
- nízke emisie CO<sub>2</sub>,
- jednoduchá inštalácia zariadenia – ako plynový kotol,
- celoročná prevádzka,
- vysoká účinnosť aj pri zariadeniach malého výkonu (1,5 kW<sub>e</sub>),
- výborný modulovateľnosť,
- kompaktné vyhotovenie.

Použitie:

- kogenerácia v bežných rodinných domoch,
- nemocnice, sanatóriá – zároveň aj ako núdzový zdroj,
- školy,
- administratívne budovy a obchodné centrá (trigenerácia),
- elektromobily – nenabíja sa akumulátor, ale takmer okamžité „natankovanie“ zemného plynu do tlakovej nádrže,
- priemysel.

V míľniku č.1 aktivity č.5 je vysvetlený princíp činnosti palivového článku s polymérovým elektrolytom.

Z dôvodu zvýšenia menovitého elektrického napätia a výkonu je nutné elementárne články spájať do väčších celkov o desiatkach, stovkách až tisícoch článkov. V princípe neexistuje žiadne obmedzenie na počet elementárnych článkov v celkovom súbore a energetickej jednotky a preto možno konštruovať v širokom rozmedzí výkonov od wattov po megawatty, pričom malé jednotky pracujú s takmer rovnakou účinnosťou ako veľké.

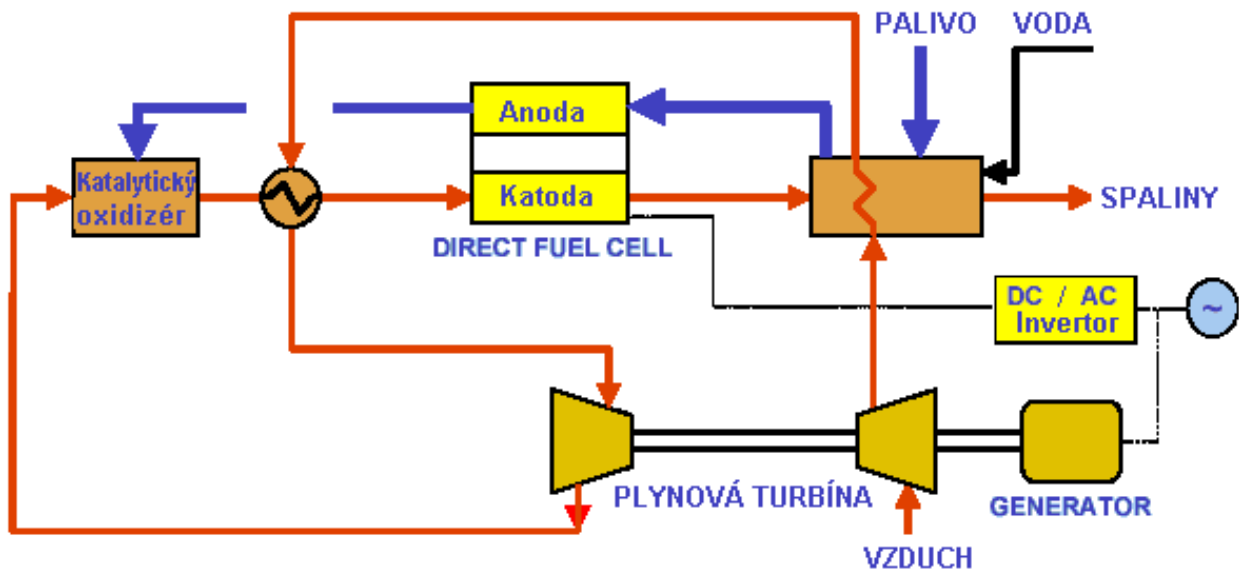
Potom medzi dôležité technické parametre celého systému s palivovými článkami patrí: čistý elektrický výkon, výstupné napätie, čistá elektrická účinnosť, prevádzková teplota, spotreba vodíka, spotreba vzduchu, počet článkov, aktívna plocha elektródy, emisie, životnosť, rozmery atď.

Výskum by sa mal sústrediť na redukciu ceny palivových článkov a ich systémov pre zásobovanie budov, cestnú dopravu a decentralizovanú výrobu elektriny a v nadväznosti na to aj na vývoj pokročilých materiálov pre nízko- i vysokoteplotné články. S tým úzko súvisí aj problematika nových technológií výroby, transportu a skladovania vodíka, ktorý je z dlhodobého hľadiska považovaný za perspektívny nosič energie pre ekologicky čistú výrobu elektriny.

Príklad systému s palivovým článkom:

31 júla 2001 bola zahájená prevádzka hybridnej jednotky kombinujúcu 250kW palivový článok MCFC využívajúci zemný plyn (FuelCELL Energy Inc.) a mikroturbíny Model 330 (Capstone Turbine Corporation). Použitie plynovej turbíny predstavuje účinný spôsob využitia horúcich spalín a znamená významné zvýšenie elektrickej účinnosti systému. FuelCELL Energy Inc. sa zaoberá tzv. priamymi palivovými článkami (DFC - Direct Fuel Cell), ktoré používajú priamo uhľovodíkové palivo (zemný plyn) bez potreby reformovania. Napríklad modul DFC® 300 je systém na zemný plyn s elektrickým výkonom 250kW a účinnosťou 47%. Rozmery jednotky sú 3,5 x 3,2 x 10 m.





Obrázok 19 - Príklad systému s palivovým článkom

## 3.6 Tepelné čerpadlo

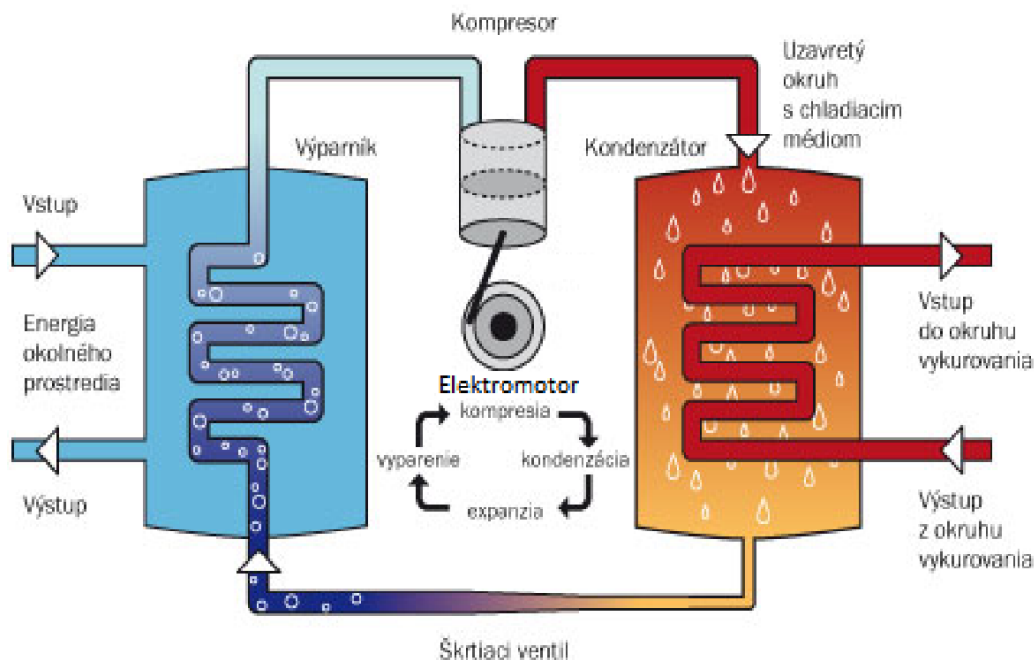
### 3.6.1 Analýza problematiky

Mierne klimatické podmienky Slovenska prajú získavaniu energií z obnoviteľných zdrojov. Do úvahy preto pripadajú tepelné čerpadlá, ktoré pri vykurovaní, ohreve vody alebo niektoré modely aj pri ochladzovaní miestností ponúkajú spoľahlivé výkony a to počas celého roka. Príčina obmedzeného využitia netradičných zdrojov energie ako je tepelné čerpadlo je pravdepodobne v ich vyššej investičnej a technickej náročnosti. Hlavnou výhodou týchto zdrojov energie sú však ich nízke prevádzkové náklady. Preto v blízkej budúcnosti možno očakávať zvýšený záujem o využitie tepelných čerpadiel aj vzhľadom na ich ekologickú a životné prostredie šetriacu prevádzku.

Tepelné čerpadlá sú ideálnou voľbou pre nízkoenergetické alebo pasívne domy. Svojej úlohy sa však výborne zhostia aj v komerčných budovách alebo vo výrobných priestoroch firiem, a to ako pri novostavbách, tak pri rekonštrukcii budov alebo revitalizácii vykurovacích riešení. Energia, ktorú využívajú tepelné čerpadlá typu vzduch-voda, je v princípe zadarmo. Tento bezemisný tepelný zdroj, využíva k svojej funkcii obnoviteľnú energiu prostredia.

### 3.6.2 Princíp tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo pracuje na obdobnom princípe ako chladnička. Tá odoberá teplo z vnútorného priestoru chladničky a pomocou chladiaceho okruhu ho prečerpáva do vonkajšej časti zariadenia. Tepelné čerpadlo miesto z potravín odoberá teplo zo zdroja prírodného prostredia (napr. vonkajšieho vzduchu, studničnej vody či pôdy z okolia domu) a odovzdáva ho tepelnej sústave (radiátory, podlahové vykurovanie, zásobníky teplej vody a pod.).



**Obrázok 20 - Princíp tepelného čerpadla**

Prenos tepla sa uskutočňuje pomocou pracovnej látky – chladiva v uzatvorenom chladiacom okruhu podľa termodynamických zákonov. Pracovná látka má tú vlastnosť, že pri nízkych teplotách sa odparuje. Zdroj tepla (vonkajší vzduch alebo voda, popr. nemrznúca zmes) sa privedie k výmenníku tepla, v ktorom cirkuluje chladivo. Toto odoberie zdroju tepla potrebné teplo a prejde z kvapalného do plynného stavu. Zdroj tepla sa tým schladí o niekoľko stupňov. Kompresor plynné chladivo nasaje a stlačí. Tým sa zväčší jeho tlak a stúpne teplota. Pracovná látka je teda “prečerpaná” na vyššiu teplotnú úroveň.

Hnacím prvkom tepelného čerpadla je kompresor, ktorý je spravidla poháňaný elektrickým motorom. Je dôležité vedieť, koľko elektrickej energie je potrebné dodať a koľko tepelnej energie získame na vykurovanie. Tento pomer dodanej a získanej energie určuje tzv. výkonové číslo alebo tiež vykurovací faktor, ktorý je jedným z hlavných kritérií pre použitie tepelného čerpadla. Pri dodaní 1 kWh elektrickej energie vyrobí dobré tepelné čerpadlo 4 – 6 kWh tepelnej energie. Elektrická energia potrebná pre napájanie kompresora nie je energiou stratenou, ale zvyšuje energetický potenciál pracovného média, ktoré sa stále dostáva do kondenzátora. Tam odovzdá svoje teplo teplotnej látke, napr. vode vo vykurovaní. Tým dôjde ku skvapalneniu média a po jeho škrtení v expanznom ventile sa médium dostáva opäť na začiatok celého pracovného cyklu.

Tepelné čerpadlo je teda zariadenie na odoberanie tepelnej energie z nízkoenergetického obnoviteľného zdroja tepla (voda, pôda, vzduch) a jeho prenos na vyššiu teplotnú úroveň pre využitie na vykurovanie, ohrev teplej úžitkovej vody a pod. Príspevok tepla z nízkoenergetického obnoviteľného zdroja predstavuje 75 – 85 %. Výkonové číslo sa mení nielen v závislosti od teploty zdroja a vykurovacieho média, ale aj od vyspelosti konštrukčného riešenia konkrétneho tepelného čerpadla.

### 3.6.3 Typ tepelného čerpadla

Označenie tepelného čerpadla vychádza zo zdroja, z ktorého je tepelná energia odoberaná a z média, do ktorého je odovzdávaná. Podľa toho delíme tepelné čerpadlá na:

- Voda – voda
- Zem – voda
- Vzduch – voda

Najobľúbenejším typom čerpadiel, ktoré sa rozdeľujú podľa spôsobu získavania tepla z okolitého prostredia, sú tepelné čerpadlá vzduch-voda. Tepelné čerpadlá vzduch-voda sú obľúbené nielen preto, že patria medzi systémy, podporované dotačnými programami, ale predovšetkým pre svoju vysokú účinnosť a v podstate ideálnym pomerom cena / výkon.

Medzi ďalšie systémy patria zem-voda. Zdrojom tepla je zemný kolektor alebo geotermálny vrt. Pri type tepelného čerpadla voda-voda sa pomocou zemných sond alebo studní na podzemnú vodu energia podzemnej vody mení na tepelnú energiu (využívajú dve studne, výnimočne povrchová voda).

Medzi hlavné faktory, ktoré je nutné pred voľbou typu tepelného čerpadla zvážiť, je jeho vhodnosť pre danú nehnuteľnosť, dostupnosť zdroja (možnosť vyhlíbiť studňu, položiť kolektor a pod.), náročnosť inštalácie a cena.

Výhody tepelných čerpadiel:

- ekonomická výhodnosť zariadenia, najmä z hľadiska prevádzky,
- veľká úspora energie, 40 až 80 % podľa toho, s akým nosičom energie sa porovnanie vykonáva,
- nízke náklady na údržbu tepelného čerpadla,
- vysoká životnosť zariadenia v rozmedzí 20 až 30 rokov,
- nevyčerpatelnosť a dostupnosť obnoviteľných nízkopotenciálnych zdrojov tepla prakticky všade.

### 3.6.4 Parametre tepelného čerpadla

Základným parametrom tepelného čerpadla je jeho nominálny výkon v kW, ktorý tiež predstavuje maximálny výkon čerpadla pri presne stanovených podmienkach - teda pri určitej vonkajšej teplote a teplote vykurovacej vody. Ide o kritický parameter, ktorý vychádza z radu informácií a technického prevedenia stavby. Poddimenzovanie výkonu čerpadla znamená, že tepelné čerpadlo nebude schopné v rade situácií dodať dostatočné teplo, či ohriať vodu na požadovanú teplotu.

Ďalšími dôležitými údajmi sú účinnosti čerpadla (COP a EER) v režimoch kúrenie, resp. chladenie. Je dôležitý pre posúdenie kvality tepelného čerpadla. Napríklad vykurovací faktor COP uvádza, koľkokrát viac tepla systém vyprodukuje na dodanú jednotku elektrickej energie. V nedávnej dobe sa medzi udávané parametre zaradili sezónny faktor vykurovania (SCOP) a priemerná sezónna energetická účinnosť chladenia (SEER). Od tzv. sezónneho vykurovacieho faktoru SCOP sa odvodzuje ďalšia veličina, sezónna účinnosť  $\eta_S$ . Tá vyjadruje množstvo tepla, dodaného tepelným čerpadlom za rok v porovnaní so spotrebovanou tzv. primárnou formou energie, teda napr. uhlie, ktoré spálili elektrárne v prospech tohto konkrétneho tepelného čerpadla za rok. Podľa  $\eta_S$  sa hodnotí energetická trieda tepelného čerpadla.

**COP (Coefficient Of Performance)** – koeficient účinnosti v režime vykurovania, vypočítaný ako pomer odovzdanej tepelnej energie (tepla) ku vstupnej elektrickej energii. Meria sa pri konštantných podmienkach okolia a max. výkone. Čím vyšší, tým lepší.

**EER (Energy Efficiency Ratio)** - koeficient účinnosti v režime chladenia, vypočítaný ako pomer odovzdanej tepelnej energie (chlada) ku vstupnej elektrickej energii. Meria sa pri konštantných podmienkach okolia a max. výkone. Čím vyšší, tým lepší.

**SCOP (Seasonal Coefficient Of Performance)** - sezónny koeficient účinnosti v režime vykurovania, vypočítaný ako pomer odovzdanej tepelnej energie (tepla) ku vstupnej elektrickej energii počas celoročnej sezóny. Meria sa pri premenlivých podmienkach okolia a v reálnom režime. Čím vyšší, tým lepší.

**SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio)** – sezónny koeficient účinnosti v režime chladenia, vypočítaný ako pomer odovzdanej tepelnej energie (chlada) ku vstupnej elektrickej energii počas celoročnej sezóny. Meria sa pri premenlivých podmienkach okolia a v reálnom režime. Čím vyšší, tým lepší.

### 3.6.5 Kombinácia tepelného čerpadla a fotovoltiky

Elektrická energia je v dnešnej dobe považovaná za najušľachtilejšiu formu energie. Má ale jeden zásadný problém – ťažko sa skladuje. Denné výkyvy v odbere zo siete musia byť regulované zvyšovaním a znižovaním výkonu elektrární. Podobný princíp funguje aj v prípade „domácej“ fotovoltickej elektrárne. Prebytočná energia musí byť buď spotrebovaná alebo uskladnená. Na rozdiel od elektrickej energie, tepelná energiu je možné uskladniť pomerne dobre, napríklad vo forme teplej vody. Výhodnou voľbou sa teda javí premena nespotrebovanej elektrickej energie na tepelnú a jej následné uskladnenie.

Tepelné čerpadlo môže veľmi dobre spolupracovať s fotovoltikou. Tepelné čerpadlá a fotovoltické články sa radia medzi často používané ekologické zdroje energie. Ich hlavnou výhodou je výroba či už teplej úžitkovej a vykurovacej vody alebo elektrickej energie pri nízkych prevádzkových nákladoch.

Preto je využitie nespotrebovanej elektrickej energie vyrobenej fotovoltickým článkom na poháňanie samotného tepelného čerpadla veľmi efektívnou voľbou. V letných mesiacoch pri vysokom výkone fotovoltických článkov a nízkych nárokoch na vykurovanie je zabezpečená prevádzka elektrospotrebičov aj výroba teplej úžitkovej vody za prakticky nulové náklady. Fotovoltické články stíhajú produkovať dostatok elektrickej energie na prevádzku bežných domácich elektrospotrebičov, ako aj na poháňanie tepelného čerpadla, ktoré následne zabezpečuje dostatok teplej úžitkovej vody. Pri nedostatku slnečného žiarenia alebo vo večerných a nočných hodinách už výkon fotovoltických článkov nemusí byť dostačujúci. V takýchto prípadoch je dodávka elektrickej energie zabezpečovaná z verejnej siete. Rovnako v zimných mesiacoch. V tomto najchladnejšom ročnom období by bola príprava teplej úžitkovej vody alebo vody na vykurovanie zabezpečovaná záložným zdrojom tepla (bivalentná prevádzka).

## 3.7 Akumulátor elektriny

### 3.7.1 Analýza problematiky

Akumulácia elektriny predstavuje uskladnenie elektriny vo vhodnej forme a na vhodnom mieste určené na neskoršie použitie v požadovanej kvalite a kvantite. Tak ako stúpa percento podielu OZE na celosvetovej produkcii elektriny, tak sa dostávame k novému problému, ktorou je variabilita produkcie v priebehu času. Problém sa neprejaví pokiaľ je v sieti dostatok elektrární iného typu (fosílna, nukleárna, vodná), ktoré môžu svoju produkciu zvyšovať alebo znižovať podľa potreby.

Produkcia elektrickej energie zažíva obrovský prerod, počet veterných a solárnych elektrární rastie v posledných rokoch veľkým tempom. Hlavným hybným faktorom tejto zmeny bol pôvodne enviromentálny záujem, ktorý bol podporený politickými iniciatívami. V budúcnosti tomuto prerodu bude dominovať hlavne ekonomika. Integrácia obnoviteľných zdrojov energie s ich variabilnou produkciou do elektrickej rozvodnej siete si vyžaduje inovatívne riešenia skladovania elektrickej energie so zámerom minimalizácie veľkých investícií do elektrizačnej sústavy. Jednou z možností optimalizácie procesu výroby a spotreby energie je zavádzanie zásobníkov energie. Efektívne a rýchlo reagujúce skladovacie kapacity sú potrebné napríklad na vyrovnanie krátkodobých výkyvov v elektrickej sieti, ako aj na zabezpečenie posunu zaťaženia. Spoľahlivý a cenovo dostupný spôsob akumulácie elektrickej energie je základným predpokladom pre využitie OZE v odľahlých lokalitách a pre rozvoj budúcich decentralizovaných systémov dodávok elektrickej energie. Akumulácia energie má kľúčovú úlohu vzhľadom na udržateľné dodávky energie s takým štandardom kvality poskytovaných technických služieb a produktov, ktorý sa v súčasnosti vyžaduje pri využívaní klasických zdrojov energie.

Preto môžeme považovať funkčný systém akumulácie energie za jeden zo stavebných prvkov sietí konceptu mikrogrid. Energia môže byť akumulovaná nielen systémom statických batérií, ale niektoré riešenia uvažujú aj s využívaním inteligentných spotrebičov, či využitím akumulátorov

v elektromobiloch, palivových článkoch alebo uskladňovaním energie v mechanických zotrvačníkoch a pod. Za pomoci akumuláčnych systémov je možné doceliť lepšiu regulovateľnosť elektrizačnej sústavy. Akumulačné systémy je možné použiť aj pre zlepšenie kvality elektrickej energie.

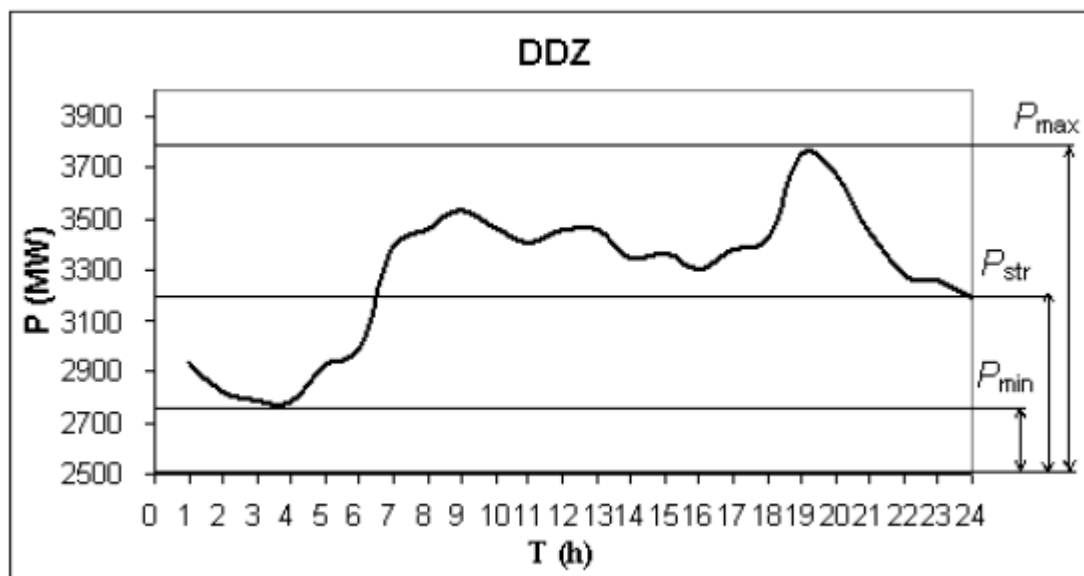
### 3.7.2 Dôvody pre akumuláciu energie

Energia môže byť v princípe potenciálna (napr. chemická, gravitačná či elektrická) alebo kinetická (napr. tepelná). Akumulácia energie je taký proces, v priebehu ktorého určitý druh energie sa ukladá za účelom jeho využitia na vykonávanie užitočnej práce v budúcnosti. Energiu je potrebné uskladňovať prevažne v dvoch prípadoch.

