ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Využití akumulace elektrické energie a její vliv na trh s elektřinou

Bc. Václav Nocar **2020**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Bc. Václav NOCAR**
Osobní číslo:	**E18N0057P**
Studijní program:	**N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor:	**Elektroenergetika**
Téma práce:	**Využití akumulace elektrické energie a její vliv na trh s elektřinou**
Zadávající katedra:	**Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Zásady pro vypracování

1. Zmapujte technologie pro akumulaci elektrické energie a uveďte možnosti jejich využití v podmínkách ČR. Rovněž popište technologické a fyzikální vlastnosti principu akumulace energie.
2. Zmapujte aktuální stav bateriových úložišť v ČR a ve světě s ohledem na velikost instalovaného výkonu, kapacitu baterií a celkový počet projektovaných a zprovozněných úložišť.
3. Na základě dostupných informací zhodnoťte provozní diagram bateriových úložišť.
4. Prozkoumejte a popište celosvětovou i národní legislativu v oblasti provozu akumulačních zdrojů.
5. V souvislosti s provozem a technologickými vlastnostmi úložišť navrhněte legislativní rámec pro akumulační zdroje energie a jejich ovlivnění trhu s elektřinou.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Marcos Alves a kol, Photovoltaic DG with accumulation, active and reactive power control for grid-connected and intentional islanding operations. 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2017.
2. M. Kurfiřt, M. Juřík, Hodnocení zkušebního provozu bateriového úložiště v Mydlovarech. Konference ČK CIRED 2018.
3. Studie společností a asociací Deloitte, EY, AKU-BAT atp.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vladimír Vajnar**
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání diplomové práce: **4. října 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**

Západočeská univerzita v Plzni Fakulta elektrotechnická 1

L.S.

Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 4. října 2019

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce pojednává o akumulaci elektrické energie se zaměřením na bateriové úložné systémy. Práce je rozdělena do pěti hlavních částí. První obsahuje základní důležité informace týkající se akumulace elektrické energie pomocí nejpoužívanějších technologií, které jsou na konci kapitoly porovnány dle odpovídajících parametrů. Druhá část se již zaměřuje na bateriová úložiště. Zde jsou popsány možnosti jejich využití podle tří hlavních úrovní nasazení (úložiště s výrobnou, úložiště v přenosové a distribuční soustavě a domácí úložné systémy) a přínosy, které poskytují nebo mohou poskytnout pro stabilitu elektrizační soustavy a kvalitu elektrické energie. V této části jsou také uvedeny důvody současného intenzivního vývoje bateriových systémů a stanoveny hlavní legislativní překážky, bránící jejich uvádění do provozu. Je zde také prohloubeno zaměření konkrétněji na Lithium-iontové baterie díky jejich provozním parametrům a ekonomickému zhodnocení, protože právě z těchto důvodů se dnes tento druh baterie těší nejintenzivnějšímu výzkumu. Ve třetí části je zhodnocena simulace zkoumající vliv bateriových systémů na trh s elektřinou, konkrétně na cenu za MWh. Čtvrtá část shrnuje množství vystavěných bateriových úložišť ve světě s ohledem na ostatní technologie pro akumulaci a dále je ve stejné kapitole prezentována interaktivní celosvětová databáze, vytvořená v programu PowerBI. V druhé části kapitoly je provedena rešerše zahraničního legislativního přístupu k začlenění bateriových systémů do běžného provozu elektrizační soustavy. Poslední část je věnována právě legislativnímu ukotvení bateriových úložišť nejprve pomocí zhodnocení aktuálního stavu české legislativy a na závěr je pomocí zjištěných poznatků z české a zahraniční legislativy navrhnut legislativní rámec pro ČR.

Klíčová slova

Akumulace elektrické energie, skladování elektrické energie, baterie, Li-ion, legislativa, trh s elektřinou.

Abstract

The presented diploma thesis deals with the accumulation of electrical energy with a focus on battery storage systems. The work is divided into five main parts. The first part contains basic important information regarding the accumulation of electricity using the most commonly used technologies, which are compared at the end of the chapter according to the corresponding parameters. The second part already focuses on battery storage, and describes the possibilities of their use according to the three main levels of deployment (storage with generation, storage in the transmission and distribution network and home storage systems) and the benefits they provide or can provide for the stability of the electricity system and power quality. This section also sets out the reasons for the current intensive development of battery systems and identifies the main legislative obstacles to their commissioning. There is also a deepening focus more specifically on Lithium-ion batteries due to their operating parameters and economic value, because it is for these reasons that this type of battery today enjoys the most intensive research. The third part evaluates the simulation examining the impact of battery systems on the electricity market, specifically on the price of electricity per MWh. The fourth part summarizes the amount of commissioned battery storages in the world with respect to other technologies for accumulation and the same chapter presents an interactive worldwide database created in the PowerBI program. In the second part of the chapter, a search of the foreign legislative approach to the integration of battery systems into the normal operation of the electricity system is performed. The last part is devoted to the legislative anchoring of battery storages, first by evaluating the current state of Czech legislation and finally, using the findings of Czech and foreign legislation, a legislative framework for the Czech Republic is proposed.

Key words

Electricity accumulation, electricity storage, battery, Li-ion, legislation, electricity market.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 16.6.2020 Bc. Václav Nocar

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Vladimíru Vajnarovi Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych rád poděkoval doc. Ing. Miloslavě Tesařové Ph.D. za ochotu a pomoc pří hledání konzultantů.

Obsah

OBSAH **8**

ÚVOD **10**

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK **12**

1 AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE **14**

1.1 DOSTUPNÉ TECHNOLOGIE 15
1.1.1 Elektrochemické *15*
1.1.2 Mechanické *16*
1.1.3 Chemické *18*
1.1.4 Tepelné *19*
1.1.5 Elektromagnetické *19*
1.2 POROVNÁNÍ TECHNOLOGIÍ 20

2 AKUMULACE POMOCÍ BATERIOVÝCH ÚLOŽIŠŤ **23**

2.1 PROČ PRÁVĚ BATERIE 23
2.1.1 Cena a výkon *23*
2.1.2 Modernizace sítě *24*
2.1.3 Zvyšování podílu OZE *25*
2.1.4 Účast na velkoobchodních trzích s elektřinou *25*
2.1.5 Finanční pobídky *25*
2.2 LEGISLATIVNÍ PŘEKÁŽKY 26
2.2.1 Definování BSAE *26*
2.2.2 Vlastnictví akumulačních zařízení *26*
2.2.3 Dvojí zpoplatnění a licence *27*
2.3 ÚROVEŇ NASAZENÍ 28
2.3.1 Domácí úložné systémy *29*
2.3.2 Úložiště v distribuční a přenosové soustavě *30*
2.3.3 Úložiště připojené k výrobně *31*
2.4 POSKYTOVÁNÍ PODPŮRNÝCH SLUŽEB A FLEXIBILITY 31
2.5 PROVOZ BATERIOVÉHO ÚLOŽIŠTĚ NA ÚROVNI VN 33
2.5.1 Bateriové úložiště Mydlovary *34*
2.5.2 Ověření provozních parametrů *34*
2.5.3 Provozní diagram *38*

3 SIMULACE NASAZENÍ BSAE DO STŘEDOEVROPSKÝCH PŘENOSOVÝCH SOUSTAV A OVLIVNĚNÍ TRHU S ELEKTŘINOU **40**

3.1 SIMULAČNÍ SCÉNÁŘE 41
3.2 VÝSLEDKY SIMULACE 43

4 AKTUÁLNÍ SITUACE BATERIOVÝCH ÚLOŽIŠŤ VE SVĚTĚ **47**

4.1 PROJEKTY BATERIOVÝCH ÚLOŽIŠŤ 47
4.1.1 Interaktivní celosvětová databáze *50*
4.2 ZAHRANIČNÍ LEGISLATIVA 52

4.2.1 Spojené Království *53*
4.2.2 Finsko *57*
4.2.3 USA, Kalifornie *58*

5 LEGISLATIVA ČR **66**

5.1 AKTUÁLNÍ STAV 66
5.1.1 Energetický zákon *66*
5.1.2 Pravidla provozování distribuční soustavy, příloha č. 4 ..... *68*
5.1.3 Kodex PS *69*
5.1.4 Právní a strategické dokumenty *70*
5.1.5 Zimní energetický balíček *71*
5.2 BUDOUCÍ VÝVOJ 72

ZÁVĚR **75**

SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ **78**

Úvod

Akumulace elektrické energie existuje v různých formách už desetiletí, v ČR byly využívány pro akumulaci přečerpávací vodní elektrárny a stále jsou největším akumulačním prvkem, co se týče instalovaného výkonu. Postupem času se začaly po světě využívat novodobější technologie, jako ukládání tepla, výroba vodíku či setrvačníky. V posledních letech se začaly intenzivně rozvíjet také baterie, které se díky dlouhodobému snižování nákladů staly velice atraktivním řešením. Kromě klesajících nákladů poskytují i výhody jako velmi rychlou realizaci, škálovatelnost co do instalovaného výkonu i do energetické hustoty a velmi rychlou reakční dobu, která může být i kratší než jedna sekunda.

Dá se říci, že celý svět přijímá a stanovuje cíle pro bez uhlíkovou „čistou“ energii, což má za důsledek rozsáhlé nasazování obnovitelných zdrojů energie (OZE). V ČR stejně jako v ostatních evropských zemích je dán rozvoj obnovitelných zdrojů nařízeními Evropské komise a právě nejnovější „Zimní energetický balíček“[1] stanoví mimo jiné 32% podíl vyrobené energie z OZE. V Česku se tak očekává veliký nárůst v řádech jednotek GW ve fotovoltaických elektrárnách, a to zejména na úrovni NN. Jedním z největších nedostatků OZE je nerovnoměrnost a špatná předvídatelnost výroby, která nezávisí na poptávce po elektrické energii, ale na počasí. Zde se jako skvělé řešení nabízejí právě bateriové systémy, které v kombinaci s OZE dokáží skladovat jimi vyráběnou energii a poskytovat ji síti v době, kdy je opravdu potřeba. V tomto ohledu se nachází česká energetika na jakémsi zlomu, kdy dochází k přechodu od centralizované výroby k distribuované, která bude zastoupena zejména menšími jednotkami OZE na úrovni NN. Tento přechod je součástí tzv. energetické tranzice, neboli přechodu energetiky směrem k distribuované výrobě z OZE, s cílem minimalizace uhlíkové stopy a odstranění centralizovaných nadřazených entit.

Bateriová úložiště však nenalézají využití pouze v kombinaci s výrobnou, ale také jako samostatně stojící tzv. „stand alone“ systémy, které se mohou využívat k optimalizaci toků energie, regulaci napětí pomocí řízení jalového výkonu nebo poskytování služeb výkonové rovnováhy a umožňují tak vlastníkovi účastnit se velkoobchodních trhů

[1] Celým názvem Clean Energy For All Europeans je balíček osmi směrnic a nařízení Evropské komise zaměřující se na oblast energetiky a klimatu.

s elektřinou. Další směr vývoje, kterému mohou bateriové systémy přispět, je například elektromobilita. V konečném důsledku, právě díky rychlému rozvoji elektromobility dochází ke snižování nákladů na baterie. V neposlední řadě jsou akumulační prvky typu baterie součástí plánování a rozvoje chytrých sítí, se kterými jsou v jakési symbióze a vzájemně si umožňují využít jejich plný potenciál.

V tomto novém charakteru provozování elektrizační soustavy dochází také k ujímání zcela nových přístupů a obchodních modelů, které do budoucna pomohou s implementací OZE a udržováním stabilní a kvalitní dodávky elektrické energie. Pojmy jako agregace, poskytování flexibility, reakce na straně poptávky, chytré sítě, mikro sítě, lokální distribuční soustava aj. umožní udržovat výkonovou rovnováhu a zajistí vyšší efektivitu ES. Všechny tyto novinky je ale třeba patřičně implementovat a podchytit v národních legislativách, což se může stát poměrně obtížnou záležitostí, vzhledem k tomu jak nová tato témata jsou.

Z technologického hlediska jsou baterie již poměrně zvládnutá záležitost a z dosavadních provozních zkušeností je ověřené, jak dokáží přispět elektrizační soustavě a subjektům, které je vlastní nebo využívají. Rozvoj akumulace bateriovými úložišti naráží na jednu velkou překážku – legislativu. Stalo se, že technologický rozvoj bateriových úložišť předstihl rozvoj dané legislativy a ta se stává největší překážkou v nasazování bateriových systémů do elektrizační soustavy.

Seznam symbolů a zkratek

OZE ..... Obnovitelný zdroj energie

NN ..... Nízké napětí

VN ..... Vysoké napětí

VVN ..... Velmi vysoké napětí

NiCd ..... Nikl-kadmium

NiFe ..... Nikl-železo

NiMH..... Nikl-metal hydrid

Li-ion ..... Lithium-iontové

NaS ..... Sodík-síra

PVE..... Přečerpávací vodní elektrárna

JE ..... Jaderná elektrárna

FVE..... Fotovoltaická elektrárna

VTE ..... Větrná elektrárna

CAES..... Elektrárna na stlačený vzduch

kW ..... Kilowatt

MW..... Megawatt

kWh ..... Kilowatthodina

MWh..... Megawatthodina

P2G ..... Výroba syntetického paliva (Power to gas)

SMES..... Supravodivý indukční akumulátor

PpS..... Podpůrné služby

SVR ..... Služby výkonové rovnováhy

ES ..... Elektrizační soustava

DECE..... Decentralizované zdroje energie

FV ..... Fotovoltaické

BSAE..... Bateriový systém pro akumulaci energie

EU..... Evropská unie

PPS ..... Provozovatel přenosové soustavy

PDS..... Provozovatel distribuční soustavy

HSS..... Domácí úložný systém

TYNDP..... Desetiletý plán rozvoje přenosové soustavy

SOE..... Úroveň nabití

OPF ..... Optimální tok energie

MOPF ..... Víceúrovňový OPF

EFC ..... Vylepšená regulace frekvence

ERÚ ..... Energetický regulační úřad

CPUC ..... Kalifornská komise pro veřejné služby

MUA ..... Aplikace poskytující více služeb

DSR ..... Reakce na straně spotřeby

UPS ..... Zdroj nepřerušovaného napájení

MPO ..... Ministerstvo průmyslu a obchodu

PPDS ..... Pravidla provozování distribuční soustavy

Kodex PS ..... Kodex přenosové soustavy

NAP-SG ..... Národní akční plán pro chytré sítě

OTE ..... Operátor trhu s elektřinou

ASEK ..... Aktualizace státní energetické koncepce

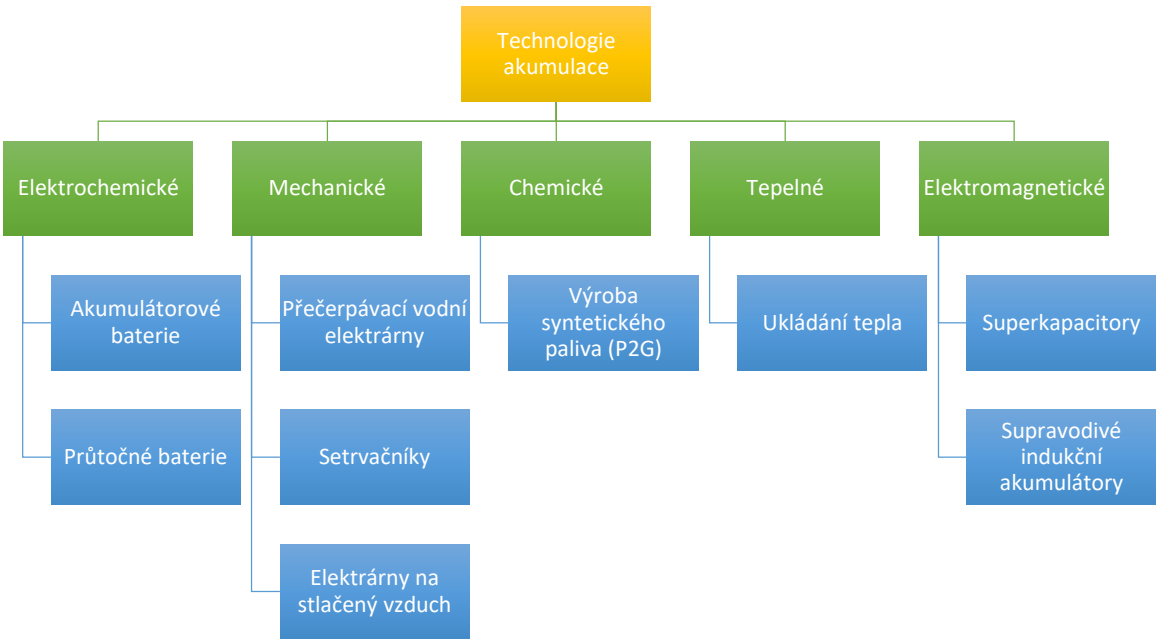
FCR ..... Zálohy pro automatickou regulaci frekvence

aFRR ..... Zálohy pro regulaci výkonové rovnováhy s automatickou aktivací

1 Akumulace elektrické energie

Elektrická rozvodná síť byla vybudována ve dnech, kdy nebylo ekonomicky možné skladovat elektřinu ve velkém množství a musela být vyrobena v okamžiku potřeby a stejně rychle spotřebována. Moderní technologie skladování energie to všechno změnily a vydláždily cestu pro přijetí obnovitelných zdrojů energie (dále jen OZE), které jsou beze sporu budoucností energetiky, minimálně na následujících 10 let, jak je dáno Zimním energetickým balíčkem, který určuje obsažení alespoň 32 % OZE v celkové výrobě elektřiny v ČR. Tyto technologie také napomáhají při vytváření a bezpečnější a nákladově efektivnější sítě.

Co se využívání OZE týče, hlavní nevýhodou je jejich nepředvídatelnost, jinak řečeno nerovnoměrnost slunečního svitu a větru. Částečně mohou tyto výkyvy vyrovnávat tzv. špičkové zdroje, jako jsou přečerpávací vodní elektrárny, či paroplynové elektrárny, ale to vždy nemusí stačit, obzvláště do budoucna, kdy je předpokládán veliký nárůst počtu OZE. Proto je třeba energii v době přebytku akumulovat pro pozdější využití v době nedostatku a vyrovnávat tak rozdíly mezi špičkovým a mimošpičkovým odběrem. Existuje mnoho způsobů akumulace energie a vždy se jedná o její přeměnu na jinou formu, ve které může být efektivněji uskladněna. V zásadě můžeme technologie rozdělit podle druhu energie, pomocí které chceme elektrickou energii skladovat. Rozdělení je uvedeno na *Obrázku 1*.



Obrázek 1: Rozdělení akumulačních technologií

1.1 Dostupné technologie

Kapitola vyjmenovává v současnosti dostupné technologie pro akumulaci elektrické energie, rozdělené do pěti základních kategorií. Kategorie jsou stanoveny stejně jako v předchozí kapitole, a to podle formy energie, ve které je elektřina skladována.

1.1.1 Elektrochemické

Elektrochemická úložiště, mimo jiné technologie akumulace, si v posledních desetiletích získávají větší pozornost, a to zejména díky výraznému snížení nákladů očekávaným v budoucnosti u mnoha elektrochemických technologií a vynikajícímu výkonu z hlediska rychlé doby odezvy, škálovatelnost, atd.

Akumulátorové baterie – Mezi zástupce akumulátorových baterií patří například nikl-kadmiové (NiCd) a nikl-železné (NiFe). NiFe baterie jsou složeny z železných a niklových destiček prostřídaných mezi sebou a ponořených do elektrolytu (hydroxidu draselného). Výhodou těchto baterií je, že neobsahují kadmium ani olovo, které jsou nebezpečné pro životní prostředí. Mezi hlavní výhody tradičních NiCd baterií patří zejména jejich spolehlivost a dlouhá životnost. Jejich energetická hustota se pohybuje mezi 40 a 60 kWh/m^3.Nepotřebují tak pro provoz složitou řídicí techniku. Právě z ekologických důvodů a díky nižší energetické hustotě jsou v současnosti NiCd články nahrazovány nikl-metalhydridovými (NiMH) s energetickou hustotou 120 kWh/m^3 a lithium-iontovými (Li-ion). Li-ion baterie mají energetickou hustotu pohybující se mezi 200 až 400 kWh/m^3. Obecný princip funkce lithiového článku charakterizují chemické reakce, které spočívají v transportu lithiových iontů mezi katodou a anodou při vybíjení a nabíjení. Články neobsahují kovové lithium, pouze lithiové ionty, které jsou implementovány do struktury jiných materiálů. Pro katodu se využívají oxidy kovů nebo fosfáty obsahující lithium, pro anodu se využívá grafit nebo sloučenina z oxidu lithného a oxidu titaničitého. Jako elektrolyt může být použita lithiová sůl v organickém rozpouštědle. Tyto články se poté sestavují do vícečlánkové baterie. U lithiových baterií je velmi důležitý výběr správného řídicího systému pro určení bezpečnostních parametrů a zabránění jejího úplného vybití. Dalším používaným typem akumulátoru je sodíkovo-sírový (NaS). Ten musí pracovat při teplotě mezi 300 – 350 °C, potřebné pro roztavení sodíku a síry. Energetická hustota NaS akumulátoru se pohybuje mezi 150 – 240 kWh/m^3, je tedy o něco nižší než u Li-ion akumulátoru, stejně jako účinnost, která se pohybuje mezi 70 – 90 %. [1]

V ČR je momentálně realizováno pouze několik projektů Li-ion bateriových úložišť, a to v Tušimicích v rámci projektu BAART od společnosti ČEZ (4 MW) [2], bateriové úložiště od společnosti E.ON v Mydlovarech (1 MW) [3] a baterie u obce Prakšice na Uherskohradišťsku, vybudovaná jako součást solární elektrárny společností Solar Global [4].

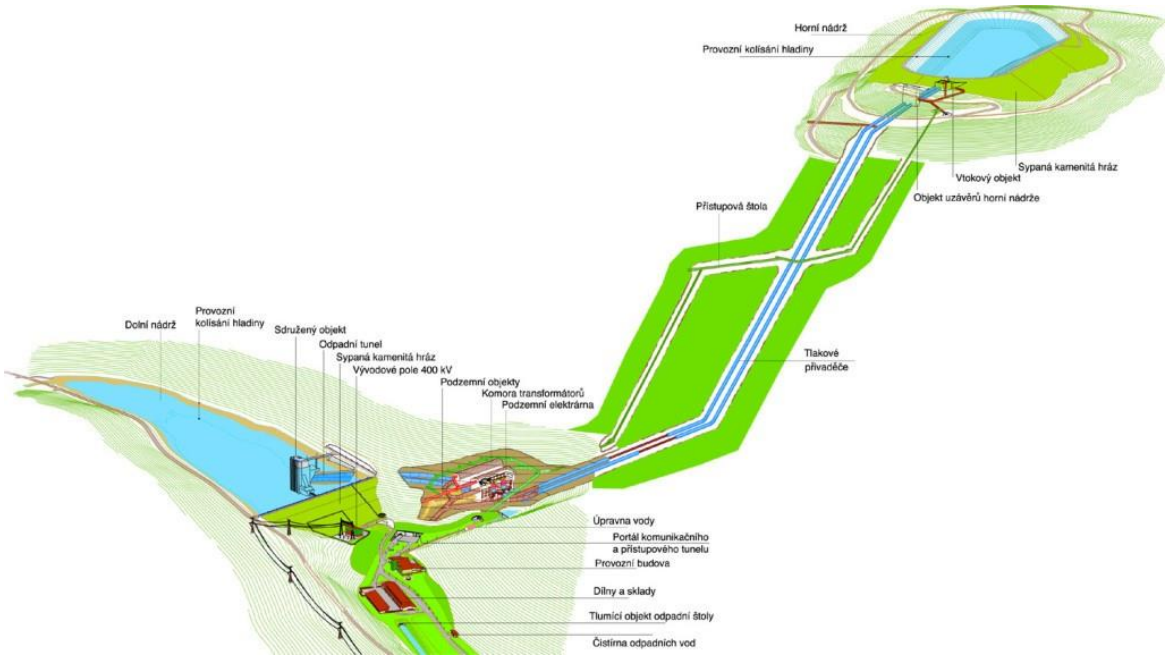
Průtočné baterie – Technologie průtočných baterií se podobá jak bateriím, tak i palivovým článkům. Zjednodušeně se jedná o dvě nádrže napuštěné pozitivním a negativním elektrolytem, které jsou oddělené membránou. Proces nabíjení a vybíjení je realizován reakcemi mezi dvěma chemickými látkami rozpuštěnými v kapalině. Jednoznačnou výhodou je velmi dlouhá životnost, která přesahuje 10 000 vybíjecích cyklů. Z hlediska životnosti je kritickou slabinou tohoto systému zmiňovaná membrána, tu však lze poměrně jednoduše vyměnit. Nevýhodou je nižší energetická hustota, která je v řádech desítek kWh/m^3, konkrétně mezi 20 – 70 kWh/m^3. Existuje několik typů těchto baterií, dělících se podle provedení a použitého materiálu. Dle typu provedení jde například o hybridní, redoxní a bez membrány. Hybridní systémy se vyznačují tím, že mají jednu ze složek v pevné podobě a jedná se například o baterie využívající zinek a bróm a zinek a chlór. Redoxní baterie mají všechny chemické komponenty aktivní při nabíjení a vybíjení v rozpuštěné podobě. Název redoxní odkazuje na redukční a oxidační reakce, které probíhají při procesech nabíjení a vybíjení. Příkladem takové baterie je například vanadová redoxní průtočná baterie, nebo baterie využívající kombinace železa a chromu. Výhodou těchto baterií je, že v případě potřeby využití pro větší výkony a ukládání většího množství energie je možné zvýšit jejich výkon i kapacitu prostým zvětšením objemu nádob s elektrolytem. To souvisí i s překážkou pro některé aplikace, jelikož baterie tohoto typu musí být výrazně větší pro stejný výkon a kapacitu, než například akumulátory na bázi lithiových iontů. Zajímavou možností využití těchto baterií je v rámci elektromobility. Při použití baterie v elektromobilu by bylo možné místo dobíjení pouze vyměnit elektrolyt za nabitý, což by časově odpovídalo klasickému tankování auta a sesbíraný elektrolyt by se pak odvezl k nabíjení do speciálních zařízení, která by odebírala elektřinu v době přebytku.[1]

1.1.2 Mechanické

Přečerpávací vodní elektrárna (PVE) – Přečerpávací vodní elektrárny byly, a stále jsou, nezbytným prvkem mnoha elektrizačních soustav a v celosvětovém měřítku tvoří

drtivou většinu akumulační energie (téměř 95 %). Umožňují akumulovat elektrickou energii do potenciální energie vody, kterou jsou schopny zpětně přeměnit na elektřinu. Schopnost ukládání, či výroby energie v čase kolem 1 minuty z ní dělá hlavní regulační prostředek České republiky.

