



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

Krizová připravenost vybraného zdravotnického zařízení na blackout

Crisis Preparedness of Selected Medical Facility for Blackout

Diplomová práce

Studijní program: Civilní nouzové plánování

Studijní obor: Civilní nouzové plánování

Autor diplomové práce: Bc. Adam Linhart, DiS.

Vedoucí diplomové práce: MUDr. Jan Bříza, CSc., MBA

Kladno 2022



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Linhart** Jméno: **Adam** Osobní číslo: **503666**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**
Studijní program: **Civilní nouzové plánování**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Krizová připravenost vybraného zdravotnického zařízení na Blackout

Název diplomové práce anglicky:

Crisis Preparedness of Selected Medical Facility for Blackout

Pokyny pro vypracování:

Předmětem diplomové práce bude analýza připravenosti Všeobecné fakultní nemocnice v Praze na provoz oddělení ARO, JIP a operačních sálů při výpadku dodávek elektrické energie – blackout. Teoretická část se bude zabývat současným stavem připravenosti nemocnice na blackout. Budou definovány základní pojmy týkající se orgánů krizové připravenosti ve zdravotnictví, potřebná dokumentace a elektrotechnické předpisy. Budou popsány a porovnány systémy zodpovědné za záložní dodávku elektrické energie ve zdravotnickém zařízení. V praktické části bude pomocí metody SWOT a What-if analyzována technická vybavenost záložních zdrojů pro řešení dlouhodobého výpadku elektrické energie a krizová připravenost nemocnice. Na základě výsledků analýzy budou navržena opatření ke snížení rizik. Výstupem práce budou doporučení pro zajištění a zlepšení soběstačnosti zdravotnického zařízení při dlouhodobém výpadku dodávek elektrické energie.

Seznam doporučené literatury:

- [1] MAULE, Petr, Energetická bezpečnost v aktualizované Státní energetické koncepci České republiky: úloha rozvoje decentralizovaných energetických zdrojů, ed. 1, Plzeň: Česká fotovoltaická asociace, 2015, 135 s., ISBN 978-80-906281-0-6
- [2] HROMADA, M. et. al., Ochrana kritické infrastruktury ČR v odvětví energetiky, Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2014, ISBN 978-80-7385-144-6
- [3] ŘEHÁK, D., Kritická infrastruktura elektroenergetiky: určování, posuzování a ochrana, Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2013, ISBN 978-80-7385-126-2

Jméno a příjmení vedoucí(ho) diplomové práce:

MUDr. Jan Bříza, CSc. MBA

Jméno a příjmení konzultanta(ky) diplomové práce:

Mgr. Pavel Böhm, Ph.D., MBA

Datum zadání diplomové práce: **04.10.2021**

Platnost zadání diplomové práce: **22.09.2023**

doc. Mgr. Zdeněk Hon, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA
děkan

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem práci s názvem Krizová připravenost vybraného zdravotnického zařízení na blackout vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Praze dne 10.05.2022

.....

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce MUDr. Janu Břízovi, CSc., MBA a konzultantovi Mgr. Pavlu Böhmovi, Ph.D., MBA za velmi cenné rady, podněty a připomínky při zpracování mé diplomové práce.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá připraveností Všeobecné fakultní nemocnice v Praze na dlouhodobý výpadek elektrické energie. Je zkoumáno, jakým způsobem jsou zajištěny dodávky elektrické energie v případech výpadku.

V teoretické části práce jsou popsány pojmy z oblasti energetiky související s výrobou a distribucí elektrické energie. Dále jsou popsány pojmy z oblasti krizové připravenosti a pojmy z oblasti fotovoltaiky.

V praktické části práce jsou pomocí metody What-if zpracovávána data, která byla získána provedením polostrukturovaných rozhovorů. Dále je pomocí metody SWOT hodnocena využitelnost navrženého fotovoltaického systému jakožto záložního zdroje pro nemocniční kuchyň.

Výsledky práce ukazují, že důležité obvody nemocnice jsou spolehlivě zálohovány pomocí systémů nepřerušitelného zdroje napájení a dieselaagregátů na zhruba 23 hodin provozu v nouzovém režimu.

Fotovoltaický systém pro nemocniční kuchyň se jeví, za určitých podmínek, jako spolehlivý záložní zdroj.

Klíčová slova

blackout; zdravotnické zařízení; výpadek; náhradní zdroj; fotovoltaika

ABSTRACT

This master thesis evaluates the preparedness of Všeobecná fakultní nemocnice v Praze for a long-term blackout and analyses the current plan of power supplies in case of blackout situations.

In the literature review, the author describes the terminology related to production and distribution of electricity, crisis management, and photovoltaics.

In the empirical part of the thesis, the author leverages What-If analysis to process data that were collected using semi-structured interviews. Furthermore, the SWOT analysis evaluates the implementation of the photovoltaic system and its rentability as a backup source for the hospital kitchen.

The thesis concludes that the critical departments of the hospital are sufficiently backed up to up to 23 hours of continuous electricity supply during a blackout by uninterruptible power supply systems and diesel generator.

A photovoltaic system for a hospital kitchen appears, under certain conditions, to be a reliable backup source.

Keywords

Blackout; Medical Facility; Outage; Alternative Source; Photovoltaics

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Cíle práce a hypotézy	10
2.1	Hypotézy.....	10
3	Přehled současného stavu.....	11
3.1	Kritická infrastruktura	11
3.1.1	Pojmy kritické infrastruktury	12
3.2	Energetika	14
3.2.1	Energetická bezpečnost	14
3.2.2	Elektrizační soustava	17
3.2.3	Přenosová soustava.....	17
3.2.4	Distribuční soustava	19
3.3	Energetický blackout.....	20
3.3.1	Rizika vzniku	21
3.3.2	Historie blackoutu.....	22
3.3.3	Cvičení blackout v České republice.....	26
3.4	Fotovoltaika.....	27
3.4.1	Fotovoltaické systémy	29
3.4.2	Akumulátory.....	30
3.4.3	Sluneční podmínky v České republice.....	31
3.5	Všeobecná fakultní nemocnice v Praze	32
3.5.1	Charakteristika nemocnice.....	32

3.5.2	Krizová připravenost	32
3.5.3	Krizový štáb	33
3.5.4	Havarijní plán pro přerušení dodávek elektrické energie	36
3.5.5	Havarijní plán pro zajištění stravy pro pacienty	37
3.5.6	Evakuační plán	37
3.6	Náhradní zdroje elektrické energie.....	38
3.6.1	Dělení obvodů dle priorit.....	41
3.6.2	Nepřerušitelné zdroje napájení	42
3.6.3	Dieselagregáty	46
4	Metodika.....	48
4.1	Navrhované řešení	50
4.2	SWOT analýza.....	57
4.2.1	SWOT Silné stránky	58
4.2.2	SWOT Slabé stránky	61
4.2.3	SWOT Příležitosti	63
4.2.4	SWOT Hrozby.....	66
4.2.5	SWOT Vyhodnocení	68
4.3	Metoda What-if	73
5	Výsledky.....	77
6	Diskuze	80
7	Závěr	89
8	Seznam použité literatury	90
9	Seznam použitých obrázků	95
10	Seznam použitých tabulek.....	96

1 ÚVOD

V této diplomové práci se budeme zabývat připraveností Všeobecné fakultní nemocnice v Praze na dlouhodobý výpadek dodávek elektrické energie. Současná společnost je prakticky závislá na elektrické energii, narušení jejich dodávek by tak ochromilo normální funkčnost společnosti jako takové. Lokální výpadek elektrické energie v řádech desítek minut zažil téměř každý. V této diplomové práci se však budeme zabývat výpadkem rozsáhlým, takzvaným blackoutem. Na rozdíl od jiných komodit je u dodávek elektrické energie potřeba zachovat rovnováhu mezi její aktuální spotřebou a výrobou. Při narušení této rovnováhy může dojít ke kaskádovitému efektu a následnému výpadku. Současně se v této práci zaměříme na velmi aktuální téma obnovitelné zdroje energie a jejich využitelnost. V dnešní době je čím dál více populární provozování vlastních solárních elektráren na střeších rodinných domů, které slouží nejen ke snížení provozních nákladů na chod domácností, ale v některých případech, při použití bateriových úložišť, mohou sloužit i pro zajištění elektrické soběstačnosti v případech blackoutu. V této diplomové práci budeme analyzovat výhody a nevýhody pořízení solární elektrárny pro potřeby Všeobecné fakultní nemocnice v Praze, konkrétně pro nemocniční kuchyň, jakožto způsobu zajištění dodávek elektrické energie při jejím výpadku. Pravděpodobnost vzniku krizové situace rozměrů blackoutu je spekulativní, nicméně určité riziko existuje a z nedávné historie dokonce známe několik případů významných výpadků elektrické energie, způsobených různými vlivy, které zasáhly miliony lidí, a nepřímo tak ohrožovaly jejich zdraví a životy. Proto je potřeba se na podobné situace připravit. Důležitost připravenosti pak roste zejména pro instituce, jejichž funkčnost, respektive nefunkčnost by za těchto situací měla zásadní vliv na životy a zdraví občanů.

