



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta strojní  
Ústav energetiky**

**Akumulace elektrické energie ve velkokapacitních Smart storage technologies**

**Smart storage electricity accumulation technologies**

Bakalářská práce

Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Martin Neužil, Ph.D.

**Václav Dědič**

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Českého vysokého učení technického v Praze. Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Mělníku dne 7.6.2016

Václav Dědič

.....

## **Anotační list**

**Jméno autora:** Václav Dědič

**Název DP:** Akumulace elektrické energie ve velkokapacitních Smart storage technologies

**Anglický název:** Smart storage electricity accumulation technologies

**Akademický rok:** 2015/2016

**Ústav/Odbor:** Ústav energetiky

**Vedoucí DP:** Ing. Martin Neužil, Ph.D.

**Konzultant:** Ing. Martin Neužil, Ph.D.

**Bibliografické údaje:** Počet stran:

Počet obrázků: 26

Počet tabulek: 0

Počet příloh: 0

**Klíčová slova:** Smart storage, baterie, akumulace, článek, komplex, frekvence

**Keywords:** Smart storage, battery, accumulation, cell, complex, frequency

**Anotace:** Cílem této bakalářské práce je seznámení s technologiemi smart storage, které jsou ve světě využívány k optimalizaci distribuce elektrické energie. V první části jsou popsány základní způsoby uložení elektrické energie, následující kapitoly jsou pak věnovány jednotlivým druhům elektrochemických článků. Důležitým článkem celé práce je i popis dostupných akumulátorů jak pro domácnost, tak především v měřítku smart storage. Nechybí ani přehled již fungujících, případně v brzké budoucnosti realizovaných smart storage komplexů. Závěrem celé práce je zhodnocení situace v České republice a návrh na její zlepšení, a to včetně ekonomického pohledu.

**Abstract:** The aim of this diploma thesis is to get more information regarding smart storage technologies, which are used distributing of electric power optimization for. There are described elementary methods of placing electric power in the first part, next chapters are dedicated to particular kinds of electrochemical cells. The important part of this thesis is a description of available home storage batteries and smart storage batteries. There is also view of today functional or in near future implemented smart storage units. We can read about the situation in the Czech Republic and for its improvement, including economic perspective in the final of the thesis part.

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval panu Ing. Martinu Nežilovi Ph.D za cenné rady v průběhu mé tvorby této práce a za čas, který konzultacím věnoval.

# 1 Obsah

2	Stávající způsoby akumulace energie .....	1
2.1	Přečerpávací elektrárna.....	1
2.2	Adiabatická teplovzdušná akumulární elektrárna .....	2
2.3	Supravodivý indukční akumulátor.....	3
2.4	Setrvačnick .....	4
2.5	Superkapacitor .....	5
2.6	Vodíkové hospodářství .....	6
2.6.1	Palivový článok .....	7
3	Elektrochemické zdroje .....	8
3.1	Olověné akumulátory .....	8
3.2	Alkalické akumulátory .....	11
3.2.1	Ni-Cd – Alkalické nikl-kadmiové .....	11
3.2.2	Ni-MH – Alkalické nikl-metal hydridové .....	12
3.2.3	Ni-Zn – Alkalické nikl-zinkové akumulátory .....	13
3.3	Ostatní akumulátory .....	14
3.3.1	Li-ion - Lithium-iontové akumulátory .....	14
3.3.2	Li-pol – Lithium-polymerové akumulátory .....	15
3.3.3	LFP – Lithium-železo-fosfátové akumulátory .....	16
3.3.4	Sodíkové akumulátory.....	17
3.3.5	Vanadové redoxní baterie.....	18
3.4	Power to gas (P2G).....	19
4	SMART STORAGE Systémy.....	21
4.1	Tesla Motors, Inc.....	22
4.1.1	Powerwall.....	23
4.1.2	Powerpack .....	24
4.2	Sonnenbatterie .....	25
4.3	Panasonic .....	26
4.4	Samsung.....	27
4.4.1	Samsung SDI Residential.....	27
4.4.2	Samsung SDI ESS MW .....	28
4.5	LG.....	29
4.6	SieStorage.....	29
4.7	Sunverge .....	31
5	Využití Smart Storage technologií ve světě.....	32

5.1	Gigafactory .....	32
5.2	Hannover .....	33
5.3	Feldheim .....	34
5.4	USA .....	35
5.5	Austrálie.....	35
5.6	Itálie .....	36
5.7	Nizozemí.....	37
5.8	Japonsko .....	37
5.9	Česká republika .....	38
5.9.1	Legislativa v ČR.....	38
5.9.2	Situace v České republice .....	39
6	Ekonomická zpráva.....	41
7	Závěr .....	42
8	Seznam použité literatury .....	44

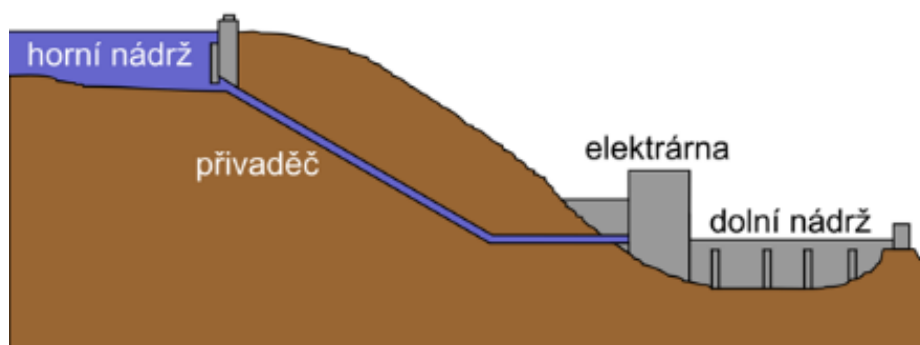
## 2 Stávající způsoby akumulace energie

### 2.1 Přečerpávací elektrárna

Princip využití energie, kterou nám předává příroda, je velmi starý. V prvopočátku se jednalo především o přeměnu přímo na energii kinetickou, která se dále využívala například k mletí obilí. Později se vodní turbíny roztočily v prvních elektrárnách. V tomto případě se ale jednalo o vodní elektrárnu klasické koncepce, která vyžadovala velký spád toku. Pokud se na tuto problematiku podíváme z pohledu naší republiky, zjistíme, že zdejší geografické podmínky nejsou vodním elektrárnám velmi nakloněny. I přesto se ale na konci 19. a na začátku 20. století vodní elektrárny na našem území opravdu stavěly a zastávaly vedle parostrojních elektráren velmi důležitou roli. V dnešní době známe ale zdrojů elektrické energie podstatně více a procento energie vyrobené z vodních toků je téměř zanedbatelné. K čemu nám ale tento princip skutečně může pomoci je dočasná akumulace energie v elektrárnách přečerpávacích. Pomocí nich jsme schopni regulovat elektrickou síť a eliminovat ty největší výkyvy odběrů v rámci času. Odběr energie ze sítě je totiž v čase proměnný, dlouhodobě platí, že odběr v noci zdaleka nedosahuje odběru přes den. Tomuto jevu ještě více napomáhá trend klimatizovaných místností, jelikož spotřeba klimatizační jednotky není zanedbatelná. Abychom tedy byli schopni udržovat v síti ty správné hodnoty, musíme umět spotřebu energie s časem regulovat. V našem případě můžeme užít právě přečerpávací elektrárny, která bude odebírat proud ze sítě v době, kdy odběr chceme zvětšit, a v případě, kdy potřebujeme energii síti dodat, pak využijeme vodního spádu k výrobě elektřiny. Na našem území můžeme nalézt tři takováto díla, jedná se o lokality Štěchovic, Dalešic a Dlouhých Strání.

Princip fungování není nikterak složitý, využíváme geografické polohy s vyšší a nižší polohou, přičemž na obou těchto místech je zbudována vodní nádrž. Tyto jsou navzájem propojené a právě toto propojení obsahuje čerpadlo a vodní turbínu. Ve chvíli nízkého odběru ze sítě vodu z dolní nádrže přečerpáme vodním čerpadlem do nádrže v horní poloze, k čemuž tak využijeme v tuto chvíli nevyužitou energii. Když je odběr naopak nejvyšší, vodu pustíme zpět, přičemž se nám roztočí turbína, která vyrobí energii, kterou chceme dodat zpět do sítě. Jedná se tak o dokonalý doplněk jaderných elektráren, které nelze řídit zdaleka tak rychle. Princip starý více než 100 let nám je tedy velmi dobrým pomocníkem.

## Schéma přečerpávací vodní elektrárny

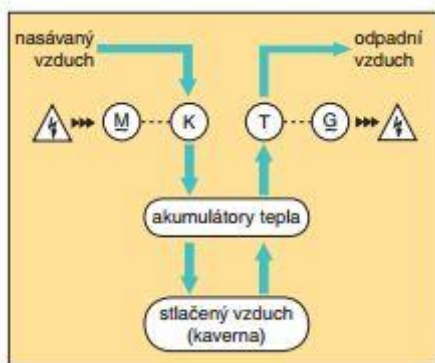


Obrázek č. 1 – schéma přečerpávací elektrárny

### 2.2 Adiabatická teplovzdušná akumulární elektrárna

Systém tlakovzdušné elektrárny sice principem velmi připomíná předešlý případ, svoje místo v energetice si však našel až ve druhé polovině 20. století. První takovýto případ byl zaznamenán v roce 1978 v Německu, v devadesátých letech se pak vystavělo ještě několik těchto zdrojů ve Spojených státech amerických. Původní myšlenka zahrnovala kompresi vzduchu v tlakové nádobě, která byla uložena pod povrchem země. Základním problémem však bylo zjištění, že při opětovném využití energie stlačeného vzduchu je třeba tento ještě před vstupem do turbíny ohřát, což znamenalo přívod zemního plynu do systému. V další generaci systému už ale byl využit princip adiabatické komprese, který účinnost celého systému výrazně zvýšil. Teplo, které zde bylo přebytečné, bylo uloženo do tepelných zásobníků a ve chvíli, kdy potřebujeme energii stlačeného vzduchu získat zpět, užijeme elektrický generátor. Tento systém se osvědčil, jeho účinnost nabývá podobných hodnot jako u elektráren přečerpávacích, tedy 70%. A i v budoucnosti má tato technologie bezesporu své místo, však v roce 2010 došlo v Německu k podpisu dohody o spolupráci na projektu ADELE, kterým se hned několik výzkumných a průmyslových společností zavázalo k vývoji a výstavbě elektrárny s kapacitou 1GWh a výkonem 200MW, která by měla pokrýt výkon až čtyř desítek větrných elektráren na dobu pěti hodin.

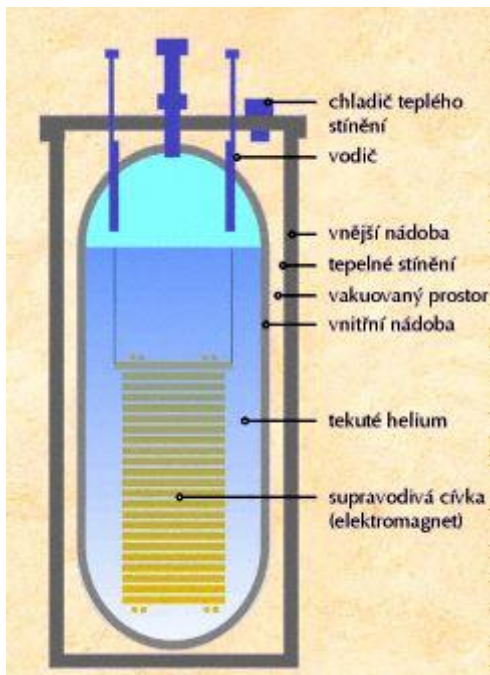




Obrázek č.2 – princip adiabatické teplovzdušné akumulční elektrárny

### 2.3 Supravodivý indukční akumulátor

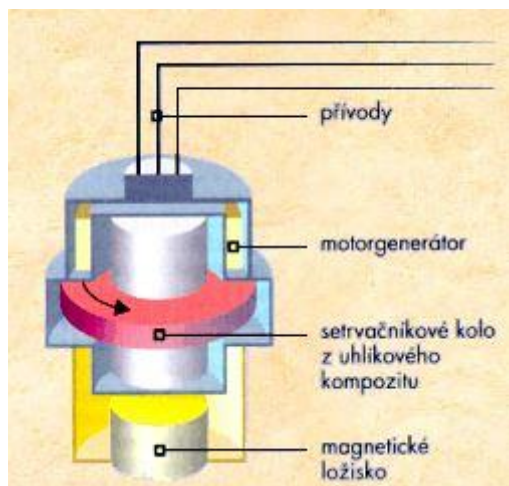
Supravodivost sama o sobě je v lidském bádání poměrně mladou záležitostí. O samotný vynález se zasloužil v roce 1911 holandský fyzik a laureát Nobelovy ceny Heike Kamerlingh Onnes. Dlouhá desetiletí však bylo obtížné systém spolehlivě využívat, jelikož vyžadoval poměrně náročné a drahé heliové chlazení. Zde však bylo nutno neopomenout řádné utěsnění celého systému. Převratným rokem pak byl rok 1986, kdy vynález vysokoteplotního supravodiče s výrazně jednodušším a lacinějším chlazením dusíkem tuto technologii umožnil akumulovat energii do magnetického pole cívky i mimo laboratoř. Supravodiče se začaly využívat především v průmyslu, kde by i velmi krátký výpadek proudu znamenal velké ztráty. Sestava supravodivé cívky ponořené do kapalného helia fungoval velmi rychle, už za 0,2 mikrosekundy mohla po krátkou dobu poskytnout značný výkon. Zpětné nabíjení pak probíhalo přes usměrňovač. Obrovskými devizami pak byla účinnost okolo 95%, rychlost vybíjení i nabíjení a v neposlední řadě také spolehlivost, kterou se systém vyznačoval i po několika milionech cyklů nabíjení a vybíjení.