V prvom je k dispozícii zdroj energie, ktorý ale nemá dostatočný výkon na pokrývanie energetických nárokov určitého dynamického procesu rýchleho priebehu.

V druhom, keď energia nie je k dispozícii v takom množstve, ako to vyžaduje odberateľ. Elektrizačný systém musí byť extrémne flexibilný k tomu, aby mohol spoľahlivo, nepretržite dodávať spotrebiteľom elektrinu s konštantným napätím a frekvenciou.

Elektrizačná sústava je charakterizovaná ako najväčší „just in time“ systém, pretože elektrická energia vyrobená v elektrárnach je okamžite spotrebovaná spotrebiteľmi napojenými na elektrizačnú sieť. Výroba v elektrárnach musí okamžite sledovať zaťaženie siete. V dnešnej dobe je vo svete skladovacia kapacita elektrickej siete minimálna. Bez možnosti skladovania vyrobenej, ale nespotrebovanej energie, prevádzkovatelia sietí musia čeliť neustále narastajúcim problémom, vyrobiť v každý okamih potrebné množstvo energie, vyhovujúce presne požiadavkám spotrebiteľov. V súčasnosti poznáme cca 20 rôznych typov aplikácií pre riešenie uvedeného problému, ktoré slúžia ako skladovacie možnosti. Tieto môžeme rozdeliť do dvoch skupín: aplikácie kapacitného príp. výkonového charakteru. Aplikácie kapacitného charakteru sú uskladňovacie systémy prevádzkovateľné celé hodiny (dni), u ktorých je čas nabíjania podobne dlhý, príp. ich cyklus nabíjania a vybijania je 1 deň alebo aj viac. Oproti tomu u aplikácií výkonového charakteru trvá vybitie niekoľko sekúnd alebo minút a nabitie je podobne krátke, cyklus sa môže odhrať denne viackrát (aj niekoľko stokrát). Väčšina skladovacích technológií má také vlastnosti, že je vhodná buď pre prvú alebo druhú aplikáciu, iba malá časť z technológií je vhodná pre obidve.



Obrázok 21 - Denný diagram zaťaženia

Dopyt po elektrickej energii sa mení od okamihu do okamihu, pričom okamžité zmeny sú väčšinou nepatrné, ale sú značné rozdiely napr. medzi spotrebou denného maxima a minima, alebo letného/zimného maxima a jarného/jesenného minima. Diagram zaťaženia zobrazuje závislosť výkonu na čase (za obdobie deň, týždeň, mesiac, rok). Typický denný diagram zaťaženia (DDZ), ktorý predstavuje priebeh zaťaženia za 24 hodín, je na predchádzajúcom obrázku.

Pri plánovaní celého regulačného systému (výroba-prenos-distribúcia) sú zohľadnené maximálne zaťaženia. Tým pádom v čase minimálnych spotrieb ostáva značná časť kapacity nevyužitá. Výkyvy vo výrobe a spotrebe elektriny spôsobujú výkyvy frekvencie a napätia. Pri týchto je treba dodržiavať prísne limity, inak utrpí elektrická energia na kvalite, tým sa systém stáva nestabilným, môžu byť poškodené zariadenia a môže dôjsť až k väčším výpadkom. Aplikácie na uskladnenie energie môžu v takýchto prípadoch poskytnúť potrebnú elektrickú energiu, tým že fungujú ako vyrovnávacie zariadenia medzi stále sa meniacou spotrebou energie a výrobnými kapacitami. Ak sa inštalujú aplikácie na uskladnenie energie v blízkosti spotrebiteľských uzlov, umožní to rozptýlenie zaťaženia na strane spotrebiteľa, tým pádom je treba sa postarať o menšie špičkové výkony na strane výroby, ale podobne to môže vyvolať aj rozvoj siete zvyšujúcim sa dopytom spotrebiteľov (dopytom po energii).

Skladovanie energie môže znamenať tú zásobu, ktorá odpojí elektrárne od okamžitej spotreby tým, že podľa sieťových dopytov prijme (naakumuluje) chýbajúce alebo vybije (vyčerpá) jej nadbytočné množstvo. Toto sa môže diať za rôzne časové intervaly, za milisekundy, minúty, ale aj viac hodín. Tradične, resp. tam, kde boli podmienky výhodné, boli vybudované prečerpávacie vodné elektrárne (PVE) s tým cieľom, aby veľké centrálné elektrárne neboli odstavené (vypnuté) ani v čase minim.

### 3.7.3 Účinnosť skladovania elektrickej energie

Uskladnenie elektrickej energie umožňuje výrobcovi elektrickej energie poslať prebytok vyrobenej elektrickej energie cez sieť elektrických vedení na dočasné uloženie do energetických úložísk. Tieto úložiská sa stanú v čase väčšieho dopytu po elektrickej energii zdrojom energie. Úložiská tiež optimalizujú produkciu energie ukladaním tzv. špičkovej elektrickej energie, ktorá sa využije v čase špičkového odberu. Sieť energetických úložísk má úzky súvis s decentralizovanou výrobou energie. Z hľadiska účinnosti uskladnenia je výhodnejšie si zvoliť menšie, decentralizované (tzv. distribuované) riešenia, a tieto inštalovať pripojením k sieti v blízkosti spotrebiteľských centier. Tým sa dajú úložiská v čase minima dobiť a v čase maxima vybiť. V prípade, ak by sa zvýšil dopyt centra na špičkový výkon, nebol by nutný okamžitý rozvoj elektrizačnej siete, do určitej miery by to skladovacia technológia vedela riešiť. Distribuované skladovanie takéhoto rázu by bola zárukou nie len kvality výkonu, ale umožnilo by napr. aj inštaláciu solárnych a veterných elektrární v blízkosti zariadenia a poskytovalo by ďalšiu flexibilitu prevádzkovateľovi systému.

Okrem toho sa výroba z obnoviteľných zdrojov energie nemusí nutne zhodovať so špičkou spotreby. Skladovaním energie by mohli byť takto navyše vyrobené energie uchované pre najbližšiu špičku spotreby, kedy je aj aktuálna cena elektriny vyššia. Užívatelia fotovoltických a veterných zdrojov sa môžu vyhnúť používaniu batérií tým, že sa pripoja do siete úložísk. Elektrická energia fotovoltiky môže byť potom akumulovaná do úložiska pre nočnú spotrebu a energia z vetra sa zas z úložiska využije v čase bezvetria.

Bez dostatočných skladovacích kapacít by sa musela aj výroba z OZE zúčastniť procesu krátkodobej regulácie siete, čiže v prospech stabilnej prevádzky sietí by sa mali aj napr. veterné turbíny regulovať, aby poskytli pozitívnu/negatívnu regulačnú kapacitu, aj keď je týmto prevádzkový zisk značne poškodený, za podmienok ešte neznámych pri investovaní.

Nadmerné využívanie OZE znižuje priaznivý vplyv inercie systému. Veľká rotujúca hmota s konštantným počtom otáčok u tradičných elektrární, generátorov parných turbín dobre kompenzujú krátke zmeny. U väčšiny OZE chýba táto inercia, čo je potrebné nahradiť novými prostriedkami „primárnej regulácie frekvencie“. Presadzovanie uvedenej inercie, čiže vplyvu primárnej regulácie frekvencie, sa posunie aj z hľadiska umiestnenia. Elektrárne využívajúce OZE nebudú inštalované na

mieste existujúcich veľkých elektrární, alebo v ich tesnej blízkosti. Kvôli územnému preloženiu ťažísk inercie, pri určovaní nároku na obnovu sieťovej regulačnej rovnováhy treba brať do úvahy aj prípadné prekážky prenosovej sústavy, napr. veľkosť vznikajúcich strát. Nové možnosti na vyváženie energie môžu byť inštalované v tesnej blízkosti OZE a špičkových spotrebičov. Územné presuny zvyšujú aj potrebu vylepšenia požiadaviek na pomalšiu sekundárnu reguláciu frekvencie. Zvyšuje sa dopyt po vysokovýkonných sekundárnych regulačných rezervách. OZE (vietor, slnko) závislé na počasí totiž spôsobujú oveľa rýchlejšie a väčšie výkyvy. Tu vymenované vplyvy upriamujú pozornosť na koordináciu, vylepšenie minulých a súčasných primárnych a sekundárnych frekvenčných regulačných rezerv a na racionálny rozvoj súvisiacej infraštruktúry.

### 3.7.4 Rozvoj súvisiacej infraštruktúry

Aplikácia skladovania energie vo veľkej miere závisí od štrukturálnych daností siete, totiž elektrizačná sústava je iba časťou celkovej energetickej infraštruktúry, ktorá je závislá v prvom rade od priemyselnej vyspelosti krajiny a geografických daností. Európske prenosové sústavy, vrátane Slovenskej elektrizačnej prenosovej sústavy, a.s. (SEPS, a.s.) vytvorili spoločnú asociáciu Európska sieť prevádzkovateľov prenosových sústav (ENTSO-E). ENTSO-E bola založená v Bruseli v roku 2008 podpisom 42 prevádzkovateľov prenosových sústav ako nástupca 6 regionálnych združení (ETSO, ATSOI, UKTSOA, NORDEL, UCTE a BALTSO) a nadobudla platnosť 1. júla 2009. Jej hlavné úlohy sú: vypracovanie a uzákonenie sieťových pravidiel, vytvorenie prostriedkov slúžiacich pre spoluprácu prevádzkovateľov prenosových sústav, vypracovanie desaťročného rozvojového programu a ročných pracovných plánov, príprava ročných správ a predpovedí výroby (leto-zima).

Hlavné ciele:

- bezpečnosť dodávok,
- uspokojenie potrieb vnútorného energetického trhu,
- podpora integrácie trhu a podpora príslušných projektov výskumu a vývoja (V+V) a formovanie verejnej mienky o prenosovej infraštruktúre,
- poradenstvo smerom k tvorcom energetickej politiky a iným zainteresovaným stranám.

Na zabezpečenie rovnováhy medzi spotrebou a výrobou na trhu s elektrinou je potrebné obstarat' regulačnú elektrinu. Rozšírenie aliancií viedlo k zníženiu dopytu po regulačnej elektrine, tento dopyt stúpol znova zvýšením podielu kolísavých dodávok. Na trhu regulačnej elektriny môže viesť aplikácia technológií úschovy energie k zisku. Súťažia tu ale s rotujúcou sa rezervnou kapacitou celkového elektrárenského parku, ktorá je dnes ešte značná. Iná otázka je, že tieto rezervy by sa dali časom (zatvorením starých elektrární s nízkou účinnosťou) vyradiť, čo by prinieslo výhody z environmentálneho a hospodárskeho hľadiska.

Popri regulovanej energii, ktorá je potrebná niekoľko minút ale musí byť neustále k dispozícii, potrebujeme mať aj rezervné kapacity pre krízové situácie. V týchto prípadoch je potrebný vyšší výkon na dlhšiu dobu (hodiny, ale aj dni). V súčasnosti sa používajú riešenia s nižšími jednotkovými výrobnými nákladmi (najmä plynové turbíny), ale dlhodobo je potrebné zmeniť štruktúru rezervných kapacít z dôvodu bezpečnosti dodávok.

V Správe Európskej komisie z 17.11.2010 sa píše, že pomocou dobre prepojených a inteligentných sústav vrátane veľkokapacitného skladovania je možné náklady na rozvoj energetiky z obnoviteľných zdrojov znížiť, pretože najväčšiu efektívnosť je možné dosiahnuť na celoeurópskej úrovni.

Technológie na skladovanie elektrickej energie môžeme aplikovať v závislosti od rôznych výkonov, skladovacích kapacít centrálnne, hlavne na prenosovej sieti, a decentralizovane, tzv. distribuovaným spôsobom na distribučnej sieti, príp. aj nezávisle od siete v ostrovnom režime.

V prípade strednodobého a dlhodobého uskladnenia energie väčších výkonov rozoznávame v podstate tri hlavné možnosti aplikácie technológiami inštalovanými na sieť:

- centrálnne veľké úložiská využívané na reguláciu ES

- centrálné veľké úložiská pre preklopenie dlhodobějších výpadkov
- vyrovnávacie batérie a regulácia napájania siete

Zužitkovanie technológie na skladovanie energie vo forme vyrovnávacej batérie inštalovanej priamo pri jednotke vyrábajúcej elektrickú energiu (veľká elektrárňa, veterný park) je predmetom mnohých diskusií a v praxi sa veľmi zriedka používa. Pri zohľadnení celej siete, aj z hľadiska veľkosti a vyrovnávania, sa zdá byť logickejšie inštalovanie veľkých energetických úložísk pripojených k sieti.

#### **3.7.4.1 Centrálné veľké úložiská využívané na reguláciu ES**

Je to jedna z možností aplikácie strednodobého a dlhodobého uskladnenia energie väčších výkonov. Centrálné energetické úložiská môžu byť aplikované za účelom predaja elektrickej energie, vyrobenej elektrárnami s nízkymi variabilnými nákladmi, sem patria aj veterné elektrárne, v čase minima (obdobie nízkej ceny elektriny), v období špičky s vyššou cenou. Náklady na skladovacie technológie majú byť kryté z rozdielu medzi cenou na vstupe (fáza nabíjania) a cenou na výstupe, čiže predajnou cenou (fáza vybíjania) za určité časové obdobie určené investorom, samozrejme zohľadňujúc straty účinnosti, prevádzkových nákladov a nákladov na údržbu.

#### **PODPORNÉ SLUŽBY V ES SR**

Podporné služby sú služby, ktoré prevádzkovateľ prenosovej sústavy SR nakupuje na zabezpečenie poskytovania systémových služieb potrebných na dodržanie kvality dodávky elektriny a na zabezpečenie prevádzkovej spoľahlivosti elektrizačnej sústavy SR, pričom výsledkom ich aktivácie je dodávka regulačnej elektriny. Podľa toho, či sa jedná o zníženie alebo zvýšenie výkonu výrobných zdrojov a spotreby na strane spotrebiteľov, dodávaná regulačná elektrina môže byť kladná alebo záporná. Výrobca elektriny je povinný inštalovať zariadenia na poskytovanie podporných služieb (PpS), ak celkový inštalovaný elektrický výkon zariadenia na výrobu elektriny je vyšší ako 50MW.

Podporné služby, ktoré nakupuje PPS môžeme rozdeliť na nasledujúce druhy :

- podporné služby systémového charakteru:
  - primárna regulácia činného výkonu
  - sekundárna regulácia činného výkonu
  - terciárna regulácia činného výkonu
- podporné služby lokálneho charakteru:
  - diaľková regulácia napätia
  - štart z tmy (black start)
- havarijná výpomoc zo synchronne pracujúcich sústav

#### **3.7.4.2 Centrálné veľké úložiská na preklopenie dlhodobějších výpadkov**

V rámci ďalšieho rozširovania výroby elektriny z obnoviteľných zdrojov vyvstáva otázka, ako by sa dali ovládať sezónne výkyvy dodávok v budúcnosti - tak nadprodukcii ako aj deficit. Energetické úložiská inštalované iba za týmto účelom by mali byť obrovské, s GW výkonom a viacdňovou, ba aj 1-2 týždňovou skladovacou kapacitou – ale ročne by bolo treba iba niekoľko nabíjajúcich/ vybíjajúcich cyklov (síce aj ich počet sa bude podľa očakávaní zvyšovať). Nakoľko skladovanie energie môže byť ekonomické kvôli vysokým investičným nákladom iba ak sa často používa, preto táto aplikácia nie je sama o sebe výhodná, iba v kombinácii s denne sa opakujúcimi regulačnými úlohami. Táto alternatíva môže prichádzať do úvahy iba ak technológia umožní výrazné zvýšenie kapacity iba s miernym zvýšením nákladov (nízky špecifický nárast nákladov).

#### **3.7.4.3 Decentralizované (distribované) aplikácie**

V súvislosti so štruktúrnou zmenou v dodávke elektrickej energie odborníci predpovedajú blízky príchod rôznorodých skladovacích aplikácií v súvislosti s distribučnou sieťou, ktoré sú



podporované aj novými technológiami na skladovanie energie. Budúcu energetickú situáciu vytvára už aj dnes výroba založená na rozširujúcom sa využívaní obnoviteľných zdrojov a decentralizovaných elektrární s kombinovanou výrobou tepla a elektrickej energie (KVET). Vyrobená elektrina pomocou týchto zdrojov je dodávaná do nízkonapäťovej a stredno-napäťovej siete. Koncept inteligentnej siete (mikrogrid) v rámci rozvoja distribučnej sústavy umožňuje riešiť požiadavku na zvýšenú inštaláciu výrobných zariadení z obnoviteľných zdrojov energie v súlade s naplnením environmentálnych cieľov stanovených Európskou komisiou a s využívaním moderných technológií inteligentných sietí, a tým zároveň eliminovať problémy, ktoré integrácia OZE prináša súčasným prevádzkovateľom elektrizačnej sústavy. Pribežne so zvyšovaním podielu distribuovanej dodávky energie sa bude zvyšovať aj dopyt po uskladnení energie v distribučnej sieti. Toto bude charakteristické najmä pre výrobu elektriny z obnoviteľných zdrojov energie (vietor, slnko), ktoré produkujú elektrinu iba vtedy, ak zdroj je k dispozícii v danom čase, na danom mieste, v dostatočnom množstve (napr. pri príliš silnom vetre sa tiež zastavia veterné turbíny). Ale aj pri kombinovanej výrobe bude potrebné energiu uskladniť, pretože využitie tepla a elektriny sa v čase často líšia od seba navzájom (napr. v zime je tepelná energia – aj cez CZT - potrebná na vykurovanie domácností aj cez noc, kedy dopyt po elektrickej energii výrazne klesne).

Možnosti využívania distribuovaného typu skladovania energie sú rôzne, takže sieťové distribuované úložisko môže byť nasadené na riešenie miestnych regulačných úloh aj pre nadradené úlohy prenosovej sústavy (prostredníctvom „virtuálnych veľkých úložísk“, v ktorých sú spojené menšie úložiská do klastra) a tak sa môžu zúčastniť aj ponuky systémových služieb. Distribuované uskladnenie energie je najmodernejšou technológiou, ktorá pri každom stupni energetického reťazca maximálne využíva efektivitu vo svoj prospech:

- zlepšovaním efektivity a rovnomerného využívania elektrickej energie
- zvyšovaním kvality energie pomocou lepšej regulácie napätia a frekvencie
- s minimálnym rizikom prerušenia dodávok elektrickej energie
- zvyšovaním využiteľnosti zdrojov obnoviteľnej energie tak, aby bolo možné
- čistú energiu využívať aj v dlhších časových intervaloch
- zabezpečením spoľahlivosti zdroja energie pre spoločnosť

#### **3.7.4.4 Multifunkčné skladovacie systémy**

Vo väčšine prípadov bude možné, ale z ekonomických hľadísk aj potrebné, energetické úložisko určitého typu využiť nie iba jednoúčelovo, ale aplikovať ho aj na ďalšie z horeuvedených možností. Takto napr. jednoduchá bezprestávková technológia energetického zdroja, ktorá je potrebná iba pri zriedkavých sieťových poruchách, môže byť využitá v zostávajúcej pohotovostnej dobe na zmiernenie sieťových reakcií (podľa možností aj v spojení s inými úložiskami vo virtuálnej sieti) a tým môže poskytovať aj systémové služby. Využívanie jednotlivých uskladňovacích systémov na viaceré účely je možné za predpokladu riadenia skladovania na vysokej úrovni, to znamená, že v prípade adekvátnej sieťovej poruchy dokáže kontinuálna technológia spĺňať svoju prvoradú úlohu. Takže je na zváženie, či sa neoplatí inštalovať do o niečo vyššej skladovacej kapacity pre danú aplikáciu vzhľadom na to, že multifunkčné využitie by mohlo výrazne zlepšiť návratnosť zariadenia. Výber vhodnej technológie vo veľkej miere závisí od možných aplikačných scenárov. K tejto kategórii energetických úložísk patria napr. akumulátory elektromobilov budúcnosti, ktorých prvoradou úlohou je zabezpečenie pohonu vozidla, ale nakoľko vozidlo (spolu s akumulátorom) musí byť určitý čas pripojené k sieti, za túto dobu môže spĺňať viacero iných úloh (napr. príjem nočnej produkcie).

### 3.7.5 Technológie na uskladnenie elektrickej energie

#### 3.7.5.1 Súčasná situácia a rozvojový potenciál

Uskladnenie elektrickej energie má viacero spôsobov a aplikácií. Môžeme sem zahrnúť celé spektrum zariadení počnúc od mikrosystémov cez aplikácií v domácnosti a v doprave po obrovské zariadenia zabezpečujúce dodávku elektrickej energie.

Pri napájaní elektrických sietí z obnoviteľných zdrojov energie, v prípade solárnej a veternej energie závislých od poveternostných a sezónnych podmienok, vyrovnanie rozdielu medzi kolísavou výrobou elektriny a vo veľkej miere od pracovných a životných cyklov závislou spotrebou znamená nevyhnutne výzvu. Ďalším rozšírením výroby elektriny z obnoviteľných zdrojov energie, ktorá nie je presne predvídateľná, pričom súčasná produkcia je užitočnosťou okamžite bez ohľadu na spotrebiteľský dopyt, postupne rastie význam krátkodobej pružnosti systému. K tomu všetkému musíme nutne počítať aj s rozdielom (často značným) medzi predpovedaným a skutočným výkonom. K stabilizácii systému je potrebný určitý kontrolný a vyrovnávací výkon, ktorý je dnes k dispozícii výhradne z výroby tradičných elektrární. Pritom zvyšovaním dopytu po regulácii (čiastočným zaťažením) ich účinnosť značne klesá, tým pádom narastajú emisie znečisťujúcich látok týchto elektrární a zároveň sa urýchlili ich opotrebenie a znížila sa životnosť. Následkom tohto procesu je aj zvýšenie jednotkových nákladov výroby elektriny. Tu treba zväžiť aj to, že veľa takýchto elektrární sa nachádza na konci životnosti a pri novej investícii je dlhodobá hospodárnosť prvoradé hľadisko, ktoré treba skúmať zohľadnením meniacich sa rámcových podmienok rozširujúcich sa obnoviteľných zdrojov.