2 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY

Cílem diplomové práce je zhodnotit připravenost Všeobecné fakulní nemocnice v Praze na rozsáhlý výpadek elektrické energie a zhodnotit případnou efektivitu a přínosy solární elektrárny, vybudované v prostorách areálu nemocnice, při dlouhodobém výpadku elektrické energie. Výstupem analýzy jsou doporučení pro zlepšení připravenosti, zvýšení soběstačnosti a snížení nákladovosti nemocnice v souvislosti s elektrickou energií.

2.1 Hypotézy

Hypotéza 1 – Jednotky intenzivní péče, operační sály a anesteziologicko-resuscitační oddělení jsou připraveny na dlouhodobý výpadek elektrické energie.

Hypotéza 2 – Vybudování fotovoltaické elektrárny zajistí částečnou energetickou soběstačnost nemocniční kuchyně v době výpadku elektrické energie.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU

3.1 Kritická infrastruktura

Ochranou kritické infrastruktury se rozumí proces zohlednění všech hrozeb a rizik, který směřuje k zajištění funkčnosti subjektů kritické infrastruktury a vazeb mezi nimi. Systémem ochrany kritické infrastruktury se mnohé státy začaly intenzivně zabývat po teroristických útocích na Světové obchodní centrum v New Yorku v roce 2001 a také po podobných teroristických útocích vedených na Madrid v roce 2004 a Londýn v roce 2005. Z těchto událostí vyplynulo, že narušení kritické infrastruktury znamená vážné ohrožení bezpečnosti, zdraví a životů občanů. V rámci kritické infrastruktury by měla být samozřejmostí ochrana vybraných objektů proti jakémukoliv napadení. Pro objekty spadající pod kritickou infrastrukturu je nezbytné, aby nebyla narušena jejich funkčnost v případě mimořádné události, krizové situace nebo například při teroristickém činu. Poškození prvků kritické infrastruktury na úrovni zabezpečení by vedlo nejen k emocionálním a morálním škodám, ale především ke škodám na lidském zdraví či životech občanů a majetku. Za prvky kritické infrastruktury se považují systémy jako například telekomunikace, informační technologie, energetika, bankovníctví, finance, doprava, veřejná správa apod. Podmínky pro učení prvku kritické infrastruktury jsou definovány v nařízení vlády o kritériích k určení prvku kritické infrastruktury č. 432/2010 Sb. (Nařízení vlády č. 432; Hromada 2014; Strohmandl 2013)

3.1.1 Pojmy kritické infrastruktury

Kritická infrastruktura – „je definována jako prvek kritické infrastruktury nebo systém prvků kritické infrastruktury, narušení jejichž funkce by mělo závažný dopad na bezpečnost státu, zabezpečení základních životních potřeb obyvatelstva, zdraví osob nebo ekonomiku státu“ (Zákon 240/2000 Sb., § 2).

Evropská kritická infrastruktura – „je kritická infrastruktura na území České republiky, jejíž narušení by mělo závažný dopad i na další členský stát Evropské unie“ (Zákon 240/2000 Sb., § 2).

Prvek kritické infrastruktury – „jedná se zejména o stavbu, zařízení, prostředek nebo veřejnou infrastrukturu, určenou podle průřezových a odvětvových kritérií. Pokud je prvek kritické infrastruktury součástí evropské kritické infrastruktury, lze jej považovat za prvek evropské kritické infrastruktury“ (Zákon 240/2000 Sb., § 2).

Odvětvová kritéria – jsou to technické nebo provozní hodnoty k určování prvku kritické infrastruktury v určitých odvětvích, které jsou uvedeny v příloze k nařízení vlády č. 432/2010 Sb. Zajímavostí v souvislosti se zdravotnictvím je, že v oblasti odvětvových kritérií jsou těmito kritérii určeny za prvek kritické infrastruktury zdravotnická zařízení s 2500 akutními lůžky. (Zákon 240/2000 Sb.) Pro srovnání, Všeobecná fakultní nemocnice v Praze, jakožto jedna z největších nemocnic v České republice, disponuje zhruba 160 akutními lůžky. (Všeobecná fakultní nemocnice v Praze 2015)

Průřezová kritéria – je soubor hledisek pro posuzování závažnosti vlivu narušení funkce prvku kritické infrastruktury. Mezní hodnoty jsou definovány oběťmi na životech, které přesahující 250 mrtvých nebo více než 2500 postižených osob s potřebou následné hospitalizace po dobu delší než 24 hodin. Ekonomický dopad s mezní hodnotou hospodářské ztráty státu vyšší než 0,5 % hrubého

domácího produktu, dopad na veřejnost s mezní hodnotou rozsáhlého omezení poskytování nezbytných služeb nebo jiného závažného zásahu do každodenního života postihujícího více než 125 000 osob. (Zákon 240/2000 Sb.)

Určování prvku kritické infrastruktury – ministerstva vyžadují od právnických osob, které jsou provozovatelé objektů nebo prostředků pro veřejnou infrastrukturu, informace nezbytné k určení prvku kritické infrastruktury, navrhují odvětvová kritéria a předkládají je Ministerstvu vnitra. Ministerstvo vnitra navrhuje průřezová kritéria a tvoří seznam prvků kritické infrastruktury, jejichž provozovatelem je organizační složka státu. Vláda stanoví výsledná odvětvová a průřezová kritéria pro určování prvků kritické infrastruktury a na základě seznamu předloženém Ministerstvem vnitra zpracuje seznam prvků kritické infrastruktury jejichž provozovatelem je organizační složka státu. Pokud provozovatelem není organizační složka státu, pak ministerstva a Česká národní banka určí opatřením obecné povahy prvky kritické infrastruktury a následně o tom informují Ministerstvo vnitra. (Zákon 240/2000 Sb.; Strohmandl 2013)

3.2 Energetika

Na území České republiky je energie získávána především z neobnovitelných zdrojů, konkrétně z vlastních zásob hnědého a černého uhlí. Dalším hlavním producentem energie na našem území jsou jaderné elektrárny. Zemní plyn představuje také významný energetický zdroj, využívaný především pro výrobu tepla. Avšak i na přísunu zemního plynu a například i ropy je Česká republika plně závislá na ostatních státech, které disponují zdroji těchto komodit. Rizikem pro stát tak může být narušení dodávek těchto surovin například vlivem nepříznivé politické situace. V posledních letech je kladen důraz na využívání obnovitelných zdrojů elektrické energie. V roce 2018 bylo obnovitelnými zdroji pokryto zhruba jen 10 % celkové spotřeby v České republice. (Beran 2018)

3.2.1 Energetická bezpečnost

V současnosti jsou služby poskytované energetickým segmentem klíčové pro zachování funkčnosti veškeré infrastruktury a pro uspokojení potřeb obyvatelstva republiky. Dominantní a nenahraditelné postavení v rámci tohoto segmentu zaujímá elektrická energie. Energetickou bezpečnost definujeme jako zajištění kontinuity nezbytných dodávek energie a energetických služeb pro zajištění základních potřeb pro fungování státu, pro zajištění zdraví a životů osob, ochranu majetku a životního prostředí. Z tohoto hlediska jsou pro zajištění energetické bezpečnosti nezbytné dokumenty pro stanovení bezpečnostních hrozeb. Ty můžeme rozdělit podle původu jejich vzniku na naturogenní a antropogenní. (Řehák 2013; Vlček 2012)

- **Naturogenní hrozby** – zemětřesení, živelné pohromy, přirozené povodně, sněhové kalamity, rozsáhlé požáry.
- **Antropogenní hrozby** – technologické havárie, dopravní nehody, terorismus, zvláštní povodně.