V České republice se nacházejí tři PVE, největší z nich PVE Dlouhé Stráně I o výkonu 650 MW, PVE Dalešice o výkonu 475 MW a Štěchovice II o výkonu 45 MW. PVE Dalešice byla vybudována v souvislosti s výstavbou jaderné elektrárny (JE) Dukovany, jelikož je regulace JE ekonomicky nevýhodná. Nyní jsou u nás ale PVE stále více důležité, z důvodu rostoucího množství OZE v energetické soustavě. Ty dodávají do soustavy nestálý, obtížně předvídatelný výkon a jsou tak zdrojem značných výkyvů napětí. Pro vysvětlení principu funkce vybírám největší PVE u nás, Dlouhé Stráně I. Jak lze vidět na *Obrázku 2*, elektrárna se zjednodušeně skládá z horní a dolní nádrže, propojených dvěma tlakovými přivaděči. Ve spodní části se nachází 2 reverzní vodní turbíny o výkonu 2 × 325 MW, propojené s generátory. V době přebytku elektrické energie v síti je voda čerpána pomocí turbín z dolní nádrže do horní a v době nedostatku je naopak voda spouštěna z horní nádrže na lopatky turbíny, která se tak roztáčí a propojením s generátorem dodává potřebný výkon do sítě.[5], [6]



Obrázek 2: Uspořádání přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé stráně.[5]

Setrvačníky – Setrvačníky jsou mechanická zařízení, která se točí při vysokých rychlostech a ukládají elektřinu jako rotační energii. Tato energie je později uvolněna

zpomalením rotoru setrvačníku, čímž dojde k rychlému uvolnění energie. Na rozdíl od PVE, dokáže setrvačník dodávat vysoký výkon se zpožděním řádově kolem 1 s, nicméně pouze po omezený čas (řádově desítky sekund).[7] Historicky byly rotory setrvačníků vyráběné z oceli na klasických ložiskách, dnes jsou ovšem vyrobeny z uhlíkového kompozitu a aby ztráty při uchovávání, ale i odebírání elektrické energie byly co nejmenší, je celý systém uložen ve vakuu. Dále se místo klasických ložisek používají ložiska magnetická, díky kterým se celý systém vznáší na magnetickém polštáři a jsou tak sníženy ztráty vlivem tření hřídele při otáčení.[8]

Z důvodu prodloužení doby dodávky výkonu a zvýšení akumulovatelného množství energie se staví setrvačníkové farmy, skládající se z více menších jednotek (kW) o celkovém výkonu jednotek až desítek MW, které umožňují zvýšení doby dodávky výkonu do sítě na jednotky až desítky minut. Příkladem takové instalace je setrvačníková farma nacházející se poblíž města Stephentown v USA.[1] Ta se skládá z 200 setrvačníků o celkovém výkonu 20 MW a slouží ke stabilizaci frekvence v síti v oblasti New Yorku.

Akumulační elektrárny využívající stlačený vzduch (CAES) – V případě CAES (Compressed Air Energy Storage) je v době nízké spotřeby vháněn do zásobníků natlakovaný vzduch pomocí kompresorů a skladován. Jako zásobníky mohou sloužit rozsáhlé, utěsněné podzemní prostory jakou jsou opuštěné důlní kaverny nebo přírodní jeskyně. Jakmile se zvýší poptávka po elektrické energii, natlakovaný vzduch je vypouštěn přes plynovou turbínu, která roztáčí generátor. Účinnost takové elektrárny se pohybuje kolem 40 %. Při stlačování vzduchu dochází k jeho ohřívání, a pokud je elektrárna schopna alespoň částečně využít vzniklé odpadní teplo, může se její účinnost zvýšit až na 50 %. Výrazně vyšší účinnosti pak dosahují CAES s adiabatickou dekompresí vzduchu a také izotermické CAES, zde se účinnost pohybuje mezi 70 – 80 %.

1.1.3 Chemické

Výroba syntetického paliva (P2G) – Tato metoda může být využívána pro dlouhodobé vyrovnávání spotřeby energie výrobou vodíku, nebo následně syntetického metanu. Vodík se tímto způsobem vyrábí elektrolýzou vody. Elektrolýza probíhá průchodem stejnosměrného proudu vodou mezi dvěma elektrodami. Ve vodě probíhá chemická reakce, která štěpí vodu na vodík a kyslík. Kladný iont vodíku reaguje na katodě a zde se tak

uvolňuje vodíkový plyn, který je dále skladován. Na anodě se uvolňuje kyslík. Celý proces elektrolýzy může probíhat za pokojových teplot a dosahuje vysoké účinnosti kolem 80 – 90 %. Vodík se dále může používat v palivových článcích, jako palivo ve spalovacích motorech nebo přidávat do zemního plynu. Koncentrace vodíku v zemním plynu nesmí přesáhnout 2 %, aby neovlivnil jeho spalovací vlastnosti. Vodík může být také použit pro výrobu syntetického zemního plynu (metanu). Tento proces se nazývá metanizace a dochází při něm ke sloučení vodíku s oxidem uhličitým za vysokého tlaku a teploty pomocí *Sabatierovy reakce.* Účinnost této reakce dosahuje až 90 %, tudíž se účinnost výroby metanu pohybuje kolem 70 – 80 %, pokud zahrneme i účinnost výroby vodíku elektrolýzou. Celková účinnost akumulace je dána účinností palivového článku, případně spalovacího motoru a dále účinností převodu zpět na elektrickou energii. V dostupné literatuře [9] se uvádí účinnost celkového procesu 25 – 45 %.[1]

1.1.4 Tepelné

Ukládání tepla – Tato metoda akumulace se ve světě označuje jako PHES (Pumped Heat Electrical Storage) a spočívá v uložení elektrické energie v podobě tepla. Teplo se ukládá do tepelného akumulačního média a k jeho ohřevu se používá natlakovaný plyn nebo kapalina. Médiem může být například roztavená sůl nebo drcená hornina. K přenosu tepla mezi dvěma zásobníky (teplým a studeným) se používá tepelné čerpadlo. Pro generování elektrické energie je funkce čerpadla obrácena a stává se tepelným motorem. Účinnost celého cyklu je přibližně 80 – 90%. Další způsob ukládání tepla spočívá v ohřívání roztavených solí pomocí sluneční tepelné elektrárny, neboli CSP (Concentrated Solar Power), a ukládání energie v izolovaných nádržích. Pokud nastane potřeba elektrické energie, energie obsažená v soli je extrahována při přechodu do studené nádrže a může být využita k roztáčení turbíny. V důsledku tepelných ztrát je účinnost cyklu pro CSP přibližně 65 – 80 %.

1.1.5 Elektromagnetické

Supravodivý indukční akumulátor (SMES) – Princip akumulace elektrické energie do magnetického pole je založen na stejnosměrném proudu protékajícím cívkou. Akumulovatelná energie W do cívky o indukčnosti L protékané proudem I lze spočítat vztahem:

$$W = \frac{1}{2} \cdot LI^2 \quad (1)$$

Taková cívka musí být konstruována pro velké proudy a ze supravodivého materiálu. Supravodivost je stav, při kterém látka nebo materiál prakticky úplně ztratí elektrický odpor, tudíž se z něj stává téměř dokonalý vodič. Supravodivosti se docílí extrémním ochlazením vodivého materiálu, v případě SMES ponořením do tekutého hélia. U některých speciálních materiálů se tak supravodivosti dosahuje už při teplotách tekutého dusíku. V současné době existuje kromě klasické supravodivosti, která nastává při teplotách tekutého helia, i vysokoteplotní supravodivost. Ta je však zatím spíše ve stádiu výzkumu než praktických aplikací. Velikou výhodou této technologie je velmi rychlá reakce, velmi vysoká účinnost a velmi malé ztráty v čase. Doba nabíjení a vybíjení je extrémně krátká a účinnost je přes 95 %. Předpokládá se, že celkové ztráty by se daly snížit až na hodnotu pod 1 %. V současnosti existuje několik malých jednotek v komerčním provozu, které jsou právě pro svoji velmi rychlou reakci primárně určeny na udržování kvality dodávané elektřiny.

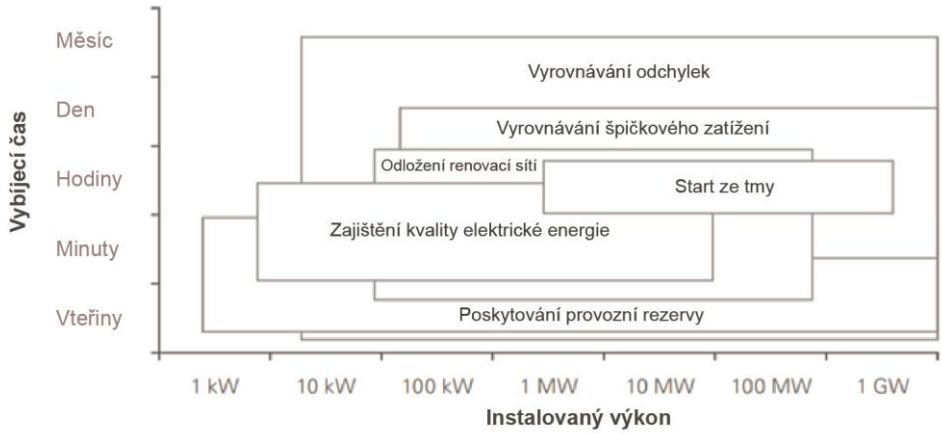
Superkapacitory – Superkapacitor je kondenzátor, který se odlišuje od klasického kondenzátoru svou velmi vysokou elektrickou kapacitou. Toho je docíleno elektrodami vytvořenými z práškového uhlíku naneseného na hliníkové fólii. Vysoké elektrické kapacity se dosahuje právě uhlíkovým práškem, jelikož jeho zrna mají plochu až 2000 m^2 na gram[10]. Ve srovnání s bateriemi tedy superkapacitor ukládá energii ve formě statického náboje. Výhodou superkapacitorů oproti bateriím je rychlejší doba nabíjení a výrazně delší životnost (více než 100 000 nabíjecích cyklů). Hlavní nevýhodou je měrná hustota energie, která se pohybuje od 1 Wh/kg do 30 Wh/kg, což je 10 – 50krát méně než u Li-ion baterií. Další nevýhodou je vybíjecí křivka. Zatímco baterie dodává ve své pracovní oblasti konstantní napětí, napětí superkapacitoru klesá lineárně a snižuje tak oblast použitelného výkonu. Taktéž u superkapacitorů dochází k rychlejšímu samovybíjení. Uvádí se vybití superkapacitoru ze 100 % na 50 % během 30 – 40 dní. U Li-ion baterií dochází k samovybíjení v rozsahu okolo 5 % za měsíc.

1.2 Porovnání technologií

Hlavními porovnávacími parametry pro akumulační zařízení jsou jmenovitý výkon a vybíjecí doba. Jmenovitý výkon popisuje okamžitou schopnost zařízení odebírat nebo

dodávat energii do sítě a vybíjecí doba ukazuje čas potřebný k poskytnutí této energie. Vybíjecí doba se rovná přibližně kapacitě úložiště podělené jmenovitým výkonem.

U některých aplikací vyžadujeme dlouhotrvající dodávku výstupního výkonu, u jiných naopak krátké dodávky vysokého výkonu. Tyto parametry jsou základním faktorem při posuzování vhodnosti daného úložiště pro danou aplikaci. Na *Obrázku 3* jsou graficky znázorněny příklady aplikací a k nim přiřazené rozsahy vybíjecích časů a instalovaných výkonů.



Obrázek 3: Jednotlivé typy aplikací s požadovanými parametry úložiště.

Lithium iontové baterie zaznamenaly v posledních letech obrovský nárůst poptávky a jejich vývoji byla věnována značná pozornost. Jak lze vidět v *Tabulce 1*, Lithium iontové baterie mají z porovnávaných technologií nejvyšší hustotu energie 200 – 400 Wh/L, účinnost 85 až 98 % a měrný výkon 1,3 – 10 kW/L. Hustota energie a měrný výkon vypovídají o prostorovém rozložení baterie, tudíž lithium iontové baterie s větším výkonem nemusí být tak velké jako ostatní typy baterií. To umožňuje finanční úspory jak na výrobu, přepravu tak i na instalaci. Jmenovitým výkonem se sice nemůže rovnat například PVE, ale propojením více bateriových jednotek můžeme dosáhnout i větších výkonů. Dále, pokud vezmeme v potaz velikost přečerpávací vodní elektrárny a náklady na její výstavbu, je reálnější představa instalací několika bateriových úložišť v různých částech elektrizační soustavy, než výstavba nové přečerpávací vodní elektrárny na území ČR, kde jsou již vodní toky zatíženy velkým počtem vodních elektráren všech druhů a bylo by tedy velmi obtížné realizovat výstavbu dalšího většího vodního díla. Velkou výhodou je také rychlost nasazení, která se u bateriových úložišť pohybuje v řádech jednotek měsíců od zahájení projektu.

Dalším aspektem boomu lithium iontových baterií je jejich stále se snižující cena za kWh, která klesla mezi lety 2010 a 2017 o přibližně 80 %, a nadále má stále klesající trend[11].

Tabulka 1:Hlavní technické parametry hlavních způsobů akumulace energie.[9]

	Instalovaný výkon (MW)	Trvání (h)	Životnost (doba / cykly)	Samo-vybíjení	Energetická hustota (Wh/l)	Výkonová hustota (W/l)	Účinnost (%)	Rychlost reakce
PVE	100 – 1 000	4 – 12	30 – 60 let	~ 0	0,2 - 2	0,1 – 0,2	70 - 85	Sek - min
CAES	10 – 1 000	2 - 30	20 – 40 let	~ 0	2 - 6	0,2 – 0,6	40 - 75	Sek - min
Setrvačník	0,001 - 1	Sek - hod	20 000 – 10 0000	1,3 - 100 %	20 - 80	5 000	70 - 95	< Sek
NaS	10 - 100	1min – 8h	2 500 – 4 500	0,05 – 20 %	150 - 300	120 - 160	70 - 90	< Sek
Li-ion	0,1 - 40	1min – 8h	1 000 – 10 000	0,1 – 0,3 %	200 - 400	1 300 – 10 000	85 - 98	< Sek
Průtočné	0,1 – 100	1 – 10h	12 000 – 14 000	0,2 %	20 - 70	0,5 – 0,2	60 - 85	< Sek
Ukládání tepla	1 - 150	Hodiny	30 let	Ztráty teplem	70 – 210	-	80 - 90	Min
P2G (H)	0,01 – 1 000	Min - týdny	5 – 30 let	0 – 4 %	600 (200 bar)	0,2 - 20	25 - 45	Sek - min

Baterie poskytují hned několik výhod v porovnání s ostatními technologiemi, přesto je jisté že v budoucnu budou koexistovat s ostatními technologiemi. Každá technologie má nějaká kritická místa, specifické parametry a provozní omezení. Lze tak očekávat používání baterií například s technologiemi schopnými skladovat elektřinu po delší dobu, například pro vyrovnávání rozdílu výroby v létě a zimě, vlivem menšího výkonu FVE. Pro tyto potřeby je nutné efektivně skladovat elektřinu po několik měsíců, což nabízejí například P2G, PVE, CAES nebo ukládání tepla.

2 Akumulace pomocí bateriových úložišť

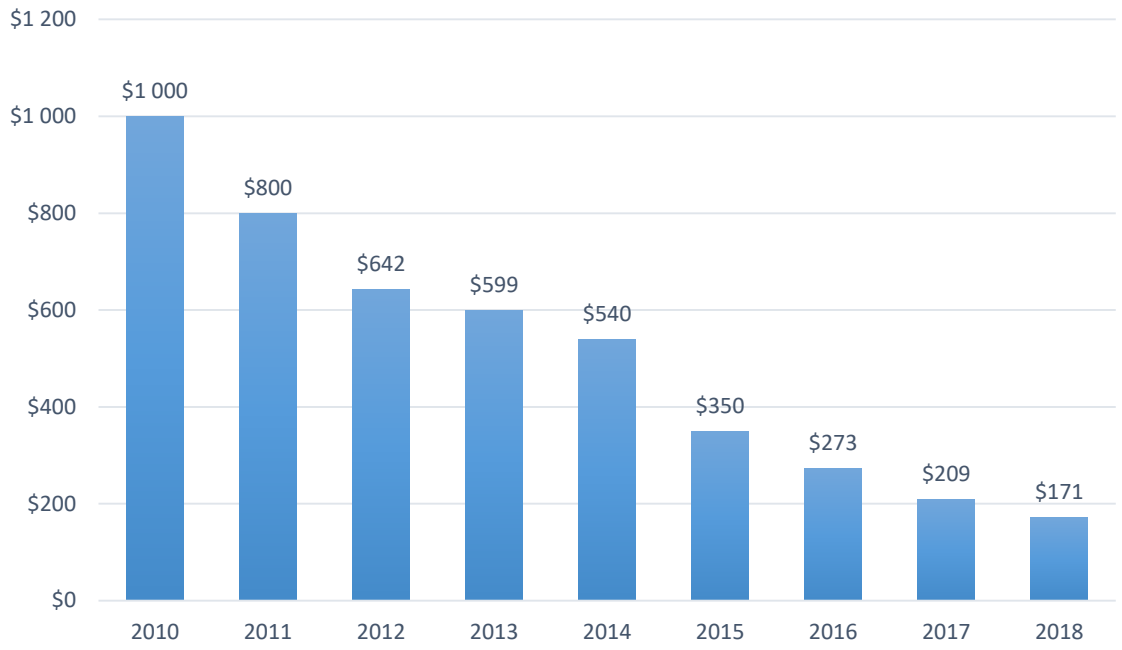
Bateriová úložiště poskytují řadu výhod oproti jiným technologiím pro akumulaci energie. Velkou výhodou je velmi rychlá reakční doba, která se pohybuje v řádech stovek milisekund až sekund. Z technologického hlediska umožňují baterie širokou škálu výkonů díky vysoké energetické hustotě a poměrně jednoduché škálovatelnosti (zvýšení / snížení instalovaného výkonu). Díky vysoké energetické hustotě mohou být baterie poměrně kompaktní i pro výkony v řádech jednotek MW a díky jednoduché škálovatelnosti lze pomocí více propojených baterií dosáhnout výkonů od desítek až po stovky MW. Všechny tyto faktory nahrávají i velmi rychlému nasazování bateriových systémů. Zatímco rychlost reakce a variabilita instalovaných výkonů dělá z baterií skvělé kandidáty na poskytování služeb výkonové rovnováhy (SVR), jejich kompaktnost umožňuje poměrně jednoduché nasazování v různých částech elektrizační soustavy, od menších bateriových jednotek využívaných zákazníkem pro vlastní spotřebu a časový posun elektřiny z OZE, přes velká bateriová úložiště v distribuční a přenosové soustavě, až po baterie propojené s elektrárnou. Rozmístění napříč distribuční soustavou z nich dělá velmi efektivní nástroj pro regulaci napětí a celkové zlepšování kvality elektrické energie.

2.1 Proč právě baterie

Bateriová úložiště jsou flexibilní, lze je velmi rychle nasadit napříč celou elektrizační soustavou (ES), mohou se využívat pro více aplikací a jsou schopny generovat příjmy poskytováním hned několika služeb najednou. Dynamický rozvoj tohoto odvětví však nelze připsat pouze těmto faktorům. V následující kapitole jsou vyjmenovány klíčové faktory přispívající jeho rozvoji.[11]

2.1.1 Cena a výkon

Asi nejjednodušší odpovědí jsou klesající náklady a lepší výkon, zejména v souvislosti s lithium-iontovými bateriemi, jelikož rozšiřující se trhy s elektrickými vozidly podporují jejich výrobní úspory. Jak je znázorněno na *Obrázku 4*, náklady na lithium-iontové baterie prudce klesají. Mezi lety 2010 až 2018, tedy za 8 let klesla cena za kWh o více než 80%.



Obrázek 4: Vývoj ceny Lithium-iontových baterií v dolarech za kWh.[11], [12]

2.1.2 Modernizace sítě

Obecně jde nárůst kapacit v bateriových úložištích ruku v ruce se snahou o modernizaci sítě, což zahrnuje i přechod na *chytré sítě* [11]. Mnoho vyspělých zemí se pouští do programů modernizace sítě za účelem zvýšení odolnosti proti vážným výkyvům počasí, snížení počtu výpadků systému spojených se stárnoucí infrastrukturou a zvýšení celkové účinnosti sítě. Tyto programy často zahrnují nasazení inteligentních technologií v zavedených elektrických sítích, které umožňují obousměrnou komunikaci a pokročilé digitální řídicí systémy, spolu s integrací distribuovaných energetických zdrojů (OZE, palivových článků, diesel generátorů, bateriových úložišť, atd.). Digitalizace sítě umožňuje účast tzv. *prosumers*, neboli koncových zákazníků, co se z pohledu sítě tváří zároveň jako odběratelé (consumers) a výrobci (producers). Dále umožňuje inteligentní konfiguraci systému, prediktivní údržbu a připravuje půdu pro struktury odstupňovaných sazeb. To vše vytváří příležitosti pro nasazení bateriových úložišť, aby vytvářely hodnotu přidáním kapacity, posunutím zátěže mimo špičku nebo zlepšením kvality elektrické energie. Zatímco inteligentní technologie již nějakou dobu existují a jsou aktivně používány, baterie pomáhají uvolnit jejich plný potenciál a naopak.

2.1.3 Zvyšování podílu OZE

Široká podpora OZE a snižování emisí je další hnací silou v nasazování bateriových úložišť. Je dobře známo, jak důležitou roli hrají baterie při kompenzaci přerušovaných dodávek a redukci omezování distribuce elektřiny z obnovitelných zdrojů. I přes tyto nepříjemné vlastnosti stále roste zájem o „čistou energii“ mezi všemi typy zákazníků. To je patrné zejména ve firemním a veřejném sektoru. Jak uvádí studie společnosti Deloitte, vedoucí úlohu při získávání obnovitelné (čisté) energie převzaly, kromě jednotlivých států, i velké nadnárodní společnosti po celém světě. Mnoho z nich se veřejně zavázalo dosáhnout 100% energie z obnovitelných zdrojů v příštích dvou desetiletích nebo dříve. To je dobrý krok pro další rozvoj obnovitelných zdrojů a pravděpodobně i pro pokračující nasazování baterií, které pomohou integrovat větší množství distribuovaných energetických zdrojů[11].

2.1.4 Účast na velkoobchodních trzích s elektřinou

Přestože jsou obnovitelné zdroje a baterie často zmiňovány ve stejné větě, bateriová úložiště mohou pomáhat s vyrovnáváním elektrizační soustavy a zlepšit kvalitu energie bez ohledu na výrobní zdroj. To ukazuje na rostoucí globální příležitost baterií k účasti na velkoobchodních trzích s elektřinou. V rámci analýzy téměř každý stát obnovuje svou strukturu velkoobchodního trhu, aby baterie mohly poskytovat svou kapacitu a doplňkové služby, jako je regulace frekvence a regulace napětí. Tyto aplikace se však stále nacházejí ve zrodu.

