



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

RIZIKA A DOPADY BLACK-OUTU V ČR

RISKS AND IMPACTS OF BLACK-OUT IN CZECH REPUBLIC

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kateřina Tomášková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Lisý, Ph.D.

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Studentka: **Kateřina Tomášková**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Martin Lisý, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Rizika a dopady black-outu v ČR

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je provést rešerši tématiky black-outu, zpracovat možná rizika pro přenosovou síť České republiky, vliv OZE na stabilitu sítě, problémy České republiky s přetoky energie ze sousedních zemí.

Cíle bakalářské práce:

Definovat rizika black-outu pro Českou republiku.
Zpracovat rešerši možných dopadů black-outu pro Českou republiku.
Zpracovat rešerši zahraničních zkušeností s black-outem.

Seznam doporučené literatury:

Quaschnig Volker: Obnovitelné zdroje energií. Praha, Grada 2010, ISBN: 978-80-247-3250-3
HONIŠ, René. Přenosová soustava České republiky. [Ostrava: Moravskoslezský energetický klastr, 2013?]. ISBN 978-80-905392-3-5
KUBÍN, Miroslav. Proměny české energetiky: historie, osobnosti, vědecko-technický rozvoj. Praha: Český svaz zaměstnavatelů v energetice, c2009. ISBN 978-80-254-4524-2. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:326ff3a0-ffa2-11e4-9d6f-005056827e51>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Elektrická energie je nedílnou součástí našeho každodenního života. Už menší problém v elektrizační soustavě a malý výpadek proudu nám dokáže způsobit značné nepříjemnosti, natož pak výpadek rozsáhlejší. Cílem této bakalářské práce je definovat rizika black-outu pro Českou republiku, dále provést rešerši zahraničních zkušeností s black-outem a na základě těchto zkušeností nastínit možné dopady pro ČR, v případě, že by i u nás tato situace jednou nastala.

Klíčová slova

Black-out, přenosová soustava, ČEPS, elektrická energie, obnovitelné zdroje, napětí, proud, výkon, Česká republika

ABSTRACT

Electricity is an integral part of our daily life. Only a small problem in the power system and a small current outflow can cause us a lot of inconvenience, let alone a wider outflow of electricity. The aim of this thesis is to define the risks of black-out for the Czech republic. Then perform resers of foreign experience with the black-out and on the base of these experiances, outline the possible impacts for the Czech republic, in case that this situation would occur once in our country.

Key words

Black-out, transmission systém of elektricity, ČEPS, electrical energy, renewable sources, voltage, current, power, Czech republic

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TOMÁŠKOVÁ, Kateřina. *Rizika a dopady black-outu v ČR*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117136>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Martin Lisý.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Rizika a dopady black-outu pro ČR** vypracovala samostatně pod vedením vedoucího práce Ing. Martina Lisého, Ph.D. s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 22.5. 2019

Kateřina Tomášková

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Martinu Lisému, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce. Dále bych chtěla poděkovat všem svým blízkým za pomoc a podporu při studiu.

OBSAH

ÚVOD.....	13
1 STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA DANÉ PROBLEMATIKY.....	15
1.1 Přenosová soustava ČR.....	15
1.1.1 ČEPS	16
1.2 Regulace PS	16
1.2.1 Ostrovní provoz.....	17
2 RIZIKA A PŘÍČINY BLACK-OUTU	18
3 ZKUŠENOSTI ZE ZAHRANIČÍ.....	20
3.1 Když vypadne proud	20
3.2 Rešerše vybraných největších black-outů.....	20
4 BLACKOUT A ČESKÁ REPUBLIKA	24
4.1 Přetoky elektřiny z Německa	24
4.1.1 Energiewende	25
4.1.2 Ochrana ČR proti přetokům	26
4.2 Další rizikové situace	27
4.2.1 24. červenec 2006 - soustava na pokraji black-outu	27
4.2.2 Orkány Kyriril a Emma.....	28
4.3 Stavby a opatření.....	29
4.3.1 Popis stavů přenosové soustavy	29
4.3.2 Obranný plán	29
4.4 Plán obnovy	30
4.4.1 Obnova napětí ze sousedních PS.....	30
4.4.2 Obnova pomocí vodních elektráren	31
4.5 Cvičení black-out 2018.....	32
4.6 Obnova elektrického vedení	32
5 Dopady black-outu na spotřebitele a ekonomiku	33
5.1 Ukázkový scénář dopadů black-outu v průběhu času.....	33
5.2 Odhad ekonomických dopadů pro ČR.....	34
5.3 Další reálné dopady black-outu	34
ZÁVĚR.....	37
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	39
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	43
SEZNAM OBRÁZKŮ	44
SEZNAM TABULEK	45

ÚVOD

„Hrozba moderní společnosti“, i takto by se dalo charakterizovat téma black-outu. Ačkoliv většina lidí si tuto situaci spojenou s black-outem pravděpodobně nedokáže představit nebo dokonce s tímto tématem ještě ani nepřišla do styku, je to téma aktuální. Otázkou není, jestli k black-outu v ČR dojde, ale spíše kdy k němu dojde.

Česká republika má velice kvalitní elektrizační soustavu, a přestože v minulosti k žádnému většímu výpadku nedošlo, neznamená to, že je neprolomitelná. Elektřinu zatím není možno žádným způsobem ve větší míře skladovat, tudíž je žádoucí výroba elektřiny takového množství, které je v danou chvíli požadováno spotřebiteli. Udržovat tuto rovnováhu není vždy snadné, neboť je zde mnoho faktorů, které ji narušují. Jedním z nich jsou třeba větrné elektrárny na severu Německa. Větrné elektrárny jsou zdrojem nestálým, z hlediska výroby elektrické energie, a mají jistým způsobem vliv i na stálost naší přenosové soustavy.

Na rozdíl od České republiky, se některé státy v zahraničí s black-outem již setkaly. Dokonce i pár evropských zemí si vyzkoušelo bez elektřiny fungovat. Na základě těchto zkušeností ze zahraničí můžeme naši soustavu chránit, vylepšovat a jistým způsobem se připravovat na budoucí výpadek.

V této práci je popsáno jakými příčinami by mohlo k rozpadu přenosové soustavy dojít, jakým způsobem je možné soustavu regulovat a jak naše přenosová soustava vlastně vypadá. Dále je zde zmíněn problém s přetoky elektřiny z Německa a řešerše black-outů ze zahraničí. Z pohledu soustavy se zabývá především plánem obnovy sítě po výpadku proudu. Z pohledu spotřebitele je zde nastíněn průběh a rozsah dopadů související s délkou trvání výpadku, dopady zdravotní, ekologické, ekonomické, mezistátní aj.

1 STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA DANÉ PROBLEMATIKY

Black-out je označení pro rozsáhlý výpadek dodávky elektřiny. Rozsáhlým rozumíme výpadek proudu v řádu desítek hodin až dní na velkém území, zasahujícím mnoho obyvatel. Dodávku elektřiny zajišťuje elektrizační soustava, která se skládá z přenosové soustavy a dále pak distribuční lokální soustavy, jež slouží k distribuci energie k odběratelům. Z hlediska black-outu nás bude více zajímat soustava přenosová, neboť při potížích v distribuční soustavě se většinou jedná o menší lokální výpadky, nikoli black-out. [1]



Obrázek 1: Schéma elektrizační soustavy [3]

1.1 Přenosová soustava ČR

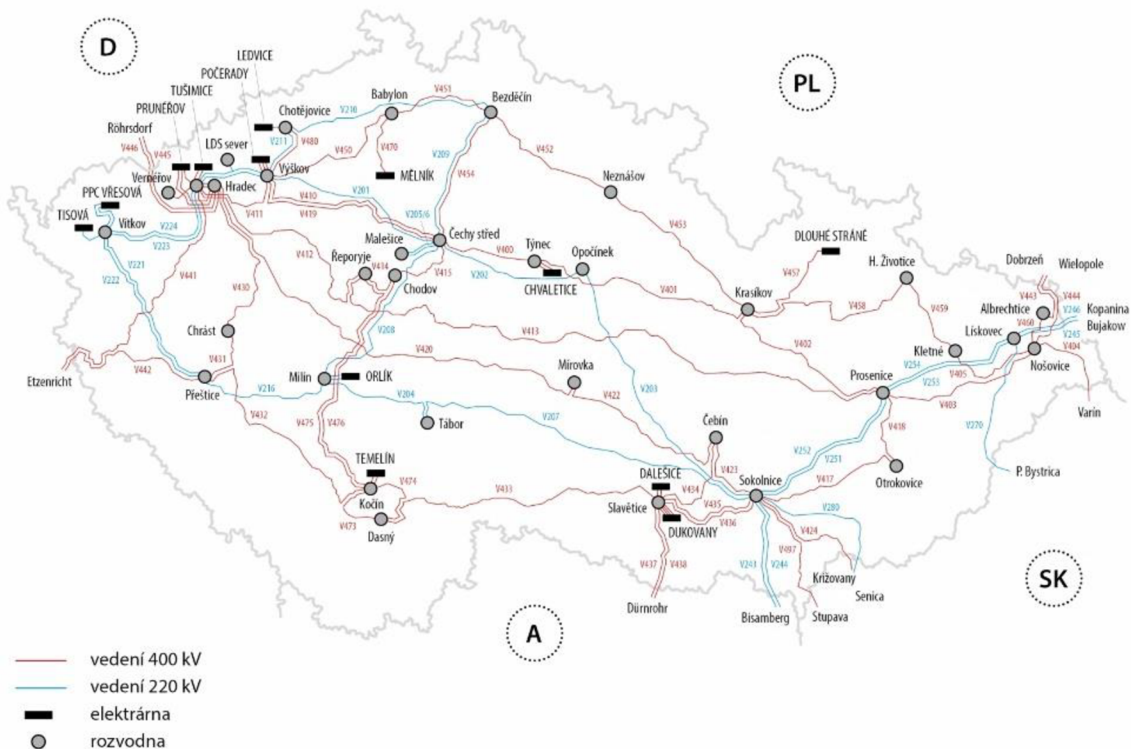
Na rozdíl od distribuční soustavy jsou v přenosové všechny vedení a transformátory dané soustavy vzájemně propojeny a tvoří tak obrovskou pavučinu, která přenáší napětí na velké vzdálenosti po celé České republice. Všechny prvky soustavy jsou tak na sobě závislé, a jakmile dojde k nějakému poškození či výpadku jistého vedení/transformátoru, převezmou za něj funkci prvky zbylé. To pak může vést k dalším problémům s přetížením atd. Naše přenosová soustava je jen malou částí obrovské sítě kontinentální Evropy. S okolními státy naši zemi spojuje celkem 17 hraničních vedení. Pět vedení na hranicích se Slovenskem a se zbylými státy dále vždy po 4 vedeních. Záležitost black-outu, který reálně může nastat, tudíž nemusí být čistě záležitostí na území jednoho státu. Mohl by nastat dokonce v mezinárodním rozměru.