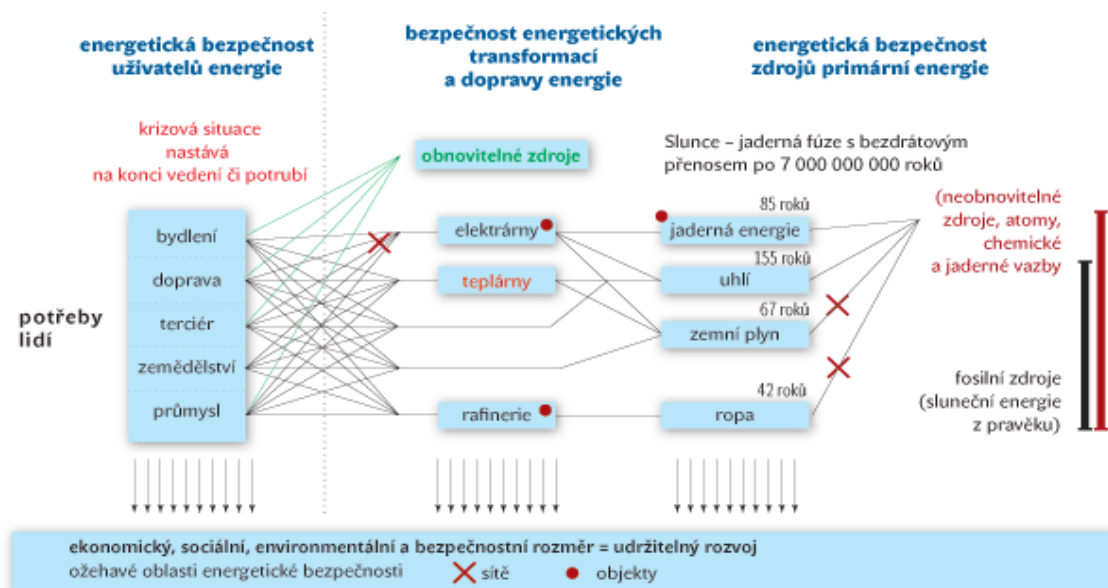
Energetickou bezpečnost lze dále dělit podle jednotlivých subsystémů energetiky:

- **Bezpečnost zajištění energetických zdrojů**
- **Bezpečnost energetických transformací a dopravy energie**
- **Energetická bezpečnost konečných uživatelů energie**

V další části této diplomové práce bude věnována pozornost především bezpečnosti konečných uživatelů se zaměřením na zabezpečení elektrické energie. (Řehák 2013; Hrubý 2015)

V roce 2015 schválila vláda České republiky svým usnesením strategický dokument Státní energetickou koncepcí do roku 2040, jejíž hlavním cílem je zajistit bezpečnou, udržitelnou, spolehlivou a pro životní prostředí šetrnou dodávku energie pro potřeby obyvatelstva a ekonomiky České republiky. Mezi zásadní strategické priority definované v tomto dokumentu patří zajištění energetických potřeb České republiky všemi dostupnými tuzemskými energetickými zdroji a udržení dostatečných strategických rezerv těchto zdrojů. Dalším strategickým milníkem je posílení síťové infrastruktury mezi zeměmi střední Evropy a také zvýšení energetické účinnosti pro dosažení vyšších úspor energie. Z hlediska této diplomové práce je nejzásadnějším cílem posílení

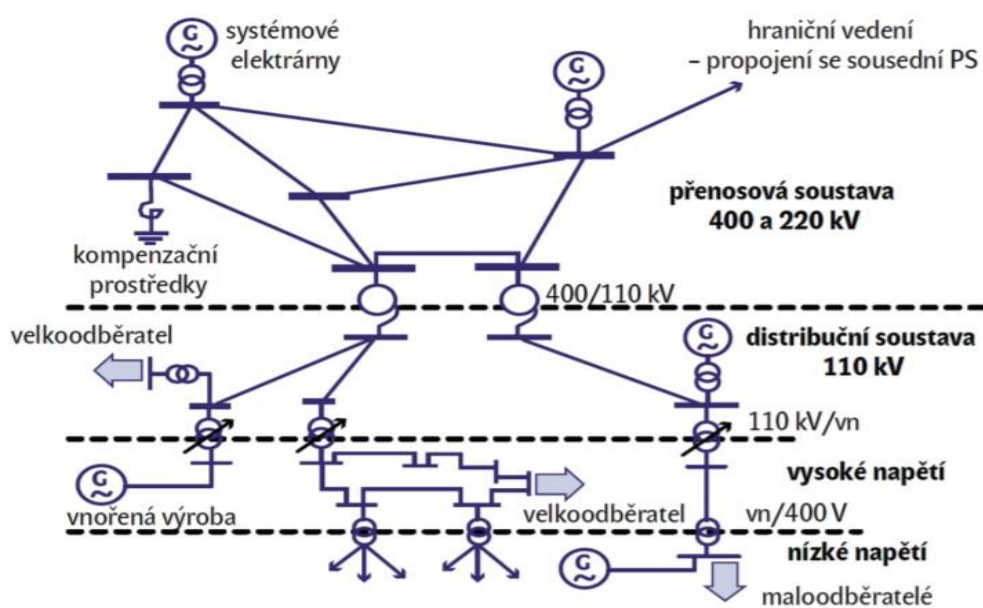
energetické bezpečnosti České republiky v kontextu schopnosti zajištění nezbytných dodávek energie v krizových situacích, při kumulaci poruch, útocích proti kritické infrastruktuře a v případě dlouhotrvajících krizí zásobování palivy. Strategickým cílem v rámci Státní energetické koncepce v oblasti energetické bezpečnosti je zajistit alespoň nezbytné dodávky energií v případě kumulace poruch a v případech déle trvajících krizí v zásobování palivy. Dalším z dílčích strategických cílů s ohledem na energetickou bezpečnost je podpora rozvoje ostrovních systémů a jejich schopnosti zajistit dodávky energie v rozsahu potřebném alespoň pro zachování funkčnosti kritické infrastruktury a pro zajištění základních potřeb obyvatelstva v době rozsáhlých poruch systému vlivem živelných pohrom nebo teroristických útoků. (Hrubý 2015; Ministerstvo průmyslu a obchodu 2015)



Obrázek 1 Vztah energetického systému a bezpečnosti (Ministerstvo průmyslu a obchodu 2015)

3.2.2 Elektrizační soustava

Elektrizační soustava slouží pro přenos a následný rozvod elektrické energie. V principu se jedná o spojení míst spotřeby elektrické energie s místy její výroby. V České republice je hlavním výrobcem elektrické energie ČEZ. Elektrizační soustavu tvoří elektrické stanice, výroby elektrické energie a elektrické sítě, její schéma je znázorněno na obrázku níže. Elektrizační soustavu dělíme na přenosovou a distribuční soustavu. (Toman 2011; Máslo 2013)