Skladovanie energie v zásade umožňuje oddelenie výroby energie od spotreby, čo je v rozpore aj s dnes ešte platným spôsobom myslenia, konkrétne, že výrobná kapacita zodpovedajúca danému spotrebiteľskému dopytu musí byť v danom okamihu k dispozícii. Vhodné navrhnutie systému môže prispieť k tomu, aby bolo možné vyrovnáť rozdiely aj mimo regiónu. Treba sa usilovať o národohospodársky realizovateľné a udržateľné riešenie, ktoré zahŕňa rýchlo regulovateľnú kapacitu elektrární, rozvoj elektrickej siete, reguláciu výkonu a použitie energetických úložísk. Ďalšie rozšírenie používania OZE vyvoláva otázku, ako zvládnuť situácie dlhodobějších výrobných výkyvov, počas ktorých trvá nadbytok alebo nedostatok elektriny dni alebo týždne. Energetické úložiská aj tu môžu prispieť k riešeniu problémov.

Horeuvedené výzvy musia viesť k celkovej premene dopravného sektora, to znamená, že treba sa sústrediť na zabezpečenie väčšej, časom aj úplnej nezávislosti od fosílnych palív. Postupným rozšírením elektromobilov narastá aj dopyt po uskladnení energie. Prichádzajú do úvahy hlavne moderné (lítiové) akumulátory a/alebo vodíkové palivové články. Elektromobily, v závislosti od rýchlosti ich rozšírenia, by mohli slúžiť už v strednodobom horizonte ako značný skladovací potenciál, napr. nabitie elektrickou energiou v noci, čím odpadá nutnosť spätnej regulácie väčších elektrární. Pomocou inteligentných meračov uskladnenú energiu je možné užitočnosťou nie len počas premávky, ale aj pri státi spätným napájaním do siete. Úlohou tejto kapitoly je poskytnúť prehľad o možných typoch energetických úložísk, popis ich technologických vlastností v závislosti od rôznych aplikácií. Pri skladovaní elektriny vyrobenej z OZ môžu prísť do úvahy rôzne typy energií, príp. skladovacie spôsoby:

- Tepelná energia (roztopená soľ, para, ľad)
- Elektrická (superkapacitor, magnetické supravodiče)
- Mechanická (stlačený vzduch, zotrvačníky, pružiny),
- Chemická (vodík)
- Potenciálna energia (viaceré formy vodnej energie, napr. prečerpávacie vodné elektrárne)
- Elektrochemické
- Tradičné akumulátory (Pb, NiCd, NiMH)
- Moderné akumulátory s vnútornou akumuláciou (Li ion, NaS)
- Moderné prietokové kyselinové akumulátory (napr. VRB, ZnBr).

Od objavenia elektriny ľudia rozmýšľali o efektívnej metóde jej uskladnenia na neskoršie použitie. A tak ako sa vyvíjali technológie výroby elektriny, tak sa postupne rozvíjali aj metódy uskladnenia. Akumulácia energie je dôležitou súčasťou problematiky alternatívnych zdrojov energie.

V súčasnosti možno hovoriť o niekoľkých perspektívnych technológiách akumulácie elektrickej energie, ktoré majú potenciál stať sa najdôležitejšími hráčmi na trhu s akumuláciou elektrickej energie. Jedná sa o PVE, zásobníky stlačeného vzduchu, batérie, zotrvačníky, supravodivé magnetické cievky a elektrochemické kondenzátory (superkondenzátory). Systémy pre akumuláciu energie na báze vodíkových technológií majú taktiež veľký potenciál v blízkej budúcnosti dosiahnuť rozsiahlejšie uplatnenie v spojitosti s alternatívnymi zdrojmi, ktoré síce majú nestabilnú a nespoľahlivú dodávku elektrickej energie, ale ich inštalovaný výkon sa neustále zvyšuje.

PVE patria medzi klasické, najrozšírenejšie (viac než 90 % inštalovanej kapacity) a najviac prepracované riešenia v EÚ. S poklesom cien sa vzťahujú nové projekty batérií, najmä lítium-iónové batérie. Najväčšou výhodou batérií je rýchly čas odozvy, horšie je to už s ich kapacitou. Najväčšiu perspektívu tak majú podľa odborníkov v distribučných sústavách nízkeho a stredného napätia. Lítium-iónové batérie predstavujú väčšinu projektov elektrochemického skladovania. Pri nich treba brať do úvahy aj recykláciu týchto systémov a ich efektívnu životnosť, pretože predkladané teoretické špecifikácie môžu byť relatívne optimistické v porovnaní s ich využitím pri menovitých podmienkach.

Vybrané spôsoby uskladnenia sú podrobnejšie opísané v mílniku 1 aktivity č.5. Úlohou tejto kapitoly je poskytnúť prehľad o možných typoch energetických úložísk a doplňujúce informácie k technologickým vlastnostiam vybraných úložísk v závislosti od rôznych aplikácií. Vodíková technológia je tiež rozoberaná podrobnejšie, nakoľko vodík sa pokladá za najčistejší nosič energie, ktorý možno vyprodukovať pomocou obnoviteľných zdrojov energie. Svojimi širokými možnosťami produkcie a využitia sa zaraďuje medzi najperspektívnejších kandidátov na titul hlavný nosič energie blízkej budúcnosti. Napriek svojej slabej rozšírenosti má vodík enormný potenciál zabezpečiť všetky energetické potreby ľudstva, hlavne v sektore dopravy z dôvodov ochrany životného prostredia.

Z pohľadu návrhu dátových štruktúr databázy, ktorá bude poskytovať údajovú základňu potrebnú pre generovanie digitálneho modelu elektrickej siete, je potrebné získať základné ukazovatele každej technológie pre úschovu energie, ktorými sú:

- špecifická hustota energie [Wh/kg]
- merný výkon [W/kg]
- účinnosť [%]
- samovybíjanie (straty)
- životnosť (počet cyklov)

### 3.7.5.2 Akumulácia tepelnej energie

Tepelná a elektrická energia sú tesne spojené, pri viacerých priemyselných chemických procesoch vzniká teplo ako vedľajší produkt (odpadové teplo), nie je možné ho vždy v čase vzniku použiť, preto je účelné sa postarať o jeho akumuláciu. Okrem toho existuje veľa oblastí tepelnej akumulácie, napr. v prípade slnečných kolektorov. Technologické riešenia sú väčšinou známe, ich význam sa zvyšuje s rastúcimi cenami energií. Existuje rad technológií na skladovanie tepelnej energie, ale pre všetky platí, že aj pri premene elektrickej energie vznikajúca tepelná energia je uskladnená v nejakom médiu, napr. cieľom vyrovnanie nočnej a dennej výroby a spotreby elektrickej energie. Toto skladovanie môže byť uskutočnené pri teplote vyššej ako prostredie (vykurovanie, teplá voda) aj pri nižšej teplote (chladenie, klimatizácia). Ako najrozšírenejší príklad skladovania pri vyššej teplote slúži slnečný kolektor, túto technológiu aplikujú už viac desaťročí, s elektrinou úzko nesúvisí, preto nebudeme ju rozoberať podrobnejšie.

Zaujímavejšia technológia je výroba elektrickej energie pomocou roztavenej soli. Pri tejto technológii pomocou žľabových slnečných kolektorov, v ktorých je tekutá soľ zohrievaná pôsobením koncentrovanej slnečnej energie na teplotu 566 °C, sa roztaví soľ (bod tavenia: 131 °C), ktorá sa

skladuje v dobre izolovanej skladovacej nádrži do tej doby, kým nevznikne dopyt po elektrickej energii, napr. v prípade OZE za nepriaznivých poveternostných podmienok. Súčasné skladovacie nádrže umožnia aj týždňovú akumuláciu. Ak vzniká potreba využiť tento zdroj energie, roztavená soľ tradičným spôsobom (známym u fosílnych alebo atómových elektrární) sa použije pomocou parných generátorov a turbín na výrobu elektrickej energie. Pre turbínu s výstupným výkonom 100 MW je potrebná skladovacia nádrž o objeme 4000-4500 m<sup>3</sup>. V súčasnosti sú takéto zariadenia priemyselného rádu v Európe iba v Španielsku. Solárna elektrárňa Gemosolar inštalovaná v Fuentes de Andalucía (Seville) spoločnosťami Masdar z Abu Dhabi a SENER zo Španielska využíva tento netradičný prístup k využívaniu energie Slnka. Dokáže vyrábať elektrickú energiu aj v tme a napájať 25 000 domácností. Namiesto bežných solárnych panelov sú totiž použité veľké reflektory, ktoré odrážajú svetlo na centrálnu, 140 metrov vysokú vežu. Táto dokáže absorbovať 95% žiarenia zo spektra Slnka, a počas dňa sa zahreje až na 500°C. Vnútri sa roztápa zmes solí, ktorá funguje ako vodič tepla vytvárajúci v spodnej časti paru pod vysokým tlakom. Tá následne poháňa tradičné turbíny, generujúce elektrickú energiu. Zaujímavosťou tohto riešenia je, že vďaka akumulácii tepla je možná prevádzka solárnej elektrárne aj po západe Slnka. Počas viacerých slnečných dní, kedy sa roztavené soli ohriali na "plnú kapacitu", dokázali dokonca vyrábať elektrinu nepretržite 24 hodín. S turbínou o výkone 19,9MW dokáže táto jedna elektrárňa zabezpečiť vyššie uvedené množstvo energie.

Modernou technológiou s nižšou teplotou ako okolie je aplikácia ľadu, pri ktorej pomocou lacnej (nočnej) elektriny sa vyrobí ľad, ktorý je využívaný následne cez deň pri maximálnych teplotách (a maximálnej spotrebe elektriny) na klimatizáciu. Ako veľa iných technológií, aj táto je odvodená z dávno zaužívaných metód, pretože pred rozšírením chladničiek sa na mnohých miestach používal ľad privázaný z hôr, jazier alebo riek a skladovaný pod zemou v obciach, mestách na chladenie na jar a v lete. Nakoľko 1 m<sup>3</sup> vody je schopný uskladniť 93 kWh (334 MJ) energie, jej premenou na ľad sa dá zabezpečiť chladenie aj väčších budov po celý týždeň.

### **3.7.5.3 Elektrické skladovanie energie**

- Superkapacity
- Supravodivé magnetické akumulovanie energie (SMES)

### **3.7.5.4 Mechanické spôsoby skladovania energie**

- Zotrvačnické úložisko energie
- Akumulácia energie stlačeným vzduchom
- Hydroelektrické akumulovanie elektriny – Prečerpávacie vodné elektrárne (PVE)

### **3.7.5.5 Elektrochemické technológie skladovania energie**

Elektrochemické uskladňovacie systémy môžeme zaradiť do rôznych kategórií. Najdôležitejším rozdielom je spôsob integrácie skladovacieho média. U systémov s vnútorným zásobníkom sa proces elektrochemickej premeny energie a samotné uskladnenie energie odohrávajú v tom istom priestore. Tým pádom množstvo uskladnenej energie a nabíjací a výstupný výkon sú priamo spojené. Ak potrebujeme vyšší výkon, súčasne sa zvýši aj veľkosť skladovacieho média a platí to aj opačne. Do tejto kategórie patria všetky tradičné akumulátorové systémy, ktoré sa delia aj podľa toho, či fungujú pri izbovej alebo vyššej teplote. U skladovacích systémov s vonkajším zásobníkom je skladovacie médium oddelené od transformátora elektrickej energie. Nabíjací a výstupný výkon sa dajú nadimenzovať nezávisle od veľkosti skladovacieho média.

- Olovené akumulátory
- Nikel-metál hybridové (NiMH) a nikel-kadmium (NiCd) akumulátory
- Lítium-ionové (Lilon, Lion, Li-ion) akumulátory
- Vysokoteplotné akumulátory (NaS, NaNiCl)

- Prietokové redoxné batérie
- ZnBr akumulátory
- Cérium-zinkový akumulátor
- Regenesys-polysulfid-brómový akumulátor
- VRB ESS batérie

### 3.7.5.6 Chemická akumulácia – vodíková technológia

Vodík (lat. Hydrogenium) je chemický prvok v Periodickej tabuľke prvkov, ktorý má značku H a protónové číslo 1. Vo voľnej prírode sa atómy vodíka nenachádzajú, pri zrode atómového vodíka sa okamžite spája do molekuly H<sub>2</sub>. Zaraďuje sa do prvej aj do siedmej skupiny periodickej sústavy, lebo má vlastnosti prvkov prvej aj siedmej skupiny. Latinský názov pochádza z gréčtiny (hydór = voda, gennaó = vytváram) a objavil ho Henry Cavendish. Slovenský názov je odvodený rovnakou logikou. Vodík bol objavený v roku 1766.

#### Fyzikálne vlastnosti

Vodík je najjednoduchší chemický prvok, je číry bezfarebný plyn bez chuti a zápachu. Je najľahší plyn vôbec (14,5-krát ľahší ako vzduch). Molekulárny vodík je pomerne stabilný a vďaka vysokej energii väzieb je takisto málo reaktívny. Jeho tepelná vodivosť je sedemkrát väčšia ako vzduchu. Molekuly sú extrémne malé a preto ľahko prechádzajú poréznymi látkami.

Rozpustnosť - Vo vode sa vodík rozpúšťa nepatrne: V 1 litri vody sa pri 0 °C a tlaku 0,1 MPa rozpustí 22 ml plynného vodíka. Lepšie sa rozpúšťa v nikli, paládiu a v platine. Pri rozpúšťaní v týchto kovoch sa molekuly vodíka štiepia na atómy. Atomárny vodík je reaktívnejší než molekulárny, preto reakcia vodíka za prítomnosti týchto kovov prebieha rýchlejšie. Nikel, paládium a platina sú preto výbornými katalyzátormi.

#### Chemické vlastnosti

Chemické vlastnosti sú podmienené stavbou atómu a postavením v periodickej tabuľke. Pri zlučovaní vodíka sa elektrónový obal mení dvojako:

1. Pribratím jedného elektrónu, nadobudne elektrónový obal konfiguráciu najbližšieho vzácneho plynu hélia, čím sa mení na anión H<sup>-</sup>.

2. Stratou jediného elektrónu sa atóm vodíka mení na protón. Protón (katión vodíka H<sup>+</sup>) sa vo vodných roztokoch viaže na voľný elektrónový pár kyslíka a tým sa vytvorí hydroxoniový katión H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + H<sub>2</sub>O → H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>

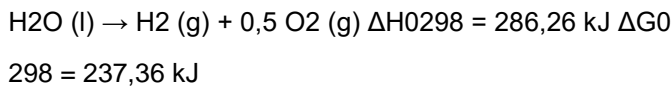
Vodík je jedným z najdôležitejších prvkov vo vesmíre: hviezdy, aj naše slnko z neho vyrábajú energiu. Je najrozšírenejším prvkom v celom vesmíre a tretí najrozšírenejší na Zemi. Na Zemi sa voľný vodík pri bežných podmienkach nevyskytuje, a preto je viazaný iba v zlúčeninách. Najväčšie množstvo vodíka je viazané vo vode, ktorá pokrýva väčšinu zemského povrchu, ale je viazaný i v rôznych organických i anorganických zlúčeninách. Je to tiež významný biogénny prvok.

Vodík bol vyrobený prvýkrát Robertom Boyleom v roku 1617. Je ľahký, bezfarebný, netoxický plyn bez zápachu. Vodík je najľahší plyn, 14-krát ľahší ako vzduch, s ktorým vytvára traskavý plyn. Zapálený zhorí na vodu veľmi horúcim plameňom, ktorého teplota dosahuje až 1900°C. Vodík má zo všetkých plynov najmenšiu tepelnú vodivosť, najmenšie vnútorné trenie, a teda aj najväčšiu difúziu schopnosť. Široká škála horľavosti, dolná hranica horľavosti o 4,1% obj horného limitu 75% pri koncentrácii oblasti, vrátane prečo tam boli nehody na vodíkových vzducholodiach. K jeho zapáleniu stačí rádovo menej zápalnej energie, ako potrebuje benzín. Táto jeho vlastnosť bol pokladaný v minulosti ako jeho negatívum, ale v súčasnosti sa využíva: v spaľovacích motoroch aj horšia zmes sa dokonale zapáli/vznietne. Má vysokú výhrevnosť, ale kvôli nízkej hustote má v porovnaní so zemným plynom trikrát nižšiu špecifickú výhrevnosť (pri atmosférickom tlaku výhrevnosť na jednotku objemu). Preto boli vymyslené rôzne skladovacie metódy komprimovaním, pri vysokom tlaku alebo pri nízkej teplote sa dajú

dosiahnuť niekoľkokrát vyššie výhrevnosti v porovnaní s fosílnymi palivami. Vodík bude zdrojom energie budúcnosti. Má v zálohe riešenie najdôležitejších úloh a najväčších výziev pre budúcu generáciu. Vodíkom sa dá úplne ekologicky zabezpečiť globálne zásobovanie energiou, bez toho, že by došli zdroje, pretože vodíka je dostatok. V reakcii s kyslíkom je vodík pri uvoľnení energie spaľovaný iba na vodu. Táto reakcia neprodukuje žiadne emisie, ako je to napríklad v prípade uhlíka, hlavného pôvodcu zmeny klímy. Vodík je teda čistý a zároveň veľmi efektívny zdroj energie.

### Výroba vodíka

Veľká časť vyrábaného vodíka (48 %) pochádza v súčasnej dobe z úpravy zemného plynu (parná reformácia). Pri týchto spôsoboch sa stráca hlavná výhoda využívania daného paliva, ktorá predstavuje ekologicky čisté palivo, vzhľadom na produkciu veľkého množstva CO<sub>2</sub> pri daných procesoch. Vodík je rozšírený hlavne v podobe najznámejšej molekuly – vody, pritom iba 4 % vodíka sa dnes získavajú z čistej elektrolýzy, pri ktorej je voda pri prívode elektrickej energie rozložená na svoje elementárne súčasti, vodík a kyslík. Rozklad vody elektrolýzou sa uskutočňuje podľa stechiometrickej rovnice:



Na získanie jedného metra krychlového vodíka pomocou elektrolýzy je potrebných 4,8 kWh elektrickej energie. V budúcnosti by mohol byť vodík získavaný výhradne pomocou obnoviteľnej energie, ako je veterná a solárna. Okolo 95 % v súčasnosti vyrábaného vodíka sa ihneď využíva v spotrebiteľskom priemysle. Celosvetovo sa vyrábané množstvo vodíka v súčasnosti pohybuje ročne okolo 45 miliónov ton a stačilo by na pohon 250 miliónov vozidiel. Celková výroba vodíka v súčasnosti predstavuje iba 1 % spotreby energie ľudstva, v budúcnosti sa predpokladá rádovo vyšší podiel vodíka na spotrebe.

### Technológia palivových článkov

Z uvedených dôvodov je nutné hľadať vhodné typy alternatívnych zdrojov energie pre následnú produkciu vodíka v elektrolýzách vody. Potenciálom sú zatiaľ nevyužitá časti slnečnej, vodnej a veternej energie. Priestor v zvyšovaní využiteľnosti podielu alternatívnych zdrojov energie spočíva aj v zvyšovaní účinnosti elektrolýz. Tým sa dosahuje väčšia účinnosť premeny. Značný pokrok v danom smere zaznamenali elektrolýzery využívajúce PEM (Proton Exchange Membrane) membránu.

Palivový článok je vodíkovou technológiou budúcnosti. V palivovom článku sa vodík a kyslík spoja do jednej zlúčeniny a uvoľnia pritom veľké množstvo energie. Ako vedľajší produkt tejto reakcie vzniká iba voda. Molekuly vody sa na anóde rozkladajú katalytickým účinkom platiny na kyslík, elektróny a jadrá vodíka (protóny), ktoré prechádzajú PEM membránou. Na katóde dochádza k zlučovaniu jadier s elektrónmi za vzniku molekúl vodíka. Minimálne teoretické množstvo elektrickej energie potrebnej na výrobu 1 m<sup>3</sup> vodíka predstavuje 2,94 kWh. S využitím vodíka ako zdroja energie je nielen spojená ekologicky absolútne nezávadná forma získavania energie, ale otvárajú sa i nové možnosti uplatnenia na trhu. Vodík môže slúžiť ako náhrada motorovej nafty a benzínu v cestnej premávke a môže byť využívaný i na mobilnú prevádzku elektronických prístrojov a na výrobu elektrickej energie a zásobovanie energiou z vodíka. Uskutočnenie tak rozsiahleho zásobovania energiou vo všetkých oblastiach života je veľkým, ale realistickým krokom. Vzniklo by tak vodíkové hospodárstvo, v ktorom by sa spojila výroba vodíka, zásobovanie vodíkom a odbyt vodíka.

### Vodíkové hospodárstvo

Uskutočnenie vodíkového hospodárstva vyžaduje mnohé riešenia a úspešné zvládnutie najrôznejších úloh:

- Musí sa podariť nájsť ekonomické metódy na izoláciu, odbyt a využitie vodíka, pretože najväčší problém spočíva v tom, ako sprístupniť vodík každému.
- Je potrebné vybudovať infraštruktúru, ktorá je potrebná k využívaniu

- vodíka ako univerzálneho nosiča energie. Ešte nie je jasné, aké konkrétne požiadavky vyplynú na existujúcu priemyselnú infraštruktúru. Cieľom je to, aby vedel každý užívateľ v budúcnosti využívať vodík, napr. natankovaním do auta tak samozrejme ako dnes benzín.
- Náklady elektrolýzy sú dne sú vysoké, je treba nájsť riešenia pre zníženie týchto nákladov, aby sa vyplácala túto formu výroby vodíku realizovať, ako je to napríklad pri využití zemného plynu.
- Je treba sa zaoberať aj so zvýšením miery akceptácie nových zdrojov energie obyvateľmi.
- Aby bol vodík verejnosťou prijatý, je nevyhnutné zorganizovať široko chápanú osvetovú kampaň o tejto technológii. Táto osвета musí byť uskutočnená celým spektrom obyvateľstva. Je teda nutné, aby priemysel a jednotlivé vlády spolupracovali vo všetkých týchto oblastiach.
- Cestou k znižovaniu emisií je aj využívanie vodíka ako alternatívneho paliva pre jeho nulovú produkciu CO<sub>2</sub>. Pre značné energetické nároky skvapalňovania a vysokotlakového stláčania, ako aj kvôli bezpečnosti uskladnenia sa začali hľadať hlavne pre automobilový priemysel iné vhodné formy uloženia vodíka.