Přenosová soustava ČR je postavena především na vedení o 400 a 220 kV. Můžeme je rozdělit na vedení blokové, to slouží k připojení elektrárenských bloků k soustavě a vedení přenosové. Přenosové vedení je spojeno vždy 2 rozvodnami, na každém konci vedení se nachází právě jedna, až na vedení mezi Hradcem a Vyškovem. Rozvodny tvoří tzv. uzly soustavy, 26 na hladině 400 kV, 14 na 220 kV a také jedna s hladinou 110 kV. Rozvodny se

nacházejí v elektrických stanicích, kterých je u nás celkem 33. Přenosová soustava na území České republiky je spravována společností ČEPS. [2]

1.1.1 ČEPS

ČEPS je akciová společnost, která působí v České republice od roku 1998. Stará se o hladký chod a také rozvoj elektroenergetické přenosové soustavy v ČR i v rámci propojení s přenosovými soustavami okolních států. Zajišťuje přenos elektřiny mezi výrobou a distribucí, dále rovnováhu mezi danou výrobou a spotřebou. S činností souvisí přenosy pro export, import a tranzit elektrické energie. Má na starost údržbu, rozvoj a obnovu 42 rozvodnů a 75 transformátorů. Na našem území je celkem 3 724 km vedení o napětí 400 kV a 1 909 km s hladinou 220 kV. [3]



Obrázek 2: Schéma sítě 400 kV a 220 kV [3]

1.2 Regulace PS

Přenosová soustava je velmi pečlivě sledována a kontrolována. Energetický regulační ústav zaznamenává všechny možné pohyby PS. Zaznamenává množství výroby/spotřeby v jednotlivých krajích, výrobu jednotlivých zdrojů, výchylky, maxima/minima zatížení,

instalovaný výkon, přeshraniční toky. Například v sekci Statistika a sledování kvality jsou dispozici zprávy o provozu elektrizační soustavy ČR za jednotlivá čtvrtletí či roky. Kromě elektřiny ERÚ spravuje také plyn, teplo a POZE.¹ [4]

Je důležité udržovat rovnováhu mezi výrobou a spotřebou. Tu však v poslední době narušuje velké množství obnovitelných zdrojů, které není tak snadné regulovat, neboť výroba těchto zdrojů závisí na klimatických podmínkách atd.

Je vypracována řada postupů a návodů, jak postupovat v krizových situacích, při různých poruchách či výpadcích. Se spolehlivostí provozu souvisí dané pravidlo tzv. kritérium N-1. To znamená, že provoz a rozvoj soustavy dokážeme udržet pod kontrolou v případě výpadku jednoho prvku soustavy. Pro tento stav je provoz plánován a kontrolován. Nesmí však dojít k výpadku dalšího prvku. Pouze v případě vyvedení jaderných elektráren, lze podléhat kritériu N-2. [6], [9]

Při potížích je možné síť PS rozpojit na více menších celků. Přejdeme na tzv. ostrovní provoz, aby se PS udržela v provozu a nedošlo k výpadku. Po ustálení se jednotlivé ostrovy opět spojí v jeden celek a vznikne znovu jedna PS na sobě závislá.

1.2.1 Ostrovní provoz

Ostrovním provozem lze předejít nebo také případně zmírnit následky black-outu. V tomto případě je dané území či objekt nezávislý na chodu zbylé elektrizační soustavy. Na území, kde chceme vytvořit ostrov, by měl být nějaký místní zdroj elektřiny, záložní zdroj nebo akumulátor. Příkladem mohou být třeba různá elektrická zařízení, jež fungují, aniž by byly napojeny k síti. Například v automobilech, lodích, vlacích, ale i spoustu dalších. Objekty jako jsou nemocnice a jiné instituce či podniky citlivé na výpadek elektřiny, které jsou vybaveny zmíněnými záložními zdroji. Tyto záložní zdroje jsou však pouze dočasné a jejich provoz je časově omezen, po určité době je třeba se znovu připojit k elektrizační soustavě. Také některé elektrárny či teplárny mohou přejít do ostrovního provozu za účelem zásobování vlastní spotřeby v případě nebezpečí.

Další možností ostrovního provozu jsou třeba solární elektrárny, jež lze využít například na odlehlých místech, kde by bylo složité připojení k síti kvůli dostupnosti. Solární elektrárny však s sebou nesou řadu nevýhod, pokud má být objekt odkázán pouze na ně. Problém nestálé výroby a spotřeby z hlediska intenzity slunečního svitu ve dne/noci či rozdíly zima/léto. [7]

¹ POZE jsou podporované zdroje energie dle zákona č. 165/2012 Sb., jedná se především o obnovitelné zdroje energie – biomasy a bioplynu, sluneční, větrná, vodní energie atd., dále druhotné zdroje, vysokoučinná kombinovaná výroba elektřiny a tepla, biometan atd. [5]

2 RIZIKA A PŘÍČINY BLACK-OUTU

Existuje celá řada příčin, které by mohly vést k black-outu. Vzhledem k velmi kvalitně propracovanému bezpečnostnímu opatření elektrizační soustavy, je nejpravděpodobnější příčinou sled více událostí najednou či události na sebe navazující.

- Přírodní vlivy

Počasi často komplikuje provoz PS. Problémy mohou přicházet s dlouhotrvajícím sněžením, neustupujícími mrazy či větrnou smrští. Můžeme zde zařadit tzv. DOMINO EFEKT, kaskádovité šíření poruchy. Větrná smršť způsobí pády stromů, jež mohou porušit vedení či samotný pád stožáru, příčinou silného větru. Tím se odpojí dodávka energie koncovým odběratelům, vznik nerovnováhy, automatické bezpečnostní odpojování některých nezátížených zdrojů, rozpad PS. Je třeba se připravovat také na zatmění slunce, při kterém dojde v jeden okamžik k obrovskému poklesu výroby fotovoltaických elektráren, a následně se výroba zase rychle zvýší. [1], [8]

- Teroristický útok

Také jednou z dost možných příčin black-outu v dnešní době by mohl být teroristický útok. Jsou dvě možnosti útoku. První z nich je přímý útok na PS, cíleným ničením jejích součástí (např. destrukce trafostanic), kde by následnými poruchami mohlo dojít k black-outu.

V dnešní době máme k dispozici přístup k mnoha informacím pomocí internetu, kde se dá spousta věcí ohledně naší PS zjistit. Jak už přímo ze stránek ČEPS nebo třeba z map, se dá vyčíst přesné rozmístění jednotlivých prvků soustavy. To činí naši soustavu zranitelnou.

Pro takový teroristický útok je také rozhodující načasování. Provedení útoku na PS během již probíhající krizové situace v PS nebo při určitých výkyvech v soustavě, by samotný útok mohl mít větší efektivitu a následky by byly mnohem většího rozsahu.

Důležitá je také volba cíle. Pokud si útočník za cíl, během již probíhající kriz. situace, zvolí prvky potřebné k obnově vlastní spotřeby elektráren, která je po výpadku na prvním místě, bude obnova opět mnohem složitější.

Druhou možností je pak útok kybernetický – prostřednictvím informačních sítí. Tímto oborem se zabývá Cybersecurity (počítačová bezpečnost). Počítače by měly být dostatečně zabezpečeny, ale opět je zde ta možnost, že by se někomu toto zabezpečení mohlo podařit prolomit, nabourat se tak do počítačových systémů elektráren či rozveden, a následně s nimi neoprávněně manipulovat. Kybernetickou bezpečnost v ČR má na starost především Národní bezpečnostní úřad, jehož součástí je Národní centrum kybernetické bezpečnosti se sídlem v Brně. Hlavním dokumentem v této oblasti je Národní strategie kybernetické bezpečnosti na období let 2015-2020. [1], [8], [9]

- Technické poruchy

Poruchy jak v místech produkce energie, tak přímo v PS, kombinací více poruch. Například závady na zastaralých částech ES, požár transformátoru a další. [1], [8]

- Nerovnováha výroby a spotřeby elektrické energie

Další příčinou by mohla být nerovnováha mezi výrobou a spotřebou neboli okamžitou poptávkou spotřebitele. Tuto nerovnováhu můžou způsobit různé události. Jednou z nich

může být zvýšená poptávka během náhlé změny počasí, např. mrazy – je nutno více vytápět, vedra – náhlé zvýšení využívání klimatizace. Dále porucha v síti, nutno nahradit výkon nefunkční části a v neposlední řadě stále více rozmáhající se výroba pomocí obnovitelných zdrojů energie (OZE). V soustavě tak mohou vznikat různé výkonové deficity, jež je nutné odstranit, ať už například dočasným zapojením záložních zdrojů, zakoupením části dodávky od zahraničních partnerů aj. S OZE se také naopak dnes pojí i přetoky energie ze zahraničí, kde je problém přebytečnou energii vyrobenou těmito zdroji skladovat. Tudíž se přebytečná energie posílá přes PS okolních států dále do míst s případným deficitním problémem.