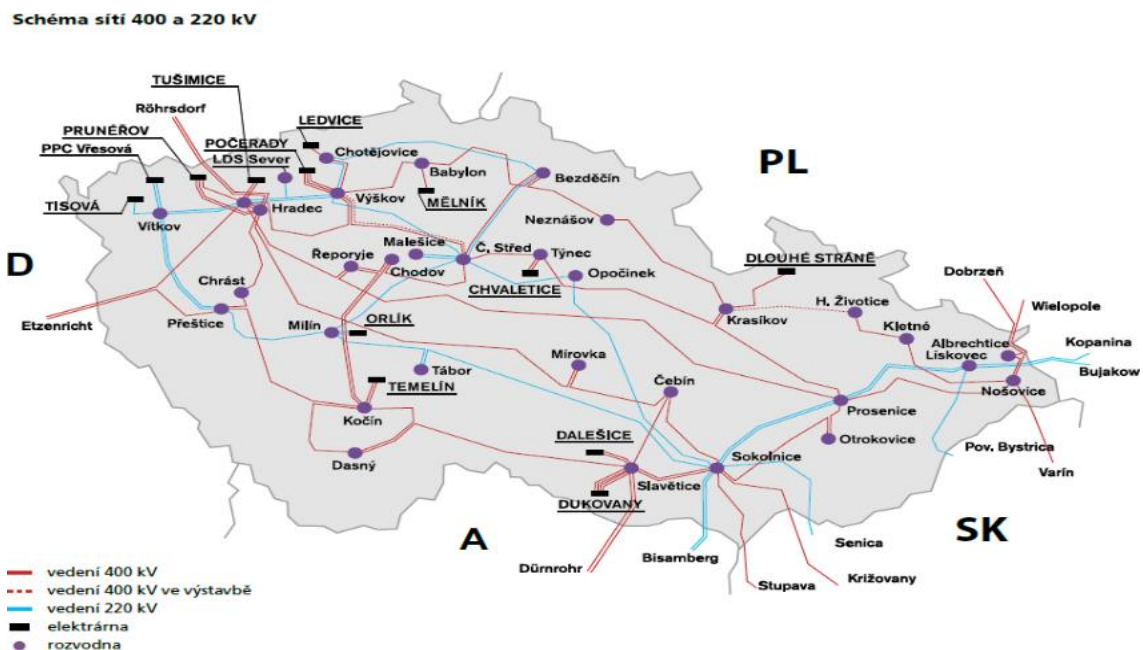


Obrázek 2 Uspořádání elektrizační soustavy (Toman 2011)

3.2.3 Přenosová soustava

Přenosová soustava České republiky je součástí celoevropské elektroenergetické soustavy jejíž výhradním provozovatelem na území České republiky je společnost ČEPS, a.s. Ta tak činí na základě úřední licence od Energetického regulačního úřadu podle zákona 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů. Společnost ČEPS, a.s. poskytuje v rámci elektrizační soustavy řadu služeb – například systémové a přenosové služby, dispečerské řízení, nebo

také provádí správu technické infrastruktury. Systémovými službami společnost zajišťuje spolehlivost a kvalitu dodávek elektrické energie, k čemuž přispívá i dispečerské řízení, které probíhá přímo v technickém dispečinku společnosti. Přenosová soustava zajišťuje přenos elektrické energie po vodičích na velké vzdálenosti, její schéma je znázorněno na obrázku níže. V České republice se pro přenos používají převážně dvě napěťové úrovně, a to 220 kV a 400 kV, ve vybraných vedeních pak i 110 kV. Jedná se o vedení propojující výrobce elektrické energie s přenosovou soustavou jejíž součástí je 42 rozvodnů a 75 transformátorů. Přenosové soustavy v České republice jsou navrhovány a chráněny podle protokolu N-1, což znamená, že přenosová síť je schopna se vyrovnat s výpadkem jednoho prvku soustavy (transformátor, vedení, blok apod.), přičemž může dojít ke krátkodobému lokálnímu omezení spotřeby. Nicméně výpadek dvou a více strategických prvků by už ohrozil funkčnost celé soustavy. Toto pravidlo neplatí u provozu jaderných elektráren, které musí být schopny bezpečně vyvést instalovaný výkon i při poruše dvou vývodů. (TZB-info 2016; Honiš 2013; Máslo 2013)



Obrázek 3 Schéma přenosové soustavy České republiky (TZB-info 2016)

Společnost ČEPS, a.s. vypracovává Plány na obranu proti šíření poruch v přenosové soustavě. Úkolem těchto plánů je vytvořit opatření, která zamezí zejména kaskádovitému šíření poruchy, přetížení sítě, výkyvům frekvence a napětí a zabrání šíření či zhoršení mimořádné události ve vnitrostátní soustavě a zamezí rozšíření stavu blackoutu do jiných soustav. Na Plán obrany navazuje Plán obnovy, který obsahuje postupy vedoucí ke zkrácení doby výpadku. (ERU 2020; TZB-info 2016)

3.2.4 Distribuční soustava

Distribuční soustava slouží k distribuci výkonu ke konečným odběratelům. Jedná se o propojovací článek mezi přenosovou soustavou a místy odběru elektrické energie. Provozovatelé distribuční soustavy transformují velmi vysoké napětí přijímané z přenosové soustavy na napětí 110 kV a přes napěťovou hladinu 22 kV až na úroveň velmi nízkého napětí 230 V a 400 V, které přijímají končení odběratelé. Provozovatelem distribuční soustavy jsou v České republice tři společnosti. E.ON Distribuce, a.s., PRE Distribuce, a.s., ČEZ Distribuce, a.s. Distribuční soustava je tvořena vzájemně nepropojenými oblastmi, které se svým zapojením vzájemně neovlivňují. Jsou napájeny z přenosové soustavy jedním nebo více transformátory zapojenými paralelně. Přenosovou soustavu ovlivňují pouze svým odběrem výkonu nebo naopak jeho dodáním. Při výpadku vedení či transformátoru musí převzít jeho zatížení paralelní vedení či transformátor, pokud není paralelní prvek k dispozici musí se zajistit napájení z jiné oblasti, jinak by došlo k výpadku elektrické energie pro odběratele. (Řehák 2013; TZB-info 2016)

3.3 Energetický blackout

Blackout, spojení dvou anglických slov celosvětově používané pro pojmenování úplného výpadku dodávek elektrické energie. V České republice je blackout definován v typových plánech pro krizové situace jako narušení dodávek elektrické energie velkého rozsahu. Pro dnešní společnost, která je na dodávkách elektrické energie prakticky závislá, je blackout značnou hrozbou. V případě vzniku takové situace by prakticky ihned došlo k ochromení průmyslu, kolejové dopravy, ke ztrátě mobilního signálu, signálu internetu, ale i k narušení dodávek vody, plynu apod. Škody vzniklé vlivem blackoutu bývají větší na okolí než škody na samotném energetickém zařízení. Dlouho trávající výpadek by měl negativní vliv nejen na ekonomiku celého státu, ale i negativní vliv na zdraví a životy občanů. Příčiny vzniku blackoutu mohou být různého charakteru, od přírodních vlivů, technických závad až po teroristické útoky. (Mareš 2013; Beneš 2015)

Z pohledu krizového řízení lze definovat tři stupně blackoutu, které jsou odstupňovány dobou trvání výpadku. Při prvním stupni blackoutu nejde o velké poškození na přenosové soustavě, výpadek trvá v řadu minut či hodin. Blackout druhého stupně může trvat v řadu dnů. Bývá spojen s poruchou části přenosové soustavy. Dojde-li k poškození více než jednoho kritického prvku přenosové soustavy, může oprava poškozených vedení a zprovoznění dodávky elektřiny trvat i několik dnů až týdnů. Blackout třetího stupně může nastat při poruše, poškození kritických prvků přenosové soustavy, jejichž oprava je časově nejnáročnější. Zpravidla se jedná o transformátory. Blackout při jejich destrukci může trvat v řadu týdnů. (Beneš 2015; Mareš 2013)