2.1.5 Finanční pobídky

Široká dostupnost vládních sponzorských finančních pobídek v zemích, které byly zkoumány v rámci studie [11], dále odráží rostoucí povědomí tvůrců pravidel o rozsahu výhod, které mohou řešení pro skladování baterií přinést v celém hodnotovém řetězci elektřiny. Ve zmíněném výzkumu se tyto pobídky pohybovaly od procenta nákladů na bateriový systém, které jsou refundovány přímo nebo prostřednictvím daňových slev, až po kapitálovou podporu prostřednictvím grantů nebo dotovaného financování. Zdá se, že tyto pobídky jsou zvláště velkorysé v zemích, které mají obavy o energetickou bezpečnost, jako je například Itálie, která v roce 2017 nabídla 50% odpočet daně pro zařízení pro akumulaci u zákazníka, nebo v zemích, které mají ekonomický podíl na výrobě baterií, jako je Jižní Korea.

2.2 Legislativní překážky

Absence vhodného regulačního rámce je jednou z hlavních překážek rozvoje budoucích technologií pro akumulaci elektrické energie a proto se vytvoření takového rámce stalo klíčovým pro budoucí rozvoj v této oblasti. Příprava a konečné přijetí regulačního rámce vyžaduje značné množství času, během kterého se technologie dále vyvíjí a zvyšuje se tak riziko, že se ujmou vedení jiné světové ekonomiky. Čas je proto v tomto případě velmi důležitý, jelikož včas připravený a dobře navržený legislativní rámec může státu poskytnout velkou konkurenční výhodu a učinit danou zemi atraktivní pro investory. V této kapitole jsou vyjmenovány hlavní překážky, které je v procesu vytváření legislativního rámce nutné vyřešit pro úspěšný rozvoj akumulace[9].

2.2.1 Definování BSAE

V současné době v právních předpisech EU v oblasti energetiky neexistuje žádná oficiální definice akumulačních zařízení. V červnu 2016 Evropská komise v *Zimním energetickém balíčku* navrhla definici pro akumulaci energie jako: „odložení určitého množství vyrobené elektřiny až do okamžiku spotřeby, a to buď v podobě konečné energie, nebo přeměněné na jiný nosič energie“. Tato definice ovšem nebyla dosud implementována do právních předpisů EU v oblasti energetiky. Chybějícím právním definováním dochází rovněž k nejednoznačnostem, pokud jde o kategorizaci (umístění) akumulačních zařízení v rámci návrhu trhu s elektřinou, která v současné době rozděluje hodnotový řetězec elektřiny do tradičních hlavních kategorií: výroba, přenos, distribuce a dodávka elektřiny. Dosud není rozhodnuto, zda by akumulační zařízení měla být považována za síťové prvky, výrobny, nebo zda by měla být vytvořena zcela nová kategorie pro akumulaci energie. V rámci definování akumulačních zařízení je také nutné zodpovědět otázky týkající se vlastnictví a provozování akumulačních systémů, výpočtu tarifních sazeb a jiných poplatků zatěžujících akumulační zařízení a požadavků na získání licence.

2.2.2 Vlastnictví akumulačních zařízení

Provozovatelé distribučních a přenosových sítí jsou omezeni v zapojování se do jiných činností, mimo provozování sítě. Tato omezení se vztahují zejména na kontrolu výroben elektrické energie. Použitelnost těchto omezení na akumulační zařízení je v současné době nejasná a bude záviset na tom, jak budou akumulační zařízení definována. Definici je třeba rozhodnout především na evropské úrovni, aby bylo zajištěno její jednotné

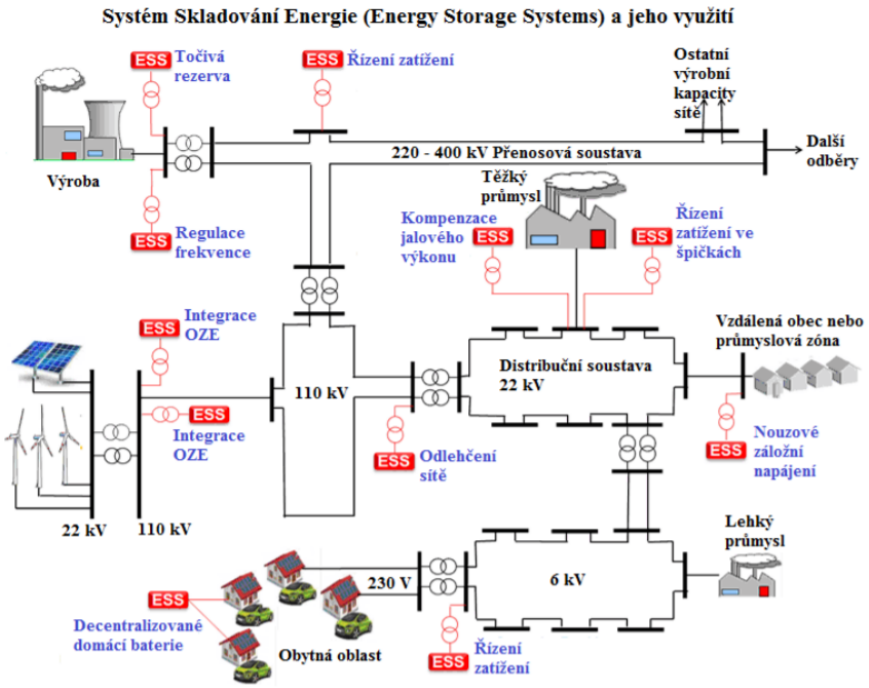
uplatňování ve všech členských státech. Dokud nebude toto objasnění provedeno, zůstane regulační nejistota. Pokud by byla akumulační zařízení považována za výrobnu elektřiny, bylo by pro provozovatele sítě obtížnější kontrolovat jejich provoz. V současné době existují odlišné názory, co se týče vlastnictví akumulačních zařízení, vzhledem k tomu, že provozovatelé sítí by mohli být významnou zúčastněnou stranou ve vývoji projektů akumulace. Akumulační zařízení mohou také přispívat k vyrovnávání výroby a spotřeby a mohla by tak být v rukou provozovatelů sítí mocným nástrojem k optimalizaci výroby a spotřeby nákladově efektivním způsobem. Po uvážení této skutečnosti by se dalo souhlasit, že regulační rámec by měl umožnit účast provozovatelů sítí na činnostech akumulačních zařízení se zahrnutím příslušných regulačních „zabezpečení“, aby se zabránilo nepřiměřenému narušení hospodářské soutěže v důsledku monopolního postavení provozovatelů sítí.

2.2.3 Dvojí zpoplatnění a licence

V důsledku současné nejistoty ohledně definice akumulačních zařízení existuje riziko, že jeho provozovatel bude muset čelit povinnosti platit poplatky za používání sítě dvakrát (jako výrobce a jako koncový zákazník). Některé státy již zavádějí mechanismy, aby se zabránilo dvojitému placení a dokonce i ulevilo od některých poplatků. Většinou úleva od poplatků platí pouze tehdy, je-li akumulovaná elektřina přiváděna výhradně zpět do sítě, ze které byla původně čerpána. Podobné problémy vznikají v souvislosti s poplatky za připojení k síti. Z pohledu vytváření regulačního prostředí vhodného pro akumulaci by se, po odstranění problémů s dvojitým zpoplatňováním, měly síťové poplatky vypočítat na základě skutečného dopadu akumulačního zařízení na distribuční soustavu, přičemž by se měl brát v úvahu také možný přínos akumulace k řešení problémů s vyrovnáváním a přetížením sítě. Chybějící definice akumulačních zařízení rovněž způsobuje problémy a vyvolává otázky týkající se licencování. Je otázkou, zda by měla být činnost akumulačních zařízení považována za činnost, která vyžaduje získání licence, a pokud ano, jaké licenční požadavky by měli potenciální žadatelé splnit.

2.3 Úroveň nasazení

Tato kapitola rozděluje bateriové systémy do tří kategorií, podle napěťové úrovně jejich připojení do sítě. Kategorie *Domácí úložné systémy* zahrnuje baterie připojené na úrovni NN, provozované koncovým zákazníkem pro zajišťování vlastní spotřeby domácnosti, obvykle v kombinaci s fotovoltaickými střešními systémy. Pro tuto konkrétní instalaci jsou uvedeny služby, které baterie může poskytnout jak spotřebiteli, tak i distribuční síti pro zajištění lepší ekonomičnosti a úspor a zlepšení kvality elektrické energie, například regulací napětí. Další kategorií jsou *Úložiště v distribuční a přenosové soustavě*, mezi které se uvažují zejména tzv. „stand-alone" bateriová úložiště. Tímto pojmem se myslí úložiště, které není přímo provozované v propojení s elektrárnou, ale jako jednotka pracující samostatně do sítě VN nebo VVN. K této kategorii jsou v tabulce opět uvedeny služby, které by takové úložiště mohlo poskytovat pro podporu stability sítě, zvýšení bezpečnosti nebo umožnění odložení renovace sítě z důvodu nedostatečné kapacity vedení. Dvě výše zmíněné kategorie bateriových systémů budou hrát v ČR významnou roli při realizaci chytrých sítí a mikro sítí, kde budou doplňovat decentralizované zdroje energie (DECE), jako jsou například OZE. Tím budou pomáhat s udržováním stability a spolehlivého a nepřetržitého toku elektrické energie. Poslední kategorií jsou *Úložiště připojená k výrobně*, která opět poskytují řadu výhod, jak pro provozovatele elektrárny, tak i pro elektrizační soustavu. Tyto výhody jsou vyjmenovány a vysvětleny v příslušné tabulce.



Obrázek 5: Rozmístění bateriových systémů napříč elektrizační soustavou.

2.3.1 Domácí úložné systémy

Stále více domácností si osvojuje kombinaci baterie s fotovoltaickými (FV) systémy. Tyto tzv. „home storage systems“ (HSS) ukládají během dne přebytečnou sluneční energii a poskytují ji k vlastní spotřebě domácnosti ve večerních a nočních hodinách. Tímto poskytují dvojí výhodu, jak provozovateli distribuční sítě, tak i provozovateli HSS. Na jedné straně sníží provozovatel HSS množství elektřiny kterou nakupuje ze sítě a ušetří tak peníze, a na druhé straně pomáhá HSS stabilizovat energetické sítě s vysokou koncentrací obnovitelných zdrojů energie (OZE). Uložením přebytečné FV energie během doby generování špičkového výkonu lze zmírnit problémy se stabilitou napětí v dané síti nebo tepelným přetížením elektrických zařízení.[12] Několik studií ukázalo, že použití HSS může spolehlivě omezit maximální výkon dodávaný do sítě FV zařízením na pouhých 40 % jeho jmenovitého výkonu, bez omezování nepřiměřeného množství energie z obnovitelných zdrojů.[13] To znamená, že HSS může zvýšit maximální penetraci FV elektrárny do dané distribuční sítě až faktorem 2,5, aniž by bylo nutné modernizovat elektrická zařízení.

Tabulka 2: Služby poskytnutelné baterií u spotřebitele.[9]

	Časový posun	Zlepšení kvality el. Energie	Propojení vlastního zdroje a spotřeby	Ramping
Definice	Časový posun spotřebované energie odběratelem za účelem zmenšení nákladů.	Udržování vysoké kvality elektrické energie pro zákazníky.	Domácnosti či společnosti s OZE, výroba může nastat v době, kdy energie není třeba, poptávka je malá.	Velcí průmysloví spotřebitelé jsou povinni ohlásit svou spotřebu provozovateli sítě.
Problém	V době špičky je velká poptávka po el. energii což vede k vysokým systémovým poplatkům.	V místě spotřeby není dodržena dostatečná kvalita el. energie.	Potřeba elektrické energie když OZE nevyrábějí.	Pokud se množství odebrané energie liší od deklarovaného množství, musí spotřebitel zaplatit pokutu.
Řešení úložištěm	V době špičky je energie zajištěna baterií.	Rychlá korekce napěťových výkyvů zajištěním regulace frekvence a zlepšení napětí pomocí baterie. Funkce jako záložní zdroj energie v případě výpadku proudu.	Ukládáním přebytku energie z OZE získá „prosumer“ šanci spotřebovat tuto elektřinu, když na ni bude skutečně poptávka.	Úložiště vyhlazuje rozdíly mezi odhadovanou a skutečnou spotřebou elektřiny.
Výsledek	Ušetření na systémových poplatcích.	Úspory realizované předcházením výrobním ztrátám nebo plýtvání v důsledku selhání zařízení citlivých na kvalitu energie.	Závisí na zavedeném systému státní podpory pro využívání obnovitelných zdrojů.	Úspora na pokutách.

2.3.2 Úložiště v distribuční a přenosové soustavě

Pro stabilní provoz našich energetických sítí musí být výroba a spotřeba elektřiny vždy v rovnováze. Tato rovnováha je však pravidelně narušována: poruchy elektráren a přenosových vedení nebo předpovědní chyby výroby OZE mohou vést k náhlému nadměrnému nebo nedostatečnému zásobování elektřinou. V takových případech jsou potřeba podpůrné služby, jako je řízení frekvence nebo řízení jalového výkonu, pro udržování síťové frekvence a napětí v daném rozsahu, dokud nebude obnoven normální provoz. Tyto služby tradičně zajišťovaly velké generátory, například uhelné elektrárny. Omezená životnost uhelných elektráren je však dána velikostí zásoby uhlí, která se stále snižuje, a do budoucna s nimi tedy nemůžeme počítat. Snižující se množství fosilních paliv tak vyvolává poptávku po nových zdrojích. Bateriová úložiště jsou slibná alternativa pro poskytování podpůrných služeb díky jejich extrémně rychlé reakci, dobré škálovatelnosti a rychlé době nasazení.

Tabulka 3: Služby poskytnutelné baterií zapojených do distribuční a přenosové sítě.[9]

	Podpůrné služby			Odlehčení přenosu a přetížení	Odložení renovace sítě
	Regulace frekvence	Regulace jalových výkonů a napětí	„Black start“		
Definice	Podpůrné služby jsou nezbytné k udržení bezpečného a spolehlivého provozu systémů přenosové a distribuční soustavy. Rostoucí potřeba doplňkových služeb také zvyšuje poptávku po systémech skladování elektřiny			Nejsou k dispozici dostatečné přenosové kapacity vedení, aby bylo možné současně vyhovět všem požadavkům na přenosovou službu.	Kapacita některých částí ES se může stát nedostatečnou, což lze řešit rekonstrukcí sítě.
Problém	Udržování rovnováhy mezi výrobou a spotřebou za účelem udržení frekvence systému je povinné.	Pro udržení napětí v síti je třeba injektovat či odebírat jalový výkon.	Obnovení po úplném nebo částečném výpadku sítě.	V Evropě roste počet přetížených přenosových soustav kvůli výrobě OZE a distribuované výroby.	Rostoucí spotřeba elektřiny a změna směru toku (přetoky).
Řešení úložištěm	Systém EES může splňovat požadavky na regulaci frekvence a může být použit pro točivou a doplňkovou rezervu.	Bateriové úložiště může poskytnout řízení jalového výkonu k úpravě účiníku.	Bateriové úložiště může poskytnout dostatek energie pro obnovení systému.	K odlehčení přenosu se využije baterie, která snižuje množství poptávky, kterou musí přepravní systém uspokojit.	Baterie může změnit přenosovou kapacitu pomocí časového posunu spotřeby a oddálit tak či eliminovat potřebu renovace sítě.
Výsledek	Příjmy z regulace frekvence.	Příjmy z regulace napětí.	Příjmy z poskytnutí „black start“ kapacity.	Takové úkony by měly být odměněny provozovatelem přenosové soustavy.	Úspora na nerealizovaných investicích.

2.3.3 Úložiště připojené k výrobně

V tomto případě je akumulační zařízení součástí výrobny elektřiny a slouží v tomto případě pouze k optimalizaci vyráběné elektrické energie a je tedy součástí podnikatelské činnosti výrobce elektřiny. Z toho důvodu není zapotřebí žádná zvláštní licence, pouze licence na výrobu elektřiny. V *Tabulce 4* jsou uvedeny podpůrné služby, které může baterie poskytnout výrobně a výhody které to přináší.

Tabulka 4: Služby poskytnutelné úložištěm při připojení do elektrárny.[9]

	Časový posun		Balancing / ramping	Řízení údržby
	Mimošpičková arbitráž	Cenová diferenciace		
Definice	Časový posun elektřiny generované elektrárnou pro technologické nebo komerční účely.		Povinnost dodržovat harmonogram výroby elektráren s cílem udržet rovnováhu v elektrické soustavě.	Poskytování služeb v průběhu údržby výrobních jednotek.
Výzva	Příliš mnoho el. energie je generováno v době mimo špičku zatěžuje tak systém.	Prodání generované energie za co nejlepší cenu.	Pokuty za odchýlení elektrárny od plánovaného harmonogramu.	Nepřetržitost služeb během údržby (renovací).
Řešení úložištěm	Vyrobená energie mimo špičku je skladována a prodána v době špičky.	Úložiště se nabíjí v mimošpičkovém období při nízkých cenách a vybíjí (dodává) při špičce při vyšších cenách.	V závislosti na odchýlení od plánovaného harmonogramu baterie buď dodává, nebo odebírá výkon.	Náhrada za ztrátu kapacity elektrárny v důsledku údržby výrobní jednotky.
Výsledek	Takové chování by mělo být odměněno provozovatelem sítě.	Příjem v podobě rozdílu špičkové a mimošpičkové ceny elektřiny.	Úspora na pokutách za odchýlení.	Zamezení ztráty příjmů.

2.4 Poskytování podpůrných služeb a flexibility

Podpůrné služby jsou definovány jako činnosti fyzických nebo právnických osob pro zajištění provozování elektrizační soustavy a pro zajištění kvality a spolehlivosti dodávky elektřiny[14]. Provozovatel přenosové soustavy (PPS) tak využívá podpůrné služby k zajištění provozní bezpečnosti své kontrolní oblasti. V současné době v Evropské Unii (EU) neexistuje jediná obecně přijímaná definice podpůrných služeb, takže jsou obecně klasifikovány podle různých kritérií. Podpůrné služby lze obvykle rozdělit do tří hlavních skupin a to na služby podporující řízení frekvence, služby podporující řízení napětí a další pomocné služby. V České republice se podpůrné služby dělí na:

- Služby výkonové rovnováhy (regulace frekvence).
- Ostatní podpůrné služby (regulace napětí, ostrovní provoz, black start).

Regulace frekvence spočívá ve vyvažování výkonového systému, v různých časových rámcích pomocí změny činného výkonu, v reakci na odchylky frekvence od žádané hodnoty. Mezi *Ostatní podpůrné služby* patří sekundární regulace napětí, schopnost ostrovního provozu a schopnost startu ze tmy. Regulace napětí zahrnuje jak ruční, tak i automatické regulování, pomocí změny jalového výkonu. Podpůrné služby mohou být vyžadovány jak za normálních provozních podmínek, tak v nouzových situacích, a tradičně jsou poskytovány velkými generátorovými jednotkami.

Situace se v poslední době změnila díky růstu odvětví obnovitelných zdrojů a následnému rozvoji bateriových systémů v energetickém sektoru. Přebytek energie vyráběné OZE může být uložen v bateriovém úložišti a uvolněn zpět do sítě pro účely vyrovnávání v období nízké poptávky. Díky výraznému snížení nákladů, očekávanému v sektoru baterií v příštích letech, se distribuované BSAE stanou konkurenčním řešením ve srovnání s tradičními generátorovými jednotkami. Ve skutečnosti mají BSAE větší flexibilitu v obou směrech a velmi rychlou odezvu ve srovnání s tradičními zdroji energie. Navíc, díky jejich schopnosti řídit v řádech vteřin výstup jalového výkonu, je lze také použít k poskytování sekundární regulace napětí. Ve srovnání s centralizovanými zdroji elektrické energie mají distribuované bateriové systémy umístěné v distribuční soustavě, například v rozvodnách VN / NN, přidanou hodnotu díky schopnosti zvýšení stability a odložení renovace sítě.

Dalším prostředkem ke zvýšení spolehlivosti elektrizační soustavy je řízení zátěže. Jako řídicí signály mohou být použity odchylky napětí a frekvence, kdy při odchýlení od výchozí hodnoty dojde k zastavení / spuštění zátěže přímo u zákazníků. Takové chování se již zkoumá a označuje se pojmem *poskytování výkonové flexibility*. Pilotní projekty zabývající se poskytováním flexibility jsou například projekt SecureFlex, vedený Fakultou aplikovaných věd v Plzni a Dflex vedený provozovatelem přenosové soustavy ČEPS. Přesto, že lze poskytování flexibility a bateriové systémy použít k poskytování podpůrných služeb, v zemích EU stále existuje řada problémů s jejich zaváděním, zahrnujících technické i legislativní otázky. Stávající právní rámec EU není prozatím připraven plně přijímat a finančně zhodnocovat podpůrné služby od jednotlivých zákazníků, a to ani prostřednictvím agregačních subjektů. Až dosud byly podpůrné služby poskytovány pouze z centralizovaného hlediska a je třeba překonat ještě několik překážek k zajištění decentralizovaného poskytování podpůrných služeb. Rovněž bude nutné vytvořit vhodná

nařízení, která umožní agregátorům podílet se na vyrovnávacím trhu. Implementací všech těchto opatření umožní přístup k široké škále služeb poskytovaných výrobci, flexibilní zátěží a bateriovými systémy, což umožní PPS činit účinnější rozhodnutí. Snižování nákladů na elektrochemické technologie rovněž přispěje ke zvýšení počtu elektromobilů v EU a s možností regulovat jejich nabíjení umožní elektromobilům poskytovat podpůrné služby a chovat se jako flexibilní zátěž.[15]

2.5 Provoz bateriového úložiště na úrovni VN

Informace o provozních parametrech bateriových úložišť jsou zásadní pro budoucí legislativní ukotvení akumulace do Energetického zákona. Nedostatek zkušeností s provozem úložišť na území ČR je také obvykle udáván jako jeden z hlavních problémů při vytváření souvisejících legislativních opatření. Proto jsou uskutečněné projekty a nasbírané informace o jejich provozu velmi cenné a užitečné. Vznik dalších projektů ovšem paradoxně brzdí právě neexistující legislativa. Posouzení provozních parametrů bateriového úložiště je zaměřeno na úložiště o velikosti nad 1 MW, připojeného do sítě na úroveň vysokého napětí. Pro konkrétní popsání chování úložiště je vybráno akumulační zařízení v Mydlovarech, vystavěné a provozované společností E.ON.[3]

Obrázek 6: Bateriové úložiště Mydlovary

2.5.1 Bateriové úložiště Mydlovary

Výstavba bateriového úložiště byla dokončena v roce 2017 společností E.ON. Česká republika s.r.o., v únoru roku 2018 bylo uvedeno do zkušebního provozu a ve stejném roce proběhlo ověřování provozních parametrů, obsažené v publikaci [3]. Konkrétně se zařízení nachází v Mydlovarech u Českých Budějovic. Projekt byl realizován za účelem řešení odchylek obchodníka s elektrickou energií, ale také za účelem získávání provozních zkušeností. Hledá se tak optimální způsob provozu z pohledu investora i provozovatele distribuční soustavy.

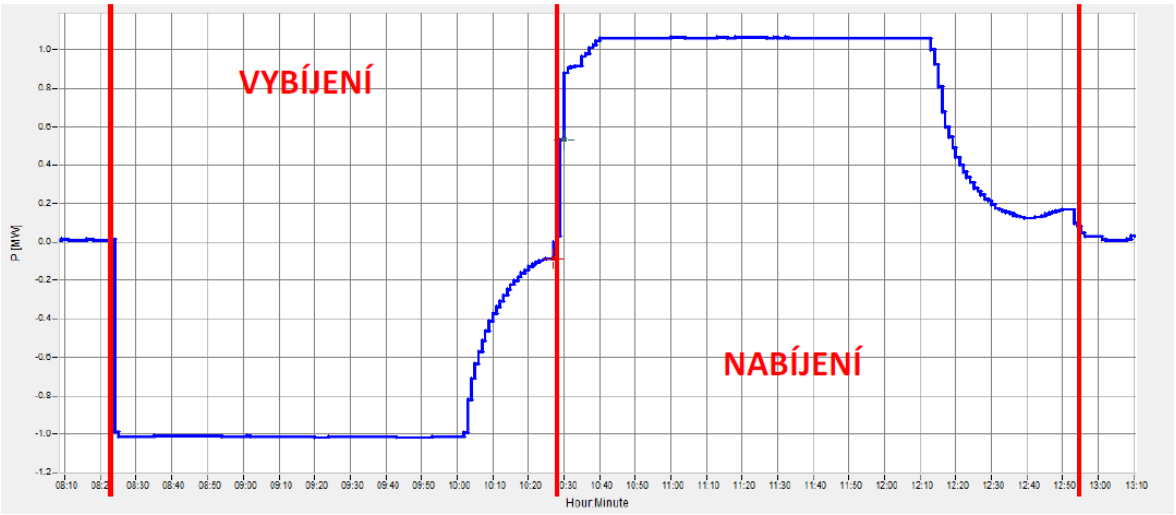
Úložiště disponuje kapacitou 1 MWh a okamžitým výkonem 1 MW, které jsou garantovány po celou dobu životnosti zařízení. Životnost je dána časem (10 let provozu) a počtem nabíjecích a vybíjecích cyklů (6 000 cyklů). Počet cyklů je dán za podmínky 100% hloubky nabití a vybití baterie jmenovitým nabíjecím a vybíjecím proudem. Jak lze vidět na *Obrázku 6,* baterie je realizována venkovním provedením a umístěná v kontejnerové jednotce. Dělí se na dva technické bloky a to na NN bateriový kontejner a trafostanici NN/VN. Výkon úložiště je vyveden do 22kV pole rozvodny Mydlovary s převodem 110/22 kV. Bateriový kontejner je rozdělen na dvě části, bateriovou a část se střídači. Jsou zde instalovány 2 střídače o výkonu 800 kVA a kontejner také obsahuje místní řídicí systém. Trafostanice je vybavena transformátorem o výkonu 1250 kVA a vysokonapěťovým rozvaděčem od společnosti Siemens. Přívodní pole rozvaděče je vybaveno dálkově ovládaným odpínačem.