- Lidský faktor

Tomuto faktoru předchází vyškolený tým specialistů, kteří vědí jak postupovat v krizových situacích. Jsou také vypracovány bezpečnostní pravidla a návody pro řešení těchto situací. Však vždy se může stát, že člověk udělá chybu nebo špatně vyhodnotí situaci. V závěru má člověk vliv na všechny předešlé příčiny, ať už přímý nebo nepřímý. [1], [8]

3 ZKUŠENOSTI ZE ZAHRANIČÍ

V dnešní době je společnost prakticky závislá na dodávce elektřiny. Výpadek proudu pocítí ihned téměř každý, nacházejíc se v danou chvíli na daném místě výpadku, avšak v místě s větší koncentrací lidí bude dopad intenzivnější. Když se miliónové město ocitne bez proudu, může to mít katastrofické následky. V minulosti už jsme se ve světě s podobnými situacemi mohli potkat. Jak by taková situace mohla vypadat a co by s sebou přinesla?

3.1 Když vypadne proud

Pokud vypadne proud, přestanou fungovat semaforey, což způsobí zmatek a chaos. Ten může přejít v řadu dopravních nehod, hlavně ve městech, která jsou na těchto světelných signalizacích nejvíce závislá. Dále zde nebudou fungovat tramvaje, trolejbusy či vlaky na elektrifikovaných tratích. Budou vznikat kolony. Také letecký provoz by bylo nutno omezit. Jedinou možnou dopravou by zůstaly zmíněná auta či autobusy, které by byly schopny provozu do doby než by došly zásoby paliva. Tyto zásoby se v danou chvíli stávají také omezeny, neboť dostat zásoby z podzemí mnohdy opět vyžaduje nějaký zdroj napájení, to už se však týká dlouhodobějšího výpadku. Mnoho lidí by zůstalo uvíznuto ve výtazích panelových domů a jiných budov.

Nastal by omezený přístup k informacím z důvodu ztráty napájení, pevné počítače, internet atd. rázem mimo provoz. Notebooky, mobilní telefony se taky postupem času vybijí. Telefonní linky se stanou přetíženými a navázat kontakt s blízkými bude obtížné.

Mnoho lidí není schopno vykonávat své povolání. Restaurace, obchody jsou uzavřeny, omezená dodávka potravin a zásobování. Také školy a jiné instituce nejsou schopny provozu. Banky, elektronické platby či výběry z bankomatů nejsou možné, tudíž člověk je odkázán pouze na hotovost, kterou u sebe má. Veškeré bezpečnostní elektronické zabezpečení budov je mimo provoz.

Složky integrovaného záchranného systému jsou omezeny a degradovány. Delší dojezdové časy k jednotlivým případům, tísňové linky jsou přetížené. Zdravotní péče je omezena, výkon pouze neodkladných zákroků a operací.

Hygienické problémy, problémy s vytápěním a tím spojen i ohřev vody. Dochází dodávka pitné vody.

Nefunkčnost veřejného osvětlení, tma v bytech či domech. Lidé jsou nuceni používat alternativní zdroje světla, čímž mohou být svíčky, oheň a to zvyšuje riziko požárů.

Zemědělství, velkochovy, mnoho dalších by strádalo. Ani si neuvědomujeme, kde všude je elektřina využívána. [1], [14]

3.2 Rešerše vybraných největších black-outů

Neexistuje přesně daná statistika závažnosti výpadků elektřiny, každý zdroj posuzuje závažnost black-outu jinak a seznamy se tak liší. Na závažnost black-outu můžeme pohlížet například podle počtu zasažených osob, doby trvání výpadku či velikosti zasažené oblasti atd. Následující příklady patří mezi nejzmiňovanější události.

Auckland, Nový Zéland – nejdéletrvající výpadek

Auckland se s výpadky v minulosti potýkal již vícekrát. Problémy se sítí v roce 1998 se neoznačují úplně za black-out, ale vzhledem k délce trvání opakovaných výpadků, bychom jej sem mohli zařadit jakožto významnou krizovou situaci. V roce 1998 na přelomu února/března docházelo k opakovaným výpadkům elektrické sítě po dobu zhruba pěti týdnů. Tu dobu zde panovalo poměrně horké léto, které mělo svůj podíl na selhání čtyř hlavních podzemních VN kabelů, z nichž dva byly již velice zastaralé. Výpadek co se rozlohy týče, nebyl tak rozsáhlý, týkal se především CBD (central business district), ale za to dlouhotrvající. V této části města žilo v tu dobu více jak 7 000 obyvatel a na 70 000 lidí pracujících v různých podnicích či organizacích. Velká část těchto lidí byla nucena na jistou dobu najít si bydlení či pracoviště jinde a spousta z nich byla bez práce úplně. Tma, lidé uvězněni ve výtazích, klimatizace zastaveny, světelná signalizace přerušována, obchody a restaurace výrazně snížily svou činnost. [15]

Indie – dva největší black-outy vůbec

Indická elektrizační síť rozhodně nepatří k těm nejspolehlivějším, což taky potvrdily události v roce 2012, kdy již 30. července došlo k výpadku 400 kV přenosové linky Bina-Gwalior. Problémy s nedostatkem dodávky a zvýšenou poptávkou tak navazovaly na další výpadky linek a elektráren. Situaci se ještě týž den podařilo stabilizovat a dodávku elektřiny obnovit. Avšak následující den, 31. července se situace opakovala a to ještě ve větší míře, kde se bez proudu ocitlo 600 – 700 mil. obyvatel. Ačkoliv podle odhadů se událost mohla dotknout pouze 320 mil. obyvatel, neboť zbytek Indů z tohoto počtu je bez elektřiny běžně. Stále je to však ten největší black-out, co se počtu zasažené populace týče. Tyto počty jsou orientační, různé zdroje uvádějí různá čísla, v případě těchto asijských zemí je těžké získat přesné údaje.

Druhý největší black-out je také připisován Indii, kde v lednu roku 2001 zasáhl výpadek především severní části země, včetně teritoria hlavního města Dillí. Týkalo se to zhruba čtvrtiny populace, což je asi 230 mil. obyvatel. Výpadek trval zhruba půl dne a byl opět způsoben nepoměrem mezi omezenou výrobou a velkou poptávkou. Škody v tomto případě byly vyčísleny až na 100 mil. amerických dolarů. [16], [17]

Bangladéšt' – rozsáhlý výpadek v roce 2014

Více než 90% obyvatelstva Bangladéše se 1. listopadu 2014 ocitlo bez elektřiny, což je asi 150 mil. lidí. Avšak celkový počet opět není tak vysoký, stejně jako v Indii, neboť i zde za normálních podmínek více než třetina populace funguje bez elektřiny. Odstavení vedení přivádějící el. energii z Indie zde bylo hlavní příčinou výpadku. [16]

Pákistán – 80% populace bez elektřiny

25. ledna 2015 došlo v Pákistánu k výpadku proudu, který trval několik hodin a zasáhl asi 140 mil. zdejšího obyvatelstva. Tentokrát příčinou nebyla žádná chyba v technice, nýbrž

přírodní vlivy. Byla poškozena přenosová linka, která dodává el. energie z privátní elektrárny do sítě. Výpadek zdroje typicky zapříčinil nepoměr mezi dodávkou a poptávkou, jež vedla k black-outu. Za touto událostí stáli místní rebelové, kteří přenosovou linku úmyslně poškodili. Avšak stejně jako u předešlých dvou států, ani v případě Pákistánu není situace přenosové sítě zcela ideální. [16]

Švédsko a Dánsko – black-out i v Evropě

Jeden z větších black-outů, který nastal v Evropě, zastihl jih Švédska a východní část Dánska. Asi 4 mil. švédských a dánských domácností či podniků se odpoledne 23. září ocitlo na několik hodin bez elektřiny. Zde hrála roli souhra více událostí najednou, první příčinou byla ztráta jednoho z bloků švédské jaderné elektrárny Oskarshamn. Další událost, která se stala nezávisle případu elektrárny Oskarshamn, byla závada v rozvodné stanici sloužící k vyvedení výkonu jaderné elektrárny Ringhals. Tyto dvě na sobě nezávislé události vyvolaly ztráty výkonu o hodnotě 3000 MW. Tento radikální nedostatek výkonu vyvolal pokles napětí a frekvence, což vedlo k postupnému rozpadu sítě. [18]

New York – největší rabování v dějinách města

Okolo půl 9 večer dne 13.7. 1977 při probíhající bouři zasáhl blesk jednu z důležitých částí newyorské rozvodné sítě. Poškodil jej tak, že se na celou noc New York ocitl ve tmě. Tato událost zasáhla devět milionů obyvatel a zapsala se do dějin tím, že zde tu noc došlo k ohromnému rabování obchodů. Škody byly odhadovány až na miliardu dolarů. Provoz sítě byl obnoven asi po 25 hodinách, teprve ráno začalo odkrývat, co se v noci dělo. Až 18 tis. Policistů bylo povoláno do služby, z nichž zhruba 500 bylo zraněno. [19]

Kanada a severovýchod USA – léto 2003

Odhadem 50 mil. Severoameričanů se ocitlo bez elektřiny v roce 2003 během 14. – 15. srpna. Hlavní příčinou této události bylo zřejmě zanedbání údržby přenosových tras. Okolo 2. hodiny po poledni dne 14. srpna se jedno z vedení prověsilo více než běžně, z důvodu vysokého zatížení a dostalo se do kontaktu s korunami přerostlých stromů. To sice nebyla zcela ohrožující situace, ale nesprávná funkce řídicího softwaru způsobila odpojení linky. Další tři přenosové vedení musely být následně taktéž odpojeny, neboť by nezvládly pojmout natolik velký výkon. Během několika minut tak bylo odpojeno více než 20 elektráren. Mnoho dodávek bylo ještě týž den během několika hodin obnoveno, zbylé oblasti byly bez elektřiny ještě další den. Tato událost čítá škody v řádech miliard dolarů a vyžádala si okolo desítky lidských životů. [18]

Tabulka dalších vybraných black-outů

Tabulka 1: Black-outy ve světě

Datum výpadku	Zasažená oblast	Počet zasažených osob	Trvání výpadku
9. – 10. 11. 1965	Severovýchod USA + Ontario, KANADA	30 mil.	13 h
18. 3. 1978	THAJSKO	40 mil.	cca 9 h (výpadky střídavě a různých místech)
13. 3. 1989	Quebec, KANADA	6 – 7 mil.	9 – 12 h
11. 3. 1999	Jihozápad BRAZÍLIE	75 – 97 mil.	2 – 5 h
28. 9. 2003	ITÁLIE, ŠVÝCARSKO, RAKOUSKO, SLOVINSKO, CHORVATSKO	55 – 57 mil.	10 – 18 h
18. 9. 2005	INDONÉSIE (Java, Bali)	100 mil.	7 – 12 h
24. 1. 2008	Chenzou, ČÍNA	4,6 mil.	skoro 2 dny
10. – 11. 11. 2009	BRAZÍLIE, PARAGUAY	60 – 87 mil.	3 – 4,5 h

Pozn.: Údaje v tabulce jsou opět pouze orientační a vychází z více zdrojů, kde byly často rozdílné údaje, hlavně co se počtu zasažených osob a doby trvání týče. [20], [21], [22], [23]

4 BLACKOUT A ČESKÁ REPUBLIKA

V české republice jsme se dosud v energetice nesetkali s tak významnou situací, abychom ji mohli nazvat black-out. Však odehrálo se pár významných událostí, jež naši PS ohrozily natolik, že k němu nebylo daleko.