3.3.1 Rizika vzniku

Jak bylo již výše uvedeno, blackout může způsobit výpadek některého prvku elektrizační soustavy. Podle bezpečnostního kritéria N-1 by vznik jedné negativní události neměl zapříčinit rozsáhlý výpadek. Pokud však nedojde k adekvátnímu napravení prvotní negativní situace, může dojít ke kaskádovitému šíření přetížení a vzniku blackoutu. V současnosti jsou na území České republiky používány pro výrobu elektrické energie jaderné elektrárny, elektrárny spalující plyná, kapalná a tuhá paliva, vodní elektrárny a elektrárny využívající obnovitelné zdroje energie. Nejvyšší obranyschopnost mezi těmito výrobny vykazují elektrárny jaderné, které jsou schopné odolat jak živelným pohromám, tak i teroristickým útokům. Rozsáhlejší poškození hlavního výrobního bloku by však mohlo elektrárnu odstavit z provozu, což by mohlo vést k výpádkům v elektrizační soustavě. U elektráren na fosilní paliva by jakékoliv narušení krizových struktur výroby mohlo vést k havárii. U vodních elektráren jsou z hlediska přírodních pohrom nejrizikovější povodně velkého rozsahu. Vlivem stoupajících hladin vodních toků by mohlo dojít ke zrušení výškového rozdílu hladin, který výrobu elektřiny umožňuje. U určitých výroben elektrické energie je také zapotřebí zvažovat potřebu dodávek paliv, popřípadě skladovací zásoby jednotlivých elektráren. Elektrárny na tuhá a kapalná paliva jsou schopny udržovat zásoby paliv na několik dní, v zimních obdobích v řádech týdnů. (Beneš 2015; Ministerstvo průmyslu a obchodu 2018)

Přenosová a distribuční soustava je nejvíce náchylná na poškození přírodními vlivy, ale i na cílené teroristické útoky. Největší hrozba pro přenosovou soustavu je vítr dosahující vysokých rychlostí, který může svým působením na stožáry vysokého napětí zapříčinit jejich vyvrácení nebo porušení drátů vedení. Dalším naturogenním rizikovým faktorem je sníh, který zapříčiní to, že dráty vysokého napětí mohou být v zimních obdobích pod tíhou jak sněhu, tak námrazy strženy. Povodně mohou přenosovou soustavu ohrozit nepřímo. Vlivem povodní v roce

2002 byla podemleta půda pod podpůrným stožárem, což zapříčinilo jeho pád a poruchu přenosové soustavy. Riziko vzniku nežádoucí události v oblasti elektroenergetiky může působit i vliv lidského faktoru na úrovni dispečerského řízení. Vznik poruchy dispečerského řízení vždy znamená prodloužení doby obnovení dodávky elektřiny, přičemž kolaps celého řídicího systému by měl pro elektroenergetiku význam zcela zásadní. Hrozba blackoutu pro Českou republiku může být i fakt, že naše přenosová soustava má mezinárodní přesah. Například v Německu při silném větru vyrobí větrné elektrárny velké množství energie, která protéká naší elektrizační soustavou, což může nárazově ovlivnit rovnováhu mezi spotřebou a výrobou, a to může vést ke vzniku výpadku. Konkrétně tato situace byla reálná na přelomu let 2011 a 2012, kdy dispečerů provozovatele přenosové soustavy nebyli schopni několik hodin kvůli nadměrné produkci větrných elektráren Německa, dodržet normu N-1. Pokud by v této kritické situaci došlo k výpadku jakékoliv prvku elektrizační soustavy došlo by k rozsáhlému blackoutu. (Ministerstvo průmyslu a obchodu 2018; Beneš 2015; Brehovská 2011)

3.3.2 Historie blackoutu

Tabulka 1 Historie blackoutu (Autor)

Místo a čas	Doba	Postiženo obyvatel (mil.)	Příčina
Auckland 1996	36 dní	1	Technická závada
Indie 2012	12 hodin	600	Technická závada
Krym 2015	4 dny	2	Teroristický útok

Krym 2015

Nejspíše jako součást protestu proti připojení Krymu k Rusku byl i teroristický útok na stožáry vysokého vedení, který způsobil výpadek dodávek elektrické energie na Krym, které byly kompletně obnoveny až po zhruba měsíci (Radiožurnál 2015).



Obrázek 4 Poškození stožáru vysokého napětí (Radiožurnál 2015)

Auckland 1996

V roce 1998 zasáhl rozsáhlý blackout město Auckland na Novém Zélandu, který trval rekordních 36 dní. Souhrou nešťastných událostí přišlo město o všechny čtyři kabely vysokého napětí, které zajišťovaly hlavní přívod elektrické energie. Ihned po výpadku se bez funkčních náhradních zdrojů ocitla například i univerzita spolu s 30 000 studenty, která záložní diesela agregáty měla, ale ty nebyly schopné pokrýt její potřebu. Některé městské nemocnice byly nuceny zavřít provoz. V hlavní aucklandské nemocnici selhal záložní generátor a celé dětské oddělení bylo bez proudu. Energetická společnost Mercury Energy začala do města svážet z celého ostrova diesellové generátory, jejichž spotřeba byla téměř milion litrů nafty denně, čímž se ve městě významně zhoršila kvalita ovzduší. Výsledná situace měla dopad na více než milion obyvatel. Blackout se významně projevil na celkové ekonomice města. Problém nastal prakticky ve všech odvětvích – netekla voda, potraviny se rychle kazily, zvýšila se kriminalita.

V novodobé historii nejsou případy podobně rozsáhlého výpadku elektrické energie časté. Nicméně nám tato situace může stále sloužit jako příklad při posuzování možných rizik. (Brehovská 2011; Oenergetice.cz 2015)

Indie 2012

Výpadek elektrické energie, který historicky zasáhl největší počet lidí, se stal koncem července roku 2012 v Indii. Některé zdroje uvádějí, že v danou chvíli mohlo být postiženo až 600 milionů obyvatel Indie. Důvodem takto rozsáhlého výpadku byla nedostatečná kapacita tamní přenosové soustavy a významné překračování odběru elektrické energie velkými odběrateli. Blackout se zde rozdělil do dvou částí, kdy příčina vzniku první části, tedy výpadek 400 kV přenosové linky, byla ještě tentýž den vyřešena. Druhá část blackoutu proběhla druhý den a výpadek se opakoval. (Moravec 2015; Oenergetice.cz 2015)

Blackout v Česku

V České republice bylo v historii několik situací, které hraničily se vznikem rozsáhlého blackoutu, ke kterému však nikdy nedošlo. V naší historii jsou známy pouze lokální, dočasné výpadky dodávek elektřiny způsobené různými druhy mimořádných událostí. V roce 2006 byl společností ČEPS a.s. vyhlášen nouzový stav v energetice. Při této situaci nebylo obyvatelstvo České republiky omezeno na dodávkách elektřiny, omezení se týkalo pouze velkých odběratelů, kteří byli nuceni omezit spotřebu v důsledku přetížení sítě v sousedních státech. Největší komplikace v sektoru energetiky způsobil orkán Kyrill v roce 2007 a orkán Emma roku 2008. První zmiňovaný způsobil na území České republiky významné škody v distribuční soustavě. Orkán poničil více jak 2000 sloupů elektrického vedení, což mělo dopad zhruba na 1,5 milionu obyvatel, kteří zůstali bez dodávek elektřiny několik desítek hodin. V roce 2008 poničil silný vítr zhruba 2,6 kilometru vedení. Oprava trvala necelých 13 dní a škody byly vyčísleny na 150

milionů korun. Obrázek níže znázorňuje příklad škod způsobených tímto orkáнем. (ČEZ Distribuce 2017)



Obrázek 5 Následky orkánu Kyrill (ČZE Distribuce 2017)

