



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

Fakulta elektrotechnická  
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

**Akumulace elektrické energie a její využití v distribuční síti**

**Electrical energy storage and its applications in distribution grids**

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Studijní obor: Ekonomika a řízení energetiky

Vedoucí práce: Ing. Jan Švec, Ph.D.

**Bc. Kateřina Drtinová**

---

Praha 2018



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Drtinová** Jméno: **Kateřina** Osobní číslo: **420293**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Studijní obor: **Ekonomika a řízení energetiky**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Akumulace elektrické energie a její využití v distribuční síti**

Název diplomové práce anglicky:

**Electrical energy storage and its applications in distribution grids**

Pokyny pro vypracování:

1. Zpracujte přehled technologií pro akumulaci elektrické energie
2. Zpracujte přehled akumulačních aplikací vhodných pro ES
3. Vyhodnoťte vhodnost vybraných aplikací pro distribuční soustavu v ČR
4. Proveďte ekonomické zhodnocení vybraných akumulačních aplikací a jejich porovnání s klasickými řešeními

Seznam doporučené literatury:

- [1] Pravidla provozování distribuční soustavy
- [2] CIGRE Working Group C6.15: Electrical Energy Storage Systems. Technical brochure. 2011
- [3] Teorie a praxe firemních financí - Richard A. Brealey, Steward C. Myers, Franklin Allen, 2013

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Jan Švec, Ph.D., ČEZ Distribuce, a.s.**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **26.01.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **25.05.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2019**

Ing. Jan Švec, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studentky



## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vykonala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

podpis



## Poděkování

Chtěla bych poděkovat panu Ing. Janu Švecovi, Ph.D. za cenné informace z praxe a za trpělivou pomoc při zpracovávání této práce. Dále bych chtěla poděkovat panu doc. Ing. Jaromíru Vastlovi, CSc. za odborné vedení, pomoc a cenné rady.





## Abstrakt

Tato práce se ve své první části zabývá představením jednotlivých akumulčních technologií, jejich principu, technických a ekonomických parametrů. V další části je řešena využitelnost těchto technologií v elektrizační soustavě a aplikace vhodné přímo pro distribuční síť. V práci je okrajově zmíněn také legislativní rámec problematiky. V praktické části je vybrána aplikace akumulční technologie na úrovni nízkého napětí a je řešeno, zda a za jakých podmínek se provozovateli distribuční soustavy vyplatí investovat do bateriových akumulčních systémů pro pokrývání plánovaných odstávek na hladině nízkého napětí.

## Abstrakt

The first part of this diploma thesis deals with the presentation of energy storage technologies, their principles, technological and economic parameters. The second part refers to the use of these technologies in the electrical grid and to the applications that are convenient directly for the distribution grids. There is also shortly mentioned the legislative framework of the issue. For the practical part of the thesis a low voltage electrical energy storage technology application was chosen to find out in what conditions it is worth investing into the battery storage systems in order to cover planned shutdowns of electric power on the low voltage level.

## Klíčová slova

Akumulace elektrické energie, mobilní bateriové úložiště, distribuční síť, SAIFI, SAIDI

## Key words

Energy storage, mobile battery storage system, distribution grid, SAIFI, SAIDI



# Obsah

1 Úvod .....	15
2 Přehled technologií pro akumulaci elektrické energie .....	16
2.1 Mechanické systémy na akumulaci elektrické energie .....	16
2.1.1 Přečerpávací vodní elektrárny .....	16
2.1.2 Akumulace do stlačeného vzduchu .....	19
2.1.3 Akumulace do zkapalněného vzduchu .....	22
2.1.4 Setrvačníky .....	24
2.2 Elektrochemické systémy na akumulaci elektrické energie .....	25
2.2.1 Li-ion akumulátory .....	26
2.2.2 Olověné akumulátory .....	28
2.2.3 NaS (sodíkové) baterie .....	29
2.2.4 Průtoková (regenerativní) baterie .....	31
2.3 Chemické systémy na akumulaci elektrické energie .....	32
2.3.1 Akumulace do vodíku .....	32
2.3.2 Syntetický zemní plyn (SNG) .....	34
2.4 Elektrické systémy na akumulaci elektrické energie .....	35
2.4.1 Superkapacitory .....	35
2.5 Termální systémy na akumulaci elektrické energie .....	36
2.5.1 Termochemické .....	37
2.5.2 Akumulace citelného tepla .....	37
2.5.3 Akumulace latentního tepla .....	37
3 Srovnání základních parametrů jednotlivých akumulačních systémů .....	38
3.1 Technické parametry .....	38
3.2 Ekonomické parametry .....	41
3.2.1 Investiční náklady .....	41
3.2.2 Sdružená cena energie (Levelized cost) .....	42
3.4 Komplexní porovnání .....	43
4 Přehled akumulačních aplikací vhodných pro ES .....	44
4.1 Aplikace vhodné pro přenosovou soustavu .....	44
4.1.1 Primární a sekundární regulace činného výkonu .....	44
4.2 Aplikace vhodné pro distribuční soustavu .....	44
4.2.1 Hladina VVN (rozvodna 110/vn) .....	44
4.2.2 Hladina VN .....	44

4.2.3	Hladina NN.....	45
5	Legislativa .....	47
6	Ekonomické zhodnocení vybrané akumulční aplikace .....	50
6.1	Cíle .....	50
6.2	Výběr akumulční technologie .....	51
6.3	Rozmístění transformátorů po území ČEZ Distribuce .....	51
6.4	Charakter přerušení - analýza SAIDI, SAIFI .....	57
6.4.1	SAIDI a SAIFI – plánované odstávky.....	58
6.4.2	Neplánované odstávky .....	62
6.4.3	Shrnutí analýzy SAIDI, SAIFI.....	63
6.5	Dimenzování systémů – pro plánované odstávky .....	64
6.5.1	Akumulční technologie .....	64
6.5.2	Dieselagregát.....	67
6.6	Motivační regulace ERÚ .....	67
6.6.1	Požadované hodnoty SAIFI/SAIDI.....	67
6.6.2	Hodnoty SAIFI/SAIDI ČEZ Distribuce.....	69
6.6.3	Nutné snižování ukazatelů pro bonifikaci .....	72
6.6.4	Finanční motivace.....	76
6.7	Příjmy a výdaje – akumulční technologie .....	78
6.7.1	Výdaje .....	78
6.7.2	Příjmy.....	82
6.7.3	Shrnutí .....	83
6.8	Výdaje a příjmy – dieselagregáty.....	84
6.8.1	Náklady.....	84
6.8.2	Příjmy.....	86
6.8.3	Shrnutí .....	86
6.9	Efektivní pokrývání úbytku SAIDI, SAIFI.....	87
6.10	Zvolení optimální aplikace.....	88
7	Závěr .....	91
	Citovaná literatura.....	93
	Přílohy.....	95
	Příloha č.1 – Obce podle počtu obyvatel v jednotlivých okresech.....	95
	Příloha č.2 – Transformační výkon jednotlivých měst.....	97
	Transformační výkon – města nad 100 000 obyvatel .....	97
	Transformační výkon – města nad 50 000 obyvatel .....	97
	Příloha č.3 – Pokrytí obcí transformátory .....	98

Příloha č.4 – Počet transformátorů v jednotlivých okresech .....	100
Příloha č.5 – Rozdělení okresů do územních celků .....	103
Příloha č.6 – Počty transformátorů přispívajících k SAIDI/SAIFI.....	105
Příloha č.7 - Seznam zkratk a symbolů .....	106
Příloha č.8 - Seznam obrázků .....	107
Příloha č.9 - Seznam grafů .....	107
Příloha č.10 - Seznam tabulek .....	108
Příloha č.11 - Seznam vzorců.....	109



# 1 Úvod

Ve své práci se budu zabývat nejprve představením různých akumulčních technologií z hlediska technického i ekonomického. Vzhledem k tomu, že akumulace zatím není zakotvena v našem právním rámci, budu se také okrajově věnovat legislativě. Poté zhodnotím vhodnost využití různých technologií v elektrizační soustavě a konkrétně v soustavě distribuční. Pro praktickou část práce si vyberu aplikaci na hladině nízkého napětí – mobilní akumulční technologie pro pokrývání plánovaných odstávek distribučních transformátorů (na území ČEZ Distribuce).

Cílem práce je zjistit, zda se distributorovi vyplatí investovat do akumulčních technologií pro tento účel – tato varianta bude v závěru porovnána s variantou, kdy distributor neinvestuje do žádné technologie na eliminaci plánovaných odstávek a dále s variantou, kdy distributor místo akumulční technologie využije dieselagregáty.

V první řadě budu muset analyzovat počet distribučních transformátorů a jejich rozložení na území ČEZ Distribuce. Dalším důležitým faktorem je počet odběratelů připojených na jeden transformátor. Na základě těchto údajů budu schopna stanovit příspěvek jedné plánované odstávky distribučního transformátoru k celkové hodnotě ukazatele.

Následně budu analyzovat ukazatele nepřetržitosti dodávek ČEZ Distribuce, abych zjistila četnost a průměrnou délku plánovaných odstávek. Na průměrnou délku (včetně rezervy) budu dimenzovat akumulční technologii. Součástí výpočtů bude také analýza motivační regulace Energetického regulačního úřadu a její prognóza do budoucnosti, abych mohla na závěr zhodnotit přínosy daného projektu včetně bonusů/malusů plynoucích z této motivační regulace.

## 2 Přehled technologií pro akumulaci elektrické energie

Základní členění systémů na akumulaci elektrické energie je dle zdroje [1] následující:

1. **Mechanické**
2. **Elektrochemické**
3. **Chemické**
4. **Elektrické**
5. **Termální**

*Pozn.: Dále se v této práci budu držet výše uvedeného členění dle elektronického zdroje E-Storage 2016, zdroj č. [1].*

### 2.1 Mechanické systémy na akumulaci elektrické energie

Mezi hlavní mechanické systémy patří [1]:

1. **Přečerpávací vodní elektrárny (PHS = pumped-storage hydroelectricity)**
2. **Akumulace do stlačeného vzduchu (CAES = Compressed Air Energy Storage)**
3. **Akumulace do zkapalněného vzduchu (LAES = Liquid Air Energy Storage)**
4. **Setrvačníky**

#### 2.1.1 Přečerpávací vodní elektrárny

Přečerpávacích vodních elektráren můžeme rozlišit několik druhů. Dále se v textu budu zabývat klasickými přečerpávacími vodními elektrárnami, které slouží k pokrývání špiček denního diagramu zatížení.

Nicméně pro úplnost považuji za správné krátce zmínit i sezónní. Jedná se o akumulaci vody hlavně z důvodu vodohospodářského. Je využívána na velkých řekách nebo v oblastech protkaných kanály, kde je nutno zadržet vodu například na jaře po tání sněhů a udržet a hospodařit s ní do dalšího období dešťů/tání sněhů. Nicméně i takovéto zádržné systémy mohou být využity pro výrobu elektrické energie. [2]

Elektrina vyvedená z takového elektrárny ovšem nekoresponduje s křivkou zatížení elektrizační soustavy, neboť impulsem pro spouštění není potřeba elektřiny, nýbrž vody.



### 2.1.1.1 Klasické přečerpávací vodní elektrárny

- **Schéma**



Obrázek 1 - PHS schéma

(Zdroj: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9a/Pumpstor\\_racoon\\_mtn.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9a/Pumpstor_racoon_mtn.jpg); UPRAVENO)

- **Princip**

Princip přečerpávací elektrárny spočívá v tom, že během doby, kdy je v síti přebytek energie (zpravidla během noci), je voda čerpána (v dnešní době nejčastěji pomocí reversní turbíny) ze spodní nádrže do nádrže horní. Tento proces samozřejmě není 100 % účinný. Účinnost tohoto cyklu závisí na mnoha věcech, jako je například výškový rozdíl mezi hladinou spodní a horní nádrže a podobně, pohybuje se nejčastěji mezi 70 a 80 % (zdroje se různí). [2]

Princip PVE je velmi jednoduchý a technologie jsou lety provozu těchto systémů spolehlivé a technologicky vyspělé. Značně velké nároky jsou při výstavbě těchto systémů kladeny na geologické podloží a celkově vhodnost lokality. Kapacita závisí na množství vody uchované v horní nádrži. V PVE může být uchováno velké množství energie. Nejčastěji se výkon pohybuje mezi 100 a 2 500 MW [1].

Životnost je vysoká a pohybuje se mezi 30 a 60 lety. [1] Další výhodou tohoto systému akumulace je to, že nedochází k samovybíjení. [1]

Výkon, který je schopna elektrárna dodat do sítě, je (při zanedbání ztrát) vypočten dle následujícího vztahu:

$$P = Q * \rho * g * H \quad (W) \quad (1)$$

kde  $P$  je teoretický výkon (W)

$Q$  je průtok turbínou (m<sup>3</sup>/s)

$\rho$  je hustota vody (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  je tíhové zrychlení (m/s<sup>2</sup>)

$H$  je střední spád (m)

Energie, která je uchována tímto systémem, je (při zanedbání ztrát) potom:

$$E = P * t = V * \rho * g * H \quad (J; Ws) \quad (2)$$

kde  $E$  je teoretická energie vody (J; Ws)

$V$  je využitelný objem vody (m<sup>3</sup>)

Pro PHS jsou v současné době nejčastěji využívány Francisovy turbíny, a to z toho důvodu, že umožňují reverzní chod.

- **Základní technické parametry**

V následující tabulce jsou uvedeny základní technické parametry přečerpávacích vodních elektráren.

[1]

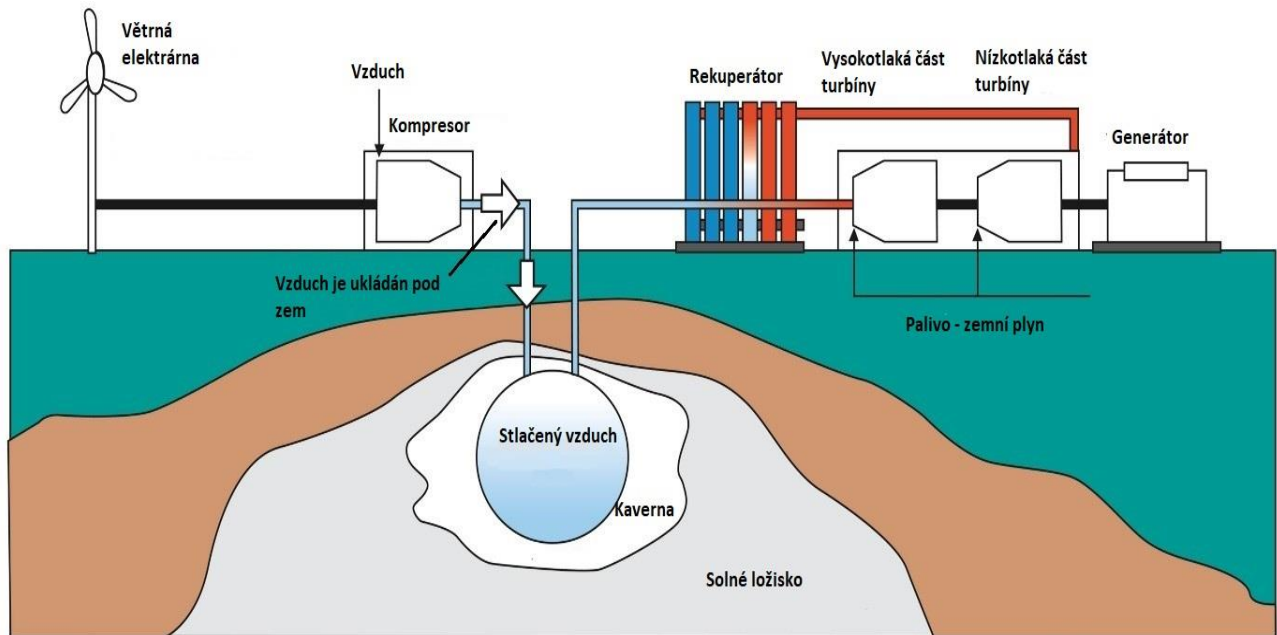
Tabulka 1 - Základní technické parametry - PHS

Kategorie	Hodnota
Výkon (MW)	100 – 2 500
Čas vybíjení (hod.)	4 - 16
Životnost (roky)	30 – 60
Samovybíjení (%/den)	~ 0
Měrná výroba energie (Wh/l)	0,2 - 2
Měrný výkon (W/l)	0,1 – 0,2
Účinnost (%)	70 - 85
Reakční čas	desítky sekund, plný výkon do 2 min

## 2.1.2 Akumulace do stlačeného vzduchu

Tento typ akumulace má prakticky stejné využití jako přečerpávací vodní elektrárny – je vhodná pro dlouhodobější uchování energie, nedochází k samovybíjení, životnost je 20 až 40 let. [1]

- **Schéma**



Obrázek 2 - CAES schéma

(Zdroj: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/energias-renovables/temas/almacenamiento/almacenamiento.html>;

UPRAVENO)

- **Princip**

Princip spočívá v tom, že když je elektrické energie v síti přebytek, je využita na stlačování a uskladňování vzduchu do podzemních nádrží, když je jí naopak v síti nedostatek, stlačený vzduch expanduje na turbíně a systém dodává do sítě elektrickou energii. [3]

Problém tohoto typu akumulace spočívá v účinnosti. Při kompresi z atmosférického tlaku na tlak cca 70 bar [3] se totiž vzduch značně ohřívá a je nutné mu toto teplo odebrat. Pokud teplo není využito a je pouze bez užitku odvedeno, je účinnost celého systému přibližně 40 % [3]. Následně je před expanzí nutné vzduchu teplo dodat.

Celkovou energii obsaženou ve stlačeném vzduchu lze určit podle:

$$E_{teor} = m * i = m * c_p * T \quad (\text{J; Ws}) \quad (3)$$

Nicméně entalpie je forma energie, kterou nemůžeme celou využít (můžeme využít pouze její část, zvanou exergie), využitelná část se určí podle vzorce:

$$E = m * (i_1 - i_2) = m * c_p * (T_1 - T_2) \quad (\text{J; Ws}) \quad (4)$$

kde  $E_{teor}$  je celková energie ve stlačeném vzduchu (J; Ws)

$E$  je celková využitelná energie ve stlačeném vzduchu (J; Ws)

$m$  je celková hmotnost vzduchu (kg)

$i$  je entalpie vzduchu (J)

$c_p$  je měrná tepelná kapacita plynu ( $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ )

$T$  je teplota vzduchu (K)

$i_1$  je vstupní entalpie (J)

$i_2$  je výstupní entalpie (J)

$T_1$  je vstupní teplota vzduchu (K)

$T_2$  je výstupní teplota vzduchu [K]

Podle hospodaření s odebraným teplem dále dělíme CAES do podkategorií:

- **Diabatická akumulace do stlačeného vzduchu**

Standardní metoda akumulace do stlačeného vzduchu je diabatická – dochází k předávání tepla. V tomto systému je teplo vzniklé při kompresi bez užitku odvedeno do okolního prostředí. Následně je vzduch před kompresí opět zahříván například spalováním zemního plynu. [3] Tento proces značně snižuje účinnost celého cyklu a jeho ekonomickou i ekologickou atraktivitu. Mírně může účinnost zvýšit přehřev expandovaného vzduchu teplem spalin.

Výhodou oproti klasické plynové turbíně je to, že nám časové oddělení komprese od expanze na turbíně umožní lépe využít výkon této turbíny (až trojnásobné využití). Můžeme tedy naplno využít turbínu a dodat do sítě naráz větší výkon. [3]

- **Adiabatická akumulace do stlačeného vzduchu**

Adiabatický systém se od diabatického liší tím, že teplo z komprese je skladováno a využito pro ohřátí vzduchu před expanzí. Tímto se dá účinnost zvýšit až na 70 %. V současné době nejsou projekty tohoto typu v provozu. [3]

- **Izotermální akumulace do stlačeného vzduchu**

Izotermální proces je ideální stav, kterého by bylo třeba docílit. Čím blíže se křivka tlak – objem bude blížit izotermě, tím vyšší bude účinnost systému jako celku. V ideálním případě by tedy mělo být teplo při kompresi odebíráno kontinuálně, při expanzi potom dodáváno kontinuálně, aby bylo docíleno právě izotermické křivky. [4]

Žádné takovéto systémy v současné době nejsou v provozu, nicméně jsou zkoumány různé metody, jak docílit stálé teploty. Jedna z metod je například rozstříkávání drobných kapiček vody do vzduchu během komprese. Poté je voda odstraněna a k tomu samému ději dochází během expanze. [4]

- **Základní technické parametry CAES (diabatická, adiabatická)**

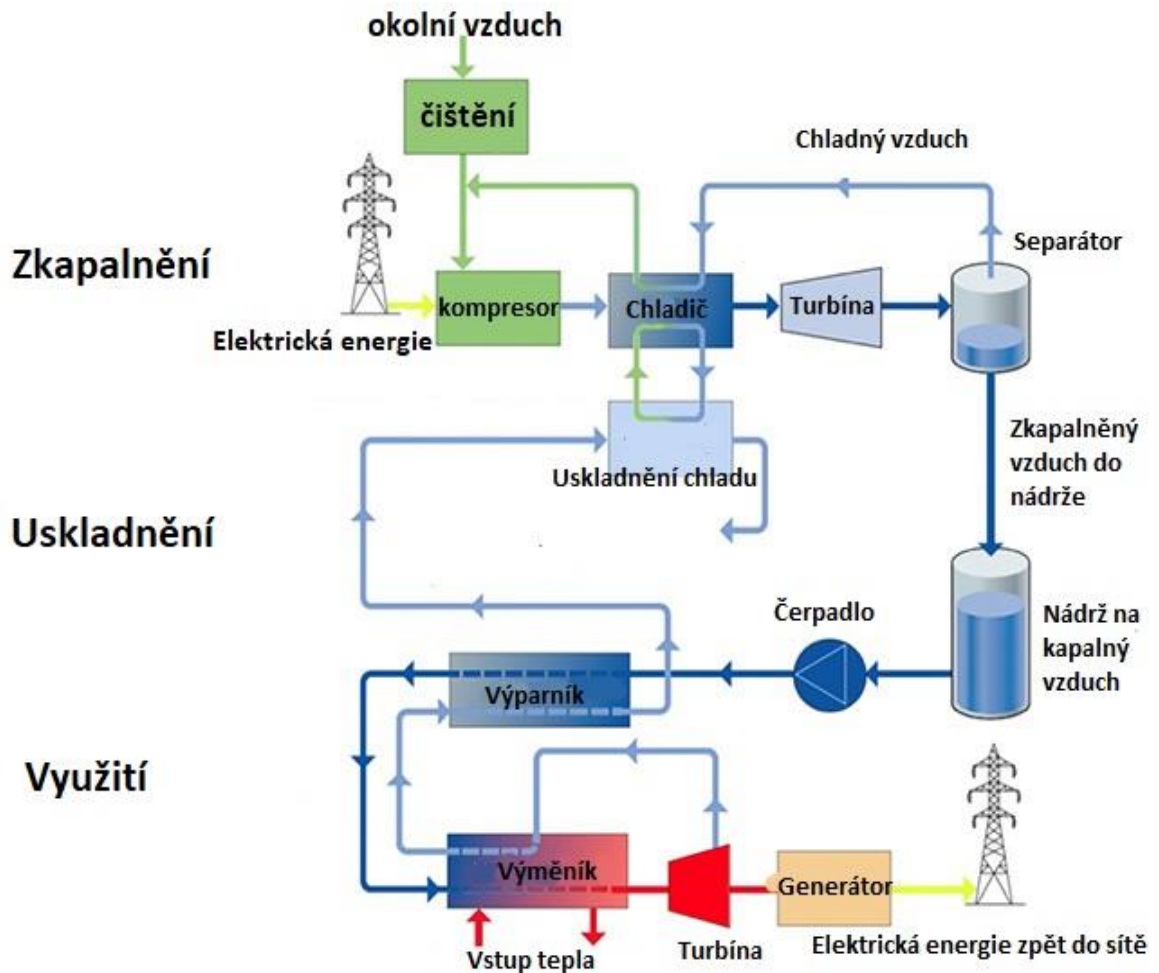
V následující tabulce jsou uvedeny základní technické parametry akumulace do stlačeného vzduchu (diabatické a adiabatické). [1]

Tabulka 2 - Základní technické parametry - CAES

Kategorie	Hodnota
Výkon (MW)	10 – 1 000
Čas vybíjení (hod)	2 - 30
Životnost (roky)	20 - 40
Samovybíjení (%/den)	~ 0
Měrná výroba energie (Wh/l)	2 - 6
Měrný výkon (W/l)	0,2 – 0,6
Účinnost (%)	40 - 55 (diabatická)/70 (adiabatická)
Reakční čas	desítky sekund, plný výkon do 10 min

## 2.1.3 Akumulace do zkapalněného vzduchu

- Schéma



Obrázek 3 - LAES schéma

(Zdroj: <http://energystoragesense.com/wp-content/uploads/2014/06/Liquid-air-energy-storage.jpg>;  
UPRAVENO)

- Princip

Princip systémů, které využívají zkapalněný vzduch pro akumulaci elektrické energie, je velmi podobný systémům pracujícím se stlačeným vzduchem. Jsou určeny primárně pro dlouhodobější uchování energie a jejich výkony mohou být až ve stovkách MW. [5]

Princip spočívá v tom, že v době přebytku elektrické energie v síti je využívána pro ochlazení vzduchu na teplotu, kdy se stává kapalným (ze 700 litrů vzduchu dostaneme 1 l kapaliny [5]). Tento kapalný vzduch je uchováván a následně je vzduch zahřátím znovu zplyňován a jde do plynové turbíny. [5]

Výhodné je to, že v systémech tohoto typu můžeme zužitkovat nízkopotenciální teplo [5], které by bylo produkováno například v sousední výrobní fabrice. Dále využívá komponenty, které jsou využívané v dnešní době naprosto běžně (nádoby pro skladování kapalného vzduchu, například kyslíku) a mají vysokou životnost.

- **Základní technické parametry**

V následující tabulce jsou uvedeny základní technické parametry akumulace do kapalného vzduchu.

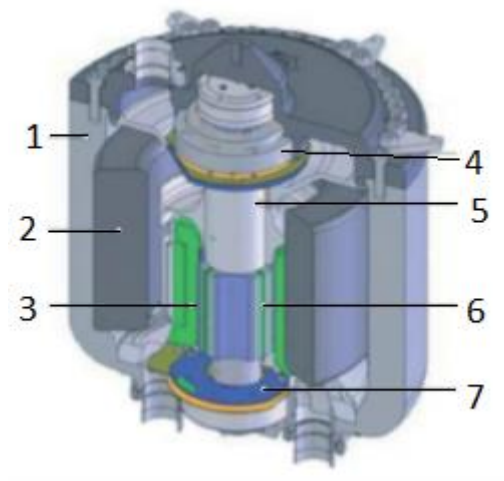
Pro všechny ostatní akumulční systémy byl jako zdroj využit elektronický zdroj E-Storage 2016 (World Energy Council). Tato technologie není v uvedeném zdroji zahrnuta, a tedy bylo čerpáno z informací sdělených na konzultacích.

*Tabulka 3 - Základní technické parametry - LAES*

<b>Kategorie</b>	<b>Hodnota</b>
Výkon (MW)	$\leq 50$
Čas vybíjení	minuty - dny
Životnost (roky)	20 - 40
Samovybíjení (%/den)	$\sim 0$
Měrná výroba energie (Wh/kg)	100 - 200
Účinnost (%)	$\leq 60$
Reakční čas	desítky sekund

## 2.1.4 Setrvačníky

- **Schéma**



1. Kryt
2. Setrvačnick z uhlíkového sklolaminátu
3. Vinutí statoru
4. Horní ložisko magnetu
5. Podtlakový systém
6. Rotor a budící vinutí
7. Spodní ložisko magnetu

Obrázek 4 - Setrvačnick schéma

(Zdroj: <http://oenergetice.cz/elektrina/rotacni-zalozni-zdroje-elektricke-energie-motorgenerator-setrvacnik/>;  
UPRAVENO)

- **Princip**

Zatímco u předchozích typů akumulace byla energie akumulována do potenciální energie, u setrvačnicků je akumulována do kinetické energie.

Setrvačnick (rotor) je roztáčen v motorickém chodu zařízení. Setrvačnick se nejčastěji točí ve vakuu a je se statorem svázaný magnetickým polem – levituje. Jakmile dojde ke krátkodobému výpadku elektrické energie nebo má elektrická energie zhoršené parametry, může na to setrvačnick v podstatě ihned reagovat – zařízení přejde do generátorového chodu a energii začne vyrábět. [6]

Jejich účinnost je poměrně vysoká – 70 až 95 %. [1]

Celková kinetická energie vázaná v setrvačnicku se vypočítá podle vzorce:

$$E_k = \frac{1}{2} * \omega^2 * \sum_{i=1}^n m_i * r_i^2 = \frac{1}{2} * J * \omega^2 \quad (J) \quad (5)$$

kde  $E_k$  je kinetická energie vázaná v setrvačnicku (J)

$J$  je moment setrvačnosti těl. (kg m<sup>2</sup>)

$\omega$  je úhlová rychlost [rad s<sup>-1</sup>]



$m_i$  je hmotnost i-tého hmot. bodu (kg)

$r_i$  je vzdálenost hm. bodu od osy (m)

- **Základní technické parametry**

V následující tabulce jsou uvedeny základní technické parametry akumulace do setrvačnicku. [1]

Tabulka 4 - Základní technické parametry - setrvačnický

Kategorie	Hodnota
Výkon (MW)	0,001 - 20
Čas vybíjení (hod)	sec - min
Životnost (cykly)	20 000 – 100 000
Samovybíjení (%/den)	1,3 - 100
Měrná výroba energie (Wh/l)	20 - 80
Měrný výkon (W/l)	5 000
Účinnost (%)	70 - 95
Reakční čas	< sec

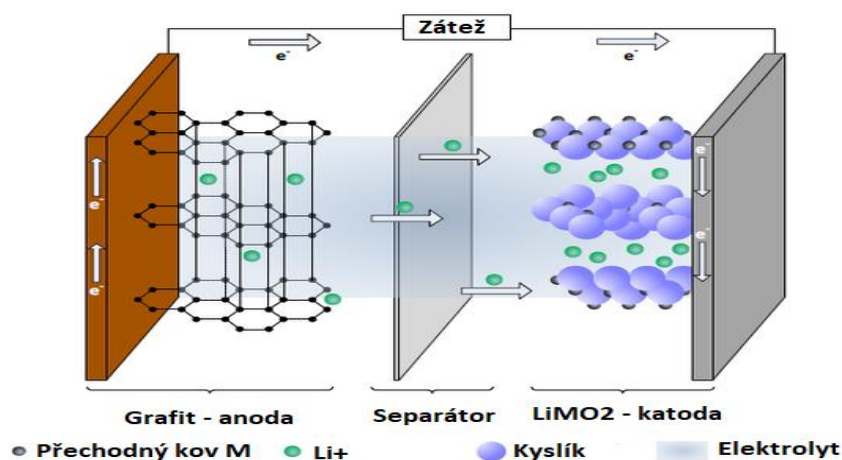
## 2.2 Elektrochemické systémy na akumulaci elektrické energie

Mezi hlavní elektrochemické systémy patří:

1. **Li-ion akumulátory**
2. **Olověné akumulátory**
3. **NaS (sodíkové) baterie**
4. **Průtoková (regenerativní) baterie**

## 2.2.1 Li-ion akumulátory

- **Schéma**



Obrázek 5 - Li-ion schéma

(Zdroj: <https://www.hawk-hhg.de/pressestelle/186756.php>; UPRAVENO)

- **Princip**

Základní princip lithium iontového akumulátoru spočívá v tom, že jsou ionty  $\text{Li}^+$  přepravovány mezi katodou a anodou<sup>1</sup> (při vybíjení se ionty pohybují směrem ke katodě, při nabíjení k anodě). Články neobsahují samotné kovové lithium, ale lithiové ionty jsou injektovány do struktury jiného materiálu. Pro katodu jsou tímto materiálem například fosfáty, pro anodu sloučeniny obsahující uhlík (nejčastěji například grafit). [7]

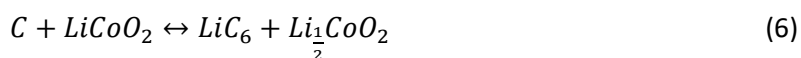
Tyto články obsahují kapalný elektrolyt a elektrody jsou svinuty po obvodu článku. Nabíjecí napětí je 4,2 V na článek, jmenovité 3,6 V. Plášť je kovový a akumulátor má kovovou pojistku kvůli přebití a případnému úniku plynů. Z důvodu kovového pláště jsou tyto akumulátory tedy poměrně bezpečné (nehrozí tak snadné porušení) a používají se v řadě elektronických zařízeních. Měrná energie se pohybuje mezi 150 – 200 Wh/kg. [8] Li-ion akumulátory jsou vyráběny od nejmenších výkonů (do drobné elektroniky) po velké bateriové systémy o výkonech až stovky MW. Účinnost je vysoká a dosahuje až 95 %. [1] Li-ion články jsou náchylné k překročení povoleného maximálního nabíjecího napětí a vybití na nižší napětí, než je povoleno. Z tohoto důvodu je pro každý takovýto akumulátor důležitá řídicí elektronika. [7]

<sup>1</sup> Anoda je elektroda, na které dochází k oxidaci, katoda je elektroda, na které dochází k redukci. Polaritu mohou mít obě elektrody jak kladnou, tak zápornou. Pro případ akumulátoru je tedy při vybíjení kladná elektroda katodou a záporná anodou, při nabíjení je kladná elektroda anodou a záporná katodou.