Obrázek č.3 – schéma supravodivého indukčního akumulátoru

## 2.4 Setrvačnick

Jedním z nejstarších systémů akumulace energie je princip mechanického rotačního setrvačnicku. Jednoduchost sestavy má svoji roli nejen v akumulaci energie elektrické, ale i kinetické. Jako příklad mohu uvést dvoumotový setrvačnick tlumící kmity v moderních automobilech. V energetice se však jedná o systém mnohem více propracovaný, aby účinnost byla co možná nejvyšší. V první fázi je rotor roztáčen pomocí elektromotoru, který má ve druhé fázi roli generátoru. Cyklicky se tak opakuje zvyšování a snižování úhlové rychlosti rotujících částí. Aby bylo tření bylo co možná nejnižší, rotační části jsou uloženy ve vakuu na magnetických ložiskách. Velkou výhodou je pak spolehlivost a životnost i několik desítek let. Množství akumulované energie se pak odvíjí podle hmotnosti rotoru a počtu otáček, který se v běžném provozu pohybuje v rozmezí 8000 – 16000 za minutu. Na horní hranici otáček pak poskytuje akumulaci až 25 kWh. V praxi můžeme vidět setrvačnickový akumulátor ve Stephentownu ve Spojených státech amerických, kde byl vystavěn v roce 2011.



Obrázek č.4 – schéma setrvačnicku

## 2.5 Superkapacitor

Problematika akumulace energie se často setkává s tím, že ještě před akumulací je nutno elektrickou energii přeměnit na energii jiného druhu. Tomuto se můžeme vyhnout právě užitím superkapacitoru (někdy též nazývaném superkondenzátorem). Akumulace zde totiž probíhá v elektrostatickém poli. Abychom ale tento princip mohli využít velkokapacitně, s klasickými kondenzátory si nevystačíme. Hustota energie je zde velmi nízká, právě proto jsou užívány elektrochemické dvouvrstvé kondenzátory, jejichž hustota je až stokrát vyšší. Dvouvrstvy, které jsou tvořeny dvěma opačně nabitými elektrodami, mají běžně šířku desetiny nanometru. Elektrody pak tvoří aluminiová folie s naprášenou vrstvou aktivního uhlíku. Polypropylenový separátor pak slouží k oddělení elektrod, zbytek prostoru pak obsahuje většinou přírodní elektrolyt poskytující napětí přibližně 2,5V. Vyššího napětí však můžeme dosáhnout sériovým zapojením jednotlivých článků. V současné chvíli je tento systém využíván k takzvané rekuperaci energie v automobilismu, tedy akumulaci brzděné energie pro užití elektrovybavení vozidla nebo pro příští zrychlení. Od roku 2009 můžeme takto fungující prvek nazvaný KERS vidat také v monopostech Formule 1. Do budoucna se však počítá také s využitím ve fotovoltaické energetice k zamezení výkyvů dodávek energie do elektrické sítě. Nespornými výhodami superkapacitorů jsou vysoká efektivita, účinnost i více než 95% a trvanlivost mnoha cyklů nabití a vybití.



Obrázek č.5 – schéma superkapacitoru

## 2.6 Vodíkové hospodářství

Myšlenka využívání vlastností vodíku k akumulaci energie vznikla v 60. letech 20. století. Ekologicky nenáročnému řešení však dodnes brání jeho vysoká cena, i tak se o vodíku mluví jako o palivu budoucnosti. Jeho spalováním totiž nevznikají žádné emise, pouze vodní pára. Právě proto se tak o vodíku přemýšlí jako o náhradě fosilních paliv nejen v energetice, ale též v dopravě. Příroda nám ale vodík v čisté podobě sama neposkytne, proto bylo třeba vyvinout technologický postup, který nám pomůže. A vznikly dokonce dva – elektrolýza vody a parní reformace zemního plynu. První metoda je sice velmi jednoduchá, ale finančně velmi nákladná. Elektrolýza probíhá ve vodném roztoku stejnosměrným proudem, na záporné elektrodě se vylučuje vodík, na kladné pak kyslík. Účinnost při takovémto procesu se pohybuje v rozmezí 25-35% - je do něho totiž nutno započítat i účinnost výroby elektrické energie, díky které jsme schopni elektrolýzu provést. Pokud však proces provedeme při teplotách 600 - 1000°C (užijeme vysokoteplotní elektrolýzu), účinnost zvýšíme až na hodnotu 45%.

Během parní reformace zreagujeme vodní páru o teplotě 750-800°C a tlaku 3-5MPa s metanem bez sirných příměsí. Během této chemické reakce využijeme katalyzátoru – v našem případě oxid niklu. Výslednými produkty pak budou čistý vodík a oxidy uhlíku (CO, CO<sub>2</sub>).

Dalším krokem využití vodíku je jeho skladování, které není nikterak jednoduché, neboť při kontaktu s kyslíkem může tvořit výbušnou směs. Jeho molekuly jsou také velmi malé, a jelikož hustota vodíku je tak nízká, skladování je možné pouze v objemných nádobách z materiálu, který s vodíkem nebude reagovat. Také záleží na volbě skupenství skladovaného prvku.

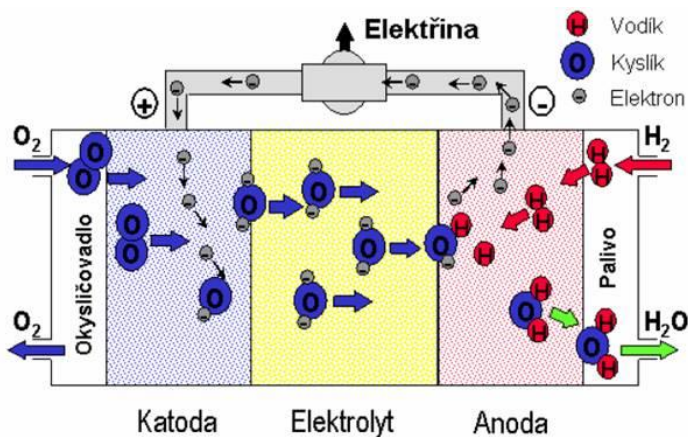
Pro plynné skupenství se nejčastěji užívají tlakové nádoby z oceli, pro skupenství kapalné pak tepelně izolované vysokotlaké zásobníky. Dalším, nejbezpečnějším způsobem skladování je uložení v hybridních kovech, které vodík absorbují při nízké teplotě a vysokém tlaku. Uvolnění v plynném skupenství pak probíhá za vysoké teploty a nízkém tlaku. Zatím největší elektrolyzér v Evropě ( 6MWe ) najdeme v německém městě Mainz. Takto získaný vodík je pak distribuován do zkušební sítě zemního plynu, jedná se tak o jedno z prvních zkušebních zařízení systému P2G.

### 2.6.1 Palivový článek

Velice perspektivním způsobem přeměny energie vodíku je vedle jeho spalování užití palivového článku. Jedná se o přeměnu chemické energie vodíku za účasti oksysličovadla – především kyslíku. Tento princip však lze použít nejen pro vodík, ale i pro další látky jako jsou metan, metanol, etanol, amoniak zemní plyn nebo formaldehyd. Systém má dvě elektrody – palivovou (zápornou) a kladnou. Na zápornou je přivedeno palivo, které zde oxiduje, čímž se uvolní elektrony. Ty pak putují ke kladné elektrodě, kde probíhá redukce. Právě zde musí být přítomno oksysličovadlo.

V dnešní době známe hned několik druhů palivových článků, ty se liší použitým elektrolytem, provozní teplotou a především palivem. Rozlišujeme tedy články:

- 1) Alkalické (AFC)
- 2) Metanolové (DMFC)
- 3) S kyselinou fosforečnou (PAFC)
- 4) S pevným oxidem (SOFC)
- 5) S tekutým uhličitanem (MCFC)
- 6) S polymerní membránou (PEMFC)



Obrázek č.6 – schéma palivového článku

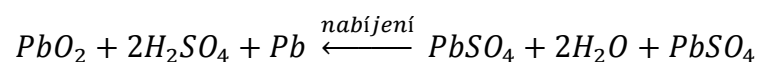
### 3 Elektrochemické zdroje

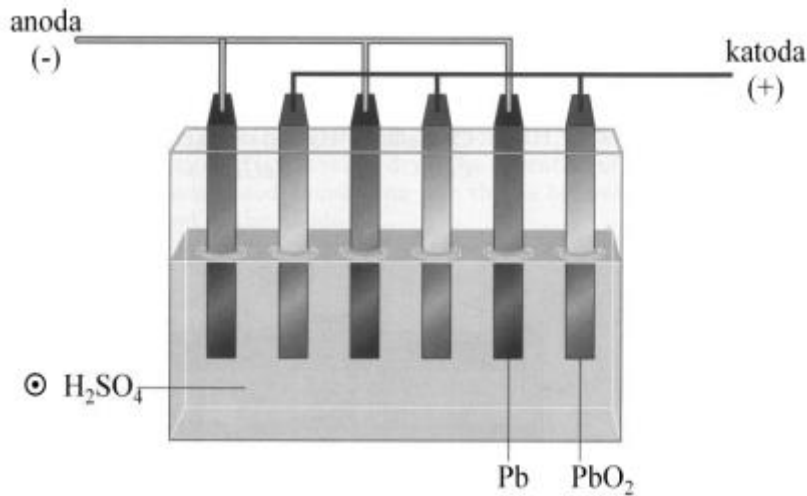
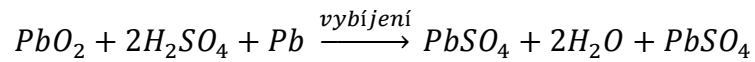
#### 3.1 Olověné akumulátory

Za otce olověného akumulátoru považujeme francouzského fyzika a vynálezce Gastona Plantého, který již v roce 1859 představil baterii složenou z páru olověných desek sloužících jako elektrody. Tyto byly ponořeny do roztoku kyseliny sírové, která sloužila jako elektrolyt. Samotný princip uchování energie pak spočíval v přeměně energie v chemickou. Během nabíjení se elektrická energie transformovala na chemickou, později, při vybíjení se transformovala zpět a v této podobě pak byla dodávána do obvodu. Tento princip si však popíšeme ještě detailněji. Dvě desky – elektrody, umístěné v nádobě, mají funkci katody a anody. Při procesu odevzdávání energie z baterie tvoří záporná elektroda katodu, pokud budeme naopak do baterie ukládat, pak bude tvořit anodu.

Vybíjení je tedy proces, kdy reaktant oxiduje a valenční elektrony od něho přijímá záporná elektroda.

Celý proces popisuje následující rovnice:





Obrázek č.7 – schéma olověného akumulátoru

Jednotlivé články poskytují jmenovité napětí  $U_n = 2V$ , sériovým zapojením však můžeme napětí dále zvětšovat. Řada napětí se pak rovná součinu počtu článků a jmenovitého napětí každého z nich. Výpočty byla zjištěna referenční hodnota měrné energie  $167 \text{ Wh/kg}$  při  $2 \text{ V}$ , která je však považována za ideální a ve skutečnosti jí nejsme schopni dosáhnout. Příčinou je zaprvé samotná konstrukce akumulátoru, která obsahuje i prvky, které nejsou aktivního charakteru, zadruhé pak nemožnost stoprocentního využití aktivních hmot elektrolytu a elektrod. Reálná nejvyšší hodnota měrné energie je tedy okolo  $85 \text{ Wh/kg}$ .

Využití tohoto druhu akumulátoru je velmi široké, můžeme ho též rozdělit dle způsobu využití do několika skupin:

- 1) dopravní
  - a) staniční
  - b) dopravní
- 2) startovací
- 3) fotovoltaické

Způsob užívání má též nemalý vliv na životnost systému, za hlavní faktory považujeme způsob nabíjení (cyklické nabíjení a vybití nebo stále dobíjení), vlastnosti nabíjecího zařízení a teplotu používání.

Důležitou kapitolou pro každý systém určený pro akumulaci energie je bezesporu jeho účinnost. V tomto případě není účinnost konstantní, odvíjí se od stáří baterie, od proudu dodávaného a odebíraného a také vystavené teplotě. Vyjádřit ji můžeme hned ve dvou podobách – ve formě proudové a energetické.

### 1) PROUDOVÁ (Ampérhodinová) ÚČINNOST

-Pokud definujeme  $Q_{vyb}$  [Ah] jako odebraný náboj během vybití a  $Q_{nab}$  [Ah] jako potřebný náboj k dosažení původního nabitého stavu, můžeme tuto účinnost popsat následujícím vztahem:

$$\eta_{Ah} = \frac{Q_{vyb}}{Q_{nab}}$$

Nejvyšší dosažitelná proudová účinnost olověných akumulátorů se pohybuje okolo hranice 85%.

### 2) ENERGETICKÁ (Watt hodinová) ÚČINNOST

-Označíme-li  $W_{vyb,s}$  [Ah] jako získanou elektrickou energii během vybití a  $W_{nab,s}$  [Ah] jako energii dodanou zpět opětovným nabitím, pak výsledným vztahem bude:

$$\eta_{Wh} = \frac{W_{vyb,s}}{W_{nab,s}} = \frac{Q_{vyb} \cdot U_{vyb,s}}{Q_{nab} \cdot U_{nab,s}}$$

Nejvyšší hodnota energetické účinnosti se vyskytuje poblíž hodnoty 65%.



V současné době hovoříme o nejrozšířenější skupině akumulátorů. Jejich hlavními výhodami je široké spektrum výrobitelných kapacit řádově mezi 1 a 10 000 Ah, dále potom velmi příznivá pořizovací cena, spolehlivost, výkon a účinnost. Za nevýhody naopak považujeme velké rozměry a vysokou hmotnost.

### 3.2 Alkalické akumulátory

Technologie alkalického akumulátoru byla poprvé představena v šedesátých letech minulého století v Kanadě rakouským chemikem profesorem Karlem Kordeschem, který se později zasloužil o ještě další zdokonalení této myšlenky. Společným jmenovatelem všech typů tohoto druhu akumulátorů je užití vodného roztoku alkalického kovu, obvykle hydroxidu draselného, jakožto elektrolytu. Jedná se o sekundární článek, který je velmi rozšířen v tom nejběžnějším životě, a to v podobě zdroje energie pro fotoaparáty, svítilny a další mobilní techniku. Právě proto se s nimi můžeme setkat hned v několika provedeních napětí a tvaru. Nejčastěji jsou k vidění druhy AA, AAA, C a D. I jejich kapacita se velmi liší. Rozlišujeme i dva druhy podle jejich složení:

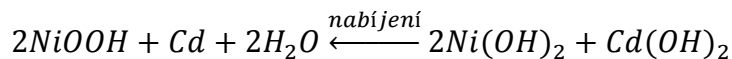
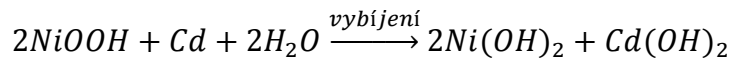
- 1) Ni-Cd – Alkalické nikl-kadmiové
- 2) Ni-MH – Alkalické nikl-metal hydridové
- 3) Ni-Zn – Alkalické nikl-zinkové akumulátory

Tyto si rozebereme v následujících kapitolách

#### 3.2.1 Ni-Cd – Alkalické nikl-kadmiové

V tomto případě princip fungování až nápadně připomíná akumulátory olovené. Elektrolytem je zde již zmíněný hydroxid draselný, v tomto případě ale ještě obohacený o hydroxid lithný, jehož funkcí je především zvýšení životnosti článku. Má ale i svoji úlohu během nabíjení.