### Možnosti uskladnenia vodíka

Ak má byť vodík používaný vo veľkom množstve, je jeho skladovanie kľúčovým problémom a má za následok pomalý vzostup samotného využívania tak v automobilovom priemysle ako aj v energetike. Napr. v dopravných prostriedkoch musí byť možné uskladniť dostatok vodíka pre umožnenie rovnakého alebo porovnateľného dojazdu ako majú súčasné automobily. Doteraz využívané, alebo skúmané spôsoby uskladnenia vodíka môžeme rozdeliť do nasledovných skupín:

- Skladovanie vodíka v plynnom stave (CHG)
- Skladovanie vodíka v kvapalnom stave (LHG)
- Skladovanie vodíka viazaného v kovových hybridoch (MH)
- Skladovanie vodíka adsorpciou na aktivovaný uhlík
- Skladovanie vodíka na uhlíku – nanotubes (CNTs)
- Skladovanie vodíka na materiáloch s metalorganickou štruktúrou (MOF)
- Uskladnenie vodíka v chemických hybridoch
- Vo všeobecnosti musia palivové nádrže:
  - uskladniť energiu s vysokou hustotou,
  - odolávať vonkajším mechanickým účinkom,
  - odolávať vysokým tlakovým a teplotným rozdielom,
  - pri transporte, resp. pri použití v automobiloch odolávať otrasom a chveniu.

### 3.7.6 Porovnanie jednotlivých technológií

Každá technológia akumulácie má určité vnútorné obmedzenia alebo nevýhody, preto praktické a úsporné využitie majú len pri ohraničenom rozsahu aplikácií. Najdôležitejšími parametrami jednotlivých technológií je dĺžka trvania dodávky naakumulovanej energie, jej množstvo a výstupný výkon. Na základe týchto hodnôt môžeme rozdeliť technológie akumulácie do troch základných skupín podľa účelu:

- Na zabezpečenie kvality elektrickej energie – energia uložená v týchto aplikáciách sa používa len na pár sekúnd alebo menej, aby bola zabezpečená kontinuita kvality siete,
- Na premostenie dodávky energie – energia uložená v týchto aplikáciách slúži na zabezpečenie kontinuálneho prechodu od jedného zdroja energie na iný,
- Na hospodárenie s energiou – akumulácia v týchto aplikáciách sa používa na optimalizáciu výroby a spotreby elektrickej energie. Príkladom je vyrovnanie denného diagramu zaťaženia, čo zahŕňa skladovanie energie v čase jej prebytku za nízku cenu a zhodnocovanie podľa potreby počas špičky. Ďalšie parametre, ktoré zohrávajú rolu pri výbere technológie sú:
  - Veľkosť a hmotnosť (najmä v doprave a mobilnej komunikácii)
  - Hustota energie a výkonu

- Investičné náklady, celkové náklady na systém, náklady spojené s výskumom, náklady na údržbu a opravy, náklady na životný cyklus zariadenia
- Účinnosť a počet nabíjacích cyklov počas životnosti

### 3.7.7 Podmienky na zavádzanie akumuláčnych systémov do distribučných sústav

Pred inštaláciou akumuláčného zariadenia do distribučnej sústavy (DS) je najskôr potrebné ho konfrontovať s prevádzkovými podmienkami DS. Je potrebné si uvedomiť, že každý typ akumulácie má svoje typické vlastnosti a preto je potrebné vykonanie predchádzajúcej analýzy, ktorá ukáže vhodnosť použitia daného typu akumulácie pre konkrétne použitie.

Pri inštalácii akumuláčného systému je tak isto požiadavka na využitie jeho maximálnej kapacity, resp. jeho využitie v plnej maximálnej možnej miere, pričom je potrebné obrátiť svoju pozornosť najmä na:

- kapacitu článku,
- maximálny nabíjací prúd,
- maximálny vybíjací prúd,
- wattovú účinnosť,
- rýchlosť prechodu medzi nabíjaním a vybíjaním.

Vzhľadom na vyššie vymenované parametre nie je napätie ako také smerodajným parametrom pri výbere typu akumulácie. Vhodným využitím práve pre menšie typy akumuláčnych sústav sa považuje ich využitie v rámci DS napr. ako alternatíva výstavby nových vedení.

Minimálne predpoklady, s ktorými je potrebné uvažovať pri návrhu akumuláčného systému, sú:

- Spoľahlivosť – jedná sa o jednu z najdôležitejších vlastností systému, hovorí tak isto aj o jeho životnosti.
- Kvalita elektrickej energie – čo sa týka kvality elektrickej energie sa najväčší dôraz kladie na PQ krivky, kvalitu sínusoidy, napäťovú a frekvenčnú stabilitu, účinník a vyššie harmonické.
- Rýchlosť nábehu – v závislosti od typu použitia akumuláčného systému závisí aj požiadavka na rýchlosť jeho reakcie, teda za akú dobu je schopný akumuláčny systém zmeniť svoj dodávaný, resp. akumulovaný výkon.
- Zmena režimu (nabíjanie, vybíjanie) – je závislá od kapacity a chemicko-fyzikálnych vlastností.
- Celková účinnosť.
- Cena a prevádzkové náklady.
- Fakt, či sa jedná o náhradný, alebo krátkodobý zdroj.
- Samovybíjanie – je ovplyvňované napr. teplotou, vlhkosťou a pod.
- Výkonová hustota – hovorí o tom, aký veľký bude v konečnom dôsledku akumuláčny systém.
- Rozmery systému.
- Prepraviteľnosť a modularita.
- Jednoduchosť montáže.



## 4 DÁTOVÁ ENTITA - ROZVODNÝ SYSTÉM

Elektrizačná sústava (ES) zahŕňa výrobu, rozvod a využitie elektrickej energie. Do sústavy teda patria generátory v elektrárnach, rozvodný systém a spotrebiče elektrickej energie. Do rozvodného systému patria všetky zariadenia medzi výrobnými a spotrebičmi t. j. všetky vedenia, rozvodne a rozvádzače, transformačné a meniace stanice so všetkými meracími, kontrolnými, spínacími, regulačnými a ochrannými zariadeniami.[28] .

V súvislosti s riešením problematiky inteligentných sietí / mikrogridov je potrebné podotknúť, že medzi hlavné úlohy výskumu v oblasti elektroenergetiky patrí aj hľadanie čo najefektívnejších a najprogressívnejších metód uskladnenia elektrickej energie. Uskladňovanie energie je v súčasnosti mimoriadne aktívne preskúmaná oblasť trhu.

Aj z pohľadu modelovania ES je vhodné tento systém rozdeliť na časť výroby, prenosu a spotreby, pričom časť prenosu, ktorej je venovaná táto kapitola, pozostáva z jednotlivých uzlov a vetiev. Vetva predstavuje časť elektrického obvodu medzi dvoma uzlami. Vetvy v rámci sieťových výpočtov modelujú vedenia, transformátory, vypínače a pod. Uzol je definovaný ako vodivé spojenie dvoch alebo viacerých prvkov v jednom mieste. Uzol modeluje bod, v ktorom sa spájajú vetvy, a môžu byť do nich pripojené záťaže alebo výrobné bloky.

Distribučné sústavy plnia v rámci elektrizačných sústav dôležité úlohy týkajúce sa distribúcie a rozvodu elektrickej energie. Za týmto účelom využívajú rôzne zariadenia, ktorých stav a parametre musia byť kontinuálne monitorované, aby sa zabezpečila bezpečná a spoľahlivá prevádzka príslušnej distribučnej sústavy.

Idea modelovania distribučných sústav nie je nová. V minulosti sa pozornosť venovala najmä úrovni vysokého napätia. Siete nízkeho napätia sú obvykle modelované menej detailne než siete vysokého napätia a prenosové sústavy. Tradičný spôsob modelovania stavu v elektrickej sieti sa spolieha na predpoklad, že parametre sieťových prvkov a topológia elektrickej siete sú známe s dostatočne vysokou presnosťou. Pri typickom modelovaní, analýze a simuláciách hladiny nízkeho napätia sú jednotlivé záťaže a zdroje elektriny priamo pripojené na prípojnicu sekundárnej strany transformátora. Tento prístup má však slabiny najmä pri analýze tokov jalových výkonov a strát elektriny v systéme. Zjednodušovanie modelovania a simulácií siete nízkeho napätia, napríklad často sa trojfázový systém rieši zjednodušene pomocou jednofázového ekvivalentného obvodu, sa pripisuje absencii dát z tejto napäťovej hladiny.

Meniace sa energetické prostredie, v ktorom distribuované zdroje sa umiestňujú čoraz viac na stranu nízkeho napätia, si však vyžaduje podrobnejšie modely aj na tejto napäťovej úrovni. Obvody nízkeho napätia sú konceptuálne jednoduché a je možné ich modelovať presne, avšak za vyvážených podmienok. V súčasnosti pretrváva veľký stupeň neistoty s ohľadom na presnosť a kvalitu modelov nn sietí. Zvýšenie presnosti parametrov modelu siete nízkeho napätia je dôležité pre implementáciu obnoviteľných zdrojov energie. To je významné najmä v tých častiach sietí, ktoré obsahujú vysoké podiely distribuovanej výroby.

Distribučné sústavy sa stávajú čoraz viac komplexnejšími systémami s narastajúcim počtom riadiacich a monitorovacích prvkov pre kvalitu elektrickej energie. Pomocou týchto prvkov je možné zlepšiť odhad stavu elektrizačnej sústavy ako systému a zvyšovať efektivitu riadenia. Inteligentné meracie systémy sú základom pre budovanie a rozvoj inteligentných sietí a mikrogridov a ponúkajú nový spôsob modelovania sietí nízkeho napätia.

Problematika hlavných zariadení rozvodného systému je obsiahnutá v mĺňniku č.1 aktivity č.5. V rámci tejto kapitoly je problematika riešená z pohľadu návrhu dátových štruktúr navrhovanej databázy. Pozornosť je venovaná sieťovým prvkom vedenie a distribučný transformátor, ktoré z pohľadu budúcich sieťových simulácií a analýz by mohli nájsť svoje opodstatnenie.

## 4.1 Vedenia

Na rôzne účely praxe je nutné poznať elektrické parametre vonkajších a káblových vedení. Jedna z najdôležitejších potrieb je správne nastavenie elektrických ochrán vzdušných vedení, pretože sú zo všetkých prvkov elektrizačnej sústavy najviac vystavené poruchám. Pre správne nastavenie citlivosti elektrických ochrán je potrebné poznať veľkosti poruchových prúdov, ktorých veľkosť závisí predovšetkým od parametrov elektrických vedení. Navyše, podľa veľkosti poruchových prúdov sa dimenzujú elektrické zariadenia, resp. hodnotí sa bezpečnosť prevádzky.

Jednotlivé vedenia sa pre určenie ustáleného stavu (výkonové, napäťové a prúdové pomery v sieti) alebo pre výpočet prechodných javov v ES (skratové pomery, prepätia) nahradzujú náhradnými schémami so svojimi elektrickými parametrami.

Elektrické parametre, ktorými sa nahradzujú jednotlivé vedenia, sú:

R - rezistancia vedenia [ $\Omega$ ],

X – indukčná reaktancia vedenia [ $\Omega$ ],

G - konduktancia (zvod) vedenia [S],

B - susceptancia vedenia [S].

Vplyv týchto parametrov na prenos elektrickej energie je rôzny, a to podľa druhu a veľkosti napätia daného vedenia. Pri striedavých vedeniach NN, ako aj pri jednosmerných vedeniach sa berie do úvahy rezistencia. Ostatné parametre veľmi málo ovplyvňujú prenos elektrickej energie a preto ich môžeme vo väčšine prípadoch zanedbať. Pri vonkajších vedeniach vysokého napätia stačí brať do úvahy len rezistenciu a indukčnú reaktanciu, pri vedeniach VVN a ZVN je potrebné uvažovať už aj s kapacitnou reaktanciou vedenia. Zvod sa môže teoreticky vyskytovať pri každom napätí, prakticky spolu s korónou sa uvažuje len pri napätiach väčších ako 60 kV. Pri káblových vedeniach je zvyčajne malá indukčnosť, teda ich elektrické vlastnosti určuje rezistencia a najmä kapacita.

Okrem týchto základných parametrov sa zavádzajú ešte aj ďalšie parametre, ktoré majú vzťah k základným parametrom, alebo majú samostatný fyzikálny význam. Sú to napríklad vlnová impedancia vedenia a jeho prirodzený výkon.

$$\text{Vlnová impedancia } [\Omega]: \quad Z_0 = \sqrt{\frac{R+jX}{G+jB}}$$

Ak sa vedenie zaťaží vlnovou impedanciou, vedením je prenášaný práve prirodzený výkon. Takéto vedenie nazývame prispôbeným. Z hľadiska strát na vedení sa jedná o optimálny stav, lebo straty činného výkonu na vedení sú minimálne.

$$\text{Prirodzený výkon } [W]: \quad P = \frac{U}{Z_0}$$

V závislosti od toho, aký výkon je vedením prenášaný (menší alebo väčší ako prirodzený výkon), sa vedenie chová ako spotrebič resp. zdroj jalového výkonu.

V prípade, že je porušená symetria sústavy, prúdy v obvodoch a napätia medzi fázami sa dostávajú do nevyváženého stavu. Popis týchto dejov sa stáva zložitým a neprehľadným. Z toho dôvodu sa využíva pri výpočte rozloženie nesúmerného deja do niekoľko jednoduchších dejov, ktoré podľa princípu superpozície môžeme opäť spojiť do celkového deja. Naznačené metódy je možné použiť iba pre lineárne obvody, teda pre lineárne závislosti.

Teória zložkových sústav spočíva v tom, že akýkoľvek fázor trojfázovej sústavy je možné rozložiť do troch nových fázorov. V praxi sa najviac využíva metóda súmerných zložiek. Metóda spočíva v tom, že akákoľvek nesúmerná trojfázová sústava môže byť rozdelená do troch súmerných sústav – súslednej, spätnej a netočivej. Vedenia radíme medzi statické zariadenia s magnetickými väzbami medzi fázami. Impedancia a jej zložky pre tieto zariadenia sú rovnaké pre súslednú a spätnú zložku,

pretože vzájomné indukčnosti medzi fázami sú rovnaké. Netočivá impedancia a jej zložky sú závislé od konštrukcie zariadenia a od spôsobu uzemnenia uzla. Preto v dátovej štruktúre databázy pre entitu vedenie má miesto susedná zložka napr. rezistancie vedenia  $[\Omega]$  a aj netočivá zložka napr. rezistancie vedenia  $[\Omega]$  atď.

Ďalšími dôležitými parametrami pre entitu vedenie sú:

**Idov -dovolený prúd [A]** predstavuje maximálny prúd, ktorý môže pretekať vedením v trvalej prevádzke, pričom nedôjde k ohriatiu vodiča nad pracovnú teplotu (vo všeobecnosti sa za maximálnu pracovnú teplotu vodiča považuje  $70^{\circ}\text{C}$ ).

**Un - nominálne napätie vedenia [kV]** je parameter, ktorý určuje napäťovú hladinu, na ktorej sa bude vedenie prevádzkovať.

Pred samotným riešením elektrickej siete je potrebné urobiť topologickú prípravu:

- zostrojiť kostru zapojenia siete,
- očíslovať napájacie a odberové uzly,
- zvoliť referenčný uzol,
- označiť vetvy a
- zvoliť ich orientáciu.

Preto okrem vyššie uvedených elektrických parametrov vedenia je potrebné určiť miesto príslušného vedenia v danej topológii elektrickej siete.

Úlohou identifikácie parametrov je zistiť numerické hodnoty pre parametre takéhoto modelu vedenia. Potrebné dáta sa získavajú od výrobcov vedení a následne sú upresňované dátami získanými meraním počas prevádzky prevádzkovateľmi sústav. Kvalita modelovania je závislá predovšetkým od kvality údajov. V praxi pre modelovanie sú menej dostupné namerané hodnoty elektrických parametrov celých vedení. Častejšie dostupnými sú parametre dĺžka a typ vedenia, a preto oni majú svoje miesto v dátovej štruktúre databázy pre vedenie:

**l - dĺžka vedenia [m] a typ vedenia**, ktoré udáva výrobca vedenia. Elektrické parametre, ktorými sa nahrádzajú takto definované jednotlivé vedenia, sa potom vypočítajú z údajov označovaných ako typové parametre pre jednotlivé typy vzdušných a káblových vedení.

## 4.2 Distribučné transformátory

Transformátory patria medzi silové prvky elektrickej stanice, ktoré slúžia na zmenu napätia prenášanej elektrickej energie pri zachovaní prenášaného výkonu. Sú nenahraditeľné v rozvodnej energetickej sieti, kde je dôležitá najmä otázka energetickej účinnosti. Transformátory sú technické zariadenia s najväčšou účinnosťou.

Z technického hľadiska môžeme transformátory definovať ako netočivé elektrické stroje, ktoré pracujú na princípe elektromagnetickej indukcie, kedy sa časovou zmenou magnetického toku indukuje napätie vo vodičoch pri konštantnej frekvencii.

Distribučné transformátory patria medzi základné prvky elektrizačnej sústavy, ktoré sa vyrábajú v trojfázovom vyhotovení. V elektroenergetike je ich možné podľa účelu zaradiť medzi transformátory spojovacie v prípade, že spájajú dve siete s rôznymi napäťovými hladinami, pričom ich nominálny výkon je počítaný aj s uvážením rozvoja siete.

Transformátory 22/0,4 kV sa používajú pre napájanie rozvodnej sústavy 0,4 kV, ktorá je väčšinou sústredená na menšie ohraničené územie. Transformátory 22/0,4 kV majú možnosť ovládania odbočkového prepínača len vo vypnutom stave t. j. bez prúdu a napätia. Odbočka sa nastaví podľa zisteného priebehu zaťaženia.

Distribučný transformátor tvorí podstatnú časť transformačnej stanice. Základné časti transformačnej stanice sú: konštrukčná časť, VN rozvádzač, NN rozvádzač, distribučný transformátor, spojovacie prvky a pomocné zariadenia.

Transformačné stanice rozdeľujeme z hľadiska konštrukcie na:

- vonkajšie (bez strechy) :

- o betónové (stĺpové),
- o stožiarové (oceľový stožiar alebo PTS – priehradová transformačná stanica).

- vnútorné (so strechou) :

- o voľne stojace (nad úrovňou zeme) – betónové kioskové TS s vnútorným ovládaním, betónové kioskové TS s vonkajším ovládaním, vežové TS, murované TS,
- o betónové kioskové podzemné TS (pod úrovňou zeme),
- o transformačné stanice ktoré sú súčasťou iného objektu,
- o transformačné stanice mobilné.

Ďalej sa transformačné stanice rozdeľujú podľa ovládania, podľa obsluhy, podľa ich vybavenia atď.

VN rozvádzač je úplná kombinácia spínacích a istiacich zariadení VN vrátane všetkých vnútorných elektrických a mechanických spojov. Základné časti VN rozvádzača sú: odpínače, odpojovače, uzemňovače, prístrojové transformátory, výkonové vypínače, istiace prvky. Je veľa typov VN rozvádzačov, ktoré taktiež rozdeľujeme z hľadiska: konštrukcie, spôsobu ovládania a izolačného média.

NN rozvádzač je úplná kombinácia spínacích a istiacich zariadení NN, vrátane všetkých vnútorných elektrických a mechanických spojov, ktoré zostavuje výrobca. Rozvádzačov je viacero druhov, ktoré sa líšia svojím konštrukčným vyhotovením. Technické parametre NN rozvádzačov, ktoré sú odsúhlasené pre používanie v distribučných sieťach, sú uvedené v katalógoch jednotlivých prevádzkovateľov týchto sietí.

Distribučný transformátor je transformátor s prevodom napätia VN/NN, prípadne VN/VN a menovitým výkonom  $\leq 10\text{MVA}$ . [29]

Distribučné transformátory rozdeľujeme z hľadiska druhu izolačného média:

- olejové,
- suché (epoxidové, plynové, a iné),

Každý distribučný transformátor je označený výrobným štítkom, ktorý obsahuje jeho základné technické parametre, tzv. štítkové údaje: výrobné číslo, výkon, rok výroby, výrobca, typ, zapojenie, spôsob chladenia, chladiace médium, primárne napätie, sekundárne napätie, primárny prúd, sekundárny prúd, napätie nakrátko, celková hmotnosť, hmotnosť oleja a špeciálnym štítkom s označením prevodu napätia.

Stav transformátora naprázdno a nakrátko sú dva krajné stavy práce transformátora.

Stav *naprázdno* je taký, pri ktorom sa transformátor napája harmonickým napätím a jeho sekundárne svorky sú rozpojené. Z transformátora sa neodoberá žiaden výkon, pretože sekundárnym vinutím nemôže tiecť prúd. Primárnym vinutím transformátora tak tečie tzv. prúd naprázdno  $I_0$ , ktorého jalová zložka magnetizuje železo a činná zložka sa spotrebuje na krytie strát v železe a minimálne vo vstupnom vinutí. Transformátor preto odoberá z činnej zložky napájacieho prúdu tzv. činný príkon naprázdno, ktorý je potrebný na krytie strát v železe a strát vo vstupnom vinutí.

V stave *nakrátko* je transformátor pripojený na zdroj napätia a jeho sekundárne svorky sú skratované bezodporovou spojkou. Zaťažujúca impedancia je nulová. Stav transformátora nakrátko nie je žiadúci, pretože pri menovitom napätí na vstupe transformátora tečú oboma vinutiami omnoho väčšie prúdy dosahujúce až 50-násobok nominálnych prúdov.

Vplyvom týchto prúdov sa vinutia rýchlo otepľujú a celý transformátor by sa tepelne poškodil. Pri experimentálnom stanovení vlastností transformátora v stave nakrátko napájame transformátor zníženým napätím tak, aby jeho vinutiami tiekli menovité prúdy. Takému napätiu, ktoré pri stanovenom sekundárnom vinutí pretlačí vinutiami menovité prúdy hovoríme napätie nakrátko.

Z pohľadu predpokladaných simulácií a analýz v časti rozvodné zariadenia do úvahy prichádza len modelovanie stavu spínacích prvkov, ktoré ovplyvňujú topológiu distribučnej siete, a modelovanie samotného transformátora. Signalizácia stavov spínacích prvkov (vypínač, odpojovač, uzemňovací spínač) musí byť dvojbitová (t. j. štvorkritériová).