Největším rozdílem oproti jiným druhům akumulátorů je, že ionty lithia jsou pouze vmístěny do mřížky materiálu, aniž by s ním reagovaly. Tím je dosaženo dlouhé životnosti. [8] Další výhodou je plochá vybíjecí křivka [8], díky které je napájenému spotřebiči dodávané téměř konstantní napětí.

Nevýhodou u těchto typů akumulátorů je reakce lithia a jeho sloučenin se vzduchem a vlhkostí, při které článek degraduje. Dalším nebezpečím je porušení článku a zkrat jednotlivých vrstev, přičemž hrozí požár. [8]

Reakce v Li-ion článku (typ  $LiCoO_2$  a  $LiC_6$ ) [9]:



- **Základní technické parametry**

V následující tabulce jsou uvedeny základní technické parametry akumulace do Li-ion akumulátorů. [1]

Tabulka 5 - Základní technické parametry – Li-ion akumulátory

Kategorie	Hodnota
Výkon (MW)	0,05 - 100
Čas vybíjení	1 min – 8 hod
Životnost (cykly)	100 – 10 000
Samovybíjení (%/den)	0,1 – 0,3
Měrná výroba energie (Wh/l)	200 - 400
Měrný výkon (W/l)	1 300 – 10 000
Účinnost (%)	85 - 95
Reakční čas	< sec

Pro úplnost uvedu ve zkratce i následující články: Li-Pol, LiFe a LTO. [8]

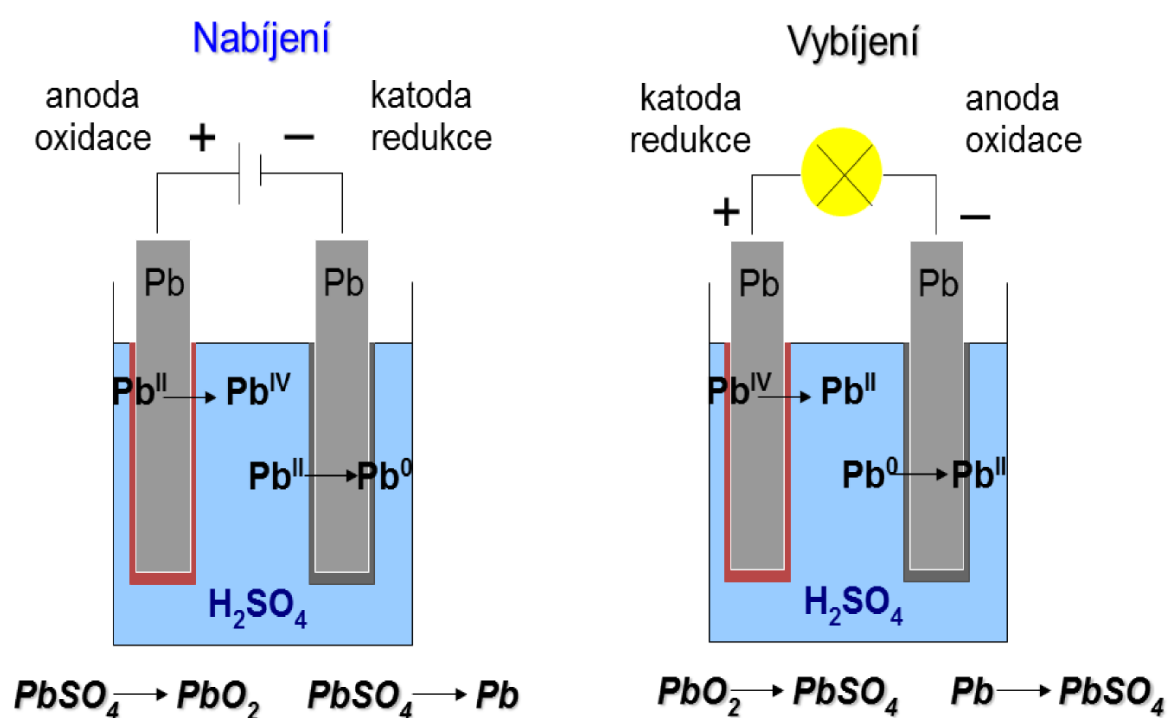
U Li-Pol článků je elektrolytem polymer. Elektrody nejsou svinovány, jako u Li-ion akumulátorů, ale jsou pokládány na sebe. Tyto elektrody mohou mít nejrůznější tvar, čehož je například využíváno u notebooků, kde akumulátory mohou vyplňovat potřebný prostor. Chybí zde také kovový obal, který je nahrazen hliníkovými foliemi. Energetická hustota je nepatrně vyšší než u Li-ion akumulátorů, což je způsobeno nižší vahou. [8]

LiFe články se skládají z lithia, železa a fosfátu. Energetická hustota je 90 – 120 Wh/kg. Oproti předchozím dvěma typům jsou tyto články více proudově zatížitelné a jsou mírně odolnější proti hlubokému vybití. Tento typ se používá také jako náhrada olověných akumulátorů, protože čtyřčlávková sada má napětí podobné jako 12 V olověný akumulátor. [8]

Pro výrobu LTO článků se používá lithium a titan. Jejich výhodou je možný provoz za nižších teplot.

## 2.2.2 Olověné akumulátory

- Schéma



Obrázek 6 - Olověné akumulátory schéma

(Zdroj: Svatoň Jaroslav; *Elektrochemie, Elektronická učebnice*; [online]; dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2282>)

- Princip

Olověné akumulátory jsou na trhu mnohem déle než Li-ion akumulátory. Princip je takový, že katoda je PbO<sub>2</sub>, anoda Pb a elektrolyt H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Vybíjením se aktivní hmota katody a anody přeměňuje na PbSO<sub>4</sub> a klesá koncentrace síry v elektrolytu. [10] Elektrolyt může být buďto kapalný, ztužený ve formě gelu nebo například nasáknutý do skelné vaty. [10]

Jejich jmenovité napětí je 2 V [10]. Jejich aplikace mohou mít od 0,05 MW až do stovek MW a jejich účinnost dosahuje stejných maximálních hodnot jako u akumulátorů LI-ION, tedy 95 %. [1]

Principy chemických přeměn probíhajících v článku jsou uvedeny v obrázku č.6.

- **Základní technické parametry**

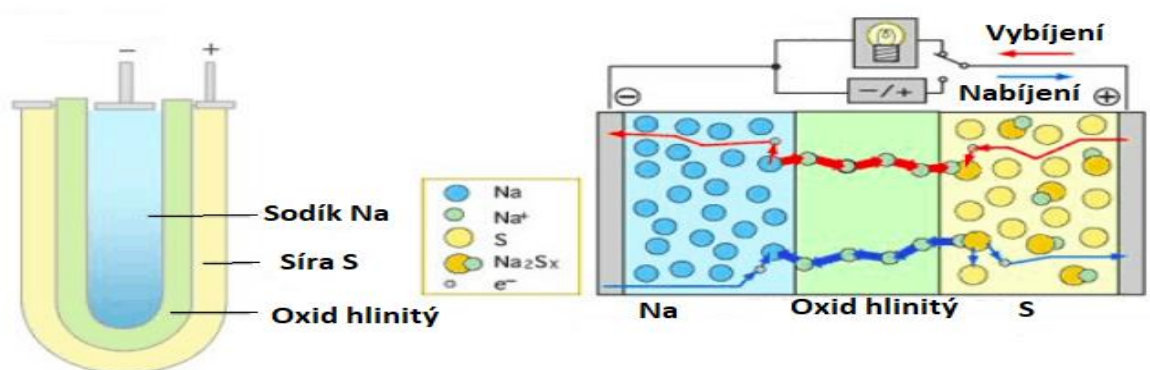
V následující tabulce jsou uvedeny základní technické parametry akumulace do olověných akumulátorů. [1]

Tabulka 6 - Základní technické parametry – olověné akumulátory

Kategorie	Hodnota
Výkon (MW)	0,001 - 100
Čas vybíjení	1 min – 8 hod
Životnost (roky)	6 - 40
Samovybíjení (%/den)	0,1 – 0,3
Měrná výroba energie (Wh/l)	50 - 80
Měrný výkon (W/l)	90 - 700
Účinnost (%)	80 - 90
Reakční čas	< sec

### 2.2.3 NaS (sodíkové) baterie

- **Schéma**



Obrázek 7 - NaS baterie schéma

(Zdroj: <http://oenergetice.cz/elektrina/sodikove-baterie-konstrukce-princip-cinnosti-a-aplikace/>;  
UPRAVENO)

- **Princip**

V sodíkových bateriích je jako katoda použit sodík, jako anoda síra. Tyto dvě elektrody jsou odděleny oxidem sodným, který slouží jako elektrolyt. Skrz tento elektrolyt se dostanou pouze kladné sodíkové ionty. Během vybíjení se ze sodíku, který tvoří elektrolyt, odlučují elektrony, čímž vznikne vždy kladně nabitý iont sodíku. Elektrony poté projdou celým obvodem až zpět do baterie, kde jsou zachyceny na kladné elektrodě. Kladné sodné ionty jsou přitahovány ke kladné elektrodě. [11]

Během nabíjení tento proces probíhá přesně obráceně, ovšem nabíjení není tak jednoduché jako u baterií uvedených doposud. Baterie musí být velmi zahřátá (> 300 °C), tedy součástí takovýchto systémů na akumulaci elektrické energie jsou samostatné ohříváče. Nicméně i přes tento zápor jsou již ve světě takovéto instalace využívány. Největší instalace má výkon 34 MW (245 MWh), nachází se v Japonsku a slouží pro optimalizaci výkonu z větrných elektráren (jejich zastoupení bateriovým systémem v období, kdy je méně větrno, a naopak jeho nabíjení, když větrná elektrárna dodává velký výkon). [11]

Vzhledem k tomu, že je nutno baterie pro znovunabití zahřát, se účinnost pohybuje v mírně nižších číslech než u akumulátorů olovených a li-ion, nicméně i tak je vysoká – dosahuje až 90 %. [1]

Rovnice chemické reakce probíhající v článku:



- **Základní technické parametry**

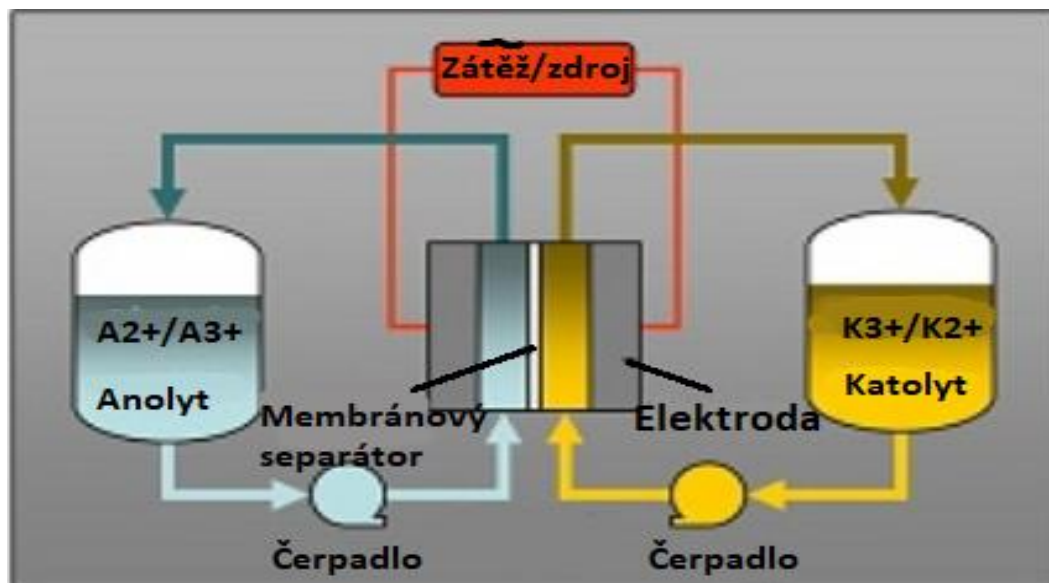
V následující tabulce jsou uvedeny základní technické parametry akumulace do sodíkových akumulátorů. [1]

*Tabulka 7 - Základní technické parametry – sodíkové akumulátory*

Kategorie	Hodnota
Výkon (MW)	10 -100
Čas vybíjení	1 min – 8 hod
Životnost (cykly)	2 500 – 4 500
Samovybíjení (%/den)	0,05 -20
Měrná výroba energie (Wh/l)	150 - 300
Měrný výkon (W/l)	120 - 160
Účinnost (%)	70 - 90
Reakční čas	< sec

## 2.2.4 Průtoková (regenerativní) baterie

- Schéma



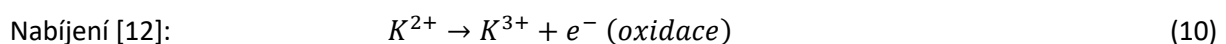
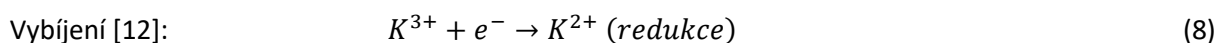
Obrázek 8 - Průtoková baterie schéma

(Zdroj: <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/redox-flow-batteries>; UPRAVENO)

- Princip

Základní konstrukce této baterie se neliší například od NaS baterie, navíc má ale dvě vnější nádrže elektrolytu (jedna nádrž záporného a druhá kladného) [12]. U každé nádrže je čerpadlo, které tento elektrolyt vhání do samotné baterie. Velikost baterie potom určuje to, jak velký výkon je baterie schopna dodat, velikost akumulčních nádrží potom její kapacitu. Samotný princip reakce potom zůstává stejný jako u NaS baterie [12].

Tyto baterie mohou dodávat od malých výkonů po výkony ve stovkách MW. Jejich účinnost se pohybuje mezi 60 a 85 %. [1]



- **Základní technické parametry**

V následující tabulce jsou uvedeny základní technické parametry akumulace do regenerativních baterií. [1]

Tabulka 8 - Základní technické parametry – regenerativní baterie

Kategorie	Hodnota
Výkon (MW)	0,1 - 100
Čas vybíjení	hodiny
Životnost (cykly)	12 000 – 14 000
Samovybíjení (%/den)	0,2
Měrná výroba energie (Wh/l)	20 - 70
Měrný výkon (W/l)	0,5 - 2
Účinnost (%)	60 - 85
Reakční čas	< sec

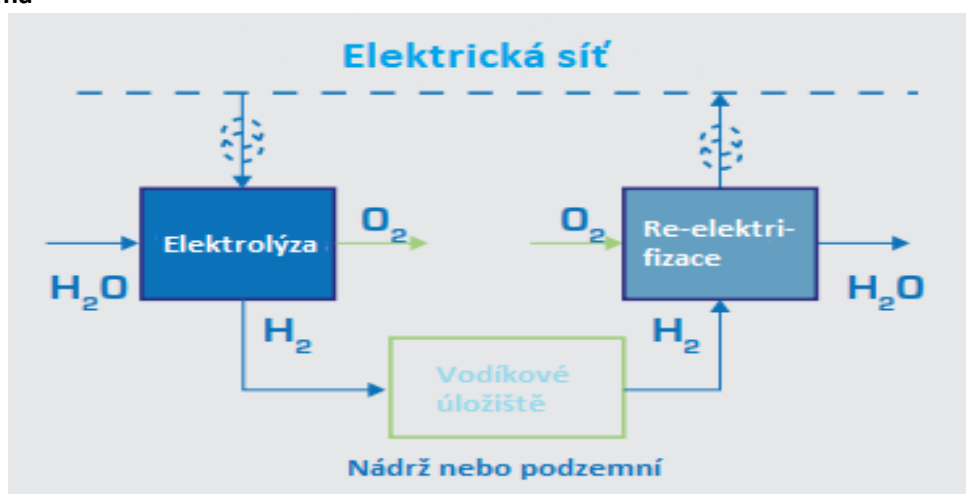
## 2.3 Chemické systémy na akumulaci elektrické energie

Mezi hlavní chemické systémy patří:

1. Akumulace do vodíku
2. Syntetický zemní plyn (SNG)

### 2.3.1 Akumulace do vodíku

- **Schéma**



Obrázek 9 - Akumulace do vodíku schéma

(UPRAVENO: Zdroj: [http://ease-storage.eu/wp-content/uploads/2016/03/EASE\\_TD\\_Hydrogen.pdf](http://ease-storage.eu/wp-content/uploads/2016/03/EASE_TD_Hydrogen.pdf))



- **Princip**

Princip akumulace do vodíku je následující. Během přebytků elektrické energie v síti je elektřina využívána na elektrolýzu, kde se elektrolýzou vody ve vhodném roztoku soli vytváří vodík (a kyslík jako vedlejší produkt). V současné době se využívá elektrolýza alkalická nebo PEM (zkratka Proton Exchange Membrane). [13] Alkalická elektrolýza je vyspělejší a dobrou ozkoušená technologie, zatímco PEM je více flexibilní a může být použit pro malé sestavy. Účinnost obou dvou těchto technologií se pohybuje mezi 65 % a 70 %. [13]

Další možností elektrolýzy je elektrolýza za vysoké teploty. Tato metoda je mnohem účinnější než předchozí dvě zmíněné, nicméně je ještě ve fázi vývoje. [13]

Následně může být vodík uchováván ve formě plynu (100 až 300 bar) nebo zkapalněný (20,3 K). Velká úložiště jsou realizována v podzemních solných kavernách. [13]

Ze schématu je vidět, že následně je vodík zpětně přeměňován na elektřinu v palivových článcích, které mají jako vstup právě vodík a kyslík. Výstupem z článku je elektrická energie a jako vedlejší produkt voda a teplo.

Dnešní účinnost celého cyklu se pohybuje mezi 30 a 40 %. [13] Tento typ akumulace je využitelný pro malé systémy (0,01 MW až stovky MW). [1]

- **Základní technické parametry**

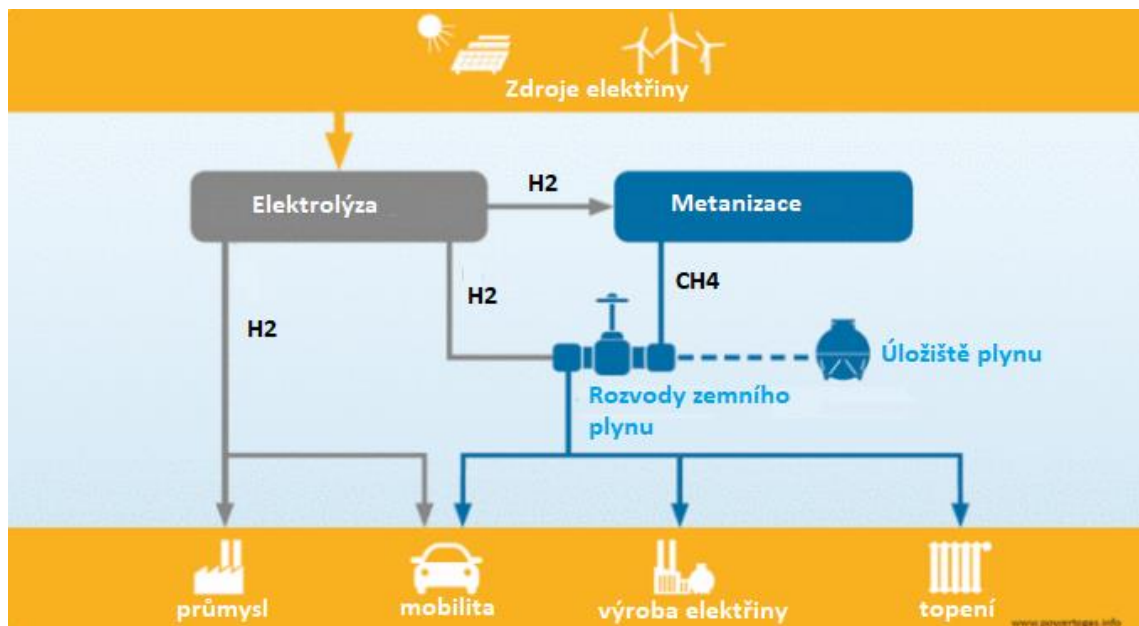
V následující tabulce jsou uvedeny základní technické parametry akumulace do regenerativních baterií. [1]

*Tabulka 9 - Základní technické parametry – akumulace do vodíku*

Kategorie	Hodnota
Výkon (MW)	0,01 - 100
Čas vybíjení	minuty - týden
Životnost (roky)	5 - 30
Samovybíjení (%/den)	0 - 4
Měrná výroba energie (Wh/l)	600 (při 200 bar)
Měrný výkon (W/l)	0,2 - 20
Účinnost (%)	25 - 45
Reakční čas	sec - min

## 2.3.2 Syntetický zemní plyn (SNG)

- **Schéma**



Obrázek 10 - Akumulace do SNG schéma

(Zdroj: <http://oenergetice.cz/elektrina/power-to-gas-budoucnost-akumulace-elektriny/>; UPRAVENO)

- **Princip**

Tato technologie v podstatě navazuje na předchozí akumulaci do vodíku. Máme elektrolýzou vyrobený vodík a následně ho přepracujeme na metan. Vodík jako takový totiž není snadno využitelný, neboť je možné ho přidat do existujících rozvodů plynu pouze velmi malé množství (v rozvodech může být pouze do 2 % objemového podílu vodíku, aby nedošlo ke změně spalovacích vlastností plynu). Z tohoto důvodu se vodík dále přepracovává na metan (CH<sub>4</sub>), neboť pro metan neexistuje takovéto maximální objemové množství a takto vzniklý plyn můžeme pustit do stávajících rozvodů plynu. Metan se vyrábí z vodíku takzvanou metanizací – sloučením vodíku a oxidu uhličitého (za vysoké teploty a tlaku). [14] Následně můžeme metan využít opět k výrobě elektřiny (viz schéma).

- **Základní technické parametry**

V následující tabulce jsou uvedeny základní technické parametry akumulace SNG. [1]

Tabulka 10 - Základní technické parametry – akumulace do syntetického zemního plynu (SNG)

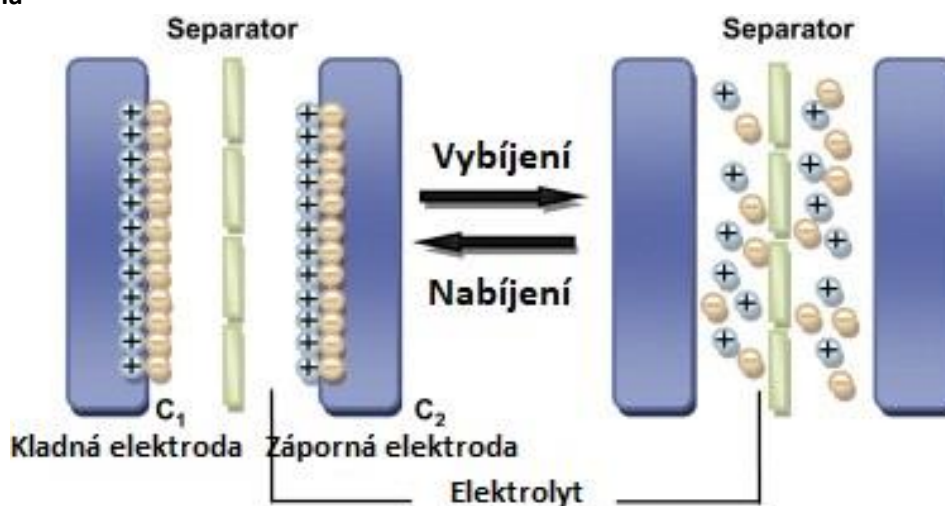
Kategorie	Hodnota
Výkon (MW)	1 - 100
Čas vybíjení	hodina - týden
Životnost (roky)	30
Samovybíjení (%/den)	zanedbatelné
Měrná výroba energie (Wh/l)	1 800 (při 200 bar)
Měrný výkon (W/l)	0,2 - 2
Účinnost (%)	25 - 50
Reakční čas	sec - min

## 2.4 Elektrické systémy na akumulaci elektrické energie

### 1. Superkapacitory

#### 2.4.1 Superkapacitory

- **Schéma**



Obrázek 11 - Superkapacitor schéma

(Zdroj: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211285512001826>; UPRAVENO)

- **Princip**

Superkapacity se od obyčejných elektrolytických kapacitorů liší tak, že obyčejný kapacitor má v sobě dielektrikum, superkapacity mají elektrolyt. Tento elektrolyt se nachází mezi dvěma aktivními elektrodami. Tímto vznikne elektrická dvojvrstva a ukládání náboje je založeno na elektrolýze, která probíhá přímo na elektrodách. Mezi kladně a záporně nabitou částicí je velmi malá vzdálenost, čímž roste hodnota kapacity superkapacitoru. Dalšímu zvýšením kapacity dochází tím, že je co největší povrch elektrod. Toho je docíleno uhlíkovou pórovitou strukturou. Mezi oběma elektrodami je velmi tenká vrstva dielektrika. Většinou je velikost napětí tohoto jednoho superkapacitoru omezena právě odolností tohoto dielektrika – většinou menší než 3 V. Pokud by napětí bylo vyšší, mohlo by dojít k elektrickému průrazu materiálu. [15]

- **Základní technické parametry**

V následující tabulce jsou uvedeny základní technické parametry superkapacitorů. [1]

*Tabulka 11 - Základní technické parametry – superkapacity*

Kategorie	Hodnota
Výkon (MW)	0,01 - 1
Čas vybíjení	ms - min
Životnost (cykly)	10 000 – 100 000
Samovybíjení (%/den)	20 - 40
Měrná výroba energie (Wh/l)	10 - 20
Měrný výkon (W/l)	40 000 – 120 000
Účinnost (%)	80 – 95 %
Reakční čas	< sec

## 2.5 Termální systémy na akumulaci elektrické energie

Termální systémy nebudou rozebrány tak podrobně z toho důvodu, že tyto systémy se spíše hodí pro akumulaci tepla, což není předmětem této práce. Nicméně považuji za správné je pro úplnost uvést.

Mezi hlavní termální systémy patří:

1. **Termochemické**
2. **Akumulace citelného tepla**
3. **Akumulace latentního tepla**

## 2.5.1 Termochemické

- **Princip**

Při dodání tepla dojde k rozpadu molekulárních vazeb, produkty jsou uchovány zvlášť a následně při opětovném obnovení molekulárních vazeb k uvolnění tepla. [16]

Touto metodou může být uchováváno buďto pouze teplo, nebo můžeme vyprodukovaným teplem ohřívat vodu, vyrábět páru pro tepelné elektrárny. [1]

## 2.5.2 Akumulace citelného tepla

- **Princip**

Akumulace citelného tepla je časem již prověřená a široce využívaná technologie. V současné době je velmi rozšířená například v použití s fotovoltaickými systémy, kdy během doby, kdy výroba je vyšší než spotřeba v objektu, je tato energie používána na ohřev vody. Nemusí se jednat nutně o ohřev vody, ale i do jiných materiálů, které mají velkou tepelnou kapacitu. Tato akumulace je řádově na hodiny. [17]

Teplo touto formou může být uchováváno i na delší časové intervaly – mezisezónně. Příkladem může být Kanada, kde v jedné její části je teplo uchováváno do skály. Teplo je získáváno z fototermiky. [17]

## 2.5.3 Akumulace latentního tepla

- **Princip**

Když probíhá akumulace latentního tepla, znamená to, že materiál akumuluje teplo během fázové přeměny. Nejčastěji se používá přeměna z pevného skupenství na tekutinu. [18]

Používají se různé materiály s různými teplotami fázové změny – teplotu nad 250 °C mají soli, které jsou z důvodu velké teploty své fázové změny pro tyto aplikace zajímavé. [18]

## 3 Srovnání základních parametrů jednotlivých akumulčních systémů

### 3.1 Technické parametry

Informace pocházejí ze zdroje [1].

Tabulka 12 - Srovnání základních technických parametrů jednotlivých systémů

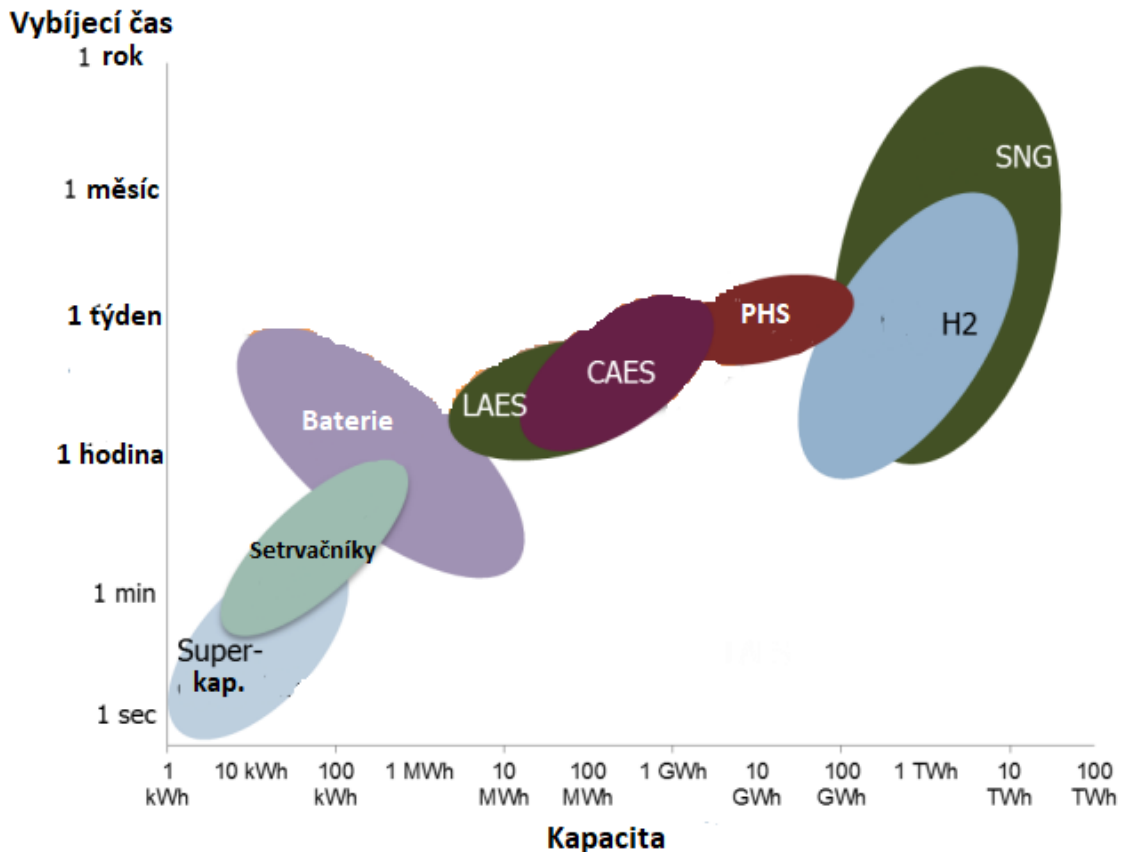
	Výkon (MW)	Čas vybíjení (hod)	Životnost (roky/cykly)	Samovybíjení (%/den)	Měrná výroba energie (Wh/l)	Měrný výkon (W/l)	Účinnost (%)	Reakční čas
PHS	100 – 2 500	4 – 16	30 – 60 let	~ 0	0,2 – 2	0,1 – 0,2	70 – 85	desítky sec – 2 min
CAES	10 – 1 000	2 – 30	20 – 40 let	~ 0	2 – 6	0,2 – 0,6	40 – 70	min
Setrvačníky	0,001 – 20	sec – min	20tis – 100tis c.	1,3 – 100	20 – 80	5 000	70 - 95	< sec
Li-ion akumulátory	0,05 – 100	min – 8 hod	100 – 10ti c.	0,1 – 0,3	200 – 400	1 300 – 10 000	85 – 95	< sec
Olověné akumulátory	0,001 – 100	min – 8 hod	6 – 40 let	0,1 – 0,3	50 – 80	90 – 700	80 – 90	< sec
Sodíkové akumulátory	10 – 100	min – 8 hod	2 500 – 4 500 cyklů	0,05 – 20	150 – 300	120 – 160	70 – 90	< sec

	Výkon (MW)	Čas vybíjení (hod)	Životnost (roky/cykly)	Samovybíjení (%/den)	Měrná výroba energie (Wh/l)	Měrný výkon (W/l)	Účinnost (%)	Reakční čas
Průtočné regenerativní baterie	0,1 – 100	hodiny	12 000 – 14 000 cyklů	0,2	20 – 70	0,5 – 2	60 – 85	< sec
Akumulace do vodíku	0,01 – 100	min – týden	5 – 30 let	0 – 4	600 (při 200 bar)	0,2 – 20	25 – 45	Sec - min
SNG	1 – 100	hod – týden	30 let	Zanedbatelné	1 800 (při 200 bar)	0,2 – 2	25 – 50	Sec - min
Superkapacitory	0,01 – 1	ms – min	10 000 – 100 000 cyklů	20 – 40	10 – 20	40 000 – 120 000	80 – 95 %	< sec

Pozn.: Měrná výroba energie (Wh/l) a měrný výkon (W/l) jsou vztaženy k výstupu. Tedy ke skutečně dosažitelným hodnotám v poměru k objemu hmoty (pevné látky/tekutiny).