4.1 Přetoky elektřiny z Německa

Česká republika se potýká s problémy přetoku velkého množství energie ze severu Německa na jih Německa nebo také dále do Rakouska. Tento problém je jedním z nejreálnějších příčin možného black-outu u nás. Přetoky vznikají hlavně z důvodu programu zelené energie. Německo se snaží co nejvíce omezit pevné zdroje (jaderné elektrárny a taky teplárny) a získávat energii hlavně z obnovitelných zdrojů, jako jsou větrné elektrárny. Problém souvisí s transportem vyrobené energie a nedostatkem rozvodných sítí v Německu, kde z důvodu geografického rozmístění větrných elektráren na severu je třeba vyrobenou energii vést přes českou přenosovou soustavu do míst spotřeby na jihu. V roce 2011 na přelomu listopad/prosinec byla z tohoto důvodu situace české PS natolik kritická, že v jednu chvíli se přes naši PS valila elektrická energie o výkonu až 3500 MW, namísto běžných 1000 MW.

Nevýhodou větrných elektráren, proč taky dochází k transportu, je nestálost výroby, která je závislá opět na povětrnostních podmínkách atd. energii nelze taky skladovat za účelem regulace v případných rozdílech ve výrobě v období silnějšího větru/bezvětří. Řešením mohou být přečerpávací elektrárny, kde při přebytku se energie využije k přečerpání vody do horní nádrže a pak při nedostatku se voda spustí zpět do spodní nádrže a vyrobí se potřebná energie. To je princip přečerpávací elektrárny, jakož je u nás třeba v Jeseníkách elektrárna Dlouhé stráně.

Energiewende je plán Německa do roku 2022 odstavit provoz všech jaderných elektráren v zemi a získávat energii hlavně z obnovitelných zdrojů. Účelem tohoto projektu bylo snížit produkci CO₂, skleníkových plynů, přispět tak ke zlepšení ovzduší a zabránit respektive snížit globální oteplování.

V případě odstavení všech jaderných elektráren a myšlenice regulace pomocí přečerpávacích elektráren, by bylo zapotřebí vystavět takové množství těchto elektráren, které by bylo schopno nahradit produkci elektráren větrných i solárních za těch nejhorších klimatických podmínek pro výrobu těmito zdroji. To je nejen z ekonomického hlediska prakticky nereálné. Další uvažovanou možností je skladování energie v podobě stlačeného vzduchu v přírodních jeskyních, setrvačnický a různé baterie. Jiná možnost, o které se také mluví, je táhnout vedení do severních zemí, kde je velký potenciál pro přečerpávací elektrárny z hlediska množství vodních ploch v těchto skandinávských státech. Však vést velké množství energie na tak ohromné vzdálenosti taky není úplně ideálním řešením.

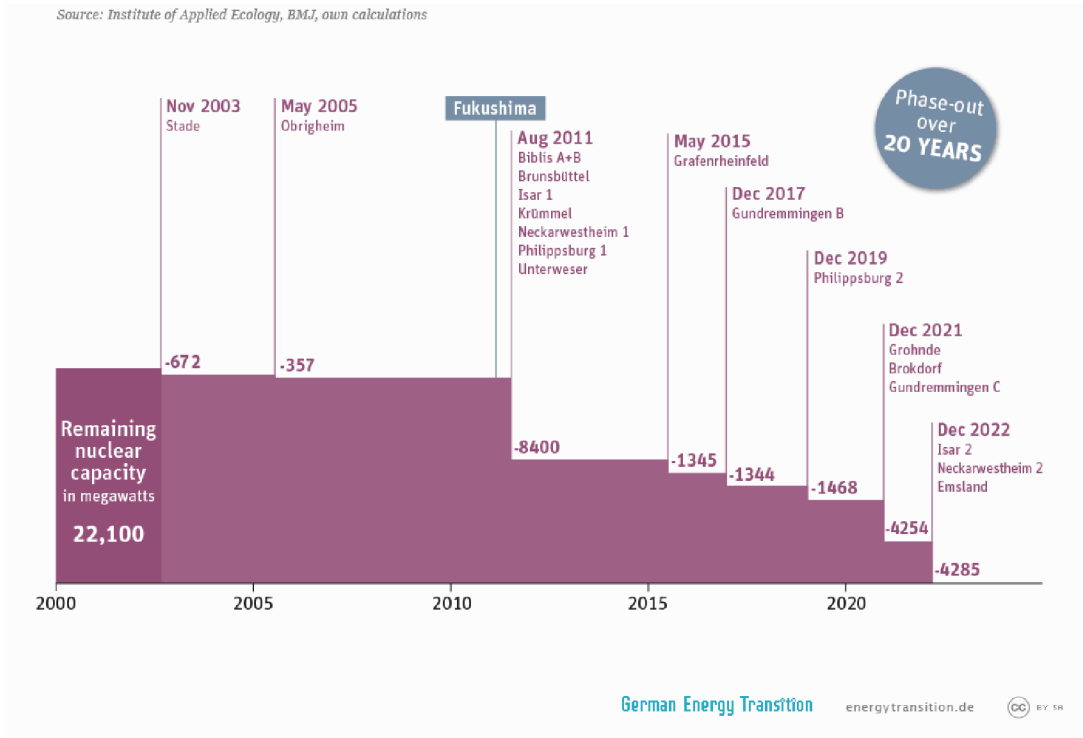
Každopádně než by došlo k této celkové rekonstrukci a i teď za současné situace v případě nepříznivých podmínek pro výrobu, se Německo stává závislým na okolních státech, které nedisponují výrobou z obnovitelných zdrojů, ale jsou schopny energii získat i v případě nevhodných podmínek pro obnovitelné zdroje, ze zmíněných pevných zdrojů, jež se Německo chce zbavit. Zkrátka snaha Německa za ekologičtější svět s sebou nese jisté komplikace. [10]

4.1.1 Energiewende

Energiewende znamená přechod na obnovitelné zdroje energie ze stávajících fosilních a jaderných paliv. Na tomto obratu v energetice je do jisté míry kromě SRN závislá i část energetické politiky Evropské Unie. Německo si tedy klade za cíl do roku 2050 získávat energii především z obnovitelných zdrojů, jakož jsou větrné, vodní, solární a geotermální zdroje a jiné. Tuto vizi také podpořila v roce 2011 havárie jaderné elektrárny Fukušima, po které většina občanů přistupuje na plán Energiewende a odmítá riziko technologie jaderných elektráren. Toho roku bylo tudíž rozhodnuto o úplném vyřazení provozu jaderné energie do roku 2022.

Cíle projektu:

- Do konce roku 2022 úplné ukončení činnosti jaderných elektráren.
- Podíl energie z obnovitelných zdrojů na celkové hrubé spotřebě zvýšit: do roku 2020 na 18%, do roku 2030 - 30%, 2040 - 45% a do roku 2050 až na 60%.
- Podíl elektřiny z OZ na celkové hrubé spotřebě elektřiny zvýšit: do roku 2020 - 35%, 2030 - 50%, 2040 - 65%, 2050 - 80%. S čímž souvisí novela zákona o obnovitelných zdrojích (EEG) z ledna roku 2012.
- Snížit emise spojené s produkcí skleníkových plynů: do roku 2020 o 40%, 2030 o 55%, 2040 o 70% a do roku 2050 o 80 - 90% vůči roku 1990.
- Spotřebu primární energie snížit: do r. 2020 o 20%, 2050 o 50%.
- Energetickou produktivitu zvýšit na 2,1 % ročně, týkající se spotřeby energie.
- Vůči roku 2008 snížit spotřebu elektřiny: do roku 2020 o 10% a do 2050 o 25%
- Do roku 2020 snížit spotřebu energie v budovách o 20% a spotřebu primárních energetických zdrojů snížit do roku 2050 o 80%. Také by se měla zvýšit rychlost renovace budov na 2%. [11]



Obrázek 3: Německo – postupné odstavování jaderných elektráren [11]

4.1.2 Ochrana ČR proti přetokům

V pohraničí ČR byly vystavěny tzv. PST transformátory (transformátory s regulací fáze), které mají za úkol především chránit naši PS před přetoky z Německa. Mezi rozvodnami českými a německými jsou dvě 400 kV vedení, na kterých jsou čtyři tyto transformátory paralelně po dvojicích zapojeny. Tyto transformátory jsou schopny prostřednictvím posuvu fázového úhlu napětí na jeho vstupu a výstupu, regulovat i velké přetoky z Německa na bezpečnou hladinu. V souladu se zahraničními partnery dochází k nastavování odboček daných transformátorů. Maximum odboček je 32 a jsou nastavovány tak, aby v každém okamžiku skrz naši PS procházelo bezpečné množství přeshraničních toků. Podle dat z roku 2017 PST regulovaly tok výkonu protékajícího přes naši PS ve 114 dnech, což je zhruba každý třetí den. Několikrát dokonce pomohly zabránit nepříznivým stavům v německé přenosové soustavě. V závěru tedy zapojení PST transformátorů přispívá ke zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti dodávek elektřiny v ČR i v celém střeoevropském regionu. Při správné koordinaci PST dochází k efektivnímu zvyšování využití přenosové soustavy, což také poskytuje prostor obchodu s elektřinou. [12], [13]