Základné parametre transformátorov sú:

- *Menovitý výkon.* Udáva sa vždy zdanlivý výkon  $S_n$  [MVA], ktorý sa vyberie z radu normalizovaných menovitých výkonov. Výkony transformátorov musia zodpovedať spotrebe napájanej oblasti so zahrnutím očakávaného budúceho vývoja.
- *Menovité napätia* [kV]. Udávajú menovité napätia osobitne pre vstupnú a výstupnú stranu transformátora.
- *Menovitý prúd* [A], resp. dovolený trvalý prúd jednotlivých vinutí.
- *Prevod transformátora*  $p$  [-]. Je dôležitým konštrukčným a prevádzkovým parametrom. Prevod je definovaný pomerom vstupného a výstupného napätia naprázdno, čo približne zodpovedá závitovému pomeru. Na vstupnej strane sa vždy uvažuje napätie z normalizovaného radu, na výstupnej strane bývajú napätia vyššie. Distribučné transformátory majú prepínanie odbočiek v nezaťaženom stave, najčastejšie na vstupnom vinutí  $\pm 5\%$ . Slúžia na kompenzáciu úbytkov napätí na dlhých vedeniach. Mechanické prepnutie sa robí v beznapäťovom stave.
- *Straty transformátora.* Straty sa delia:
  - *Straty naprázdno* (v železe),  $\Delta P_o$ , vznikajú vplyvom premenlivého magnetického toku (vírivé a hysterézne), závisia od frekvencie a napätia. Pretože sa menia málo, sú aj straty v železe približne konštantné a nezávisia od zaťaženia transformátora.
  - *Straty nakrátko* (vo vinutí),  $\Delta P_k$ , vznikajú priechodom prúdu vinutím a rastú so štvorcom prúdu.
- *Percentuálne napätie nakrátko*,  $uk$  [%]. Je to napätie na vstupnej strane pri spojení výstupnej strany nakrátko, pri menovitom prúde výstupnej strany. Vyjadruje sa v percentách vstupného menovitého napätia. U trojvinutových transformátorov, kde má tretie vinutie menší výkon, musí byť u jeho napätia nakrátko uvedené, pre výkon ktorého vinutia bolo určené. Hodnota napätia nakrátko transformátora značne ovplyvňuje skratové prúdy za transformátorom a úbytky napätia v transformátore (transformátory s vyšším  $uk$  majú nižšie skratové prúdy a vyššie úbytky napätia).
- Ďalšími parametrami transformátorov sú: menovitá frekvencia, percentuálny prúd naprázdno, dovolené oteplenie jednotlivých častí, skratová odolnosť (mechanická, tepelná), zaťažiteľnosť (preťažiteľnosť), zapojenie transformátora ( $Y_y, Y_d, D_y$ ), typ regulácie, percentuálna zmena napätia regulovaného vinutia na jednu elektrickú odbočku [%], počet elektrických odbočiek regulačného rozsahu a uhol natočenia prídavného napätia pre reguláciu [°].

### 4.3 Analýza postupov automatického odhadovania parametrov rozvodnej siete pomocou dát pokročilej meracej infraštruktúry v súvislosti s ich vplyvom na návrh databázových štruktúr

#### 4.3.1 Úvod k problematike

Primárnym zámerom projektov pre vybudovanie inteligentných sietí je umožnenie rozsiahlejšej integrácie výrobcov energie z obnoviteľných zdrojov do distribučnej sústavy pri udržaní vysokej kvality a bezpečnosti dodávok elektriny. Mnoho nových distribuovaných obnoviteľných zdrojov energie inštalovaných na úrovni distribučnej siete si vyžaduje zvýšený prehľad o operáciách v rámci tejto siete, čo umožní odhad stavu distribučného systému a aplikácie situačného povedomia. Predpokladá sa, že

v budúcnosti sa okrem obnoviteľných zdrojov energie široko rozšíria ďalšie energetické zariadenia, ako sú elektrické vozidlá, regulovateľné záťaže a akumulácia. Účinná koordinácia týchto zdrojov a zariadení si vyžaduje zvýšené monitorovanie a koordináciu v mieste, kde sa inštalujú. Počítačové simulácie a systémové analýzy v tomto procese majú svoje významné miesto. Odhad stavu distribučnej siete na základe súboru redundantných meraní je dôležitým nástrojom v tomto smere.

Tak ako sa uvádza v úvodnej časti kapitoly idea modelovania distribučných sústav pomocou dát z inteligentných meracích systémov (IMS) nie je úplne nová. Spoľahlivosť a presnosť IMS radikálne zvyšujú počet dostupných meraní v distribučných systémoch. Veľké dáta z inteligentných meracích systémov a iných senzorických zariadení inštalovaných v elektrických sieťach oživilo implementáciu algoritmov pre odhad parametrov distribučných sietí a ich modelovania. Spoľahlivý a presný odhad stavu distribučného systému si vyžaduje robustné metódy pre správu veľkých dát poskytovaných IMS ako aj kvalitné modely distribučného systému.

V odbornej literatúre je navrhnutých niekoľko algoritmov pre odhad parametrov siete nízkeho napätia. Mnohé z nich predstavujú efektívnu a flexibilnú metódu odhadu parametrov elektrickej siete založenú na rovnici poklesu napätia v nej a regresnej analýze na zvýšenie presnosti modelu distribučného systému. Taktiež predstavujú inteligentné metódy detekcie a riešenia chýbajúcich alebo nepresných údajov IMS, ako aj spôsoby ich spracovania pre rôzne aplikácie.

Využitie inteligentných meracích systémov a dát z nich bude mať širokospektrálny dopad na riešenie tejto problematiky. Presné a spoľahlivé použitie týchto informácií pri odhadovaní stavu distribučného systému bude základným kameňom budúcich inteligentných distribučných systémov. Umožňuje poskytnúť stručné a presné situačné povedomie o aktuálnom stave systému. Merací systém umožní riešiť modelovanie a simuláciu mikrogridu ako jedného komplexného systému, ktorý bude možné, podľa potreby, rozložiť na subsystémy a tie riešiť samostatne. Pokročilá vizualizácia a užívateľské rozhrania navyše predstavuje nový jednotný spôsob prístupu k výsledkom prístrojového vybavenia aj simulácie súčasne.

Proces odhadu parametrov prvkov pre modely siete nízkeho napätia, ktorý využíva historické dáta z meraní na overenie a zdokonalenie topológie a parametrov týchto modelov sietí, sa predpokladá, že bude automatizovaný.

V súvislosti s prípravou moderného programového nástroja pre modelovanie a simulácie moderných digitálnych mikrogridov je potrebné poznamenať, že navrhovaná databáza modelu elektrickej siete si bude preberať namerané údaje zo zberovej centrály IMS. Zberová centrála IMS zabezpečí priamu komunikáciu s meracími prístrojmi, validáciu hodnôt a generovanie náhradných hodnôt. Namerané hodnoty bude zberová centrála IMS sprístupňovať už ako korigované validované hodnoty v štandardnom formáte MCONS.

#### 4.3.2 *Estimácia stavu distribučných sústav*

Z hľadiska operatívneho riadenia distribučných sietí je veľmi dôležitou jeho časťou získanie údajov o prevádzke distribučnej sústavy a ich prezentácia obsluhu. Rovnako dôležité je použitie týchto dát pre dlhodobé či krátkodobé plánovanie prevádzky. Pre tieto účely sa používajú metódy a algoritmy pre výpočty statických chodov sietí, kde doteraz bolo používané zjednodušené modelovanie siete nízkeho napätia. Postupným nárastom požiadaviek na funkcionality distribučných sietí sa do popredia dostávajú estimačné metódy, ktoré umožňujú odhadnúť prevádzkový stav distribučných sietí len na základe už vybudovaného merania, ktoré primárne nebolo určené na podporu týchto novo požadovaných funkcií.

Výraz estimácia siete v energetike znamená určitý odhad, ako sa vyhradená časť siete bude správať v danom čase. Dôvod prečo potrebujeme vedieť odhadnúť, ako sa sieť bude správať je ten, že prevádzkovateľ distribučnej sústavy sa snaží zabezpečiť bezpečný a plynulý chod siete. Keďže ale v súčasnosti nie je možné zabezpečiť merania z každej časti distribučnej sústavy, napríklad jednotlivé napätia na prípojnicach, respektíve prúdy jednotlivými odbočkami alebo vývodmi, je potrebné, aby sme

boli schopní odhadnúť stav siete pomocou algoritmov. Dôvod prečo nie je možné zabezpečiť merania v každom úseku siete je, že meranie by bolo, hlavne z finančnej ale aj z technickej stránky, veľmi problematické. V súčasnosti sú merania len na určitých úsekoch, či už výroby, alebo spotreby, a preto potrebujeme analyzovať, ako sa bude správať zvyšok nameraných častí distribučnej siete.

Stavová estimácia, vrátane stavovej estimácie kvality elektrickej energie, môže predstavovať veľmi prínosný nástroj pre prevádzkovateľov distribučných sústav. Avšak odborná technická komunita v oblasti riadenia prevádzky sa v súčasnosti jednoznačne nezhoduje v názore či môže dispečer rozhodovať na základe estimovaných dát, alebo výlučne na základe reálne nameraných dát. Estimácia môže a hlavne má predstavovať záložný systém na doplnenie dát ak by došlo k zlyhaniu jedného alebo viacerých meraní v distribučnej sústave, prípadne na získanie údajov z uzlov distribučnej sústavy, v ktorých nie sú ešte realizované merania.

V súčasnosti existuje mnoho pohľadov ako estimovať stavy elektrizačnej sústavy. Medzi tie základné a najpoužívanejšie metódy patrí metóda vážených najmenších štvorcov (WLS). Ďalšími metódami výpočtu sú napríklad metóda vážených najmenších rozdielov absolútnych hodnôt (WLAV) a metóda najmenších rozdielov absolútnych hodnôt (LAV).

Ďalším z pohľadov je využitie historických údajov IMS s meraniami v reálnom čase zo synchrofázorov (údaje PMU) v Bayesov lineárnom odhade, ktorý je založený na lineárnej aproximácii rovníc toku výkonu pre distribučné siete. Bayesov lineárny odhad je výpočtovo efektívnejší ako štandardné nelineárne odhady najmenších štvorcov. Jeho stratégia funguje podobne ako štandardný odhad WLS na malej distribučnej sieti. Kľúčovou výhodou Bayesov lineárneho odhadu je, že poskytuje explicitný off-line výpočet intervalov spoľahlivosti odhadu chyby, ktoré používame na preskúmanie kompromisov medzi počtom PMU, umiestnením PMU a neistotou merania. Pretože v chybe odhadu v distribučných systémoch má tendenciu dominovať neistota v zaťažení a nedostatok technickej vybavenosti uzlov, môže byť linearizovaná metóda spolu s použitím vysoko presných PMU vhodným spôsobom na uľahčenie on-line odhadu stavu tam, kde to bolo predtým nepraktické .

Trendom súčasnosti je snaha nájsť algoritmus, ktorý je zároveň veľmi presný, stabilný (to znamená, že konverguje skoro vždy), ale je aj veľmi rýchly.

Odhad stavu je teda základným nástrojom na zabezpečenie bezpečnej prevádzky systému v reálnom čase a realizuje sa cez dva druhy informácií, a to merania v reálnom čase (meranie výroby a spotreby v daných uzloch, meranie stavu spínacích zariadení a topologické informácie), ako aj statické údaje o distribučnej sieti (parametre energetického systému). Určenie skutočných stavov závisí od spoľahlivosti dostupných informácií, pretože chyby v informáciách môžu viesť v procese odhadu stavu k nesprávnym výsledkom. Chyby parametrov môžu mať nepriaznivé účinky vplyvu na proces odhadu stavu, ale sú spravidla menšie ako hrubé topologické chyby. Časové rady nameraných hodnôt z inteligentných elektromerov sú použité ako vstupy pri výpočte. Väčšina meraní je zaťažená určitou chybou, keďže každý merací prístroj má určitú triedu presnosti merania.

Keďže namerané hodnoty v reálnom čase sú zaťažené chybou merania, je potrebné chyby odhaliť a odstrániť. Schopnosť analyzovať stav distribučnej siete je určený aj počtom a umiestnením meraní v nej. V prípade zabezpečenia dostatočného množstva meraní môžeme danú sieť ďalej estimovať, pretože ide o pozorovateľnú sieť. Chyby z merania môžu byť spôsobené aj výpadkom samotného merania. Preto sa pri vytváraní sieťových modelov používajú aj tzv. pseudo-merania, ktoré využívajú historické dáta resp. dáta tesne pred výpadkom merania. Tieto dáta sú však príčinou ďalšieho šumu, ktorý sa vnáša do samotného modelu z merania. Výsledkom vybranej metódy estimácie bude určenie stavu distribučnej siete, ktorý sa maximálnej miere približuje k jej reálnemu stavu. Na kvalitu výsledkov estimácie má veľký vplyv okrem výberu veličín, počtu meraní a typu meraní aj správne rozmiestnenie meraní.

Estimácia pokrýva široké spektrum tém, ktoré sa v súčasnosti riešia. Medzi tie hlavné témy patria spracovanie topológie siete, analýza pozorovateľnosti siete, riešenie odhadu stavu siete, spracovanie

chybných dát, spracovanie parametrov a chýb štruktúry. V ďalšej časti materiálu je pozornosť venovaná predovšetkým topológiám siete a spracovaniu parametrov rozvodného systému pomocou dát IMS.

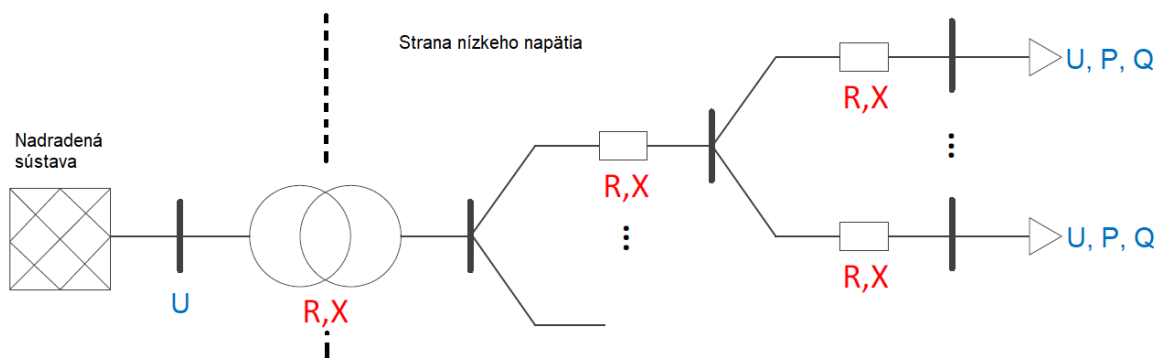
Veľký vplyv na kvalitu výsledkov estimácie má teda vhodný výber typu meraní, meraných veličín, počet meraní a nakoniec aj rozmiestnenie meraní. Model merania je zložený z modelu siete a modelu šumov meraní. Je to spôsobené tým, že v súčasnosti sa využívajú dáta z pseudo-meraní, ktoré vnášajú tento šum do riešenia modelu pozorovania.

### 4.3.3 Generovanie modelov distribučnej siete mikrogridu pomocou dát IMS

Podstatou generovania presných modelov a výsledkov modelovania je identifikácia veľkosti impedancie v jednotlivých vetvách mikrogridu, pričom sa predpokladá, že je známa topológia modelovanej siete. Ďalej sa predpokladá využitie systému inteligentných elektromerov, ktoré sú systematicky rozmiestnené v mikrogride a umožňujú generovanie meraných hodnôt napätí, činných a jalových výkonov. V prípade, že je dopredu známa presná topológia siete, algoritmus môže automaticky vypočítať impedanciu nízkonapäťových obvodov využitím a analýzou nameraných dát, pričom časové rady nameraných hodnôt z inteligentných elektromerov sú použité ako vstupy pri výpočte. Algoritmus prepočíta každú vetvu v zapojení mikrogridu alebo príslušnej distribučnej sústavy, pričom odhaduje veľkosť impedancií jednotlivých vetiev. Po ukončení je vhodné aktivovať ďalší výpočet s odhadnutými parametrami na porovnanie nameraných napätí so simulovanými napätiami. V rámci manuálnej verifikácie výsledkov sa uskutoční porovnávanie odhadovaných hodnôt s očakávanými reálnymi hodnotami. Posudzujú sa odchýlky. Verifikácia je dôležitá aj z dôvodu, aby nedošlo k nahradeniu pôvodných hodnôt novými, menej presnými, hodnotami.

Ak uvažujeme, že parametre obvodu sa obvykle v čase nemenia, zostaví sa optimalizačný model na minimalizáciu odchýlky napätia zdrojového uzla získanej z rozdielných meracích bodov v danej perióde času, čím sa získa najlepší odhad pre impedanciu danej vetvy.

Odhad impedancie vo vyššie uvedenom príklade je vypočítaný podľa topológie mikrogridu s osadenými inteligentnými elektromermi pomocou teórie výpočtov elektrických sietí so zameraním na úbytky napätí. Výpočet je robený pre každý časový interval. Cieľom algoritmu by bolo nájsť najpravdepodobnejšie hodnoty odporu  $R$  a reaktancie  $X$  v daných vetvách mikrogridu. Príklad topológie s hľadanými hodnotami prvkov je uvedený na obrázku 1.



Obrázok 22 - Príklad stromovej topologickej štruktúry mikrogridu

Algoritmy odhadu parametrov pre modelovanie siete nízkeho napätia obsahujú matematické postupy odhadu premenných na základe lineárnej regresie. Tieto postupy majú potenciál byť zlepšené aplikáciou algoritmov strojového učenia a umelej inteligencie, pretože sa jedná o regresnú úlohu.

V rámci správneho odhadu parametrov za účelom vytvorenia modelu jednotlivých prvkov sú aplikované nasledovné úvahy:

- Topológia obvodov nízkeho napätia je známa. Ak nie, musí byť určená.



- Topológia obvodov nízkeho napätia ma radiálnu (stromovú) štruktúru.
- Činné a jalové výkony s hodnotami napätia sú známe v každom uzle siete.

Vo väčšine praktických prípadov sú tieto hodnoty známe, pretože takmer každý uzol alebo odbočka v sieti obsahuje zdroj alebo spotrebič elektrickej energie. Je však treba podotknúť, že zatiaľ všetky uzly siete nízkeho napätia nie sú osadené inteligentnými elektromermi. V mnohých prípadoch je taktiež ťažšie získať presnú topológiu obvodov nízkeho napätia. Jednou z požiadaviek na mikrogridy je aj využívanie kruhových vedení, resp. mrežových sietí pre zabezpečenie dodávky elektriny, pri tom minimalizovať možnosti vzniku kaskádových porúch v dôsledku postupného preťažovania jednotlivých prvkov sústavy vďaka inteligentnej rekonfigurácii siete.

Obvod nízkeho napätia je uvažovaný ako symetrický trojfázový obvod alebo jednofázový obvod.

Identifikácia veľkosti impedancie v jednotlivých vetvách mikrogridu pri využití systému inteligentných elektromerov môže byť využitá napr. pri lokalizácii poruchy na vedení, kde vzdialenosť poruchy je úmerná vypočítanej impedancii. Lokalizácia poruchy na impedančnom princípe ostáva stále v súčasnosti najrozšírenejšou metódou určenia miesta poruchy. Aj keď v súčasnosti vieme miesto poruchy najpresnejšie určiť pomocou vlnového lokalizátora, dôvody môžu byť napr. ekonomické. Pre presné meranie zariadenia vlnového lokalizátora musia byť umiestnené na oboch koncoch vedenia. Lokalizátor je ďalšia investícia. Po technickej stránke vlnové lokalizátory potrebujú presnú časovú synchronizáciu a taktiež pri poruche na vedení môžu byť z nejakého dôvodu nefunkčné. Lokalizátor porúch, ktorý pracuje na impedančnom princípe, je súčasťou takmer každej digitálnej ochrany.

Pokročilú meráciu infraštruktúru je možné využiť na odhadnutie profilov napätia na primárnej strane.

#### 4.3.4 Algoritmus odhadu stavu na sledovanie zmien topológie v distribučných sieťach

Tradičný spôsob modelovania stavu v elektrickej sieti sa spolieha na predpoklad, že parametre sieťových prvkov a topológia elektrickej siete sú známe s dostatočne vysokou presnosťou. Potrebné údaje, ktoré súvisia s topológiou siete, zahŕňajú napr. pozície odpojovačov, vypínačov, stav generátorov, vedení, transformátorov a iné. Ďalšími vstupnými dátami pre výpočtový sieťový model je výkon dodávaný do jednotlivých uzlov elektrickej siete a spotreba v príslušných uzloch, ktoré sú namerané alebo odhadnuté v danom časovom reze. Je potrebné poznamenať, že presnosť nameraných hodnôt závisí od triedy presnosti zariadení meracej súpravy. Nepresnosť merania je ovplyvnená celým reťazcom merania, do ktorého patria napríklad tolerancie prístrojových transformátorov napätí a prúdov, elektromerov atď. Chyby spôsobené nepresnosťou merania sa prenesú aj do sieťového modelu. V prípade odhadnutých údajov sa hodnoty odvíjajú od historických dát. Výsledkom tohto procesu je vygenerovaný sieťový model so všetkými odbočkami a prípojnícami v jednotlivých častiach distribučných sietí.

V distribučných systémoch sú zmeny konfigurácie časté a počet meraní môže byť obmedzený. Distribučné modely sú pomerne zložité zahrnujúci veľké množstvo komponentov, nastavení a podrobnosti pripojenia. Údržba týchto modelov nie je jednoduchá vzhľadom na zložitosť a rozmanitosť zmien, ku ktorým dochádza v distribučných systémoch v priebehu času. Nepresnosti sú obvykle spôsobené ľudským faktorom napríklad nepresné výrobné údaje, nezaznamenané zmeny v elektrickej sieti, nesprávne informácie o stave spínacích prvkov atď..

Ponuka pokročilej meracej infraštruktúry prináša nové spôsoby modelovania a analýz distribučných sietí, a tým aj identifikáciu topológie. O identifikácii topológie hovoríme aj pri vytváraní ostrova.

Odhadu parametrov distribučnej sústavy a jej topológie sa v súčasnosti venuje zvýšená pozornosť. Existujú algoritmy, ktoré prinášajú praktické a výpočtovo efektívne prístupy k odhadu topológií nízko napäťových elektrických sietí z historických údajov merania napätia a výkonu v jednotlivých uzloch,

ktoré boli získané z inteligentných meracích systémov. Identifikačné metódy sa pokúšajú nepriamo odvodiť prítomnosť chýb topológie z týchto nameraných dát.

Topológiu sekundárneho obvodu je teoreticky možné odhadnúť vykonaním vyčerpávajúceho vyhľadávania všetkých možných topológií. To sa dá dosiahnuť najskôr odhadnutím parametrov pre všetky možné topológie pomocou zvolených postupov a následným výberom topológie, ktorá má najlepšiu presnosť, napr. z hľadiska priemernej štvorcovej chyby simulovaných napätí v porovnaní s nameraným napätím. Tento prístup je však ťažko realizovateľný pre obvody nízkeho napätia s väčším počtom uzlov, vzhľadom na počet možných topológií, ktoré by bolo potrebné zväziť.

Cieľom algoritmu odhadu topológie obvodu nízkeho napätia v materiáli [30] je simultánna identifikácia parametrov topológie (konektivity komponentov) a impedančného radu komponentov daného elektrického obvodu. Matematicky sú obvody nízkeho napätia zakorenené stromy, to znamená spojené, nasmerované grafy bez cyklov, ktoré majú určený koreňový uzol, ktorým je uzol nízkeho napätia transformátora tohoto obvodu. Stromy sekundárneho okruhu môžu byť viacnásobné, tzn. daný uzol môže mať viac ako dva podradené uzly. Pri úplne neznámej topológii elektrickej siete, nie je známy ani jej celkový počet uzlov. V tomto prípade sa vyžaduje, aby každý jej uzol mal inteligentný merací systém. Algoritmus využíva dobre známu lineárnu aproximáciu poklesu napätia ( $V_{drop} = |V1| - |V2|$ ) na sériovú impedanciu  $R + jX$ .