2.5.2 Ověření provozních parametrů

Ověřování provozních parametrů je realizováno měřením na hladině NN (mezi baterií a střídačem) a na hladině VN (22kV pole v rozvodně). Cílem měření je stanovit základní provozní stavy baterie, jako jsou režim nabíjení a vybíjení, rychlost reakce, vliv na vyšší harmonické v síti, skutečnou kapacitu baterie a stanovení celkové účinnosti. V rámci měření účinnosti je stanovena i vlastní spotřeba úložiště a na závěr je měřením stanoven provozní diagram (PQ diagram).

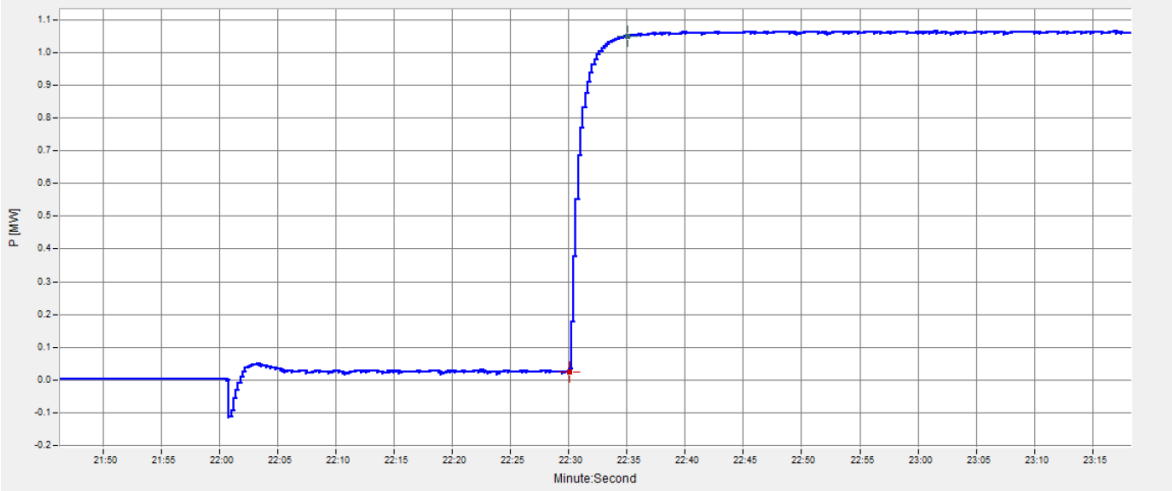
Nabíjecí a vybíjecí režim – Při nabíjení a vybíjení baterie je velice důležitý právě zmiňovaný řídicí systém, protože aby bylo dosaženo co nejdelší životnosti, nesmí být použit plný výkon v průběhu celého cyklu. Na *Obrázku 7* lze vidět zřetelné omezení výkonu řídicím

systémem na konci vybíjecího i nabíjecího cyklu. Nabíjecí cyklus je navíc omezen i na počátku, konkrétně do dosažení 10 % kapacity. Tímto způsobem se sice prodlouží doba nabíjení a vybíjení, ale zamezí se tak poškození baterie. Měření ukázalo, že vybíjecí cyklus je rychlejší a trvá 2 hodiny 3 minuty. Plný vybíjecí výkon je dosažen téměř okamžitě, jelikož není omezován řídicím systémem a trvá 1 hodinu 38 minut až do dosažení 10 % kapacity baterie, poté je snížen a posledních 10 % kapacity se vybíjí 25 minut. Na hodnotě 86 kW je pak automaticky ukončen. Nabíjecí režim trvá 2 hodiny 26 minut. Z počátku je nabíjení omezeno a do dosažení 10 % trvá 12 minut, poté najede na plný výkon a do 90 % kapacity nabíjí 1 hodinu 32 minut. Do úplného 100% nabití baterie pak nabíjení při omezeném výkonu trvá dalších 43 minut.



Obrázek 7: Průběh činného výkonu při nabíjecím a vybíjecím cyklu.[3]

Rychlost reakce – Schopnost rychle reagovat na pokyn k odběru či dodávce výkonu do sítě je důležitá pro vyvažovací služby poskytované soustavě a je to také důležitá vlastnost bateriových úložišť. V rámci Mydlovarské jednotky bylo provedeno testování rychlosti odpovědi úložiště na pokyn řídicího systému k nabíjení baterie (odběru výkonu ze sítě). Jak lze vidět na *Obrázku 8*, v čase 22:00 došlo na základě pokynu řídicího systému k připojení baterie do sítě a do 5 vteřin se výkon odebíraný ze sítě ustálil na hodnotě vlastní spotřeby baterie. V čase 22:30 byl dán pokyn k nabíjení baterie výkonem 1 000 kW. Do 6 vteřin dochází k ustálení hodnoty na výkonu 1 050 kW, ve kterém je obsažena i její vlastní spotřeba. Pro dosažení stejného vybíjecího výkonu bylo, dle publikace [3], potřeba stejné doby, tedy 6 vteřin.



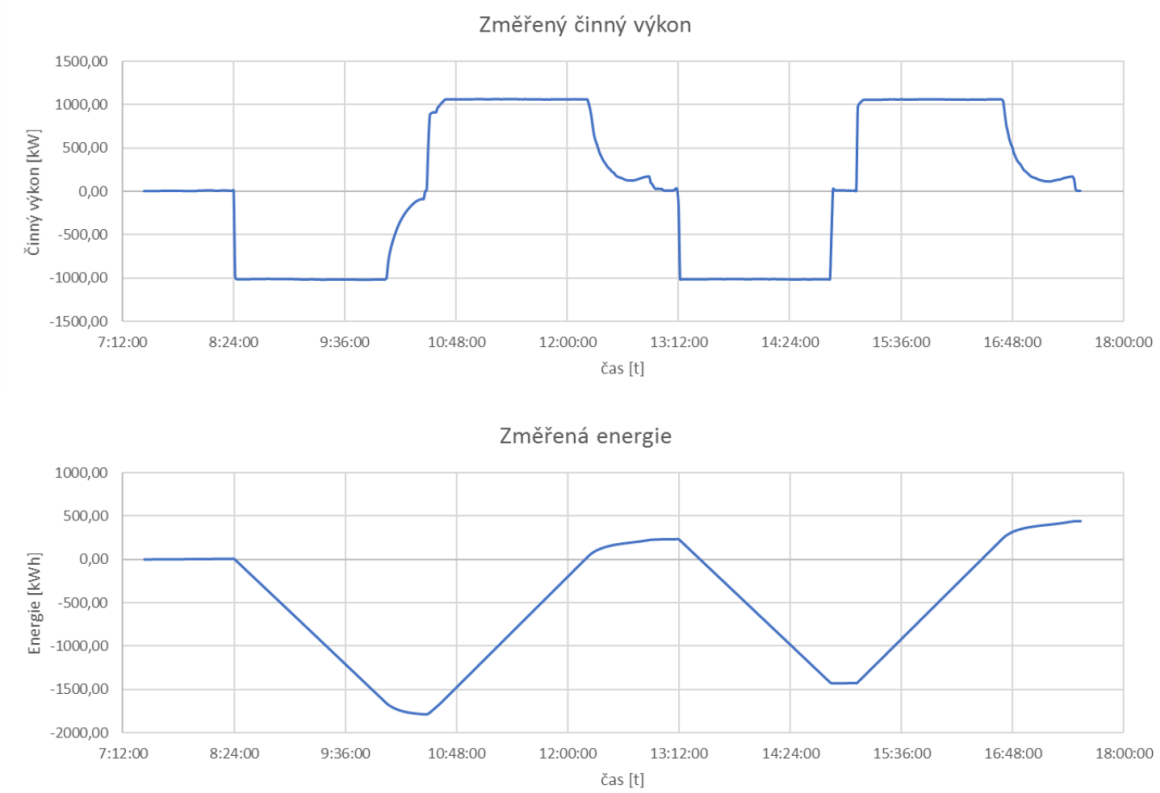
Obrázek 8: Průběh činného výkonu při připojení úložiště do sítě a následném pokynu k nabíjení výkonem 1 000 kW

Kapacita baterie – Udávaná kapacita úložiště 1 MWh je stanovená výrobcem na konci její garantované životnosti, a proto bylo nutné baterii zpočátku naddimenzovat. Měření je tedy určeno pro zjištění skutečné okamžité kapacity úložiště. Pro tyto účely byla nainstalována dvě měření, jedno na kabely NN mezi baterií a transformátorem a druhé na elektroměr na hladině 22 kV. V rámci měření bylo v průběhu jednoho dne provedeno vybíjení z plně nabité baterie a poté její nabíjení. Tento proces byl během jednoho dne dvakrát zopakován a časové údaje a doby trvání jsou uvedeny v *Tabulce 5*.

Tabulka 5: Časové údaje operačních cyklů

Stav	Začátek	Konec	Doba trvání	Stav nabití na začátku	Stav nabití na konci
Vybíjení	08:24	10:27	02:03	100 %	1 %
Nabíjení	10:29	12:53	02:24	1 %	100 %
Vybíjení	13:11	14:51	01:40	100 %	10 %
Nabíjení	15:07	17:28	02:21	7 %	100 %

Průběh výkonu při daných cyklech je vykreslen na *Obrázku 9* v prvním grafu, druhý graf znázorňuje tok energie. Výkon při vybíjení a nabíjení má pouze činný charakter a opět lze vidět jeho omezování řídicím systémem. Tyto grafy korespondují a jsou popsány *Tabulkou 5*. Celková okamžitá kapacita baterie byla při prvním vybíjecím cyklu stanovena na 1 793 kWh, tedy o 793 kWh vyšší než ta udávaná výrobcem.

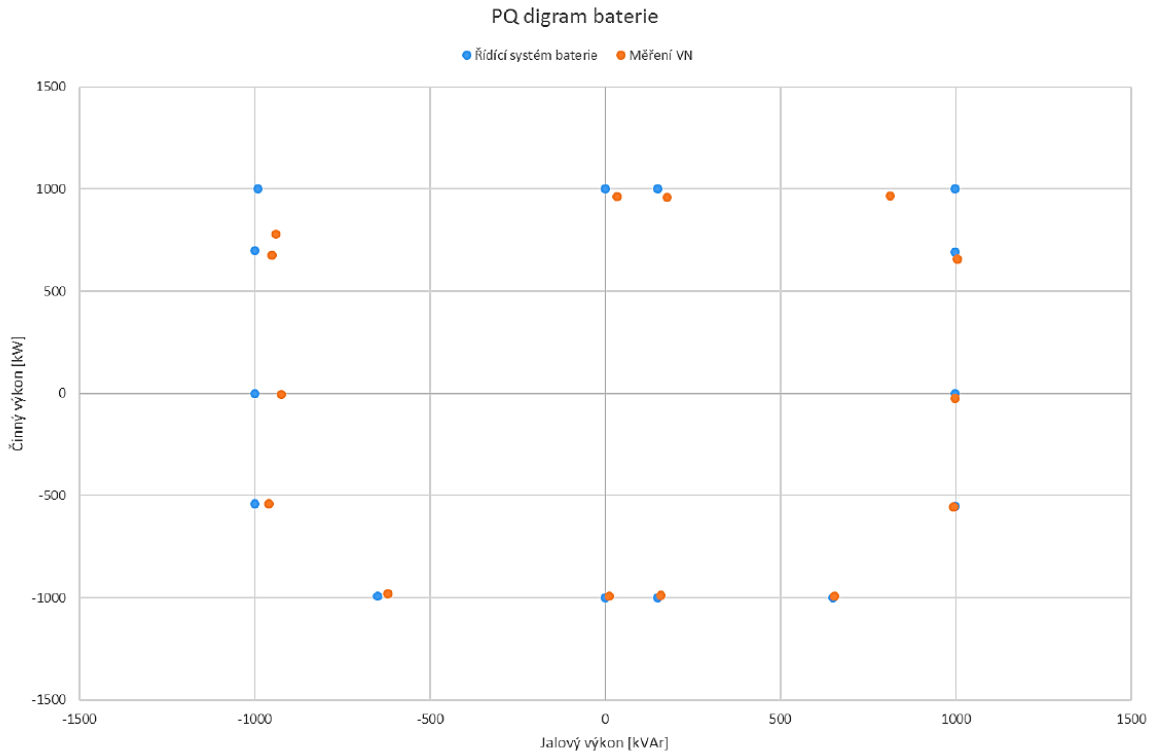


Obrázek 9: Tok činného výkonu a energie při provozních cyklech úložiště.

Účinnost baterie – Účinnost systému udává kolik energie je efektivně využitou. Pro akumulační zařízení odpovídá poměru celkové uložené a celkové získané energie. Měřením na NN hladině byla stanovena účinnost, v rámci dvou cyklů, na 89,2 % a 89,1 %. Jelikož bylo měření na kabelech NN prováděno přímo mezi baterií a střídači, odpovídá tato hodnota čisté účinnosti úložiště. Při druhém měření na elektroměru na VN byla stanovena účinnost na 86,9 % a 87,0 %. Měření na VN je prováděno za transformátorem 0,4/22 kV, tudíž je v této hodnotě zahrnuta i účinnost transformátoru. Účinnost ovlivňuje vlastní spotřeba jednotky, která byla měřena v rámci vyhodnocování účinnosti baterie. Při provozu baterie byl naměřen stálý odběr v průměru 2,05 kW, na baterii ovšem nebyly prováděny žádné testy a měření probíhalo v březnu. V případě nabíjení či vybíjení baterie a provozu všech ventilátorů a systémů uvnitř baterie může být spotřeba 2x – 3x vyšší. Pokud by došlo ke zhoršení klimatických podmínek a bylo potřeba chlazení nebo vytápění kontejneru, mohla by spotřeba dosahovat více než 12 kW.

PQ diagram baterie – PQ diagram popisuje schopnosti daného zařízení z hlediska dodávky činného a jalového výkonu. U mydlovarského úložiště byl v rámci měření ověřen jeho rozsah. Z hlediska bezpečného provozu úložiště byl omezen rozsah PQ diagramu na

± 1 000 kW (kVAr), přestože byla zjištěna vyšší okamžitá kapacita baterie (1 793 kWh). Naddimenzovány jsou i střídače, které mají celkový výkon 1 600 kVA, nicméně výsledný maximální rozsah PQ diagramu baterie je dán transformátorem, který má jmenovitý výkon pouze 1 250 kVA. Pro vynesení PQ diagramu byly použity hodnoty změřené na úrovni VN, jelikož právě tyto hodnoty budou ovlivňovat distribuční síť. Se stejným záměrem je navrhnut i řídicí systém baterie, proto obsahuje algoritmus zohledňující vlastní spotřebu baterie i ztráty na transformátoru. Na *Obrázku 10* je uveden finální PQ diagram baterie obsahující pro každý navolený režim vždy hodnotu zadanou do systému baterie a hodnotu změřenou na úrovni VN. Kromě dvou hodnot se všechny naměřené hodnoty blíží, nebo v několika případech dokonce shodují s navolenou hodnotou.



Obrázek 10: PQ diagram baterie.

2.5.3 Provozní diagram

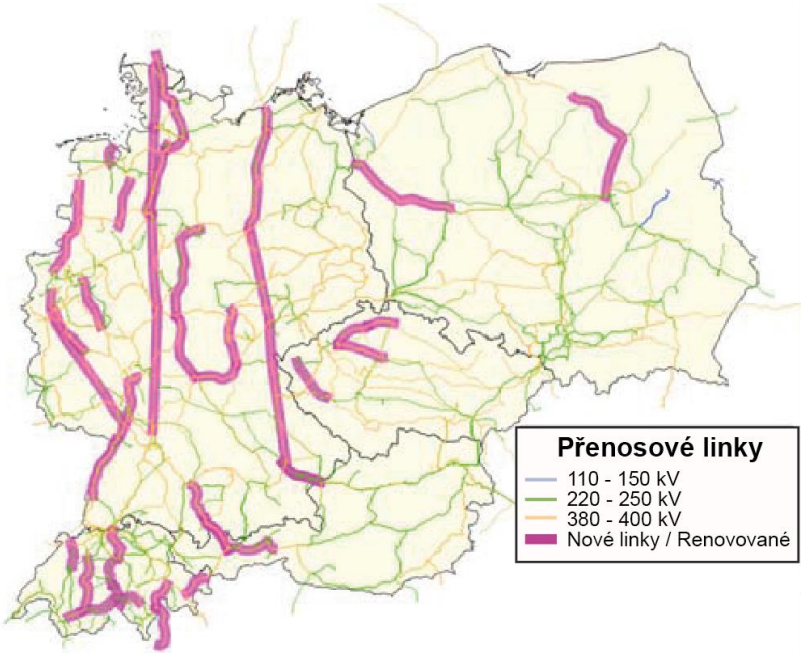
Zhodnocení provozního diagramu bateriového úložiště, který znázorňuje průběh činného výkonu v čase, typicky v průběhu 24 h, bylo konzultováno s pracovníky společnosti E.ON. Bateriové úložiště v Mydlovarech je využíváno zejména pro vyrovnávání odchylek obchodníka s elektrickou energií a jak bylo v rámci konzultace deklarováno, není zcela možné vysledovat periodický provozní diagram úložiště, jelikož samotné vyrovnávání probíhá online a závisí na proměnlivých faktorech, jako jsou například aktuální poptávka po

elektrické energii a proměnlivá výroba OZE. Je podstatně jednodušší vysledovat provozní diagram úložiště, které je provozováno ve spojení s OZE, například FVE. Jak lze vidět na *Obrázku 15* v následující kapitole, baterie využívaná pro časový posun energie z OZE má lépe viditelný periodický trend, kdy dochází k jejímu nabíjení v mimošpičkových hodinách, zejména v noci a v případě zvýšeného výkonu FVE i kolem poledních hodin, kdy je výkon FVE nejvyšší. K vybíjení pak dochází v době špičky. V důsledku zjištěných skutečností lze konstatovat, že provozní diagram bateriových úložišť obecně se výrazně liší v závislosti na jejich účelu a službách, které poskytuje.

3 Simulace nasazení BSAE do středoevropských přenosových soustav a ovlivnění trhu s elektřinou

Pro zjištění vlivu hromadného nasazování BSAE do elektrizační soustavy v mezinárodním měřítku provedla švýcarská laboratoř pro přeměnu energie (Laboratory for Energy Conversion – LEC) simulaci, která je popsána ve studii [16]. Tato simulace zjišťuje vliv velkokapacitních BSAE na přenosové sítě centrální Evropy, konkrétně se zaměřuje na Německo, Švýcarsko, Českou republiku, Polsko a Rakousko. Obdobné simulace byly v minulosti provedeny ve studiích [17]–[19] pomocí sítí IEEE Reliability Test System (RTS) [20], které umožňují porovnání rozdílných metodologií za použití stejného rozložení sítě a vstupních dat. Nicméně, nasazování BSAE je silně závislé na specifické topologii sítě a charakteristice lokálních zdrojů energie, proto je přínosnější provádět simulaci na skutečném systému přenosových sítí.

Cílem simulace bylo prozkoumat vliv BSAE na přenosovou síť centrální Evropy za pomoci georeferenčního přenosového a generačního modelu, tudíž je možné studovat tyto vlivy od mezinárodního měřítka až po rozlišování jednotlivých přenosových linek a zdrojů. Na *Obrázku 11* je zobrazeno celé rozložení sítě zahrnuté v simulaci, které je doplněno o nové či renovované linky plánované v desetiletém plánu rozvoje přenosové soustavy (Ten-Year Network Development Plan – TYNDP) [21] stanoveném evropskou sítí provozovatelů elektroenergetických přenosových soustav (European Network of Transmission System Operators for Electricity - ENTSO-E). Celý model obsahuje 720 rozvoden VN, 1 500 přenosových linek o celkové délce 72 000 km a systém 3 300 konvenčních (uhelné, jaderné a na bioplyn) a obnovitelných (vodní, větrné a solární) zdrojů energie.



Obrázek 11: Topologie simulovaných přenosových linek.

Náklady na nabíjení a vybíjení baterie jsou odvozeny z publikace [22], ve které jsou vytvořeny degradační mapy baterií popisující degradaci baterie jako funkci výkonu baterie a úrovně nabití (SOE). V simulaci se uvažuje lithium-iontová baterie typu LiFePO4, protože se předpokládá, že tento typ baterie bude v nadcházejících letech zahrnovat většinu podílu lithium-iontových baterií na trhu. Předpokládá se, že energetická kapacita (MWh) každého BSAE představuje trojnásobek maximálního výkonu (MW), což odpovídá reálným bateriovým úložištím, která se využívají na časový posun energie.

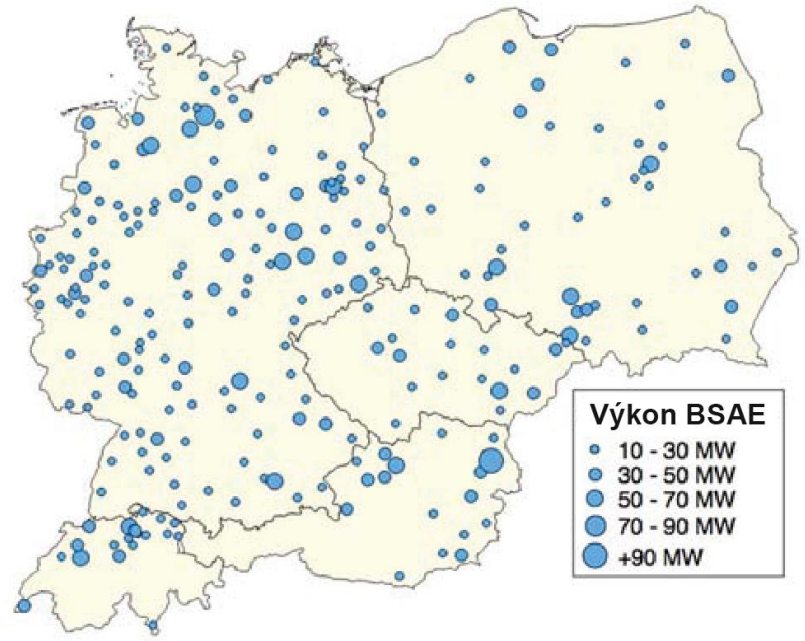
3.1 Simulační scénáře

Pro rok 2030 bylo vytvořeno celkem 10 scénářů, které se skládaly ze základního případu bez BSAE a 9 scénářů, které se liší v množství instalované kapacity BSAE a nákladech na kWh (€ / kWh). Specifikace scénářů jsou podrobně uvedeny v *Tabulce 6*. Každý scénář zahrnuje celkem 8760 simulací optimálního toku energie (OPF), které pokrývají každou hodinu v roce, s aktualizovanými omezeními pro spouštění, odchylkami a náklady vypočítanými pro tepelné generátory mezi každou hodinou. Hodinové importy a exporty se sousedními zeměmi jsou převzaty ze skutečných historických hodnot. Všech 9 scénářů, které obsahují BSAE, zahrnuje také 324 simulací víceúrovňového OPF (MOPF), z nichž se každá používá k určení časového plánu BSAE.

Tabulka 6: Podrobnosti jednotlivých simulačních scénářů.

Scénář		Instalovaná kapacita BSAE (Výkon / energie)	Náklady na BSAE (€ / kWh)
Základní		0 MW / 0 MWh	-
1	a	Výkon odpovídající 5 % maximálního zatížení	165
	b		125
	c	6 963 MW / 20 889 MWh	85
2	a	Výkon odpovídající 10 % maximálního zatížení	165
	b		125
	c	13 926 MW / 41 778 MWh	85
3	a	Výkon odpovídající 15 % maximálního zatížení	165
	b		125
	c	20 889 MW / 62 667 MWh	85

Kapacita BSAE byla přidělena každé zemi samostatně, přičemž umístění bylo vybráno na základě relativní poptávky každé rozvodny podle místního množství obyvatel a komerčních a průmyslových lokalit. BSAE je nainstalován v rozvodně pouze tehdy, pokud by zde, v případě scénáře 1, bylo možné ospravedlnit nasazení 10MW baterie. Výsledkem je 250 systémů BSAE nasazených napříč pěti zeměmi. Ve scénářích 2 a 3 jsou využita stejná umístění, pouze s upraveným výkonem baterií. Výkony nasazených baterií pro scénář 1, varianty a, b, c jsou znázorněny na *Obrázku 12*.



Obrázek 12: Instalované výkony baterií pro scénář 1, varianty a, b, c.

V *Tabulce 7* jsou uvedeny celkové kapacity OZE (větrná a solární energie), převzaté z desetiletého plánu rozvoje sítě (TYNDP) 2016, z 2. scénáře.