3.3.3 Cvičení blackout v České republice

Praha 2014

Cvičení proběhlé 26.2.2014 na území hlavního města Prahy mělo prověřit připravenost orgánů krizového řízení, složek integrovaného záchranného systému a vybraných prvků kritické infrastruktury na rozsáhlý výpadek dodávek elektrické energie. Cílem cvičení bylo také ověřit schopnost zásobování teplem, vodou, plynem a dalšími dodávkami pro zabezpečení potřeb obyvatelstva po dobu výpadku. Cvičení BLACKOUT 2014 bylo přínosné především v získání povědomí o dopadech na život občanů hlavního města při dlouhodobém výpadku elektrické energie. Dále svým rozsahem poukázalo na nutnost zkvalitnění plánovacích dokumentů, konkrétně pak plánu Narušení dodávek elektrické energie na území hlavního města Prahy a dalších dokumentů souvisejících s Krizovým plánem Prahy. Praha nemá v současné době na svém území žádný vhodný zdroj veřejného krizového ostrovního provozu, který by byl schopen zajistit nouzové zásobování elektřinou v případě déletrvajících výpadků přenosové soustavy České republiky. Studie společnosti PRE Distribuce a.s. uvádí, že pro krizový ostrovní systém, který by zajistil elektrickou energii pro fungování kritické infrastruktury a zajistil také energii pro základní potřeby obyvatelstva města, by měl mít systém instalovaný výkon alespoň 300 MW. Vytvoření krizového ostrovního systému by znamenalo pro Prahu vytvoření energetické soběstačnosti a zásadní zmírnění případných negativních následků, jak primárních, tak sekundárních. Tento systém by pomohl zajistit i dostatek elektrické energie pro celé nemocnice, kde by nemusel být jejich provoz následně omezen. (Výpadek elektřiny 2014)

3.4 Fotovoltaika

Fotoelektrický jev byl objeven v roce 1839 francouzským fyzikem Alexandrem Edmondem Becquerelem. V roce 1958 bylo poprvé využito fotovoltaických článků k napájení vesmírné družice. Fotovoltaický jev je způsob přeměny slunečního záření na elektřinu. Jedná se o uvolňování elektronů z látky v důsledku absorpce elektromagnetického záření látkou. Absorpce je způsobena interakcí světla (fotony) s částicemi hmoty (elektrony a jádru). Aby mohl fotovoltaický článek fungovat, je zapotřebí aby foton slunečního záření uvolnil v látce elektron a umožnil tak vznik pár elektron – díra. V kovech však dochází k téměř okamžité rekombinaci elektronů. Pro zabránění jejich rekombinaci se ve fotovoltaickém článku využívá polovodičů. Dnešní fotovoltaické články nejvíce využívají materiály, které obsahují amorfní křemík, polykrystalický křemík, mikrokrytalický křemík, telurid kadmia a CIGS sloučeniny. Fotovoltaické systémy se dnes využívají několika způsoby, podle druhu zapojení. (Mastný 2011; Staněk 2012; Maule 2015)

Monokrystalické články

Nejpoužívanějším a nejstarším typem jsou články vyráběné z monokrystalického křemíku. Principem jejich výroby je pomalé tažení zárodku krystalu z taveniny velmi čistého křemíku. Tyče monokrystalického křemíku se řežou speciálními drátovými pilami na pláty o tloušťce 0,25-0,35 mm. Po následném opravení povrchu se nanese vrstva fosforu. Články vyrobené touto metodou dosahují za ideálních podmínek účinnosti až 20 %. (Chmel 2016; Staněk 2012)

Polykrystalické články

Tento typ článků se vyrábí odléváním čistého křemíku do připravených forem a následným řezáním křemíkových tyčí na tenké plátky. Tento druh výroby je poměrně finančně šetrnější, ale i účinnost panelů je za ideálních podmínek nižší. Polykrystalický panel sice při ideálním osvětlení nabízí efektivitu zhruba 15 až 17 %, jeho nespornou výhodou ale je, že díky komplikovanější struktuře lépe zachytí světlo přicházející z ostřejších úhlů. (Chmel 2016; Staněk 2012)

Amorfní články

Nejlevnějším typem fotovoltaického článku jsou amorfní články díky nižší spotřebě materiálu křemíku při jejich výrobě. Proces výroby je založen na rozkladu vhodných sloučenin křemíku ve vodíkové atmosféře. Nejčastěji se tenké vrstvy křemíku připravují na plastovou podložku. Účinnost takto vyrobených panelů bývá okolo 11 %. Jejich hlavní výhodou je možnost instalace na nepřilíš nosné konstrukce díky jejich nízké hmotnosti. (Chmel 2016; Staněk 2012)

Články z nanovláken

Hlavní výhodou článků z nanovláken je jejich obrovský měrný povrch. Články tak dokážou absorbovat velké množství slunečního záření a díky tomu jsou schopné efektivně vyrábět elektrickou energii i za zhoršených světelných podmínek a například i při dešti. Výhodou těchto článků je také jejich flexibilita a nízká hmotnost. (Chmel 2016; Staněk 2012)

3.4.1 Fotovoltaické systémy

Autonomní systémy

System Grid-off je systém používaný v místech, kde není dostupná rozvodová síť. Tyto systémy se skládají z fotovoltaických panelů, akumulátorové baterie a ochranného obvodu, který chrání akumulátorovou baterii před nadměrným vybitím nebo přebitím. (Mastný 2011; Staněk 2012)

Systémy spojené se sítí

Systemu Grid-on je možno využít pouze při možnosti připojení do rozvodové sítě. Hlavní výhodou tohoto systému je fakt, že veškerá vyrobená elektrická energie je použita, na rozdíl od systému Grid-off. Připojení do sítě má dvě základní varianty provedení. Zapojení v tzv. zeleném bonusu, toto zapojení se využívá v případech, kdy je převážná část vyrobené elektrické energie využita pro vlastní spotřebu objektu. Další možností připojení do sítě je přes tzv. výkupní tarif. Tento způsob využívají převážně provozovatelé fotovoltaických farem. (Mastný 2011; Staněk 2012)

Systém hybridní

Jde o kombinaci obou výše uvedených systému. Pro provoz tohoto systému je zapotřebí bateriového úložiště pro vyrobenou elektřinu a zároveň připojení do rozvodové sítě. Výhodou tohoto systému je možnost využití výkupního tarifu při maximálním nabití bateriových úložišť. (Mastný 2011; Staněk 2012)

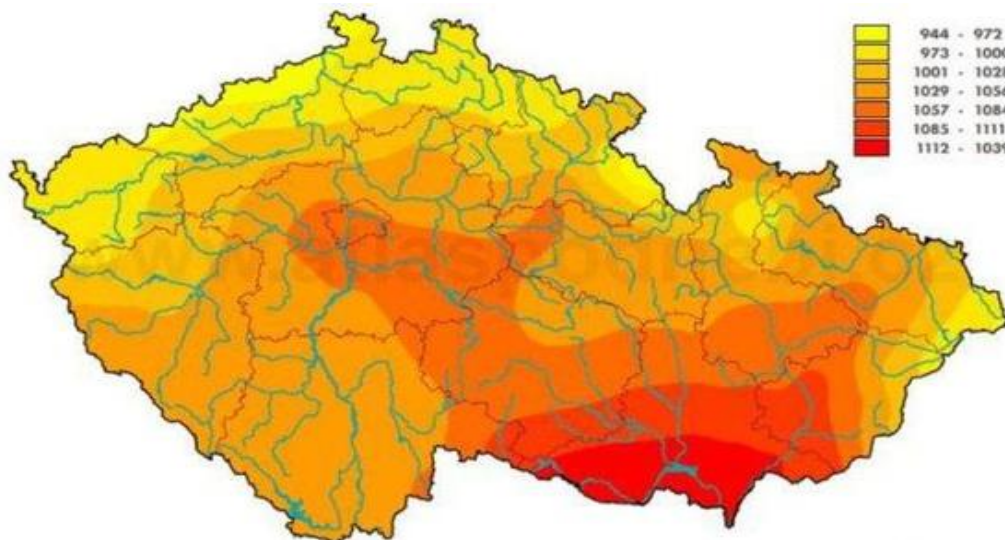
Výhodou fotovoltaického systému je jeho ekologická nenáročnost. V dnešní době se fotovoltaické panely vyrábějí výhradně z recyklovatelných materiálů a jejich provoz neprodukuje žádné zplodiny ani hluk. Jejich hlavní výhodou je, v dnešní době často diskutovaná, emisní stopa, kterou panely při výrobě elektřiny nemají žádnou. Mezi další výhody solárních systémů patří poměrně nízké provozní náklady a dle velikosti a druhu systému i relativně nízké pořizovací náklady, které mohou být i v horizontu několika málo let svou energetickou návratností kompenzovány. Relativní nevýhodou může být potřeba větší plochy pro vybudování systému. (Haselhuhn 2011; Staněk 2012)