V následujícím grafu je vidět srovnání jednotlivých systémů z hlediska jejich kapacity a doby, po kterou mohou dodávat jmenovitý výkon. Jak je vidět, tak superkapacity jsou vhodné pro aplikace, kde je třeba výkon po krátkou dobu, dále přes setrvačníky, baterie, akumulaci do zkapalněného a stlačeného vzduchu, přečerpávací vodní elektrárny až po akumulaci do vodíku a syntetického zemního plynu. Systémy, které akumulují elektrickou energii do vodíku a do SNG mají největší kapacitu a jsou schopny dodávat výkon po nejdelší dobu.

Graf 1 - Porovnání z hlediska kapacity a vybíjecího času



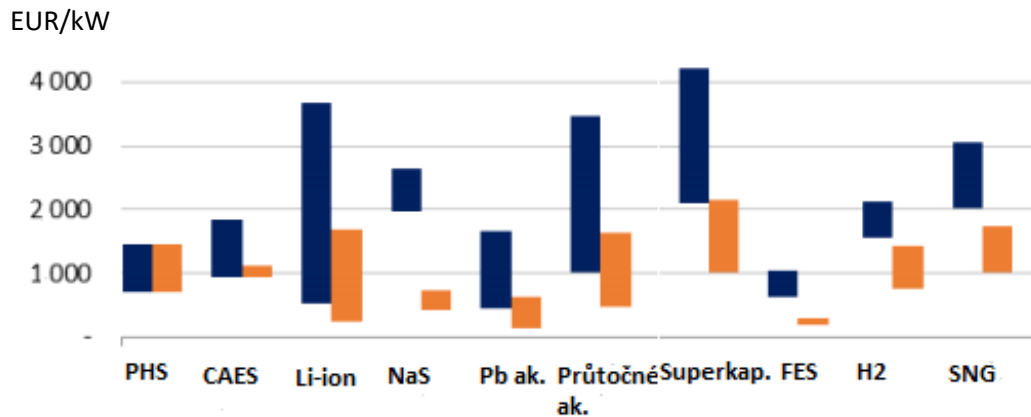
(Zdroj: World Energy Council; E-Storage 2016; [online]; dostupné z: [https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources\\_E-storage\\_2016.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources_E-storage_2016.pdf); UPRAVENO)



## 3.2 Ekonomické parametry

### 3.2.1. Investiční náklady

Graf 2 - Investiční náklady



(Zdroj: World Energy Council; E-Storage 2016; [online]; dostupné z: [https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources\\_E-storage\\_2016.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources_E-storage_2016.pdf); UPRAVENO)

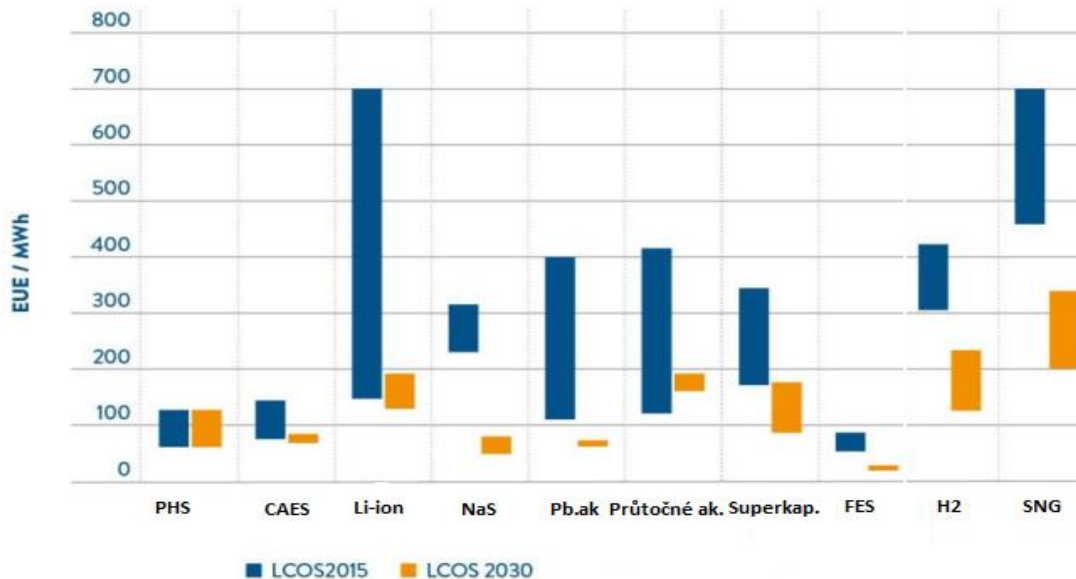
Pozn.: FES = flywheel = setrvačnick

Uvedené hodnoty v grafu vycházejí pouze z investičních nákladů na výstavbu systému.

Tmavě modré sloupce vyjadřují ceny v roce 2015, oranžové předpoklad pro rok 2030. Je vidět, že rozptyl v hodnotách je značný. To zejména z toho důvodu, že investiční náklady se liší případ od případu (například podloží při výstavbě CAES apod.). Do budoucna se předpokládá výrazný pokles investičních nákladů, zejména u těch technologií, které ještě nejsou dostatečně vyspělé a užívané. [1]

### 3.2.2 Sdružená cena energie (Levelized cost)

Graf 3 - Levelized cost



(Zdroj: World Energy Council; E-Storage 2016; [online]; dostupné z: [https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources\\_E-storage\\_2016.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources_E-storage_2016.pdf); UPRAVENO)

V grafu jsou vyjádřeny takzvané levelized cost, které jsou počítány dle následujícího vzorce [1]:

$$LCOS = \frac{I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{A_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{M_{el}}{(1+i)^t}} \quad (\text{CZK/kWh}) \quad (\text{v grafu v EUR/MWh}) \quad (12)$$

kde  $LCOS$  je sdružená cena energie (CZK/kWh) (v grafu v EUR/MWh)

$I_0$  jsou investiční náklady (CZK)

$A_t$  jsou stálí roční náklady v roce  $t$  (CZK)

$M_{el}$  je množství vyrobené elektrické energie za rok (kWh)

$n$  je technická životnost (roky)

$t$  je rok technické životnosti (1,2,...,n)

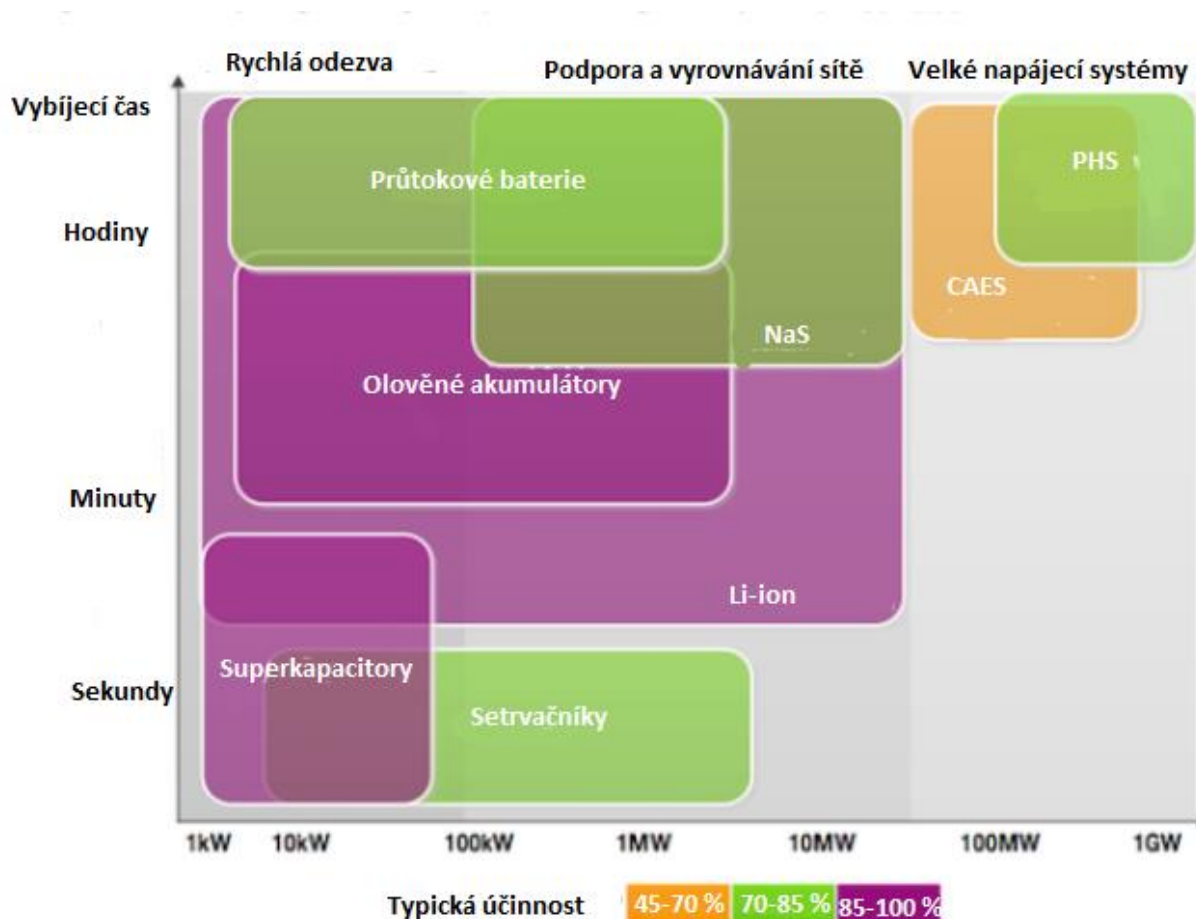
$i$  je diskontní sazba (%)

Sdružená cena energie je více vypovídající o našich nákladech než pouze investiční náklady, protože reflektuje i další náklady vynaložené za dobu životnosti a vyrobenou elektrickou energii.

### 3.4 Komplexní porovnání

Jelikož všechny parametry mají značný rozptyl, každý zdroj uvádí značně jiné hodnoty. Nicméně rozdíly mezi jednotlivými technologiemi zůstávají zachovány. Následný graf není ze zdroje č. [1] (E-Storage 2016), nicméně hodnota porovnání mezi jednotlivými technologiemi je stejně vypovídající.

Graf 4 - Porovnání užitnosti



(Zdroj: Battery Costs Set To Fall 60% By 2020 From Energy Storage 'Megashift'; [online]; dostupné z: <https://cleantechnica.com/2015/08/04/battery-costs-set-to-fall-60-by-2020-from-energy-storage-megashift/>; UPRAVENO)

Na ose x vyneseny možné výkony, na ose y vybíjecí doba při jmenovitém výkonu. Dále jsou systémy odlišeny barevně podle jejich typické účinnosti.

## 4 Přehled akumulčních aplikací vhodných pro ES

V této kapitole je uvažována pouze technologická vhodnost dané aplikace, nikoli legislativní. Legislativní stránka věci je rozepsána v kapitole č.5.

### 4.1 Aplikace vhodné pro přenosovou soustavu

#### 4.1.1 Primární a sekundární regulace činného výkonu

Pro tuto aplikaci jsou potřeba systémy s velkým výkonem a rychlou odezvou. Z přehledů uvedených v kapitole č. 3 tedy vyhovují přečerpávací vodní elektrárny, akumulace do stlačeného vzduchu, vodíku a syntetického zemního plynu. Případně můžeme uvažovat i velká bateriová úložiště.

### 4.2 Aplikace vhodné pro distribuční soustavu

#### 4.2.1 Hladina VVN (rozvodna 110/vn)

Na této úrovni se jedná o zajištění dodržení smluvených parametrů (P a Q) mezi PPS a PDS v předávacím bodě. V době, kdy by mělo docházet k zvýšeným přetokům z DS do PS, by se akumulční systém nabíjel, a naopak v době, kdy by mělo docházet k vyšším odběrům z PS, než bylo nasmlouváno, by se systém vybíjel.

Z přehledů uvedených v kapitole 3 vyplývá, že pro tuto aplikaci jsou nejvhodnější velké bateriové systémy. Z důvodu vyšší účinnosti, velkého počtu cyklů během technické životnosti, měrné výroby energie na jednotku objemu jsou nejvhodnější Li-ion akumulátory.

#### 4.2.2 Hladina VN

Na hladině VN je možné akumulaci využít jako náhradu za náhradní přenosovou trasu při plánované práci na vedení. Vzhledem k potřebě velkých kapacit a nemožnosti vybudovat například úložiště na stlačený vzduch se jako optimální jeví bateriový systém (jak již bylo uvedeno – ideálně Li-ion technologie). Z důvodu vysoké finanční náročnosti akce lze o tomto uvažovat pouze v případě, že je plánovaná rekonstrukce v řádech měsíců a bylo by na tuto dobu nutné vystavět a pronajímat náhradní přenosovou trasu. Nicméně toto řešení se ve většině případů nejeví jako finančně výhodné, v případě značného poklesu cen bateriových systémů se však může situace změnit.

Dále se nabízí možnost využití akumulčních systémů pro bilancování výkonů výroben připojených do této hladiny. Jedná se především o obnovitelné zdroje energie, jejichž výroba závisí na relativně

nepředvídatelných klimatických podmínkách. Pro tyto účely by opět byly nevhodnější Li-ion akumulární systémy.

### 4.2.3 Hladina NN

Na hladině nízkého napětí se nabízí možnost využití akumulace přímo zákazníkem na této napěťové hladině, například pro ukládání elektrické energie z fotovoltaických panelů a tím pádem optimalizaci spotřeby přímo v místě výroby. Tyto systémy by nebyly ve vlastnictví distributora a z hlediska parametrů jednotlivých technologií by se jednalo o bateriové systémy.

Ve vlastnictví distributora se jedná o mobilní akumulární systémy, které dokáží přechodně dodávat elektrickou energii zákazníkům během odstávek. Jedná se tedy například o plánované údržby distribučních transformátorů či jejich vývodů. Toto opatření by vedlo ke zvýšení komfortu zákazníka a teoreticky i ke zlepšení ukazatelů spolehlivosti dodávek.

- **Ukazatele spolehlivosti dodávek elektrické energie**

Energetický regulační úřad sleduje ukazatele spolehlivosti dodávek elektrické energie, které jsou následně vyhodnocovány a je vyžadováno jejich postupné zlepšování. Jedná se o následující systémové ukazatele (vztahující se k dlouhodobým nedodávkám, tzn. delším než 3 minuty):

1. **SAIFI** (= system average interruption frequency index) – průměrná četnost dlouhodobých přerušení na jednoho zákazníka (=jedno odběrné místo) za definované časové období (nejčastěji za jeden rok) [19]

$$SAIFI = \frac{\sum_j n_j}{N_c} \text{ (počet přerušení/rok/zákazník)} \quad (13)$$

2. **SAIDI** (= system average interruption duration index) – průměrná celková doba trvání dlouhodobých přerušení na jednoho zákazníka za definovanou dobu [19]

$$SAIDI = \frac{\sum_j (n_j * t_j)}{N_c} \text{ (minut/rok/zákazník)} \quad (14)$$

3. **CAIDI** (= customer average interruption duration index) – průměrná doba trvání jednoho dlouhodobého přerušení na jednoho zákazníka za definovanou dobu [19]

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} = \frac{\sum_j (n_j * t_j)}{\sum_j n_j} \text{ (minut/přerušení)} \quad (15)$$

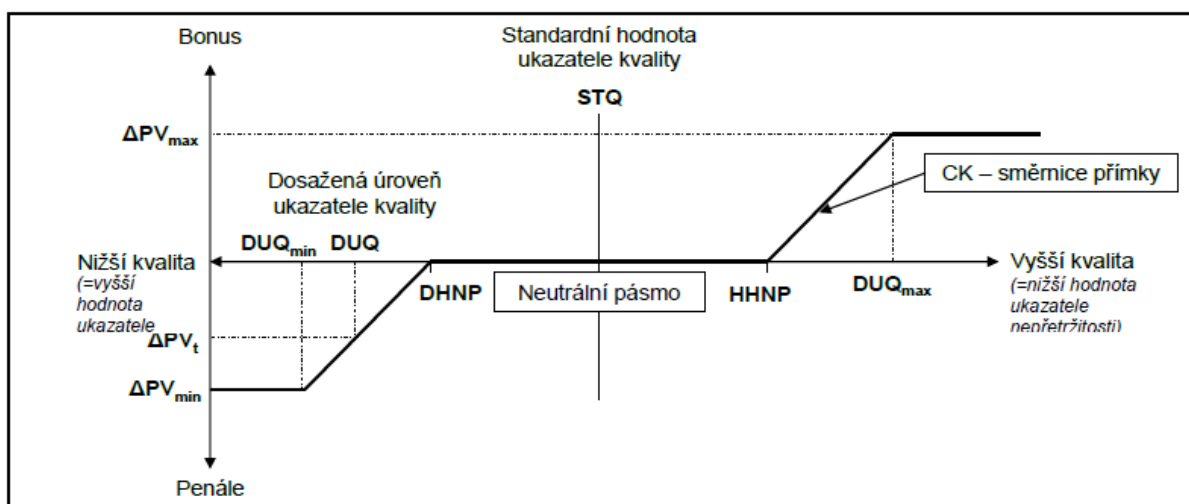
kde  $n_j$  je celkový počet zákazníků postižených přerušením „j“

$N_c$  je celkový počet zákazníků na hladině

$t_j$  je střední doba trvání přerušení skupiny zákazníků postižených událostí „j“

Energetický regulační úřad stanovuje požadované hodnoty a takzvané neutrální pásmo. Jestliže se distributor pohybuje nad/pod neutrálním pásmem, je mu udělen bonus/penále (určeno v procentech z oprávněného zisku distributora). [20]

ERÚ v roce  $t$  vypočítá průměr hodnot SAIDI a SAIFI z let  $t - 1$  a  $t - 2$  a následně je v roce  $t + 1$  vyplacen bonus/uloženo penále. Maximální hodnota bonusu/malusu za každý ze dvou ukazatelů (SAIDI a SAIFI) je roven 2 % z oprávněného zisku za uplynulý rok. [20]



Obrázek 12 - Motivační regulace spolehlivosti elektrické energie

(Zdroj: ERU; Zásady cenové regulace pro období 2016-2018 pro odvětví elektroenergetiky, plynárenství a pro činnosti operátora trhu v elektroenergetice a plynárenství s prodlouženou účinností do 31.12.2020; [online]; dostupné z: <https://www.eru.cz/documents/10540/3550177/Zasady-cenove-regulace-IV-RO-prodlouzene-do-2020.pdf/6788c6c3-4711-4042-b5c1-1985ed59bceb>)

- kde  $\Delta PV_t$  je finanční vyjádření bonusu nebo penále za dosaženou kvalitu (CZK)
- $t$  je pořadové číslo regulovaného roku (-)
- $DUQ$  je hodnota dosažené úrovně ukazatele kvality v období rozhodném pro hodnocení kvality služeb pro příslušný rok regulačního období (přerušení/rok; min/rok)
- $CK$  je jednotková cena kvality (CZK/přerušení/rok; CZK/min/rok)
- $\Delta PV_{max}$  je maximální hodnota bonusu za dosaženou kvalitu služeb (CZK)
- $\Delta PV_{min}$  je maximální hodnota penále za dosaženou kvalitu služeb (CZK)
- $DHNP$  je dolní hranice neutrálního pásma (přerušení/rok; min/rok)
- $HHNP$  je horní hranice neutrálního pásma (přerušení/rok; min/rok)

$STQ$	je hodnota požadované úrovně ukazatele kvality (parametry SAIFI <sub>Q</sub> , SAIDI <sub>Q</sub> ) (přerušení/rok; min/rok)
$DUQ_{max}$	je limitní hodnota ukazatele kvality, od níž je uplatňována maximální hodnota bonusu za dosaženou kvalitu služeb (přerušení/rok; min/rok)
$DUQ_{min}$	je limitní hodnota ukazatele kvality, od níž je uplatňována maximální hodnota penále za dosaženou kvalitu služeb (přerušení/rok; min/rok)

Do hodnoty ukazatele pro stanovení bonusu/malusu se dle Zásad cenové regulace [20] nezapočítávají následující přerušení:

Citace z [Energetický regulační úřad; Zásady cenové regulace pro období 2016-2018 pro odvětví elektroenergetiky, plynárenství a pro činnosti operátora trhu v elektroenergetice a plynárenství;2015]:

- „Neplánovaná přerušení:
  - *Za nepříznivých povětrnostních podmínek*
  - *Způsobené v důsledku zásahu nebo jednání třetí osoby*
  - *Vynucené*
  - *Mimořádné*
  - *V důsledku události mimo soustavu a u výrobce“*

Konec citace.

## 5 Legislativa

V současné době není akumulace zanesena v žádných našich ani evropských právních předpisech. V současné době je pouze připravován legislativní rámec, který bude řešit i akumulaci.

Usnesení Evropského parlamentu k tématu „Na cestě k novému uspořádání energetického trhu“ z června roku 2016 obsahuje pod bodem č.32 výzvu Komisi v následujícím znění (doslovná citace české verze z webu Evropského parlamentu): [21]

*„32. vyzývá Komisi, aby vyjasnila pozici skladování energie v různých částech energetického řetězce a umožnila provozovatelům v oblasti přenosu a distribuce energie investovat do služeb spojených se skladováním energie, tyto služby používat a těžit z nich za účelem dosažení vyvážených sítí a poskytování dalších doplňkových služeb;“* [21]

Ve studii, která byla vypracována na žádost Evropského parlamentu a která analyzuje současný stav a potenciál ukládání energie v Evropské unii je požadavek č. 5, který říká:

Český překlad ze zdroje [22]:

"Doporučuje se, aby provozovatelé přenosové a distribuční soustavy investovali, používali a využívali služby ukládání energie za účelem posílení flexibility, spolehlivosti a odolnosti sítí. Vypracování harmonizovaného přístupu EU k unbundlingu vzhledem k rozšířeným vlastnickým a kontrolním možnostem skladování by se mělo zabývat následujícími relevantními otázkami:

umožnit provozovatelům sítí vlastnit a / nebo kontrolovat skladování energie za účelem vyvažování sítě a jiných doplňkových služeb, a to samostatně nebo ve spolupráci s jinými regulovanými a neregulovanými subjekty tak, aby konkrétní akumulární zařízení mohlo poskytovat více služeb současně různým stranám;

vyjasnění a zefektivnění pozice akumulace v různých režimech (behind-the-meter, provoz třetími stranami, provozem sítě), včetně harmonizace zdanění a poplatků za využití sítí. Měla by být užitečná srovnávací hodnota poplatků za distribuci energie v Evropě;

posouzení důsledků a možností různých regulačních možností týkajících se inteligentních sítí a návržení harmonizovaného přístupu.

Toto doporučení přispívá k energetické bezpečnosti, dekarbonizaci hospodářství a integraci energetických trhů. "

I přes výše uvedené je ale v tzv. Zimním energetickém balíčku výrazně omezena možnost, aby provozovatelé přenosových nebo distribučních soustav vlastnili akumulace.

V takzvaném „Winter package“ – legislativní návrhy, které řeší podobu energetiky do roku 2030, je uvedeno:

Český překlad ze zdroje [22]:

### **Článek 36**

#### **Vlastnictví skladovacích zařízení**

1. Provozovatelé distribučních soustav nesmí vlastnit, vyvíjet, spravovat ani provozovat zařízení pro skladování energie.
2. Odchylně od odstavce 1 mohou členské státy provozovatelům distribučních soustav povolit vlastnit, vyvíjet, spravovat nebo provozovat skladovací zařízení, pouze pokud jsou splněny tyto podmínky:
  - a) v otevřeném a transparentním výběrovém řízení nevyjádřily zájem o vlastnictví, vývoj, správu nebo provozování skladovacích zařízení jiné osoby;
  - b) uvedená zařízení jsou nezbytná k tomu, aby provozovatelé distribučních soustav mohli plnit své povinnosti podle této směrnice, pokud jde o efektivní, spolehlivý a bezpečný provoz distribuční soustavy, a



- c) regulační orgán posoudil nezbytnost této odchylky, přičemž zohlednil podmínky podle písmen a) a b), a udělil svůj souhlas.
- 3. Na provozovatele distribučních soustav, kteří se angažují ve vlastnictví, vývoji, provozu nebo správě zařízení pro skladování energie, se vztahují články 35 a 56.
- 4. Regulační orgány v pravidelných intervalech nebo alespoň každých pět let provádějí veřejnou konzultaci, aby znovu posoudily potenciální zájem účastníků trhu o vlastnictví, vývoj, provoz nebo správu zařízení pro skladování energie. Pokud z veřejné konzultace vyplyne, že vlastnit, vyvíjet, provozovat nebo spravovat tato zařízení mohou třetí osoby, členské státy zajistí, aby byly činnosti provozovatelů distribučních soustav v tomto ohledu postupně ukončeny.

#### **Článek 54**

##### **Vlastnictví skladovacích zařízení a poskytování podpůrných služeb ze strany provozovatelů přenosových soustav**

- 1. Provozovatelé přenosových soustav nesmí vlastnit, spravovat ani provozovat zařízení pro skladování energie a nesmí přímo vlastnit ani nepřímo kontrolovat aktiva, která poskytují podpůrné služby.
- 2. Odchylně od odstavce 1 mohou členské státy provozovatelům přenosových soustav povolit vlastnit, spravovat nebo provozovat skladovací zařízení nebo aktiva poskytující nefrekvenční podpůrné služby, pokud jsou splněny tyto podmínky:
  - a) v otevřeném a transparentním výběrovém řízení nevyjádřily jiné osoby zájem o vlastnictví, kontrolu, správu nebo provozování takových zařízení, která nabízejí služby skladování a/nebo nefrekvenční podpůrné služby provozovateli přenosové soustavy;
  - b) taková zařízení nebo nefrekvenční podpůrné služby jsou pro provozovatele přenosových soustav nezbytné k tomu, aby mohli plnit své povinnosti podle této směrnice, pokud jde o efektivní, spolehlivý a bezpečný provoz přenosové soustavy, a nepoužívají se pro prodej elektřiny na trhu, a
  - c) regulační orgán posoudil nezbytnost této odchylky, přičemž zohlednil podmínky podle písmen a) a b) tohoto odstavce, a udělil svůj souhlas.
- 3. Rozhodnutí o udělení odchylky se oznamuje agentuře a Komisi společně s relevantními informacemi o žádosti a důvodech pro udělení odchylky.
- 4. Provozovatel přenosové soustavy v pravidelných intervalech nebo alespoň každých pět let provádí veřejnou konzultaci, pokud jde o potřebné služby skladování, aby posoudil

potenciální zájem účastníků trhu o investování do takových zařízení, a v případě, že třetí osoby mohou dotčenou službu poskytovat nákladově efektivním způsobem, své vlastní činnosti v oblasti skladování ukončí.

Jak tedy vyplývá z výše uvedeného, dle těchto návrhů by mohl provozovatel přenosové/distribuční soustavy vlastnit a provozovat akumulaci v případě, že by zde nebyl zájem třetích stran, byla by prokázána nezbytnost pro poskytování kvalitních přenosových/distribučních služeb a skutečnost by byla odsouhlasena regulačním úřadem. Nezájem třetích stran by se musel každých 5 let znovu ověřovat.

## 6 Ekonomické zhodnocení vybrané akumulární aplikace

Pro výpočtový model byla vybrána aplikace na hladině NN, konkrétně mobilní akumulace pro případ pokrytí plánovaných odstávek distribučních transformátorů, jak bylo popsáno v kapitole 4.2.3. Problém je řešen pro území ČEZ Distribuce.

### 6.1 Cíle

Cílem práce je zhodnotit, zda se distributorovi vyplatí pořídit akumulární systémy, kterými by pokrýval výpadky dodávek elektrické energie na hladině nízkého napětí – tedy zda budou bonusy, které získá od Energetického regulačního úřadu, natolik vysoké, aby se vyplatilo investici provést.

V samém závěru bude výhodnost/nevýhodnost tohoto projektu porovnána s nulovou variantou, kdy distributor nezavede žádná opatření k pokrývání plánovaných odstávek a variantou, kdy bude plánované odstávky pokrývat dieselagregátem. Dimenzování velikosti dieselagregátů bude stejné jako akumulárních technologií.

Pro dosažení cíle práce je nutné udělat analýzu distribučních transformátorů na území ČEZ Distribuce, zjistit příspěvek distribučních transformátorů různých velikostí k hodnotě ukazatele SAIFI/SAIDI. Dále udělat analýzu SAIDI/SAIFI ČEZ Distribuce za uplynulé období – zjistit četnost odstávek, jejich délku a podle nich správně nadimenzovat akumulární systémy. Dále zjistit potřebné snížení k dosažení bonusového pásma v motivační regulaci ERÚ. Dle očekávaných investičních a provozních nákladů a již vypočítaných příspěvků jednotlivých transformátorů k SAIDI/SAIFI stanovit, kterými akumulárními systémy je nejvhodnější začít snížení pokrývat.