Tabulka 7: Celková kapacita OZE dle země pro rok 2030.

	Rakousko	Švýcarsko	Česká republika	Německo	Polsko
Solární (MW)	2 000	1 750	2 560	46 860	500
Větrné (MW)	3 880	120	580	61 200	6 450

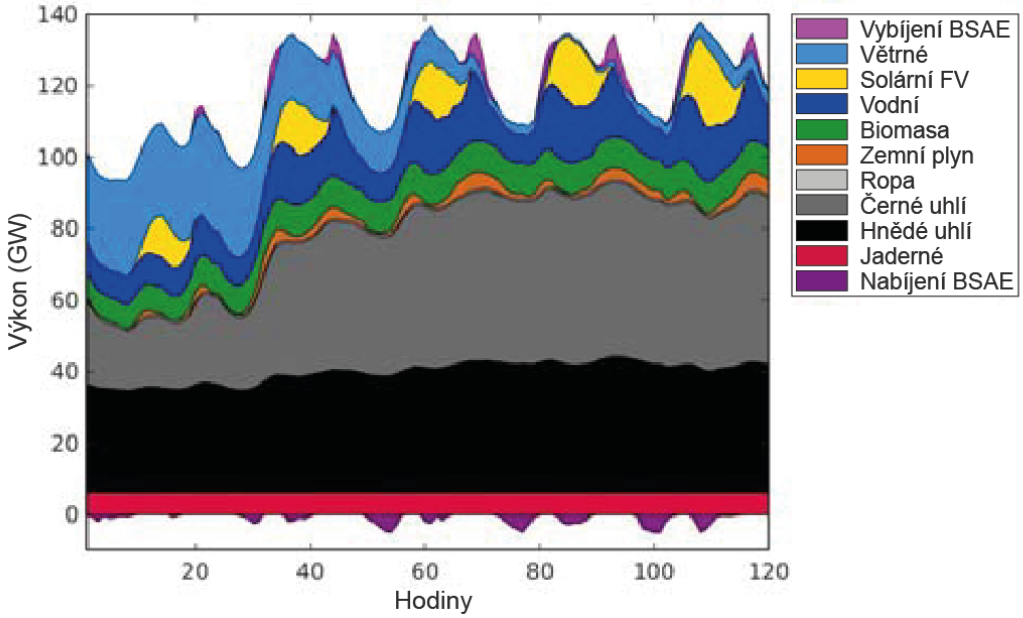
Nutno podotknout, že momentálně existují aktuálnější, tudíž možná přesnější analýzy budoucího rozvoje OZE. Například studie společnosti Deloitte [23],která již počítá s nařízením evropské unie o zvýšení podílu OZE do roku 2030. V této studii jsou uvedeny 3 různé scénáře – scénář NKEP (Národní Klimaticko-Energetický Plán), Realistický scénář a Kogenerační scénář. Scénář NKEP připouští velice mírný nárůst instalovaného výkonu OZE a většinu nárůstu výkonu předpokládá v oblasti větrných elektráren a spaloven. Realistický scénář je postaven na předpokladu výrazného poklesu ceny fotovoltaické technologie. Fotovoltaické elektrárny se pak mohou, při scénáři rostoucí ceny za kWh, stát okolo roku 2025 tržně konkurenční a jejich výstavbu tak není třeba výrazně podporovat ze státního rozpočtu. Posledním scénářem je Kogenerační, který využívá stejně jako realistický scénář prioritně rozvoj solárních a větrných elektráren. Instalovaný výkon větrných elektráren zůstává stejný, nicméně instalovaný výkon solárních elektráren je snížen, což je umožněno díky výraznému nárůstu výroby elektřiny u bioplynových stanic a biomasy. Hodnoty instalovaných výkonů větrných a fotovoltaických elektráren pro všechny 3 scénáře jsou uvedeny v *Tabulce 8*.

Tabulka 8: Instalované výkony solárních a větrných elektráren pro rok 2030 (data převzata z [23]*).*

	NKEP	Realistický	Kogenerační
Solární (MW)	2 232,2	9 000	6 850
Větrné (MW)	763,2	1 400	1 400

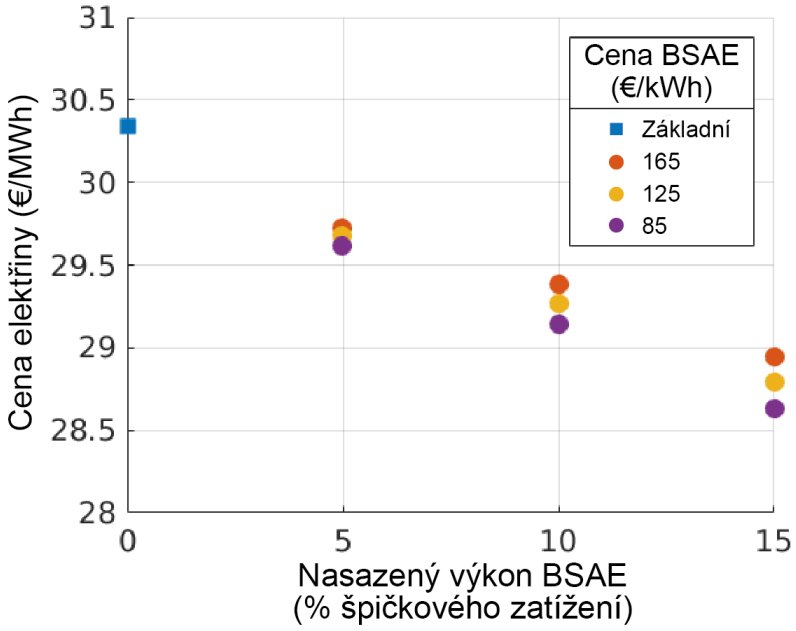
3.2 Výsledky simulace

Na *Obrázku 13* je vyobrazen pětidenní diagram zatížení simulované sítě, na kterém jsou znázorněny vybíjecí a nabíjecí cykly BSAE. Dle předpokladů se BSAE vybíjejí ve špičkách, a to v ranních hodinách kdy roste poptávka a během pozdních večerních špiček. K nabíjení dochází dle očekávání mimo špičkové časy, v některých dnech ovšem dochází k dobíjení baterie i mezi ranní a večerní špičkou, což je způsobeno maximálním výkonem fotovoltaických elektráren.



Obrázek 13: Pětidenní diagram zatížení simulované sítě.

Pro všech 10 simulačních scénářů byl dále zkoumán vliv na cenu elektřiny (€ / MWh). Oproti základnímu scénáři, při kterém nebyly do sítě nasazeny žádné bateriové systémy, došlo ve všech ostatních scénářích ke snížení ceny elektřiny. Podle výsledků uvedených v grafu na *Obrázku 14* lze jednoduše vysledovat souvislost mezi cenou elektrické energie a velikostí celkového instalovaného výkonu nasazených BSAE. Při zvyšování instalovaného výkonu BSAE dochází ke snižování ceny za 1 MWh, přičemž při nasazení bateriových úložišť o celkovém instalovaném výkonu 15 % maximálního zatížení dané země (scénář 3) došlo ke snížení ceny elektřiny až o přibližně 5,9 %.



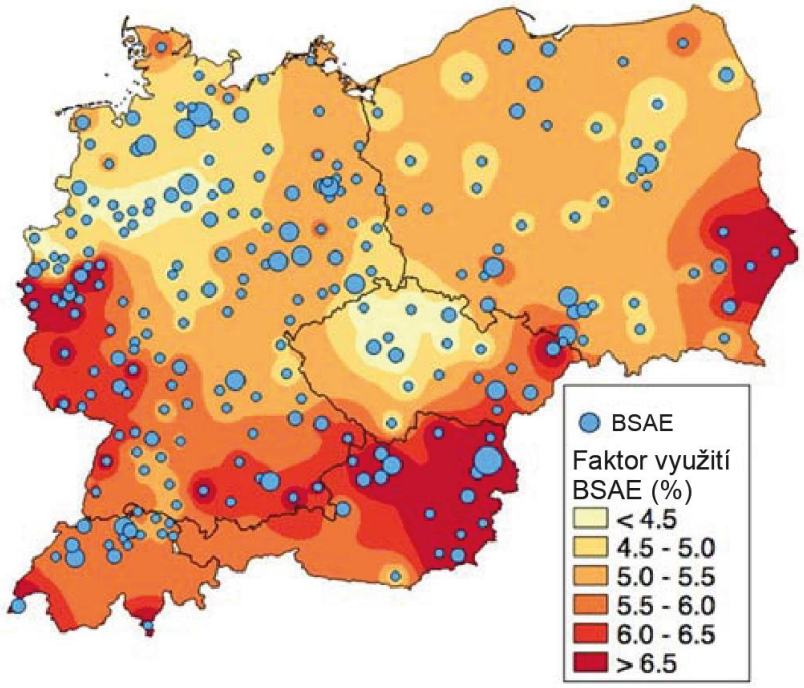
Obrázek 14: Cena elektřiny pro různé úrovně nasazení BSAE a různé bateriové náklady.

Průměrné faktory využití BSAE jsou silně závislé na nasazeném výkonu, jak je vidět v *Tabulce 9*, s vyššími instalovanými výkony dochází k nižšímu průměrnému využití systémů BSAE. V publikaci je uvedeno, že baterie je uvedena do provozu (nabíjení/vybíjení) pouze tehdy, když celkové snížení nákladů na elektřinu převyšuje náklady spojené s degradací, kterou baterie podléhají. To lze opět zpozorovat v tabulce, kdy při stejném scénáři mají „levnější“ úložiště vyšší faktor využití. Provoz jednotlivých BSAE také závisí na ostatních bateriích a na síti. Optimalizace umístění a velikosti úložišť by tedy mohla zajistit vyšší faktory využití. Větrná a solární fotovoltaická energie je podle naměřených hodnot méně omezována při větším nasazení BSAE, přičemž snížení omezení sluneční energie vykazuje nejvýraznější účinek.

Tabulka 9: Procentní využití BSAE a omezení větrného a solárního výkonu.

Scénář		Průměrný faktor využití BSAE (%)	Omezení větrného výkonu (%)	Omezení solárního výkonu (%)
Základní		-	3,81	5,64
1	a	7,72	3,31	4,51
	b	7,97	3,25	4,45
	c	8,24	3,17	4,36
2	a	4,94	2,88	3,5
	b	5,43	2,81	3,45
	c	5,77	2,75	3,37
3	a	4,17	2,54	2,93
	b	4,58	2,46	2,85
	c	4,88	2,37	2,75

Prostorové rozložení faktorů využití dosažených jednotlivými systémy BSAE je zobrazeno na *Obrázku 15* a ukazuje, že systémy BSAE umístěné v západním a jižním Německu i v Rakousku jsou využívány nejvíce. Je to kvůli vysoké kapacitě větrné energie na severu Německa, která vyrábí energii za nízké mezní náklady a která je přepravována a skladována v oblastech vysoké poptávky v době mimo špičku, zatímco větší kapacita solární energie na jihu je využívána k nabíjení blízkých systémů BSAE. Využití BSAE je také ovlivněno místní poptávkou.



Obrázek 15: Mapa prostorového rozložení faktoru využití BSAE.

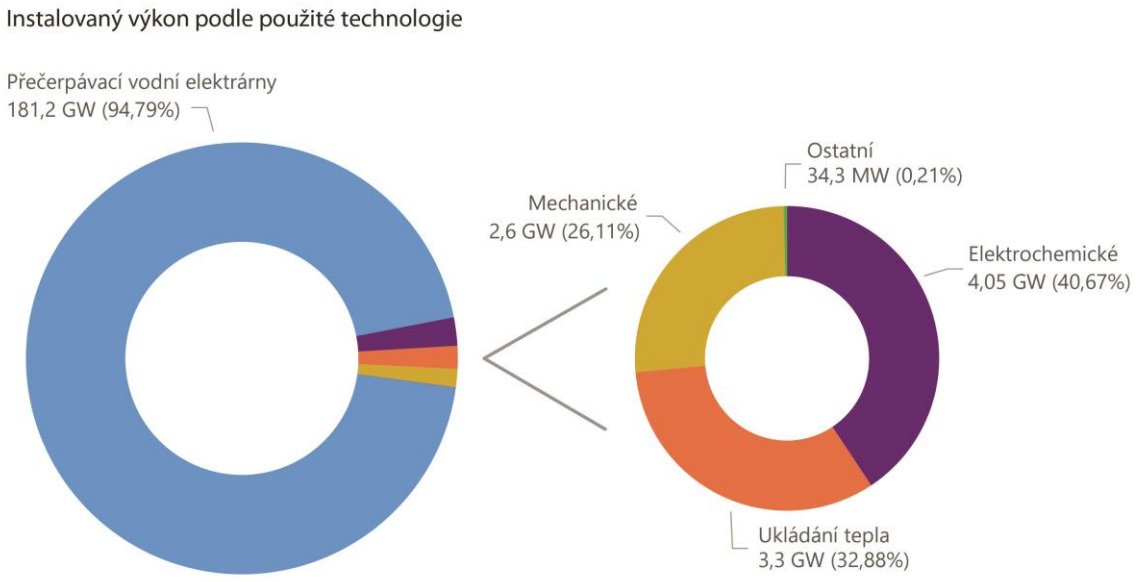
Bateriové systémy byly v simulaci využity pouze k časovému posunu energie, za účelem optimálních toků energie. Vyrovnáváním diagramu zatížení zajistily větší efektivity sítě a snížily omezování elektřiny z OZE, ke kterému běžně dochází (u FV panelů o více než 50 %). Výsledkem implementace BSAE do přenosových sítí je snížení ceny elektřiny, a to i v situaci, kdy nebyly optimálně využívány všechny nasazené bateriové systémy. Je důležité poznamenat, že bateriové systémy mohou, kromě časového posunu, souběžně poskytovat i řadu dalších služeb, které v simulaci nejsou vůbec zhodnoceny, což jim uděluje další přidanou hodnotu.

4 Aktuální situace bateriových úložišť ve světě

Kapitola je rozdělena do dvou částí. První část se zabývá současným stavem nasazených bateriových úložišť ve světě, s ohledem na instalovaný výkon a počet projektů. Zároveň je v první části předložena interaktivní databáze akumulačních zařízení ve světě. Druhá část se zabývá legislativním ukotvením akumulačních zařízení, formou rešerše zahraničního přístupu.

4.1 Projekty bateriových úložišť

Zmapování aktuálního stavu bateriových úložišť ve světě je poněkud komplikované. Toto téma je velmi nové a přesto, že se dají nalézt některé dostupné informace, ne vždy jsou úplné a relevantní. Poměrně velký problém je, že informace nejsou unifikované, což souvisí s rozdílným charakterem provozování sítí v různých zemích. Nastává pak situace, kdy pro jedno označení v USA existují tři významy v ČR a naopak. Díky intenzivnímu rozvoji této technologie je také obtížné získat informace aktuální. V této kapitole budu pracovat s daty získanými z velmi obsáhlé databáze spravované americkým Department of Energy [24], kam jsou průběžně doplňovány existující projekty pro akumulaci elektrické energie.



Obrázek 16: Procentní graf instalovaného výkonu technologií pro akumulaci.

Na *Obrázku 16* je zobrazen graf procentního podílu technologií využívaných pro akumulaci energie. Tento graf ukazuje, že téměř 95 % výkonu akumulačních zařízení pokrývají PVE a že ve zbylých 5 % jsou obsaženy ostatní technologie jako mechanické,

elektrochemické, chemické a elektromagnetické. Přečerpávací vodní elektrárny obvykle představují velká několika megawattová zařízení, typicky v řádech stovek MW. Velkými instalovanými výkony se vyznačují také elektrárny na stlačený vzduch (CAES), které mohou taktéž dosahovat výkonů v řádech stovek MW.

Elektro-chemická zařízení, neboli baterie, se vyznačují poněkud menšími výkony, nicméně jejich počet, díky přednostem vyjmenovaným v kapitole 2, rapidně roste a dnes již představuje na úrovni jednotlivých států nezanedbatelný akumulační výkon. V *Tabulce 10* jsou uvedeny statistiky jednotlivých zemí, s ohledem na celkový instalovaný výkon v bateriích a počet projektů. Například ve Spojených státech amerických dosáhl celkový instalovaný výkon v bateriích téměř 2 117 MW. Austrálie se proslavila v roce 2017 svým 100MW bateriovým úložištěm od společnosti Tesla. Nyní je v Austrálii evidováno přes 300 MW instalovaného výkonu v bateriích. V Asii pak vedou Japonsko a Čína, u kterých přesahuje bateriový instalovaný výkon 259 a 258 MW. Dalším v pořadí je Jižní Korea s instalovaným výkonem v BSAE přes 175 MW.

V rámci Evropy jsou pak hlavními lídry v akumulaci do baterií Anglie, Německo, Itálie a Nizozemsko. V Anglii je deklarováno přes 3,3 GW (147 projektů) instalovaného výkonu ve fungujících a plánovaných projektech bateriových úložišť. Vyfiltrováním z databáze anglického Department for Business, Energy & Industrial Strategy je v Anglii přes 526 MW aktuálně fungujících velkokapacitních BSAE. Databáze obsahuje projekty pro celé Spojené Království (Anglie, Severní Irsko, Skotsko a Wales) pro které je evidováno přes 3,7 GW instalovaného výkonu v bateriích (185 projektů), z nichž necelých 583 MW (38 projektů) aktuálně funguje. V Anglii je rostoucí zájem o BSAE výrazně podpořen poskytováním tzv. Enhanced frequency control (EFC), kterou jsou schopny poskytovat právě bateriová úložiště. Tato služba byla zavedena za účelem zvýšení bezpečnosti a stability sítě, jelikož anglická elektrizační soustava funguje jako jakýsi ostrovní provoz, propojený s ostatními státy pouze omezeně. Na celkovém instalovaném výkonu a počtu projektů lze vypozorovat směřování Anglie k větším instalacím. Dalším evropským průkopníkem je Německo, které se se svými 401 MW staví na druhé místo v rámci Evropy a dle odhadů toto číslo dále intenzivně poroste. V Německu byl zaznamenán také velmi intenzivní rozvoj a nárůst instalovaného výkonu v domácích bateriích (HSS). V HSS bylo na konci roku 2018 instalováno 415 MW celkového výkonu, čítající 125 000 projektů[25]. V Itálii jsou momentálně provozovány baterie o celkovém výkonu přibližně 80 MW. Mezi další evropské

země ukotvující akumulaci bateriovými úložišti patří například Nizozemsko (20,75 MW), Francie (12,9 MW) a Portugalsko (6 MW).

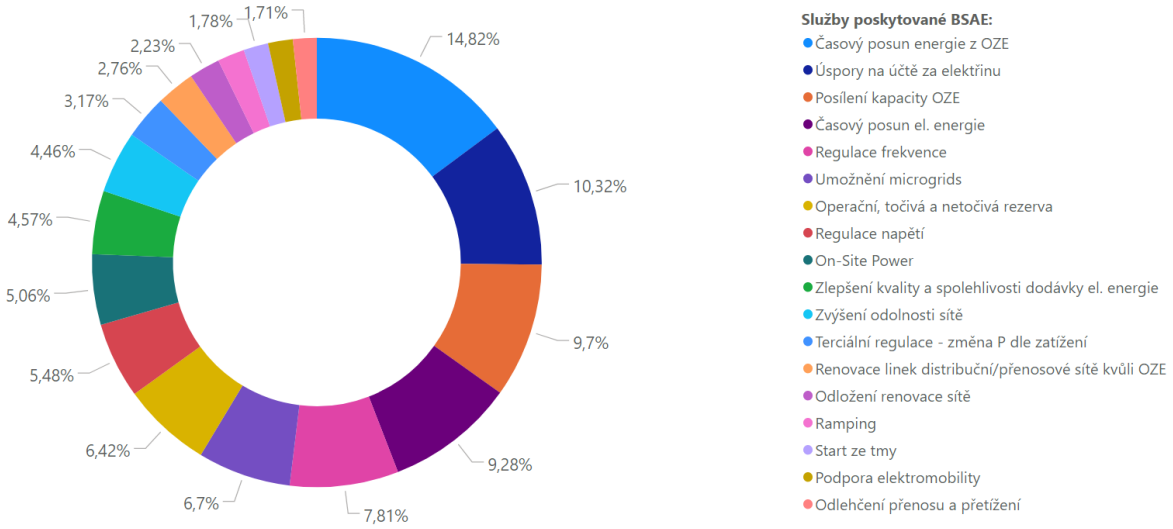
Tabulka 10: Přehled instalovaných výkonů a počtů instalací bateriových systémů nad 1 MW.

Evropa			Asie		
Země	Instalovaný výkon (kW)	Počet projektů	Země	Instalovaný výkon	Počet projektů
Anglie[2]	526 000	32	Japonsko	259 279	31
Německo[3]	401 300	59	Čína	258 500	24
Itálie	79 480	22	Jižní Korea	175 750	21
Nizozemsko	20 750	4	Indie	110 000	2
Francie	12 900	6	Kazachstán	25 000	1
Portugalsko	6 000	1	Jordánsko	20 000	1
Španělsko	4 000	4	Filipíny	10 000	1
Finsko	3 200	2	Spojené Arabské Emiráty	8 000	1
Dánsko	1 200	1	Indonésie	4 400	1
Švýcarsko	1 000	1	Hong Kong	4 000	2
Irsko	1 000	1	Rusko	3 000	2
Faerské ostrovy	2 300	1	Katar	2 000	1
Britské Panenské ostrovy	1 000	1	Amerika		
Francouzská Polynésie	1 000	1	Země	Instalovaný výkon	Počet projektů
Česká republika	0	0	Spojené státy	2 116 939	155
			Chile	64 000	4
Afrika			Kanada	57 100	16
Země	Instalovaný výkon	Počet projektů	Rovníková Guinea	5 000	1
Rwanda	2 680	1	Antigua a Barbuda	3 000	1
Nigérie	1 100	1	Martinik	2 472	1
			Bolívie	2 200	1
Austrálie	302 400	18	Francouzská Guyana	1 600	1

Graf na *Obrázku 17* znázorňuje procentní využití BSAE na celém světě pro konkrétní účel / službu. Jelikož zdrojová databáze obsahuje příliš mnoho druhů služeb, v grafu jsou některé korespondující služby zahrnuty v širších, řádně popsaných kategoriích. Z grafu je zřejmé, že možností využití bateriových systémů je mnoho a skutečně zahrnují služby poskytované v propojení s elektrárnou (klasickou či OZE), služby v přenosové a distribuční

[2] Celkový instalovaný výkon a počet projektů je doplněn z oficiální databáze anglického Department for Business, Energy & Industrial Strategy.[42]
[3] Celkový instalovaný výkon a počet projektů je doplněn z publikace [25].

soustavě i na úrovni NN, přímo u spotřebitele. V tomto kontextu je nutné si uvědomit, že jedno bateriové úložiště může, v případě správného zvolení instalovaného výkonu a umístění, poskytovat více než jednu službu současně. Jak lze vidět v grafu, nejčastějším použitím BSAE je pro časový posun energie z OZE (cca 15 %), což dokazuje, že přechod světové energetické struktury na „čistší“ jde ruku v ruce s rozvojem a nasazováním bateriových systémů, které všude po světě pomáhají s integrací intermitentních zdrojů do elektrizačních soustav při udržení jejich stability a spolehlivosti. Druhým nejčastějším účelem BSAE jsou úspory na účtu za elektřinu (10,32 %), kdy bateriový systém umožňuje vlastníkovi čerpat z něj energii v době špičky, když je nejvyšší poptávka a zároveň i systémové poplatky. Baterie se pak dobíjí mimo špičku „v noci“ levnější elektřinou. V případě že je baterie v kombinaci FV panelem, umožňuje vlastníkovi ukládat a čerpat vlastní elektřinu a nepotřebuje ji tím nakupovat ze sítě. Kromě již zmiňovaného časového posunu elektrické energie je další nejčastější službou poskytovanou baterií regulace frekvence (cca 8 %).