3.4.2 Akumulátory

Pro funkčnost systémů v ostrovním režimu je nutné zapojení akumulátorů do celého systému. Akumulátory lze následně využívat jako záložní zdroj energie při jejím výpadku. Olověné akumulátory jsou pro fotovoltaické systémy nejpoužívanější pro jejich nižší pořizovací cenu a poměrně dlouhou životnost. Jejich relativní nevýhodou je jejich nízká hustota energie tzn. jejich vysoká hmotnost. Druhým nejpoužívanějším kovem pro výrobu baterií je lithium. Má velký elektrochemický potenciál, což z něj dělá velmi reaktivní kov. Tyto vlastnosti dávají lithiu potenciál dosáhnout velmi vysoké hustoty energie a výkonu. Jejich hlavní nevýhodou je vysoká pořizovací cena, vysoká reaktivita lithia a degradace jejich celkové kapacity vlivem opotřebení. Rychlost této degradace se zvyšuje s vyšším vybíjecím proudem. Při porušení článku baterie pak jejich vysoká energetická hustota může být paradoxně nevýhodou, jelikož se energie v akumulátoru dokáže velmi rychle přeměnit na teplo a vznítit se. (Chmel 2016; Marek 2014)

3.4.3 Sluneční podmínky v České republice

Hlavním faktorem pro využitelnost fotovoltaické elektrárny je množství slunečního záření, které dopadne na plochu panelů. To samozřejmě ovlivňuje zeměpisná šířka, roční doba, oblačnost a další faktory. Na území České republiky dopadne ročně v přepočtu na 1m² plochy zhruba 950 – 1340 kWh energie. V letních měsících je to zhruba 75 % této hodnoty, zbylých 25 % je pak rozprostřeno do zbývajících ročních období (Energotherm Praha 2021). Podle Českého hydrometeorologického úřadu se množství slunečných hodin pohybuje v rozmezí 1331–1844 hodin za rok. Dle níže uvedeného obrázku je nejteplejším místem České republiky oblast Jižní Moravy, kde je intenzita slunečního záření vyjádřena v kWh/m² nejvyšší. (Energotherm Praha 2021)



Obrázek 6 Roční úhrn slunečního záření (Energotherm Praha 2021)

3.5 Všeobecná fakultní nemocnice v Praze

3.5.1 Charakteristika nemocnice

Všeobecná fakultní nemocnice byla otevřena na základě výnosu o zdravotních ústavech a za jejím vznikem a otevřením roku 1790 stojí císař Josef II. Jedná se o jednu z největších nemocnic v České republice. Všeobecná fakultní nemocnice v Praze je státní příspěvkovou organizací zřizovanou Ministerstvem zdravotnictví České republiky. Úzce spolupracuje s první lékařskou fakultou Karlovy Univerzity, kromě poskytování zdravotních služeb se nemocnice zaměřuje na vědeckou a výzkumnou činnost. Všeobecná fakultní nemocnice v Praze a její jednotlivé kliniky jsou rozmístěny po různých městských částech Prahy s převahou Prahy 2. V současnosti nemocnice představuje 44 klinik a oddělení, které svou činností poskytují lůžkovou, ambulantní i jednodenní péči. Pro poskytování péče pacientům má nemocnice aktuálně 1537 lůžek z toho 227 lůžek intenzivních a 33 lůžek s možností umělé plicní ventilace. (Plán krizové připravenosti 2020; Všeobecná fakultní nemocnice v Praze 2015)

3.5.2 Krizová připravenost

Problematika připravenosti na krizové situace a jejich řešení je zakotvena v zákoně č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon). Krizi můžeme definovat jako moment, při kterém dochází ke střetu s vyvolávajícím faktorem, kterých může být celá řada. Krizovou připraveností zdravotnických zařízení se rozumí jejich schopnost poskytovat zdravotní služby, odborně způsobilými pracovníky, v krizových stavech a při mimořádných událostech. Pro zajištění adekvátní připravenosti je nezbytné krizové plánování, které zajišťuje uplatnění preventivních opatření pro zvládnutí krize. Systém krizového řízení by měl být nástrojem kontinuity fungování zdravotnického

zařízení při všech typech mimořádných událostí a za krizových situací vně i uvnitř zařízení. V rámci zdravotnictví jsou za realizaci procesu krizového řízení a plánování zodpovědné bezpečnostní rady, které jsou orgánem krizového plánování, provádějí analýzu a identifikaci možných rizik a hodnotí stav připravenosti na jejich vznik. Krizový štáb jakožto orgán pro řešení krizových situací, je zodpovědný za řešení konkrétní vzniklé krizové situace. (Štorek 2015; Zákon 240/2000 Sb; Ochrana obyvatelstva a krizové řízení 2015)

Rozlišujeme čtyři úrovně krizového řízení

- Úroveň 0 – standartní funkce zdravotnického systému, běžné poskytování zdravotnických služeb. Bez použití havarijních plánů, s použitím traumatologických plánů.
- Úroveň 1 – připravenost na mimořádné události velikosti hromadného neštěstí, řešeného v rámci integrovaného záchranného systému při uplatnění havarijních plánů.
- Úroveň 3 - připravenost na krizové situace – s vyhlášením krizových stavů a uplatněním krizových opatření podle krizových plánů, se systémem nouzového hospodářství.
- Úroveň 4 - připravenosti na situaci ohrožení státu v souvislosti s vojenským ohrožením – s uplatněním plánů k obraně a se systémem hospodářské mobilizace. (Štorek 2015)

3.5.3 Krizový štáb

Krizový štáb všeobecné fakultní nemocnice v Praze, jakožto poradní orgán ředitele nemocnice, zodpovídá za plnění úkolů spojených s přípravou a řešením mimořádných událostí a krizových situací v rozsahu legislativních a interních

norem. Dílčími úkoly jsou tvorba analýz a vyhodnocení bezpečnostních rizik, plánování, kontrola a hodnocení prováděných činností v souvislosti s přípravou na řešení mimořádných událostí a krizových situací. Mezi další povinnosti krizového štábu patří i příprava zaměstnanců nemocnice na mimořádné události a krizové situace. Vytváření odborných pohotovostních skupin dle potřeb. Koordinuje činnost skupin a pracovišť k zabezpečení efektivního působení určených sil a prostředků k řešení krizových situací. Krizový štáb při vzniku krizové situace provádí monitoring vývoje vzniklé mimořádné události a vede přehled o nasazených silách a prostředcích, přijímá informace o stavu ošetřených osob přijatých do nemocnice při hromadném příjmu. Eviduje volné lůžkové kapacity a materiální prostředky jednotlivých oddělení. V případě žádosti vedoucího krizového štábu hlavního města Prahy nebo Ministerstva zdravotnictví koordinuje zabezpečení zdravotnické pomoci mimo areál nemocnice. Při vzniku krizové situace většího rozsahu udržuje spojení se složkami integrovaného záchranného systému a dalšími orgány podílejících se na řešení konkrétní krizové situace. Prakticky řeší vzniklé nepříznivé události, k jejich řešení používá vypracované havarijní plány a další dílčí dokumenty. Krizový štáb zabezpečuje nepřetržitou informovanost velitele krizového štábu o vývoji krizové situace a o realizovaných a opatřeních. Svolání krizového štábu nemocnice při vyhlášení krizového stavu probíhá na základě výzvy od orgánu krizové připravenosti Ministerstva zdravotnictví nebo na přímou výzvu primátora hlavního města Prahy v případech, kdy dojde k rozsáhlé mimořádné události na území města nebo Středočeského kraje, v případech, kdy mimořádná událost zasahuje pouze areál nemocnice, svolává krizový štáb ředitel nemocnice, popřípadě jeho zástupce a neprodleně o tom informuje orgány krizového řízení Ministerstva zdravotnictví. (Plán krizové připravenosti 2020)