Obrázek 4: Jeden z PST transformátorů v Hradci u Kadaně [36]

4.2 Další rizikové situace

4.2.1 24. červenec 2006 - soustava na pokraji black-outu

Dne 24. 6. 2006 byl vyhlášen stav nouze v české energetice. Nikdo ze spotřebitelů nebyl odštěpen od dodávky. Pouze velcí spotřebitelé museli omezit odběr z důvodu vyhlášení regulačních stupňů a dispečink ČEPS řešil více než tisíc tísňových volání. Hlavní, nikoli jedinou příčinou vyhlášení tohoto nouzového stavu, bylo přetížení sítě v sousedních státech. Z tohoto důvodu došlo ke změně objemu toku energie v ČR v severojižním směru i z východu na západ. Už v 9 hodin ráno teploměry ukazovaly okolo 33°C, průměrná denní teplota toho dne byla 27°C. Toto extrémně horké počasí a s ním zvýšené využívání klimatizací atd. zatížilo síť o 500 MW více než je v tomto čase běžné.

Zhruba o měsíc dříve, dne 20. května bylo vichřicí zničeno 400 kV vedení mezi klíčovou rozvodnou sítí ČEPS - Hradec a německým Etzenrichtem. Ihned začaly opravy a vedení bylo dočasně nahrazeno provizorní linkou. Právě dne 24. 6. probíhalo přepojování z provizorní linky zpět na původní opravenou. Dále byly v ČR vypnuty další 4 přenosové trasy z důvodu oprav a revizí.

Další indicií byl požár v blízkosti rozvodny Diviča ve Slovinsku, který vedl k jejímu neočekávanému vypnutí, jež se stalo po 8. hodině ranní. Následovalo navýšení odběru z ČR do Rakouska, což opět vedlo k přetížení a vypnutí jednoho 400 kV vedení rozvodny Hradec. Další výpadky se pak šířily dominovým efektem a část české sítě musela přejít do tzv. ostrovního provozu. V tomto ostrovním provozu zůstala zapojena velká část zdrojů, což vedlo k přebytku výkonu až 1 500 MW, kde stejný rozdíl, však deficitní byl ve zbývající části soustavy. I přes tuhle nestabilitu se podařilo provoz zregulovat a soustavu ČR opět spojit do jednoho celku po cca hodině.

Okolo poledne bylo nutno zavést další ostrovní provoz, tentokrát už však s rozdíly přebytku/deficitu výkonu 2 400 MW. Příčinou byly dva výpadky, jeden způsoben kontaktem

vedení se stromem, kvůli velkému průhybu a druhý způsobil požár vazební tlumivky v rozvodně Čechy střed. I tento stav se podařilo udržet, ale bylo nutno odpojit některé elektrárenské bloky.

Stav nouze byl vyhlášen ve 14 h, síť se však odlehčila pouze o 600 MW, ve 14.45 h vznikl další ostrovní provoz. Až po větším snížení odběru se situace začala stabilizovat. Stav nouze byl ukončen ve 23 h. [24], [25]

4.2.2 Orkány Kyril a Emma

Silné vichřice či hurikány pro Českou republiku nejsou zcela typické a do roku 2007 si většina lidí nedokázala představit následky spojené s těmito živly. Od té doby už ale víme, že i s touto možností, která by mohla způsobit black-out, musíme počítat. Na tuhle možnost přírodní katastrofy je však těžké se připravit neboť nikdy není jisté jakou oblast a do jaké míry zasáhne, které vedení bude poničeno a jak moc. Na základě zkušeností s orkány Kyril a Emma lze předpokládat, že kdyby v budoucnu došlo k podobné události s rozsahem $N > 2$, mohlo by v ČR dojít k velmi kritické situaci, která by mohla trvat až několik týdnů. Následky takové situace by byly katastrofální. Bez elektrické energie nejsme schopni uspokojit základní životní potřeby a ochranu obyvatel. Pokud by se výpadek elektřiny podařilo obnovit do 24 h, tak by situace ještě dala zvládnout, co se týče udržení veřejného pořádku či ochrany obyvatelstva. Avšak kdyby trval déle, v nejhorším případě i v řádech týdnů a není možné obnovení uspokojení základních fyziologických potřeb a potřeba bezpečí, pak již okolo 5. dne po katastrofě se život komunity rozpadá. Každý člověk i početný občan by nejspíš v této situaci vzal osud a právo do svých rukou za účelem zajištění základních potravin, vody a jiných potřeb pro sebe a svou rodinu.

Kyril zasáhl zejména území Šumavy a ničil především lesy, kdežto Emma poškodila i zařízení elektrizační soustavy. Dne 1. 3. 2008 vítr poškodil vedení V415 u obce Březany, což mělo asi nejvážnější dopad. Toto vedení spojuje transformovny Chodov a Čechy Střed. Poškozená délka vedení byla cca 2612 metrů a dále bylo poškozeno 6 nosných stožárů. 2853 metrů náhradního vedení sestaveného z 24 stožárů typu „portál“ o rozpětí stožárů 130 metrů se začalo stavět dne 7. 3. a výstavba trvala do 20. 3.

Kyril samozřejmě také poškodil i vedení, ale většinou jen menší vedení distribuční soustavy. Vyčíslení bylo následovné: 7 239 poruch na vedení DS (23 poruch na zařízení 110 kV, 1 220 poruch na zařízeních VN a 5 996 zařízení NN). Náklady na likvidaci škod v distribuční soustavě jsou odhadnuty na 132,8 milionů korun (náklady na likvidaci tzn., že škody na DS byly o něco nižší, viz níže). [26], [27]

Největší kalamity u nás z pohledu ČEZ Distribuce:

Tabulka 2: Vyčíslení škod [28]

Název události	Počet odběratelů bez elektřiny	Vyčíslení škod
Orkán Kyril (2007)	1,1 mil.	85 mil. Kč
Orkán Emma (2008)	925 tisíc	115 mil. Kč
Orkán Ivan (2008)	753 tis.	75 mil. Kč

Orkán Herwart (2017)	628 tis.	71 mil. Kč
----------------------	----------	------------

4.3 Stavy a opatření

V této kapitole jsou popsány stavy, do kterých se může PS dostat a jak je na to ČR připravena. Jaké jsou naše krizové plány, plány obnovy napájení po black-outu a jak je naše PS zabezpečená proti případnému teroristickému útoku.

4.3.1 Popis stavů přenosové soustavy

NORMÁLNÍ („zelená“)

- Splněno kritérium N-1; U, I, P, Q, f v předepsaných limitech; stabilní provoz bez očekávaných problémů
- Nesplněno kritérium N-1; nedostatek regulačního výkonu
 - Příprava korektivních zásahů, preventivní zásahy, redispečink, rekonfigurace

VÝSTRAŽNÝ („žlutá“)

- Napětí mimo meze $\pm 5\%$ (400 kV), $+ 11\%$ (220 kV); odchylka f mimo meze $\pm 0,2$ Hz; odchylka salda mimo meze spojená s vyčerpáním regulačních záloh; nelze obnovit splnění kritéria N-1 pro výpadky, které mohou ovlivnit sousední soustavy (s hrozbou šíření poruchy); ostrovní provoz uvnitř PS; okolnosti, které ovlivňují či v blízké době mohou ovlivnit bezpečný provoz PS; část PS nelze dočasně ovládat; předchází stavu nouze
 - Korektivní zásahy, rekonfigurace, vypínání/zapínání vedení, redispečink, havarijní výpomoc, regulace spotřeby, omezení exportu, protiobchod

NOUZOVÝ („červená“)

- Pokles napětí pod 90%; odchylka f mimo meze $\pm 0,8$ Hz; výpadky bloků způsobené změnami frekvence; působilo frekvenční odlehčování; vyčerpaný regulační výkon; velká odchylka salda; ostrovní provoz částí PS – rozpad PS; nefunkční dispečerské pracoviště
 - Vypínání spotřeby, řízené/automatické odlehčování, zrušení exportu

BLACKOUT („černá“)

- Větší část PS České republiky je bez napětí; většina elektráren je odpojena z PS ČR; většina přeshraničních vedení je vypnuta
 - Nastává potřeba použít tzv. start ze tmy („black-start“) [29]

4.3.2 Obranný plán

Společnost ČEPS má vypracovaný plán obrany proti šíření poruch v přenosové soustavě, jehož hlavním cílem je zamezit rozšíření poruchy (především kaskádovitému šíření poruchy) a dále by tyto plány měly vézt ke snížení doby výpadku.

Řešením a předcházení stavu nouze se zabývá zákon č. 458/2000 Sb. a další vyhlášky.

Opatření pro předcházení stavům nouze a pro jejich likvidace jsou rozděleny následovně:

- Řízení propustnosti sítě
- Opatření proti přetížení
- Opatření proti kaskádovitému šíření poruchy
- Opatření proti poklesu a vzrůstu frekvence
- Opatření proti poklesu a vzrůstu napětí
- Opatření proti kývání
- Opatření proti ztrátě synchronismu

Výše zmíněná opatření by měla zajistit odolnost soustavy proti daným předvídatelným poruchám a stavům. Avšak i přesto, jak už jsme si dříve popsali, by mohlo dojít k částečnému nebo úplnému rozpadu soustavy neboli black-outu. I na tento případ je provozovatel naší PS připraven svým zpracovaným Plánem obnovy.