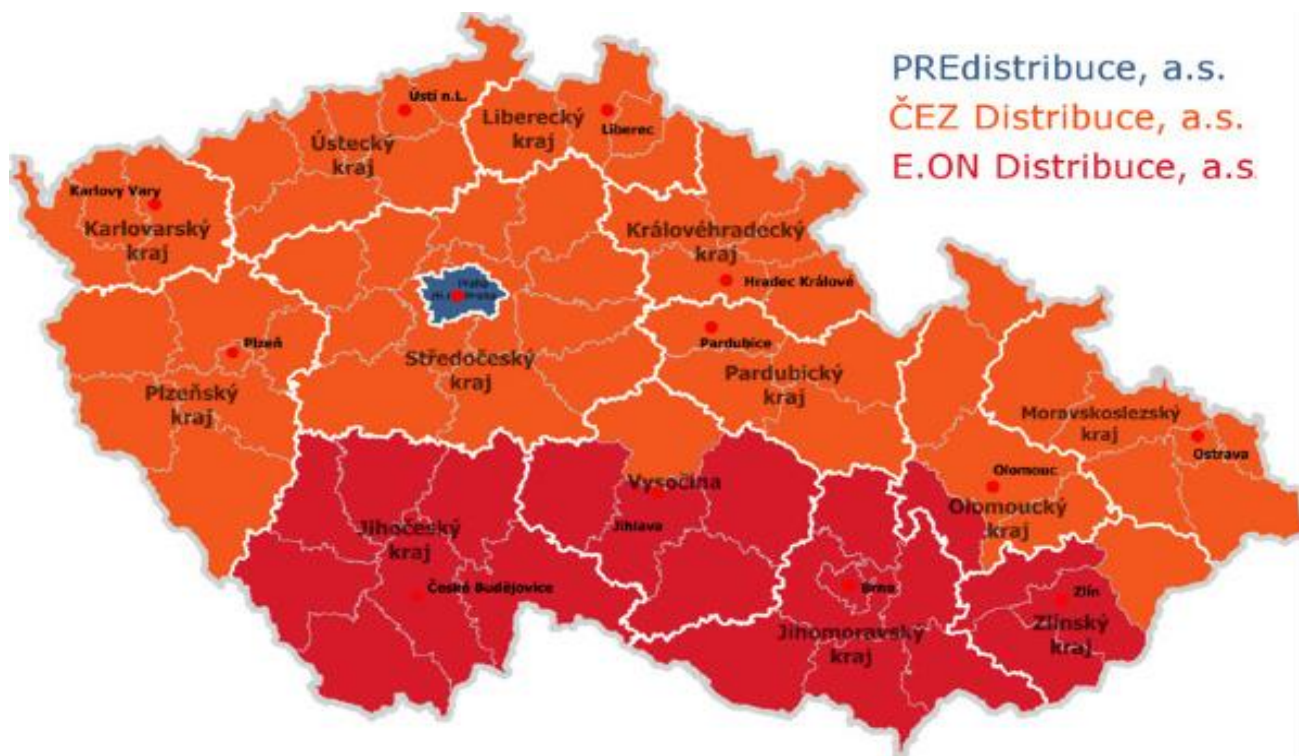
Cílem je tedy stanovit efektivitu jednotlivých velikostí akumulčních systémů, abychom začali nutný úbytek pokrývat od nejefektivnějšího systému a zároveň dokázali stanovit, zda se nám další snížení ukazatele o jednotku vzhledem k její ceně vyplatí či nevyplatí.

## 6.2 Výběr akumulční technologie

Vzhledem k tomu, že je potřeba, aby vybraný akumulční systém byl mobilní a mohli bychom jím obsluhovat větší území a větší počet transformátorů, vyřazují rovnou technologie PHS, LAES a CAES. Z důvodu potřeby větších výkonů a větších kapacit nepřichází v úvahu ani setrvačníky a superkapacitory. Dle uvedených předpokladů přichází v úvahu bateriové systémy. Díky vyšší účinnosti vyřazují průtočné a olověné akumulátory. Zhodnocením požadavků na konkrétní aplikaci se zbývá rozhodnout mezi NaS a Li-ion technologií. Z důvodu vyšší životnosti (až 10 000 cyklů vs. až 4 500 cyklů) a nižšího samovybíjení až 0,3 % vs. až 20 % volím Li-ion technologii.

## 6.3 Rozmístění transformátorů po území ČEZ Distribuce

Území ČEZ Distribuce je následující:



Obrázek 13 - Území ČEZ Distribuce

(Zdroj: <https://www.vemexenergie.cz/poradna/technicke-informace/kdo-jsou-distributori-elektřiny-a-plynu-1/>)

Zahrnuje tedy celou Českou republiku s výjimkou Prahy (okres Praha město), Jihočeského kraje, Vysočiny, Jihomoravského a Zlínského kraje. Celkem má rozlohu 52 001 km<sup>2</sup> [23]. Výjimkou v kraji Vysočina je okres Havlíčkův Brod, který spadá pod působnost společnost ČEZ, stejně tak jako ve Zlínském kraji okres Vsetín. Naopak jako jediný okres z Olomouckého kraje nepatří do území ČEZ Distribuce okres Prostějov.

*Pozn.: Data ze souhrnné zprávy ČEZ Distribuce za rok 2016 a Českého statistického úřadu se mírně liší – ČEZ Distribuce uvádí jako svou plochu působnosti 52 001 km<sup>2</sup>, součet okresů, kde operuje ČEZ Distribuce je dle ČSÚ rovných 52 000 km<sup>2</sup>. Odchylna je velmi nepatrná, dále budu uvažovat s daty dle Českého statistického úřadu.*

Na tomto území se v roce 2018 nachází cca 48 tisíc vlastních transformátorů vn/0,4 kV (dle konzultace ve společnosti ČEZ Distribuce). I dále bude uvažováno pouze s distribučními transformátory vlastními, o jejichž údržbu se stará přímo distributor. Cizí transformátory nejsou ve výpočtech zahrnuty. Počty transformátorů a jejich výkony jsou uvedeny v následující tabulce:

*Tabulka 13 – Instalované výkony distribučních transformátorů*

Výkon (kVA)	Počet (ks)	Transformační výkon (kVA)
50	1 212	60 600
100	5 529	552 900
160	8 070	1 291 200
250	11 284	2 821 000
400	16 299	6 519 600
630	5 368	3 381 840
1000	119	119 000
<b>celkem</b>	<b>47 762</b>	<b>14 746 140</b>

*Pozn.: jedná se o interní statistiku společnosti ČEZ Distribuce pro transformátory vn/0,4 kV. Uvedeno je nejčastějších 7 typů, zanedbány jsou typy, u kterých je četnost v řádech jednotek a v sumě jich je cca 250 ks.*

Vzhledem k tomu, že chybí údaje o přesném rozložení transformátorů na území distributora, musím ho modelově určit. Budu vycházet z rozmístění transformačního výkonu korespondujícího s hustotou zalidnění území. Na stránkách Českého statistického úřadu je k dispozici výpis počtu obcí [24] (rozdělený podle počtu obyvatel) v jednotlivých okresech. Kompletní výpis je přiložen k práci v příloze č.1.

Tabulka 14 - Počet obcí podle počtu obyvatel

Počet obyvatel	Do 199	200-499	500-999	1000-1999	2000-4999	5000-9999	10000 - 19999	20000 - 49999	50000 - 99999	Nad 100 000
Počet obcí	794	1 315	921	508	293	102	55	30	9	4

Rozložení transformátorů tedy bude podle velikosti obcí/měst.

Uvedená čísla vypovídají pouze o trvalém bydlišti osob na území distributora, ne o provozovnách připojených na hladinu nízkého napětí. Pro další úvahy zavádím předpoklad, že čím větší obec/město, tím více podnikatelských subjektů připojených na hladinu nízkého napětí.

Při zavedených předpokladech vychází instalovaný měrný transformační výkon na obyvatele:

$$s_{obyv} = \frac{S}{n_{obyv}} = \frac{14\,746\,140}{6\,517\,027} = 2,26 \text{ kVA/obyv} \quad (16)$$

kde  $S$  je celkový instalovaný transformační výkon vlastních distribučních transformátorů (kVA)

$s_{obyv}$  je měrný instalovaný transformační výkon připadající na jednoho obyvatele (kVA/obyv.)

$n_{obyv}$  počet obyvatel na území ČEZ Distribuce (obyvatel)

U měst nad 100 000 obyvatel a 50 000 – 99 999 obyvatel jsem zjistila přesný počet obyvatel z roku 2017 a instalovaný transformační výkon je vypočítán jako počet obyvatel vynásoben měrným instalovaným transformačním výkonem ze vzorce [16].

Podle zavedených předpokladů a přepočtu podle měrného instalovaného transformačního výkonu je 10,23 % instalovaného transformačního výkonu ( $S$ ) soustředěno ve 4 největších městech (Liberec, Ostrava, Plzeň, Olomouc) distribučního území a 10,02 % ve druhé skupině největších měst (Kladno, Most, Ústí nad Labem, Hradec Králové, Pardubice, Frýdek Místek, Karviná, Havířov a Opava). Viz následující tabulka:

Tabulka 15 – Instalovaný transformační výkon v největších městech

Skupina měst podle počtu obyvatel	Počet měst ve skupině	Instalovaný transformační výkon (kVA)	Z celku (S) [%]
nad 100 000	4	1 483 094	10,23
50 000 – 99 999	9	1 453 639	10,02

Tedy 20,25 % celkového transformačního výkonu připadá na 13 největších měst distribučního území.

*Pozn.: V příloze č.2 jsou města z výše uvedených dvou skupin rozepsána jednotlivě.*

Pro další kategorie není možné zjišťovat přesný počet obyvatel daných měst z důvodu jejich velkého počtu. Postupuji tedy následovně:

Z údajů Českého statistického úřadu [25] je znám počet obyvatel v kategoriích obcí v jednotlivých okresech a vypočítala jsem průměrný počet obyvatel obce té které kategorie. Výsledky jsou následující (počet obyvatel dané kategorie děleno počtem obcí kategorie – zaokrouhloeno na celá čísla):

Tabulka 16 - Průměrný počet obyvatel obce dané kategorie

Kategorie obcí	Průměrný počet obyvatel v obci dané kategorie
Do 199	128
200 – 499	327
500 – 999	705
1 000 – 1 999	1 397
2 000 – 4 999	2 991
5 000 – 9 999	6 908
10 000 – 19 999	14 442
20 000 – 49 000	31 029
50 000 – 99 999	72 575
Nad 100 000	166 603

Nyní je potřeba stanovit počet a velikost transformátorů na jednotlivé obce/města.

Nejprve jsem stanovila procentuální pokrytí jednotlivých kategorií transformátory o různých výkonech. Výpočet byl proveden v Excelu, kde byly zadány předpoklady, jakými transformátory budou z kolika procent pokryty které skupiny obcí, a následně byl model upravován v rámci jednotek procent, aby byly využity transformátory, které jsou reálně k dispozici. V první řádce jsou vypsané kategorie obcí/měst, v druhé transformační výkon v celé skupině (vypočítaný jako měrný transformační výkon na osobu vynásobený počtem obyvatel jednotlivých kategorií), v dalších řádkách je uvedeno kolik procent výkonu které kategorie je pokryto transformátory o daných výkonech.

Kategorie	do 199	200-499	500-999	1000-1999	2000-4999	5000-9999	10000-19999	20000-49999	50000-99999	nad 100 000
<b>S (kVA)</b>	231 136	974 033	1 468 987	1 605 416	1 983 157	1 594 275	1 797 212	2 106 183	1 477 897	1 507 843
<b>50 kVA</b>	4,00%	1,05%	0,75%	0,50%	0,50%	0,20%	0,19%	0,12%	0,10%	0,11%
<b>100 kVA</b>	31,33%	15,73%	9,00%	5,00%	3,00%	1,00%	0,80%	0,60%	0,40%	0,42%
<b>160 kVA</b>	59,67%	43,73%	30,00%	9,31%	3,00%	2,00%	1,00%	0,80%	0,60%	0,14%
<b>250 kVA</b>	5,00%	39,48%	50,00%	36,68%	31,41%	10,64%	5,88%	5,00%	3,46%	3,10%
<b>400 kVA</b>	0,00%	0,00%	10,25%	40,00%	50,07%	65,48%	67,85%	62,23%	42,65%	35,11%
<b>630 kVA</b>	0,00%	0,00%	0,00%	8,52%	11,51%	20,18%	23,28%	30,00%	51,54%	58,57%
<b>1 000 kVA</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,50%	0,50%	1,00%	1,25%	1,25%	2,54%
<b>Celkem</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>

Tabulka 17 - Procentuální pokrytí jednotlivých kategorií obcí

*Pozn.: V příloze č.3 je zobrazena celá tabulka rozdělení transformátorů mezi kategorie obcí/měst.*

Dále jsem podle výše uvedených předpokladů přepočítala počet distribučních transformátorů různých výkonů v jednotlivých okresech. Výsledek je uveden v příloze č.4.

*Pozn.: Z důvodu nutnosti zaokrouhlit počet transformátorů na celá čísla nevychází počet transformátorů jednotlivých výkonů přesně tak, jak jsou skutečně k dispozici. Tento rozdíl ovšem činí pouze 0,01 % z celkového reálného transformačního výkonu, tedy model považuji za odpovídající realitě. Tento rozdíl je znázorněn v následující tabulce.*

Tabulka 18 - Rozdíl skutečného počtu TRF a počtu dle modelu

Výkon (kVA)	Reálný počet TRF (ks)	Transformační výkon (kVA)	Počet TRF podle modelu (ks)	Transformační výkon (kVA)
50	1 212	60 600	1 216	60 800
100	5 529	552 900	5 528	552 800
160	8 070	1 291 200	8 071	1 291 360
250	11 284	2 821 000	11 282	2 820 500
400	16 299	6 519 600	16 298	6 519 200
630	5 368	3 381 840	5 367	3 381 210
1000	119	119 000	119	119 000
<b>celkem</b>	<b>47 881</b>	<b>14 746 140</b>	<b>47 881</b>	<b>14 744 870</b>

Rozložení do územních celků bylo náhodně srovnáno s poskytnutými údaji za dva územní celky a chyba modelu vůči realitě byla 4,81 % a 4,98 %. Model tedy považuji za dostatečně odpovídající realitě.

Pro další výpočty je nutné vědět, kolik zákazníků je průměrně připojeno na jeden transformátor různého výkonu. Ze souhrnné zprávy ČEZ Distribuce, a.s. za rok 2016 (k datu vypracování této práce nebyl ještě rok 2017 společností vyhodnocen, vycházím tedy z poslední kompletní zprávy) vyplývá, že v roce 2016 bylo na hladině nízkého napětí připojeno 3 593 495 odběratelů ( $n_{odb}$ ). Na jedno odběrné místo tedy průměrně připadá:

$$n = \frac{n_{obyv}}{n_{odb}} = \frac{6\,517\,270}{3\,593\,495} = 1,81 \text{ obyvatel/odběrné místo} \quad (17)$$

Měrný instalovaný transformační výkon na jedno odběrné místo je:

$$s_{odb} = n * s_{obyv} = 1,81 * 2,26 = 4,10 \text{ kVA/odběrné místo} \quad (18)$$

Kde  $s_{obyv}$  je měrný instalovaný transformační výkon připadající na obyvatele (kVA/obyv.)

$s_{odb}$  je měrný instalovaný transformační výkon na jedno odběrné místo (kVA/odb. místo)

$n_{obyv}$  počet obyvatel na území ČEZ Distribuce (obyvatel)

$n_{odb}$  je počet odběrných míst na hladině nízkého napětí (odběrných míst)

$n$  je průměrný počet obyvatel na jednom odběrném místě (obyvatel/odb. místo)



Z výše uvedených předpokladů vyplývá průměrný počet odběrných míst na jeden distribuční transformátor daného instalovaného výkonu jako:

$$n_{TRFi} = \frac{S_i}{s_{odb}} \text{ (odběrných míst)} \quad (19)$$

Kde  $n_{TRFi}$  je počet odběrných míst na jeden transformátor o výkonu  $i$  (odběrné místo)

$S_i$  je instalovaný výkon transformátoru (kVA)

$s_{odb}$  je měrný instalovaný transformační výkon na jedno odběrné místo (kVA/odb. místo)

Pro jednotlivé výkony distribučních transformátorů je to:

Tabulka 19 - Počet odběrných míst na jeden transformátor

Výkon (kVA)	Počet TRF podle modelu (ks)	Počet odběrných míst (odb.místa/transformátor)	Počet odběrných míst na TRF daného výkonu
50	1 216	12	14 816
100	5 528	24	134 712
160	8 071	39	314 692
250	11 282	61	687 329
400	16 298	97	1 588 667
630	5 367	154	823 969
1 000	119	244	28 999
<b>celkem</b>	<b>47 881</b>		<b>3 593 186</b>

*Pozn.: Suma odběrných míst (3 593 186) v tabulce vypočítaná jako počet odběrných míst na jeden TRF daného výkonu vynásobeného počtem TRF daného výkonu nesouhlasí s číslem ze souhrnné zprávy ČEZ Distribuce (3 593 495). Rozdíl je 309 odběrných míst, tedy 0,01 % proti skutečnému stavu ze souhrnné zprávy. Rozdíl vznikl z důvodu potřeby zaokrouhlit počet distribučních transformátorů v jednotlivých kategoriích obcí v okresech na celá čísla. Chyba je velmi malá a pro účel modelu zanedbatelná.*

## 6.4 Charakter přerušení - analýza SAIDI, SAIFI

Aby bylo možné provést správně dimenzování akumulárního systému, je nutné zjistit, kolik je během roku odstávek a jak dlouhou dobu průměrně trvají. Tyto údaje nejsou k dispozici, v následujících podkapitolách jsou tyto údaje zjišťovány analyticky.

Vzhledem k tomu, že z historického způsobu uspořádání území ČEZ Distribuce zůstává členění a organizace prací na daném území víceméně rozdělené na bývalé celky – Morava, Sever, Východ,

Střed a Západ, budu uvažovat, že území působnosti jednotlivých akumulčních systémů, centra uskladnění a nabíjení akumulací bude vycházet právě z toho rozdělení celku. (Rozdělení okresů do územních celků v příloze č.5.) Rozdělení na územní celky zavádím už v této kapitole.

SAIDI a SAIFI nebude reálně pro všechny oblasti distribučního území stejné, podrobnější rozpis ale není k dispozici, zavádím tedy pro účely modelu předpoklad, že celé území bude stejným dílem přispívat k hodnotám ukazatelů.

V modelu bude uvažováno s faktem, že ve velkých městech se odstávka/porucha daného prvku konečného odběratele z nízkého napětí nedotkne. To je umožněno díky jinému uspořádání sítí, kdy ve velkých městech je mnohdy síť mřížová. Není možné získat přesné číslo, v kolika procentech případů je distributor schopen dodávku zabezpečit tímto způsobem, je tedy stanoveno odhadem tak, že 80 % všech distribučních transformátorů na území měst 1. (nad 100 000 obyvatel) a 2. (50 000 – 99 999 obyvatel) kategorie je možno udržovat bez dopadu na konečného zákazníka. Ve třetí kategorii měst (20 000 – 49 999 obyvatel) je toto procento pro účely modelu uvažováno jako 60 %. Tento odhad byl stanoven na základě kvalifikovaného odhadu zadavatele práce a ČEZ Distribuce.

Počty transformátorů v jednotlivých okresech, které přispívají k hodnotě SAIFI a SAIDI jsou uvedeny v Příloze č.6. Celkem těchto transformátorů je 44 625 ks.

## 6.4.1 SAIDI a SAIFI – plánované odstávky

### 6.4.1.1 SAIFI

Příspěvek jednoho transformátoru daného výkonu k celkové hodnotě ukazatele SAIFI (uvažujícího pouze plánované odstávky) na hladině NN je při předpokládaných počtech odběrných míst na transformátory dle tabulky „Tabulka 19 - Počet odběrných míst na jeden transformátor“ následující:

Tabulka 20 - Příspěvek jedné odstávky DTR k celkové hodnotě SAIFI na hladině NN (hladinovému ukazateli SAIFI)

Výkon (kVA)	Příspěvek k SAIFI při jednom výpadku
50	0,0000034
100	0,0000068
160	0,0000109
250	0,0000170
400	0,0000271
630	0,0000427
1000	0,0000678

- **Počet odstávek**

Údaj o počtu odstávek na hladině NN není k dispozici, v Souhrnné zprávě ČEZ Distribuce z roku 2016 [26] jsou uvedeny hodnoty viz následující tabulka:

Tabulka 21 - Hodnota ukazatelů SAIFI ČEZ Distribuce 2016

Zahrnutá přerušení distribuce elektřiny	Průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníka na napěťové hladině		
	nn	vn	vvn
	$SAIFI_{nn}$	$SAIFI_{vn}$	$SAIFI_{vvn}$
	[1/rok]		
neplánovaná	2,329	2,338	0,458
plánovaná	0,542	0,496	0,051
<b>celkem - hladinové ukazatele</b>	2,871	2,834	0,508
<b>celkem - systémové ukazatele</b>	2,871		

(Zdroj [26])

Z tabulky v příloze č. 6 jsou známy počty transformátorů přispívajících při své pravidelné údržbě k SAIDI a SAIFI, z tabulky „Tabulka 20 - Příspěvek jedné odstávky DTR k celkové hodnotě SAIFI na hladině NN“ velikost příspěvků. Z následujícího vzorce lze vypočítat procento říkající, kolik procent transformátorů každé skupiny (předpokládejme stejně častou pravidelnou údržbu u distribučních transformátorů všech velikostí) projde za rok plánovanou odstávkou.

$$SAIFI_{nn} = \sum_j N_{TRF,SAIFIj} * p * TRF_{SAIFIj} \quad (20)$$

Kde  $SAIFI_{nn}$  je hodnota ukazatele SAIFI na hladině nízkého napětí (započítávající pouze plánované odstávky (počet přerušení/rok/zákazník)

$N_{TRF,SAIFIj}$  je počet transformátorů j-tého výkonu přispívajících k hodnotě SAIFI uvažující pouze plánované odstávky (ks)

$p$  je procento transformátorů daného výkonu, které jsou ročně v plánované odstávce (%)

$TRF_{SAIFIj}$  je příspěvek jednoho transformátoru j-tého výkonu k hodnotě SAIFI (počet přerušení/rok/zákazník)

Všechny veličiny s výjimkou „p“ známe, hodnota SAIFI na hladině nízkého napětí vzniklá plánovanými odstávkami je rovno 0,542. Při zadaných podmínkách vyšlo  $p = 60,08 \%$  (60,08 % z celkového počtu transformátorů přispívajících k SAIFI/SAIDI (které uvažuje pouze plánované odstávky) činí 26 810 transformátorů).

Nedá se jednoduše říci, že 26 810 distribučních transformátorů projde ročně odstávkou z důvodu jejich plánované údržby. V tomto čísle jsou zahrnuty i odstávky, které jsou nucené z důvodu údržby na hladině vn/vvn. Nicméně stejně jsou tyto odstávky známy dopředu a akumulace může být využita i na tyto, aby konečný odběratel z hladiny nízkého napětí nezaznamenal výpadek.

Ročně je tedy potřeba pokrýt **26 810** odstávek distribučních transformátorů. Rozložení do územních celků:

Tabulka 22 - Počet plánovaných odstávek DTR

Územní celek	Výkon TRF	50	100	160	250	400	630	1 000	celkem
<b>Střed</b>		200	968	1 464	1 847	1 864	392	8	6 743
<b>Západ</b>		96	432	618	813	1 062	345	8	3 375
<b>Sever</b>		98	433	628	948	1 566	554	13	4 240
<b>Východ</b>		169	826	1 269	1 436	1 637	410	8	5 754
<b>Morava</b>		147	615	835	1 587	2 526	968	21	6 699

#### 6.4.1.2 SAIDI

Ze zdroje [26] jsou známy následující údaje:

Tabulka 23 - Hodnota ukazatelů SAIDI ČEZ Distribuce 2016

Zahrnutá přerušení distribuce elektřiny	Průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníka na napěťové hladině		
	nn	vn	vvn
	$SAIDI_{nn}$	$SAIDI_{vn}$	$SAIDI_{vvn}$
	[min/rok]		
neplánovaná	127,561	114,171	2,910
plánovaná	182,168	177,195	131,883
celkem - hladinové ukazatele	309,729	291,367	134,793
celkem - systémové ukazatele	309,642		

(Zdroj: [26])

SAIDI se podle vzorce (14) počítá jako:

$$SAIDI_{nn} = \frac{\sum_j (n_j * t_j)}{N_c} \text{ (minut/rok/zákazník)} \quad (14)$$

Pro určení průměrné doby trvání jednoho plánovaného přerušení potřebuji znát počet zasažených odběratelů. To určím následovně:

- Hodnota SAIFI na hladině nízkého napětí zapříčiněná plánovanými odstávkami je 0,542 (SAIFI se podle vzorce (13) počítá jako:

$$SAIFI_{nn} = \frac{\sum_j n_j}{N_c} \text{ (počet přerušení/rok/zákazník)}$$

Tedy  $\sum_j n_j = SAIFI_{nn} * N_c = 0,542 * 3\,593\,495 = 1\,947\,674$  *zákazníků* (21)

kde  $SAIFI_{nn}$  je hodnota ukazatele SAIFI na hladině nízkého napětí  
(počet přerušení/rok/zákazník)

$\sum_j n_j$  je suma zákazníků zasažených  $j$ -tým přerušením (zákazníků)

$N_c$  je počet odběratelů z hladiny nízkého napětí na území ČEZ Distribuce  
(zákazníků)

Na hladině nízkého napětí je tedy plánovanými odstávkami (na hladině nn, vn i nn) ročně zasaženo celkem **1 947 674 odběratelů**. Jedná se o plánované odstávky, zavedu tedy předpoklad, že se jedná skutečně o počet zasažených odběratelů, protože jednoho odběratele se plánovaná odstávka dotkne maximálně jednou ročně.

Dosažením za  $\sum_j n_j$  do vzorce [14] vyjde průměrná doba plánované odstávky **336,1 minuty**, tedy **5,6 hodiny**. Tato délka trvání je v souladu s Pravidly provozování distribučních soustav. [27]

V následující tabulce jsou příspěvky jednotlivých transformátorů a jejich příspěvky k SAIDI (uvažujícím pouze plánované odstávky) na hladině nízkého napětí (při jedné průměrné plánované odstávce – tzn. na 336,1 min).

Tabulka 24 - Příspěvek jedné plánované odstávky DTR k celkové hodnotě SAIDI na hladině NN (hladinovému ukazateli SAIDI)

Výkon (kVA)	Příspěvek k SAIDI při jednom průměrném výpadku
50	0,0011396
100	0,0022793
160	0,0036468
250	0,0056982
400	0,0091171
630	0,0143594
1000	0,0227926

## 6.4.2 Neplánované odstávky

Díky neustálému tlaku ERÚ na snižování daných ukazatelů se může v budoucnu stát, že eliminací plánovaných odstávek nebude distributor schopen dostatečně snížit hodnoty těchto ukazatelů. Je proto nutné analyzovat i neplánované odstávky. Analogicky teda jako pro plánované odstávky.

### 6.4.2.1 SAIFI

Podle údajů v „Tabulka 21 - Hodnota ukazatelů SAIFI ČEZ Distribuce 2016“ a „Tabulka 20 - Příspěvek jedné odstávky DTR k celkové hodnotě SAIFI na hladině NN“ se dle vzorce č. (20) vypočítá počet neplánovaných poruch, který činí **115 205** událostí.

V následující tabulce jsou události rozepsány podle oblastí:

Tabulka 25 - Počet neplánovaných odstávek DTR

Územní celek	Výkon TRF	50	100	160	250	400	630	1 000	celkem
Střed		860	4 159	6 289	7 939	8 008	1 683	36	28 974
Západ		413	1 856	2 657	3 493	4 564	1 484	34	14 501
Sever		421	1 859	2 698	4 074	6 730	2 380	57	18 219
Východ		728	3 550	5 452	6 170	7 032	1 761	34	24 727
Morava		630	2 644	3 586	6 821	10 856	4 159	90	28 785

### 6.4.2.2 SAIDI

Z tabulky „Tabulka 23 - Hodnota ukazatelů SAIDI ČEZ Distribuce 2016“ a analogicky podle vzorců (14) a (20) lze spočítat průměrnou dobu neplánovaného přerušení na hladině nn, která vychází **54,8 min.**

*Pozn.: Zaveden předpoklad, že všechny poruchy trvají stejně dlouho. Realita bude odlišná, nicméně pro účely modelu bude toto zjednodušení fungovat.*

Tabulka 26 - Příspěvek jedné neplánované odstávky DTR k celkové hodnotě SAIDI na hladině NN (hladinovému ukazateli SAIDI)

Výkon (kVA)	Příspěvek k SAIDI při jednom průměrném výpadku
50	0,0001857
100	0,0003714
160	0,0005943
250	0,0009286
400	0,0014857
630	0,0023400
1000	0,0037142

### 6.4.3 Shrnutí analýzy SAIDI, SAIFI

Pro přehlednost shrnu závěry, ke kterým jsem došla v kapitolách 6.4.1, 6.4.2. a 6.4.3.

- Průměrná doba plánované odstávky: 336,1 min (= 5,6 hod)
- Průměrná doba neplánované odstávky: 54,8 min
- Četnost plánovaných odstávek TRF: 26 810 plán.odst./rok
- Četnost neplánovaných odstávek TRF: 115 205 neplán.odst./rok

V následující tabulce jsou uvedeny příspěvky jednoho transformátoru daného výkonu k celkovým hladinovým ukazatelům na nn.

Tabulka 27 - Příspěvky k hladinovým (nn) ukazatelům SAIDI, SAIFI

Výkon (kVA)	Příspěvek k SAIFI při jednom výpadku (plánovaném i neplánovaném)	Příspěvek k SAIDI při jednom průměrném plánovaném výpadku	Příspěvek k SAIDI při jednom průměrném neplánovaném výpadku
50	0,0000034	0,0011396	0,0001857
100	0,0000068	0,0022793	0,0003714
160	0,0000109	0,0036468	0,0005943
250	0,0000170	0,0056982	0,0009286
400	0,0000271	0,0091171	0,0014857
630	0,0000427	0,0143594	0,0023400
1000	0,0000678	0,0227926	0,0037142

Pozn.: Průměrným neplánovaným výpadkem a průměrným plánovaným výpadkem se rozumí neplánovaný/plánovaný výpadek o průměrné době trvání.

V následující tabulce jsou hodnoty přepočítány a uvedeny jsou příspěvky k celkovému systémovému ukazateli:

Tabulka 28 – Příspěvky k systémovým ukazatelům SAIDI, SAIFI

Výkon (kVA)	Příspěvek k SAIFI při jednom výpadku (plánovaném i neplánovaném)	Příspěvek k SAIDI při jednom průměrném plánovaném výpadku	Příspěvek k SAIDI při jednom průměrném neplánovaném výpadku
50	0,0000034	0,0011349	0,0001849
100	0,0000068	0,0022699	0,0003699
160	0,0000108	0,0036318	0,0005918
250	0,0000169	0,0056747	0,0009247
400	0,0000270	0,0090796	0,0014796
630	0,0000425	0,0143003	0,0023304
1000	0,0000675	0,0226990	0,0036990

Rozdíl mezi plánovanými a neplánovanými přerušeními dodávky je značný. U plánovaných přerušení může distributor akumulací omezit jak SAIDI, tak SAIFI (akumulaci je možné připojit během 3 minut, tedy bez příspěvku k SAIFI). U neplánovaných přerušení je akumulací schopen omezit pouze SAIDI, neboť k přerušení dojde a distributor může pouze ovlivnit jeho délku (není možné zasáhnout do tří minut a tím pádem zamezit příspěvku události k SAIFI). Z výše uvedených údajů ale vyplývá, že další problém s využitím akumulace na pokrývání poruch je velmi krátká doba trvání těchto událostí. Tedy pokud situace nenastane v bezprostřední blízkosti základny akumulačního systému, není v silách distributora dopravit systém na místo včas. V této práci se z tohoto důvodu budu dále zabývat pokrýváním pouze plánovaných přerušení.

## 6.5 Dimenzování systémů – pro plánované odstávky

### 6.5.1 Akumulační technologie

Z kapitoly 6.4 vyplývá počet odstávek a jejich průměrná délka (5,6 hodiny). Bateriový systém budu navrhovat na dobu dodávání 6,2 hodin (z důvodu 10 % rezervy). Předpoklad je takový, že v rámci územních celků bude více velikostí bateriových systémů (podle počtu transformátorů různých výkonů na daném území).