Algoritmy odhadu stavu sú zamerané na monitorovanie topologických zmien v distribučných sieťach nielen pomocou skutočných meraní v jednotlivých uzloch distribučnej siete, predovšetkým v rozvodniach, ale aj za pomoci pseudo – meraní, hlavne pre odberové a napájacie uzly. Niektoré algoritmy využívajú aj tzv. virtuálne meranie, ktoré predstavuje modelovanie prechodových prípojníc siete ako uzlov s nulovým generovaným výkonom.

Napríklad v materiáli [31] „Algoritmus odhadu stavu na sledovanie zmien topológie v distribučných systémoch“ sa navrhuje zovšeobecnený model odhadu stavu, ktorý je založený na prístupe vážených najmenších štvorcov s obmedzeniami rovnosti a zahŕňa skutočné merania, pseudo-analógové merania, virtuálne merania a prevádzkové obmedzenia pre spínacie zariadenia. Analógové údaje predstavuje výkon dodávaný do siete, výkon odoberaný v príslušnom odberovom uzle, ako aj meranie napätia. Na druhej strane, sú stavové údaje súvisiace s topológiou siete, ktoré majú zvyčajne štvorkritériovou signalizáciu, čoho príkladom je stav spínacích zariadení (napr. zapnutý, vypnutý), pripojenie alebo odpojenie generátora alebo záťaže, stavy pre vedenie alebo transformátor, tzn. sieťový prvok je v prevádzke alebo mimo prevádzky. Normalizovaný zvyškový test sa používa na efektívnu identifikáciu hrubých chýb v analógových a topologických údajoch. Je potrebné poznamenať, že chyby topológie majú dramatickejší vplyv na celkový model merania než chyby pri odhade parametrov elektrickej siete, čo môže spôsobiť, že odhad stavu bude výrazne skreslený. V prípade chýb topológie je tiež možné mať vážne problémy s konvergenciou. Problém rozdelenia siete spôsobený prepínanými operáciami sa tiež skúma zavedením vhodných pseudo - meraní. Cieľom zovšeobecneného modelu odhadu stavu je vyhnúť sa nedostatkom existujúcich metód identifikácie topológie tým, že stavy spínacích zariadení považuje za nové stavové premenné odhadované spolu so spoločnými stavovými premennými. Na identifikáciu a opravu zlého stavu spínacích zariadení slúži reziduálna analýza. Tento typ analýzy slúži k overeniu validity modelu a k jeho vylepšovaniu, pretože pomáha odhaliť aspekty vzťahov, ktoré model nezohľadňuje. V materiáli navrhovaný prístup určuje konfiguráciu topológie konzistentnú s dostupnými reálnymi, pseudo a virtuálnymi meraniami súčasťou identifikáciou chýb v analógových alebo stavových dátach, pričom stavy považuje za reálne hodnotené premenné. Navrhovaný algoritmus je založený na štandardnom postupe odhadu stavu / identifikácii zlých údajov a je vhodný pre aplikácie v reálnom čase.

V metóde opísanej v materiáli [32] sú modely kritických sieťových konfigurácií uložené vo forme modelovej banky. Na identifikáciu správnej konfigurácie siete sa používa rekurzívny bayesovský prístup, ktorý využíva výstup funkcie odhadu stavu každého modelu v banke. Navrhovaný algoritmus priradzuje najvyššiu pravdepodobnosť modelu predstavujúcemu správnu konfiguráciu siete, pričom nesprávnym modelom je daná výrazne nižšia alebo nulová pravdepodobnosť, a preto sú zamietnuté. Pravdepodobnosti sú vypočítané pomocou rekurzívneho bayesovského prístupu.

Výpočtové náročnosti obidvoch navrhovaných metód sú porovnateľné

#### 4.3.5 Využitie inteligentných meracích systémov pre identifikáciu fáz transformátora pri modelovaní sietí nízkeho napätia

Sieťové modely distribučných sietí sú čoraz zložitejšie s rozsiahlym využívaním geografických informačných systémov (GIS). Tieto podrobné modely umožňujú plánovanie a prevádzkovanie distribučných sietí. Pre čo najlepšie využitie sieťových modelov je dôležitá presnosť údajov. Pri využívaní údajov zo systémov GIS chyby fázovania sú bežné. V elektrických sieťach nízkeho napätia sa môžu vyskytovať prípady, ktoré majú často obmedzené alebo nespoľahlivé informácie na identifikáciu fázy pripojených záťaží. Navyše sa môžu vyskytovať zmeny vo fázach, ktoré nie sú vždy nepretržite sledované. Ide o zmeny z dôvodu obnovy, rekonfigurácie a údržby. Napriek tomu je správne označenie fáz zásadné, aby sa zabránilo nadmerným stratám alebo zníženiu životnosti sieťových prvkov v dôsledku nevyváženého zaťaženia, integrácie distribuovaných energetických zdrojov alebo nedostatočného zmierňovania harmonických. Nesprávne označenie fázy je tiež hlavným zdrojom chýb v diagnostických procesoch, ako je detekcia topológie, odhad stavu v distribučných sieťach a určenie miesta poruchy. Na riadenie a prevádzku trojfázových systémov s aktívnymi sieťovými prvkami sú potrebné trojfázové modely na adekvátnu reprezentáciu danej siete, pričom validácia takýchto modelov nie je jednoduchá. Z dôvodu nedostatku informácií podporné programy často predpokladajú, že ich sieť je vyvážená, a tým pre každú fázu priradia tretinu zaťaženia. Na identifikáciu fáz môžu sa tiež použiť manuálne prístupy. Tieto riešenia však nie sú v sieťach široko používané, pretože sú nákladné, náročné na pracovnú silu a náchylné na chyby.

Našťastie je k dispozícii stále viac kvalitnejších údajov z meraní, ktoré môžu podporovať spoľahlivú identifikáciu fáz. Aj keď v minulosti nebolo potrebné veľmi dôsledne monitorovať distribučné siete, rast rozmanitých distribuovaných energetických zdrojov motivuje inteligentnejšie monitorovacie stratégie k pozorovaniu a riadeniu správania sa prvkov systému s väčším priestorovým a časovým rozlíšením.

Analytické prístupy pre riešenie problematiky identifikácie fáz pre distribučné siete čerpajú napríklad z údajov z vysoko presných fázorových meracích jednotiek (mikrosynchrofázory - mikro-PMU) pre distribučné systémy. V súčasnosti, prebieha nový výskum mikro-PMU, tejto pokročilej monitorovacej technológii pre distribučné systémy, ktorá je schopná poskytovať časovo synchronizované merania veľkosti napätia a fázových uhlov s vysokým rozlíšením.

V materiáli [33] navrhovaný prístup k identifikácii fáz využíva tento typ údajov na analýzu vykonaných meraní časových radov na rôznych miestach rozvodného systému. Kľúčovým faktorom je, že fázory napätia časových sérií prevzaté z distribučnej siete vykazujú špecifické vzorce týkajúce sa spojených fáz v meracích bodoch. Algoritmus je založený na analýze krížových korelácií napätových veličín spolu s rozdielmi fázových uhlov na dvoch kandidátskych fázach, ktoré sa majú priradiť. Ak sú dva meracie body v tej istej fáze, mali by sa pozorovať veľké kladné korelácie veľkosti napätia a malé rozdiely uhlov napätia. Analyticky je kombinácia veľkosti napätia a fázového uhla v porovnaní s inými prístupmi fázovej identifikácie úplne nová. Navrhovaný algoritmus vďaka svojej presnej časovej synchronizácii a vzorkovacej frekvencii mikro-PMU a bezprecedentnej schopnosti merať malé rozdiely fázových uhlov v rozvodnom systéme. Metóda funguje na základe pozorovaní, že v nevyváženom trojfázovom systéme by veľkosti napätia časových radov na dvoch koncoch tej istej fázy mali vykazovať výrazne silnejšie korelácie ako na dvoch koncoch rôznych fáz. Okrem toho, po vylúčení fázových posunov transformátora (Delta-Wye), by rozdiely v uhloch napätia mali byť veľmi malé na meranie na dvoch koncoch tej istej fázy. Metódam založeným na rozdieloch uhlov napätia nemožno úplne dôverovať v prípade, ak je v obvode nízkeho napätia prítomných viac ako jeden transformátor Delta-Wye, pretože fázové posuny v násobkoch 30 už nemusia byť jednoznačne vysledovateľné.

V súčasnej dobe je možné presných fázorových meracích jednotiek využiť aj pre detekciu a monitorovanie ostrovných prevádzok.

Hoci v distribučnom systéme môže inštalovaný mikro-PMU poskytovať adekvátne merania, ekonomická stránka obmedzuje možnosť inštalovať mikro-PMU kdekoľvek v distribučnom systéme a z tohto dôvodu analytické prístupy pre riešenie problematiky identifikácie fáz pre distribučné siete sa opierajú aj o iné inteligentné meracie systémy poskytujúce adekvátne merania veľkosti napätia, prúdu vo vetvách, činného výkonu a jalového výkonu v jednotlivých uzloch siete. Tieto algoritmy sú založené na lineárnej regresii a základných vzťahoch k poklesu napätia. S týmto prístupom je možné automaticky generovať aj parametre sieťových modelov sietí nízkeho napätia.

Autori algoritmu [34] vychádzajú z faktu, že dokonca aj na rozvodni s transformátorom meniacim zaťaženie sa tri napätia v každej fáze časom trochu líšia. V rozvodni s nezávislými regulátormi napätia na každej fáze sa napätia spravidla výrazne líšia. Tieto rozdiely používajú na fázovú identifikáciu. To, ako sa tieto tri fázy líšia, pravdepodobne určí, koľko údajov potrebujeme na presnú identifikáciu fáz. Určujú korelácie z hľadiska koeficientu determinácie medzi fázami na niekoľkých zberniciach distribučných rozvodní. Na identifikáciu fáz sú najnáročnejšie rozvodne s tesne prepojeným napätím (nad 0,9). Popísané funkcie závisia od časovo rôzneho napätia. Algoritmus vypočítava celkový koeficient determinácie (druhá mocnina korelačného koeficientu) pre každý porovnávací pár. Nasledujúca lineárna regresia, do ktorej sú zahrnuté hodnoty vypočítaných regresných koeficientov; hodnoty napätí v rozvodni pre jednotlivé fázy, priemerný výkon nameraný v rozvodni pre príslušnú fázu a priemerne hodnoty nameraných výkonov a napätie v uzle záťaže, zlepšuje rozlíšenie fáz. Zahrnutie priemerného výkonu rozvodne pomáha zohľadniť pokles napätia v primárnom obvode. Zahrnutie priemerného výkonu odoberaného zákazníkom pomáha zohľadniť pokles napätia na sekundárnej strane. Na identifikáciu fáz sú najnáročnejšie pravdepodobne krátke obvody, kde sa napätia na troch fázach navzájom dobre sledujú (transformátorom meniacim zaťaženie).

Výsledky vyzerajú sľubne v mnohých oblastiach pri použití údajov IMS, či na fázovú identifikáciu, identifikáciu transformátora, generovanie parametrov pre modelovanie sietí nízkeho napätia atď. Na lepšie vyhodnotenie presnosti týchto metód sú potrebné ďalšie práce a overenia v prevádzke.

## 5 DÁTOVÁ ENTITA – INTELIGENTNÉ MERACIE SYSTÉMY

Zavádzanie inteligentných meracích systémov (IMS) je kľúčovým krokom k budovaniu inteligentných sietí/mikrogridov, ktoré znamenajú zdokonalenú energetickú sieť, ku ktorej bola pridaná obojsmerná digitálna komunikácia medzi dodávateľom a spotrebiteľom, inteligentné meranie, monitoring a riadiace systémy.

IMS znamená elektronický systém novej generácie, ktorý je schopný merať množstvo spotrebovanej alebo vyrobenej energie pomocou inteligentného meracieho prístroja, ktorý umožňuje zber, spracovanie, prenos a poskytovanie týchto údajov koncovým odberateľom a ďalším účastníkom trhu. Je to plne automatizovaný systém, pri ktorom nevzniká potreba fyzického odpočtu. IMS znamená elektronický systém, ktorý je schopný merať spotrebu energie a pridávať k tomu viac informácií než konvenčné meradlo a ktorý je schopný vyslať a prijímať dáta s využitím niektorej formy elektronickej komunikácie. Inteligentný merací systém je taktiež rozhodujúcim mechanizmom pre realizáciu modelovania, simulácií a analýz v oblasti inteligentných sietí/mikrogridov.

Rovnako dôležitú oblasť predstavuje Internet vecí (IoT, Internet of Things). Súčasná spoločnosť je svedkom rýchleho nástupu tohto nového trendu. IoT predstavuje technológiu zabezpečujúcu bezdrôtové prepojenie rôznych senzorov a zariadení, ktoré sa vyznačujú nízkymi nárokmi na objem prenášaných dát a nízkou spotrebou. Sensory a zariadenia môžu komunikovať navzájom alebo s centrálnymi systémami prostredníctvom bežných alebo špeciálnych bezdrôtových sietí. Údaje získavané prostredníctvom internetu vecí sa využívajú najmä pre potreby diaľkového merania veličín, diaľkového riadenia alebo automatizácie a zefektívňovania procesov. Množstvo prvkov na podporu IoT je aj takých, ktoré umožňujú riadiť zariadenia, do ktorých sú inštalované. Na riadenie zariadení s IoT sú na trhu aplikácie označované ako inteligentná domácnosť.

Obidve tieto technológie sú podrobne popísané v dokumente aktivity č. 6 míľnik 1, kde sa uvádza, že zber prevádzkových dát pre potreby modelovania sietí bude zabezpečovať Zberová centrála IMS a IoT Cloud. Zberová centrála zabezpečí priamu komunikáciu s IMS meradlom, prípadne nepriamu komunikáciu s IMS koncentrátorom v závislosti od architektúry meracieho systému implementovanom v príslušnom mikrogride. V rámci spracovania nameraných údajov bude zberová centrála vykonávať validáciu nameraných údajov. Zberová centrála tiež zabezpečuje tvorbu náhradných hodnôt v prípade výpadkov merania alebo prenosu dát a sledovanie úspešnosti zberu dát a tiež vykonanie dozberu v prípade technických problémov v prenosových kanáloch. Namerané údaje z IoT senzorov sa štandardne odosielajú do cloudového priestoru príslušného prevádzkovateľa IoT služieb. Navrhované riešenie bude získavať IoT údaje z tohto cloudového priestoru.

Databáza modelu siete bude integrovaná aj s ďalšími časťami navrhovaného riešenia a tým sa zabezpečí automatizované spracovanie vybraných nameraných údajov z IoT cloudu a zberovej centrály IMS. V rámci navrhovanej databázy modelu siete bude zabezpečené prepojenie nameraných údajov z meraní IMS a IoT senzorov vo vzťahu k evidovaným prvkom siete, čo vytvára možnosť prepájať model digitálnej siete s údajmi získanými z meraní.

V rámci tejto kapitoly je problematika IMS a IoT riešená z pohľadu návrhu dátových štruktúr navrhovanej databázy.

### 5.1 IMS

#### 5.1.1 Analýza problematiky

Inštalácia IMS na území Slovenskej republiky sa vykonáva v súlade s plnením povinností prevádzkovateľa distribučnej sústavy na vymedzenom území, uvedených v zákone č. 251/2012 Z. z. o

energetike a vyhlášky č. 358/2013 Z. z., ktorou sa ustanovuje postup a podmienky v oblasti zavádzania a prevádzky inteligentných meracích systémov v elektroenergetike.

Táto vyhláška ustanovuje:

- a) kritériá a podmienky na zavedenie inteligentných meracích systémov podľa § 2 písm. a) bodu 15 zákona pre jednotlivé kategórie koncových odberateľov elektriny,
- b) požadované technické parametre inteligentných meracích systémov,
- c) požiadavky na dátové prenosy a spoluprácu jednotlivých systémov,
- d) spôsob prístupu k meraným údajom zo strany jednotlivých účastníkov trhu s elektrinou,
- e) lehoty na zavedenie inteligentných meracích systémov pre jednotlivé kategórie koncových odberateľov elektriny, u ktorých je zavedenie inteligentných meracích systémov účelné do desiatich rokov,
- f) požiadavky na súčinnosť jednotlivých účastníkov trhu s elektrinou pri inštalácii a prevádzke inteligentných meracích systémov.

Prevádzkovateľ distribučnej sústavy nainštaluje inteligentný merací systém do odberných miest koncových odberateľov elektriny pripojených do distribučnej sústavy na napäťovej úrovni nízkeho napätia s ročnou spotrebou elektriny najmenej 4 MWh v súlade s Vyhláškou.

Koncový odberateľ elektriny sa na základe informácií z IMS o priebehu svojej dennej spotreby môže rozhodovať o efektívnom využití elektriny počas dňa. Vďaka inteligentným meradlám je oveľa ľahšie sledovať v priebehu dňa, koľko elektrickej energie míňame v konkrétnom čase a podľa toho meniť a regulovať spotrebiteľské návyky, čo môže prispieť k úspore elektriny.

### 5.1.2 Požadované technické parametre IMS

IMS je súbor procesov a technológií, ktorých cieľom je získať, preniesť, spracovať a poskytnúť dáta o energetických pomeroch v meraných miestach distribučných sústavách.

Vyhláška č. 358/2013 Z. z. o IMS

Kategórie technických parametrov inteligentného meracieho systému sú:

- a) základná funkcionálna inteligentného meracieho systému
- b) pokročilá funkcionálna inteligentného meracieho systému,
- c) špeciálna funkcionálna inteligentného meracieho systému.

**Základná funkcionálna** obsahuje hlavne:

- obojsmerná komunikácia medzi meracím miestom a centrárou
- priebehové meranie činnnej energie v 15 min intervale
- možnosť monitoringu odberu odberateľom
- registrácia odberu a dodávky vo viacerých sadzbách
- pravidelná automatizovaná synchronizácia dátumu a času
- registrácia udalostí neštandardných a poruchových stavov
- spínanie taríf podľa aktuálnej sadzby
- odpočet a spracovanie údajov najmenej 1x za mesiac

**Pokročilá funkcionálna** obsahuje navyše k základnej:

- priebehové štvorkvadrantové meranie odberu a dodávky jalovej energie v 15 min intervale
- meranie efektívnych hodnôt napätia a prúdu po fázach
- spracovanie údajov 1x za deň
- možnosť diaľkového odpojenia a pripojenia odberného miesta
- prúdové a výkonové obmedzenie odoberaného výkonu vyhodnocovanie účinníka

- alarmy poruchy a napadnutia
- modulárny komunikačný modul

**Špeciálna funkcionálna** obsahuje navyše k pokročilej:

- priebehové meranie zdanlivej energie a vyhodnocovanie ďalších výkonových parametrov – aritmetického zdanlivého výkonu, správneho sumárneho zdanlivého výkonu,
- deformačného výkonu D, výkonu nesymetrie N
- meranie kvalitatívnych parametrov elektriny pre potreby prevádzkovateľa DS
- vyhodnocovanie účinníka P/S a P/Sr
- rozhranie na komunikáciu s dispečerským riadiacim systémom

**Architektúra inteligentných meracích systémov obecné zahŕňa:**

- inteligentné meradlá (elektromery, meradlá tepla, vodomery, plynomery),
- prístupové komunikačné rozhrania,
- komunikačnú sieť,
- manažment dát.

Inteligentné meradlá včítane elektromerov musia spĺňať aktuálne platnú Európsku aj národnú Slovenskú metrologickú legislatívu.

Na identifikáciu objektov u elektromerov je použitá norma IEC 62056-6-1 v skrátenom tvare v zmysle jej Annexu (Prílohy) A.1. Skratka OBIS (Object Identification System) a následné 3 číslice v tvare C.D.E vyjadrujú identifikáciu meraného resp. spracovávaného objektu v zmysle tejto normy.

**Požiadavky na dátové prenosy:**

- GSM/GPRS
- LAN Ethernet
- Koncentrátory PLC alebo RF + WAN
- WAN
- Za komunikáciu od určeného meradla po centrálu IMS zodpovedá prevádzkovateľ distribučnej sústavy

Integrácia oblasti IMS do predkladaného riešenia bude realizovaná na úrovni sprístupnenia nameraných údajov štandardnými rozhraniami IMS centrály. Tieto dáta budú ďalej priebežne spracovávané a ukladané v rámci Databázy modelu siete. Integrácia bude jednosmerná.

### 5.1.3 Špecifikácia a vzorové príklady pre používané formáty v rámci IMS

#### Popis formátu pre súbory MPX

Podrobnosti o jednom alebo viacerých meracích bodoch sú v súbore usporiadané po riadkoch. Každý riadok predstavuje informácie o meracom bode s ďalšími podrobnosťami: s príznakmi, časovou značkou a hodnotou. Znak bodkočiarka “;” sa používa ako oddeľovač medzi informáciami.

Syntax

<mpid>;<rid>;<tr>;<mpd>;<status>;<s>;<datetime>;<value>;<unit>CR LF

- mpid – Merací bod ID predstavuje ľubovoľný reťazec so znakmi “0”-“9” , “A”-“Z” , “a”-“z” a medzery, maximálne 37 znakov. Je to identifikátor elektromeru (jeho seriové číslo).
- rid – Register ID, ideálne podľa EDIS/OBIS, predstavuje ľubovoľný reťazec so znakmi “0”-“9” , “A”-“Z” , “a”-“z” , maximálne 35 znakov. Je to kód nameraného profilu.

- tr – fakturačný násobiteľ (resp. prevod v prípade nepriameho merania). Je to číslo s pohyblivou rádovou čiarkou ako reťazec, desatinná čiarka a reťazec so znakmi "0"- "9", maximálne 9 znakov.
- mpd – raster merania v minútach zo znakovkej sady {"01", "02", "03", "05", "10", "15", "30", "60"}
- status - doplňujúce informácie v hexadecimálnom tvare ako textový reťazec "00"- "FF", binárne kódované s nasledujúcimi významnými: "00"- hodnota existuje a je platná, "01"- hodnota je k dispozícii napr. v prípade odčítania po nedostupnom meraní atď..
- s - obdobie s nasledujúcim významom "0"- meranie počas zimného času, "1"- meranie počas letného času.
- datatime – časová značka pre koniec merania daného časového intervalu vo formáte JJMMDDhhmm (rok, mesiac, deň, hodina a minúta).
- value - číslo s pohyblivou rádovou čiarkou má ľubovoľné rozlíšenie, aj vo vedeckom formáte (1.123..E-20), max. 13 znakov. Zobrazujú sa iba integrálne hodnoty (objem, spotreba energie)
- unit - jednotka v obyčajnom texte maximálne 9 znakov.