Zmíněno už bylo také i to, že black-out nemusí být pouze záležitostí jednoho státu, kvůli provázanosti naší soustavy se soustavami okolních států. A k tomuto případu byl pro přenosové soustavy středoevropského regionu implementován varovný - RAAS („Real time Alarming and Awarnes Systém“) a informační systém - EIS („Emergency Information Systém“), který má za úkol informovat o případných rizikových stavech v jednotlivých soustavách. [30], [31]

4.4 Plán obnovy

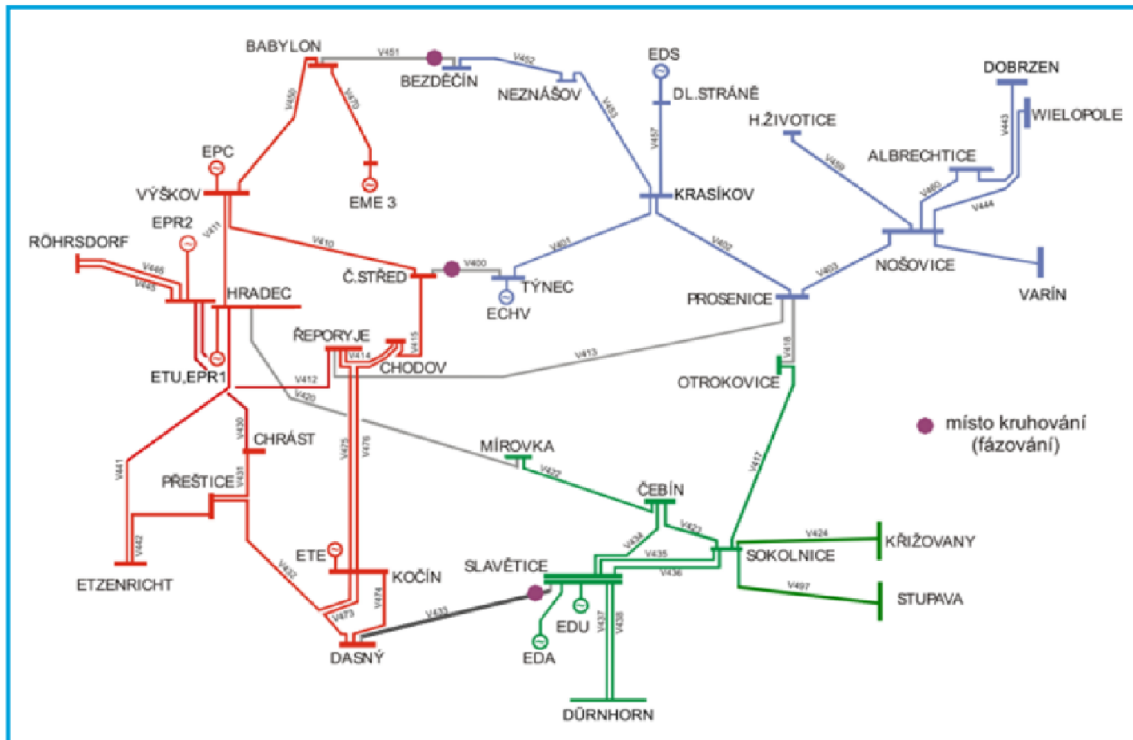
Tento plán společnosti ČEPS stanovuje strategie a postupy pro zajištění co nejkratší doby obnovy PS. Čím kratší doba obnovy, tím nižší ekonomické ztráty všech zasažených uživatelů, tudíž hlavním cílem plánu obnovy je co nejvíce zkrátit dobu výpadku.

Pro obnovení PS máme jisté priority, na kterých je založen postup obnovy. Prioritami jsou:

- 1) Vlastní spotřeba jaderných elektráren
- 2) Vlastní spotřeba systémových klasických elektráren
- 3) Hlavní město Praha
- 4) Velké městské aglomerace
- 5) Ostatní spotřebitelé

4.4.1 Obnova napětí ze sousedních PS

Česká republika má tu výhodu, že díky své poloze se řadí mezi tzv. vnitřní sítě a má tak možnost v krajním případě rychle získat energii od svých zahraničních partnerů. Elektrické propojení s okolními energetickými společnostmi je následující: Německo - Vattenfall Europe Transmission a E.ON Netz, Slovensko – SEPS, Rakousko - Verbund APG, Polsko - PSE-Operator. K obnově ze zahraničí lze využít 10 vedení 400 kV a 6 vedení 220 kV, samozřejmě za předpokladu funkčnosti okolních vedení a výpadku pouze na území ČR. Také je nutné, aby poskytnutím výkonu ze zahraničí nebyla daná soustava poskytovatele ohrožena.



Obrázek 5: Propojení ČR s okolními PS [31]

Na obrázku lze vidět, které zahraniční rozvodny lze k obnově využít. Např. z Německa lze využít rozvodny Etzenricht(E.ON) a Röhrsdorf(VE-T), do níž jsou připojena vždy dvě vedení z rozvodu Hradec-Východ, Hradec- Západ a Přeštice (viz obr. vlevo – červená).

Cílem je opět zprovoznit v první řadě napájení vlastní spotřeby jaderných elektráren, postupným zapínáním vedení. Dále pak precizním dodržováním postupů obnovit zbytek elektrizační soustavy dle ostatních priorit. Po poruše typu black-out, dispečer provede vypnutí všech vypínačů v poruchou postižené oblasti PS. Tato strategie se nazývá „open-all“.

4.4.2 Obnova pomocí vodních elektráren

Pro případ nemožnosti obnovy ze zahraničí či v případě většího výpadku, týkajícího se i okolních přenosových soustav, ČEPS zpracoval způsoby obnovení ze zdrojů tuzemských. Za této situace by se využilo vodních elektráren, jež k obnovení provozu nepotřebují vnější napájení a jsou schopny startu ze tmy.

Mezi tyto elektrárny patří např. elektrárna Orlík a Dalešice. Elektrárna Dalešice je schopna obnovy napětí v rozvodně Slavětice, jež vede opět k prvotnímu napájení vlastní spotřeby elektrárny Dukovany. K rozjetí elektrárny Dalešice je také možno využít dálkového ovládaní elektrárny Mohelno, jež je schopna „najat ze tmy“ a napájet pak vlastní spotřebu VE Dalešice. VE Orlík pak pomáhá najetí tepelné elektrárně Chvaletice.

Najetí vlastní spotřeby elektrárny Dukovany (EDU) pomocí VE Dalešice bylo odzkoušeno roku 2006. V květnu roku 2008 pak proběhla reálná zkouška rozběhu pohonů vlastní spotřeby TE Chvaletice pomocí VE Orlík. Obě tyto zkoušky byly úspěšné.

Pro napájení vlastní spotřeby po black-outu elektrárny Temelín byl zpracován projekt blackstartu VE Lipno. Test možnosti zásobovat část vlastní spotřeby JE Temelín po distribučních linkách 110 kV pomocí VE Lipno úspěšně proběhl v červenci roku 2008. [30], [31]

4.5 Cvičení black-out 2018

Provozovatel české přenosové soustavy, společnost ČEPS, se pravidelně účastní součinnostních cvičení s krajskými samosprávami, Armádou ČR i složkami integrovaného záchranného systému. Ověřuje tak svou připravenost na řešení mimořádných událostí, výpadky proudu či dokonce blackout.

Jedno takové cvičení proběhlo loni 4. - 5. května 2018 ve středočeském kraji. Cílem tohoto dvoudenního cvičení bylo prověřit možnost dodávek do náhradních zdrojů, ověřit jejich připravenost a funkčnost. A v první řadě taky jak by vypadal průnik prvotní informace o rozsahu výpadku od energetiků.

Podle připraveného scénáře vyhlášení stavu nouze v energetice, jehož úvod zněl: „Během vichřice, která zasáhla oblasti střední Evropy, došlo ke kaskádovému výpadku německých vedení, rozpadu soustavy a následně k blackoutu v celé kontinentální Evropě. Na území Středočeského kraje ani jinde v ČR se nepodařilo udržet ostrovní provozy. Jaderné elektrárny žádají zajištění napájení vlastní spotřeby, není možné podat napětí ze zahraničí. Dispečink ČEPS vyhláší situaci Stav nouze pro území celé České republiky.“ řešili dispečeré ČEPS ve spolupráci s ČEZ Distribuce fiktivní zajištění obnovy napájení vlastní spotřeby jaderných a systémových elektráren i rozvoden v daném regionu. [32]

4.6 Obnova elektrického vedení

Pro rychlejší obnovu elektrického vedení při poničení vedení, lze použít tzv. náhradní přenosovou trasu neboli „bypass“. Výstavbu této trasy má na starosti společnost GA Energo, která je dlouholetým partnerem ČEPS a.s. Toto řešení se v minulosti již několikrát osvědčilo a společnost GA Energo na ni má vlastní užitečný vzor.

K dispozici jsou 2 km vedení k okamžité výstavbě, ale v krajním případě by bylo možno zajistit výstavbu až 15 km vedení o napětí 400 kV. Toto řešení lze využít i např. při plánovaných rekonstrukcích.

Pokud dojde k havárii transformátorů, řeší se situace systémovými rezervami transformátorů 400/110 kV a 220/110 kV. [9]

5 Dopady black-outu na spotřebitele a ekonomiku

Zde jsou popsány dopady black-outu na člověka jako spotřebitele a dále na celou společnost. Škody, které s sebou black-out nese, ekonomický odhad škod atd.

5.1 Ukázkový scénář dopadů black-outu v průběhu času

1 minuta (až několik minut)

Občan:

Ztráta neuložené práce v osobním počítači, zhasnutí světel, vypnutí semaforů, uvěznění lidí ve výtazích či dokonce dnes méně pravděpodobné sjetí výtahu do nižších pater. Okamžitý výjezd policie se snahou zabezpečit křižovatky bez osvětlení, aby byl zaručen co nejplynulejší chod a možnost rychlého zásahu ostatních bezpečnostních složek atd.

Společnost:

Start provozu záložních zdrojů – UPS, dieselaagregáty atd.; v obchodech, restauracích vznikají malá zdržení z důvodu restartu a znovu naběhnutí nezálohované informační technologie.