Složení aktivních hmot akumulátoru je rozmanité, vždy v něm však najdeme hydroxid kademnatý na záporné elektrodě a hydroxid nikelnatý na kladné. V poslední době však z ekologických důvodů (stejně jako například i u smaltů) však převažují tendence postupného snižování procenta obsahu kadmia a niklu a jejich náhrady jiným, méně škodlivým materiálem. Fungování článku si následně uvedeme pomocí chemických rovnic:



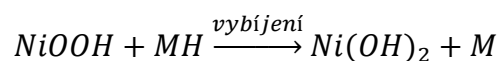
Každý článek poskytne jmenovité napětí 1,2 V, ale stejně jako i v případě olovených akumulátorů, ani zde není možné využít stoprocentního potenciálu aktivních hmot, který zde činí 209,8 Wh/kg. Skutečná hodnota se ani zdaleka nepřibližuje tomuto ideálu, můžeme mluvit o vyčíslení 10 – 35 Wh/kg. Ampérhodinová účinnost činí 70% pro elektrody kapsové a 80% pro spěkané. Účinnost watthodinovou ve stejném pořadí můžeme popsat hodnotami 50 a 65%. Za výhody tohoto řešení můžeme jmenovat hodnotu 1,5 V napětí naprázdno, odolnost proti přebití a podbití, schopnost nabít i vyššími proudy, vysokou spolehlivost, hustotu energie na jednotku provozu 100 Wh/dm<sup>3</sup> nebo životnost okolo 500 cyklů při 80% DDO. Nevýhodami pak jsou nižší napětí jednotlivých článků, rozdíl mezi nabíjecím a vybíjecím napětím a hlavně finanční náročnost.

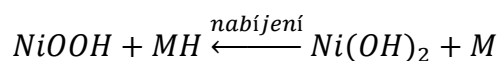


Obrázek č.8 – příklad Ni-Cd akumulátoru

### 3.2.2 Ni-MH – Alkalické nikel-metal hydridové

Stejně jako v minulém případě i zde se jedná o hojně používaný druh galvanického článku, jehož využití najdeme především v mobilní elektronice. I tady slouží jako elektrolyt hydroxid draselný, záporné elektrody však tvoří hybridy kovů, které dokáží absorbovat vodík. Mám zde na mysli zejména slitiny obsahující vanad, paladium, titan nebo zirkonium. Celkový děj popisují následující chemické rovnice:





(MH = hybrid kovu, M = slitina)

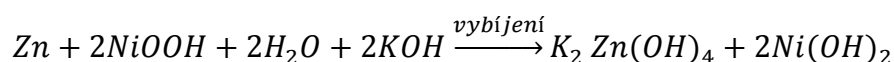
Měrná energie činí 80 Wh/kg a jmenovité napětí každého z článku pak 1,2 V. Hlavními výhodami jsou výrazně vyšší objemová koncentrace než u akumulátorů nikl-kadmiových (až 300Wh/dm<sup>3</sup>), dále pak až 2,5x vyšší kapacita, schopnost rychlonabíjení nebo stálost napětí během vybití. Jako nevýhody mohou uvést napětí „pouze“ 1,2 V, zamrzání baterie pod teplotou 5°C a také vysokou cenu.

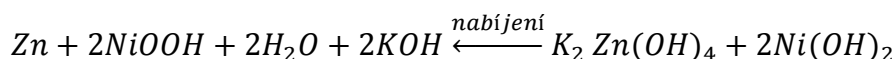


Obrázek č.9 – příklad Ni-MH akumulátoru v provedení LR20

### 3.2.3 Ni-Zn – Alkalické nikl-zinkové akumulátory

Tento druh akumulace energie se zdá být do budoucna velmi perspektivní, jelikož neobsahuje žádné škodlivé látky. Kladná elektroda se od předešlých druhů neliší, záporná je však tvořena zinkem. Hustota energie dosahuje teoretických hodnot až 373 Wh/kg, jmenovité napětí pak 1,6V. I zde popíšeme cyklus vybití a nabití chemickými rovnicemi:



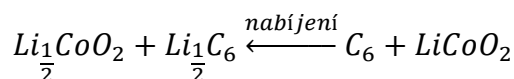
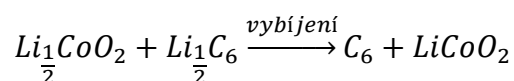


Na rozdíl od předchozích druhů v tomto případě dochází k tzv. parazitním reakcím, kterými jsou například korozivní procesy zinku nebo uvolňování vodíku a kyslíku během nabíjení. Často se také do elektrolytu přidávají přísady zamezující tvarovým úchylkám elektrod. Ty jsou způsobeny rozdílnou schopností nabití elektrod. Za obrovskou výhodu zde považujeme příznivou cenu a také dostatek zinku na území naší republiky.

### 3.3 Ostatní akumulátory

#### 3.3.1 Li-ion - Lithium-iontové akumulátory

Přestože první návrhy tohoto řešení byly prezentovány už v roce 1912, první prodejní provedení se objevilo na trhu až o téměř 80 let později. S tímto druhem sekundárního článku se setkáváme především v mobilní elektronice s integrovaným akumulátorem. Teď mám na mysli zejména mobilní telefony, audiopřehrávače nebo fotoaparáty. Princip spočívá v přechodu kationtů lithia mezi elektrodami. V průběhu nabíjení od kladné k záporné, během vybíjení od záporné ke kladné. Záporná elektroda je tvořena na vzduchu stálými oxidy na bázi lithia, zejména  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_2$  nebo  $\text{LiNiO}_2$ , zatímco kladná amorfním uhlíkem nebo grafitem. Jako elektrolyt je zde využíváno vodivé soli (například  $\text{LiPF}_6$ ) a rozpouštědla. Chemický děj zde popíšeme takto:



Mezi výhody můžeme zařadit absenci paměťového efektu, velmi vysokou hustotu energie na hodnotě až 200 Wh/kg, nominální napětí 3,7V, životnost až 1200V nebo možnost tvarové variability. Nevýhodami jsou pak stárnutí baterie a postupné snižování kapacity, riziko vznícení nebo výbuchu během neodborné manipulace a změna vlastností z důvodu vyšších teplot okolí. Zajímavostí je pak informace, že každá takováto jednotka má integrovaný čip sledující aktuální stav akumulátoru.



Obrázek č.10 – příklad Ni-Zn akumulátoru v provedení AA

### 3.3.2 Li-pol – Lithium-polymerové akumulátory

Jedná se o značně zdokonalené lithium-iontové akumulátory, které se však začaly objevovat až poměrně nedávno. Jejich využití najdeme v mobilních telefonech, notebookách nebo kamerách. Nejčastěji se s nimi ale setkáváme v RC modelech a dronech, a to z důvodu rychlého nabíjení. Elektrolyt je tvořen polyethylenoxidem, tedy vodivým polymerem, anoda potom sloučeninami  $LiCoO_2$  nebo  $LiMn_2O_4$ . Katoda se skládá ze sloučeniny uhlíku a lithia, případně pouze z lithia. Hodnota napětí plně nabitého článku může být až 4,23 V, za kritické napětí, kdy dochází k nevratné destrukci, pak předpokládáme 2,7 V. Za nesporné výhody považujeme především rychlonabíjení akumulátoru, ke kterému dochází až čtyřikrát vyšší kapacitou, než má článek sám, dále potom absenci paměťového efektu, životnost až 2000 nabíjecích cyklů, ale hlavně poměr kapacita – rozměry. Naopak nevýhodami jsou vyšší pořizovací cena, stárnutí akumulátoru i v případě jeho nepoužívání, nebo možnost vznícení, ke kterému by mohlo dojít v důsledku neodborné manipulace – především pak zkratu. Velmi důležité je také chlazení článku a jeho ochrana proti přehřívání. V případě používání je pak třeba dát si pozor na mechanické poškození článku. Po vniku vzduchu do elektrolytu se totiž akumulátor stává nefunkčním.



Obrázek č.11 – příklad Li-pol akumulátoru v provedení pro mobilní telefon

### 3.3.3 LFP – Lithium-železo-fosfátové akumulátory

Tento druh akumulátoru se od lithium-iontového liší materiálem katody, která je v tomto případě vyrobena z  $LiFePO_4$ . Tento materiál byl vyvinut v roce 1996 v na Texaské univerzitě a díky jeho zdravotní nezávadnosti a příznivé ceně si velmi rychle vysloužil důležité postavení u výrobců akumulátorů. Původně však byla potíží nízká vodivost, později však byl tento problém vyřešen pomocí povlakování částic  $LiFePO_4$  uhlíkem, nebo jiným vodivým materiálem. V současné době mluvíme o hojně využívaném druhu akumulace energie v dopravě. Těmito články je totiž vybavena většina elektrických skútrů, koloběžek nebo hybridních automobilů. Maximální nabíjecí napětí článku činí 3,6 V, minimální vybíjecí pak 2,8 V. Hodnota energetické hustoty je pak  $220 Wh/dm^3$ . Akumulátory se liší svojí kapacitou podle účelu využití, zajímavou veličinou je zde ale počet nabíjecích cyklů. Ten se totiž velmi liší dle procentuálního vyjádření hodnoty nabití baterie, výrobci tak udávají velmi rozdílné údaje. Celkově se tak životnost pohybuje v rozmezí 2000 – 7000 cyklů. Za hlavní zbraň tohoto druhu akumulátoru je považována jeho bezpečnost. I při nesprávném používání se tedy tyto články chovají mnohem neutrálněji než jejich konkurenti s jinými materiály elektrod. Problémy zde nastávají až dosažením teploty  $800^\circ C$ .



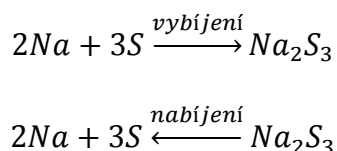
Obrázek č.12 – příklad LFP akumulátoru v provedení pro závodní automobily

### 3.3.4 Sodíkové akumulátory

Zde mluvíme o méně konvenčním, nicméně do budoucnosti velmi perspektivním způsobu uchování energie. Známe dva druhy tohoto akumulátoru. Prvním z nich jsou články sodíkovo-sírové, druhým pak sodíkovo-niklové. Společným jmenovatelem obou těchto skupin je ale fakt, že přestože se skládají z nám už dobře známých složek – kladné, záporné elektrody a elektrolytu, elektrody nejsou v pevném, ale v kapalném skupenství. Základním znakem je zde také pracovní teplota pohybující se mezi 270 a 350°C.

#### 3.3.4.1 Sodíkovo-sírové akumulátory (NaS)

Do této skupiny řadíme akumulátory, jejichž záporná elektroda v době vybíjení oxiduje na oxid sodný a na rozhraní elektrolytu a elektrody vznikají kladné ionty sodíku. Tyto se přesouvají přes elektrolyt tvořený beta-oxidem hlinitým. Za vzniku sulfidu sodného pak na kladné elektrodě probíhá redukce. Princip si popíšeme chemickou rovnicí:



Konstrukce těchto jednotek není nikterak jednoduchá. Aby bylo používání co možná nejbezpečnější, každý z článků bývá zcela obklopen dvěma vrstvami nerezového obalu, ve kterém je usazen do písku. Tato opatření jsou z důvodu pracovních teplot 300-350 °C a obsahu nebez-

pečných výbušných látek. I tak se ale do budoucnosti počítá s využitím ve velkých kapacitách, tedy jako součást větrných nebo solárních elektráren. Za klady považujeme velmi vysokou hodnotu hustoty energie až 792 Wh/kg (v praxi zatím pouze 170 Wh/kg), životnost až 15 let a počet 4500 nabíjecích cyklů. Zajímavostí je pak existence podobného zdroje o výkonu až 4 MW a kapacitě 32 MWh.

### 3.3.4.2 Sodíkovo-niklové akumulátory

Konstrukce je v tomto případě velmi podobná přechozímu druhu. Rozdíl je však v chemickém složení. Během nabíjení totiž dochází k transformaci NaCl a Ni na  $NiCl_2$  a Na. Opačně pak reakce probíhá během vybíjení. Mezi elektrodami najdeme keramickou stěnu, která slouží jako bariéra pro elektrony. Je však vodivá pro kladné ionty sodíku. Vodivou cestu mezi reakční zónou a separátorem tvoří  $NaAlCl_4$  do níž je implementována katoda  $NiCl_2$ . Jednotlivé články jsou skládány do celků po 20 kWh, které lze libovolně spojovat. Teoreticky lze dosáhnout hustoty energie až 787 Wh/kg, v praxi se však pohybujeme pod hodnotou 115 Wh/kg. Provozní teplota v tomto případě plně využívá rozmezí sodíkových akumulátorů, tedy 270 – 350 °C.