Poznámka: Jednotlivé polia môžu obsahovať fiktívne reťazce, najmä ak ich obsah nemožno určiť. Sú to najmä polia <s>, <datetime>, <value> a <unit>. V týchto prípadoch sú vždy zobrazené aspoň oddeľovače.

Ďalšie formáty: ABL, LPX a EPZ.

Na rozdiel od MPX má formát pre súbory ABL voľnejšiu štruktúru (nie sú definované formáty dátumov, letný/zimný čas a pod.)

Vo všeobecnosti je štruktúra formátu pre jednotlivé súbory nasledovná:

- Header (hlavička) obsahuje informácie o elektromeroch (sériové číslo, typ elektromeru, dátum a čas zberu atď)
- Pdata – priebehovo namerané
- Vdata – fakturačný register

Pdata a Vdata sa nemôžu nachádzať spolu v jednom súbore. Častokrát bývajú šifrované.

Príklad dát: (poznámka: názov súboru závisí od typu elektromeru \_a obsahuje aj jeho sériové číslo)

C.1.0(sériové č. elektromeru)

C.1.1(sériové č. elektromeru)

0.2.0(082.04)

F.F.0(00)

F.0.1(06)

0.9.1(1000951)

0.9.2(1210601)

1.8.0(76468.1\*kWh)

2.8.0(1.0\*kWh)

3.8.0(7901.7\*kvarh)

4.8.0(5910.1\*kvarh)

0.1.2\*56(1210601000000)

1.8.0\*56(76467.9\*kWh)

2.8.0\*56(1.0\*kWh)

3.8.0\*56(7901.7\*kvarh)

4.8.0\*56(5910.1\*kvarh)



Tabuľka 26 - Zoznam príznakov

## Zoznam príznakov

Merací systém	Formát súboru	Stavové slovo	Príznak	Poznámka
Údaje elektromera	Aplikácia		<b>m</b>	Manuálne zadaná hodnota
Údaje elektromera			<b>e</b>	Hodnota naimportovaná zo sekundárneho systému (DGC, G1MDE 15min)
Údaje elektromera	abl	0080	<b>p</b>	Hodnota ovplyvnená výpadkom napájania - výpadok
Údaje elektromera	abl	0040	<b>c</b>	Hodnota ovplyvnená výpadkom napájania - obnovenie
Údaje elektromera	abl	00C0	<b>pc</b>	Hodnota ovplyvnená výpadkom napájania - výpadok + obnovenie
Údaje elektromera	abl	0020	<b>t</b>	Čas, dátum alebo číslo vlaku bolo nastavené
Údaje elektromera	abl	00A0	<b>pt</b>	Hodnota ovplyvnená výpadkom napájania/čas nastavený
Údaje elektromera	abl	0060	<b>ct</b>	Hodnota ovplyvnená výpadkom napájania/čas nastavený
Údaje elektromera	abl	00E0	<b>pct</b>	Hodnota ovplyvnená výpadkom napájania/čas nastavený
Údaje elektromera	abl	2000	<b>o</b>	Logbook bol vymazaný
Údaje elektromera	abl	0010	<b>s</b>	1.08, 2.08, 3.08, 4.08 reset
Údaje elektromera	abl	0100	<b>n</b>	Nastavenie premenných
Údaje elektromera	abl	4000	<b>u</b>	Vymazanie profilov
Údaje elektromera	abl	0002	<b>b</b>	Slabá batéria
Údaje elektromera	abl	0000	<b>w</b>	Korektne nameraná hodnota
Údaje elektromera	abl	0041	<b>g</b>	Poškodená (chybná) hodnota
Údaje elektromera	abl		<b>g_new</b>	Poškodená hodnota, ale môže sa použiť aspoň na výpočet spotreby
Údaje elektromera	abl	0081	<b>g</b>	Poškodená (chybná) hodnota
Údaje elektromera	abl	00C1	<b>g</b>	Poškodená (chybná) hodnota

## 5.2 IoT

### 5.2.1 Analýza problematiky

V rámci logickej architektúry navrhovaného riešenia budú senzory IoT zabezpečovať meranie vybraných veličín v rámci mikrogridu a okolia. Namerané údaje sa budú zbierať do IoT Cloudu prostredníctvom služieb príslušného IoT operátora. IoT Cloud bude vystupovať v rámci riešenia ako zdroj dát, odkiaľ ich príslušný proces číta.

Systémy IoT je možné rozdeliť do nasledovných troch logických vrstiev:

- snímanie objektov – snímanie fyzických objektov a získavanie dát,
- komunikačná vrstva – transparentný prenos dát cez komunikačnú sieť,
- aplikačná vrstva – aplikácie pre využitie získaných dát.

Monitorovacie a meracie senzory je možné aplikovať v rôznych odvetviach priemyslu, energetiky, poľnohospodárstva, životného prostredia, ale aj v domácnosti. Oproti súčasným zariadeniam, ktoré komunikujú prostredníctvom mobilných sietí, sa internet vecí vyznačuje veľmi nízkou spotrebou so životnosťou batérie aj niekoľko rokov.

Na Slovensku je aktívnych viacero IoT operátorov, ako napríklad:

- Antik (technológia LoRaWAN)
- O2 (technológia NB-IoT)
- Orange (technológia LoRaWAN)
- SimpleCell (technológia SIGFOX)
- Slovak Telekom (technológia NB-IoT)
- Slovanet (technológia LoRaWAN)

### 5.2.2 Využitie IoT

Medzi najbežnejšie oblasti využitia IoT technológií patria aj poľnohospodárstvo, energetika, bezpečnosť či riešenia v oblastiach Smart City.

Ako príklad je možné uviesť IoT v réžii siete Sigfox.

Sigfox je líder v oblasti internetu vecí na svete. Samotná sieť sa vyznačuje hlavne komunikáciou z modulov s ultranízkou spotrebou energie a bezkonkurenčnou cenou. Svojou sieťou zabezpečuje pripojenie IoT zariadení do cloudu. Výhodou Sigfoxu je aj výborná kompatibilita s ostatnými technológiami ako Bluetooth, GPS 2G/3G/4G a Wi-Fi.

Sigfox sieť prenáša dáta rýchlosťou 100 bitov za sekundu, čím sa stáva najpomalšou sieťou a vytvára nový štandard 0G. Dátová tarifa sa pohybuje v jednotkách eur ročne. Ďalšou z predností Sigfoxu je ponúkané softvérové komunikačné riešenie, v ktorom sa všetka sieťová a výpočtová zložitosť spravuje v cloude, nie priamo v zariadeniach. Práve vďaka tomuto je Sigfox taký úsporný na spotrebu energie i peňazí. Typickými riešeniami pomocou siete Sigfox v Európe sú diaľkové odpočty vody, elektriny, plynu, parkovacie senzory, Industry 4.0, Smart City, zabezpečovacie zariadenia, logistika, sledovanie teplôt pri transporte a uskladnení, starostlivosť o seniorov, meranie zrážok a prietokov na záplavových tokoch a množstvo iných.

Sigfox pokrýva momentálne 60 krajín a regiónov, 5 miliónov km<sup>2</sup> a 1 miliardu ľudí. Výnimkou nie je samozrejme ani Slovensko.

Ekosystém internetu vecí by mohol obsahovať do roku 2025 až 75 miliárd zariadení a senzorov. Takéto obrovské množstvo by bolo určite nepraktické napájať z elektrickej siete, no ani predstava

vymieňania malých batérií sa nejaví byť ako najefektívnejšie riešenie. Preto boli navrhnuté fotovoltaické verzie senzorov, ktoré môžu byť napájané slnečným svetlom alebo dokonca aj umelých osvetlením.

Spracovanie dát cez IoT sieť zabezpečuje:

1. Zhromažďovanie údajov o spotrebe bez námahy – vylučuje sa manuálne odčítavanie meradiel a spracovanie údajov o spotrebe elektrickej energie, vody, či plynu. Po aktivácii začnú pripojené meracie prístroje okamžite prenášať dáta cez IoT sieť bez nutnosti párovania alebo konfigurácie. Batérie nie je potrebné vymeniť či nabíjať niekoľko rokov. Je možné monitorovať a optimalizovať infraštruktúru v reálnom čase, s cieľom zistiť úniky či poruchy. Poskytovatelia služieb môžu automatizovať fakturáciu a diaľkovo aktivovať alebo deaktivovať služby.
2. Efektívne výjazdy pracovníkov - jednoducho a nákladovo efektívne dohliadať na pracovný postup pri akomkoľvek druhu vetra alebo pri inštalácii solárnej energie. Diaľkovo monitorované senzory dokážu zistiť akékoľvek zlyhanie alebo abnormálny pokles energetickej účinnosti v reálnom čase. Upozornenia sú okamžite prístupné pre zariadenia pripojené na internet. Používatelia sú upozornení na anomálie prostredníctvom SMS správy alebo e-mailu.
3. Monitorovanie záložných zariadení - pomocou monitorovacích riešení internetu vecí je možné monitorovať zálohové systémy lepšie ako kedykoľvek predtým. Údržbári môžu pracovať omnoho efektívnejšie ak okamžitevidia stav záložných systémov. Taktiež, môžu na diaľku vykonávať diagnostiku a získať okamžité upozornenia na dôležité zmeny.
4. Údržba zásob na optimálnej úrovni – schopnosť presne sledovať stav zásob. Pre väčšinu spoločností je jediným riešením, ktoré je v súčasnosti k dispozícii, manuálna kontrola. Tá je časovo náročná, nákladná a neefektívna. Internet vecí poskytuje nákladovo efektívne riešenie pre presné monitorovanie hladiny nádrží na diaľku.
5. Dozor elektrických stĺpov - rýchla lokalizácia a vykonanie opatrení. Nakláňanie elektrických stĺpov v dôsledku silného vetra, dopravných nehôd či zemetrasní môžu spôsobiť mechanické napätie alebo poškodenie káblov. Pravidelné merania vykonávané na diaľku pomocou prístrojov podporujúcich internet vecí, umožňujú preventívnu kontrolu a vyšlú upozornenia v prípade nakláňania stĺpov. Údržbári tak môžu zareagovať na poruchu skôr a identifikovať bezodkladné poškodenia.
6. Monitorovanie vodných diel - monitorovanie hodnôt tlaku, kalnosti, Ph, slanosti, ORP a prietoku vody na diaľku jednoducho a na diaľku. Senzory internetu vecí poskytujú dôležité údaje o vodných infraštruktúrach, a tým pomáhajú predchádzať nefunkčnosti a záplavám. Taktiež zvyšujú efektívnosť práce personálu.

### 5.2.3 Podporované typy a verzie zariadení

V našich podmienka sa najviac využívajú nasledovné technológie:

- LoRaWAN
- NB-IoT
- SIGFOX

Tieto technológie sú podrobne popísané v dokumente aktivita č. 6 míľnik 1.

Komunikácia so zariadeniami je zabezpečená pomocou protokolov. Nižšie je uvedený stručný popis protokolov LoRaWAN a Sigfox.

Protokol LoRaWAN je protokol určený na občasný, energeticky efektívny bezdrôtový prenos malého množstva dát nazývaných payload (typicky niekoľko bajtov) na dlhé vzdialenosti medzi prepojenými objektami - v terminológii LoRaWAN nazývanými mote (typicky senzory napájané batériou) a LoRaWAN gatewayom. Gateway následne môže komunikovať priamo s príslušným procesom alebo poslať payload na sieťové servery resp. do cloudu, kde sa vykoná spracovanie údajov. V každom

prípade je payload zabalený do obálky (napr. ako pole v JSON správe alebo v CSV súbore) a prenesený až do príslušného procesu. Tam je payload dekódovaný (používa sa napr. Base64 kódovanie alebo Base64 + Base16 kódovanie) a spracovaný. Spracovanie payloadu je závislé od typu zariadenia, ktorý bude definovaný v parametri pripravovanej databázy.

Protokol Sigfox má podobné vlastnosti ako LoRaWAN, akurát využíva iné frekvenčné pásma. Používa infraštruktúru vybudovanú firmou Sigfox a jej partnermi a správy (s maximálnou veľkosťou payloadu 12 bajtov, maximálne 140 správ denne) sú prenášané do cloudu, odkiaľ je možné ich získať cez REST API.

V rámci navrhovaného riešenia IoT Cloud bude vystupovať ako zdroj dát, odkiaľ ich príslušný proces číta. Môžu to byť správy napríklad v MQTT protokole cez TCP spojenie resp. MQTT-SN.

### **Popis formátu MQTT**

MQTT (MQ Telemetry Transport) je jednoduchý a nenáročný protokol na odovzdávanie správ medzi klientmi prostredníctvom centrálného bodu – brokera. Vďaka tejto nenáročnosti a jednoduchosti je ľahko implementovateľný aj do zariadení s „malými“ procesormi a pomerne rýchlo sa rozšíril. Navrhnutý bol v IBM, dnes za ním stojí Eclipse foundation a prebehla štandardizácia OASIS.

Pri protokole MQTT prebieha prenos pomocou TCP a používa návrhový vzor publisher – subscriber. Teda existuje jeden centrálny bod (MQTT broker), ktorý sa stará o výmenu správ. Správy sú triedené do tzv. tém (topic) a zariadenie buď publikuje v danej téme (publish), to znamená, že posiela dáta brokeru, ktorý ich ukladá a distribuuje ďalším zariadeniam, alebo je prihlásený na odber témy či tém (subscribe), a broker potom všetky správy s danou témou posiela do zariadenia. Jedno zariadenie samozrejme môže zrazu byť v niektorých témach publisher a v iných subscriber.

Samotný obsah správ nie je nijako daný ani vyžadovaný, MQTT je „payload agnostic“. Obsah správy sú jednoducho nejaké binárne dáta, ktoré sú prenesené. Najčastejšie sa používa JSON, BSON, textové správy, ale môže to byť naozaj čokoľvek. Veľkosť správy je v aktuálnej verzii protokolu obmedzená, je to necelých 256 MB, ale prevažná väčšina správ je oveľa menšia.

MQTT minimalizuje množstvo balastných dát, takže pridáva iba minimum servisných dát. Zavádza tri úrovne QoS (Quality of Service) – teda potvrdzovanie správ, kde tá najnižšia znamená, že správa je odoslaná bez potvrdenia a nie je zaručené jej doručenie (at-most-once), prostredná úroveň hovorí, že správa je doručená aspoň raz (at-least-once), a najvyššia úroveň QoS 2 znamená, že každá správa je doručená práve raz. Klient však nemusí podporovať všetky tri úrovne QoS.

### **MQTT-SN**

Pre siete zariadení, ktoré sú pripojené rádiovým (napr. cez ZigBee, iQRF alebo akokoľvek inak) nie je TCP vhodný spôsob, preto sa používa zjednodušená verzia MQTT, nazvaná MQTT-SN (MQTT for Sensor Networks).

MQTT-SN optimalizuje komunikáciu tak, aby sa prenášalo čo najmenej dát. Napríklad namiesto názvov topicov používa čísla topicov, definuje postup pre automatické zistenie MQTT brokera (autodiscovery – nie je potrebné zadávať adresu brokera do zariadenia), okrem perzistentných odberov (persistent subscriptions) sú aj trvalé záväty (persistent will), ponúka aj podporu spiacich zariadení (ktorým sú správy doručené po prebudení a pod.) Brokery, ktoré zvládajú MQTT-SN, zvládajú väčšinou aj jednoduché MQTT a vedia fungovať aj ako bridge medzi oboma typmi sietí.

## 6 DÁTOVÁ ENTITA – PARAMETRE PRODUKCIE A NÁKLADOV

### 6.1.1 Analýza problematiky

Výroba elektriny z OZE, hlavne z veternej a slnečnej fotovoltickej energie, zažíva v posledných rokoch pôsobivý nárast. Náklady na výrobu elektriny z vetra a slnka sa medzitým čoraz viac vyrovnávajú nákladom na elektrinu zo spaľovania fosílnych palív. Využívanie obnoviteľných zdrojov energie ešte stále sprevádzajú často relatívne veľké náklady na zriadenie samotného energetického zariadenia. Energetická a ekonomická efektívnosť takéhoto zariadenia mnohokrát nevyhovuje našim požiadavkám. Jedným z dôvodov je nízka energetická efektívnosť v dôsledku vlastností obnoviteľných zdrojov energie, druhým dôvodom je vysoká cena zariadenia s požadovaným výkonom. Navyše, aj napriek tomu, že máme obnoviteľný zdroj energie, sme niekedy odkázaní na klasické zdroje, a to vtedy, keď obnoviteľný zdroj dodáva energiu v čase jej minimálnej potreby.

V čase veľkej spotreby potom prídu na rad klasické zdroje energie. Jednou z možností optimalizácie procesu výroby a spotreby energie je zavádzanie zásobníkov energie. Táto možnosť však vedie k zvýšeniu ceny zariadenia a náročnosti na riadenie celého energetického procesu. Všetky uvedené, ale aj iné problémy zavádzania OZE možno uspokojivo riešiť ešte pred samotným návrhom a výberom technológie na základe využitia niektorých princípov riadenia celého životného cyklu energetického zariadenia. Tým je proces analýzy energetickej spotreby jednotlivých druhov energie, návrhu hlavného cieľa zníženia energetickej náročnosti, výberu energetického zariadenia, výpočtu ekonomickej efektívnosti na základe nákupnej ceny a priebežných nákladov, nákladov na likvidáciu a ochranu životného prostredia.

Predpokladaný nedostatok dostupných zdrojov energie za prijateľné ceny je spolu s globálnym otepľovaním problémom, ktorý významne determinuje ďalší rozvoj ľudstva. Najlacnejším spôsobom riešenia nedostatku energie je zlepšenie využívania energie – zvýšenie energetickej efektívnosti. Tento prístup paralelne prispieva aj k zníženiu skleníkových emisií. Aj napriek celkovému pokroku, ktorý nastal v mnohých krajinách v oblasti energetickej efektívnosti existuje stále priestor pre postupné zlepšovanie mnohých relevantných technológií.

### 6.1.2 Predikovanie spotreby elektrickej energie

Predikcia spotreby elektrickej energie hrá v ekonomike prevádzky inteligentných sietí rozhodujúcu úlohu. Presné predpovedanie spotreby elektrickej energie je nevyhnutné pre tvorbu plánov výroby elektrickej energie a celkovú bilanciu v inteligentnej sieti. Variabilita dát a premenných v čase však bráni v dosahovaní uspokojivej presnosti predikcie.

Dáta o spotrebe elektrickej energie predstavujú časové rady obsahujúce odbery elektrickej energie v rámci rovnako veľkých časových úsekov. Vďaka inteligentným meracím systémom sú tieto hodnoty merané v hodinových, polhodinových či štvrťhodinových intervaloch. V dátach sú zrejme sezónne vplyvy na úrovni denných, týždenných a ročných sezónností. V rámci dňa je výraznejšia spotreba v denných oproti nočných hodinách. Týždne sú charakterizované inými priebehmi spotreby pre pracovné dni a dni voľna (začiatok a koniec pracovného týždňa má často iný priebeh ako je to u dní v strede pracovného týždňa). V rámci ročnej sezónnosti sú zjavné zmeny pri sviatkoch a prázdninách. Tiež je možné v dátach pozorovať vplyv ročných období na odber elektriny.

Analýza dát o spotrebe elektrickej energie z inteligentných meracích systémov zahŕňa množstvo rôznych úloh spracovania týchto dát. Hlavnou úlohou je predikovanie odberov elektrickej energie, no zaujímavými výzvami sú aj analýza odberov s cieľom odhaliť zlé dáta alebo vytváranie typických profilov odberov, či podpora riadenia odberov s cieľom napríklad charakterizovať zákazníkov a podobne.

Literatúra obsahuje obrovské množstvo príspevkov venujúcich sa metódam a technikám na predikciu odberov elektrickej energie, ktoré sú často robené s rôznym cieľom, v rôznej škále a pre rôzne veľký časový horizont. Mnohé štúdie sa zaoberali napríklad využitím strojového učenia, ako je podporná vektorová regresia a neurónové siete. Taktiež existuje veľa štúdií porovnávajúcich presnosť predikcie jednotlivých metód.

Vzhľadom na cieľ má zmysel predikovať odbery pre rôzne dlhý horizont dopredu. Obyčajne sa predikcie rozdeľujú na krátkodobé (predikcia na sekundy až týždeň dopredu) a dlhodobé (na týždne, mesiace, roky). Ďalšie dôležité rozdelenie metód na predikciu odberov je statické vs. dynamické, kde statické metódy je potrebné pri pridaní nových dát znovu preučiť, pričom dynamické metódy je možné doučať ako dáta prichádzajú buď on-line (po každom novom meraní) alebo inkrementálne (v dávkach). Väčšina techník prezentovaných v literatúre predstavujú statické metódy produkujúce bodové predikcie. Pravdepodobnostné či dynamické metódy obyčajne vychádzajú z nich.

V rámci riešenia problematiky mikrogridov budú primárnym zdrojom dát inteligentné meracie systémy. Zber údajov nameraných prostredníctvom IMS meradiel bude zabezpečovať zberová centrála IMS. Pre potreby simulácií však môžu byť dôležité aj ďalšie merané veličiny, ktoré inteligentné meracie systémy nemerajú. Pre predikciu spotreby a výroby z obnoviteľných zdrojov sú dôležité meteorologické údaje, ktoré významným spôsobom prispievajú k predikcii ďalšieho vývoja tokov energií v sieti. Meteorologické údaje je možné získavať prostredníctvom IoT zariadení umiestnených na vhodných miestach vo vzťahu k príslušným výrobným zariadeniam alebo spotrebičom.

### 6.1.3 Parametre produkcie a nákladov

Obsah dátovej entity „Parametre produkcie a nákladov“ sa zameriava na parametre spotreby a výroby elektrickej energie a ich nákladov, ktoré vstupujú do optimalizačného procesu a určujú jeho priebeh a tým majú dopad na výsledok účelovej funkcie.

Hlavnou myšlienkou použitia parametrov je ohraničiť požadovanú množinu riešení veľkosti inštalovaných výkonov zdrojovej základne mikrogridu tak, aby výsledky optimalizácie zodpovedali odborným predpokladom a zadaniu. V prípade nedostatočnej definície alebo nekorektného použitia parametrov môžu optimalizačné algoritmy nájsť veľkosti inštalovaných výkonov, ktoré budú v zjavnom nepomere alebo nebudú zodpovedať odborným predpokladom. Rovnako môže dôjsť aj k situáciám, kedy optimalizačné algoritmy nebudú schopné nájsť riešenie, prípadne bude potrebné testovať niekoľko algoritmov súčasne, čím sa predĺži výpočtový čas optimalizácií.