Pro nahrazení distribučního transformátoru daného instalovaného výkonu vycházím z informace (vycházející z konzultace s vedoucím práce), že průměrné maximální zatížení distribučního transformátoru je rovno pouze 40 % jeho instalovaného transformačního výkonu.

Při potřebě nahradit distribuční transformátor o instalovaném výkonu 50 kVA:

Předpoklad: 
$$S_{inst} \approx P_{inst} \quad (22)$$

$$P_{TRFmax} = 0,4 * P_{inst} = 0,4 * 50 = 20 \text{ kW} \quad (23)$$

$$W_{dod} = t_{odst} * P_{TRFmax} = 6,2 * 20 = 124 \text{ kWh} \quad (24)$$

Kde  $S_{inst}$  je instalovaný transformační zdánlivý výkon (kVA)

$P_{inst}$  je instalovaný transformační výkon činný (kW)

$P_{TRFmax}$  je potřebný výkon baterie (kW)

$W_{dod}$  je potřebná energie dodaná baterií během jedné odstávky (kWh)

Analogicky pro všechny ostatní výkony.

V modelu musí být uvažováno postupné snižování objemu energie, kterou je systém schopen uchovat. Systém musí být dimenzován tak, aby i před koncem své životnosti dokázal dodat potřebné množství energie. Z konzultace se zástupcem dodavatele velkých Li-ion akumulátorových systémů, který si přeje zůstat v anonymitě, vyplývá, že po 4 500 cyklech se původní schopnost uchovávat elektrickou energii systému sníží na 75 % - křivku snižování schopnosti uchovávat elektrickou energii systému můžeme aproximovat jako lineární. 4 500 cyklů přibližně odpovídá předpokládané životnosti 20 let (více v odstavci „využitelnost systému“ v této kapitole. Ve čtvrtém řádku tabulky je tedy nutná schopnost uchovávat energii ( $W_{uch,poc}$ ) na počátku životnosti, v předposledním a posledním řádku skutečná uchovávací schopnost ( $W_{uch,skut}$ ) a výkon ( $P_{skut}$ ) baterií, které by distributor poptával u výrobce (uchovávací schopnost – směrem nahoru zaokrouhlená hodnota požadovaných parametrů, výkon – přepočít z uchovávací schopnosti dělením koeficientem 1,1 dle konzultace – obvyklý vztah mezi uchovávací schopností a výkonem bateriových systémů).

Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 29 - Dimenzování výkonů a kapacit akumulčních systémů

$S_{inst}$ (kVA)	50	100	160	250	400	630	1 000
$P_{TRFmax}$ (kW)	20,0	40,0	64,0	100,0	160,0	252,0	400,0
$W_{dod}$ (kWh)	124,0	248,0	396,8	620,0	992,0	1 562,4	2 480,0
$W_{uch,poč}$ (kWh)	155,0	310,0	496,0	775,0	1 240,0	1 953,0	3 100,0
$W_{uch,skut}$ (MWh)	0,20	0,40	0,50	0,80	1,30	2,00	3,10
$P_{skut}$ (MW)	0,18	0,36	0,45	0,73	1,18	1,82	2,82

Účinnost celého systému je podle dodavatele 85 %, životnost 20 let nebo 6 000 cyklů.

Každý systém se skládá ze dvou kontejnerů – v jednom kontejneru jsou baterie, v druhém střídače a ostatní potřebná technologie. Předpoklad dobíjecího režimu je takový, že každý akumulční systém bude po skončení odstávky dovezen na rozvodnu, kde bude opět plně nabit.

- **Využitelnost systému**

V Pravidlech provozování distribučních soustav [27] je uvedeno, že se plánované odstávky (vyjma naléhavých případů), neprovádějí mezi 15. prosincem a 1. lednem. Dále smí být jednomu zákazníkovi dodávka elektřiny přerušena v průběhu 7 kalendářních dní maximálně na 20 hodin (duben-říjen smí jedno vypnutí trvat maximálně 12 hodin, listopad-březen maximálně 8 hodin). Jakmile klesnou venkovní teploty pod  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , je maximální přípustná doba odstávky 8 hodin, při teplotě pod  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  se plánované odstávky nesmí provádět. [27]

Z toho plyne, že odstávky bude možno provádět průměrně 242 dní v roce (pouze v pracovní dny). Z důvodu případných technických poruch a problémů zavádím takzvaný koeficient využitelnosti, který respektuje právě tyto neočekávatelné stavy, kdy není možné systém využít kvůli technické závadě a podobně. Koeficient využitelnosti systému jsem stanovila ve výši 0,9 a vynásobila jsem jím výše uvedených 242 dní/rok. Uvažuji tedy s využitelností jednoho akumulčního systému **218 dní v roce**.

## 6.5.2 Dieselagregát

Rozdíl v dimenzování dieselagregátu a akumulární technologie plyne z podstaty systémů – u dieselagregátu dimenzují pouze výkon (palivo může obsluha případně doplnit za chodu). Výkon je vypočítán stejně jako u akumulace ze vzorce č.(23). Vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulce:

Tabulka 30 - Dimenzování výkonů dieselagregátů

$S_{inst}$ [kVA]	50	100	160	250	400	630	1 000
$P_{TRFmax}$ [kW]	20,0	40,0	64,0	100,0	160,0	252,0	400,0
$P_{skut}$ [MW]	<b>0,02</b>	<b>0,04</b>	<b>0,06</b>	<b>0,10</b>	<b>0,16</b>	<b>0,26</b>	<b>0,4</b>

Pozn.: Výjimkou je dieselagregát nahrazující transformátor o instalovaném výkonu 630 kVA. Kvůli standardizaci na výrokovou řadu je skutečný výkon dieselagregátu 0,255 MW namísto výpočtové hodnoty 0,252 MW. Ostatní výkony výrobce dodává a není třeba jejich hodnotu měnit.

Doba využitelnosti je shodná jako u akumulární technologie.

Doba životnosti se uvádí 5 000 hodin, v souladu s dobou využitelnosti systému a průměrnou dobou plánované odstávky (vč. 10 % rezervy) 6,2 hodiny předpokládám životnost 4 roky (zaokrouhleno na celé roky).

## 6.6 Motivační regulace ERÚ

### 6.6.1 Požadované hodnoty SAIFI/SAIDI

Požadované hodnoty ukazatelů jsou stanovovány v Zásadách cenové regulace vždy pro určité období. Aktuální cenové rozhodnutí bylo původně pro období 2016-2018, momentálně je prodlouženo do roku 2020. V Cenovém rozhodnutí je vždy uvedena referenční hodnota pro SAIDI i SAIFI a požadavek na jeho každoroční snížení v procentech. Dále je stanoveno neutrální pásmo a hranice pro dosažení maximálního možného bonusu/malusu.

Pro aktuálně platné Cenové rozhodnutí platí následující hodnoty:

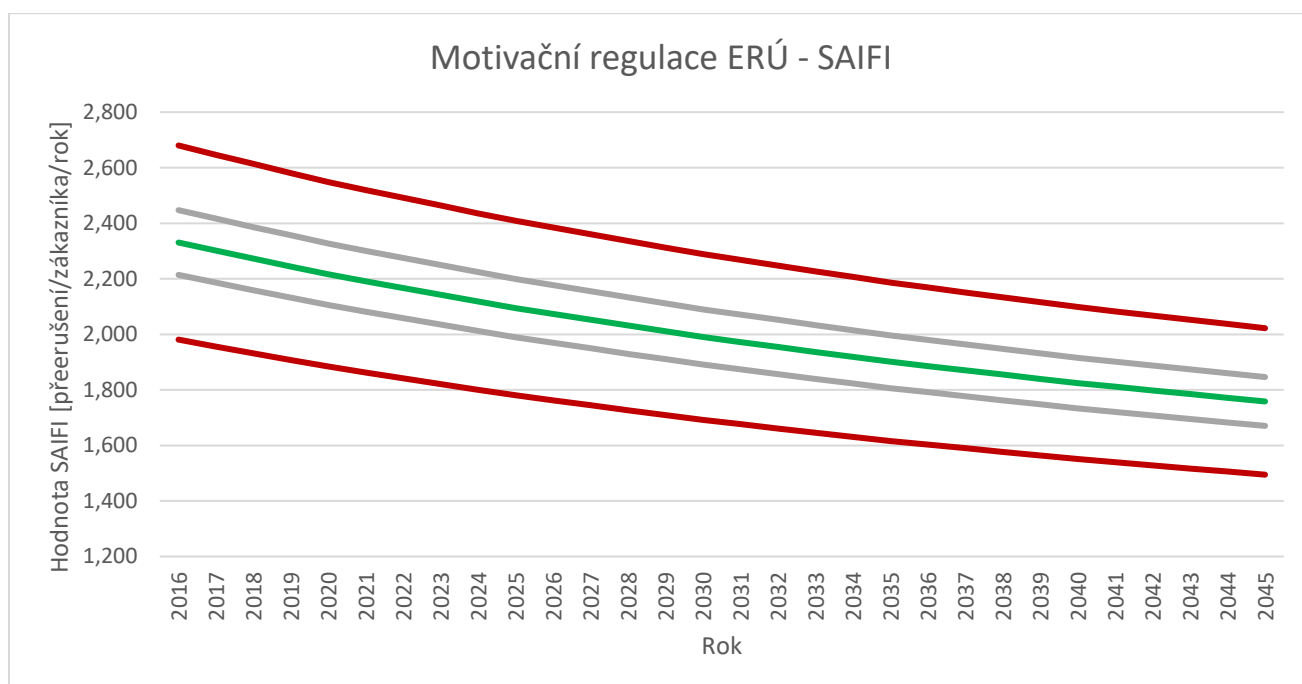
Tabulka 31 - Aktuálně požadované hodnoty SAIDI/SAIFI

Požadované hodnoty							
	Ref.hodnota	2016	2017	2018	Roční zpřísňování	Neutrální pásmo	Max bonus/penále
<b>SAIFI</b>	<b>2,36</b>	2,331	2,301	2,273	1,25%	5,00%	15,00%
<b>SAIDI</b>	<b>262,7</b>	256,133	249,729	243,486	2,50%	5,00%	15,00%

Pro rok 2019 a 2020 nejsou hodnoty stanoveny číselně, ale z důvodu prodloužení Cenového rozhodnutí platí stejné procentuální roční zpřísňování. V následujícím grafu jsou znázorněny jednotlivé roky, jejich požadovaná hodnota a pásma. Roky 2016 až 2020 vychází z aktuálních Zásad cenové regulace, od roku 2021 dále se jedná o pouhý odhad.

Odhad byl pro oba dva ukazatele učiněn následovně: není možné stále snižovat ukazatele stejným tempem, předpokládala jsem tedy každých pět let přehodnocení procentuálního snižování a to tak, že každé další pětileté období bude snížení o 10 % nižší než doposud. Tedy například pokud na období 2016-2020 máme meziroční zpřísňování 2,5 %, pro období 2021-2025 je to 2,25 % (vypočítáno jako 90 % z 2,5 %). Procentuální rozsah neutrálního pásma (+/- 5 % požadované hodnoty) a rozptyl pro dosažení maximální bonusu/malusu (+/- 15 % požadované hodnoty) byl zachován.

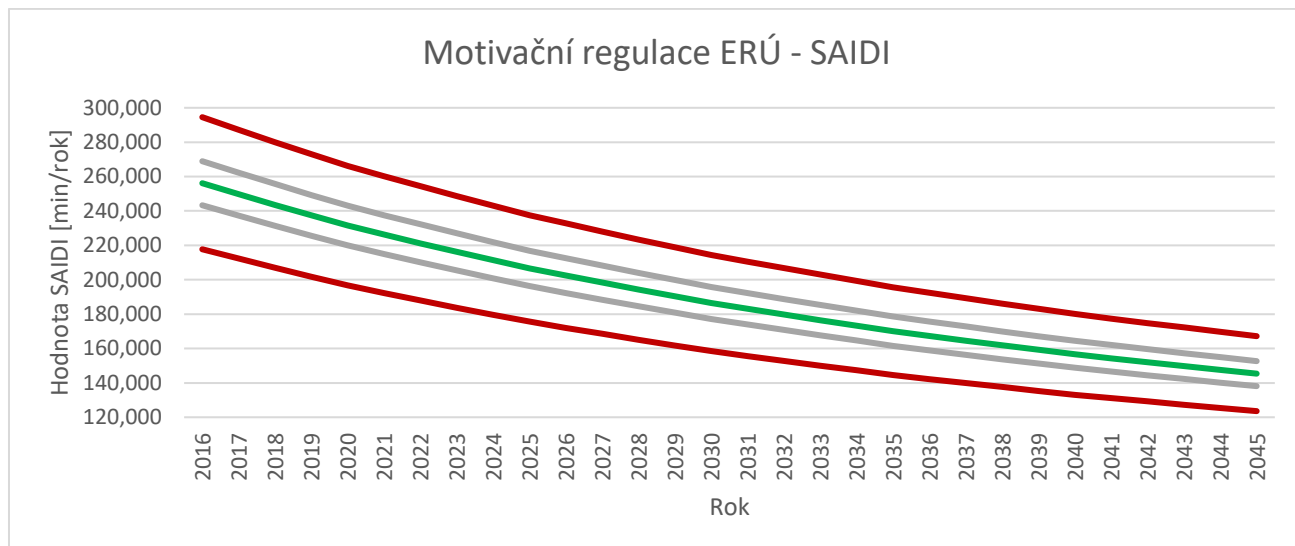
Graf 5 - Motivační regulace ERÚ - požadované hodnoty SAIFI



Zeleně jsou vyznačené požadované hodnoty, šedé hodnoty značí spodní a horní hranici neutrálního pásma, červeně je vyznačena linie maximálního bonusu/malusu.

Analogicky níže pro ukazatel SAIDI.

Graf 6 - Motivační regulace ERÚ - požadované hodnoty SAIDI

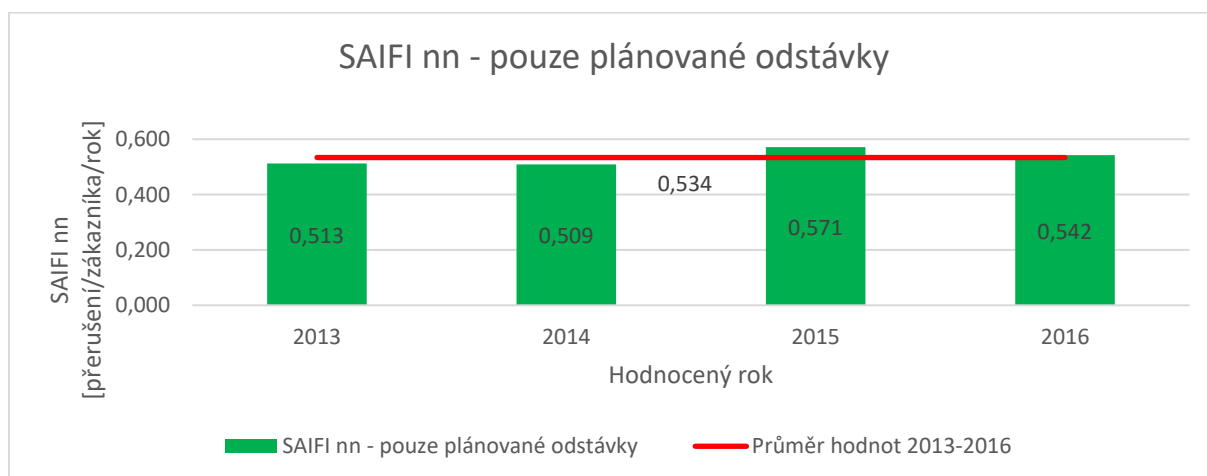


## 6.6.2 Hodnoty SAIFI/SAIDI ČEZ Distribuce

Poslední uzavřený rok, který máme k dispozici, je rok 2016. Abych byla schopna odhadnout chování ukazatelů do současnosti i blízké budoucnosti, vycházím ze Souhrnných zpráv ČEZ Distribuce 2013, 2014, 2015 a 2016. Jako počátek jsem rok 2013 zvolila proto, že tento rok byla poprvé zavedena tato motivační regulace.

Vývoj hladinového ukazatele SAIFI na hladině nízkého napětí (který zahrnuje pouze plánované odstávky) v tomto období vypadá následovně:

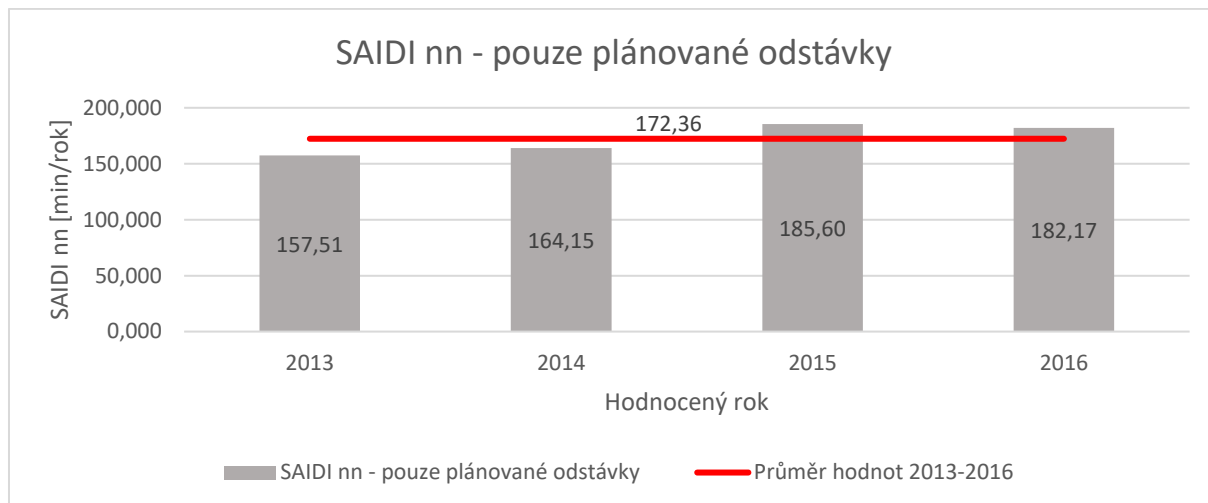
Graf 7 - SAIFI nn (plánované odstávky) 2013-2016



V zelených sloupcích jsou vyznačeny reálné hodnoty v odpovídajícím roce, červená linie značí průměr z těchto let.

Analogicky pro SAIDI v následujícím grafu:

Graf 8 – SAIDI nn (plánované odstávky) 2013-2016



Dále je potřeba zhodnotit celkový systémový ukazatel, který hodnotí ERÚ. ERÚ nepřebírá k hodnocení systémový ukazatel tak, jak ho uvádí ČEZ Distribuce. Vzhledem k tomu, že do hodnoceného ukazatele se nezapočítávají kategorie uvedené v kapitole 4.2.3, je nutno ukazatel upravit podle následujícího vztahu (ukázáno na ukazateli SAIFI, analogicky bude pro SAIDI):

Systémový ukazatel se počítá jako:

$$SAIFI = \frac{(SAIFI_{nn} * n_{nn}) + (SAIFI_{vn} * n_{vn}) + (SAIFI_{vvn} * n_{vvn})}{n} \quad (\text{přerušení/zákazník/rok}) \quad (25)$$

$$SAIFI_{nn} = \sum_i SAIFI_{nn,i} \quad (\text{přerušení/zákazník/rok}) \quad (26)$$

$$SAIFI_{vn} = \sum_i SAIFI_{vn,i} \quad (\text{přerušení/zákazník/rok}) \quad (27)$$

$$SAIFI_{vvn} = \sum_i SAIFI_{vvn,i} \quad (\text{přerušení/zákazník/rok}) \quad (28)$$

- kde
- $SAIFI_{nn}$  je ukazatel SAIFI na hladině nízkého napětí
  - $SAIFI_{vn}$  je ukazatel SAIFI na hladině vysokého napětí
  - $SAIFI_{vvn}$  je ukazatel SAIFI na hladině velmi vysokého napětí
  - $SAIFI_{nn,i}$  je ukazatel SAIFI na hladině nn způsobený  $i$  – tím důvodem
  - $SAIFI_{vn,i}$  je ukazatel SAIFI na hladině vn způsobený  $i$  – tím důvodem

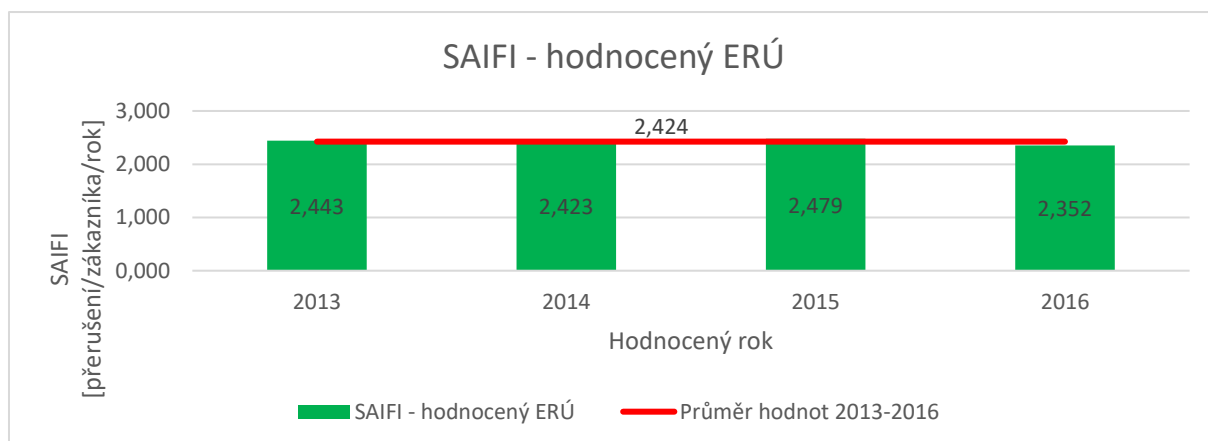
- $SAIFI_{vvn,i}$  je ukazatel SAIFI na hladině nn způsobený  $i$  – *tým* důvodem
- $n_{nn}$  je počet zákazníků na hladině nízkého napětí
- $n_{vn}$  je počet zákazníků na hladině vysokého napětí
- $n_{vvn}$  je počet zákazníků na hladině velmi vysokého napětí
- $n$  je celkový počet zákazníků ČEZ Distribuce

Analogicky se vypočítá systémový ukazatel SAIDI.

Na jedné hladině se tedy příspěvky sčítají, systémový ukazatel se vypočítá jako vážený průměr hladinových ukazatelů. Dle tohoto vzorce jsem tedy přepočítala ukazatele SAIDI a SAIFI tak, aby do nich byly zahrnuty SAIDI a SAIFI způsobené pouze těmi kategoriemi událostí, které ERÚ uvažuje.

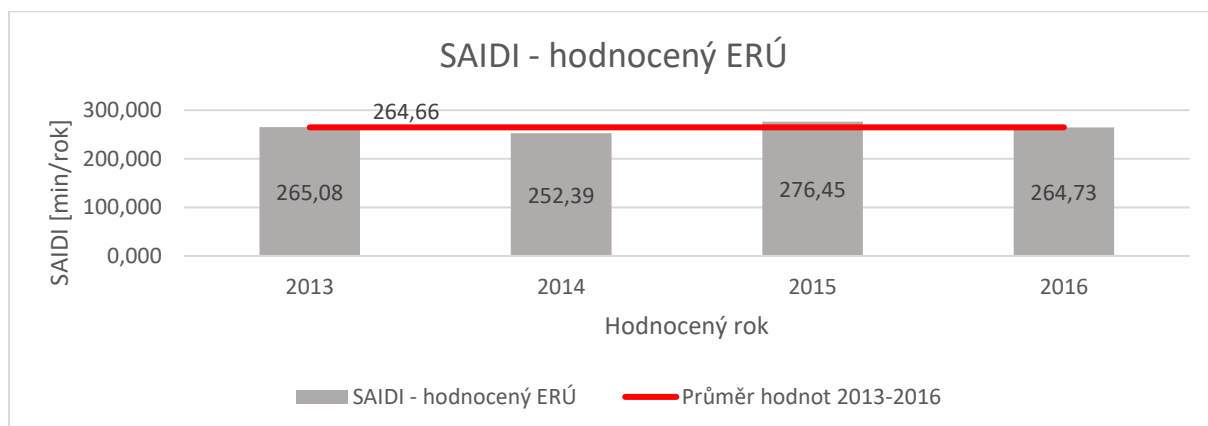
V následujících grafech jsou tyto hodnoty znázorněny:

Graf 9 - SAIFI hodnocený ERÚ



V zeleném sloupcovém grafu jsou hodnoty jednotlivých let, červená linie značí průměr hodnot z let 2013-2016. Analogicky níže pro SAIDI.

Graf 10 - SAIDI hodnocený ERÚ



Předpokládám, že systémové ukazatele se bez zavedení různých opatření (práce pod napětím a podobně) s postupem času nebudou příliš měnit. Budu tedy uvažovat, že průměrná hodnota z let 2013-2016 může být použita pro rok 2018, aniž bych se dopustila velké chyby.

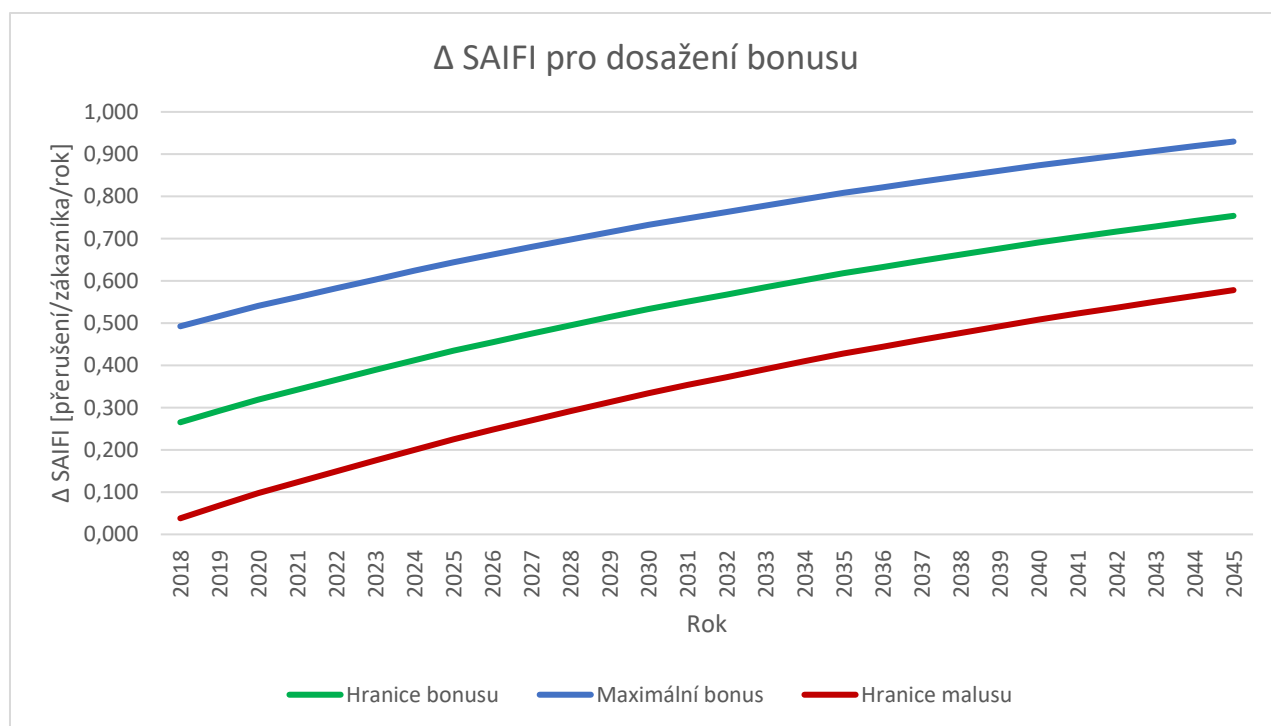
Stejný předpoklad zavádím i u ukazatelů, které uvažují pouze plánované odstávky.

### 6.6.3 Nutné snižování ukazatelů pro bonifikaci

Z podkapitol 6.6.1 a 6.6.2 vyplývá, pravděpodobný vývoj požadovaných hodnot ERÚ a reálné hodnoty ČEZ Distribuce. V následujících grafech je uveden rozdíl hodnot hodnocených v roce 2018 (průměr za roky 2016 a 2017) a v daném roce. Tedy například hodnota u roku 2025 je vypočítána jako průměr hodnot za roky 2016 a 2017 a požadovaná hodnota pro dosažení daného pásma v roce 2025 (průměr let 2024 a 2025 hodnocený v roce 2026).

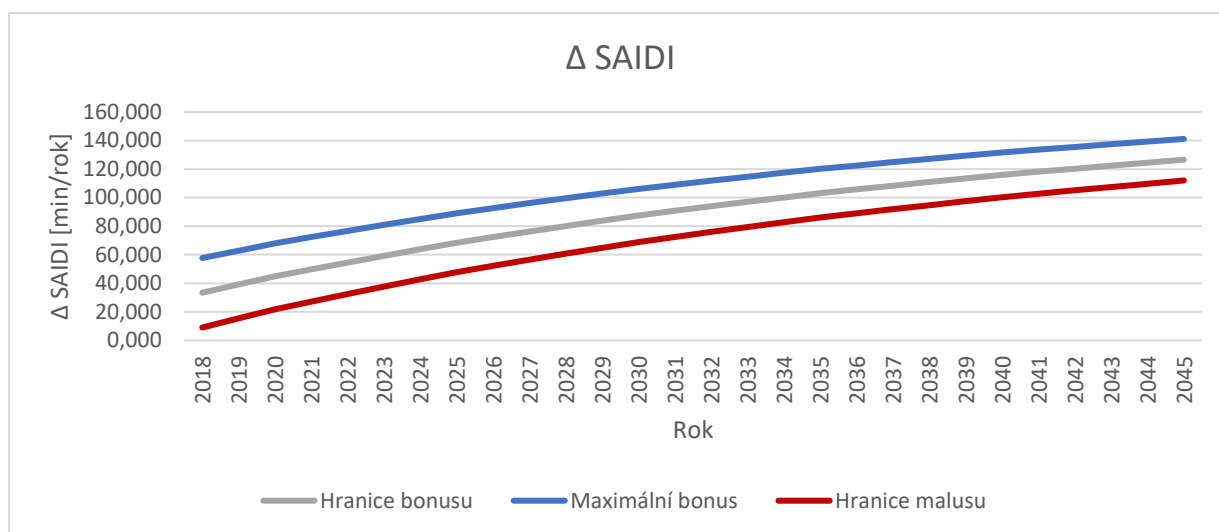
Vše při zavedených předpokladech v předchozích podkapitolách.

Graf 11 - Rozdíl klouzavého průměru z let 2016,2017 a požadované hodnoty v daném roce (SAIFI)





Graf 12 – Rozdíl klouzavého průměru z let 2016,2017 a požadované hodnoty v daném roce (SAIDI)



Vzhledem k tomu, že požadované hodnoty se každoročně snižují, pokud distributor bude chtít každoročně například dosáhnout na maximální bonus, bude muset dělat každoroční investice do akumulčních technologií a zvyšovat jejich počet.

Pokud dojde k okamžité investici do této technologie (konec roku 2018), první hodnocení, které je distributor schopen ovlivnit, je hodnocení v roce 2020. V roce 2020 bude vyhodnocován průměr z let 2018 a 2019 (a porovnáván s požadovanou hodnotou pro rok 2019). Rok 2019 by byl v tomto případě první ovlivněný rok. Bonus by byl promítnut do cen zajištění distribuce v roce 2021. Do tohoto hodnocení se užítky akumulace nepromítnou naplno. Naplno se projeví až v hodnocení v roce 2021, kdy bude hodnocen průměr let 2019 a 2020 (a porovnáván s požadovanou hodnotou pro rok 2020), tedy let, kdy by již byla akumulční technologie využívána. Bonus by se promítl do cen zajištění distribuce v roce 2022.