### 3.3.5 Vanadové redoxní baterie

Tento druh baterie byl poprvé využit na australské Univerzitě Nového Jižního Walesu v roce 1986. Základní činnost spočívá v uložení energie v chemické podobě, a to jako elektrolytu ve dvou samostatných nádržích. Ty obsahují několik oxidačních stavů vanadové soli a silně koncentrovanou  $H_2SO_4$ . Čerpání elektrolytů způsobuje jejich průchod skrz články, přičemž elektrický proud putuje současně opačným směrem. Důležitou částí každého článku je PEM iontoměničová membrána. Na této jsou prováděny procesy elektrochemické oxidace jednoho elektrolytu, zatímco druhý je zde současně redukován. Tyto reakce si následně uvedeme:

Kladná elektroda

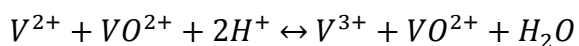


Záporná elektroda



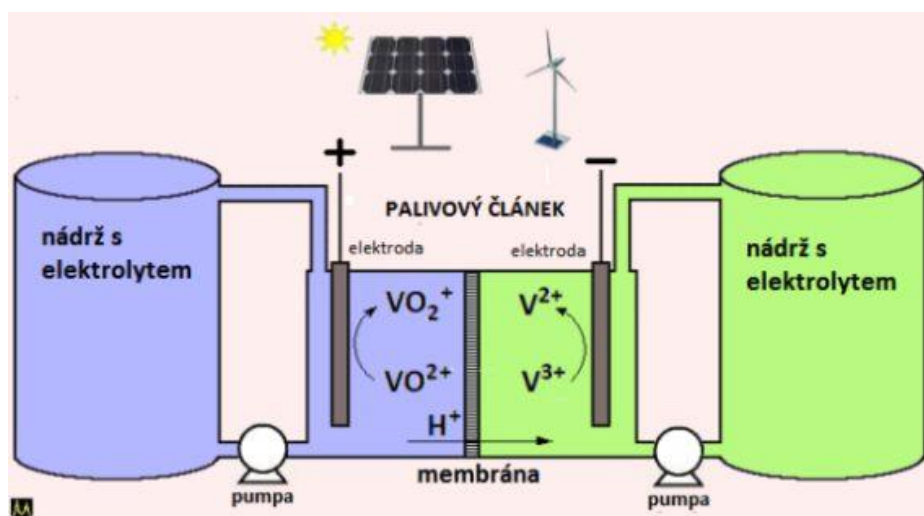


Celkové vyjádření



$$E^0 = 1,26 V$$

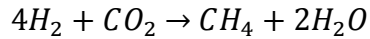
Je velmi důležité dodržet čistotu obou elektrolytů, tato pečlivost nám však dá dlouhou životnost, jelikož výsledný stav obou z nich se vždy dokáže změnit zpět do výchozího stavu. Celkový potenciál činí 1,26 V při molární koncentraci 1 M a teplotě 25°C. Membrána dosahuje tloušťky 0,25 mm, je tedy velmi tenká, i tak ale dokáže spolehlivě zabránit promíchání obou elektrolytů, což by znehodnotilo celý článek. Tento celek pak bývá sériově zapojován a kompletován do zásobníků. Směrodatné reakce se dějí na FELT elektrodách vyrobených z uhlíku. Napětí tohoto akumulátoru dosahuje hodnot mezi 1,2 – 1,6 V, celková účinnost se může v reálném provozu dostat až na 85%. Za velikou výhodu považují životnost až 10 000 nabíjecích cyklů. Tento druh akumulace pro svoji ekologičnost a možnost uložit výkony až v řádu MW patří mezi ty nejperspektivnější z pohledu uchování energie vyrobených obnovitelnými zdroji.



Obrázek č.13 – schéma vanadové redoxní baterie

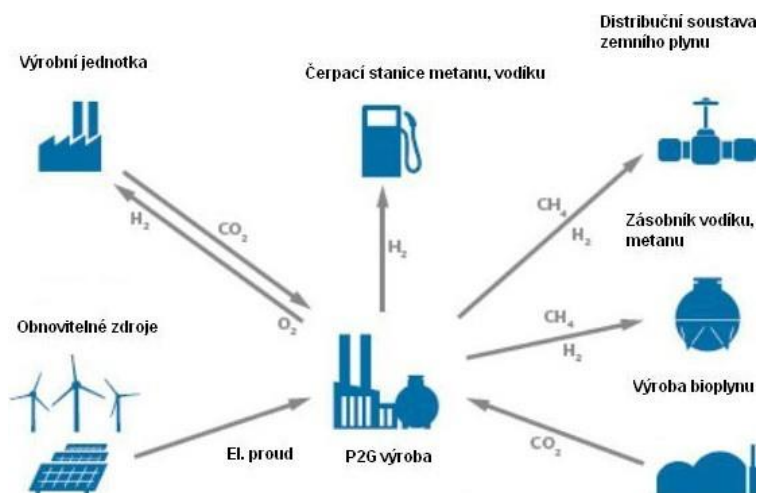
### 3.4 Power to gas (P2G)

Tato technologie je naprosto jedinečná už jenom z toho důvodu, že ukládaná elektrická energie je ze systému odebrána nikoli ve stejné podobě – elektrické, ale je využita zcela jiným způsobem. Princip spočívá ve využití přebytečné energie k výrobě vodíku nebo metanu. Děj popisuje následující chemická rovnice:



Pozn. : Tuto reakci nazýváme Sabatierovou reakcí, při které dochází ke sloučení dvou plynů za zvýšeného tlaku a teploty.

Tento plyn je pak distribuován do plynové sítě, jejíž kapacity jsou v dnešní době z velké části nevyužité. (Takováto dotace je možná do 2 % obj. bez vlivu na hoření směsi.) Takto pak může být dopravován napříč celou republikou, kde později poslouží například v chemickém průmyslu, v dopravě (pohony CNG jsou považovány za ekologické palivo a slouží nejen v osobních vozidlech, ale velmi často také jako pohon autobusů), jako zdroj tepla nebo v dnešní době často diskutovaných paroplynových elektrárnách. Právě ty tvoří výjimku, jelikož se z plynu vytváří opět elektrická energie. Velký rozdíl je však v tom, že právě tato energie vznikne ve chvíli, kterou my dokážeme dopředu určit, tedy v době, kdy odběr proudu ze sítě je vyšší než výkon do ní dodávaný. Největším kladem celého systému je již zavedená a fungující distribuční síť, není tak třeba zbytečně konstruovat prvek, do kterého by energii bylo možno uložit. Již zmíněná síť je využívána několika distributory, kteří se o tuto technologii intenzivně zajímají a zvažují její zavedení i v České republice. Jelikož se jedná o geograficky strategickou veličinu, velkým hráčem je i stát, který ve spolupráci s výzkumnými pracovišti analyzuje vývoj této myšlenky. O krůček dále je Spolková republika Německo, která v současné době několika malými P2G systémy disponuje a nedávno představila projekt jménem Roadmap 2022, jenž se zabývá aplikací tohoto systému do praxe. Podle něho by měl být do roku 2020 spuštěn zkušební provoz a mělo by dojít k vyhodnocení tohoto provozu státy Evropské unie, jejich vědeckými pracovišti a ochránci přírody. Cílem výzkumu je pak potvrzení nebo vyvrácení reálnosti tohoto řešení a aplikace v rozsahu 1000 MW do roku 2022. Pokud se domněnky potvrdí a P2G se osvědčí i v ostrém provozu, povede to pravděpodobně k postupnému zlevňování potřebných komponent. Finální cena by pak neměla překročit magickou hodnotu 500 Euro/kW. Dalšími státy zabývajícími se touto technologií jsou Francie, Velká Británie, Itálie nebo Nizozemí.



Obrázek č.14 – princip využití systému P2G

## 4 SMART STORAGE Systémy

Jedním z hlavních cílů techniků pro 21. století je uložení elektrické energie do velkokapacitních úložišť. Veškeré výše uvedené způsoby fungují v menších provedeních, to však neznamená, že budou stejně dobře využitelné i velkoobjemově. Úkolem Smart storage systémů je totiž regulace hodnot v elektrorozvodných sítích, především pak frekvence. Ta sice není a nemusí být zcela konstantní, musí se však pohybovat ve smluvně určených tolerancích, aby nedošlo ke kolapsu sítě. Tomu říkáme blackout a je velkou hrozbou dnešních desetiletí. Znamená by totiž velké problémy nejen v domácnostech, ale také v průmyslu, dopravě, zdravotnictví nebo bezpečnosti. Proměnlivá hodnota frekvence je způsobena především nestálými dodávkami elektrické energie do sítě. Se zvyšujícím se počtem solárních a větrných elektráren pak tento problém dále roste. Evropa toto v dnešní době do jisté míry řeší propojenými sítěmi. Pokud se tedy v jižní části kontinentu výrazně zvýší výroba elektřiny z důvodu slunečného počasí, tato energie je distribuována i do ostatních částí Evropy. Toto řešení však může fungovat pouze při menším počtu již zmíněných druhů elektráren. Druhým faktorem je pak nelineární odběr proudu jak v rámci denních a nočních hodin, tak z pohledu ročního období. Velký odběr mají totiž zejména klimatizační jednotky, které najdeme na většině novějších budov. Pokud tyto dva faktory spojíme dohromady, získáme opravdu těžko říditelný systém, jehož selhání by pravděpodobně mělo tragické následky. Abychom tyto časově proměnné rozdíly potlačili, je možné energii ukládat v případě vysokých hodnot v síti a později ji buďto vrátit

zpět do sítě nebo využít jiným způsobem. Investice do tohoto řešení v poslední letech razantně stoupají, problematikou se zabývají světově známé značky jako Tesla Motors, Samsung, LG, Siemens nebo Panasonic. Jejich výrobky můžeme dělit na dvě základní skupiny. První z nich je kategorie takzvaných domácích baterií, které slouží buďto k uschování energie ze solárních panelů umístěných na budově nebo bezprostředně vedle ní, dalším způsobem je pak tradiční odběr z elektrické sítě v nočních nebo méně zatěžovaných hodinách. Výběr energie z baterie je pak na rozhodnutí uživatele. Zpravidla pak slouží k chodu domácích spotřebičů. Takováto úložiště pak mají kapacitu řádově od 5 do 15 kWh. Druhou kategorií, pro nás významnější, jsou celé bloky složené z baterií, jejichž využití je kvůli kapacitě v řádu i MWh především v průmyslu nebo regionální energetice. Jedná se o velkokapacitní úložiště složené z normalizovaných skříní nebo kontejnerů, které lze řadit za sebe. Kapacita se tak sčítá a účinek na elektrickou síť roste. Směrodatnými údaji těchto dobíjecích baterií jsou vedle kapacity také jejich rozměry, účinnost, poskytovaný výkon a cena. S jednotlivými nabídkami výrobců se seznámíme v následujících odstavcích.

#### 4.1 Tesla Motors, Inc.

Tato značka byla založena v Silicon Valley v roce 2003 Elonem Muskem a jeho dvěma společníky. Původně šlo pouze o to splnit si svůj sen, po několika letech však splnil sen i spousta jiných lidí nejen ze Spojených států. Dokázal totiž vyvinout a začít vyrábět automobily, které se od všech dosavadních lišily už samotnou konstrukcí, byly totiž již od počátku vyvíjeny jako elektromobily. Zpočátku nebyla budoucnost automobilky nikterak jistá, vývoj stál mnoho financí a ještě v roce 2009 dokázala Tesla vyrobit pouze 25 vozidel denně. Následně ale došlo k vývoji druhého modelu, který svými jízdními vlastnostmi neměl dosud obdoby. Bylo to dáno především elegantním vzhledem limuzíny, oproti konkurenci několikanásobným dojezdem a díky akumulátorům uloženým v podlaze vozu také perfektním vyvážením a sebejistými jízdními vlastnostmi. Automobilka tak dokázala, že elektromobil nemusí být pouze městské vozítko, ale může být též suverénním vozidlem poskytující takový komfort jako například spalovací konkurence z Německa. V současné době automobilka vyrábí dva modely, třetí již byl představen. Málokdo si však uvědomuje, jak těžkou roli na sebe firma vzala, když investovala do pohonu na elektřinu. Nejslabším článkem řetězce celého systému jsou totiž akumulátory. Jejich rozměry, účinnost, životnost, cena a také jejich kapacita. Ta totiž znamená dojezd vozidla, který se u nynějších modelů pohybuje v rozmezí 300 až 500 km

podle stylu jízdy. Oproti konkurenci několiknásobek. Stejně tak i rychlost dobíjení je obdivuhodná. Nejen, že je možno vozidlo napájet z běžné sítě 220 V, ze které se vozidlo nabije z nuly na plnou kapacitu za 21 hodin, ale kdo disponuje i přípojkou 400 V, nabíjení si velmi urychlí. Rychlonabíječka pak garantuje nabití na poloviční kapacitu baterie za pouhých 20 minut. Akumulace energie je tedy hlavní činností Tesly, která v květnu roku 2015 představila akumulátory určené do domácnosti, které nazvala Powerwall a také celé sady určené pro energetiku. Ty nazvala Powerpack. Energetická strategie firmy je navíc ojedinělá tím, že majitelům elektromobilů garantuje doživotní dobíjení zdarma na dobíjecích stanicích, které jsou umístěny ve větších městech. Tento plán se nejprve jevil veřejnosti jako nesplnitelný, ale jelikož jsou tyto stanice z velké většiny napájeny elektrinou vyrobenou solárními panely na střeše stanice, systém se osvědčil.

#### 4.1.1 Powerwall

Systém nazvaný Powerwall značí lithium-iontovou dobíjecí baterii připevněnou ke stěně, která dokáže poskytnout 7 nebo 10 kWh kapacity, což by v českých podmínkách znamenalo 55-80 % denní spotřeby elektrické energie v průměrné domácnosti. Účinek baterie spočívá v jejím nabíjení v době nízkých odběrů z elektrické sítě. Uživatel si pak sám rozhodne, kdy uloženou energii využije. Systém pak může sloužit jako záloha pro případ lokálního výpadku energie, případně blackoutu. Výhodou je též možnost dobíjení baterie přímo ze solárních článků, jedná se tak o uchování energie získané za slunečného počasí aniž by docházelo k vytváření regionálních špiček v elektrické síti. Tesla též nabízí zásobníky o kapacitě 6,4 kWh, které lze řadit za sebe, nabízí tedy větší množství elektrické energie, kterou pak lze využít například na dobíjení elektromobilu. Výkon těchto baterií činí 2 kW souvisle a 3 kW špičkově, účinnost je pak udávána vyšší než 92,5 %. Cena obou výrobků je udávána v dolarech, slabší 7 kWh verze je nabízena za 7000 dolarů (v přepočtu na naši měnu 73 000 Kč), silnější pak za 3500 dolarů (85 000 Kč.) Výrobce pak na veškeré tyto baterie bez ohledu na jejich kapacitu nabízí desetiletou záruku na snížení kapacity.