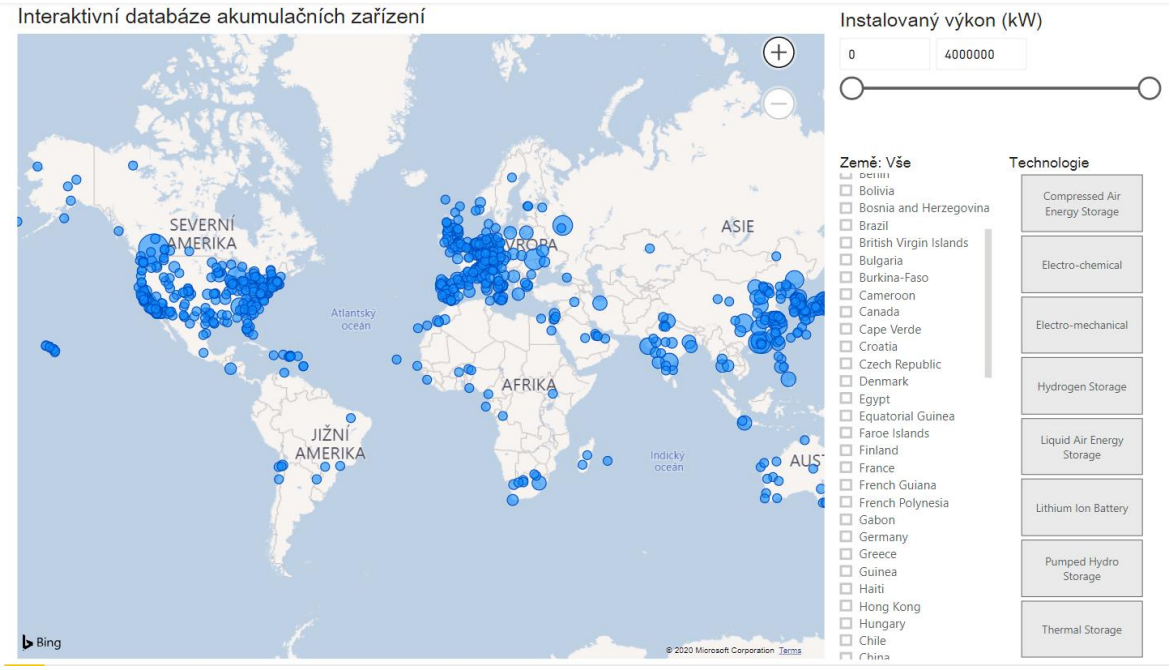
Obrázek 17: Procentní znázornění služeb, pro které se BSAE využívají.

4.1.1 Interaktivní celosvětová databáze

V souvislosti se zdrojovou databází jsem vytvořil grafickou globální interaktivní databázi, ve které je možné pomocí ukazatele myši zobrazit na mapě světa konkrétní projekty s geografickým ukotvením a zjistit základní informace jako místo instalace (země a město), instalovaný výkon v kW, název projektu a využití / službu kterou poskytuje. Dále je interaktivní mapa doplněna o posuvný filtr, umožňující zvolení rozsahu zobrazovaných výkonů, zaškrtávací seznam, který umožňuje zaměření pouze na některé země a tlačítkové

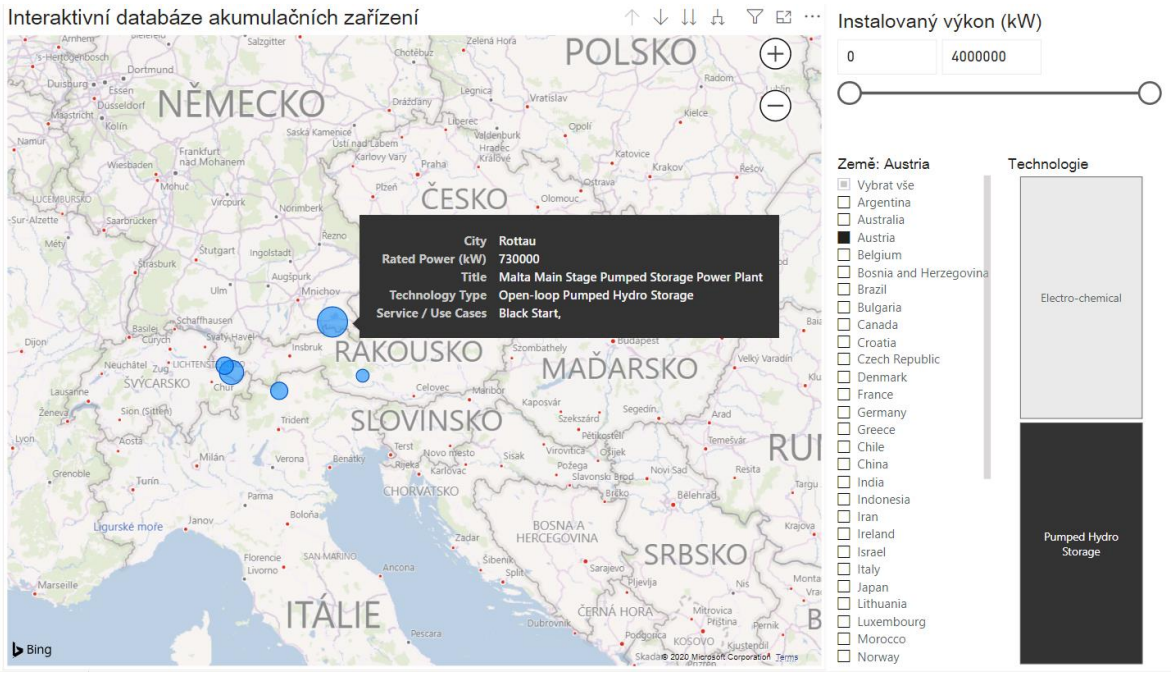
rozhraní, filtrující projekty podle použité technologie. Celá databáze je implicitně omezena na projekty s instalovaným výkonem > 1 MW a je realizována pomocí programu Power BI, od společnosti Microsoft. Na *Obrázku 18* je náhled kompletní databáze bez zvoleného filtrování. V tomto případě je na mapě světa zobrazováno přibližně 1 700 zařízení provozovaných pro účely akumulace elektrické energie.

Smyslem této databáze bylo vytvořit uživatelsky příjemné rozhraní, ve kterém lze velmi rychle a graficky přívětivě filtrovat akumulační zařízení po celém světě, která jsou geograficky zasazená do reálné mapy a umožní tak uživateli udělat si rychle a jednoduše přehled o projektech v rámci krajů, zemí, států či světadílů a dále blíže prozkoumat použité technologie, jejich instalované výkony a služby pro které jsou provozovány a které přináší elektrizační soustavě. Účel této databáze je tedy informativní či pedagogický a vzhledem k dostupnosti informací týkajících se akumulace elektrické energie pomocí bateriových systému je databáze, dle mého názoru velmi přínosná. U zdrojové databáze jsem narazil na určitou nekonzistentnost dat u několika evropských zemí, což je pravděpodobně následkem původu zdrojové databáze (USA) a velmi rychlého nárůstu bateriových projektů v daných zemích, například v Anglii a Německu. Kromě těchto nesrovnalostí je databáze doplněná a aktuální k 18. 2. 2020.



Obrázek 18: Náhled interaktivní celosvětové databáze akumulačních zařízení.

Obrázek 19 zobrazuje náhled databáze při zaškrtnutí země "Austria" a přečerpávacích vodních elektráren. Instalovaný výkon je ponechán v plném rozsahu. Tímto způsobem se tedy na mapě zobrazí všechny rakouské přečerpávací vodní elektrárny do 4 GW instalovaného výkonu a konkrétnější údaje se potom zobrazují při ukázání myší na bublinu. U každého zařízení se zobrazí město, instalovaný výkon, název, použitá technologie a poskytované služby / účel.



Obrázek 19: Zobrazení rakouské vodní přečerpávací elektrárny Rottau.

4.2 Zahraniční legislativa

Kapitola se zaměřuje na legislativní situaci v zahraničí, se zaměřením na nejpokrokovější země v oblasti akumulace pomocí BSAE. V Evropě jsou bezpochyby hlavními lídry Velká Británie a Německo, kteří mimo jiné i výrazně převyšují svým akumulačním výkonem v bateriích ostatní evropské země. V Anglii působí regulátor OFGEM, který je paralelou k našemu Energetickému Regulačnímu Úřadu (ERÚ). V celosvětovém měřítku jsou pak lídrem Spojené Státy Americké (USA). V rámci USA je jednoznačným lídrem, a co je důležitější i průkopníkem, Kalifornie. Ta provozuje a zároveň testuje provoz bateriových úložišť na všech napěťových úrovních již několik let. Kalifornie je regulována komisí pro veřejné služby (CPUC) a Kalifornským nezávislým provozovatelem systému (CAISO).

Za účelem zhodnocení zahraničního přístupu k nasazování bateriových úložišť do elektrizační soustavy jsem také kontaktoval hlavní autory publikací, týkajících se konkrétních bateriových instalací. K těmto autorům jsem se dostal přes přednášené projekty na mezinárodní konferenci CIRED v Madridu. Posouzení zahraničního přístupu k rapidně se vyvíjejícím bateriovým systémům je, dle mého názoru, nejlépe uchopitelné přímo z praktických zkušeností jednotlivých zainteresovaných stran, ať už provozovatelů přenosových sítí, provozovatelů distribučních sítí nebo vlastnící společnosti daného zařízení.

4.2.1 Spojené Království

Podobně jako v ostatních zemích Evropy, i Spojené Království (UK) se zavázalo ke snižování uhlíkové stopy. Již v roce 2008 stanovil zákon o změně klimatu (Climate Change Act) cíl 80% snížení emisí skleníkových plynů do roku 2050, oproti základnímu stavu v roce 1990. Ve stejném roce stanovilo Ministerstvo pro energetiku a změnu klimatu (Department for Energy and Climate Change) cíl bezpečnosti, cenové dostupnosti dodávek elektrické energie a dekarbonizace. Bateriová úložiště těží z režimů podpory pro energii z OZE, které zvyšují ziskovost těchto instalací. Mezi další mechanismy, které podporují rozvoj OZE, patří systém výkupních cen s pevnými sazbami pro elektrárny pod 5 MW a systém kvót pro dodavatele nad 5 MW, který jim ukládá dodávat určitou část obnovitelné energie z jejich celkové dodávky. Rozvoj OZE také podporuje systém smluv o rozdílech, prostřednictvím kterého je dodavateli energie s nízkými emisemi uhlíku vyplácen rozdíl mezi cenou upravenou o nízkouhlíkové náklady a průměrnými britskými tržními cenami energie. Využívání OZE také podporuje zdaňování využívání fosilních paliv pro komerční a průmyslové uživatele. Obnovitelné zdroje energie nemají v UK nastavené žádné upřednostnění z hlediska dodávání obnovitelné energie.

Pokud se zaměříme přímo na bateriové systémy, britská vláda pracuje na odstranění několika regulatorních a politických překážek s cílem vytvořit udržitelný energetický systém a průmysl bateriových úložišť, který není závislý na dotacích. Opatření stále nejsou implementována do národní legislativy, ale díky mnoha vyjádřením zainteresovaných stran, otevřeným komunikacím a vyjádřením OFGEMU, lze určit směr, jakým se Anglie při vytváření regulatoriky ubírá. Mezi hlavní řešená témata patří:

- Definice akumulačních zařízení

- Úprava licence na výrobu elektřiny pro zahrnutí akumulace
- Nepřiměřené poplatky za provoz akumulačního zařízení
- Zákaz PDS provozovat akumulační zařízení za účelem vytvoření fungujícího nediskriminačního trhu

Úprava licence na výrobu elektřiny a definice akumulačního zařízení – Anglický regulátor OFGEM navrhuje, aby se vyjasnil regulační rámec pro akumulaci, včetně konzultací o zákonných změnách standardních podmínek licence na výrobu elektřiny. Pokud budou tyto změny implementovány, přidá se do standardních podmínek licence na výrobu elektřiny definice „akumulace elektrické energie“ a „akumulační zařízení“, čímž se vyjasní, jaké činnosti jsou držitelé licence oprávněni vykonávat na základě licence na výrobu. Definice zní takto: „*Akumulační zařízení* je zařízení, ve kterém dochází k akumulaci elektrické energie. *Akumulace elektrické energie* je přeměna elektrické energie do formy energie, která může být skladována, skladování této energie, a následná zpětná přeměna této energie zpět do elektrické energie. *Akumulační zařízení* nesmí mít jako hlavní funkci vlastní spotřebu.“ [26] Změny rovněž pomohou zajistit, aby provozovatelé akumulačních zařízení nepodléhali poplatkům za konečnou spotřebu. Pro usnadnění správné identifikace licencovaných zařízení jako akumulace elektřiny a správného výpočtu příslušných poplatků jinými stranami bude zaveden požadavek, aby poskytovatelé akumulačních zařízení zaznamenávali a zpřístupňovali informace o svých akumulačních činnostech. Konzultace vznesla řadu zásadních politických a právních otázek. Mezi poskytované informace patří:

- Typ technologie, výkon a kapacita akumulačního zařízení.
- Kde a ke které přenosové nebo distribuční síti je akumulační zařízení připojeno.
- Je-li akumulační zařízení umístěno ve stejném areálu jako konečný spotřebitel (spotřebitelé), jak je, nebo jsou propojeni, a vztah mezi konečným spotřebitelem (spotřebiteli) a držitelem licence.
- Zavedená opatření pro měření mezi akumulačním zařízením a konečným spotřebitelem v areálu akumulačního zařízení.

Držení licence na výrobu:

- Osvobodí držitele licence od placení poplatků za konečnou spotřebu, pokud se dovážená elektřina použije pouze pro činnosti akumulace elektřiny.

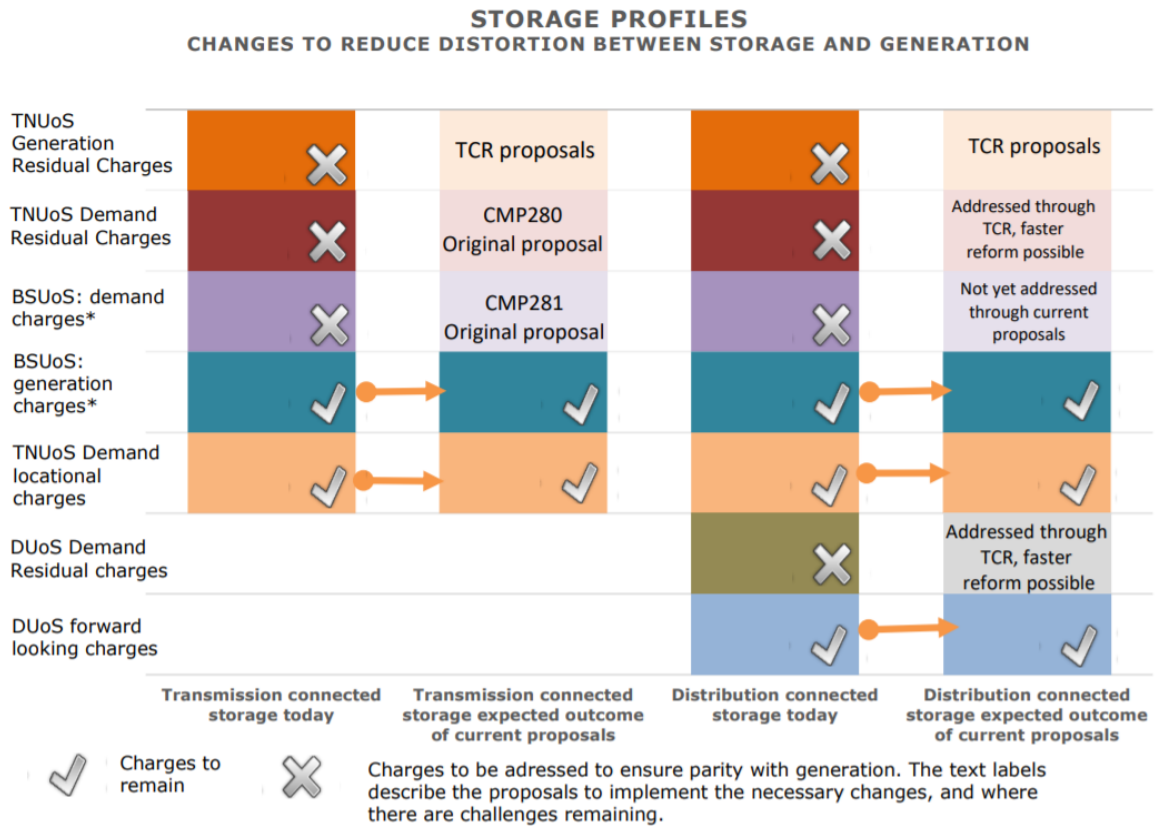
- Bude v závislosti na kapacitě svých akumulačních zařízení a poskytovaných službách vyžadovat, aby se držitelé licence přihlásili k průmyslovým kódům.

Poplatky za provoz BSAE – Anglický regulátor OFGEM navrhl v dokumentu Tatgeted Charnging review [27] změny v současném stavu poplatků za provoz akumulačních zařízení jak v přenosové, tak v distribuční soustavě. Na *Obrázku 20* jsou znázorněny stávající poplatky, kterými jsou bateriová úložiště zatížena a budoucí stav, v případě schválení navrhovaných změn. Z pohledu OFGEMu a mnoha dalších zainteresovaných stran[28] by akumulační zařízení neměla být zatížena spotřebními poplatky v přenosové, ani distribuční síti a zároveň by měla platit systémové poplatky pouze jednou. Pro tento účel byly navrženy úpravy kodexu přenosové sítě CMP280 a CMP281 a změny současné metodologie poplatků v distribuční síti DPC341 a DPC342.

- **CMP280** – Vytvoření nového tarifu „TNUoS demand tariff“ který odstraňuje odpovědnost výroben a akumulačních zařízení za placení residuálních TNUoS poplatků na straně spotřeby („TNUoS Demand Residual Charges“)

- **CMP281** – Odstranění BSUoS poplatků za energii odebranou ze sítě akumulačními zařízeními.

- **DPC341 a DPC342** – Odstranění residuálních poplatků pro akumulační zařízení v distribuční soustavě.



Obrázek 20: Změny v poplatcích v přenosové a distribuční síti ovlivňující akumulační zařízení.[29]

Vlastnictví akumulačních zařízení – Protože síťové společnosti (PPS, PDS) ovládají infrastrukturu potřebnou pro obchod se službami v oblasti energie a flexibility, mají schopnost omezit činnosti účastníků trhu tím, že jim odepřou (nebo jiným způsobem znemožní) jejich přístup k síti. Pokud se síťová společnost rovněž účastní konkurenčního trhu, může mít silnou motivaci využít tuto schopnost k získání nespravedlivé výhody nad ostatními účastníky. Mohou také existovat situace, kdy má PPS nebo PDS informace dostupné pro širší trh, což by jim mohlo poskytnout nepřiměřenou výhodu v konkurenčních činnostech. V případě sítí vlastněného a provozovaného úložiště mohou zkreslení nebo uzavření trhu ovlivnit nejen nasazování úložišť třetími stranami, ale také zavádění jiných forem flexibility, jako reakce na straně spotřeby (Demand Side Response – DSR) nebo jiných flexibilních generátorů, kteří poskytují stejné nebo podobné služby na stejných trzích. To zase může mít dopad na jiné trhy, včetně trhu pro komerční agregaci. Anglie má zavedený konkurenční trh služeb pro agregaci flexibility, který má potenciál přinést spotřebitelům významné výhody tím, že usnadní její širší poskytování.[30]

Z výše zmíněných důvodů OFGEM navrhuje zavést do licence na distribuci elektřiny novou podmínku, aby se zajistilo, že provozovatelé distribučních sítí (PDS) nebudou moci provozovat ani vlastnit akumulační zařízení. Přesto existuje několik činností a velmi specifických okolností, za kterých by bylo přijatelné, aby PDS provozoval akumulační zařízení. Návrh proto poskytuje i mechanismus pro PDS k provozování úložiště, ale pouze s výslovným svolením regulátora OFGEM. Současně OFGEM očekává, že tyto okolnosti budou velmi omezené, a že PDS bude zodpovídat za to, aby v každém případě zajistil, že je takové úložiště v nejlepším zájmu zákazníků a není škodlivé pro hospodářskou soutěž. Okolnosti, za kterých může PDS vlastnit, a provozovat akumulační zařízení jsou:

- **Zdroje nepřerušovaného napájení (UPS)** – jedná se o zařízení používaná v rozvodnách a dalších lokalitách k zajištění napájení kritických zařízení při výpadku, což umožňuje PDS bezpečně spravovat svůj systém. Tato zařízení nedodávají elektřinu do sítě a jsou nezbytná pro bezpečný, efektivní a spolehlivý provoz distribučních sítí.

- **Nouzová úložiště pro zajištění kontinuity dodávek v případě výpadku –** menší mobilní bateriové jednotky vlastněné PDS pro zajištění dodávek elektřiny zákazníkům. OFGEM uznává, že zákazníci mají z těchto aplikací prospěch díky lepší spolehlivosti a zabezpečení dodávek, a nemyslí si, že tyto aplikace nutně vyvolávají výše popsané obavy.

4.2.2 Finsko

Legislativní situace ve Finsku byla konzultována s panem hlavním autorem [31] a pracovníkem agregační společnosti Fortum. V rámci článku řeší uskutečnění projektu bateriového úložiště v souladu s legislativními podmínkami. V současnosti ve Finsku regulační opatření zakazují provozovatelům distribučních soustav (PDS) vlastnit a provozovat bateriové systémy. Z toho důvodu je prezentován nový obchodní model, kdy agregační společnost investuje do BSAE a nabízí ho pak jako službu pro PDS. Tímto způsobem je pro PDS vytvořena tržní příležitost, kdy si může zakoupit rezervovaný čas a těžit tak technicky a ekonomicky z bateriového systému. Bylo nutné tedy splnit hlavní regulatorní podmínky jako:

Vlastnictví bateriového systému – V současné době nařízení (řešeno v Zimním energetickém balíčku) stanoví, že PDS by neměl vlastnit bateriové systémy. V tomto projektu tedy společnost Fortum převzala roli agregátora a vlastní energetické komponenty bateriových systémů a PDS vlastní zařízení pro připojení k síti.

Dvojí zdanění – Finský stát definoval, že skladování energie je osvobozeno od daně (energetická daň), protože energie uložená v tomto úložišti bude ve skutečnosti později uvolněna ke spotřebě, kde je daň konečně zaplacena.

Energetická bilance v místě spotřeby – Společnost Fortum je odpovědná za bilanci bateriového systému.

Poplatek za připojení a tarify sítě – Provozovatel k instalaci přistupuje stejně jako k jinému zákazníkovi, poplatky za připojení a síťové tarify jsou podobné, jaké by mohli získat ostatní zákazníci.

4.2.3 USA, Kalifornie

Díky inovativním a ambiciózním politikám je Kalifornie světovým lídrem ve vývoji a používání technologií bateriových úložišť. Za poslední desetiletí byla Kalifornie průkopníkem ve vývoji technologií a legislativních a regulačních politik, které jsou nezbytné k umožnění růstu trhu s úložišti. Kalifornie jako první americký stát nastartovala pokročilý průmysl akumulace bateriovými systémy stanovením celostátních mandátů na obnovitelné zdroje energie, bateriové systémy a bez-uhlíkovou elektřinu, ale stále je v počátečních fázích tohoto zavádění. To znamená, že se stále testuje, jak úložiště funguje v síti a jak funguje po několika letech provozu, což je zásadní pro plánování sítě, která je zcela tvořena obnovitelnými zdroji energie. Rozvoj OZE je dán mandátem stanovujícím cíl vyrábět 50 % energie z obnovitelných zdrojů do roku 2026, který nedávno navýšila na 60 % do roku 2030. Navíc byl přijat cíl 100% bez-uhlíkové elektřiny do roku 2045. Je zřejmé, že Kalifornie stanovila směr pro rozvoj budoucnosti čisté energie, směr, který ostatní státy nadále sledují a v několika případech podle něj reflektují své vlastní politiky.

Co se momentálního stavu týče, kalifornská infrastruktura obnovitelných zdrojů energie je oproti jiným státům působivá. Od roku 2018 vyrobila Kalifornie asi 29 % své energie z obnovitelných zdrojů. Dalších 9 % pocházelo z jaderné elektrárny a 15 % z velkých

vodních elektráren (oba se počítají jako bez-uhlíkové, ale i přesto by měla být poslední zbývající jaderná elektrárna ve státě do roku 2025 odstavena). Elektrárny na zemní plyn poskytovaly 34 % kalifornské elektřiny. Kalifornie dále od roku 2010 nasadila 1 514 MW nové kapacity akumulační energie na podporu provozu sítě. Je zřejmé, že při tak vysokých „čistých" energetických cílech je nezbytný rozvoj značně velké akumulační kapacity, na čemž se shodli i tvůrci pravidel a v roce 2018 stát formálně přijal nový cíl akumulace a to navýšit akumulační kapacitu o 1 325 MW do roku 2020. Tento cíl je výsledkem závěru, že akumulace bude i nadále hlavní složkou pro vyrovnávání nabídky a poptávky, podporu CAISO při udržování stability sítě a regulaci napětí a frekvence a dále podpoření přechodu státu na energetickou strukturu založenou na OZE.

Kalifornie použila při definování politiky akumulace energie kombinaci výkonných směrnic, právních předpisů a regulačních rozhodnutí a spoléhala na koordinované úsilí mezi zákonodárcem, CPUC, Kalifornskou energetickou komisí (CEC) a CAISO. Politické iniciativy týkající se akumulace, které byly vyvinuty tvůrci politiky v Kalifornii v posledním desetiletí, byly zaměřeny na tři klíčové oblasti:

- Vyžadování veřejných služeb, aby zajistily značné množství nových akumulačních zdrojů.

- Rozvoj robustních pobídek prostřednictvím programu inteligentní sítě, který poskytuje spotřebitelské slevy za účelem rozvoje bateriových systémů (v roce 2019 celkem 450 milionů USD).

- Vyhodnocení hodnoty akumulace energie zvážením víceúčelových aplikací (poskytování více služeb úložištěm pro stabilitu a spolehlivost sítě).