Vzhledem k tomu, že jsou hodnoceny dvouleté klouzavé průměry, je nutné uvažovat více dopředu tak, aby klouzavý průměr za hodnocené dvouleté období vždy odpovídal. Úvaha vypadá následovně: v roce  $t$  se hodnotí údaje za roky  $t - 1$  a  $t - 2$ , porovnávají se s požadovanou hodnotou pro maximální bonus roku  $t - 1$ . Následující rok je hodnocen průměr let  $t - 1$  a  $t$  a porovnáván s požadovanou hodnotou pro rok  $t$ . Tato požadovaná hodnota se každoročně snižuje. Aby distributor udržel krok s trendem snižování spolehlivostních ukazatelů, je nutné, aby měl v každém roce nižší ukazatel, než je pro daný rok předepsaný v Zásadách cenové regulace. Pomocí funkce „řešitel“ v softwaru Excel jsem stanovila, Pokud distributor bude například dimenzovat v roce  $t$  do akumulční systém tak, aby opět dosáhl na maximální bonus v roce  $t + 1$ , musí snížit ukazatel na hodnotu odpovídající hranici pro maximální bonus v roce  $t + 1$  navíc sníženou o 52,94 % požadovaného meziročního snížení mezi roky  $t + 1$  a  $t + 2$ . Pokud toto pravidlo bude distributor dodržovat každý

rok při plánování dalšího období (roku), bude zaručeno, že vždy bude mít každý rok nárok na maximální bonus a zároveň nebude mít systém předimenzován.

Nejsou uvedeny nové grafy, neboť tyto drobné niance nejsou v grafu postřehnutelné, je na ně však nutné brát v následujících výpočtech ohled.

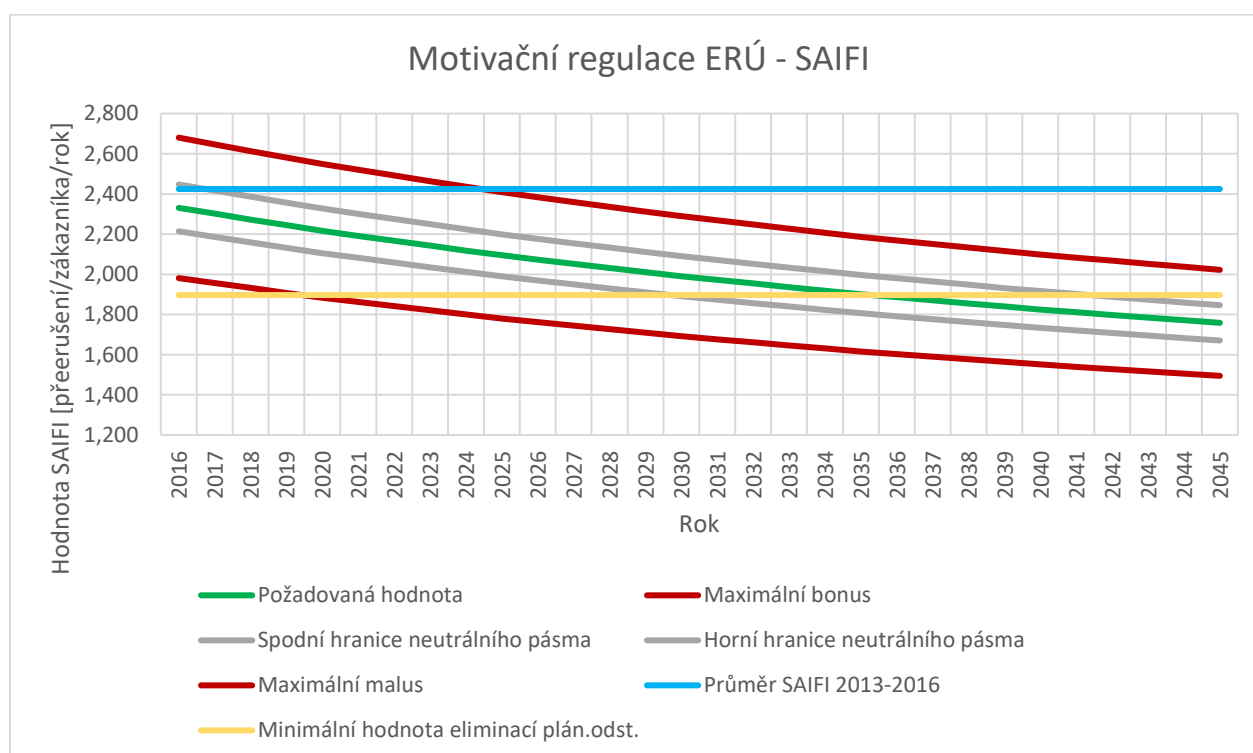
Další ukazatel, který je třeba brát v úvahu je, kam až je ČEZ Distribuce schopen snížit hodnoty systémových ukazatelů pouze eliminací příspěvků od plánovaných odstávek s uvažováním faktu, že 1 MVA distribuční transformátor není momentálně možné během odstávek nahradit mobilním akumulačním bateriovým systémem kvůli vysoké hmotnosti – objasnění následuje v kap. [6.7.1.1]. Přepočítané hodnoty systémových ukazatelů, na které je distributor schopen snížit, jsou následující (pozn.: logika přepočtu ukazatelů je uvedena ve vzorcích (22) – (25); ve výpočtu je uvažováno s průměrnými hodnotami jednotlivých složek za roky 2013-2016):

Možnost snížit systémové ukazatele, které následně uvažuje ERU, pouze eliminací plánovaných odstávek (kromě odstávek 1 MVA transformátorů) je na hodnotu:

- SAIFI = 1,897 (přerušení/zákazníka/rok)
- SAIDI = 94,336 (min/rok)

Na následujících grafech jsou tyto hodnoty znázorněny spolu s reálnými současnými hodnotami (průměrem z hodnot 2013-2016).

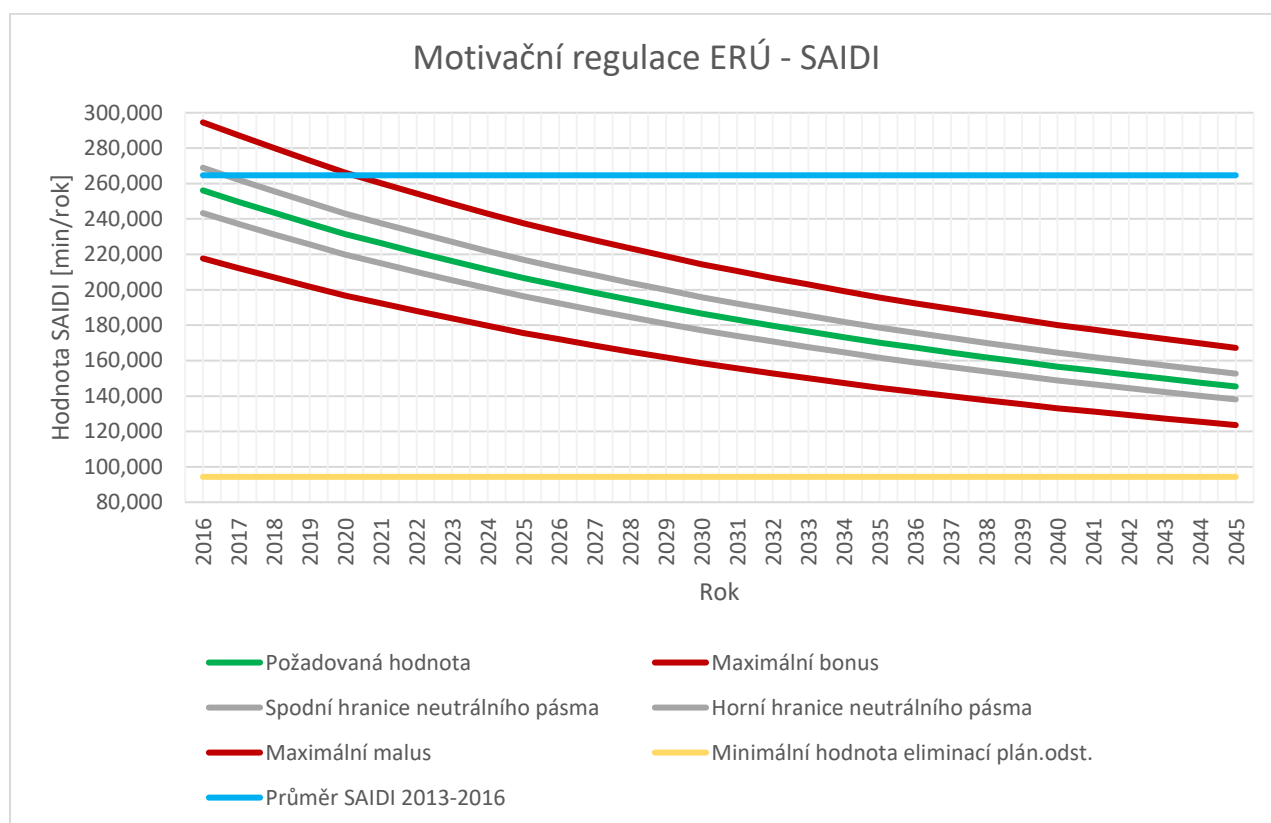
Graf 13 - Maximální možnost snížit ukazatel SAIFI pomocí eliminace plánovaných odstávek



Pokud by distributor maximálně eliminoval příspěvek na hladině nízkého napětí od plánovaných odstávek, do roku 2029 by toto snížení stačilo na pohyb po bonusovém pásmu a do roku 2041 na pohyb pod horní hranicí neutrálního pásma. Pokud by však distributor nezavedl žádné opatření týkající se snižování systémového ukazatele, dle průměrných hodnot za celé období 2013-2016 by se pohyboval v pásmu malusu již od požadovaných hodnot pro rok 2017. Z toho vyplývá, že akumulace a její řízení tohoto ukazatele eliminuje finanční penalizaci distributora.

Analogický graf je uveden i pro ukazatel SAIDI:

Graf 14 - Maximální možnost snížit ukazatel SAIDI pomocí eliminace plánovaných odstávek



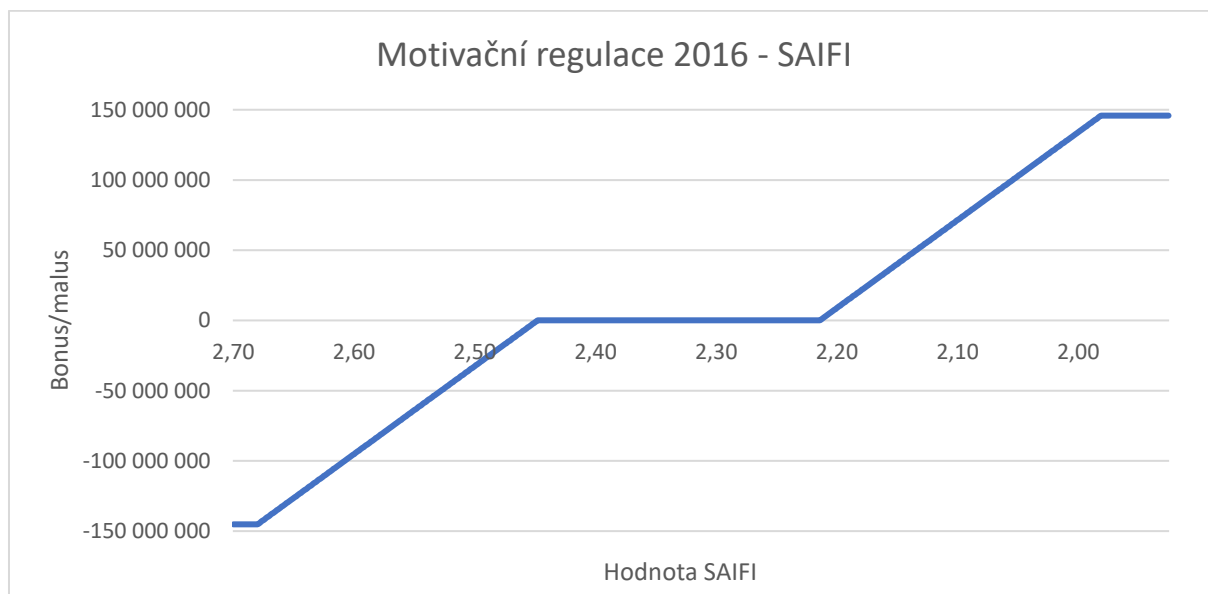
Z tohoto grafu vyplývá, že pokud by distributor nezavedl žádná opatření ke snižování ukazatelů, dostal by se do pásma malusu již od požadovaných hodnot pro rok 2017. Naopak je vidět, že ukazatel SAIDI je eliminací plánovaných odstávek velmi dobře říditelný a je zde velký potenciál. Pokud by distributor tento příspěvek k systémovému ukazateli zcela eliminoval, může se za zavedených předpokladů jistě do roku 2045 pohybovat po křivce maximálního bonusu.

## 6.6.4 Finanční motivace

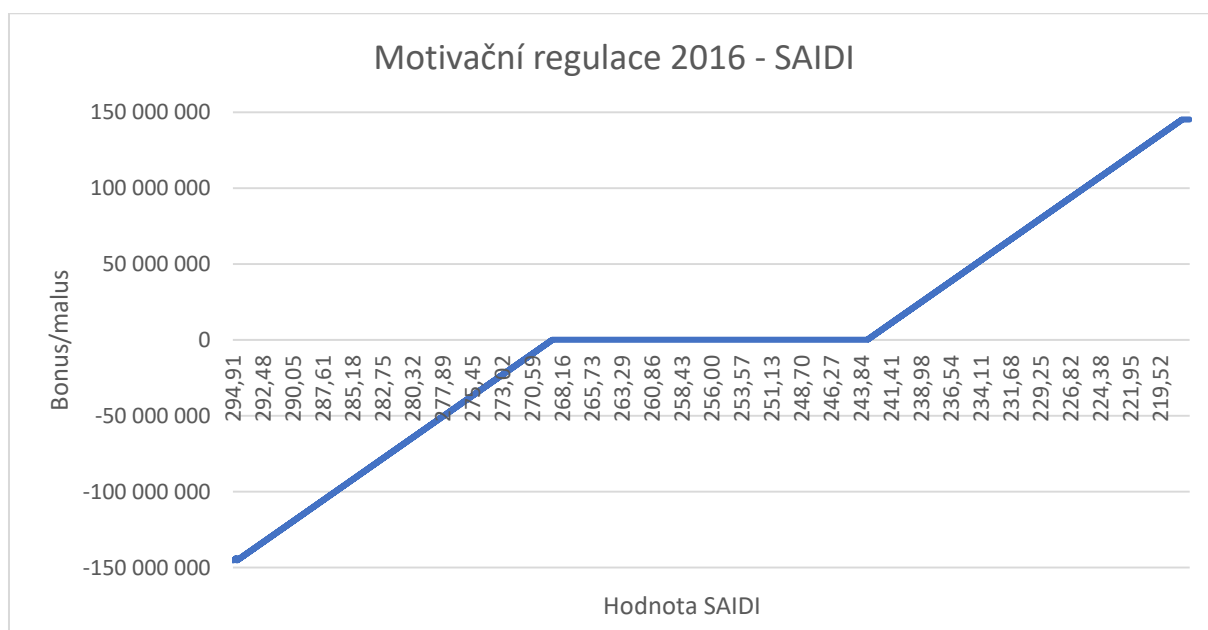
Ze Zásad cenové regulace vyplývá [20], že maximální bonus činí 2 % ze zisku distributora za jeden ukazatel.

Pro příklad uvedu graf finanční motivace s hodnotami pro rok 2016 (požadované hodnoty pro tento rok a zisk ČEZ Distribuce za tento rok).

Graf 15 - Graf motivační regulace 2016 - SAIFI



Graf 16 - Graf motivační regulace 2016 - SAIDI



Je známa maximální hodnota malusu/bonusu a zároveň body zlomu křivky. Vzhledem k tomu, že křivka je vždy v části bonusu/malusu lineární, dá se snadno ocenit jednotková změna ukazatele. Z této logiky budu vycházet u oceňování změny ukazatele do budoucnosti.

Z toho důvodu je potřeba analyzovat zisk společnosti, aby bylo možné predikovat jeho vývoj do budoucna. Uvažuji zisky společnosti od roku 2013 do roku 2016. Všechny tyto roky jsou uvedeny ve Výroční zprávě ČEZ Distribuce, a.s. za rok 2016 [23].

Vzhledem k tomu, že geometrický průměr indexů cen průmyslových výrobců mezi lety 2013 a 2016 je 99,9 %, pro zjednodušení budu uvažovat, že růst cen mezi těmito roky můžu zanedbat a stanovím tedy průměr z těchto nominálních hodnot převzatých ze Souhrnné zprávy. Hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce [28]:

Tabulka 32 - Čistý zisk ČEZ Distribuce v letech 2013-2016

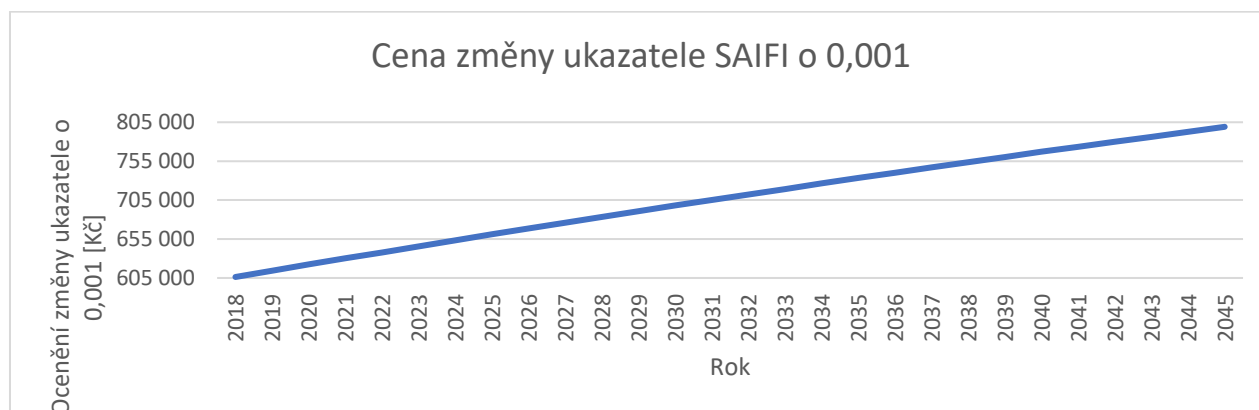
rok	čistý zisk (mil. Kč)
2013	6 876
2014	6 769
2015	6 613
2016	7 259
průměr	6 879

Pro ocenění jednotkové změny do budoucna budu uvažovat zisk jako průměr z let 2013-2016. Nicméně pro odhad do roku 2045 se jedná o dlouhý časový horizont, pro který již budu uvažovat růst cen. Budu tedy do budoucnosti uvažovat průměrnou hodnotu z let 2013-2016 rostoucí průměrným růstem cen průmyslových výrobců za posledních 10 let (0,072 %).

*Pozn.: Průměrný růst cen průmyslových výrobců za posledních 10 let jsem určila jako geometrický průměr indexu cen průmyslových výrobců (%) v jednotlivých letech 2007-2017.*

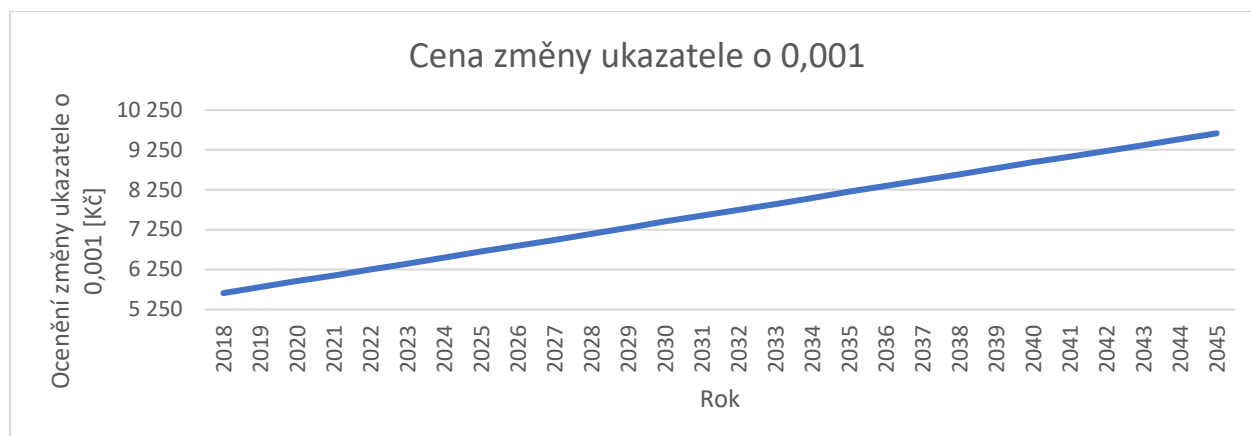
Uvažuji, že maximální hodnota malusu/bonusu zůstává ve výši 2 % z čistého zisku za jeden ukazatel. Vývoj ceny změny ukazatele SAIFI o 0,001 je vyjádřen v následujícím grafu:

Graf 17 - Ocenění změny ukazatele SAIFI o 0,001



Analogicky pro ukazatel SAIDI:

Graf 18 - Ocenění změny ukazatele SAIDI o 0,001



Hodnota ocenění roste nejenom z důvodu rostoucího zisku inflačním tempem, ale i díky zmenšování absolutních velikostí bonusových a malusových pásem.

## 6.7 Příjmy a výdaje – akumulční technologie

### 6.7.1 Výdaje

Aby bylo možné efektivně pokrýt nutný úbytek SAIDI a SAIFI ukazatelů, v následujících podkapitolách jsou určeny náklady jednotlivých systémů (dle výkonu) a následně vypočítán výdaj na jednotku snížení ukazatelů. Díky tomu bude následně možno provést nejnižší možnou investici s nejvyšším možným přínosem.

#### 6.7.1.1 Investiční výdaje

- **Kontejnerové řešení baterií + dalších technologií (střídače apod.)**

Z konzultace s dodavatelem akumulčních Li-ion systémů plynou investiční výdaje cca **22 200 000 Kč/MW** instalovaného výkonu.

- **Tahače**

Potřebujeme, aby systém byl mobilní a bylo možno ho převážet. K investičním výdajům každého akumulčního systému je nutno připočítat také cenu tahače.

Způsob přepravy se odvíjí od celkové hmotnosti systému (každého jeho kontejneru). Váha tahače včetně nákladu nesmí přesáhnout maximální povolenou hranici 48 tun. Z konzultací s dodavatelem

baterií vyplývá přibližná hmotnost 23 t/kontejner/MWh instalované kapacity. Pro jednotlivé výkony jsou hmotnosti uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 33 - Hmotnost kontejnerů

Nahrazované TRF (kVA)	50	100	160	250	400	630	1000
Kapacita systému (MWh)	0,20	0,40	0,50	0,80	1,30	2,00	3,10
Hmotnost jednoho kontejneru (t)	4,2	8,4	10,5	16,7	27,2	41,8	64,8
Hmotnost celého systému (t)	8,4	16,7	20,9	33,5	54,4	83,6	129,6

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že systémy nahrazující TRF o výkonech 50, 100, 160 a 250 kVA můžeme přepravovat jedním tahačem (oba dva kontejnery se mohou převézt najednou). U systémů nahrazujících TRF o výkonech 400 a 630 kVA budou jeden systém převážet tahače dva, vždy po jednom kontejneru na tahač. Systém nahrazující 1 000 kVA transformátor není možné z důvodu vysoké hmotnosti přepravovat bez speciálních jednorázových povolení a za další vícenáklady. Vzhledem k tomu, že těchto transformátorů je pouze 119 ks a je v nich vázáno 0,81 % celkového instalovaného transformačního výkonu, nebudou vzhledem k nedopravitelnosti tyto systémy dále uvažovány.

Uvažovaná investice do jednoho tahače je **3 000 000 Kč**.

Celkové investiční výdaje na jeden systém od každého výkonu tedy jsou:

Tabulka 34 – Investiční výdaje

Nahrazované TRF (kVA)	50	100	160	250	400	630
Skutečná kapacita systému (MWh)	0,20	0,40	0,50	0,80	1,30	2,00
Skutečný výkon systému (MW)	0,18	0,36	0,45	0,73	1,18	1,82
Inv.výdaje bateriový systém (mil. Kč)	4,04	8,07	10,09	16,15	26,24	40,36
Investiční výdaje na tahače (mil. Kč/systém)	3,00	3,00	3,00	3,00	6,00	6,00
Investiční výdaje celkem (mil. Kč/systém)	7,04	11,07	13,09	19,15	32,24	46,36

Pro efektivní pokrytí potřebného snížení ukazatelů je potřeba vztáhnout i investiční výdaje k jednomu roku. Vynásobím je tedy anuitou s diskontem v hodnotě 6,44 % [20]. Jako diskont je použito WACC po zdanění společnosti ČEZ Distribuce, které je uvedeno v Zásadách cenové regulace pro IV. RO. Potom investiční výdaje připadající na jeden rok jsou v následující tabulce:

Tabulka 35 - Investiční výdaje vynásobené anuitou

Nahrazované TRF [kVA]	50	100	160	250	400	630
Inv. výdaje rozprostřené do Tž (mil. Kč/systém)	0,34	1,00	1,18	1,73	2,91	4,19

### 6.7.1.2 Provozní výdaje

- **Servis a údržba**

Roční výdaje na servis a údržbu tahačů i akumulačních technologií jsou uvažovány na výši **1 % z počáteční investice**.

- **Pojištění**

Po konzultaci v jedné nejmenované dopravní firmou v ČR jsem stanovila náklady na zákonná pojištění tahačů na **48 000 Kč/rok**.

- **Silniční daň**

V modelu pracuji s předpokladem, že tahače přepravující akumulační systém by si nechal distributor uznat jako vozidla poruchové služby energetických zařízení, které jsou podle zákona č.16/1993 Sb. (paragraf 3.d)) osvobozena od silniční daně.

- **Mzdy**

Výše vyplacené mzdy distributorem se váže k počtu tahačů. Každý tahač má svého řidiče (který zároveň provádí nutnou obsluhu). Započítaná mzda je superhrubá, neboť v ní jsou zahrnuty všechny náklady zaměstnavatele. Uvažuji superhrubou mzdu ve výši **46 900 Kč/měsíc/osobu**.

- **Palivové výdaje**

Palivové výdaje nelze s dostatečnou jistotou učit, neboť nejsou jednotlivé transformátory přesně zaneseny na mapě a určená jejich vzdálenost od základny. Lze však předpokládat, že spotřeba paliva na kilometr bude v případě systémů, na jejichž přepravu stačí jeden tahač, poloviční.

Přesný počet kilometrů nebude mít na stanovení efektivního pokrytí úbytku SAIDI, SAIFI akumulačními systémy vliv. Pokud v modelu počet ujetých kilometrů určíme přesněji, vhodnost řešení se nezmění, pouze se změní samotný poměr u všech velikostí akumulačního systému.

Odhad ujetých kilometrů jsem stanovila jako **12 500 km/tahač/rok** – odhad byl určen následovně: byla spočítána plocha územních celků (jako součet ploch okresů do nich spadajících), ty byly pro zjednodušení uvažovány jako kruhy. Z této plochy jsem vypočítala polovinu poloměru jako střední vzdálenost, kterou tahač ujede za jeden výjezd, vynásobila dvěma z důvodu nutnosti návratu na základnu a tyto údaje zprůměrovala za všechny územní celky. Tento výsledek jsem zaokrouhlila na stovky.



Předpokládaná spotřeba je 34,5 l/100 km (odhad podle podobných tahačů dostupných na internetu), cena nafty je uvažována 29,8 Kč/l (průměrná cena nafty za rok 2018 dle zdroje: <https://business.center.cz/business/finance/cestnahr/benzin.aspx>).

- **Výdaje na nabíjení systému**

Uvažuje se, že by distributor dobíjel systém na své rozvodně. Z konzultací v ČEZ Distribuci vyplývá, že distributor má v místech, kde odebírá elektřinu, standardní odběrné místo – to znamená, že platí všechny složky ceny za elektrickou energii jako každý jiný odběratel. Oproti běžnému odběrateli však distribuční poplatky platí, ty se mu ale opět vrací do rozpočtu.

Přesné ceny, za které ČEZ Distribuce elektřinu od ČEZ Prodej nakupuje, jsou neveřejný údaj. Po konzultaci se zadavatelem jsem tuto cenu pro účel modelu stanovila jako 3,1 Kč/kWh, realita bude pravděpodobně mírně odlišná. Uvažuji, že 35 % z této ceny tvoří poplatky za distribuci, tedy konečné náklady distributora na elektrickou energii uvažuji ve výši 65 % z 3,1 Kč/kWh, tedy **2,02 Kč/kWh**.

Uvažuji denní cykly – v kapitole „

Dimenzování systémů – pro plánované **odstávky**“ byla spočítána potřebná dodaná elektrická energie akumulacním systémem  $W_{dod}$  s uvažováním 10 % rezervy doby trvání odstávky. Pro odhad výdajů na dobíjení tedy bude uvažováno, že akumulacní systém vždy během jednoho cyklu dodá 90 %  $W_{dod}$ , s uvažováním 85 % účinnosti systému tedy systém odebere každý den, kdy bude využit (uvažováno 218 dní v roce):

$$W_{nab} = 0,9 * W_{dod} + 0,9 * (1 - 0,85) * W_{dod} = 1,035 * W_{dod} \text{ (kWh)} \quad (29)$$

Roční výdaje na dobíjení budou:

$$N_{r,nab} = W_{nab} * n_{dny} * n_{kWh} \text{ (Kč)} \quad (30)$$

kde  $W_{nab}$  je odebraná energie při dobíjení akumulacního systému (kWh)

$W_{dod}$  je elektrická energie, kterou potřebujeme od systému dodat (kWh)

$N_{r,nab}$  jsou roční výdaje jednoho akumulacního systému na nabíjení (Kč)

$n_{dny}$  počet dní, kdy je akumulacní systém schopen fungovat (uvažováno 218) (dny)

$n_{kWh}$  jsou náklady distributora na jednu odebranou kWh ze sítě (Kč/kWh)

Celkové uvažované provozní výdaje tedy jsou:

Tabulka 36 – Roční provozní výdaje

Nahrazované TRF (kVA)	50	100	160	250	400	630
Skut. uchovávací schopnost systému (MWh)	0,20	0,40	0,50	0,80	1,30	2,00
Skutečný výkon systému (MW)	0,18	0,36	0,45	0,73	1,18	1,82
Počet tahačů/systém	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0
Výdaje na údržbu ak systému (Kč/rok/systém)	40 364	80 727	100 909	161 455	262 364	403 636
Výdaje na údržbu tahače/ů (Kč/rok/systém)	30 000	30 000	30 000	30 000	60 000	60 000
Pojištění (Kč/rok/systém)	48 000	48 000	48 000	48 000	96 000	96 000
Mzdy (Kč/rok/systém)	562 800	562 800	562 800	562 800	1 125 600	1 125 600
Palivové výdaje (Kč/rok/systém)	128 513	128 513	128 513	128 513	257 025	257 025
Výdaje na dobíjení (Kč/rok/system)	56 376	112 752	180 403	281 880	451 007	710 336
<b>Celkové provozní výdaje (Kč/rok/system)</b>	<b>866 052</b>	<b>962 792</b>	<b>1 050 625</b>	<b>1 212 647</b>	<b>2 251 996</b>	<b>2 652 598</b>

## 6.7.2 Příjmy

Pokud by distributor plánované odstávky nenahrazoval jiným způsobem (v tomto případě akumulací), přišel by o příjmy z poplatků za distribuci (její proměnnou složku závislou na množství odebrané energie). Průměrné výnosy z jedné dodané MWh konečnému odběrateli na nn nejsou známy, stanovila jsem je následující metodou.