1 hodina až půl dne

Občan:

Přetrvávající uvíznutí ve výtazích, dopravě, dochází ke kolapsu MHD a dopravy celkově. Vybití baterií notebooků, telefonů, nemožnost vykonávat práci. Pouze při provozu budovy na záložní agregáty, jež mohou využívat jen určité instituce (např. nemocnice).

Společnost:

Počátek ekonomického strádání kvůli pozastavení výroby a neobchodování, což se později projeví na výběru DPH.

1 den

Občan:

Nemožnost uchování potravin v chladu, riziko zkažení. Začínají problémy se zásobováním pitnou vodou, omezená funkčnost kanalizací. V zimních měsících by nastaly problémy s nemožností vytápění bytů a jejich následnému vychladnutí. Omezený přístup k informacím a zábavě (TV, PC, Internet, kina a další instituce). Nemožnost vykonávat mnoho profesí.

Společnost:

Ekonomické ztráty rostou, výběr DPH klesá, což se opět projeví až se zpožděním.

3 dny až týden

Občan:

Nemožnost dodávky pitné vody, většina potravin zkažená, kanalizační systém kolabuje, chlad v bytu působí škody (př. zmrzlé trubky), ztráta ubytování, psychická zátěž, pocit nejistoty a ztráta bezpečí. Stále bez informací a čím dál více lidí není schopno vykonávat svou profesi. Závislost na přirozeném světle – svíčky, petrolejové lampy.

Společnost:

Dochází zásoby pro dieselgenerátory, čím dál výraznější ekonomické ztráty nevýrobou a neobchodováním, obecně narůstají škody – majetek, rabování, zemědělství, chov dobytku (př. dojně krávy, nemožnost dojit všechny ručně, bez strojů, utrpení kvůli přeplněným vemenům). Stále větší ekonomický a dále i sociálně-společenský úpadek zasaženého regionu z důvodu omezené působnosti či následného odchodu velkých a nadnárodních společností. (finance, zaměstnanost – daně, lidé odcházejí z domovů – klesá hodnota majetku, kvůli přeplněnému trhu s nemovitostmi – daň z nemovitosti). Také existence malých a středních podniků je ohrožena, jelikož není schopna plnit závazky. Občané i společnost ztrácí důvěru ve vládnoucí elity i obecně.

Několik týdnů až měsíc

Občan:

Občané i společnost v „nouzovém stavu“ – snaží se opravit příčinu/dodávky a následné škody či naopak se adaptují stávajícím podmínkám a za cenu přežití – snaha získat potravu atd. jsou i slušní lidé schopni udělat krok přes své morální zásady.

Společnost:

Zásobování dieselgenerátorů na prvním místě – datová centra operátorů, některé nemocnice atd., přechod na jinou technologii napájení. Ekonomický a sociálně-společenský kolaps regionu. Mnoho malých a středních podniků zaniká. Naprostá, dlouhodobá neschopnost důvěry ve vládnoucí elity i státní správu a samosprávu. [33]

5.2 Odhad ekonomických dopadů pro ČR

Již zmíněný pokles produkčních a vývozních schopností by měl výrazný dopad na naši ekonomiku. Zásadní narušení národního hospodářství se ztrátami zejména v bankovním a finančním sektoru, průmyslu, zemědělství a službách. Riziko poničení či omezení využití jak movitého tak nemovitého majetku, objektů historických, kulturně významných či chráněných památkovou péčí a mnoho dalších. [35]

Odhad ztrát po black-outu:

Tabulka 3: Ekonomické ztráty pro ČR po black-outu

Území	Roční období	Doba trvání	Náklady
Celá ČR	Zima	24 hodin	878 milionů EUR
Celá ČR	Léto	24 hodin	697 milionů EUR
Kraj	Zima	24 hodin	76 milionů EUR až 151 milionů EUR
Kraj	Léto	24 hodin	71 milionů EUR až 143 milionů EUR

Pozn. Rozpětí ekonomických ztrát v případě krajů je dáno rozdíly např. v počtu obyvatel, rozloze daného kraje či jeho infrastrukturou. [35]

5.3 Další reálné dopady black-outu

- Životní prostředí:

Riziko radiační havárie a s ním spojené dlouhodobé až trvalé následky pro životní prostředí, riziko znečištění ovzduší, vody, půdy z důvodu nefunkčnosti jistých zařízení. Sekundární krizové situace a s nimi přicházející problémy s odpadovým hospodářstvím, kanalizačními systémy. Velká nezaměstnanost, nemožnost zajištění základních sociálních služeb obyvatelstvu, významný pokles životní úrovně, pravděpodobné narušení veřejného pořádku a bezpečnosti.

- Životy a zdraví osob:

Ohrožení života a zdraví čelí jak lidé pracující přímo ve výrobnách elektrické energie, pracovníci likvidující poškozené součásti elektrizační soustavy, tak běžní obyvatelé. Obyvatelé jsou vystaveni důsledku případné radiační havárie, výbuchu, požárům. Dále důsledkům nemožnosti dodávek elektrické energie, kterými mohou být omezená zdravotní péče v nemocnicích, ústavy se sociální péčí, omezená dodávka léků a zdravotnických materiálů, vytápění. Vznik sekundárních krizových situací jako jsou třeba epidemie, nedostatek pitné vody, potravin aj.

- Mezinárodní dopad:

Omezená možnost plnit mezinárodní smluvní závazky, závazky vůči společenství s NATO, dále hospodářské a obchodní závazky v podnikatelské sekci. Potřebná organizace humanitární pomoci ze zahraničí.

- Kritická infrastruktura

Jedná se o infrastrukturu, jež by měla být v případě výpadku primárně zásobována elektřinou (krizová centra, nemocnice, úřady atd.). Její prvky dokonce nejsou obsaženy v regulačních a vypínacích plánech provozovatele PS. V případě nemožnosti zásobování infrastruktury elektřinou, existují zmíněné náhradní zdroje. I ty však mají omezenou kapacitu a na základě cvičení na black-out bylo prokázáno, že současné zajištění náhradními zdroji je nevyhovující. [34]

ZÁVĚR

Česká republika disponuje svou polohou vnitrozemského státu jistými výhodami. Naše přenosová soustava je totiž propojena s okolními PS všech čtyř sousedních států. V případě nouze tak získává energii od sousedních zemí, ale naopak při potížích v okolních sítích, se problém může projevit i u nás. Jedním z cílů práce bylo popsat možná rizika black-outu pro ČR, neboli čím je naše soustava v dnešní době nejvíce ohrožena. A v posledních letech pro nás byly největším problémem přetoky energie, právě ze sousedních států, kvůli nestálé výrobě OZE.

Dalším z cílů bylo provést rešerši možných dopadů black-outu pro Českou republiku, která je uvedena v kapitole č.5. Jedná se spíše o dopady black-outu obecně, neboť v této situaci by byl scénář podobný i ve všech ostatních zemích. Nejsou zde zcela specifické dopady pouze pro ČR, ale existují samozřejmě různé odhady ekonomických ztrát podle velikostí zasaženého území, počtu zasažených obyvatel/spotřebitelů atd.

Posledním cílem byla rešerše zahraničních zkušeností, na základě kterých se můžeme učit, vyvarovat se případnému opakování chyb a předcházet tak mnohým krizovým situacím, jež by mohly v budoucnu nastat.

V jednotlivých kapitolách se zabývám následujícím. První kapitola je seznámení s daným tématem práce a obecně energetikou. Z čeho se skládá naše PS, kdo ji spravuje a jak se dá regulovat. Zde bych chtěla zdůraznit možnost ostrovního provozu, který se dá v různých krizových situacích využít pro udržení chodu soustavy.

Druhá kapitola vymezuje příčiny a rizika black-outu, kde bych upozornila především na bod Nerovnováha mezi výrobou a spotřebou, kde se pojí také zmíněná problematika výroby energie pomocí OZE.

V třetí kapitole je několik vybraných nejzávažnějších black-outů ze zahraničí, které se v minulosti odehrály.

Čtvrtá kapitola popisuje problematiku přetoků energie přes naši PS z Německa, vývoj německého projektu Energiewende a opatření, které ČR v posledních letech zavedla proti těmto přetokům. Těmito opatřeními jsou především tzv. transformátory s regulací fáze neboli PST transformátory, vystavěné na hranicích. Pak jsou zde zmíněny nejzávažnější krizové situace, do kterých se česká přenosová soustava v minulosti dostala a následně výčet obranných plánů a plány obnovy po případném black-outu. Jaké jsou priority a možnosti obnovy činnosti sítě. Zde bych zase ráda zmínila významnou roli vodních elektráren, které se pro obnovu napájení stávají zajímavými. Na závěr kapitoly je uveden příklad cvičení na black-out, protože k co nejlepší připravenosti samozřejmě patří i trénink. Taková cvičení se pravidelně provádějí na základě různých scénářů, podle kterých pak pracovníci zkouší, jak by na příklad podle manuálů pro obnovu sítě, v dané situaci postupovali.