Celkově vzniklo od roku 2010 v Kalifornii nespočet právních předpisů, směrnic atd. týkajících se akumulace elektrické energie, proto zde budou popsány ty nejdůležitější a nejzajímavější. Mezi klíčové legislativní předpisy týkající se akumulace v kalifornii patří:

R.10-12-007 (2010) – Hlavním účelem tohoto nařízení, pomocí kterého byl implementován právní dokument AB 2514 („Energy Storage Systems")[32], bylo stanovit politiku pro kalifornské veřejné služby a odběratele elektrické energie, aby zvážili pořízení

životaschopných a nákladově efektivních systémů skladování energie a zvážili příslušné cíle pro zadávání veřejných zakázek. Nařízení sestávalo z několika fází seminářů, modelování energetických systémů, navrhovaných rozhodnutí a připomínek zainteresovaných stran. Proces stanovení cílů zadávání veřejných zakázek trval komisi přibližně tři roky. Během této doby uspořádala CPUC sérii seminářů k vyhodnocení nákladů a přínosů akumulace energie, možností využití, modelování energetických systémů a možností zadávání zakázek. Poté byl v roce 2013, v reakci na toto nařízení, stanoven právě cíl navýšení akumulační kapacity o 1325 MW do roku 2020 (první státní zákon v USA, který stanovil mandát pro systémy akumulace energie). Cíl je rozdělen na dílčí cíle související s akumulací na úrovni přenosu, distribuce a na úrovni koncového uživatele, za měřidlem. Cíle jsou definovány v instalovaném výkonu (MW) bez definování technologie, doby rozběhu, množství energie (MWh) nebo doby trvání. Je na trhu, aby určil, jaký druh akumulace energie je nákladově nejefektivnější a přidá elektřině největší hodnotu.

Nařízení definuje systém pro ukládání energie jako „komerčně dostupnou technologii, která je schopna absorbovat energii, uchovávat ji po určitou dobu a poté ji uvolnit.“ Stanoví, že „Systém skladování energie“ může mít některou z následujících charakteristik:

- Může být buď centralizovaný, nebo distribuovaný.

- Může být buď ve vlastnictví *subjektu* sloužícího k zásobování elektřinou (PDS, agregátor, obchodník s elektřinou) nebo místní veřejně vlastněné elektroenergetické společnosti, *zákazníka* subjektu sloužícího k zásobování elektřinou nebo místní veřejně vlastněné elektroenergetické společnosti, nebo třetí strany, nebo je společně ve vlastnictví dvou nebo více z výše uvedených.

Cílem nařízení je konkrétně stimulovat nové technologie akumulace elektrické energie, jako je akumulace energie stlačeným vzduchem (CAES), akumulace pomocí baterií, akumulace tepelné energie, palivové články a další technologie. Vylučuje velké přečerpávání vodní elektrárny. Podle AB 2514 musí být systém akumulace energie „nákladově efektivní a buď snižovat emise skleníkových plynů, snížit poptávku po špičkové výrobě elektřiny, odložit nebo nahradit investici do výrobních, přenosových nebo distribučních aktiv, nebo zlepšit spolehlivý provoz přenosové nebo distribuční sítě. “ Zákon

navíc stanoví, že systém pro ukládání energie musí provádět jednu, nebo více z následujících akcí:

- Používat mechanické, chemické nebo tepelné procesy k ukládání energie, která byla vyrobena v jednom okamžiku, pro pozdější využití.

- Skladovat tepelnou energii pro přímé použití pro vytápění nebo chlazení později takovým způsobem, který v tomto čase později vylučuje potřebu využití elektřiny.

- Používat mechanické, chemické nebo tepelné procesy k ukládání energie vyrobené z obnovitelných zdrojů pro pozdější využití.

- Používat mechanické, chemické nebo tepelné procesy k ukládání energie, generované mechanickými procesy a která by jinak byla nevyužita, pro pozdější využití.

R.15-03-011 (2015) – Tímto nařízením byl implementován dokument AB 2868 („California's Additional 500 MW Energy Storage Procurement Requirement")[33]. Účelem tohoto řízení, které bylo zahájeno na základě AB 2514, bylo upřesnit a zhodnotit rámec a politiku pro ukládání energie v Kalifornii. Řízení bylo rozděleno do dvou bodů.

- Bod 1 (nyní kompletní) je zaměřený na problémy, které by ovlivnily zadávání zakázek v roce 2016, jako jsou nové technologie, flexibilita mezi doménami sítě a návratnost nákladů.

- Bod 2 se zaměřil na zdokonalení legislativního rámce a politiky úložišť kalifornské CPUC.

Klíčovou součástí tohoto předpisu bylo to, že v lednu 2018 schválila CPUC pravidla pro zdroje akumulace energie, které mohou poskytovat více služeb. CPUC zdůvodnila, že jelikož současná tržní pravidla nedokážou kompenzovat zdroje akumulace energie za všechny služby, které by mohly poskytnout síti, musí veřejné společnosti při plánování zohlednit tyto nekompenzované hodnoty, aby zajistily, že se odráží plná ekonomická hodnota akumulace energie při rozhodování o zdrojích. Předchozí pravidla CPUC

neumožňovala akumulačním zdrojům poskytovat více než jednu službu, což znamená, že zdroj nemohl být zaplacen za přírůstkové hodnoty, které přinesl na velkoobchodní trh, do distribuční soustavy, přenosové soustavy, nebo pro koncového zákazníka. V rámci bodu 1 mohou prostředky pro ukládání energie nyní poskytovat služby buď doméně, do které jsou připojeny, nebo „vyšším“ doménám (ale nikoli „nižším“ doménám). Například zdroj skladování energie připojený do distribuční sítě by také mohl poskytovat služby na vyšší úrovni přenosové sítě a velkoobchodního trhu, ale ne na nižší úrovni zákazníků. Pravidla upřednostňují služby spolehlivosti před službami, které nezajišťují spolehlivost sítě, a snaží se zajistit, aby více poskytovaných služeb spolehlivosti nebylo v rozporu mezi sebou. Cílem pravidel je také zvýšit transparentnost a zabránit dvojímu finančnímu vyrovnávání. Rozpoznáním jedinečných provozních charakteristik akumulace energie (např. může sloužit jako zátěž nebo zdroj), přijala CPUC 11 pravidel, která stanoví, jak by měly být hodnoceny aplikace poskytující více služeb (MUA), což umožňuje zdrojům ukládat přírůstkové hodnoty a generovat příjmy prostřednictvím poskytování více služeb. Zde je 11 pravidel CPUC týkajících se MUA pro akumulaci:

1. Prostředky propojené v zákaznické doméně mohou poskytovat služby v jakékoli doméně.

2. Prostředky propojené v distribuční doméně mohou poskytovat služby ve všech doménách s výjimkou domény zákazníka, s možnou výjimkou zdrojů sdíleného úložiště.

3. Prostředky propojené v přenosové doméně mohou poskytovat služby ve všech doménách s výjimkou zákazníků nebo distribučních domén.

4. Zdroje propojené v kterékoli doménové síti mohou poskytovat přiměřenost zdrojů, služby pro přenosovou síť a velkoobchodní tržní služby.

5. Pokud je jednou ze služeb poskytovaných akumulačním zdrojem služba spolehlivosti, musí mít tato služba prioritu.

6. Priorita znamená, že jeden akumulační zdroj nesmí uzavřít dva nebo více závazků pro poskytování služby spolehlivosti tak, že splnění jedné povinnosti způsobí, že zdroj nebude schopen splnit ostatní povinnosti. Nové dohody o těchto povinnostech,

včetně smluv a tarifů, musí stanovit podmínky pro zajištění dostupnosti zdrojů, které mohou zahrnovat, ale neměly by se omezovat pouze na finanční sankce.

7. Pokud poskytovatelé akumulačních služeb využívají různé části kapacity k poskytování služeb, musí při uzavírání smluv o službách jasně prokázat celkovou kapacitu zdroje se zárukou, že bude službám spolehlivosti, diferenciovaným podle kapacity, vyhrazena určitá zadaná kapacita.

8. Pro každou službu musí programová pravidla, smlouva nebo tarif týkající se oblasti, ve které je služba poskytována, stanovit vymahatelnost těchto pravidel, včetně jakýchkoli sankcí za neplnění.

9. V reakci na žádost o poskytování služby je poskytovatel úložiště povinen uvést seznam všech dalších služeb, které v současné době poskytuje mimo vyžádání. V případě, že je akumulační prostředek zařazen k poskytování dodatečných služeb později, je poskytovatel úložiště povinen poskytnout aktualizovaný seznam všech služeb poskytovaných tímto zdrojem subjektům, které přijímají službu z tohoto zdroje. Účelem tohoto pravidla je zajistit průhlednost na trhu akumulace energie.

10. U všech služeb musí zdroj úložiště splňovat požadavky na dostupnost a výkon stanovené ve smlouvě s příslušným úřadem.

11. Při placení za poskytování služeb mohou být kompenzace a úvěr povoleny pouze pro služby, které jsou jasně dané a odlišné. Poskytované služby musí být měřitelné a stejná služba se musí počítat a kompenzovat pouze jednou, aby se zabránilo dvojí kompenzaci.

Prostřednictvím nařízení *R.15-03-011* také CPUC nařídil třem velkým státním investorským společnostem (Pacific Gas & Electric, Southern California Edison a San Diego Gas & Electric, spravované CPUC), aby začlenily návrhy programů a investic na 500 MW distribuovaných systémů akumulace energie (166,66 MW pro každý z PG&E, SCE a SDG & E). CPUC zdůraznil, že 500 MW akumulačních zdrojů, požadovaných v *AB 2868* v roce 2016, jsou oddělené od cílů stanovených v *AB 2514* a nezvyšuje tak jejich cíle. V praxi to povede k tomu, že tři státní investorské společnosti nasadí dalších 500 MW akumulačních zdrojů.

Nařízení 841 – Federální energetická regulační komise (FERC) předložila na konci roku 2018 *Nařízení 841* [34], pomocí kterého má dojít k odstranění překážek účasti akumulačních zařízení na trzích s elektřinou. Toto nařízení má posílit hospodářskou soutěž a zvýšit efektivitu na celostátních velkoobchodních trzích s elektřinou a podpořit odolnost energetického systému. Zaměřuje se na vývoj vhodných tarifů a tržní struktury pro zajištění plné účasti akumulačních zařízení na trhu. Nařízení ukládá PPS určit minimální výkon úložišť pro účast na trzích s elektřinou. Udává, že minimální stanovený výkon nesmí překročit 100 kW. V celém USA by tak mělo být umožněno akumulačním zařízením poskytovat podpůrné služby provozovatelům přenosových soustav. Každý PPS / nezávislý systémový operátor musí revidovat své tarify a vytvořit účastnický model obsahující tržní pravidla, která rozeznávají specifické fyzikální a provozní vlastnosti akumulačních zařízení a která umožní jejich účast na trzích s elektřinou. Každý PPS/nezávislý systémový operátor musí zajistit, aby tarifní opatření pro účastnický model:

1. Zajistila, aby zdroj využívající účastnický model pro akumulační zařízení byl oprávněný poskytovat veškeré kapacitní, energetické a podpůrné služby, které je technicky schopný poskytovat.

2. Zajistila, aby zdroj využívající účastnický model pro akumulační zařízení mohl dodávat elektřinu a mohl stanovit zúčtovací cenu velkoobchodního trhu jako velkoobchodní prodejce i nákupčí v souladu se stávajícími tržními pravidly, která upravují, kdy může zdroj stanovit velkoobchodní cenu.

3. Zohledňovala fyzikální a provozní vlastnosti akumulačních zařízení prostřednictvím parametrů nabídky nebo jinými prostředky.

4. Stanovila požadavek minimální velikosti akumulačních zařízení pro účast na trzích, která nepřesahuje 100 kW. Kromě toho musí každý PPS / nezávislý systémový operátor specifikovat, že prodej elektrické energie z trhu do akumulačního zařízení, které poté elektřinu prodává zpět na stejném trhu, musí být za velkoobchodní lokální mezní cenu.

FERC taktéž navrhla reformy týkající se agregace distribuovaných zdrojů a je nadále přesvědčena, že odstraňování překážek v agregaci distribuovaných zdrojů na trzích s elektřinou je důležité. Tyto návrhy však nebyly v nařízení zahrnuty, protože je údajně

potřeba více informací týkajících se agregace distribuovaných zdrojů. V Kalifornii je již nařízení plně implementováno a akumulační zařízení se tak mohou účastnit trhů s elektřinou a to na všech napěťových úrovních.

5 Legislativa ČR

Akumulační bateriové systémy hrají zásadní roli při implementaci OZE do elektrizační soustavy, neboť řeší nestálost a výkyvy jejich výroby. Kromě bateriových systémů zapojených společně s výrobnou se do budoucna očekává rozvoj samostatných stacionárních bateriových úložišť, které by mohly poskytovat podpůrné služby, jako jsou regulace frekvence, odchylek napětí aj. Dalším zmíněným způsobem nasazování baterií jsou tzv. domácí úložné systémy. Na rozdíl od domácích úložných systémů, které spadají do kategorie mikro zdrojů, nemají jiné typy úložišť podchycení v legislativě České republiky, nebo je přinejmenším nedostatečné. Nastává tedy stav, kdy technologický rozvoj této technologie předstihl rozvoj dané legislativy a ta se stává největší překážkou, která brání v nasazování takových zařízení do ES.

5.1 Aktuální stav

Základními právními předpisy pro energetické odvětví jsou zákon *č. 458/2000 Sb.* neboli *Energetický zákon* (EZ), *Pravidla provozování distribuční soustavy* (PPDS) a *Kodex přenosové soustavy* ČEPS (Kodex PS). EZ momentálně s pojmem akumulace ani s jiným pojmem týkajícím se ukládání elektřiny nepracuje a je tedy otázkou, jakým způsobem právně posoudit povahu činnosti spočívající v akumulaci elektřiny. Vyřešení této otázky je zásadní pro určení, jakým povolením či jiným veřejnoprávním regulacím akumulace podléhá. V PPDS České republiky, konkrétně v příloze č. 4 s názvem „*Pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulačních zařízení se sítí provozovatele distribuční soustavy*“ [35] je již definováno akumulační zařízení, jako „Zařízení, schopné absorbovat elektrickou energii, po určitou dobu ji v různých formách uskladnit a poté elektrickou energii uvolnit.“ V únoru 2019 oznámilo Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO) odložení části návrhu, který obsahuje mimo jiné právě akumulaci. Asociace pro akumulaci energie uvádí v publikaci [36], že by měly být připomínky k druhé novele zpracovány do léta 2020, ale stejně tak hrozí, že akumulace bude obsažena jen nedostatečně.

5.1.1 Energetický zákon

V současné úpravě EZ nelze provozovat podnikatelskou (licencovanou) činnost akumulačního zařízení jako samostatného energetického zařízení s vlastním připojením k elektrizační soustavě. Ukládání elektřiny není uvedeno jako předmět podnikání

v energetických odvětvích a chybí samostatná kategorie licence pro akumulaci. Podle EZ jsou základními účastníky trhu s elektřinou výrobci elektřiny, provozovatel přenosové soustavy, provozovatelé distribučních soustav, operátor trhu, obchodníci s elektřinou a zákazníci.

Pro každého účastníka trhu jsou zde stanovena práva, povinnosti a také omezení, kterým podléhá. Účastníci se účastní trhu s elektřinou na základě licencí, které jim vydal Energetický regulační úřad. S ohledem na nadcházející implementaci akumulace do české legislativy jsou relevantní zejména licence na výrobu elektřiny, licence na přenos elektřiny, licence na distribuci elektřiny a licence na obchod s elektřinou.

Výrobce elektřiny – Je držitelem licence na výrobu elektřiny a dle zákona má právo:

- Dodávat elektřinu vyrobenou v jím provozované výrobně elektřiny ostatním účastníkům trhu s elektřinou nebo do jiných států prostřednictvím přenosové soustavy nebo distribuční soustavy, nebo přímým vedením.

- Dodávat elektřinu vyrobenou ve vlastní výrobně elektřiny pro vlastní potřebu a pro potřebu ovládaných společností, pokud mu to podmínky provozování přenosové soustavy a distribučních soustav umožňují.

- Nabízet a poskytovat podpůrné služby k zajištění provozu elektrizační soustavy za podmínek stanovených Pravidly provozování přenosové soustavy nebo Pravidly provozování distribuční soustavy.

Provozovatel přenosové soustavy – Je vlastníkem licence na přenos elektřiny a dle zákona nesmí být držitelem jiné licence než licence na přenos elektřiny. Pro splnění nezávislosti PPS je stanoveno, že:

- Sám nebo jednáním ve shodě s jinými osobami nevykonává přímo ani nepřímo kontrolu nad výrobcem elektřiny nebo výrobcem plynu nebo nad obchodníkem s elektřinou nebo obchodníkem s plynem ani ve vztahu k nim neuplatňuje jiné právo.

- Nevyrábí elektřinu nebo plyn nebo neobchoduje s elektřinou nebo s plynem.

Provozovatel distribuční soustavy – Je vlastníkem licence na distribuci elektřiny a dle zákona, PDS, k jehož soustavě je připojeno více než 90000 odběrných míst zákazníků, nesmí být souběžným držitelem licence na výrobu elektřiny, přenos elektřiny, obchod s elektřinou nebo obchod s plynem.

5.1.2 Pravidla provozování distribuční soustavy, příloha č. 4

Nová Pravidla provozování distribuční soustavy (PPDS), jejichž změna byla schválena v roce 2017 ze strany ERÚ, nahrávají rozvoji akumulace na úrovni VN a NN. Akumulaci se věnuje zejména příloha č. 4 PPDS, která stanoví pravidla pro paralelní provoz zdrojů výroben a akumulačních zařízení se sítí. Na rozdíl od ostatních obecně závazných právních předpisů, které neobsahují definici akumulace elektrické energie, příloha č. 4 PPDS stanoví, že akumulačním zařízením je zařízení schopné absorbovat elektrickou energii, po určitou dobu ji v různých formách uskladnit a poté elektrickou energii uvolnit. Novela přílohy č. 4 PPDS stanoví, že v případě připojování nové výrobny k síti o výkonu do 10 kW, určených výhradně pro vlastní spotřebu zákazníka (bez přetoku do distribuční soustavy), se výkon akumulačního zařízení neuvažuje.

Změna přílohy č. 4 PPDS zavádí do distributorské praxe hned několik novinek zásadních pro zavádění nových technologií do elektroenergetiky. Poprvé se pracuje s pojmy jako lokální distribuční soustava, která není přímo připojena k přenosové soustavě, uzavřená distribuční soustava, která zejména distribuuje elektřinu v rámci geograficky vymezené průmyslové či obchodní zóny nebo zóny sdílených služeb, výrobna elektřiny s akumulačním zařízením jako výrobna elektřiny, která sestává z elektrického akumulačního zařízení a výrobních modulů, fotovoltaická výrobna elektřiny s akumulačním zařízením, jejíž připojení k distribuční soustavě je možné jedním společným střídačem nebo odděleně pro část FVE a část elektrického akumulačního zařízení. Novela přílohy č. 4 PPDS podle [37] nahrává rozvoji malých akumulačních zařízení do 10 kW propojených s výrobnou, jelikož při splnění několika podmínek není pro provoz nutná licence na výrobu elektrické energie. Licence není nutná v případě, že jsou splněny následující podmínky:

- Akumulátor neslouží k podnikání, ale jen pro vlastní spotřebu.
- Akumulátor svým instalovaným výkonem nepřesáhne 10 kW.

- Ve stejném odběrném místě není připojena jiná výrobna držitele licence.

V důsledku chybějící definice akumulace v EZ není možné samostatné připojení akumulačních zařízení do distribuční soustavy a jejich provoz v případech, kdy je zapotřebí získání licence. Připojení je umožněno pouze akumulačním zařízením, které jsou provozovány jako součást výrobny elektrické energie. Není tedy možné nabíjet akumulační zařízení ze sítě, pouze z výrobny, ke které je akumulační zařízení připojeno.

5.1.3 Kodex PS

Cílem Kodexu PS je vypracovat a veřejně publikovat informace pro účastníky trhu a pravidla, která stanoví:

- Minimální technické, konstrukční a provozní požadavky pro připojení a užívání přenosové soustavy.

- Podmínky pro poskytování podpůrných a přenosových služeb.

Právě podpůrné služby upravuje druhá část kodexu (Kodex II. - Podpůrné služby). V druhé části byly provedeny změny dle nařízení EGBL[4] a je nově umožněno akumulačním zařízením poskytovat služby výkonové rovnováhy (SVR), pokud jsou součástí tzv. *fiktivního bloku,* tedy propojené s výrobnou elektrické energie. K jednotlivým službám jsou definovány doplňkové testy z důvodu „významně omezené kapacity BSAE pro poskytování SVR“. Novela kodexu tedy nově formálně umožňuje poskytování SVR i akumulačním zařízením, která jsou propojena se sluneční nebo větrnou elektrárnou. Aby se fiktivní blok mohl ucházet o účast ve výběrovém řízení na dodávku SVR, musí nejprve projít náročným testováním. Dle druhu testu je pak např. stanoveno, že má baterii nejpozději do 45 sekund (FCR) nebo 90 sekund (aFRR) nahradit výkon výrobny. Další podmínkou je stanovení rozdílu úrovně nabití, která nesmí po ukončení testu (tj. 45 nebo 90 sekund) překročit 5 %, většina kapacity baterie tak zůstává nevyužita. Výsledkem je, že takto přísné podmínky v konečném důsledku neumožňují poskytování SVR v kombinaci akumulačního zařízení

[4] Nařízení Komise (EU) 2017/2195 [43], kterým se stanoví rámcový pokyn pro obchodní zajišťování výkonové rovnováhy v elektroenergetice. Nařízení zavazuje provozovatele přenosových soustav ke spolupráci a k určité míře sjednocení pravidel pro poskytovatele služeb výkonové rovnováhy a regulační energie a subjekty zúčtování.

a FVE nebo VTE. Problém nenastává v případě klasického fiktivního bloku, kdy je baterie připojena k turbogenerátoru, který je po limitním provozu baterie schopný převzít poskytování služby. Ovšem baterie propojené s OZE toto převzetí garantovat nemohou. Novela kodexu neumožňuje ani poskytování SVR pomocí samostatně stojících akumulačních systémů.

5.1.4 Právní a strategické dokumenty

S pojmem akumulace elektrické energie se počítá i v jiných dokumentech, například *Národní akční plán pro chytré sítě* (NAP-SG) [38], ve kterém jsou přímo definované kroky, které je nutné podniknout pro ukotvení akumulace do české legislativy. NAP-SG také stanovuje termíny, do kterých by se dané kroky měly uskutečnit. Tento dokument byl uveden v platnost v roce 2015, a momentálně Česká republika promeškala už všechny termíny týkající se akumulace. Například ukotvení akumulace do české legislativy mělo dle NAP-SG proběhnout v roce 2017, takže se v tuto chvíli nacházíme téměř 3 roky ve skluzu. V aktualizované verzi NAP-SG [39] se pojednává o akumulaci jako o součásti decentralizovaných zdrojů (DECE), u kterých se podle závazných cílů ČR podílu OZE na celkové spotřebě (nárůst 32 % do roku 2030) očekává nárůst až 7 000 MW. Lze tak očekávat poměrně výrazný nárůst DECE, a to zejména ve formě FVE, VTE a mikrokogenerací, na úrovních VN a NN. Na obou úrovních se očekává nárůst zdrojů jak s akumulací, nebo bez ní. Možnost využití bateriových systémů se předpokládá v oblastech obchodu s elektřinou, vyrovnávání odchylek subjektů zúčtování, obchodu s regulační energií a podpůrných služeb.

Za aktuálního stavu je i možnost využití BSAE na trhu bilančních (frekvenčních) podpůrných služeb, konkrétně pro primární regulaci, sekundární regulaci a minutovou zálohu 5 min (nově FCP, aFRP a $mFRP_5$). Podmínkou pro zapojení je splnění minimálních požadavků, jako je minimální výkon, dynamika změny výkonu nebo maximální doba aktivace. Limitující je pro bateriové systémy doba trvání poskytování služby (maximální doba trvání poskytování služby není u většiny bilančních podpůrných služeb v současné době omezena). Naopak minimální výkon a dynamika změny výkonu by neměly představovat výrazná technická omezení. Ekonomickým omezením je zde stanovena stále vysoká investiční náročnost, která ale díky klesajícímu trendu cen za kWh u Li-ion baterií, od doby, kdy byl dokument publikován, ještě klesla. Dále se předpokládá významné využívání BSAE pro nefrekvenční služby jako regulace U/Q, ostrovních provozů a startu ze

tmy. Podobně vidí akumulaci v energetické budoucnosti *Aktualizace státní energetické koncepce* (ASEK) či studie OTE (*Očekávaná dlouhodobá rovnováha mezi nabídkou a poptávkou elektřiny a plynu – výhled do roku 2050*), ve které dva ze čtyř scénářů budoucího vývoje počítají s akumulací na denní bázi[36].