Parametre majú formu štatistických údajov napr. maximálna štvrťhodinová hodnota spotreby za rok, ktoré sú extrahované z časových radov vstupujúcich do optimalizácie. Možnosť extrahovať široké spektrum takýchto štatistických údajov otvára priestor pre podrobné ladenie optimalizačných procesov. Napríklad je možné dať ako vstupný parameter optimalizačnú podmienku ktorá zabezpečí, aby optimalizovaný inštalovaný výkon fotovoltickej elektrárne mal takú hodnotu, ktorá v rámci jedného roku bilančne pokryje aspoň 10 % spotreby odberného miesta. V niektorých prípadoch by totiž mohlo nastať, že optimalizované hodnoty výrobných zdrojov z nízkym ročným koeficientom využitia inštalovaného výkonu (ako napr. fotovoltika) by boli veľmi nízke. Je to z toho dôvodu, že optimalizačné algoritmy dávajú takýmto výrobným zdrojom nižšiu váhu a naopak napr. kogeneračným zdrojom vyššiu váhu pri napĺňaní podmienok účelovej funkcie. Tento nedostatok je možné vykompenzovať vhodnou definíciou optimalizačných podmienok pre zdroje s nízkym koeficientom využitia inštalovaného výkonu.

Dôležitou vlastnosť bilančných optimalizácií je ich štvrťhodinový a súčasne celoročný rozmer, ktorý umožňuje definovať technické a ekonomické parametre v rôznom časovom rozlíšení. Parametre umožňujú realistickú optimalizáciu v štandardnej časovej doméne. Výsledné hodnoty optimalizovaných inštalovaných výkonov sa premietnu do nárastu alebo poklesu energetického obsahu priebehov jednotlivých prvkov v mikrogride, ktoré je možné následne vykresliť.

Pretože v rámci optimalizácií sa pracuje so skutočnými nameranými hodnotami spotreby a výroby, optimalizačné algoritmy tak v plnej miere rešpektujú realitu a pracujú s parametrami produkcie a nákladov z reálnej prevádzky. Toto je veľmi dôležitá vlastnosť vyvíjaného softvérového riešenia, ktoré pracuje s reálnou variabilitou výroby elektriny z obnoviteľných zdrojov energie. Rovnako sú do optimalizácie zahrnuté aj výpadky výrobných zdrojov napríklad kogeneračných jednotiek, u ktorých sa niekoľkokrát počas roka stáva, že sú mimo prevádzky na niekoľko hodín alebo dokonca dní.

Pokročilý optimalizačný rámec bude obsahovať veľké množstvo parametrov, ktorých determinácia a použitie bude určené optimalizačnou praxou. V nasledujúcej tabuľke sú uvedené príklady parametrov.

**Tabuľka 27 - Príklady parametrov pre optimalizačné algoritmy**

Prvok mikrogridu	Parameter	Popis
Odber	Maximálny štvrťhodinový odber v [kW]	Maximálna hodnota odberu v rámci celého roka a môže predstavovať parameter, ktorému sa prispôsobí návrh zdrojovej základne mikrogridu.
	Celkový odber [kWh/rok]	Celkový odber elektrickej energie za kalendárny rok. Tento parameter je dôležitý aj ekonomického pohľadu.
Kogeneračná jednotka	Maximálna štvrťhodinová výroba [kW]	Maximálna hodnota výroby v rámci celého roka. Obvykle nepresahuje maximálny menovitý výkon zdroja.
	Ročná suma výroby kogeneračnej jednotky [kWh/rok]	Celková výroba elektrickej energie za kalendárny rok. Tento parameter je dôležitý pretože poskytuje prehľad o veľkosti ročného koeficientu využitia inštalovaného výkonu. Pri kogeneračných jednotkách má hodnotu obvykle nad 80 %.
Fotovoltaická elektrárň	Maximálna štvrťhodinová výroba [kW]	Maximálna hodnota výroby v rámci celého roka. Obvykle nepresahuje maximálny menovitý výkon zdroja. Pri fotovoltaickej elektrárni sa pohybuje na úrovni maximálne 90 % z inštalovaného výkonu.
	Ročná suma výroby fotovoltaickej elektrárne [kWh/rok]	Celková výroba elektrickej energie za kalendárny rok. Tento parameter je dôležitý pretože poskytuje prehľad o veľkosti ročného koeficientu využitia inštalovaného výkonu. Pri fotovoltaickej elektrárni má hodnotu obvykle do 20 %.
Veterná elektrárň	Maximálna štvrťhodinová výroba [kW]	Maximálna hodnota výroby v rámci celého roka. Obvykle nepresahuje maximálny menovitý výkon zdroja. Pri veternej elektrárni sa pohybuje na úrovni maximálne 100 % z inštalovaného výkonu.

	Ročná suma výroby veternej elektrárne [kWh/rok]	Celková výroba elektrickej energie za kalendárny rok. Tento parameter je dôležitý pretože poskytuje prehľad o veľkosti ročného koeficientu využitia inštalovaného výkonu. Pri veternej elektrárni má hodnotu obvykle od 20 do 30 %.
Bilancia mikrogridu	Maximálna štvrťhodinová výroba [kW]	Maximálna sumárna hodnota výroby v mikrogride v rámci celého roka. Pri výsledkoch optimalizácií a simulácií sa skúma jej veľkosť a eventuality presah spotreby v mikrogride. Signifikantnú dôležitosť naberá najmä v prípade ostrovnej prevádzky mikrogridu.
	Maximálna štvrťhodinová bilancia v mikrogride [kW]	Maximálna absolútna hodnota rozdielu medzi výrobou a spotrebou v mikrogride v priebehu roka. Pri výsledkoch optimalizácií a simulácií sa skúma jej veľkosť v mikrogride. Od jej veľkosti sa môžu odvíjať ďalšie parametre ako dimenzovanie akumulátora elektrickej energie. Signifikantnú dôležitosť naberá najmä v prípade ostrovnej prevádzky mikrogridu.
	Celková výroba zdrojov v mikrogride [kWh/rok]	Celková sumárna výroba zdrojov v mikrogride. Umožňuje analyzovať ročný pomer výroby a spotreby v mikrogride a tiež umožňuje kvantifikovať sebestačnosť mikrogridu.



## 7 ZÁVER

Podrobná analýza požiadaviek v oblasti zavádzania konceptu inteligentnej siete/mikrogridu v rámci rozvoja distribučnej sústavy, pri zvýšenej inštalácii výrobných zariadení z OZE a pri využití moderných technológií inteligentnej siete, bola ukončená v mílniku č.1 aktivity č.6 vypracovaním návrhu celkovej architektúry riešenia moderného nástroja pre modelovanie a simuláciu inteligentných sietí / mikrogridov.

Jadrom navrhovaného riešenia je databáza modelu siete, ktorá bude zabezpečovať uchovanie dát v jednotnej dátovej základni (prvky inteligentných sietí / mikrogridov, vlastnosti prvkov, prepojenia prvkov, namerané údaje a výsledky simulácií a analýz) s flexibilnou možnosťou pridávania nových dátových prvkov, prípadne nových celých štruktúr.

Navrhovaná databáza modelu siete, ktorá bude poskytovať údajovú základňu potrebnú pre generovanie digitálneho modelu elektrickej siete, sa vytvára ako relačná databáza. Je to typ databázy, v ktorej sú dáta uložené vo viacerých tabuľkách a tieto tabuľky sú vzájomne prepojené. Relačná databáza uchováva všetky aplikačné aj riadiace dáta systému, ktoré sú spravované štandardným databázovým systémom. V prípade kritických operácií nad veľkým objemom dát sa tieto kritické výpočty implementujú priamo v databáze.

Navrhovaná databáza modelu siete má črty objektovo relačného systému. Objektovo relačné databázy vznikli na základoch relačných systémov a ponúkajú možnosť definície vlastných dátových typov a metód.

Samotný návrh dátového modelu, od ktorého závisí správanie sa celého databázového systému, sa nachádza v kapitole 2 tohto dokumentu. Návrh dátového modelu vyústil do návrhu dátových štruktúr databázy a entít potrebných pre modelovanie mikrogridov. Spolu s návrhom dátových štruktúr sa v kapitole 2 tohto dokumentu nachádza ukážka, ako bude vyzerať objektový strom. V tejto kapitole sú zároveň definované typy objektov, ich triedy a diagramy navrhovaných vzťahov v rámci celej dátovej základne.

Databáza modelu siete je navrhnutá tak, aby vytvárala priestor na preberanie nameraných údajov z IMS meraní a IoT senzorov, čo vytvára možnosť prepájať model digitálnej siete s údajmi získanými z meraní. Evidované prvky siete, ich vzájomné prepojenia, atribúty prvkov a prepojenia a namerané údaje z IMS meraní a IoT senzorov následne budú využívané aplikáciami optimalizačných a simulačných algoritmov. Výsledky simulácií a analýz budú taktiež uložené v rámci databázového modelu siete a budú operatívne sprístupnené pre potreby vizualizácie v rámci grafického modelu siete. Je uvažované aj s možnosťou vzniku nových prvkov databázového modelu siete a prepojenia medzi nimi, ako výsledku zo samotného modelovania inteligentnej siete / mikrogridu.

Ďalšie kapitoly mílnika č.3 sú venované vybraným základným entitám, ktorými sú: zdrojová základňa, rozvodný systém, inteligentné meracie systémy a parametre produkcie a nákladov. Evidencia prvkov v rámci týchto základných entít a definovanie ich vzájomných vzťahov by mali pokryť požiadavky z pohľadu modelovania mikrogridov a predpokladaných simulácií a analýz predkladaného riešenia, ktoré budú zamerané najmä na optimalizačné bilančné úlohy v rámci inteligentných sietí / mikrogrid. V súvislosti s riešením problematiky inteligentných sietí / mikrogridov je potrebné podotknúť, že medzi hlavné úlohy výskumu v oblasti elektroenergetiky patrí aj hľadanie čo najefektívnejších a najprogressívnejších metód uskladnenia elektrickej energie. Pozornosť tejto téme bola venovaná v kapitole 3 pre dátovú entitu – zdrojová základňa.

V rámci týchto kapitol venovaných základným entitám databázy je problematika riešená z pohľadu návrhu dátových štruktúr navrhovanej databázy. Databáza modelu siete ako systém bude spravovať jednotlivé prvky siete a ich parametre, topológiu siete v podobe prepojení príslušných prvkov a súvisiacu technickú dokumentáciu.

## 8 ZOZNAM OBRÁZKOV

<b>Obrázok 1 - Návrh štruktúry databázy a entít pre modelovanie sústavy</b> .....	9
<b>Obrázok 2 - Diagram1 navrhovaných vzťahov v rámci DB</b> .....	9
<b>Obrázok 3 - Diagram2 navrhovaných vzťahov v rámci DB</b> .....	10
<b>Obrázok 4 - Diagram3 navrhovaných vzťahov v rámci DB</b> .....	11
<b>Obrázok 5 - Diagram4 navrhovaných vzťahov v rámci DB</b> .....	12
<b>Obrázok 6 - Diagram5 navrhovaných vzťahov v rámci DB</b> .....	13
<b>Obrázok 7 - Polykryštalický článok</b> .....	30
<b>Obrázok 8 - Monokryštalický článok</b> .....	31
<b>Obrázok 9 - Slniečny svit a normalizované FV výroba</b> Zdroj: EnergiaWeb.....	33
<b>Obrázok 10 - Množstvo dopadajúceho slnečného žiarenia na Slovensku</b> Zdroj: Energetické centrum Bratislava .....	38
<b>Obrázok 11 - Veterná mapa Slovenska</b> (Zdroj: SAPI) .....	41
<b>Obrázok 12 - Konštrukcia veternej elektrárne s horizontálnou osou natáčania</b> (ZDROJ STU) ...	43
<b>Obrázok 13 - Porovnanie konštrukcií turbín s horizontálnou a vertikálnou osou</b> (ZDROJ energoportál).....	44
<b>Obrázok 14 - Derivačná MVE</b> .....	47
<b>Obrázok 15 - Možnosti využitia bioplynu</b> .....	54
<b>Obrázok 16 - Energetická bilancia bioplynovej stanice</b> .....	55
<b>Obrázok 17 - Mapa zariadení vyrábajúcich elektrickú energiu z biomasy</b> .....	59
<b>Obrázok 18 - Schematické znázornenie palivového článku (palivo – zemný plyn)</b> .....	63
<b>Obrázok 19 - Príklad systému s palivovým článkom</b> .....	65
<b>Obrázok 20 - Princíp tepelného čerpadla</b> .....	66
<b>Obrázok 21 - Denný diagram zaťaženia</b> .....	69
<b>Obrázok 22 - Príklad stromovej topologickej štruktúry mikrogridu</b> .....	88

## 9 ZOZNAM TABULIEK

<b>Tabuľka 1 - Objektový strom</b> .....	7
<b>Tabuľka 2 - Typy objektov</b> .....	8
<b>Tabuľka 3 - Číselníky</b> .....	12
<b>Tabuľka 4 - Spoločné parametre objektov</b> .....	14
<b>Tabuľka 5 - Parametre pre asynchrónny generátor</b> .....	14
<b>Tabuľka 6 - Parametre pre elektrolyzér</b> .....	15
<b>Tabuľka 7 - Parametre pre fotovoltickú elektrárň</b> .....	15
<b>Tabuľka 8 - Parametre pre synchronný generátor</b> .....	17
<b>Tabuľka 9 - Parametre pre parnú turbínu</b> .....	18
<b>Tabuľka 10 - Parametre pre paroplynovú turbínu</b> .....	19
<b>Tabuľka 11 - Parametre pre spaľovacu turbínu</b> .....	20
<b>Tabuľka 12 - Parametre pre trojfázový transformátor (3 vin.)</b> .....	22
<b>Tabuľka 13 - Parametre pre uložisko energie</b> .....	23
<b>Tabuľka 14 - Parametre pre vedenie</b> .....	24
<b>Tabuľka 15 - Parametre pre veternú turbínu</b> .....	24
<b>Tabuľka 16 - Parametre pre vodnú turbínu</b> .....	25
<b>Tabuľka 17 - Parametre pre fotovoltický panel</b> .....	26
<b>Tabuľka 18 - Parametre pre tepelné čerpadlo</b> .....	26
<b>Tabuľka 19 - Parametre pre palivové články</b> .....	27
<b>Tabuľka 20 - Prierez žíl vodičov pre jednotlivé výkony striedačov</b> .....	35
<b>Tabuľka 21 - Typovo predpripravené hybridné striedače</b> .....	37
<b>Tabuľka 22 - Vybrané vodné zdroje</b> .....	51
<b>Tabuľka 23 - Spôsoby konverzie biomasy na energiu</b> .....	59
<b>Tabuľka 24 - Vlastnosti rôznych typov palív</b> .....	60
<b>Tabuľka 25 - Energetická hodnota vybraných palív</b> .....	60
<b>Tabuľka 26 - Zoznam príznakov</b> .....	97
<b>Tabuľka 27 - Príklady parametrov pre optimalizačné algoritmy</b> .....	103

## 10 ZDROJE

### Použitá literatúra:

#### 3 Dátová entita - Zdrojová základňa

##### 1. Solárne elektrárne

- [1][https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=128810](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=128810)
- [2][www.eu-power.sk](http://www.eu-power.sk)
- [3]<https://www.zsdis.sk/Uvod/Vyrobcovia/Pred-pripojenim/Schvalene-hybridne-striedace>
- [4]Technické podmienky prevádzkovateľa distribučnej sústavy spoločnosti Západoslovenská distribučná, a.s. , 2019  
[https://www.zsdis.sk/documents/13207/ZSD\\_Technicke\\_podmienky\\_PDS\\_0419](https://www.zsdis.sk/documents/13207/ZSD_Technicke_podmienky_PDS_0419)
- [5]<https://www.viessmann.sk/sk/obytno-budovy/fotovoltaika.html>
- [6][https://www.hpower.sk/solarne\\_panely/](https://www.hpower.sk/solarne_panely/)
- [7]<https://www.fronius.com/en/solar-energy/installers-partners/technical-data>
- [8]<https://www.tme.eu/sk/news/library-articles/page/21597/Spravny-vyber-vodicov-a-striedacov/>
- [9][http://www.efilip.sk/poradenstvo/energie\\_vykurovanie/solarne\\_systemy/solarna\\_ma\\_pa\\_slovenska](http://www.efilip.sk/poradenstvo/energie_vykurovanie/solarne_systemy/solarna_ma_pa_slovenska)

##### 2. Veterné elektrárne

- [10]<https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/wind-solar-power-generation-8-2019/sk/>
- [11]<http://www.oze.stuba.sk/oze/veterna-energia/>
- [12]<http://www.oze.stuba.sk/wp-content/themes/ObnovitelneZdrojeEnergie/elearning/EENERGETIKA/La-32.htm>
- [13][https://www.atpjournal.sk/rubriky/prehladove-clanky/svita-veternym-elektrarnam-naslovensku-nalepsie-casy.html?page\\_id=30714](https://www.atpjournal.sk/rubriky/prehladove-clanky/svita-veternym-elektrarnam-naslovensku-nalepsie-casy.html?page_id=30714)
- [14]<https://www.energoportal.org/obnovitelne-zdroje/energia-z-vetra#vseobecne-informacie>

##### 3. Malé vodné elektrárne

- [15]<https://energoportal.org/obnovitelne-zdroje/vodna-energia>
- [16]<http://www.ecotechnika.sk/ecotechnika-22011/vodne-elektrarne-neupadavaju-do-zabudnutia.html>
- [17]Vodné elektrárne na Slovensku  
[https://sk.wikipedia.org/wiki/Zoznam\\_elektr%C3%A1rn%C3%AD\\_na\\_Slovensku](https://sk.wikipedia.org/wiki/Zoznam_elektr%C3%A1rn%C3%AD_na_Slovensku)  
(2020-11-24)

- [18]Klimatické podmienky na Slovensku z hľadiska tepelných, veterných a zrážkových podmienok  
[www.shmu.sk](http://www.shmu.sk)
- [19]Zväz výrobcov elektrickej energie v malých vodných elektrárnach: Mapa obnoviteľných zdrojov energie  
<https://zvazmve.sk/2017/12/14/mapa-obnovitelnych-zdrojov-energie/> (2017-12-14)
- [20]Výstupný dokument pre potreby Výskumného projektu Centra excelentnosti II: CEIL\_AKT5\_Milnik1\_Sumary\_vystup\_v1.6 – kapitola 3 OBNOVITELNÉ A ALTERNATÍVNE ZDROJE ENERGIE

#### 4. Bioplynové elektrárne

- [21][https://sk.wikipedia.org/wiki/Biomasa\\_\(energetika\)](https://sk.wikipedia.org/wiki/Biomasa_(energetika))
- [22]JANÍČEK, F. et al. Obnoviteľné zdroje energie 1 : Technológie pre udržateľnú budúcnosť. Pezinok : Renesans, s. r. o., 2007. 176 s. ISBN 978-80-969777-0-3.

#### 5. Palivové články

- [23]<https://www.oplyne.info/oblast/vyroba-elektrickej-energie/zakladne-informacie-o-vyrobe-elektrickej-energie/palivove-clanky2/>

#### 6. Tepelné čerpadlo

- [24]<https://www.siea.sk/bezplatne-poradenstvo/publikacie-a-prezentacie/ako-vybrat-tepelne-čerpadlo/>

#### 7. Akumulátor elektriny

- [25]<https://www.energiaweb.sk/2015/11/12/akumulatory-technologie/>
- [26][https://en.wikipedia.org/wiki/European\\_Network\\_of\\_Transmission\\_System\\_Operators\\_for\\_Electricity\\_-\\_cite\\_note-0-11](https://en.wikipedia.org/wiki/European_Network_of_Transmission_System_Operators_for_Electricity_-_cite_note-0-11)
- [27]<https://www.entsoe.eu/publications/general-publications/at-a-glance/>

## 4 Dátová entita – Rozvodný systém

- [28][http://www.oze.stuba.sk/wp-content/themes/ObnovitelneZdrojeEnergie/elearning/EENERGETIKA/ELEN-5\\_1.htm](http://www.oze.stuba.sk/wp-content/themes/ObnovitelneZdrojeEnergie/elearning/EENERGETIKA/ELEN-5_1.htm)
- [29] [https://www.zsdis.sk>dokuments>ZSD\\_zasady](https://www.zsdis.sk>dokuments>ZSD_zasady) (pdf súbor)  
Zásady budovania a prevádzkovania distribučných transformačných staníc a zásady inštalácie, prevádzkovania a nakladania s distribučnými transformátormi Postup č.D6.ROZV:06 Dátum účinnosti: 1.3.2020
- [30]PEPPANEN, Jouni, Matthew J. RENO, Robert J. BRODERICK a Santiago GRIJALVA. Distribution System Model Calibration With Big Data From AMI and PV Inverters. IEEE Transactions on Smart Grid [online]. 2016, 7(5), 2497-2506 [cit. 2021-9-28]. ISSN 1949-3053. Dostupné z: doi:10.1109/TSG.2016.2531994
- [31]KORRES, G. N. a N. M. MANOUSAKIS. A state estimation algorithm for monitoring topology changes in distribution systems. In: 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting [online]. IEEE, 2012, 2012, s. 1-8 [cit. 2021-9-28]. ISBN 978-1-4673-2729-9. Dostupné z: doi:10.1109/PESGM.2012.6345126

- [32] R. Singh, E. Manitsas, B. C. Pal, and G. Strbac, "A recursive Bayesian approach for identification of network configuration changes in distribution system state estimation," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 25, no. 3, pp. 668–675, Aug. 2010
- [33] SHORT, Tom A. Advanced Metering for Phase Identification, Transformer Identification, and Secondary Modeling. *IEEE Transactions on Smart Grid* [online]. 2013, 4(2), 651-658 [cit. 2021-9-28]. ISSN 1949-3053. Dostupné z: doi:10.1109/TSG.2012.2219081
- [34] WEN, Miles H.F., Reza ARGHANDEH, Alexandra VON MEIER, Kameshwar POOLLA a Victor O.K. LI. Phase identification in distribution networks with micro-synchrophasors. In: *2015 IEEE Power & Energy Society General Meeting* [online]. IEEE, 2015, 2015, s. 1-5 [cit. 2021-9-28]. ISBN 978-1-4673-8040-9. Dostupné z: doi:10.1109/PESGM.2015.7286066
- [35] Distribution System Secondary Circuit Parameter Estimation for Model Calibration [https://www.researchgate.net/publication/281686239\\_Distribution\\_System\\_Secondary\\_Circuit\\_Parameter\\_Estimation\\_for\\_Model\\_Calibration](https://www.researchgate.net/publication/281686239_Distribution_System_Secondary_Circuit_Parameter_Estimation_for_Model_Calibration)

## 5 Dátová entita – Inteligentné meracie prístroje

- [36] <https://sigfoxslovakia.com/internet-veci-internet-of-things-iot/>

## 6 Dátová entita - Produkcia a náklady

- [37] Predikcie spotreby elektrickej energie (pdf súbor)