Obrázek č.15 – ukázka tří za sebe zapojených baterií Powerwall

#### 4.1.2 Powerpack

Silnějším sourozencem přechozího výrobku je systém nazvaný Powerpack. Ten již není zacílen na domácnosti, ale především na průmyslové subjekty a regionální energetiku. Jedná se totiž o opravdu velkokapacitní zařízení, které by mělo eliminovat, případně jen výrazně zaoblovat, špičky tvořené výkyvy dodávek solárních a větrných elektráren do sítě. Princip fungování je zcela stejný jako v předchozím případě, jedná se o komplexy lithium-iontových dobíjecích baterií, které jsou ale v tomto případě ukládány do boxů velikostí a tvarem připomínajících šatní skříně. Jelikož každý box obsahuje velké množství jednotlivých akumulátorů, k jejichž dobíjení dochází zpravidla ve stejnou dobu, je třeba celý systém pečlivě chladit. Právě proto jsou ve spodní části každého komplexu umístěny ventilátory a vstupní dvířka jsou děrovaná. Hlavní zbraní tohoto produktu je poskytovaná kapacita 8280 kWh na každý standardní box v hodnotě 2 070 000 dolarů (přibližně 50 000 000 Kč). (Dále je možné objednat i boxy s kapacitou podle přání zákazníka, ne však vyšší než 10 MWh. ) Výrobce udává životnost baterií 5000 nabíjecích cyklů. Zajímavostí je, že v Kalifornii již začala výstavba projektu několika věhlasných průmyslových firem, které se zavázaly, že do roku 2020 společně vybudují zařízení s celkovou kapacitou 1,3 GWh. To bude vyskládáno z boxů Powerpack o jednotlivých kapacitách 500 kWh až 10 MWh.

Další obdobný projekt je nazván Gigafactory. Ten je zřizován přímo firmou Tesla Motors a umístěn do státu Nevada.



Obrázek č.16 – ukázka produktu Powerpack

## 4.2 Sonnenbatterie

Tato německá značka sídlící v bavorském Wildpoldsriedu se vývojem domácích baterií zabývá přibližně stejně dlouho, jako její americký konkurent Tesla. Využívá technologie značky Sony, která pracuje s lithium-iontovými bateriemi typu  $LiFePO_4$ , tedy s články s poměrně nízkou pořizovací cenou, ale stálým výkonem a napětím. Německá společnost nabízí hned několik řad výrobků podle jejich kapacity. Nás budou zajímat dvě z nich – řady ECO 4 a PRO. První z nich je možno objednat v kapacitách od 4 do 16 kWh v řadě po 2 kWh, druhá pak začíná na hodnotě 24 kWh a končí na 96 kWh. Zde je kapacita stupňována krokem 24 kWh. Hustota energie je na hodnotě 95 Wh/kg, provozní napětí pak na 3,45 V. Výrobce garantuje pokles kapacity na 80 % z původní hodnoty ne dříve než po 2000 cyklech nabití, které na hodnotu 99 % nezabere více než 30 minut. Celkově by pak baterie měla vydržet 10 000 nabíjecích cyklů a 10 let, na kterých poskytuje výrobce záruku stejně jako jeho americký konkurent. Ten však nenabízí širokou škálu individualizace samotného provedení. Německou baterii si totiž zákazník může objednat i v přímo luxusním provedení jakožto módní a estetický doplněk do domácnosti. Pro připojení solárních kolektorů je třeba DC – DC měniče, který je již v ceně. Další měnič, tentokrát DC – AC pak zajišťuje přeměnu na v domácnosti využívaný střídavý proud. Velkou výhodou této baterie je cenová politika. Veškeré inventory a konvektory jsou totiž součástí systému. Cena však startuje na hodnotě 6100 dolarů, tedy přibližně 145 000 Kč. Zajímavostí pak je akciový podíl české skupiny ČEZ ve společnosti Sonnenbatterie, která za svých 5 let existence dodala již více než 8000 systémů a stala se tak evropskou jedničkou na trhu. Bohužel nejvyšší kapacita nabízená ze strany tohoto výrobce činí 240 kWh,

nejedná se tak o opravdu velkokapacitní zařízení tak jak to známe například od Tesly v provedení Powerpack.



Obrázek č.17 – ukázka produktu značky Sonnenbatterie

### 4.3 Panasonic

Velmi podobný produkt nabízí též japonská značka Panasonic, která svůj produkt nazývá Panasonic Home Storage Battery. Jedná se o domácí baterii, která však nebude nabíjena z běžné sítě při nízkém odběru, ale pouze ze solárních panelů umístěných na střeše budovy nebo v jejím okolí. I zde je využito technologie lithium-iontových článků. Kapacita 8 kWh přibližně odpovídá konkurenci od Tesly – produktu Powerwall. Panasonic však uvádí nabití baterie z nuly na plnou kapacitu za slunečného počasí za dobu 4 hodin. Zajímavostí jsou webové stránky výrobce s aplikací ukazující jaký domácí spotřebič může jak dlouho využívat kapacitu této baterie, aniž by bylo nutno ho připojit k jinému zdroji energie. Stálý výstupní výkon dosahuje obdobné hodnoty jako u konkurence – 2 kW dlouhodobého odběru.

Panasonic nabízí ještě jeden produkt nazvaný Residential Storage Battery Systém. Ten je svými parametry velmi podobný Home Storage Battery, není však nabíjen solárními panely, ale energií ze sítě stejně jako produkty americké Tesly.

Přestože v poslední době Panasonic ve své bateriové produkci velmi cílí na evropské státy, v České republice zatím tyto své produkty nenabízí. V přepočtu z americké měny však můžeme oba produkty ocenit na 50 000 Kč.





Obrázek č.18 – ukázka produktu Home Storage Battery značky Panasonic

#### 4.4 Samsung

Jihokorejská firma Samsung se problematikou akumulace elektrické energie zabývá už od roku 1970. Až v nedávné době se však rozhodla vyvíjet a vyrábět skutečně velkokapacitní úložiště. Její nabídka se dělí na 4 hlavní směry podle kapacity baterií a využití. První je v rozmezí 1 – 20 kW, druhá pak mezi 10 a 100 kWh, třetí řadu nazvanou Residential řadíme mezi klasické baterie, které mají kapacitu 5,8 – 7,2 kWh, poslední skupinou jsou pak největší úložiště s kapacitou v řádu MW. Vedle klasických domácích baterií se tak věnuje i zdrojům pro telefonní věže, internetové poskytovatele nebo bateriím uloženým ve velkých kontejnerech. Technologie ve všech čtyřech směrech je však stejná – lithium iontové baterie. Samsung nabízí systémy všestranné, dobíjení je tedy možné jak ze solárních kolektorů, tak i z běžné elektrické sítě.

##### 4.4.1 Samsung SDI Residential

Jedná se o domácí baterie o kapacitě 3,6 nebo 10,8 kWh. Tyto baterie jsou velmi oblíbeny v Austrálii pro svoji příznivou cenu. Výrobce zde však nabízí záruku pouze 2 roky na snížení kapacity pod 80 %, na funkčnost akumulátoru pak 7 let.



Obrázek č.19 – produkt Samsung SDI Residential

#### 4.4.2 Samsung SDI ESS MW

Jednotlivé kontejnery jsou stavěny dle normy a jejich výkon činí 24 MWh. Skládají se z několika menších celků buďto po 3,3 MWh nebo od roku 2016 také nově po 4,8 MWh. Je možné je řadit za sebe, fungují tak jako systém optimalizující elektrickou síť na řadě míst na světě. Moduly je možno stavět vertikálně nebo horizontálně. V první případě získáme 94 Ah, ve druhém pak 68 Ah. Jedná se o normalizované hodnoty, jelikož se ale jedná o velmi nákladný a inovativní produkt, většinu informací si výrobce velmi pečlivě střeží. Garantuje však životnost 15 let. Velkokapacitní úložiště značky Samsung můžeme nalézt na více než 20 místech světa. V měřítku Evropy mohu jmenovat Německo, Velkou Británii, Rakousko, Švýcarsko, Itálii nebo Nizozemí.



Obrázek č.20 – Produkt Samsung SDI ESS MW

#### 4.5 LG

Jihokorejská společnost nabízí produkt jménem LG Residential Energy Storage Unit, který je stejné velikosti jako Powerwall od Tesly. Liší se však parametry, LG uvádí, že jejich lithium-iontová baterie poskytne 6,4 kWh a jeho životnost se předpokládá 6000 nabíjecích cyklů a 15 – 20 let. Zárukou to však nepotvrzuje. Zato cena výrobku se zdá být velice zajímavá, 6900 australských dolarů, tedy v přepočtu přibližně 126 000 Kč. Užívání se předpokládá v propojení se solárními kolektory, LG však vyvíjí i hybridní verzi s celkovou kapacitou 12,8 kWh, kterou bude možno dobíjet i ze sítě.



Obrázek č.21 – ukázka domácí baterie LG Chem

#### 4.6 SieStorage

Německá společnost Siemens se systémy Smart Storage zabývá už spoustu let. Její nabídka je velmi rozmanitá, od baterií určených pro budovy a infrastrukturu přes průmysl až po energetiku. Zabývá se jak uložením energie ze solárních a větrných elektráren, tak i bateriemi sloužícími ke stabilizaci elektrické sítě. Jak už bylo řečeno výše, úkolem těchto systémů je myšlenka vyšší kvality dodávané elektřiny a též spolehlivost těchto dodávek. Stejně jako její kon-

kurenti, i tato značka využívá lithium-iontových baterií o kapacitách 16 kWh – 2 MWh, je-  
jímž postupným skládáním je možno získat výkon v rozmezí 32 kW až 8 MVA. Konstrukce  
je zcela modulární, je tedy možné vytvořit funkční systém přesně na míru potřebám. Siemens  
tak zaručuje maximální stupeň flexibility pro téměř každé využití, zároveň pak zdůrazňuje  
bezpečnost jak samotného systému, tak i jeho obsluhy. Funkcí komplexu je hned několik.  
První z nich je řízení toků elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Tím nemám na mysli  
obvyklé uložení energie z panelů a následné využití elektřiny v domácnosti, ale snížení namá-  
hání rozvodných sítí. Energie uložená do baterií tedy bude odevzdána přímo do sítě, a to  
v době zvýšené poptávky. Tím se zároveň docílí i druhého úkolu Smart storage systému, tedy  
omezení výkonových špiček. Tato možnost je z ekonomického pohledu velmi zajímavá pro  
průmyslová centra nebo jiné výrazné odběratele elektřiny. Třetím úkolem je zvýšení kvality  
elektrické energie pomocí regulace napětí. Reguluje se tak činný a jalový výkon, kdy dochází  
k časově proměnnému vyrovnávání poklesů napětí a ruší se tak harmonické zkreslení. Posled-  
ním z hlavních úkolů SieStorage je obnovení dodávek elektřiny v oblastech Microgrids, tedy  
v místech, kde fungují regionální autonomní sítě.

Siestorage bateriové skříně, ze kterých se pak modulárním způsobem sestavují akumulární  
komplexy, poskytují 25 kWh kapacity, 50 kW jmenovitého výkonu (špičkově až 75 kW)  
a jmenovité napětí 400/230 V AC. Každý komplex k sobě potřebuje řídicí systém, tedy mo-  
zek, který bude jednotlivé operace vyvolávat. Základním komplexem je tedy jeden řídicí sys-  
tém a jedna bateriová skříň. Dále je potom ve stálé nabídce set řídicího systému a tří skříní,  
dále systému a pěti skříní. Vyšší počet bateriových úložišť už se pak vkládá do kontejnerů  
buďto jednotlivých nebo složených. Velikou výhodou je pak šetrnost k přírodě, jelikož vý-  
robce velmi dbal na recyklaci jednotlivých komponent. Takovouto energetickou farmu pak  
můžeme vidět nedaleko německého městečka Flein ve spolkové zemi Bádensko-Württember-  
sko, dále potom v areálu elektrárny v Eisenhüttenstadtu.



Obrázek č.22 – ukázka kontejnerového provedení úložiště značky Siemens

#### 4.7 Sunverge

Tato americká firma se zabývá výrobou a sestavováním kompletů složených z lithium-iontových akumulátorů, skříňových boxů a řídicího softwaru. Jedná se převážně o uložení energie ze solárních panelů. Největším klientem této společnosti je slunná Austrálie, kde jsou nabízeny hned dva produkty. První z nich s kapacitou 11,6 kWh, druhý potom 19,4 kWh. Za lacinější verzi výrobce požaduje necelých 15 000 amerických dolarů (v přepočtu na českou měnu zhruba 360 000 Kč), za dražší z nich potom téměř 20 000 amerických dolarů (asi 475 000 Kč). Vzhledem k rozměrům a vzhledu obou produktů však není možné hovořit o tzv. domácích bateriích, zdroj velikosti šatní skříně je však možno uložit do garáže nebo jiného skladovacího prostoru.



Obrázek č.23 – ukázka produktu značky Sunverge

## 5 Využití Smart Storage technologií ve světě

### 5.1 Gigafactory

Projekt Gigafactory americké společnosti Tesla Motors je jedním z největších svého druhu. Jeho stavba ve Storey County ve státě Nevada byla vyčíslena na 62 000 000 amerických dolarů (přibližně 1,5 miliardy Kč). Někdo by mohl namítnout, že takováto výstavba obyčejné továrny na baterie by měla stát o mnoho méně, nejedná se však o továrnu obyčejnou. Výrobky zde vznikající jsou známé po celém světě a mají své uplatnění v automobilismu, domácnostech, průmyslu i energetice. Lithium-iontové baterie se zde ale nejen vyrábí, ale i slouží. Střecha celé továrny je totiž pokryta solárními panely, které ve slunečné Nevadě vyrábí obrovské množství elektrické energie. V závislosti na počasí. Právě to bylo hlavní příčinou zařazení do tohoto projektu i gigantické základny baterií, do kterých se bude tato energie dočasně ukládat. Ve spolupráci s japonskou společností Panasonic byly do areálu instalovány obrovské bateriové kontejnery. Cílem Tesly však není jen využívání energie ze slunce, ale naprostá energetická soběstačnost potvrzená například větrnými elektrárnami na všech přilehlých kopcích nebo absencí plynové přípojky v továrně. Zároveň pak automobilka potvrdila montáž tepelných čerpadel. Veškeré tyto práce by pak měly být hotovy ještě v první polovině tohoto roku, plná výroba by se pak měla rozběhnout v roce 2020, kdy bude Tesla schopna v továrně za rok vyprodukovat baterie s celkovou kapacitou 35 GWh.