5.1.5 Zimní energetický balíček

Evropská komise předložila v listopadu 2016 balíček legislativních návrhů nazvaný Čistá energie pro všechny Evropany (Zimní energetický balíček). Zimní energetický balíček obsahuje 8 legislativních aktů, které přispívají k formování energetické unie a k plnění unijních závazků podle Pařížské dohody:

- Směrnice o energetické náročnosti budov
- Směrnice o podpoře využívání obnovitelných zdrojů
- Směrnice o energetické účinnosti
- Nařízení o správě energetické unie a opatření v oblasti klimatu
- Nařízení o vnitřním trhu s elektřinou
- Směrnice o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou
- Nařízení o rizikové připravenosti v odvětví elektroenergetiky
- Nařízení o agentuře Evropské unie pro spolupráci energetických regulačních orgánů

Jednotlivé předpisy vstoupily v platnost v letech 2018-2019, poté co byly schváleny Evropským parlamentem a Evropskou radou. V Zimním energetickém balíčku byla stanovena 4 pravidla pro vlastníky akumulačních zařízení[40]:

1. Každý vlastník akumulačního zařízení se má právo připojit do sítě a musí mu to být umožněno v přiměřeně dlouhé době.

2. Je zakázáno dvojí zpoplatnění pro akumulační zařízení vztahující se k elektřině, která zůstává v jejich prostorách a při poskytování flexibilních služeb systémovým operátorům.

3. Poplatky by neměly být diskriminační.

4. Vlastník akumulačního zařízení může poskytovat i více typů služeb, pokud je to technicky možné.

Ve *Směrnici o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou* byla upravena také práva a povinnosti PDS v oblasti akumulace elektrické energie:

- PDS musí každé dva roky sestavit rozvojový plán sítě, ve kterém jsou povinni zohlednit i efektivitu akumulace. Tento plán je konzultován s provozovateli přenosové soustavy a s dalšími účastníky trhu.

- PDS nesmí vlastnit a provozovat akumulační zařízení. Výjimkou je případ, kdy na trhu žádné akumulační zařízení není k dispozici, pak si můžou vlastní dočasně pořídit.

Z hlediska vlastnění a provozování akumulačních zařízení je uvedena výjimka platící, pokud jsou zařízení pro ukládání energie plně integrovanými komponenty sítě, které nejsou využívány pro účely zajišťování výkonové rovnováhy nebo řízení přetížení. S výhradou schválení ERÚ by se na ně neměla vztahovat stejná přísná omezení platící pro provozovatele soustav. Tyto plně integrované komponenty sítě mohou být akumulační zařízení, jako jsou kondenzátory nebo setrvačníky, jež mohou poskytovat důležité služby v oblasti bezpečnosti a spolehlivosti sítě a přispívat k umožnění synchronizace jednotlivých částí systému. V rámci *Nařízení o vnitřním trhu s elektřinou* je také konečným zákazníkům a malým podnikům umožněna účast na trhu prostřednictvím agregace výroby z několika výroben elektřiny, nebo zatížení z několika zařízení odezvy strany poptávky, s cílem poskytnout společné nabídky na trhu s elektřinou a umožnit jejich společné provozování v elektrizační soustavě. Zimní energetický balíček musí členské státy EU, tudíž i Česká republika, implementovat do své národní legislativy a to konce roku 2020/21.

5.2 Budoucí vývoj

Pro řešení a návrh legislativního rámce pro akumulaci elektrické energie v ČR jsou k dispozici pouze stávající české právní a strategické dokumenty. Druhá část navrhované novely EZ obsahující akumulaci byla stažena a všechny legislativní přípravy jsou přísně důvěrné. Celkově je aktuální situace taková, že akumulace nemá žádné ukotvení v Energetickém zákoně a v Kodexu přenosové soustavy pouze částečně. Právně není

umožněno provozovat samostatně stojící bateriové úložiště pro podnikatelskou (licencovanou) činnost. Implementací nařízení evropské komise EBGL byla aktualizována verze Kodexu PS, a je tím nyní umožněno provozovat akumulační zařízení ve spojení s výrobnou elektrické energie a poskytovat jím podpůrné služby. Nicméně, díky velice přísným podmínkám je prakticky nemožné poskytovat podpůrné služby ve spojení s obnovitelnými zdroji energie, tzn. FVE nebo VTE. Tudíž je víceméně umožněno poskytovat tyto služby bateriovými úložišti pouze ve spojení s tradičními točivými stroji. Toto omezení ale, dle mého názoru, nemá žádné opodstatnění. Bateriové úložiště, ať už v kombinaci s výrobnou nebo bez, se z pohledu sítě chová při nabíjení podobně jako nabíjecí stanice pro elektromobily a při vybíjení jako klasická fotovoltaická elektrárna pracující do sítě přes střídač s tím rozdílem, že na rozdíl od FVE nenarušuje stabilitu sítě nerovnoměrnou produkcí elektřiny, může naopak podpořit síť produkcí v době potřeby a absorpcí v době nadbytku elektrické energie a při správném legislativním začlenění i poskytovat služby výkonové rovnováhy a ostatní podpůrné služby. Jak nabíjecí stanice, tak i FVE již v síti fungují a není tedy důvod bránit bateriovým úložištím v podílení se na stabilizaci ES a v účastnění na trzích s elektřinou.

V energetickém zákoně tedy bude do budoucna třeba ukotvit v energetických odvětvích ukládání elektřiny jako předmět podnikání a vytvořit samostatnou kategorii licence pro akumulaci. Vytvoření licence pro akumulaci podporuje i německá společnost Bundersverband Energiespeicher (BVES) [41], která je toho názoru, že by měla být akumulace energie čtvrtým pilířem spolu s dalšími třemi pilíři, kterými jsou výroba, spotřeba a přeprava energie. Jak je stanoveno v Zimním energetickém balíčku, vlastník akumulačního zařízení by měl mít právo toto zařízení provozovat a poskytovat s ním podpůrné služby, a to i více druhů, pokud je to technologicky možné. Každé službě by tak byla vymezena určitá kapacita zařízení a vlastník by musel prokázat schopnost poskytování služeb příslušným testováním. Při porovnání s kalifornskou právní úpravou, je dle mého názoru důležité, aby vždy měly přednost kritické služby týkající se regulace frekvence a minutových záloh, jelikož na frekvenční stabilitě závisí i stabilita celé elektrizační soustavy. Další prioritní službou by měl být start ze tmy, jelikož pro úspěšné poskytnutí této služby je třeba, aby bylo úložiště schopno poskytnout v jakémkoli čase předem nasmlouvanou kapacitu. V případě narušení stability sítě, tzn. selhání i po poskytnutí SVR, je nezbytné, aby byla kapacita pro start ze tmy dostupná. Další prioritní službou by měla být schopnost ostrovního provozu.

Až po těchto službách přicházejí na řadu sekundární regulace napětí U/Q a ostatní služby jako časový posun elektrické energie, vyrovnávání odchylek subjektu zúčtování atd.

Česká republika, jako členský stát Evropské unie, je povinen do konce roku 2020/21 implementovat Zimní energetický balíček do národní legislativy, což zahrnuje i úpravu licence na distribuci elektřiny, kdy by PDS neměl vlastnit akumulační zařízení, až na výjimky uvedené výše. V Anglii již na úpravě licence na distribuci elektřiny probíhají konzultace a z pohledu anglického regulátora OFGEM jsou stanovená omezení pro PDS důležitá pro vytvoření stabilního, spravedlivého a konkurence schopného trhu. Mezi výjimky z tohoto omezení uvedl OFGEM zdroje nepřetržitého napájení (UPS) a nouzová úložiště důležité pro zajištění kontinuity dodávek v případě výpadku.

Dvojí zpoplatnění staví akumulační zařízení do nevýhodné pozice oproti výrobnám elektrické energie. Zimní energetický balíček zakazuje členským státům dvojí zpoplatňování akumulačních zařízení, pokud poskytují flexibilní služby systémovým operátorům. Anglická legislativa připravuje, skrze úpravy síťových pravidel, změny v poplatcích zatěžujících akumulační zařízení. Návrh zahrnuje odstranění poplatků na straně spotřeby v přenosové a distribuční soustavě a placení systémových poplatků pouze za energii čerpanou ze sítě. Ve Finsku jsou zase akumulační zařízení osvobozena od placení daně za elektřinu, jelikož je skladovaná energie později uvolněna ke spotřebě, kde je daň konečně zaplacena. Z hlediska budoucího vývoje je tedy třeba zajistit, aby akumulační zařízení nebyla zatížena dvojím zpoplatňováním jako konečná spotřeba a zároveň výrobna elektřiny a nebyla tak znevýhodněna v porovnání s výrobnami.

Dalším prostorem pro legislativní vývoj by mohla být také přidaná role agregátora do EZ a služba poskytování flexibility, jelikož bateriové systémy, převážně instalované na úrovni NN nebo VN v případě sdíleného bateriového systému, mohou z technického hlediska flexibilitu poskytovat. Role agregátora se již objevuje v zahraničí, i v rámci Evropy viz nový obchodní model ve Finsku, kdy společnost Fortum převzala roli agregátora a vlastní akumulační zařízení a poskytuje ho PDS jako službu, nebo Anglie, která má již zavedený konkurenční trh služeb pro agregaci flexibility, který zahrnuje například reakci na straně spotřeby (DSR).

Závěr

Celosvětový přechod na čistší energii je realizován rozvojem OZE. Tyto výrobny vyrábí elektřinu podle intenzity slunečního svitu, která se mění podle počasí a neodpovídá reálné potřebě elektrické energie. Nerovnováhu, kterou OZE způsobují v elektrizační soustavě, je třeba nějakým způsobem kompenzovat. V tu chvíli nastupují akumulační zařízení, která jsou schopna přebytečnou energii z OZE skladovat a uvolnit v době potřeby. Díky aktuálnímu technologickému vývoji se jako nejslibnější akumulační technologie jeví bateriová úložiště. Během posledního desetiletí byly baterie podrobeny intenzivnímu vývoji a nyní je možné je využít jak pro menší instalace přímo u koncového zákazníka, jako součást větších výroben, tak i jako samostatně stojící akumulační prvky v distribuční nebo přenosové soustavě.

Cílem práce bylo prozkoumat a zhodnotit jednotlivé používané technologie akumulace elektrické energie. Porovnáním technologií byla vyhodnocena jako nejatraktivnější technologie bateriová úložiště. Cílem druhé kapitoly bylo zhodnotit příležitosti nabízené bateriemi a překážky, které brání v jejich nasazování do ES a ověřit provozní technické parametry, deklarované v první kapitole. Pro úspěšný nástup akumulace do běžného provozu ES bylo provedeno zhodnocení vlivu hromadného nasazování bateriových systému do přenosových soustav na cenu elektřiny. Dále bylo cílem zhodnotit situaci baterií ve světě, z hlediska instalovaných výkonů a počtu realizovaných a plánovaných projektů. Hlavní překážky, bránící nasazování baterií, se ukázaly být zejména legislativního charakteru. Proto bylo nutné navrhnout legislativní ukotvení baterií a akumulačních zařízení celkově.

Porovnáním jednotlivých způsobů akumulace elektrické energie bylo zjištěno, že baterie skýtají skutečně skvělou příležitost. Oproti ostatním používaným technologiím akumulace nabízí rychlé reakční doby (do 1 sekundy), vysokou účinnost (85 – 98 %) a výkony pohybující se od kW až po desítky i stovky MW. Důležitým, dokonce nezbytným faktorem je také návratnost investice. V posledních 8 letech ceny baterií klesly o více než 80 %, což zajistilo životaschopnost baterií z hlediska investiční návratnosti. Technické parametry byly ověřeny na bateriovém úložišti v Mydlovarech. Měřením na úrovni NN a VN byly ověřovány parametry jako nabíjecí a vybíjecí režim, skutečná kapacita, efektivita a PQ diagram baterie. Měřením bylo potvrzeno, že v provozu baterie obstála v deklarovaných schopnostech a je tedy možné ji používat pro uvedené služby.

Zhodnocení vlivu bateriových systémů na trh s elektřinou bylo provedeno pomocí simulace, která simuluje nasazení bateriových úložišť do přenosových soustav centrální Evropy pro rok 2030, ve kterém jsou již doplněny/renovovány linky podle desetiletého plánu rozvoje přenosových soustav (TYNDP). Simulací bylo zjištěno, že i při nedokonalém využití všech nasazených bateriových úložišť došlo k poměrně výraznému zmírnění omezování výkonu FVE a VTE a zároveň došlo ve všech scénářích ke snížení ceny elektřiny za MWh. Pro scénář s nejvyšším instalovaným výkonem nasazených baterií došlo ke snížení ceny elektřiny o více než 5 %. Rešerší instalovaných výkonů a počtu realizovaných projektů byl potvrzen celosvětový intenzivní rozvoj této technologie zejména v USA, Číně, Jižní Koreji a Japonsku. V Evropě je situace obdobná, přičemž s výrazným náskokem oproti jiným evropským zemím vede Anglie s více než 500 MW fungujících bateriových instalací (další 3 GW schválené nebo již ve výstavbě). Obdobně je na tom Německo, které následuje Anglii s více než 400 MW instalovaného výkonu ve velkokapacitních bateriích. V Německu je pozorován také intenzivní rozvoj menších bateriových instalací u koncových zákazníků, ve kterých je obsažen nemalý akumulační výkon taktéž přesahující 400 MW, obsažený v 125 000 instalacích. Jelikož jsou aktuální celistvá data o bateriových úložištích poměrně špatně dostupná, byla ve stejné kapitole vytvořena celosvětová interaktivní databáze akumulačních zařízení pro jednoduché a graficky přívětivé filtrování jednotlivých projektů a informací jako jejich názvu, použité technologie, instalovaného výkonu a služeb, které poskytuje. Databáze tak umožňuje uživateli zkoumat akumulační zařízení geograficky zasazená v reálné mapě a zkoumat je z pohledu technologií, instalovaných výkonů, světadílů či konkrétních států.

Za účelem vyřešení legislativních překážek a navrhnutí legislativního rámce pro ČR byla provedena rešerše zahraničního legislativního přístupu k akumulačním zařízením, se zaměřením na bateriové systémy. Pro zahraniční rešerši byly vybrány pokrokové země jako Kalifornie, která aktivně provozuje bateriová úložiště již několik let a stále dále vyvíjí související legislativu, evropský lídr v akumulaci – Anglie, která mimo jiné zavedla službu Enhanced Frequency Control, která umožňuje ještě lépe zhodnotit velmi rychlou reakční dobu baterií. Z evropských zemí byla zpracována i legislativa ohledně akumulace ve Finsku, která byla konzultována s pracovníkem agregační společnosti vlastnící bateriové úložiště a poskytující ho jako službu PDS. Následný návrh legislativního rámce ČR je proveden pomocí poznatků ze zahraničí a navazuje na aktuální legislativní stav v ČR, který je zhodnocen zpracováním jednotlivých českých právních a strategických dokumentů a Zimního energetického balíčku, který musí Česká republika implementovat do národní

legislativy do roku 2020/21. V současné době není v ČR možné připojit samostatně stojící bateriové úložiště k síti. Lze tak učinit pouze v rámci pilotního projektu nebo v kombinaci s výrobnou. Za předpokladu, že přeci jen dojde k připojení bateriového systému k síti, lze jím poskytovat podpůrné služby (PpS) pouze v kombinaci s klasickými točivými turbogenerátory. Oficiálně je poskytování PpS umožněno i úložištím v kombinaci s FVE nebo VTE, ale podmínky jsou natolik přísné, že je to prakticky nerealizovatelné.

Pro úspěšné ukotvení akumulace v české legislativě bude třeba aktualizovat jak energetický zákon, tak i Kodex PS. Pro definici akumulačních zařízení se nabízí dvě možnosti, a to jejich definování jako zařízení pro výrobu elektrické energie, upravené tak, aby nedocházelo k jejich dvojímu zpoplatňování a znevýhodnění oproti klasickým výrobnám. Druhou možností, která je dle mého názoru lepší variantou, je vytvoření nového prvku mezi stávající výrobou, přenosem a spotřebou. Vytvoření činnosti akumulace a vydávání samostatné licence na akumulaci umožní její jednodušší začlenění, vymezení pravidel a omezení pro její provozování a zároveň definování případných úlev od poplatků. Samostatná licence pro akumulaci také umožní snadnější budoucí vývoj, jelikož lze očekávat postupné dolaďování legislativy v souvislosti s novými zjištěnými provozními zkušenostmi a s nástupem nových obchodních modelů, jako agregace, poskytování výkonové flexibility a distribuce elektřiny z distribuovaných zdrojů v rámci uzavřených a lokálních distribučních soustav. Legislativní ukotvení by mělo umožnit konkrétně bateriovým úložištím, v případě splnění technických požadavků, poskytování i více podpůrných služeb, s důrazem na prioritní poskytování služeb výkonové rovnováhy, startu ze tmy a ostrovního provozu. Je také důležité, aby definice akumulačního zařízení zahrnovala širší spektrum akumulačních technologií, jelikož bude potřeba i technologií pro sezónní uskladňování elektřiny, jako jsou P2G, ukládání tepla či PVE.

Z technického pohledu je bateriové úložiště poměrně jasná věc, při nabíjení se z pohledu sítě chová obdobně jak již dobře známá dobíjecí stanice pro elektromobily. Při vybíjení zase odpovídá technicky zdatnější a přizpůsobivější fotovoltaické elektrárně připojené přes střídač do sítě. Není proto důvod neaplikovat stejná pravidla i pro bateriová úložiště a umožnit připojení k ES i samostatně stojícím bateriím a zpřístupnit jim cestu k účasti na trzích s elektřinou.

Seznam literatury a informačních zdrojů

[1] „Velký přehled: Využívané i perspektivní technologie akumulace energie". [Online]. Dostupné z: https://oenergetice.cz/akumulace-energie/velky-prehled-vyuzivane-i-perspektivni-technologie-akumulace-energie. [Viděno: 13-lis-2019].

[2] „ČEZ zahájil provoz 4MW baterie v rámci společného pilotního projektu s ČEPS | Skupina ČEZ - O Společnosti". [Online]. Dostupné z: https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/cez-zahajil-provoz-4mw-baterie-v-ramci-spolecneho-pilotniho-projektu-s-ceps-69165/index.shtml. [Viděno: 02-úno-2020].

[3] M. Kurfiřt a M. Jurík, „BATERIOVÉHO ÚLOŽIŠTĚ V MYDLOVARECH", 2018, s. 1–12.

[4] M. Sedlák a O. Šumavský, „Akumulace energie příležitost pro akceleraci české moderní energetiky", Praha, 2017.

[5] „Přečerpávací vodní elektrárna - princip a uspořádání". [Online]. Dostupné z: https://oenergetice.cz/elektrina/precerpavaci-vodni-elektrarna-princip-usporadani-2/. [Viděno: 12-lis-2019].

[6] „Dlouhé stráně | Skupina ČEZ - O Společnosti". [Online]. Dostupné z: https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/obnovitelne-zdroje/voda/vodni-elektrarny/ceska-republika/dlouhe-strane-58155. [Viděno: 12-lis-2019].

[7] International Energy Agency, „Technology Roadmap, Energy storage", 2014. [Online]. Dostupné z: https://speicherinitiative.at/assets/Uploads/20-technologyroadmapenergystorage.pdf. [Viděno: 13-lis-2019].

[8] „Cesty k akumulaci elektrické energie". [Online]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/06/cesty_1.html. [Viděno: 13-lis-2019].

[9] C. Kovács a K. Ferenczi, „Electricity Storage Insight", *Light. Out,* s. 163–171, 2016.

[10] „Superkapacitory a jejich použití jako vyrovnávacího zdroje napětí v lokální energetické síti průmyslu i jinde". [Online]. Dostupné z: http://www.smartcityvpraxi.cz/zajimave_projekty_280.php. [Viděno: 02-úno-2020].

[11] Deloitte Center for Energy Solutions, „Supercharged: Challenges and opportunities in global battery storage markets", 2018.

[12] „Energy Storage Special Report", in *PV Tech Power 20,* Solar Media, 2019.

[13] J. Moshövel *et al.*, „Analysis of the maximal possible grid relief from PV-peak-power impacts by using storage systems for increased self-consumption", *Appl. Energy*, 2015.

[14] ČEPS, „Kodex Přenosové Soustavy, II. Část, Podpůrné služby (PpS)", 2020.

[15] L. Dusonchet, S. Favuzza, F. Massaro, E. Telaretti, a G. Zizzo, „Technological and

legislative status point of stationary energy storages in the EU", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2019.

[16] C. J. Joubert, N. Chokani, a R. S. Abhari, „Impact of large scale battery energy storage on the 2030 central european transmission grid", *Int. Conf. Eur. Energy Mark. EEM*, roč. 2018-June, s. 1–5, 2018.

[17] J. K. Felder a I. A. Hiskens, „Optimal Power Flow with Storage", 2014.

[18] S. I. Kampezidou, E. Polymeneas, a S. Meliopoulos, „The economic effect of storage in systems with high penetration of renewable sources", in *2015 North American Power Symposium, NAPS 2015*, 2015.

[19] W. W. Kim, J. S. Shin, S. Y. Kim, a J. O. Kim, „Operation scheduling for an energy storage system considering reliability and aging", *Energy*, roč. 141, s. 389–397, 2017.

[20] „P. M. Subcommittee, ‚IEEE Reliability Test System,´ in IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-98, no. 6, pp. 2047-2054, Nov. 1979."

[21] ENTSO-E, „10-Year Network Development Plan", 2012.

[22] P. Fortenbacher a G. Andersson, „Battery degradation maps for power system optimization and as a benchmark reference", in *2017 IEEE Manchester PowerTech, Powertech 2017*, 2017.

[23] Deloitte, „Rozvoj obnovitelných zdrojů do roku 2030", 2019. [Online]. Dostupné z: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cz/Documents/energy-resources/rozvoj_obnovitelnych_zdroju_do_roku_2030_3.pdf. [Viděno: 12-bře-2020].

[24] „Global Energy Storage Database | Energy Storage Systems". [Online]. Dostupné z: https://www.sandia.gov/ess-ssl/global-energy-storage-database-home/. [Viděno: 22-bře-2020].

[25] J. Figgener *et al.*, „The development of stationary battery storage systems in Germany – A market review", *J. Energy Storage*, roč. 29, s. 101153, čer. 2020.

[26] OFGEM, „Clarifying the regulatory framework for electricity storage: Statutory Consultation on electricity generation licence changes and next steps", s. 1–12, 2019.

[27] F. Warburton, „Targeted Charging Review - Significant Code Review launch statement", *OFGEM*, s. 1–7, 2017.

[28] OFGEM, „Targeted Charging Review: a consultation", s. 1–9, 2017.

[29] A. Burges, „Open letter on implications of charging reform on electricity storage", 2019.

[30] OFGEM, „Enabling the competitive deployment of storage in a flexible energy system: changes to the electricity distribution licence Consultation", 2017.

[31] I. Alaperä *et al.*, „BATTERY SYSTEM AS A SERVICE FOR A DISTRIBUTION SYSTEM OPERATOR", 2019.

[32] „Bill Text - AB-2514 Energy storage systems." [Online]. Dostupné z: https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=200920100AB2514. [Viděno: 21-dub-2020].

[33] „Bill Text - AB-2868 Energy storage." [Online]. Dostupné z: https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill_id=201520160AB2868. [Viděno: 21-dub-2020].

[34] FERC, „Order 841 -Electric Storage Participation in Markets Operated by Regional Transmission Organizations and Independent System Operators", 2018.

[35] „Pravidla provozování distribučních soustav, příloha 4 - Pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulačních zařízení se sítí provozovatele distribuční soustavy", 2017.

[36] J. Fousek a K. Jelínková, „Perspektivy rozvoje akumulace energie v České republice", 2019. [Online]. Dostupné z: http://www.akubat-asociace.cz/wp-content/uploads/2019/06/190610-Energetika_článek-AKU-BAT.pdf. [Viděno: 19-úno-2020].

[37] „Akumulace elektřiny v českém právním řádu - Frank Bold Advokáti". [Online]. Dostupné z: https://www.fbadvokati.cz/cs/clanky/550-akumulace-elektriny-v-ceskem-pravnim-radu. [Viděno: 28-kvě-2020].

[38] „Národní akční plán pro chytré sítě (NAP SG)", 2015. [Online]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/elektroenergetika/2016/11/Narodni-akcni-plan-pro-chytre-site.pdf. [Viděno: 28-bře-2020].

[39] „Národní akční plán pro chytré sítě 2019-2030, Aktualizace NAP SG", 2019. [Online]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/konference-seminare/2019/4/Aktualizace-NAP-SG.pdf. [Viděno: 28-bře-2020].

[40] J. Fousek, „Perspektivy rozvoje akumulace energie", 2019.

[41] „German industry group BVES' guiding energy storage to be 'fourth pillar of energy transition' | Energy Storage News". [Online]. Dostupné z: https://www.energy-storage.news/news/germanys-industry-group-bves-guiding-energy-storage-to-be-fourth-pillar-of. [Viděno: 01-čer-2020].

[42] „Renewable Energy Planning Database quarterly extract - GOV.UK". [Online]. Dostupné z: https://www.gov.uk/government/publications/renewable-energy-planning-database-monthly-extract. [Viděno: 23-kvě-2020].

[43] „Nařízení komise (EU) 2017/2195", 2017. [Online]. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R2195&from=EN. [Viděno: 27-kvě-2020].