Získala jsem procentuální rozložení odběratelů z nízkého napětí do distribučních sazeb (k 31.12.2017), z platných ceníků společnosti ČEZ jsem vzala poplatky za použití distribučních cest (pouze složku závislou na odběru) a dle tohoto procentuálního rozložení a zavedeného předpokladu, že u sazeb, kde má odběratel k zavedený nízký a vysoký tarif, je 70 % odběru učiněno v době nízkého tarifu, vyšla průměrná zaplacená cena zákazníkem za jednu odebranou MWh na hladině nízkého napětí **1 268 Kč** (uvažována pouze proměnná složka).

Do výnosů momentálně neuvažuji případné bonusy plynoucí z dodržování ukazatelů nepřetržitosti.

V následující tabulce jsou příjmy z poplatků za využití distribučních cest v případě nasazení jednoho akumulačního systému dané velikosti (uvažováno jako energii, kterou potřebujeme dodat akumulačním systémem – z kapitoly „6.5 Dimenzování systémů – pro plánované odstávky“ sniženu o 10 % - dimenzování je provedeno na délku odstávky s 10 % rezervou, vynásobenou průměrnou cenou distribučních poplatků za 1 MWh).

Tabulka 37 - Příjmy za distribuční poplatky

Nahrazované TRF (kVA)	50	100	160	250	400	630
<b>Příjmy za poplatky za distr. (Kč/rok/system)</b>	<b>30 855</b>	<b>61 710</b>	<b>98 736</b>	<b>154 275</b>	<b>246 840</b>	<b>617 100</b>

### 6.7.3 Shrnutí

Celkové provozní výdaje a příjmy systému jsou (bez započítání případných bonusů):

Tabulka 38 – Příjmy a výdaje jednoho akumulčního systému

Nahrazované TRF (kVA)	50	100	160	250	400	630
Skutečná kapacita systému (MWh)	0,20	0,40	0,50	0,80	1,30	2,00
Skutečný výkon systému (MW)	0,18	0,36	0,45	0,73	1,18	1,82
Počet tahačů/systém	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0
Výdaje na údržbu ak systému (Kč/rok/systém)	40 364	80 727	100 909	161 455	262 364	403 636
Výdaje na údržbu tahače/ů (Kč/rok/systém)	30 000	30 000	30 000	30 000	60 000	60 000
Pojištění (Kč/rok/systém)	48 000	48 000	48 000	48 000	96 000	96 000
Mzdy (Kč/rok/systém)	562 800	562 800	562 800	562 800	1 125 600	1 125 600
Palivové výdaje (Kč/rok/systém)	128 513	128 513	128 513	128 513	257 025	257 025
Výdaje na dobíjení (Kč/rok/system)	56 376	112 752	180 403	281 880	451 007	710 336
<b>Celkové provozní výdaje (Kč/rok/system)</b>	<b>866 052</b>	<b>962 792</b>	<b>1 050 625</b>	<b>1 212 647</b>	<b>2 251 996</b>	<b>2 652 598</b>
Příjmy za poplatky za dist. (Kč/rok/system)	30 855	61 710	98 736	154 275	246 840	617 100
Investice*anuita (Kč/rok/system)	635 555	1 000 137	1 182 427	1 729 300	2 911 728	4 187 764
<b>Příjmy z poplatků za distribuci – (provozní výdaje + (investice*anuita))</b>	<b>-1 470 752</b>	<b>-1 901 218</b>	<b>-2 134 316</b>	<b>-2 787 672</b>	<b>-4 916 883</b>	<b>-6 451 589</b>

Pozn.: Ve výpočtovém modelu rostou provozní výdaje a příjmy inflačním tempem.

## 6.8 Výdaje a příjmy – dieselagregáty

### 6.8.1 Náklady

#### 6.8.1.1 Investiční náklady

- **Kontejnerové řešení diesel agregátu**

Uvažované řešení je v kontejnerovém provedení – kontejner se naloží na tahač, stejně jako kontejner s akumulací technologií. Z konzultace s výrobní firmou plynou výdaje cca **7 500 000 Kč/MW** instalovaného výkonu. Dieselagregát má integrovanou nádrž na 8 hodin provozu, tedy pro účely tohoto případu dostačující.

- **Tahače**

Stejně jako u akumulací technologie potřebujeme, aby systém byl mobilní a bylo možno ho převážet. K investičním výdajům každého dieselagregátu připočítávám cenu tahače (1 tahač na jeden systém).

*Pozn.: Nebude uvažován dieselagregát pro náhradu 1 000 kVA transformátoru z důvodu jejich velmi malému počtu (a tím pádem malé četnosti plánovaných odstávek – 58 plánovaných odstávek na celém distribučním území za rok). Pokud by distributor pořídil pouze jeden systém, nebyl by ani za tohoto předpokladu využit ani na 50 % a nebylo by logisticky možné, aby jeden tento systém obsluhoval všechny transformátory této velikosti na distribučním území.*

Celkové investiční náklady na jeden systém od každého výkonu tedy jsou:

Tabulka 39 – Investiční výdaje

Nahrazované TRF (kVA)	50	100	160	250	400	630
Skutečný výkon systému (MW)	0,02	0,04	0,06	0,10	0,16	0,26
Inv.výdaje dieselagregát (tis. Kč)	150,0	300,0	480,0	750,0	1 200,0	1 912,5
Inv. výdaje na tahače (tis. Kč/systém)	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
Investiční výdaje celkem (tis. Kč/systém)	3 150,0	3 300,0	3 480,0	3 750,0	4 200,0	4 912,5

Analogicky jako u akumulací technologie – abych mohla v další kapitole určit, kterým systémem je nejvhodnější začít úbytek pokrývat (má největší užitek za nejméně výdajů), vynásobím investiční výdaje anuitou (hodnota 0,29). Anuita je počítána stejně jako u akumulací systémů, pouze s rozdílnou dobou životnosti (zde 4 roky).

Tabulka 40 - Investiční výdaje vynásobené anuitou

Nahrazované TRF (kVA)	50	100	160	250	400	630
Inv. výdaje rozprostřené do Tž (tis. Kč/systém)	918	962	1 014	1 093	1 224	1 432

### 6.8.1.2 Provozní výdaje

- **Servis a údržba**

Roční výdaje na servis a údržbu tahačů, dieselagregátů jsou uvažovány ve výši **1 %** z počáteční investice.

- **Pojištění, silniční daň, mzdy, palivové náklady tahačů**

Tyto položky zůstávají shodné jako u varianty s akumulací. Platí pro ně stejné zavedené předpoklady.

- **Výdaje na provoz dieselagregátu**

Výdaje na provoz dieselagregátu jsou uvažovány jako množství spotřebované nafty (vycházející z průměrné měrná hodnota v l/hod/MW dle výrobce a doby plánované odstávky) vynásobené průměrnou cenou nafty v roce 2018: 29,8 Kč/l (průměrná cena nafty za rok 2018 dle zdroje: <https://business.center.cz/business/finance/cestnahr/benzin.aspx>).

Celkové uvažované provozní výdaje tedy jsou:

Tabulka 41 – Roční provozní výdaje

Nahrazované TRF (kVA)	50	100	160	250	400	630
Skutečný výkon systému (MW)	0,02	0,04	0,06	0,10	0,16	0,26
Počet tahačů/systém	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Údržba dieselagregátu (Kč/rok/systém)	1 500	3 000	4 800	7 500	12 000	19 125
Výdaje na údržbu tahače (Kč/rok/systém)	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000
Pojištění (Kč/rok/systém)	48 000	48 000	48 000	48 000	48 000	48 000
Mzdy (Kč/rok/systém)	562 800	562 800	562 800	562 800	562 800	562 800
Palivové výdaje (Kč/rok/systém)	128 513	128 513	128 513	128 513	128 513	128 513
Výdaje na provoz agregátu (Kč/rok/system)	960	1 920	3 072	4 801	7 681	12 241
<b>Celkové provozní výdaje (Kč/rok/system)</b>	<b>771 773</b>	<b>774 233</b>	<b>777 185</b>	<b>781 613</b>	<b>788 993</b>	<b>800 679</b>

## 6.8.2 Příjmy

Příjmy jsou shodné jako v předchozí kapitole u akumulčních technologií.

## 6.8.3 Shrnutí

Celkové provozní výdaje a příjmy systému jsou (bez započítání případných bonusů):

Tabulka 42 – Výdaje a příjmy jednoho systému s dieselaagregátem

Nahrazované TRF (kVA)	50	100	160	250	400	630
Skutečný výkon systému (MW)	0,02	0,04	0,06	0,10	0,16	0,26
Počet tahačů/systém	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Výdaje na údržbu dieselaagregátu (Kč/rok/systém)	1 500	3 000	4 800	7 500	12 000	19 125
Výdaje na údržbu tahače (Kč/rok/systém)	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000
Pojištění (Kč/rok/systém)	48 000	48 000	48 000	48 000	48 000	48 000
Mzdy (Kč/rok/systém)	562 800	562 800	562 800	562 800	562 800	562 800
Palivové výdaje (Kč/rok/systém)	128 513	128 513	128 513	128 513	128 513	128 513
Výdaje na provoz agregátu (Kč/rok/system)	960	1 920	3 072	4 801	7 681	12 241
<b>Celkové provozní výdaje (Kč/rok/system)</b>	<b>771 773</b>	<b>774 233</b>	<b>777 185</b>	<b>781 613</b>	<b>788 993</b>	<b>800 679</b>
Příjmy za poplatky za dist. (Kč/rok/system)	30 855	61 710	98 736	154 275	246 840	617 100
Investice*anuita (Kč/rok/system)	918 240	961 965	1 014 436	1 093 142	1 224 319	1 432 017
<b>Příjmy z poplatků za distribuci – (provozní výdaje + (investice*anuita)</b>	<b>-1 659 157</b>	<b>-1 674 488</b>	<b>-1 692 885</b>	<b>-1 720 480</b>	<b>-1 766 473</b>	<b>-1 843 922</b>

Pozn.: Ve výpočtovém modelu rostou provozní výdaje a příjmy inflačním tempem. Stejně tak opětovné investice do dieselaagregátů (dieselaagregáty mají dobu životnosti 4 roky, akumulční systémy 20 let – aby bylo možné zjistit čistou současnou hodnotu projektu, uvažují dobu porovnání 20 let a během ní cyklicky opakují nákup a životnost dieselaagregátů).

## 6.9 Efektivní pokrývání úbytku SAIDI, SAIFI

- **Úbytek SAIDI, SAIFI na jeden akumulací systém**

Z předchozích kapitol je znám podíl jednotlivých transformátorů na přírůstku SAIDI/SAIFI za jednu plánovanou odstávku. Tyto transformátory budou nahrazovány během odstávek navrženými akumulacími systémy/systémy s dieselagregátem. Pokud by systém byl využíván 218 dní v roce, jak bylo stanoveno, schopnost jednoho systému daného výkonu snížit SAIDI/SAIFI (příspěvek jedné plánované odstávky TRF dané velikosti \* 218) je uvedena v tabulce. Dále je v tabulce uveden podíl ročních výnosů mínus nákladů ku schopnosti snížit ukazatele.

Schopnost snížit příspěvek je stejná pro akumulaci i pro dieselagregát, poměr nákladů ku přínosu se různí, je tedy uveden pro každou technologii zvlášť.

Tabulka 43 – Schopnost systému snížit systémové ukazatele + poměr (výnosy-náklady)/přínos

Nahrazované TRF (kVA)	50	100	160	250	400	630
Schopnost 1 systému snížit SAIFI o	0,0007	0,0015	0,0024	0,0037	0,0059	0,0093
Schopnost 1 systému snížit SAIDI o	0,2474	0,4948	0,7917	1,2371	1,9793	3,1175
Akumulace - poměr (výnosy-náklady) (mil.Kč) /schopnost SAIFI	-1 998	-1 291	-906	-757	-835	-696
Akumulace - poměr (výnosy-náklady) (mil.Kč) /schopnost SADI	-5,94	-3,84	-2,70	-2,25	-2,48	-2,07
Dieselag. - poměr (výnosy-náklady) (mil.Kč) /schopnost SAIFI	-2 254	-1 137	-719	-467	-300	-199
Dieselag. - poměr (výnosy-náklady) (mil.Kč) /schopnost SADI	-6,71	-3,38	-2,14	-1,39	-0,89	-0,59

Pořadí vhodnosti systémů je stejné u SAIDI i SAIFI. Z výše uvedené tabulky vyplývá, že u akumulací technologie je nejvhodnější nejprve pokrývat výpadky 630 kVA transformátorů, potom 250 kVA, 400 kVA, 160 kVA, 100 kVA a až naposledy 50 kVA. U dieselagregátu je nejvýhodnější začít od největšího výkonu a postupovat k nejmenším.

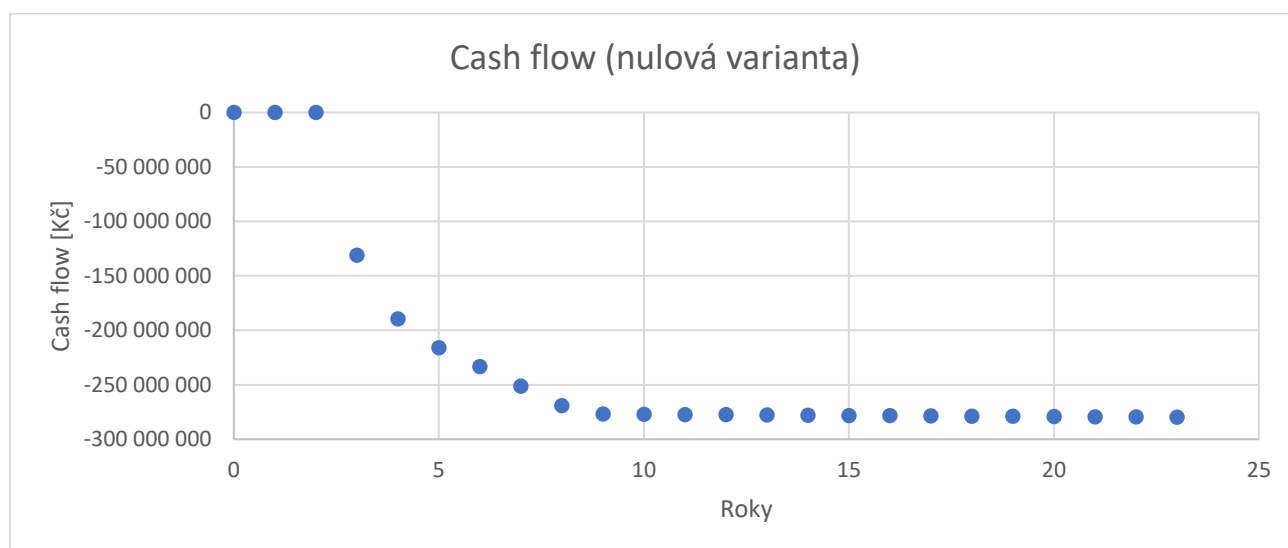
## 6.10 Zvolení optimální aplikace

- **Nulová varianta**

Jako nulovou variantu uvažuji variantu, kdy distributor nebude ukazatele snižovat žádným jiným způsobem a nebude nijak nahrazovat plánované odstávky distribučních transformátorů. V této variantě jsou nulové investiční výdaje, nulové provozní výdaje a provozní příjmy. Jediným vstupem jsou penále za nedodržení požadovaných hodnot SAIDI a SAIFI. Aby byla tato varianta porovnatelná s variantami, kde budou aplikovány bateriové systémy nebo dieselagregáty, zvolila jsem dobu porovnání 20 let (rok 2018 je uvažován jako rok  $t=0$ ). První hotovostní tok je však až v roce 2021, protože případnou investicí v roce 2018 můžeme ovlivnit až hodnotu SAIDI/SAIFI v roce 2019, která je hodnocena v roce 2020 a bonus/malus účtován až v roce 2021. Naopak poslední rok životnosti například akumulčního systému ovlivní i klouzavý průměr rok po skončení životnosti systému. Tento skluz se projeví i na konci doby hodnocení projektu, protože životnost projektu končí v roce 2038, ale dopady z něj potvrzují ještě tři následující roky (rok po skončení se ještě promítne do hodnoty klouzavého průměru, dva následující roky ještě z projektu plynou hotovostní toky – malusy/bonusy). Pro diskontování hotovostních toků je použit diskont ve výši 6,44 %, tedy odpovídající hodnotě WACC ČEZ Distribuce pro IV. regulační období [20].

Hotovostní toky v jednotlivých letech vypadají následovně:

Graf 19 - Hotovostní toky nulové varianty



Jak je z grafu vidět, tak první hotovostní rok je až v roce č.3, následně potom tři opožděné hotovostní roky (z podstaty motivační regulace) v letech č.21, 22 a 23.

Čistá současná hodnota dopadů této varianty ( $NPV_0$ ) za dobu porovnání je **-2 494 298 924 Kč**.



- **Varianta č.1 – dieselagregáty**

Aby mohla být zvolena optimální aplikace, musí být maximalizována rovnice pro čistou současnou hodnotu projektu:

$$NPV = \sum_{t=0}^{t=T_z} \frac{CF_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^{t=T_z} \frac{N_{prov,t} + V_{prov,t} + INV_t}{(1+r)^t} = MAX \quad (\text{Kč}) \quad (31)$$

kde  $N_{prov,t}$  jsou provozní náklady v roce  $t$  (Kč/rok)

$V_{prov,t}$  jsou provozní výnosy v roce  $t$  (Kč/rok)

$INV_t$  je výše investic v roce  $t$  (Kč)

$r$  je diskontní sazba (%)

$t$  je rok životnosti projektu (roky)

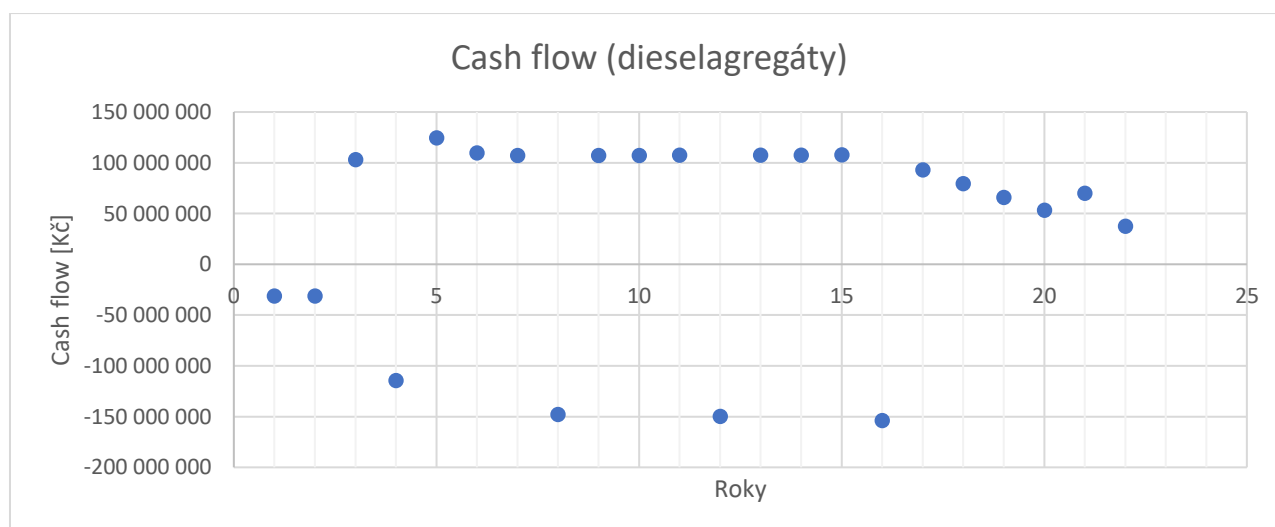
$CF_t$  je hotovostní tok v roce  $t$  (Kč)

$NPV$  je čistá současná hodnota projektu (Kč)

Doba životnosti dieselagregátu je 4 roky. Abych měla stejnou dobu porovnání pro všechny varianty, cyklicky opakuji během dvaceti let ekonomické užitky jedné doby životnosti. Dle mnou sestaveného výpočtového modelu v softwaru Excel vychází maximální současná hodnota projektu v případě, že distributor v nultém roce investuje do 8 ks dieselagregátů nahrazujících 250 kVA transformátor, 39 ks nahrazujících 400 kVA a 12 ks nahrazujících 630 kVA distribuční transformátory.

Čistá současná hodnota této varianty ( $NPV_1$ ) je **67 717 826 Kč**.

Graf 20 - Optimalizace návrhu - varianta č.1



V grafu č.20 na předchozí straně jsou hotovostní toky projektu. Je vidět, že záporné hotovostní toky jsou v letech, kdy jsou zařízení obnovována po konci své doby životnosti.

- **Varianta č.2 – akumulční systémy**

Analogicky jako u předchozí varianty je třeba stanovit rovnici, kterou se budu snažit maximalizovat.

V tomto případě rovnice pro čistou současnou hodnotu projektu vypadá následovně:

$$NPV = \sum_{t=0}^{t=T_z} \frac{CF_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^{t=T_z} \frac{N_{prov,t} + V_{prov,t} + MR_{SAIFI,t} + MR_{SAIDI,t} + INV_t}{(1+r)^t} = MAX \quad (\text{Kč}) \quad (32)$$

Kde  $N_{prov,t}$  jsou provozní náklady v roce  $t$  (Kč/rok)

$V_{prov,t}$  jsou provozní výnosy v roce  $t$  (Kč/rok)

$MR_{SAIFI,t}$  je bonus/malus vyplývající z regulační motivace ERÚ vyplacený v roce  $t$  (Kč)

$MR_{SAIDI,t}$  je bonus/malus vyplývající z regulační motivace ERÚ vyplacený v roce  $t$  (Kč)

$INV_t$  je výše investic v roce  $t$  (Kč)

$r$  je diskontní sazba (Kč)

$t$  je rok životnosti projektu (roky)

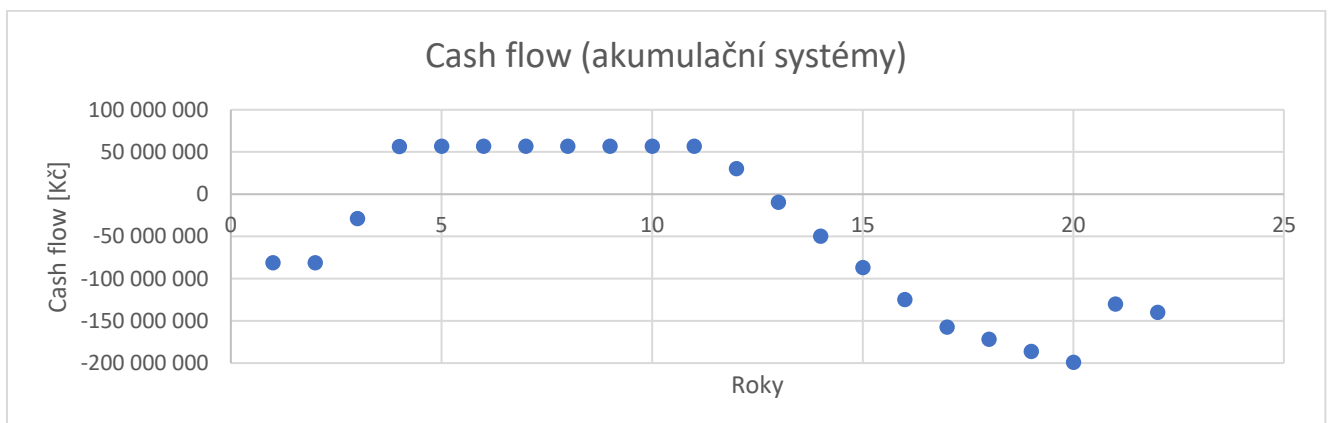
$CF_t$  je hotovostní tok v roce  $t$  (roky)

$NPV$  je čistá současná hodnota projektu (Kč)

Pro výpočet NPV uvažuji dobu životnosti 20 let, tedy zhodnocuji ekonomické důsledky v tomto období. Pro současné podmínky zavedené v předchozích kapitolách a za předpokladu investice v roce 2018 vychází dle funkce řešitel v programu Excel takové řešení, které předpokládá v roce 0 (rok 2018) investici do 12 systémů na pokrytí 630 kVA TRF, 11 na 400 kVA a 30 na 250 kVA transformátorů.

Tato varianta má čistou současnou hodnotu  $NPV_2 = -1\,820\,257\,226$  Kč.

Graf 21 - Optimalizace návrhu - varianta č.2



V grafu č.21 na předchozí straně jsou uvedeny hotovostní toky projektu.

- **Shrnutí**

Čisté současné hodnoty projektů jsou:

- $NPV_0 = -2\,494\,298\,924\text{ Kč}$
- $NPV_1 = +67\,717\,826\text{ Kč}$
- $NPV_2 = -1\,820\,257\,226\text{ Kč}$

Jak je z výše uvedených hodnot patrné, jedinou investicí s čistou současnou hodnotou větší než nula je investice do dieselaagregátů. To je způsobeno nižší pořizovací cenou.

Čistá současná hodnota varianty 2 by byla kladná, pokud by se zvýšil motivační bonus na:

- 8,4 % za jeden ukazatel pro variantu č.2 (akumulační technologie)

## 7 Závěr

V první části práce jsem představila různé akumulční technologie a zhodnotila jejich vhodnost pro využití v distribučních sítích. Pro praktickou část jsem vybrala aplikaci na hladině nízkého napětí, konkrétně Li-ion bateriové systémy v kontejnerovém provedení, které by po dobu plánovaných odstávek dodávaly elektrickou energii konečným odběratelům na hladině nízkého napětí. Cílem práce bylo zjistit, zda se tato investice distributorovi vyplatí (ve srovnání se dvěma variantami – kdy distributor neudělá žádnou investici do eliminace plánovaných odstávek nebo kdy je bude pokrývat dieselaagregáty).

Vzhledem k tomu, že nebyla dostupná potřebná data ohledně počtu odběratelů na jednotlivých transformátorech, počtech odstávek na hladině nízkého napětí a rozmístění transformátorů po distribučním území ČEZ Distribuce, vycházela jsem z dat Českého statistického úřadu. Český statistický úřad zveřejňuje počty obcí v jednotlivých okresech (rozdělených do několika velikostních kategorií v závislosti na počtu obyvatel) a počty obyvatel v obcích různých kategorií (opět rozdělených po okresech). Vzhledem k tomu, že jsem měla k dispozici celkový počet transformátorů a jejich výkony, znala jsem celkový instalovaný transformační výkon na distribučním území. Vydělením tohoto údaje počtem obyvatel na distribučním území jsem dostala měrný transformační výkon na obyvatele a následně jsem zpětně podle počtu obyvatel a různě velkých měst vypočítala instalovaný transformační výkon na jednotlivá města.

Následně jsem sestrojila model, který mi tato procenta převedl (na základě skutečného počtu transformátorů, které jsem měla k dispozici) na počty transformátorů v jednotlivých okresech. Dále jsem analyzovala počty připojených odběratelů na transformátory různých výkonů a skutečné hodnoty SAIDI/SAIFI ČEZ Distribuce, abych zjistila četnost a charakter neplánovaných odstávek během jednoho roku a příspěvky jednotlivých transformátorů k celkové hodnotě ukazatelů.

Následně jsem na základě těchto údajů dimenzovala akumulční systém.

Dále jsem analyzovala motivační regulaci ERÚ a predikovala její vývoj do budoucna. Požadované zpřísňování ukazatelů a bonusy/malusy mají zásadní vliv na výpočet čisté současné hodnoty v mém ekonomickém modelu. Sestavila jsem ekonomický model, který bere v potaz postupné zpřísňování motivační regulace ERU a zhodnotí, zda by měl distributor investovat do této technologie. Tuto variantu jsem porovnávala s variantou, kdy distributor neinvestuje do snižování SAIDI/SAIFI a když se distributor rozhodne pro eliminaci plánovaných odstávek dieselagregáty.

Čisté současné hodnoty projektů jsou:

- $NPV_0 = -2\,494\,298\,924 \text{ Kč}$  (bez investice)
- $NPV_1 = +67\,717\,826 \text{ Kč}$  (dieselagregáty)
- $NPV_2 = -1\,820\,257\,226 \text{ Kč}$  (akumulční technologie)

Jak je z výše uvedených hodnot patrné, jedinou investicí s čistou současnou hodnotou větší než nula je investice do dieselagregátů. To je způsobeno výrazně nižší pořizovací cenou. Čistá současná hodnota investice do akumulčního systému by se rovnala nule, pokud by byla změněna motivační regulace Energetického regulačního úřadu a zvýšila by se hodnota bonusu na úroveň 8 % ze zisku za jeden ukazatel.

## Citovaná literatura

- [1] World Energy Council. World Energy Resources - E-Storage 2016. *World Energy Council*. [Online] [Citace: 29. 10 2017.] [https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources\\_E-storage\\_2016.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources_E-storage_2016.pdf).
- [2] MWH Americas. Technical Analysis of Pumped Storage and Integration with Wind Power in the Pacific Northwest. *National Hydropower Association*. [Online] 8 2009. [Citace: 10. 11 2017.] <http://www.hydro.org/wp-content/uploads/2011/07/PS-Wind-Integration-Final-Report-without-Exhibits-MWH-3.pdf>.
- [3] Energy Storage Association. Compressed Air Energy Storage (CAES). *Energy Storage Association*. [Online] [Citace: 29. 10 2017.] <http://energystorage.org/compressed-air-energy-storage-caes>.
- [4] Isothermal CAES. *Energy Storage Association*. [Online] [Citace: 22. 11 2017.] <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/isothermal-caes>.
- [5] Liquid Air Energy Storage (LAES). *Energy Storage Association*. [Online] [Citace: 22. 11 2017.] <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/liquid-air-energy-storage-laes>.
- [6] Flywheels. *Energy Storage Association*. [Online] [Citace: 11. 22 2017.] <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/flywheels>.
- [7] Lithium Ion (LI-ION) Batteries. *Energy Storage Association*. [Online] [Citace: 11. 22 2017.] <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/lithium-ion-li-ion-batteries>.
- [8] Ing. Pavel Hrzina, PhD. Lithiové akumulátory. *TZB info*. [Online] 21. 12 2015. [Citace: 2. 3 2018.] <http://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/13612-lithiove-akumulatory>.
- [9] About Li-ion batteries. *NEXEON*. [Online] [Citace: 18. 4 2018.] <http://www.nexeon.co.uk/technology-2/about-li-ion-batteries/>.
- [10] Albright, Greg, Edie, Jake a Al-Hallaj, Said. *A Comparison of Lead Acid to Lithium-ion*. [online] místo neznámé : AllCell Technologies LLC, 3 2012.
- [11] Solid Sulfur (NAS) Batteries. *Energy Storage Association*. [Online] [Citace: 23. 11 2017.] <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/sodium-sulfur-nas-batteries>.
- [12] Redox Flow Batteries. *Energy Storage Association*. [Online] [Citace: 23. 11 2017.] <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/redox-flow-batteries>.
- [13] Hydrogen Energy Storage. *Energy Storage Association*. [Online] [Citace: 25. 11 2017.] <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/hydrogen-energy-storage>.
- [14] Power to Gas – budoucnost akumulace elektřiny? *O energetice*. [Online] 24. 6 2015. [Citace: 9. 12 2017.] <http://oenergetice.cz/elektrina/power-to-gas-budoucnost-akumulace-elektriny/>.
- [15] Electrochemical Capacitors. *Energy Storage Association*. [Online] [Citace: 9. 12 2017.] <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/electrochemical-capacitors>.
- [16] 3.4 Thermochemical storage. *GLOBAL CSS INSTITUTE*. [Online] [Citace: 9. 12 2017.] <https://hub.globalccsinstitute.com/publications/strategic-research-priorities-cross-cutting-technology/34-thermochemical-storage>.