Po celém území USA by ke stabilizaci sítě bylo v tuto chvíli potřeba akumulátorů s celkovou kapacitou 16 000 GWh, tedy přibližně 160 milionů baterií Powerpack. Abychom pak mohli na celém světě využívat pouze energie ze slunce, bylo by zapotřebí kapacity 90 000 GWh, tedy 900 milionů Powerpacků. Zajímavostí je, že Elon Musk představil vizi stavby tzv. Gigafactory 2 na území Německa.



Courtesy: Tesla Motors

Obrázek č.24 – pohled na Gigafactory umístěnou ve státě Nevada

## 5.2 Hannover

Unikátní úložiště elektrické energie vzniká v německém městě Hannover. Jedná se o kombinovaný koncept uložených lithium-iontových akumulátorů určených pro současné elektromobily, které jsou současně určeny ke stabilizaci sítě. Autorem tohoto projektu je německá firma Accumotive, která je dceřinou společností Daimler AG. Pro tu se jedná už o třetí projekt v řadě související s touto problematikou. (V nedávné době se právě tato značka prezentovala v problematice vývoje akumulátorů pro hybridní vozy značka Mercedes-Benz.) Systém bude obsahovat 3000 lithium-iontových baterií, které budou neustále v provozu, a právě díky tomu budou nepřetržitě k dispozici pro případné řidiče. Díky cyklování nebude docházet k tak rychlému poklesu užitné hodnoty akumulátorů. Výhodou užití právě elektromobilních akumulátorů je záruka společnosti Daimler AG, kterou se zavazuje k dostatečnému počtu náhradních akumulátorů pro dopravu. Jedná se tak o zcela ojedinělou myšlenku tvorby tzv. aktivního skladu, jehož aktuální kapacita bude nabízena k vyrovnávacímu účinku. Celková kapacita plného úložiště bude činit 15 MWh, v provozu se pak bude lišit podle aktuálního počtu baterií. Důležitým poznatkem je též optimálnost celého procesu. Řídicí systém se bude automaticky starat o správnou teplotu a vlhkost a úroveň nabití tak, aby životnost celého systému byla co možná nejvyšší.

Německo je v problematice regulace sítě na předních příčkách Evropských států. Důvodem je velký počet solárních a větrných elektráren a v neposlední řadě také rozhodnutí německé vlády zprostit provozu jaderné elektrárny na území Spolkové republiky Německa. Toto jsou

důvody poměrně silné destabilizace německé elektrické sítě, náprava jen v minulém roce stála rekordní částky v řádu miliard Euro. Došlo dokonce k nouzovému odpojování některých větrných elektráren, aby se omezily špičkové výkyvy. Bateriová úložiště se tak zdají být velmi dobrým pomocníkem a Německo rozhodně není zemí, která by se v této problematice rozhodla šetřit.



Obrázek č.25 – pohled na použitý exemplář baterie v ještě rozestavěném centru v Hannoveru

### 5.3 Feldheim

Již více než půl roku je v provozu nedaleko německého města Feldheim bateriové úložiště elektrické energie za účelem stabilizování elektrické sítě. Výkon 10 MW a kapacita úložiště 10,8 MWh dává komplexu možnost účinně omezit výkyvy dodávek způsobené šetrnými zdroji elektrické energie. Projekt představily dvě společnosti zabývající se větrnou energetikou, Enercon a Energiequelle. S počtem 3360 lithium-iontových baterií od firmy LG Chem se jedná o zatím nejrozsáhlejší úložiště v celém Německu. Energie by měla být dodávána až 2000 domácnostem. Celkové náklady na vybudování komplexu přesáhly 12,8 milionů Euro (v přepočtu přibližně 350 milionů korun). Jedinečnou výhodou takovýchto komplexů je jejich velmi rychlá reakce v řádu několika sekund. Mohou tedy okamžitě jednat a neutralizovat případné špičky a výkyvy.





Obrázek č.26 – pohled na bateriové úložiště v německém Feldheimu

## 5.4 USA

Ve Spojených státech se můžeme setkat s větším množstvím rozdílných úložišť elektrické energie. Velký potenciál má americká společnost Tesla Motors, která se zabývá výrobou elektromobilů, domácích i velkokapacitních baterií. O jejím projektu Gigafactory už jsme se dozvěděli výše, ale nejedná se zdaleka o jediný komplex určený k akumulaci. Další velmi silnou společností je AES, která před nedávnou dobou podepsala smlouvu s jihokorejskou společností LG Chem, ve které se obě firmy zavázaly ke spolupráci na systémech o kapacitě až 1 GWh. Technologie lithium-iontových baterií zůstala zachována, novinkou je však konstrukce navržená tak, aby bylo možné v průběhu provozu kapacitu dále navyšovat. Kontrakt v hodnotě více než 300 milionů amerických dolarů ( zhruba 7,3 miliardy českých korun ) zavazuje ke spolupráci obou firem na vývoji a dodávce baterií, které budou schopny dobítí a vybití v řádu 30 minut až 4 hodin. Původním cílem bylo skladování energie vyrobené z fosilních paliv v době nižšího odběru (Systém s kapacitou 1 GWh by dokázal akumulovat energii z velkých elektráren o výkonu 250 – 1000 MW.), později však došlo k přehodnocení celé situace a přeorientování též na obnovitelné zdroje. Vzhledem k tomu, že aktuálně již fungující nebo připravované projekty dosahují výkonu přibližně 1400 MW, společnost AES s výkonem 384 MW již instalovaných baterií je jedničkou v celosvětovém měřítku.

## 5.5 Austrálie

Geografická poloha Austrálie tento slunný kontinent přímo předurčuje pro zachování vysokého množství solárních elektráren. Zároveň však na sebe vrhá problémy spojené se stabilitou elektrické distribuční sítě. Už od roku 2007 se tyto problémy snaží řešit australská společnost SGA (Smart Grid Australia), která na projekt Smart City v roce 2009 obdržela od australské

vlády 100 milionů australských dolarů ( přibližně 1,8 miliardy Kč ). Tento program by měl sloužit zatím pouze jako demonstrace a výzkumný projekt, který už by ale byl současně funkční i pro veřejnost. Lokace okolo města Newcastle nedaleko Sydney řadí do projektu občany, kteří elektřinu využívají v každodenním životě a hned prvním krokem tohoto projektu bylo informování těchto osob o efektivním využívání energie. Zejména se jednalo o problematiku osvětlení a elektromobility. Celý systém byl rozdělen na několik celků, které do sítě přispívaly svými podíly. A právě ty byly řízeny tak, aby nedocházelo k velkým výkyvům v síti. K akumulaci zde sloužily malé Zn-Br tzv. FLOW baterie, které poskytovaly sice velmi malou kapacitu 5 nebo 10 kWh, ale zato byly v Austrálii přebytečným zbožím. I tak se ale tento systém neosvědčil a začalo se uvažovat o vylepšení celého projektu, které se mělo jmenovat Distributed Generation a Distributed Storage Technical Compendium. Zde už by se však měly objevit klasické velkokapacitní jednotky stejně tak, jak to známe z ostatních částí světa. Tento projekt by měl být ve finální podobě spuštěn až v roce 2034, i tak se ale snaží australští podnikatelé i samotní občané řešit problematiku energetiky na vlastní pěst pomocí velkokapacitních úložišť i domácích baterií. Využívány jsou zde především výše jmenované produkty značek Sunverge, LG a Samsung.

## 5.6 Itálie

Stejně jako v předešlém případě, i v Itálii působí společnost zabývající se optimalizací elektrické sítě. Jmenuje se Electro Power Systems. Její činnost se dělí do tří větví – Grid support, Smart distributed storage a Isolated grids. První z nich se zabývá inovacemi již fungujících sítí, a to pomocí komplexů s umístěnými kontejnerovými bateriemi. Ty mají výkon celkem 9,6MW. Dále pak disponuje i tzv. hybridním uložením. Tím je myšleno uložení energie na bázi Hydrogen- Oxygen. Zde je poskytovaný výkon 4,6 MW. Druhá větev společnosti se zabývá distribucí takto uložené energie. Poslední větev pak má za úkol elektrifikovat ty části světa, kam se běžný přívod elektřiny zavést nedá. V nabídce jsou hned tři produkty. Prvním z nich je diesel generátor, který by sice měl stabilní dodávku do sítě, byl by však neekologický. Druhým produktem je solární elektrárna, která by však v tomto provedení dodávala elektřinu pouze 6-8 hodin každý den, je totiž bez zdroje akumulace energie. Posledním a asi nejdokonalejším produktem je kombinace solární energie s hybridním úložištěm. Oproti pouze soláru sice cena elektřiny dvakrát až třikrát vzroste, zato je však dodávka stabilní a systém šetrný k životnímu prostředí. Tato společnost je již ve světě velmi známá. Její instalace najdeme v Severní i Jižní Americe, Asii, Africe, Australii a také v řadě vyspělých zemí Ev-

ropy jako je Německo, Francie či Švédsko. Jen v Itálii najdeme její produkty hned na 15 místech. Zabývá se však především ostrovní problematikou, její důsledky na finální evropskou síť tak nejsou takové, jaké bychom si přáli.

## 5.7 Nizozemí

Nizozemí je z hlediska energetiky evropsky velmi strategickým státem. Jeho zásoby ropy a zemního plynu z něho dělají velice důležitého hráče, zároveň však stát, který si neustále udržuje vysoké procento fosilních elektráren. Podíl energie z obnovitelných zdrojů i tak činí pouze 5 %. Je to dáno především politikou státu, který sice nabízí finance ze svého rozpočtu, ale pouze meziročně, a v následujících letech neposkytuje žádnou záruku financování. Geografická poloha Holandsko přímo předurčuje pro větrnou energetiku, však už v minulosti se tento stát ve světě proslavil svými větrnými mlýny. Tato myšlenka konečně přiměla holandskou vládu k nabídce pro země Evropské unie, aby se evropští inženýři začali větrnou energetikou v Nizozemí zabývat. Vznikají tak větrné parky a nové transformační stanice tak, aby byla zabezpečena stabilní energetika. K tomu slouží i Smart Storage systémy, které na území tohoto státu nalezneme také, a to v podobě produktů Samsung SDI ESS MW, tedy velkokapacitních kontejnerových baterií. Zároveň však Holandsko jako jeden z mála států zkušebně využívá i způsobu akumulace energie pomocí systému Power to Gas.

## 5.8 Japonsko

Japonsko je třetím největším odběratelem elektrické energie na světě. Je však závislé na dovozu veškerých paliv, a tak se již dříve rozhodlo pro jadernou energetiku. Největší energetickou společností na japonském trhu je TEPCO, jejíž energetický podíl činí až 30 %. Této společnosti též patří JE Fukušima - Daiiči, jejíž havárie v roce 2011 způsobila firmě velké finanční ztráty. Důvodem havárie byla geografická poloha elektrárny, která by měla být seismicky velmi klidná, zároveň však elektrárna vyžaduje přístup k vodě. Japonsko je ostrovy často postihovanými zemětřesením, případně i vlnami Tsunami, jedná se tak o oblast velmi neklidnou. Je tedy na zvážení, zda je jaderná energetika v Japonsku opravdu tím nejlepší řešením. Více než 40 % elektřiny je zde navíc stejně vyráběno z dovážených fosilních paliv. Zároveň je však Japonsko průkopníkem nových technologií, a tak vznikl projekt jménem Fujisawa SST, projekt energeticky soběstačného města, který bude energii získávat pouze ze solárních panelů. Ta by se ukládala do velkokapacitních baterií značky Panasonic. Přestože projekt

vznikl již v roce 2008, ještě nejsou známy ani podrobnosti celé realizace, natož datum dokončení projektu.

## 5.9 Česká republika

### 5.9.1 Legislativa v ČR

#### 5.9.1.1 458/2000 Sb.

Česká republika disponuje hned několika právními předpisy, které se energetikou zabývají. Prvním z nich je zákon č. 458/2000 Sb. – Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), který nahradil původní zákon č. 222/1994 Sb. Tento nový předpis zpracovává legislativu Evropské unie a upravuje tak podmínky podnikání a působení státní správy v odvětvích elektroenergetiky, plynárenství a teplárenství. Vymezuje tak možnosti distribuce a rozvodu energií a též poukazuje na možnou kontrolu těchto činností. Dále se zabývá certifikací řízení přenosové soustavy a možnostmi utajení některých informací zpravidla obchodního charakteru. Jedná se tak o integraci evropských pravidel do jednotného zákona. Došlo tak k nahrazení starého předpisu s připojenými mnohými liberalizačními balíčky.

#### 5.9.1.2 365/2009 Sb. a 62/2011

Dalšími předpisy, které se akumulací energie, i když pouze okrajově, zabývají, jsou Vyhlášky č. 365/2009 Sb. a 62/2011 Sb. Ty integrují legislativu Evropské unie týkající se plynárenství do českých rozměrů a definují podmínky připojení k plynárenské soustavě. Druhá vyhláška tak upravuje vyhlášku Ministerstva průmyslu a obchodu č. 251/2001 Sb. V případě volby metody P2G bychom se tak i tímto předpisem museli řídit.

#### 5.9.1.3 401/2010 Sb.

Tento výnos Energetického regulačního úřadu (dále jen „ERU“) se však týká nejen plynárenství, ale též elektroenergetiky. Je dělen do několika částí, které se mimo jiné zabývají pravidly provozování přenosové soustavy a pravidly provozování distribuční soustavy.

#### 5.9.1.4 426/2005 Sb.

Jedná se o vyhlášku ERU popisující podrobnosti udělování licencí pro podnikání v energetických odvětvích. Pokud by se tak pro výstavbu Smart Storage systému rozhodl nestátní subjekt, musel by i tento předpis respektovat.