Pátá – poslední kapitola obsahuje již zmíněnou rešerši dopadů black-outu. Z této kapitoly bych zdůraznila popis dopadů na běžného občana a společnost v průběhu času, kterými se zabývám v úvodu kapitoly. Jak a co za problémy s přibývajícím dobou trvání výpadku přichází.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Rady pro občany - blackout. *KRIZPORT* [online]. 2018 [cit. 2019-01-11]. Dostupné z: <http://krizport.firebrno.cz/navody/rady-pro-obcany-blackout#a01>
- [2] GALETKA, Martin. Přenosová soustava elektrické energie. *Tzbinfo* [online]. 11.1.2016 [cit. 2019-01-12]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/13676-prenosova-soustava-elektricke-energie>
- [3] O společnosti. *Čeps* [online]. [cit. 2019-01-12]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/o-spolecnosti>
- [4] Elektřina. *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2019-01-15]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/elektrina>
- [5] BECHYNĚ, Milan. Co označuje zkratka POZE?. *Tzbinfo* [online]. 16.12.2012 [cit. 2019-01-15]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/9394-co-oznacuje-zkratka-poze>
- [6] Plán obnovy po výpadku. In: *Bezpečnost provozu a kvalita na úrovni PS* [online]. 1.1.2014, s. 9 [cit. 2019-01-15]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/479698/CV_k_prip.pdf/2f28f90c-30aa-4040-85a6-053fd4fe3048
- [7] CIESLAR, Stanislav. Ostrovní provoz - řešení budoucnosti. In: *All For Power* [online]. 14.11.2012, s. 1-2 [cit. 2019-01-15]. Dostupné z: http://www.allforpower.cz/UserFiles/files/2011/ostrovní_provoz.pdf
- [8] Jaké jsou příčiny vzniku blackoutu?. *ProfiElektrika.cz* [online]. 24.9.2015 [cit. 2019-01-15]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/blackout-2-jake-jsou-priciny-vzniku-blackoutu>
- [9] ŠÍR, Kryštof. *Ochrana české přenosové soustavy před teroristickým útokem*. Brno, 2015. Dostupné také z: https://is.muni.cz/th/qxqr5/Sir_Krystof_BC.pdf.
Bakalářská práce. Masarykova univerzita.
- [10] NIGRIN, Tomáš, Martin LANDA a Tereza SVOBODOVÁ a kol. *Německo bez jádra? SRN na cestě k odklonu od jaderné energie* [online]. Charles University in Prague: Karolinum Press, 2016 [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=z_w4DAAAQBAJ&pg=PA124&lpg=PA124&dq=pretoky+energie+z+nemecka&source=bl&ots=c3n44LOh0X&sig=ACfU3U3wQAH-85bZi3HOVz0Yt_wsGwCuHA&hl=cs&sa=X&ved=2ahUKEwiDzvjy9ZTgAhWno4sKHQJOA8c4FBDoATABegQICRAB#v=onepage&q=pretoky%20energie%20z%20nemecka&f=false

- [11] VOŘÍŠEK, Martin. Co je Energiewende a jaké jsou její cíle?. *OENERGETICE.cz* [online]. 10.2.2015 [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/Energiewende-a-jeji-cile/>
- [12] Přetoky elektřiny jsme regulovali každý třetí den. *All for Power*. 2018. Dostupné také z: <http://www.allforpower.cz/clanek/pretoky-elektřiny-jsme-regulovali-kazdy-treti-den/>
- [13] Regulační transformátory jsou v provozu, chrání proti přetížení sítě. *Čeps* [online]. 22.9.2017 [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/aktuality/novinka/regulacni-transformatory-jsou-v-provozu-chrani-proti-pretizeni-site>
- [14] STRAŠKRABOVÁ, Aneta. *Akteři řešení blackoutu v Jihomoravském kraji: východiska a současný stav*. Brno, 2018. Dostupné také z: https://is.muni.cz/th/p6iur/Akteri_reseni_blackoutu_v_Jihomoravskem_kraji_-_vychodiska_a_soucasny_stav.pdf. 2018. Masarykova univerzita.
- [15] JOHNSTON, Martin. A crisis recalled: The power cuts that plunged the Auckland CBD in darkness for five weeks. In: *Nzherald.co.nz* [online]. 16.4.2018 [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: https://www.nzherald.co.nz/nz/news/article.cfm?c_id=1&objectid=12033654
- [16] MAJLING, Eduard. Blackouty – 1. část: Největší blackouty v historii lidstva. *OENERGETICE.cz* [online]. 8.8.2015 [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/blackouty-1-cast-nejvetsi-blackouty-v-historii-lidstva/>
- [17] India blackouts leave 700 million without power. *The Guardian* [online]. 31.7.2012 [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/world/2012/jul/31/india-blackout-electricity-power-cuts>
- [18] MAJLING, Eduard. Blackouty – 2. část: Významné události 21. století. *OENERGETICE.cz* [online]. 15.8.2015 [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/blackouty-2-cast-vyznamne-udalosti-21-stoleti/>
- [19] New York před 40 lety zasáhl blackout: Lůza vyrabovala vše, co se dalo. *EuroZprávy.cz* [online]. 11.7.2017 [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <https://eurozpravy.cz/zahranicni/amerika/195022-new-york-pred-40-lety-zasahl-blackout-luza-vyrabovala-vse-co-se-dalo-rude-pravo-si-smlslo/>
- [20] ČTK. Před 50 lety postihl gigantický výpadek proudu USA a Kanadu. *Tzbinfo* [online]. 9.11.2015 [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/117952-pred-50-lety-postihl-giganticky-vypadek-proudu-usa-a-kanadu>

- [21] STODŮLKA, Martin. *Společensko-bezpečnostní dopady dlouhodobého výpadku zásobování elektrickou energií: Zkušenosti a doporučen.* Lamačova 825/11, 152 00 Praha 5: Ochrana a bezpečnost o. s., IČ: 22746986, 2015. Dostupné také z: http://ochab.ezin.cz/O-a-B_2015_C/2015_C_10_stodulka.pdf
- [22] CORMIER, Roger. The 12 Biggest Blackouts In History. *MENTAL FLOSS* [online]. 9.11.2015 [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <http://mentalfloss.com/article/57769/12-biggest-electrical-blackouts-history>
- [23] AGENTURA J.L.M. Následky blackoutu? Totální chaos!. *TISKOVKY.info* [online]. 17.10.2011 [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <http://www.tiskovsky.info/tiskove-zpravy/nasledky-blackoutu-totalni-chaos>
- [24] Problém jménem blackout. *TŘÍPÓL: Fyzika a klasická energetika* [online]. 5.11.2015 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/fyzika-a-klasicka-energetika/1768-problem-jmenem-blackout>
- [25] Spolehlivost dodávky elektrické energie a blackoutu. *ProfiElektrika.cz* [online]. 19.1.2010 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/spolehlivost-dodavky-elektricke-energie>
- [26] Energetici se z Kyrilla poučili. *ČEZ distribuce* [online]. 2019 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/302.html>
- [27] Emma a Ivan znají svůj konec. *ČEZ distribuce* [online]. 2019 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/70.html>
- [28] ČEZ Distribuce vyčíslila škody způsobené orkáнем Herwartem. *ČEZ distribuce* [online]. 2019 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/6187.html>
- [29] ŽÁK, Jiří. *STUDIE BLACKOUTU S OHLEDEM NA JADERNOU ELEKTRÁRNU DUKOVANY.* Brno, 2013. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=68564. Diplomová práce. VUT.
- [30] KODEX PŘENOSOVÉ SOUSTAVY: Bezpečnost provozu a kvalita na úrovni PS. In: *ERÚ* [online]. 2018 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/documents/10540/3727955/%C4%8CEPS+PPPS+%C4%8D%C3%A1st+V.pdf/ad70574f-bc22-46e1-b970-8f609d6c29df>
- [31] KASEMBE, Andrew, Karel MÁŠLO a Zdeněk HRUŠKA. *Obnova soustavy po poruše typu blackout* [online]. In: . [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://jenda.hrach.eu/f2/blackout.pdf>

- [32] Blackout 2018 i Výpadek 2018. ČEPS ověřuje svou připravenost na řešení mimořádných situací. In: *OENERGETICE.cz* [online]. 14.9.2018 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/prenos-elekriny/blackout-2018-i-vypadek-2018-ceps-overuje-svou-pripravenost-reseni-mimoradnych-situaci/>
- [33] SVOBODA, Miloš. *Úloha HZS ČR při řešení následků stavu nouze v energetice*. Dostupné také z: <http://docplayer.cz/23337877-Uloha-hzs-cr-pri-reseni-nasledku-stavu-nouze-v-energetice-brig-gen-ing-milos-svoboda-namestek-generalniho-reditele-hzs-cr.html>
- [34] Typový plán. In: *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 28.8.2014 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/dokument35638.html>
- [35] Narušení dodávek elektrické energie velkého rozsahu. In: *Ministerstvo průmyslu a obchodu: typový plán* [online]. 26.4.2018 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:GIQqilVHafsJ:https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/typove-plany-reseni-krizi/2018/5/1--Typovy-plan-naruseni-dodavek-elektricke-energie-velkeho-rozsahu.docx+&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz>
- [36] ČEPS krotí divoký proud z Německa. Spustil nové obří transformátory. In: *IDNES.cz: Ekonomika* [online]. 22.9.2017 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/ekonomika/domaci/transformator-elekrina-regulace.A170922_150503_ekonomika_rts

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Význam
CO ₂	Carbon dioxide (oxid uhličitý)
ČEPS	Česká energetická přenosová soustava
DPH	Daň z přidané hodnoty
DS	Distribuční soustava
E.ON	E-energie, ON-cesta vzhůru
ERÚ	Energetický regulační úřad
ES	Energetická soustava
JE	Jaderná elektrárna
MHD	Městská hromadná doprava
NATO	North Atlantic Treaty Organization (Severoatlantická aliance)
NN	Vedení nízkého napětí
OZ	Obnovitelné zdroje
OZE	Obnovitelné zdroje energie
POZE	Podporované zdroje energie
PST	Phase Shifting Transformers
SRN	Spolková republika Německo
UPS	Uninterruptible Power Supply (zdroje nepřetržitého napájení)
VE	Vodní elektrárna
VN	Vedení vysokého napětí

Symbol	Veličnia	Jednotka
U	napětí	[V]
I	proud	[A]
P	výkon	[W]
Q	elektrický náboj	[C]
f	frekvence	[Hz]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma elektrizační soustavy	15
Obrázek 2: Schéma sítí 400 kV a 220 kV	16
Obrázek 3: Německo – postupné odstavování jaderných elektráren.....	26
Obrázek 4: Jeden z PST transformátorů v Hradci u Kadaně.....	27
Obrázek 5: Propojení ČR s okolními PS [31].....	31

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Black-outy ve světě.....	23
Tabulka 2: Vyčíslení škod.....	28
Tabulka 3: Ekonomické ztráty pro ČR po black-outu	34