- [17] Barbour, Edward. Thermal Energy Storage. *Energy Storage Sense*. [Online] [Citace: 9. 12 2017.] <http://energystoragesense.com/thermal-energy-storage/>.
- [18] 3.3 Latent heat storage. *GLOBAL CSS INSTITUTE*. [Online] [Citace: 10. 12 2017.] <https://hub.globalccsinstitute.com/publications/strategic-research-priorities-cross-cutting-technology/33-latent-heat-storage>.
- [19] PROVOZOVATELÉ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV. Pravidla provozování distribučních soustav - příloha č.2 (METODIKA URČOVÁNÍ PLYNULOSTI DISTRIBUCE ELEKTŘINY A SPOLEHLIVOSTI PRVKŮ DISTRIBUČNÍCH SÍŤÍ). *ČEZ Distribuce*. [Online] 12 2008. [Citace: 12. 4 2018.] [http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2009/ppds2009\\_priloha\\_2.pdf](http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2009/ppds2009_priloha_2.pdf).
- [20] Energetický regulační úřad. *Zásady cenové regulace pro období 2016-2018 pro odvětví elektroenergetiky, plynárenství a pro činnosti operátora trhu v elektroenergetice a plynárenství s prodlouženou účinností do 31.12.2020*. [online] 2015 (revize 2018).
- [21] Zpráva k tématu "Na cestě k novému uspořádání energetického trhu". *Evropský parlament*. [Online] 21. 6 2016. [Citace: 9. 3 2018.] <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+REPORT+A8-2016-0214+0+DOC+WORD+V0//CS>.
- [22] EUROPEAN COMMISSION. *Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on common rules for the internal market in electricity (recast)*. [Dokument] Brusel : autor neznámý, 2016.
- [23] ČEZ Distribuce, a.s. *Výroční zpráva 2016*. [online] Praha : autor neznámý, 2017.
- [24] Český statistický úřad. *Malý lexikon obcí České republiky – 2017; Tabulka Tab. 3 Velikostní skupiny obcí podle krajů, okresů - počet obcí*. [online] Praha : autor neznámý, 2017.
- [25] —. *Malý lexikon obcí České republiky - 2017; Tabulka Tab.4 Velikostní skupiny obcí podle krajů, okresů - počet obyvatel*. [online] Praha : autor neznámý, 2017.
- [26] ČEZ Distribuce, a.s. *SOUHRNNÁ ZPRÁVA O DOSAŽENÉ ÚROVNI KVALITY DISTRIBUCE ELEKTŘINY A SOUVISEJÍCÍCH SLUŽEB (za rok 2016) - Příloha č. 6 k vyhlášce č. 540/2005 Sb.* [online] 2017.
- [27] Provozovatelé distribučních soustav. *Pravidla provozování distribučních soustav*. [online] [http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2016/ppds\\_2016.pdf](http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2016/ppds_2016.pdf)] Děčín : autor neznámý, 2016.
- [28] Český statistický úřad. *Tab. 2.1 Indexy cen průmyslových výrobců podle CZ-CPA*. [online] [dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/ipc\\_cr](https://www.czso.cz/csu/czso/ipc_cr)] 2018.
- [29] Energetický regulační úřad. *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 6/2017. Energetický regulační úřad*. [Online] 24. 11 2017. [Citace: 12. 5 2018.] [https://www.eru.cz/documents/10540/2887244/ERV\\_8\\_2017.pdf/96b4e385-52f3-48ac-a446-fc588182b5cb](https://www.eru.cz/documents/10540/2887244/ERV_8_2017.pdf/96b4e385-52f3-48ac-a446-fc588182b5cb).
- [30] Bureš, Jiří. *Hustota - kapaliny*. *conVERTER*. [Online] [Citace: 15. 5 2018.] <http://www.converter.cz/tabulky/hustota-kapalin.htm>.

# Přílohy

## Příloha č.1 – Obce podle počtu obyvatel v jednotlivých okresech

Údaje dle zdroje: [24]

Kraj	Okres	Počet obcí/měst/městysů v okrese podle počtu obyvatel									
		do 199	200-499	500-999	1000-1999	2000-4999	5000-9999	10000-19999	20000-49999	50000-99999	nad 100 000
Středočeský kraj	Benešov	36	37	21	12	5	1	2	-	-	-
	Beroun	13	27	27	11	4	2	1	-	-	-
	Kladno	18	33	25	12	9	1	1	-	1	-
	Kolín	12	32	25	14	4	1	-	1	-	-
	Kutná Hora	29	29	19	6	3	-	1	1	-	-
	Mělník	11	17	19	14	5	-	3	-	-	-
	Mladá Bol.	30	56	21	3	6	3	-	1	-	-
	Nymburk	11	35	27	8	2	1	3	-	-	-
	Praha východ	5	27	35	23	15	2	3	-	-	-
	Praha západ	2	14	21	22	14	6	-	-	-	-
	Příbram	27	53	21	10	6	2	-	1	-	-
Rakovník	34	21	18	8	-	1	1	-	-	-	
Plzeňský kraj	Domažlice	34	28	9	9	1	3	1	-	-	-
	Klatovy	34	25	19	11	2	1	1	1	-	-
	Plzeň město	1	2	5	4	1	1	-	-	-	1
	Plzeň jih	29	34	15	3	7	2	-	-	-	-
	Plzeň sever	32	28	18	8	11	1	-	-	-	-
	Rokycany	26	24	6	6	5	-	1	-	-	-
	Tachov	9	26	6	6	1	2	1	-	-	-
Karlovarský kraj	Cheb	7	15	5	5	4	1	2	1	-	-
	Karlovy Vary	7	15	21	4	6	1	1	1	-	-
	Sokolov	3	13	6	6	6	2	1	1	-	-
Ústecký kraj	Děčín	4	19	13	6	4	3	2	1	-	-
	Chomutov	7	15	10	7	1	-	3	1	-	-
	Litoměřice	16	45	23	11	6	2	1	1	-	-
	Louny	12	26	20	6	3	1	2	-	-	-
	Most	4	11	3	2	4	-	-	1	1	-
	Teplice	3	5	9	7	5	2	2	1	-	-
	Ústí nad Labem	2	5	7	3	5	-	-	-	1	-
Liberecký kraj	Česká Lípa	11	16	17	4	5	2	1	1	-	-
	Jablonec/Nisou	3	7	10	7	4	2	-	1	-	-
	Liberec	5	19	19	5	7	3	-	-	-	1
	Semily	10	21	17	12	1	3	1	-	-	-

Kraj	Okres	Počet obcí/měst/městysů v okrese podle počtu obyvatel									
		do 199	200-499	500-999	1000-1999	2000-4999	5000-9999	10000-19999	20000-49999	50000-99999	nad 100 000
Královeh. kraj	Hradec Králové	20	50	19	8	3	3	-	-	1	-
	Jičín	38	46	15	5	4	2	1	-	-	-
	Náchod	12	29	22	5	3	5	1	1	-	-
	Rychnov/Kněžnou	17	26	21	7	5	3	1	-	-	-
	Trutnov	14	20	22	9	6	1	2	1	-	-
Pardubický kraj	Chrudim	27	45	17	9	7	2	-	1	-	-
	Pardubice	24	50	15	13	7	2	-	-	1	-
	Svitavy	34	39	23	15	1	1	3	-	-	-
	Ústí nad Orlicí	23	38	35	8	4	4	3	-	-	-
Vysočina	Havlíčkův Brod	52	32	22	7	3	3	-	1	-	-
Olomoucký kraj	Jeseník	1	5	8	4	5	-	1	-	-	-
	Olomouc	8	24	23	28	11	1	2	-	-	1
	Přerov	18	45	25	11	2	2	1	1	-	-
	Šumperk	8	21	21	14	11	1	1	1	-	-
Zlínský kraj	Vsetín	-	8	21	14	14	1	1	2	-	-
Moravskosl. kraj	Bruntál	8	29	15	8	3	2	1	1	-	-
	Frýdek-Místek	-	11	17	22	17	3	-	1	1	-
	Karviná	-	-	-	3	5	4	-	3	2	-
	Nový Jičín	1	4	20	15	6	5	1	2	-	-
	Opava	4	12	20	26	10	3	1	-	1	-
	Ostrava-město	-	1	3	2	4	2	-	-	-	1
<b>Celkem</b>		<b>796</b>	<b>1 315</b>	<b>921</b>	<b>508</b>	<b>293</b>	<b>102</b>	<b>55</b>	<b>30</b>	<b>9</b>	<b>4</b>



## Příloha č.2 – Transformační výkon jednotlivých měst

Transformační výkon – města nad 100 000 obyvatel

Město	Počet obyvatel	Transformační výkon (kVA)
Ostrava	291 634	659 858
Olomouc	100 378	227 118
Liberec	103 853	234 980
Plzeň	170 548	385 886
<b>Suma</b>	<b>666 413</b>	<b>1 507 843</b>

Transformační výkon – města nad 50 000 obyvatel

Město	Počet obyvatel	Transformační výkon (kVA)
Kladno	68 660	155 352
Most	66 768	151 071
Ústí nad Labem	92 984	210 388
Hradec Králové	92 929	210 264
Pardubice	90 044	203 736
Frýdek Místek	56 719	128 334
Karviná	54 413	123 116
Havířov	73 274	165 792
Opava	57 387	129 845
<b>Suma</b>	<b>653 178</b>	<b>1 477 897</b>

## Příloha č.3 – Pokrytí obcí transformátory

	kategorie	do 199	200-499	500-999	1000-1999	2000-4999	5000-9999	10000-19999	20000-49999	50000-99999	nad 100 000
	trf. Výkon v obcích	237 892	1 000 807	1 484 475	1 631 930	1 920 191	1 618 992	1 869 666	1 996 448	1 477 897	1 507 843
	procenta z trf.výkonu celku	1,61%	6,79%	10,07%	11,07%	13,02%	10,98%	12,68%	13,54%	10,02%	10,23%
Transf. 50	procenta z kategorie	<b>4,00%</b>	<b>1,00%</b>	<b>0,75%</b>	<b>0,50%</b>	<b>0,50%</b>	<b>0,20%</b>	<b>0,19%</b>	<b>0,12%</b>	<b>0,10%</b>	<b>0,11%</b>
	kVA	9 516	10 008	11 134	8 160	9 601	3 238	3 480	2 317	1 478	1 669
	počet kusů trf	190	200	223	163	192	65	70	46	30	33
	zbývá trf	1 022	822	599	436	244	179	109	63	33	0
Transf. 100	procenta z kategorie	<b>31,33%</b>	<b>15,00%</b>	<b>9,00%</b>	<b>5,00%</b>	<b>3,00%</b>	<b>1,00%</b>	<b>0,80%</b>	<b>0,60%</b>	<b>0,40%</b>	<b>0,42%</b>
	kVA	74 535	150 121	133 603	81 596	57 606	16 190	14 957	11 979	5 912	6 402
	počet kusů trf	745	1501	1336	816	576	162	150	120	59	64
	zbývá trf	4 784	3 282	1 946	1 130	554	392	243	123	64	0
Transf. 160	procenta z kategorie	<b>59,67%</b>	<b>43,73%</b>	<b>30,00%</b>	<b>8,00%</b>	<b>3,00%</b>	<b>2,00%</b>	<b>1,00%</b>	<b>0,80%</b>	<b>0,60%</b>	<b>0,14%</b>
	kVA	141 947	437 677	445 342	130 554	57 606	32 380	18 696	15 972	8 867	2 158
	počet kusů trf	887	2735	2783	816	360	202	117	100	55	13
	zbývá trf	7 183	4 447	1 664	848	488	286	169	69	13	0
Transf. 250	procenta z kategorie	<b>5,00%</b>	<b>40,27%</b>	<b>50,00%</b>	<b>37,00%</b>	<b>31,09%</b>	<b>10,00%</b>	<b>5,88%</b>	<b>5,00%</b>	<b>3,00%</b>	<b>3,12%</b>
	kVA	11 895	403 000	742 237	603 814	596 971	161 899	109 959	99 822	44 337	47 066
	počet kusů trf	48	1 612	2 969	2 415	2 388	648	440	399	177	188
	zbývá trf	11 236	9 624	6 655	4 240	1 852	1 205	765	366	188	0

	kategorie	do 199	200-499	500-999	1000-1999	2000-4999	5000-9999	10000-19999	20000-49999	50000-99999	nad 100 000
Transf. 400	procenta z kategorie	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>10,25%</b>	<b>40,98%</b>	<b>50,40%</b>	<b>65,48%</b>	<b>67,85%</b>	<b>62,23%</b>	<b>42,65%</b>	<b>35,11%</b>
	kVA	0	0	152 160	668 807	967 724	1 060 192	1 268 570	1 242 468	630 322	529 365
	počet kusů trf	0	0	380	1 672	2 419	2 650	3 171	3 106	1 576	1 323
	zbývá trf	16 299	16 299	15 919	14 247	11 827	9 177	6 005	2 899	1 323	0
Transf. 630	procenta z kategorie	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>8,52%</b>	<b>11,51%</b>	<b>20,82%</b>	<b>23,28%</b>	<b>30,00%</b>	<b>52,00%</b>	<b>58,49%</b>
	kVA	0	0	0	139 000	221 084	337 000	435 308	598 934	768 508	882 006
	počet kusů trf	0	0	0	221	351	535	691	951	1 220	1 400
	zbývá trf	5 368	5 368	5 368	5 147	4 796	4 262	3 571	2 620	1 400	0
Transf. 1 000	procenta z kategorie	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,50%</b>	<b>0,50%</b>	<b>1,00%</b>	<b>1,25%</b>	<b>1,25%</b>	<b>2,60%</b>
	kVA	0	0	0	0	9 601	8 095	18 697	24 956	18 474	39 178
	počet kusů trf	0	0	0	0	10	8	19	25	18	39
	zbývá trf	119	119	119	119	109	101	83	58	39	0

## Příloha č.4 – Počet transformátorů v jednotlivých okresech

Kraj	Okres	celkem kusů daného druhu TRF							
		50	100	160	250	400	630	1000	celkem
Středočeský kraj	Benešov	29	142	211	233	225	40	1	<b>881</b>
	Beroun	22	113	181	224	186	32	1	<b>759</b>
	Kladno	30	139	205	289	381	168	3	<b>1 215</b>
	Kolín	23	120	189	238	223	49	1	<b>843</b>
	Kutná Hora	23	110	167	171	217	52	1	<b>741</b>
	Mělník	21	97	141	212	261	48	1	<b>781</b>
	Mladá Bol.	29	149	231	233	255	57	1	<b>955</b>
	Nymburk	23	116	189	212	245	47	1	<b>833</b>
	Praha východ	36	164	236	414	432	75	2	<b>1 359</b>
	Praha západ	28	121	163	344	350	57	1	<b>1 064</b>
	Příbram	30	152	233	255	251	55	1	<b>977</b>
	Rakovník	20	98	152	135	114	20	0	<b>539</b>
	Plzeňský kraj	Domažlice	21	100	146	141	173	32	1
Klatovy		25	117	175	188	250	58	1	<b>814</b>
Plzeň město		13	36	34	99	380	358	10	<b>930</b>
Plzeň jih		23	110	163	176	126	20	0	<b>618</b>
Plzeň sever		27	124	176	229	151	22	0	<b>729</b>
Rokycany		18	82	114	127	119	21	0	<b>481</b>
Tachov		13	64	99	107	136	26	1	<b>446</b>
Karlovarský kraj	Cheb	14	58	77	127	297	70	2	<b>645</b>
	Karlovy Vary	18	81	123	183	262	60	1	<b>728</b>
	Sokolov	14	58	76	148	288	66	2	<b>652</b>

Kraj	Okres	celkem kusů daného druhu TRF							
		50	100	160	250	400	630	1000	celkem
Ústecký kraj	Děčín	18	76	111	175	355	80	2	<b>817</b>
	Chomutov	15	63	92	128	310	74	2	<b>684</b>
	Litoměřice	28	140	215	264	311	68	2	<b>1 028</b>
	Louny	19	92	146	170	189	35	1	<b>652</b>
	Most	12	43	54	103	326	174	3	<b>715</b>
	Teplice	15	55	71	152	339	77	2	<b>711</b>
	Ústí nad Labem	11	39	51	107	230	142	2	<b>582</b>
Liberecký kraj	Česká Lípa	18	79	118	170	278	63	2	<b>728</b>
	Jablonec/Nisou	12	52	73	134	221	51	1	<b>544</b>
	Liberec	25	97	128	233	490	376	10	<b>1 359</b>
	Semily	17	86	135	171	186	33	1	<b>629</b>
Královéh. kraj	Hradec Králové	27	134	210	226	310	156	2	<b>1 065</b>
	Jičín	26	131	199	182	162	29	1	<b>730</b>
	Náchod	22	105	166	208	343	76	2	<b>922</b>
	Rychnov/Kněžnou	22	104	161	201	205	36	1	<b>730</b>
	Trutnov	23	105	155	223	334	74	2	<b>916</b>
Pardubický kraj	Chrudim	28	137	204	237	255	56	1	<b>918</b>
	Pardubice	30	146	215	264	333	159	2	<b>1 149</b>
	Svitavy	29	145	221	229	257	49	1	<b>931</b>
	Ústí nad Orlicí	31	150	240	278	342	65	1	<b>1 107</b>
Vysočina	Havlíčkův Brod	30	142	213	203	243	55	1	<b>887</b>
Olomoucký kraj	Jeseník	9	37	51	100	114	20	0	<b>331</b>
	Olomouc	39	158	201	394	658	405	11	<b>1 866</b>
	Přerov	26	136	218	236	278	63	1	<b>958</b>
	Šumperk	26	115	161	279	336	70	2	<b>989</b>
Zlínský kraj	Vsetín	25	103	134	303	471	107	3	<b>1 146</b>

Kraj	Okres	celkem kusů daného druhu TRF							
		50	100	160	250	400	630	1000	celkem
Moravskosl. kraj	Bruntál	19	91	140	180	273	63	1	<b>767</b>
	Frýdek-Místek	31	122	151	370	582	213	4	<b>1 473</b>
	Karviná	18	47	43	171	832	396	7	<b>1 514</b>
	Nový Jičín	22	89	123	258	508	118	3	<b>1 121</b>
	Opava	29	122	163	334	482	185	3	<b>1 318</b>
	Ostrava-město	14	36	27	114	423	366	10	<b>990</b>
<b>Celkem</b>		<b>1 216</b>	<b>5 528</b>	<b>8 071</b>	<b>11 282</b>	<b>16 298</b>	<b>5 367</b>	<b>119</b>	<b>47 881</b>

## Příloha č.5 – Rozdělení okresů do územních celků

Morava	Olomouc
	Přerov
	Šumperk
	Jeseník
	Bruntál
	Opava
	Nový Jičín
	Ostrava-město
	Karviná
	Frýdek-Místek
	Vsetín
	Děčín
Sever	Chomutov
	Litoměřice
	Louny
	Most
	Teplice
	Ústí nad Labem
	Česká Lípa
	Jablonec nad Nisou
	Liberec
	Hradec Králové
	Jičín
Východ	Náchod
	Rychnov nad Kněžnou
	Trutnov
	Chrudim
	Pardubice
	Svitavy
	Ústí nad Orlicí
	Havlíčkův Brod
	Semily
	Benešov
	Beroun
Střed	Kladno
	Kolín
	Kutná Hora
	Mělník
	Mladá Boleslav
	Nymburk
	Praha-východ
	Praha-západ
	Příbram

	Rakovník
Západ	Domažlice
	Klatovy
	Plzeň-jih
	Plzeň-město
	Plzeň-sever
	Rokycany
	Tachov
	Cheb
	Sokolov
	Karlovy Vary



## Příloha č.6 – Počty transformátorů přispívajících k SAIDI/SAIFI

Příslušnost k územnímu celku	Kraj	Okres	celkem kusů daného druhu TRF přispívajícího k SAIDI/SAIFI (zaokrouhleno)						
			50	100	160	250	400	630	1000
Střed	Středočeský kraj	Benešov	29	142	211	233	225	40	1
		Beroun	22	113	181	224	186	32	1
		Kladno	30	137	203	284	345	141	2
		Kolín	23	118	187	232	179	36	1
		Kutná Hora	22	108	166	166	173	38	1
		Mělník	21	97	141	212	261	48	1
		Mladá Bol.	29	147	230	228	211	44	1
		Nymburk	23	116	189	212	245	47	1
		Praha východ	36	164	236	414	432	75	2
		Praha západ	28	121	163	344	350	57	1
		Příbram	29	150	231	250	208	42	1
		Rakovník	20	98	152	135	114	20	0
Západ	Plzeňský kraj	Domažlice	21	100	146	141	173	32	1
		Klatovy	24	115	173	183	206	44	1
		Plzeň město	11	33	33	89	313	288	8
		Plzeň jih	23	110	163	176	126	20	0
		Plzeň sever	27	124	176	229	151	22	0
		Rokycany	18	82	114	127	119	21	0
		Tachov	13	64	99	107	136	26	1
	Karlovarský kraj	Cheb	13	56	75	122	254	56	1
		Karlovy Vary	17	79	122	177	219	46	1
		Sokolov	14	56	74	143	244	52	1
Sever	Ústecký kraj	Děčín	17	74	110	170	311	67	2
		Chomutov	14	62	90	122	267	61	2
		Litoměřice	27	138	213	258	267	54	1
		Louny	19	92	146	170	189	35	1
		Most	10	40	51	93	247	133	2
		Teplice	14	54	70	147	296	63	2
		Ústí nad Labem	10	38	50	103	195	115	2
	Liberecký kraj	Česká Lípa	17	78	117	164	234	50	1
		Jablonec/Nisou	11	50	71	128	177	38	1
		Liberec	24	94	127	223	424	306	8
Východ	Královeh. kraj	Semily	17	86	135	171	186	33	1
		Hradec Králové	26	132	209	221	275	130	2
		Jičín	26	131	199	182	162	29	1
		Náchod	22	103	164	203	299	63	1
		Rychnov/Kněžnou	22	104	161	201	205	36	1
		Trutnov	23	103	154	218	290	60	1

Kraj	Okres	celkem kusů daného druhu TRF přispívajícího k SAIDI/SAIFI (zaokrouhleno)							
		50	100	160	250	400	630	1000	
Pardubický kraj	Chrudim	27	135	203	231	211	43	1	
	Pardubice	30	145	214	259	298	132	2	
	Svitavy	29	145	221	229	257	49	1	
	Ústí nad Orlicí	31	150	240	278	342	65	1	
Vysočina	Havlíčkův Brod	29	141	212	197	199	42	1	
Morava	Olomoucký kraj	Jeseník	9	37	51	100	114	20	0
		Olomouc	37	154	200	385	592	335	9
		Přerov	25	134	216	231	234	49	1
		Šumperk	25	113	160	273	293	57	1
	Zlínský kraj	Vsetín	24	99	131	292	384	80	2
	Moravskosl. kraj	Bruntál	18	90	139	174	229	49	1
		Frýdek-Místek	30	119	148	360	503	173	3
		Karviná	15	39	36	145	631	303	5
		Nový Jičín	21	86	120	247	421	91	2
		Opava	28	120	162	330	447	158	3
Ostrava-město	12	33	26	105	357	296	8		

## Příloha č.7 - Seznam zkratk a symbolů

PHS = pumped-storage hydroelectricity.....	přečerpávací vodní elektrárna
CAES = Compressed Air Energy Storage.....	akumulace stlačeného vzduchu
LAES = Liquid Air Energy Storage.....	akumulace kapalného vzduchu
SNG = synthetic natural gas.....	syntetický zemní plyn
FES = flywheel storage.....	uchovávání energie v setrvačnicku
LCOS = levelized costs.....	sružená cena energie
ES.....	elektrizační soustava
PPS.....	provozovatel přenosové soustavy
PS.....	přenosová soustava
PDS.....	provozovatel distribuční soustavy
DS.....	distribuční soustava
ERÚ.....	Energetický regulační úřad

## Příloha č.8 - Seznam obrázků

Obrázek 1 - PHS schéma .....	17
Obrázek 2 - CAES schéma .....	19
Obrázek 3 - LAES schéma .....	22
Obrázek 4 - Setrvačnick schéma .....	24
Obrázek 5 - Li-ion schéma .....	26
Obrázek 6 - Olověné akumulátory schéma .....	28
Obrázek 7 - NaS baterie schéma .....	29
Obrázek 8 - Průtoková baterie schéma .....	31
Obrázek 9 - Akumulace do vodíku schéma .....	32
Obrázek 10 - Akumulace do SNG schéma .....	34
Obrázek 11 - Superkapacitor schéma.....	35
Obrázek 12 - Motivační regulace spolehlivosti elektrické energie.....	46
Obrázek 13 - Území ČEZ Distribuce .....	51

## Příloha č.9 - Seznam grafů

Graf 1 - Porovnání z hlediska kapacity a vybíjecího času .....	40
Graf 2 - Investiční náklady .....	41
Graf 3 - Levelized cost .....	42
Graf 4 - Porovnání užítivosti.....	43
Graf 5 - Motivační regulace ERÚ - požadované hodnoty SAIFI .....	68
Graf 6 - Motivační regulace ERÚ - požadované hodnoty SAIDI.....	69
Graf 7 - SAIFI nn (plánované odstávky) 2013-2016.....	69
Graf 8 – SAIDI nn (plánované odstávky) 2013-2016.....	70
Graf 9 - SAIFI hodnocený ERÚ .....	71
Graf 10 - SAIDI hodnocený ERÚ.....	71
Graf 11 - Rozdíl klouzavého průměru z let 2016,2017 a požadované hodnoty v daném roce (SAIFI)..	72
Graf 12 – Rozdíl klouzavého průměru z let 2016,2017 a požadované hodnoty v daném roce (SAIDI).	73
Graf 13 - Maximální možnost snížit ukazatel SAIFI pomocí eliminace plánovaných odstávek .....	74
Graf 14 - Maximální možnost snížit ukazatel SAIDI pomocí eliminace plánovaných odstávek .....	75
Graf 15 - Graf motivační regulace 2016 - SAIFI .....	76
Graf 16 - Graf motivační regulace 2016 - SAIDI.....	76

Graf 17 - Ocenění změny ukazatele SAIFI o 0,001.....	77
Graf 18 - Ocenění změny ukazatele SAIDI o 0,001.....	78
Graf 19 - Hotovostní toky nulové varianty .....	88
Graf 20 - Optimalizace návrhu - varianta č.1.....	89
Graf 21 - Optimalizace návrhu - varianta č.2.....	90

## Příloha č.10 - Seznam tabulek

Tabulka 1 - Základní technické parametry - PHS.....	18
Tabulka 2 - Základní technické parametry - CAES.....	21
Tabulka 3 - Základní technické parametry - LAES.....	23
Tabulka 4 - Základní technické parametry - setrvačníky .....	25
Tabulka 5 - Základní technické parametry – Li-ion akumulátory .....	27
Tabulka 6 - Základní technické parametry – olověné akumulátory .....	29
Tabulka 7 - Základní technické parametry – sodíkové akumulátory.....	30
Tabulka 8 - Základní technické parametry – regenerativní baterie .....	32
Tabulka 9 - Základní technické parametry – akumulace do vodíku .....	33
Tabulka 10 - Základní technické parametry – akumulace do syntetického zemního plynu (SNG) .....	35
Tabulka 11 - Základní technické parametry – superkapacitory .....	36
Tabulka 12 - Srovnání základních technických parametrů jednotlivých systémů .....	38
Tabulka 13 – Instalované výkony distribučních transformátorů.....	52
Tabulka 14 - Počet obcí podle počtu obyvatel .....	53
Tabulka 15 – Instalovaný transformační výkon v největších městech .....	54
Tabulka 16 - Průměrný počet obyvatel obce dané kategorie .....	54
Tabulka 17 - Procentuální pokrytí jednotlivých kategorií obcí.....	55
Tabulka 18 - Rozdíl skutečného počtu TRF a počtu dle modelu.....	56
Tabulka 19 - Počet odběrných míst na jeden transformátor .....	57
Tabulka 20 - Příspěvek jedné odstávky DTR k celkové hodnotě SAIFI na hladině NN (hladinovému ukazateli SAIFI) .....	58
Tabulka 21 - Hodnota ukazatelů SAIFI ČEZ Distribuce 2016.....	59
Tabulka 22 - Počet plánovaných odstávek DTR.....	60
Tabulka 23 - Hodnota ukazatelů SAIDI ČEZ Distribuce 2016.....	60
Tabulka 24 - Příspěvek jedné plánované odstávky DTR k celkové hodnotě SAIDI na hladině NN (hladinovému ukazateli SAIDI) .....	61

Tabulka 25 - Počet neplánovaných odstávek DTR.....	62
Tabulka 26 - Příspěvek jedné neplánované odstávky DTR k celkové hodnotě SAIDI na hladině NN (hladinovému ukazateli SAIDI) .....	63
Tabulka 27 - Příspěvky k hladinovým (nn) ukazatelům SAIDI, SAIFI.....	63
Tabulka 28 – Příspěvky k systémovým ukazatelům SAIDI, SAIFI .....	64
Tabulka 29 - Dimenzování výkonů a kapacit akumulčních systémů.....	66
Tabulka 30 - Dimenzování výkonů dieselagregátů.....	67
Tabulka 31 - Aktuálně požadované hodnoty SAIDI/SAIFI.....	68
Tabulka 32 - Čistý zisk ČEZ Distribuce v letech 2013-2016.....	77
Tabulka 33 - Hmotnost kontejnerů .....	79
Tabulka 34 – Investiční výdaje.....	79
Tabulka 35 - Investiční výdaje vynásobené anuitou.....	79
Tabulka 36 – Roční provozní výdaje .....	82
Tabulka 37 - Příjmy za distribuční poplatky.....	82
Tabulka 38 – Příjmy a výdaje jednoho akumulčního systému .....	83
Tabulka 39 – Investiční výdaje.....	84
Tabulka 40 - Investiční výdaje vynásobené anuitou.....	85
Tabulka 41 – Roční provozní výdaje .....	85
Tabulka 42 – Výdaje a příjmy jednoho systému s dieselagregátem .....	86
Tabulka 43 – Schopnost systému snížit systémové ukazatele + poměr (výnosy-náklady)/přínos.....	87

## Příloha č.11 - Seznam vzorců

Vzorec 1 – teoretický výkon PHS.....	18
Vzorec 2 – energie uchovávána v PHS.....	18
Vzorec 3 – energie ve stlačeném vzduchu.....	20
Vzorec 4 – využitelná energie ve stlačeném vzduchu.....	20
Vzorec 5 – energie vázaná v setrvačnicku.....	24
Vzorec 6 – chemická reakce uvnitř LI-ion článku.....	27
Vzorec 7 – chemická reakce uvnitř NaS článku.....	30
Vzorec 8 – vybíjecí chemická reakce průtokové baterie – redukce.....	31
Vzorec 9 - vybíjecí chemická reakce průtokové baterie – oxidace.....	31
Vzorec 10 – nabíjecí chemická reakce průtokové baterie – oxidace.....	31

Vzorec 11 – nabíjecí chemická reakce průtokové baterie – redukce.....	31
Vzorec 12 – LCOS.....	42
Vzorec 13 – SAIFI.....	45
Vzorec 14 – SAIDI.....	45
Vzorec 15 – CAIDI.....	45
Vzorec 16 – měrný transformační výkon na obyvatele.....	53
Vzorec 17 – průměrný počet obyvatel na jedno odběrné místo.....	56
Vzorec 18 – měrný instalovaný transformační výkon na odběrné místo.....	56
Vzorec 19 – počet odběrných míst na jeden distribuční transformátor.....	57
Vzorec 20 – počet transformátorů plánovaně odstavených za jeden rok .....	59
Vzorec 21 – počet zasažených zákazníků odstávkami na nn během jednoho roku.....	61
Vzorec 22 – zavedení předpokladu o činném výkonu transformátoru.....	65
Vzorec 23 – potřebný výkon baterie.....	65
Vzorec 24 – potřebná energie dodaná baterií během jedné plánované odstávky.....	65
Vzorec 25 – výpočet systémového ukazatele z hladinových.....	70
Vzorec 26 – výpočet hladinového ukazatele (nn) z příspěvků na hladině nn.....	70
Vzorec 27 – výpočet hladinového ukazatele (vn) z příspěvků na hladině vn.....	70
Vzorec 28 – výpočet hladinového ukazatele (vn) z příspěvků na hladině vvn.....	70
Vzorec 29 – energie odebraná ze sítě pro dobití systému.....	81
Vzorec 30 – roční náklady na dobíjení.....	81
Vzorec 31 – NPV projektu – Varianta č.1 (dieselagregát).....	89
Vzorec 32 – NPV projektu – Varianta č.2 (akumulační technologie).....	90