### 5.9.2 Situace v České republice

V České republice je každoročně vyrobeno více než 85 TWh elektrické energie, přičemž zhruba polovina tohoto množství je vyrobena uhelnými elektrárnami. Více než 30 TWh je pak přisuzováno jaderné energetice a právě díky jejich stabilním dodávkám jsme schopni více než polovinu z tohoto množství poskytnout odběratelům z jiných zemí. Vývoj jaderné energetiky ještě v tehdejší Československu se datuje k roku 1958, kdy se začal stavět první jaderný blok v Jaslovských Bohunicích, který byl dočasně spuštěn v roce 1972. ( Jednalo se zejména o výzkumný provoz. ) Dále došlo ve stejné lokalitě k výstavbě čtyř bloků, který byly spuštěny v polovině osmdesátých let minulého století. První jadernou elektrárnou na území dnešní České republiky je tak JE Dukovany, která byla spouštěna v letech 1985 -1987 a v dnešní době se jedná o elektrárnu se starší koncepcí, která pro svoji další funkci vyžaduje spoustu opětovných renovací a opatření. Naopak druhá a poslední jaderná elektrárna na našem území - JE Temelín – patří mezi světovou špičku, a to především svým zabezpečením. Práce na ni započaly už v roce 1982, ale kvůli politické situaci došlo k odložení výstavby a následnému prodražení celého projektu. Ke spuštění proto došlo až v letech 2000 – 2003. V počátcích se mluvilo o nesmyslném zkřížení sovětské a americké techniky, která podle některých vůbec nemohla být funkční, provoz však ukázal, že právě tato koncepce je velmi spolehlivá a nabízí velké množství dodatečných inovací. Poprvé zde také byl využit princip ochranné obálky, která chrání reaktory před mechanickým narušením, a to i v případě pádu malého letadla. Jelikož jaderná energetika je velmi blízká tématu bezpečnosti státu, obě naše elektrárny jsou chráněny nejen mnohými stálými i záložními systémy, ale též fyzicky samostatnými zásahovými jednotkami Policie ČR, které se na světových soutěžích zásahových týmů pravidelně

umístují na prvních příčkách. Množství energie z obnovitelných zdrojů se v ČR pohybuje kolem 7 %. To se zdá být velmi málo, i tak má tato energie svůj význam. ( Do roku 2020 by však tento díl měl narůst na hodnotu 20%. ) K výraznému zvýšení tohoto procenta vedlo rozhodnutí podpory ze strany státu z roku 2005. Podle původních zákonů totiž došlo v letech 2008 a 2009 k velmi výraznému snížení ceny FV panelů, tudíž i snížení doby návratnosti zhruba na polovinu. Dotace tak způsobily tzv. solární boom, tedy náhlý růst fotovoltaických elektráren dotovaných státem s garancí odkupu takto vyrobené energie za značně zvýšenou cenu. Právě to ale znamená i velké výchylky v elektrické síti, které je třeba řešit. V tuto chvíli existuje propojení s evropskou sítí, která výchylky kompenzuje generálně, tedy pokud na jihu Evropy zasvítí slunce, solární elektrárny v té oblasti začnou vyrábět větší množství energie. Aby však tato nadvýroba neměla větší vliv na frekvenci, tato energie je distribuována na sever, kde je třeba právě zamračeno. I tak jsou však období, kdy je nadbytek energie ve více oblastech, právě i proto by se Česká republika měla zařadit mezi země s možností dočasné akumulace energie. V současné době totiž žádným takovým zařízením nedisponujeme. Regulovat je potřeba zejména kvůli elektrárnám větrným a solárním. Množství větrných na našem území není velké, navíc tam, kde tyto větrníky mají větší smysl, tam už je najdeme. Další rozvoj tohoto zdroje tak nepředpokládám. Naopak fotovoltaických elektráren máme na území poměrně hodně, a do budoucna lze predikovat ještě větší počet, a to především na střechách budov jak obytných, tak i komerčních. Některé tyto panely budou sloužit pouze pro tuto budovu, například na ohřev vody. Jiné však budou dodávat do sítě tak, jak to vidíme nyní. I s těmito je třeba počítat, jelikož i tyto bude nutno regulovat. Celková potřebná kapacita by se tak pohybovala v řádech desítek MWh až stovek MWh. Samozřejmě, k úplné kompenzaci by bylo zapotřebí mnohem větší kapacity, zároveň však jsme schopni regulovat síť i jinými způsoby. Předpokládám například noční nabíjení elektromobilních vozidel stejně tak, jak to funguje v zahraničí. I tak by se však jednalo o opravdu velkokapacitní úložiště, se kterými má větší zkušenost pouze několik málo společností. Nejdále zatím došla Tesla, předpokládat však lze oslovení německé společnosti Sonnenbatterie, jejíž akcionářem je česká skupina ČEZ, která je předním dodavatelem energie. Záleží též na lokaci tohoto komplexu, který by bylo možno vystavět například v okolí některé elektrárny ve vlastnictví ČEZu. Tuto akciovou společnost jsem kontaktoval pomocí rozhraní určeného pro studenty nazvaného „Kde jinde“ za účelem zjištění aktuální situace v naší republice. Jedním z mých dotazů byla predikce výstavby velkokapacitního úložiště na našem území. Z poskytnutých informací je zřejmé, že základním problémem je již zmíněné umístění celého, značně rozsáhlého, areálu. Hlavní otázkou však je, kdo by do takového projektu investoval, zda přímo ČEZ nebo jestli by se spolupodílel stát

či Evropská unie. Pravdou však je, že stavba takového komplexu by znamenala mnoho příležitostí pro české vědce, stavaře, elektrotechniky a také energetiky. Poučení bychom mohli hledat především v sousedním Německu.

## 6 Ekonomická zpráva

Pokud se přidržíme výše zmíněné myšlenky růstu počtu domácích baterií, určitě bychom neměli zapomenout vyčíslit náklady na její realizaci. V nabídce je hned několik produktů různých výrobců. Cenové nejpříznivější z nich je Panasonic Home Storage Battery, jehož cena začíná v přepočtu přibližně na 50 000 českých korun. Kapacitou 8 kWh se přibližně rovná své konkurenci z USA, výrobku Tesla Powewall, na který je poskytována záruka 10 let na snížení kapacity. Ten je však nabízen za cenu přibližně o 23 000 korun vyšší a nenabízí plné nabití za dobu 4 hodin. Naopak nejdražší s cenovkou okolo 145 000 korun je luxusní provedení baterie německého výrobce Sonnenbatterie, jedná se však o Rolls-Royce mezi domácími akumulátory, míra individualizace provedení ať už v podobě kapacity nebo vzhledového ztvárnění je skutečně obdivuhodná. I zde je poskytována záruka na dobu 10 let a 10 000 nabíjecích cyklů. Pokud se přesuneme k zařízením s kapacitou řádově MWh, naše investice se mnohonásobně zvýší. Nejedná se tak už o baterii do domácnosti, můžeme se s ní ale setkat například v průmyslových výrobnách. Velmi přitažlivým produktem je zde Powerpack (od stejného výrobce jako jeho menší sourozenec Powerwall - tedy od Tesly) s modulárním systémem, jehož základní cena za 8280 MWh činí zhruba 50 000 000 Kč. Nejvyšší kategorií jsou pak kontejnerová řešení, jejichž cena je těžko zjištělná už jen z důvodu obměny kurzu měn. Důležitějším faktorem je zde však utajení některých informací před konkurencí, ceny se tak odvíjejí dle konkrétních nabídek a katalogová čísla téměř neexistují. Při sestavování takovýchto celků též musíme brát v potaz další investice do výstavby a zabezpečení areálu, dopravní obslužnosti a připojení k distribuční síti. Takovéto investice tak přesahují statisíce milionů, případně i miliardy korun. Jako příklady mohu uvést dílo Gigafactory v hodnotě téměř 1,5 mld. korun nebo úložiště v německém Feldheimu za 350 milionů korun. Sumy těchto rozměrů tak většinou hradí nejen provozovatel sítě, ale též stát, územně samosprávný celek nebo Evropská unie. Pobídky a dotace zde mají hlavní roli a až na několik málo výjimek (zde mám na mysli především průmyslový objekt Gigafactory) jsou hlavním lákadlem investorů. Jak už bylo zmíněno, v České republice je uvažován i systém P2G, jehož fungování není dodnes zcela vyvinuto

a jeho výstavba tak nebude možná dříve než v roce 2020. V současné době by se ještě jednalo o velmi nákladnou záležitost, zatím největší elektrolyzátor sloužící k tomuto účelu byl vystavěn za sumu v přepočtu téměř půl miliardy korun, v průběhu času a postupného vývoje celého systému se však předpokládá pokles ceny až na hodnotu 500 Euro/kW. Nevýhodou systému je však jeho omezení výkonu, dotace získaného vodíku nebo metanu do zemního plynu je možná pouze do 2 % objemových. Co však je více než jasné, počítá se s regulací už na úrovni spotřebitelů elektrické energie, a tak se možná stejně jako v minulosti s tzv. kotlíkovou dotací setkáme i s dotací na domácí baterii, kterou si za několik let bude moci s příspěvkem od státu koupit značná část obyvatel České republiky.

## 7 Závěr

Energetika je problematikou nejen jednotlivých uživatelů, ale též mnoha společností a především států. Jak jsme se mohli přesvědčit výše, různé země jsou svoji geografickou polohou předurčeny pro různá energetická řešení, proto ani otázka akumulace energie není jednoznačná. Závisí též na ochotě obyvatel a průmyslu, do jaké míry jsou schopni omezit svoji aktivitu a přizpůsobit se celku. Za velmi pokrokovou bych v tomto případě označil Austrálii, která využívá větší množství energie ze solárních systémů a poptávka po domácích bateriích velmi strmě roste. Zde bych rád navázal poměrně novým hitem, kterým se společnost vrací zpátky ke svým kořenům. Na mysli mám energetickou soběstačnost. Tato myšlenka se v posledních letech stává velmi úspěšným byznysem, a to nejen v zahraničí, ale i u nás. Společně s nastupující érou elektromobility se tak vyspělé státy stávají orným polem výrobců domácích baterií, jejichž využití je v dnešní době velmi široké. Příčinou tak vysokého zájmu však dle mého názoru není jen občanská uvědomělost, ale především ekonomický krok správným směrem. Cenové sazby elektrické energie se totiž v průběhu dne v některých zahraničních zemích liší o mnoho více procent než u nás. I my se však setkáváme s rozdíly v síti, které už si zaslouží pozornost. Abych se o problematice dozvěděl více, kontaktoval jsem Mgr. Martina Mácu ze společnosti ČEZ. Ten mi poskytl informaci, že povinnost udržovat správné parametry přenosové sítě má její provozovatel, tedy ČEPS. Tento fakt je obdobný jako u většiny ostatních států EU a v našich podmínkách je garantován dle ČSN EN 50160. Podle vyjádření Mgr. Máci se však překvapivě s bateriovými úložišti váhá, je to dáno především jejich rozměrností. Naopak aktuálně preferovaným řešením je U/Q regulace na hladině vysokého napětí



a  $Q(U)$  a  $P(U)$  charakteristiky zdrojů na hladině nízkého napětí. To by mělo zabezpečit snížení fluktace napětí v distribuční síti. Umístění bateriových systémů se tak předpokládá především v rozvodnách 110/vn, kde jsou pro tyto potřeby vybudovány prostorové rezervy. Vedle baterií je zde ve hře též řešení P2G. Nejednalo by se však zřejmě o tak rozsáhlá díla jako například v Německu, důvodem je předpoklad hitu energetické soběstačnosti domácností s důsledkem částečné korekce parametrů v distribuční síti. Pokud bychom se rozhodli do této problematiky investovat, rozhodně bychom měli využít zkušenosti států jako jsou Německo, Austrálie, USA nebo Japonsko, kde se již několik let inženýři těmto problémům věnují a mnohdy je i zdárně řeší.

## 8 Seznam použité literatury

### Použitá literatura

1)

CENEK, M. *Akumulátory od principu k praxi*. Praha: FCC Public, 2003. ISBN 80-86534-03-0.

2)

R. A., Huggins. *Energy Storage*. New York: Springer, 2010. eISBN 978-1-4419-1024-0. 3)

3)

*Electric Power Engineering and Ecology - Selected Parts I*. [online]. Praha: BEN - technická literatura, 2011 [cit. 2016-05-03]. eISBN 978-80-7300-417-0.

### Použité elektronické zdroje

*Přečerpávací elektrárna* [online]. 2015 [cit. 2016-03-02]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/typy-elektraren/precerpavaci-vodni-elektrarna-princip-usporadani-2/.html>

*Přečerpávací elektrárny* [online]. 2015 [cit. 2016-03-02]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrarny-cr/precerpavaci-vodni-elektrarny-v-ceske-republice/>

**Mareš, J., Libra, M., Poulek, V.:** *Akumulace elektrické energie*.

Elektro [online]. č. 2. Praha: FCC Public, 2011. [cit. 4.4.2016]. ISSN 1210-0889. <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/42869.pdf>

**Šváb, M.:** *Trendy ve vývoji vodíkového hospodářství ve světě a možnosti uplatnění v České republice*. Česká energetická agentura [online]. 2006 [cit. 5.4.2016] <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/01.pdf>

**Jirsa, M.:** *Supravodivost – naděje pro 21. století*. Fyzikální ústav AV ČR [online]. 2010 [cit. 2.3.2016]

<http://www.fzu.cz/popularizace/supravodivost-nadeje-pro-21-stoleti>

**PEES Power Electronic & Embedded Systems Technologies: NaS a NaNiCl akumulátory** [online]. 2011 [cit. 17.4.2016]

[http://www.pees.sk/index.php?option=com\\_content&view=article&id=10&Itemid=16](http://www.pees.sk/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=16)

**Pléha, D.:** *Vanadové redoxní baterie* [online]. 2011 [cit. 26.4.2016]

<http://www.chempoint.cz/vanadove-redoxni-baterie>

*Heike Kamerlingh Onnes* [online]. 2014 [cit. 2016-03-02]. Dostupné z: [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1913/onnes-bio.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1913/onnes-bio.html)

*Setrvačnik* [online]. 2010 [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: <http://www.ekobydleni.eu/energie/setrvacniky-jsou-mozna-budoucnosti-energetik>

*Superkapacitor* [online]. 2010 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/teorie-obnovitelna-energie/6710-superkondenzatory>

*Vodíkové hospodářství* [online]. 2013 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z:

[https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/hospodar\\_9.html](https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/hospodar_9.html)

*Olověné akumulátory* [online]. 2015 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://canov.jergym.cz/elektro/clanky2/olov.pdf>

*Olověné akumulátory* [online]. 2015 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: [http://www.motola.cz/UserFiles/Diskuzni\\_clanky/akumulatory.pdf](http://www.motola.cz/UserFiles/Diskuzni_clanky/akumulatory.pdf)

*Alkalické akumulátory* [online]. 2013 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: [http://www.bucek.name/stranky/popisy/alkalicke\\_akumulatory/alkalicke\\_akumulatory.htm](http://www.bucek.name/stranky/popisy/alkalicke_akumulatory/alkalicke_akumulatory.htm)

*Ostatní akumulátory* [online]. 2012 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/li-akumulatory/pouzivani-li-ion-akumulatoru-v-praxi>

*Ostatní akumulátory* [online]. 2014 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://www.lipolbaterie.cz/lipol-baterie/>

*Ostatní akumulátory* [online]. 2014 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://www.jino.cz/akumulatory-li-pol/>

*Li-Fe-Po akumulátory* [online]. 2010 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/lifepo4-akumulatory>

*Sodíkové baterie* [online]. 2015 [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/akumulace-energie/sodikove-baterie-konstrukce-princip-cinnosti-a-aplikace/>

*Vanadium Redox Battery* [online]. [cit. 26.4.2016]  
<http://www.ceic.unsw.edu.au/centers/vrb/home.html>

*Power to Gas* [online]. 2014 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/11034-zachrani-technologie-power-to-gas-obnovitelne-zdroje>

*Power to Gas* [online]. 2015 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/akumulace-energie/power-to-gas-budoucnost-akumulace-elektriny/>

*Power to Gas* [online]. 2016 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://www.europeanpowerto-gas.com/about/power-to-gas>

*Tesla Motors* [online]. 2016 [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <https://www.teslamotors.com/energy>

*Tesla Motors* [online]. 2016 [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/tagy/tesla-motors>

*Powerwall* [online]. 2016 [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: [https://www.teslamotors.com/en\\_EU/powerwall?redirect=no](https://www.teslamotors.com/en_EU/powerwall?redirect=no)

*Powerwall* [online]. 2015 [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/domovni-baterie-tesla-powerwall/>

*Powerpack* [online]. 2016 [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <https://www.teslamotors.com/powerpack>

*Powerpack* [online]. 2015 [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://whatis.techtarget.com/definition/Tesla-Powerpack-Powerwall>

*Sonnenbatterie* [online]. 2016 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <https://www.sonnen-batterie.com/en-us/sonnenbatterie>

*Sonnenbatterie* [online]. 2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/akumulace-energie/sonnenbatterie-roadtrip/>

*Sonnenbatterie* [online]. 2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: [http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2015070904/cez-nabidne-baterie-na-skladovani-elektriny-bude-konkurovat-tesle-a-nabidne-spickovou-technologie-od-sonnebatterie#.V0H0\\_oSyOko](http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2015070904/cez-nabidne-baterie-na-skladovani-elektriny-bude-konkurovat-tesle-a-nabidne-spickovou-technologie-od-sonnebatterie#.V0H0_oSyOko)

*Panasonic* [online]. 2016 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <https://eu.industrial.panasonic.com/products/batteries-energy-products/storage-battery-system>

*Panasonic* [online]. 2016 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://business.panasonic.com/solutions-energysolutions-energystorage>

*Panasonic* [online]. 2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://reneweconomy.com.au/2015/panasonic-signs-battery-storage-deal-with-3-australian-utilities-57179>

*Panasonic* [online]. 2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://oilprice.com/Energy/Energy-General/Panasonic-Now-Gunning-For-Teslas-Energy-Storage-Crown.html>

*Samsung SDI Residential* [online]. 2015 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://cleantech-nica.com/2015/06/16/8-kwh-5-5-kwh-energy-storage-units-introduced-samsung/>

*Samsung SDI Residential* [online]. 2015 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.greencarcongress.com/2015/06/20150611-samsungsdi.html>

*Samsung SDI ESS* [online]. 2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.samsungsdi.com/ess/index.html>

*Samsung SDI ESS* [online]. 2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.samsungsdi.com/ess/energy-storage-system-application.html>

*Samsung SDI ESS* [online]. 2015 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.businesswire.com/news/home/20150610006482/en/Samsung-SDI-Unveils-Energy-Storage-Products-Intersolar>

*LG Chem* [online]. 2016 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.lgchem.com/global/small-battery/it-device-battery/product-detail-PDEA0001>

*LG Chem* [online]. 2015 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/elektromobilita/lg-chem-a-tesla-podepsaly-smlouvu-o-dodavce-baterii/>

*LG Chem* [online]. 2016 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.solarwise.com.au/solar-power/hybrid-solar/lg-chem-battery-storage.aspx>

*Siestorage* [online]. 2016 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://w3.siemens.com/powerdistribution/global/en/mv/power-supply-solutions/siestorage/pages/siestorage.aspx>

*Siestorage* [online]. 2016 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: [http://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty\\_a\\_sluzby/sekter\\_energy/siestorage/pages/siestorage.aspx](http://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/sekter_energy/siestorage/pages/siestorage.aspx)

*Siestorage* [online]. 2013 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/zajimave-projekty/20.php>

*Siestorage* [online]. 2016 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: [http://www.siemens.cz/press/cz/nove/press\\_releases-siestorage\\_modularni\\_akumulacni\\_system.html](http://www.siemens.cz/press/cz/nove/press_releases-siestorage_modularni_akumulacni_system.html)

*Siestorage* [online]. 2016 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.windenergy.org.nz/store/doc/9.45SiemensSIESTORAGEPresentationMarcelBzank.pdf>

*Sunverge* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.sunverge.com/product/>

*Sunverge* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.prnewswire.com/news-releases/energy-storage-leader-sunverge-energy-meets-hecos-new-solar-technology-standards-300257712.html>

*Sunverge* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <https://aglsolar.com.au/energy-storage/>

*Sunverge* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <https://www.australianenergystorage.com.au/residential-battery-storage-in-australia-gets-big-boost/>

*Gigafactory* [online]. 2016 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <https://www.teslamotors.com/gigafactory>

*Gigafactory* [online]. 2016 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: [https://www.teslamotors.com/sites/default/files/blog\\_attachments/gigafactory.pdf](https://www.teslamotors.com/sites/default/files/blog_attachments/gigafactory.pdf)

*Gigafactory* [online]. 2016 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://venturebeat.com/2016/03/24/inside-the-tesla-gigafactory-elon-musks-secretive-battery-production-facility/>

*Gigafactory* [online]. 2015 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/akumulace-energie/tesla-jedna-o-vystavbe-gigafactory-2-v-nemecku/>



*Hannover* [online]. 2016 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/akumulace-energie/daimler-a-enercity-vytvori-15mwh-bateriove-uloziste/>

*Feldheim* [online]. 2015 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/akumulace-energie/nova-megabaterie-pomaha-stabilizovat-nemeckou-sit/>

*Feldheim* [online]. 2015 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://cleantech-nica.com/2015/09/21/new-10-mw-storage-plant-opened-feldheim-germany-europes-largest/>

*Feldheim* [online]. 2015 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: [http://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-Portal/windblatt/pdf/en/WB\\_032015\\_GB\\_150dpi.pdf](http://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-Portal/windblatt/pdf/en/WB_032015_GB_150dpi.pdf)

*Legislativa v ČR* [online]. 2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458>

*Legislativa v ČR* [online]. 2009 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: [https://www.eru.cz/documents/10540/474247/web\\_365\\_2009.pdf/db1f4891-448e-465d-8b35-184e1231907a](https://www.eru.cz/documents/10540/474247/web_365_2009.pdf/db1f4891-448e-465d-8b35-184e1231907a)

*Legislativa v ČR* [online]. 2012 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: [https://www.eru.cz/documents/10540/473594/62\\_2011.pdf/63a7f51a-63b0-4038-a260-66752607574f](https://www.eru.cz/documents/10540/473594/62_2011.pdf/63a7f51a-63b0-4038-a260-66752607574f)

*Legislativa v ČR* [online]. 2011 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: [https://www.eru.cz/documents/10540/474068/401\\_10.pdf/742dde58-fc38-45d6-8c97-97b42defa1cc](https://www.eru.cz/documents/10540/474068/401_10.pdf/742dde58-fc38-45d6-8c97-97b42defa1cc)

*Legislativa v ČR* [online]. 2005 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: [https://www.eru.cz/documents/10540/474761/licen%C4%8Dn%C3%AD\\_445.pdf/03459a23-4e7d-4099-86d0-fdb0da9ae87f](https://www.eru.cz/documents/10540/474761/licen%C4%8Dn%C3%AD_445.pdf/03459a23-4e7d-4099-86d0-fdb0da9ae87f)

## Zdroje obrázků

Obrázek č. 1 – schéma přečerpávací elektrárny

MURTINGER, Karel. *nalezno.cz* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.nazeleno.cz/energie/energetika/ukladani-elekriny-z-fotovoltackych-a-vetrnych-elekraren.aspx>

Obrázek č.2 – princip adiabatické teplovzdušné akumulční elektrárny

KABEŠ, Karel. *Obdobné časopisy* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/43684.pdf>

Obrázek č.3 – schéma supravodivého indukčního akumulátoru

ONLINE-TEAM ČEZ. *Cesty k akumulaci elektrické energie* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: [https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/06/cesty\\_1.html](https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/06/cesty_1.html)

Obrázek č.4 – schéma setrvačnicku

ONLINE-TEAM ČEZ. *Cesty k akumulaci elektrické energie* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: [https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/06/cesty\\_1.html](https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/06/cesty_1.html)

Obrázek č.5 – schéma superkapacitoru

Obrázek z vlastní tvorby

Obrázek č.6 – schéma palivového článku

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA. *Palivové články* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: [http://www.miros-m3.wz.cz/automobily-technologie/palivovy\\_clanek.htm](http://www.miros-m3.wz.cz/automobily-technologie/palivovy_clanek.htm)

### Obrázek č.7 – schéma olověného akumulátoru

BŘÍŽĎALA, Jan. *e-chembook.eu* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.e-chembook.eu/poloclanky-a-clanky>

### Obrázek č.8 – příklad Ni-Cd akumulátoru

PAVLÍK, Gabriel. *panorámyslovenska.eu* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.panoramyslovenska.sk/Slovník/NiCd.html>

### Obrázek č.9 – příklad Ni-MH akumulátoru v provedení LR20

EMOS SPOL. S R.O.. *Elima.cz* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: [http://www.elima.cz/obchod/x110709\\_2-baterie-nabijeci-lr20-4500mah-nimh-1\\_2v-gp-p-23115.html](http://www.elima.cz/obchod/x110709_2-baterie-nabijeci-lr20-4500mah-nimh-1_2v-gp-p-23115.html)

### Obrázek č.10 – příklad Ni-Zn akumulátoru v provedení AA

TURNIGY. *eMotors.cz* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: <https://emotors.cz/nimh/4276-turnigy-aa-ni-zn-1500mah-high-voltage-ready-to-use-25025.html>

### Obrázek č.11 – příklad Li-pol akumulátoru v provedení pro mobilní telefon

ČERNÝ, Michal. *extrahardware.cz* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.cnews.cz/nove-technologie-budoucnost-napajeni-notebooku>

### Obrázek č.12 – příklad LFP akumulátoru v provedení pro závodní automobily

AUTOR NEUVEDEN. *2Racing.cz* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.2racing.cz/Lehka-zavodni-autobaterie-12V-750A-proudu-RBC750-2-75Kg-LiFePO4-LFP-baterie-d21861.htm?tab=description>

### Obrázek č.13 – schéma vanadové redoxní baterie

GROHMAN, Jan. *ekobydlení.eu* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.ekobydleni.eu/energie/baterie-pro-ukladani-prebytku-energie-z-rozvodne-site>

#### Obrázek č.14 – princip využití systému P2G

SCHINDLER, Jan. *tzb-info.cz* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: <http://oze.tzb-info.cz/11034-zachrani-technologie-power-to-gas-obnovitelne-zdroje>

#### Obrázek č.15 – ukázka tří za sebe zapojených baterií Powerwall

JOSLIN, Jeffrey. *Techgenmag.com* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: <http://techgenmag.com/2015/05/will-teslas-powerwall-shake-up-the-solar-energy-industry/#prettyPhoto>

#### Obrázek č.16 – ukázka produktu Powerpack

DAVIES, Alex. *Wired.com* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.wired.com/2015/05/tesla-batteries/>

#### Obrázek č.17 – ukázka produktu značky Sonnenbatterie

AUTOR NEUVEDEN. *sonnenBatterie.com* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: <https://www.sonnenbatterie.com/en-gb/sonnenbatterie>

#### Obrázek č.18 – ukázka produktu Home Storage Battery značky Panasonic

AUTOR NEUVEDEN. *Panasonic.com* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: <http://news.panasonic.com/global/topics/2015/43842.html>

#### Obrázek č.19 – produkt Samsung SDI Residential

AUTOR NEUVEDEN. *Lumenaus.com* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.lumenaus.com/samsung-sdi-ess-aio-solar-systems-for-homes/>

#### Obrázek č.20 – Produkt Samsung SDI ESS MW

AUTOR NEUVEDEN. *prweb.com* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.prweb.com/releases/2013/3/prweb10492718.htm>

Obrázek č.21 – ukázka domácí baterie LG Chem

RICHARDSON, Jake. *CleanTechnica.com* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: <http://cleantech-nica.com/2016/01/16/lg-chem-solax-power-partner-battery-storage-system/>

Obrázek č.22 – ukázka kontejnerového provedení úložiště značky Siemens

AUTOR NEUVEDEN. *Siemens.com* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: [http://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty\\_a\\_sluzby/sektor\\_energy/siestorage/pages/mistrovstvi-schladming.aspx](http://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/sektor_energy/siestorage/pages/mistrovstvi-schladming.aspx)

Obrázek č.23 – ukázka produktu značky Sunverge

DENISON, Caleb. *EarthTechling.com* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: <http://earthtechling.com/tag/sunverge/>

Obrázek č.24 – pohled na Gigafactory umístěnou ve státě Nevada

STEIN, Jay. *Esource.com* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: <https://www.esource.com/Blog/ESource/2-23-15-Gigafactory>

Obrázek č.25 – pohled na použitý exemplář baterie v ještě rozestavěném centru v Hannoveru

AUTOR NEUVEDEN. *news.europawire.eu* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: <http://news.europawire.eu/daimler-accumotive-stadtwerke-hannover-ag-to-build-new-battery-storage-facility-this-year-765432123453456789/eu-press-release/2016/02/02/daimler-accumotive-stadtwerke-hannover-ag-to-build-new-battery-storage-facility-this-year/>

Obrázek č.26 – pohled na bateriové úložiště v německém Feldheimu

COLTHORPE, Andy. *energy-storage.news* [online]. [cit. 5.5.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.energy-storage.news/news/physics-meets-art-at-germanys-100-renewable-village-grid-battery>