Vedoucím krizového štábu je ředitel Všeobecné fakultní nemocnice v Praze. Mezi hlavní povinnosti vedoucího krizového štábu nemocnice patří schopnost dojezdu na pracoviště krizového štábu, v případě jeho svolání, do 120 minut. Po dosažení místa převezme informace o dosavadním řešení úkolů a stavu aktivace sil a prostředků pro řešení krizové situace. Vedoucí krizového štábu rozhoduje o jeho složení a je oprávněn, v případě potřeby, přizvat k řešení krizové situace odborné pracovníky z řad zaměstnanců nemocnice. Při vzniku krizové situace, která vyžaduje svolání krizového štábu je jeho vedoucí povinen neprodleně tuto skutečnost ohlásit nadřízenému orgánu krizového řízení Ministerstva zdravotnictví a nadále je informovat o vývoji a realizovaných opatřeních a následně naváže spolupráci s krizovým štábem Magistrátu hlavního města Prahy. V případech, kdy hrozí nadlimitní přísun postižených osob do nemocnice, která by nebyla z kapacitních a personálních důvodů schopna tyto pacienty přijmout, je vedoucí povinen tuto skutečnost ohlásit i dispečinku zdravotnické záchranné služby hlavního města Prahy. (Plán krizové připravenosti 2020)

Ostatní členové krizového štábu jsou povinni se dostavit do 120 minut od vyzvání na pracoviště krizového štábu. Následně se pak řídí pokyny vedoucího a příslušným plánem k řešení mimořádné události, pokud je pro danou událost plán vypracován. Každý člen krizového štábu informuje věcně příslušné zaměstnance, v rámci své funkční odpovědnosti, o přijatých opatřeních. Členové poté průběžně vyhodnocují plnění úkolů a přijímají opatření k zabezpečení činnosti zdravotnických nebo pracovních skupin. (Plán krizové připravenosti 2020)

3.5.4 Havarijní plán pro přerušení dodávek elektrické energie

Všeobecná fakultní nemocnice má podle norem zpracován havarijní plán pro různé druhy mimořádných událostí. Účelem havarijního plánu pro přerušení dodávek elektrické energie v nemocnici je definice organizace práce a jednotlivých postupů pro řešení této závažné situace. Všeobecná fakultní nemocnice odebírá na území hlavního města Prahy elektrickou energii od provozovatele distribuční sítě PRE distribuce, a.s. na 10 velkoodběrech ze sítě 22 kV a na 11 maloodběrech ze sítě 0,4 kV. Jakožto záložní zdroje elektrické energie má nemocnice k dispozici 9 dieselaagregátů a 64 bateriových systému nepřerušitelného zdroje napájení. Dieselaagregáty a některé záložní bateriové systémy jsou ve správě elektroúdržby a technického dispečinku nemocnice konkrétní úkoly spojené se správou a údržbou dieselaagregátů jsou detailně popsány v havarijním plánu. Jsou zde popsány i konkrétní postupy pro čerpání a doplňování pohonných hmot do dieselaagregátů. V současné době nemá nemocnice žádné smluvní partnery pro dodávku pohonných hmot. Pro krátkodobé výpadky elektrické energie je nemocnice jištěna na důležitých elektrických okruzích jednotkami nepřerušitelného zdroje energie. Nouzové napájení je zajištěno pro jednotky intenzivní péče, operační sály, jednotky anesteziologicko-resuscitační péče, datacentra, serverovny, statimové laboratoře apod. Náhradními zdroji energie nejsou pokryta všechna pracoviště nemocnice. Bez náhradního zdroje elektrické energie jsou pracoviště psychiatrické kliniky, kliniky adiktologie, kliniky pracovního lékařství, geriatrické a kliniky foniatrické. (Havarijní plán – přerušení dodávek elektrické energie 2014)

3.5.5 Havarijní plán pro zajištění stravy pro pacienty

Cílem tohoto plánovacího dokumentu je definovat organizaci práce a postupů pro zajištění stravování pro pacienty Všeobecné fakultní nemocnice v Praze při výpadku elektrické energie. V případě výpadku elektrické energie je za zajištění stravy pro pacienty nemocnice zodpovědný odbor léčebné výživy a stravování, který místo standartního rozvozu stravy pomocí tabletového systému bude exportovat balené pečivo a kusové potraviny v termoportech, přepravních boxech a jednorázových obalech, dle požadavků jednotlivých klinik. Při této mimořádné události je odbor léčebné výživy a stravování schopen zajistit stravování pacientů, s přihlédnutím k současným skladovým kapacitám potravin a obalového materiálu, maximálně po dobu 48 hodin. Zároveň je zapotřebí spolupráce s oddělením léčebné výživy a stravování, a to zejména při zjednodušení jídelníčků, respektive pokrmů tak, aby strava nebyla náročná na přípravu a na následný výdej. Podle havarijního plánu jsou vedoucí pracovníci odboru léčebné výživy a stravování povinni nejméně 2x ročně prověřit skladové zásoby potravin a obalových materiálů. (Havarijní plán – zajištění stravy pro pacienty 2019)

3.5.6 Evakuační plán

Dokument popisující činnosti a postupy jednotlivých oddělení pro zajištění rychlého, plynulého a efektivního vyklizení ohrožených prostor zdravotnického zařízení. Definuje také předem určené a adekvátně vybavené prostory pro přemístění osob při evakuaci. Evakuační plán je v podstatě scénář popisující konkrétní úkoly jednotlivců, ale i celku, při nutnosti vyklidit ohrožené prostory. Zásadní pro evakuaci je její včasné provedení. Nejčastějšími příčinami nutnosti evakuace mohou být živelné pohromy a přírodní katastrofy, požár, průmyslové havárie, teroristické útoky, technologické havárie a další. (Plán krizové připravenosti 2020)

3.6 Náhradní zdroje elektrické energie

Věcné a technické vybavení zdravotnického zařízení definuje vyhláška ministerstva zdravotnictví č. 221/2010 Sb. o požadavcích na vybavení zdravotnických zařízení. V těchto požadavcích je uvedeno, že zdravotnická zařízení musí z hlediska stavebně technických požadavků na prostory a jejich funkční a dispoziční uspořádání umožňovat funkční a bezpečný provoz. S tím souvisí i Česká státní norma 33 2000-7-710 pro elektroinstalaci ve zdravotnických budovách. Tato norma platí pro nově stavěná či rekonstruovaná zdravotnická zařízení a udává, že pro všechny zdravotnická zařízení musí být instalovány bezpečnostní, záložní zdroje elektrické energie, které budou schopny při závadě na hlavním zdroji, po učenou dobu a v předem stanoveném čase přepnutí, napájet určené obvody a zařízení. Záložní zdroje elektrické energie jsou zapotřebí při ztrátě síťového napětí z distribuční sítě zásobující zdravotnické zařízení. Tyto zdroje slouží především pro plynulý přechod po výpadku dodávek ze sítě. Přechod mezi přívodem elektrické energie ze sítě a z nouzového zdroje musí probíhat naprosto automaticky, a to i v opačném případě, tedy při přechodu z nouzového zásobení zpět na zásobení hlavní. V případě přepnutí hlavního zdroje na hlavní nouzový zdroj upozorní signalizace, že k takovému přepnutí došlo. Po výpadku přívodu elektřiny z hlavního zdroje musí nouzový zdroj naběhnout do 120 sekund a musí být pak schopen napájet potřebná zařízení až do obnovení dodávek z hlavního zdroje. Požadavky na bezpečnostní napájení se dělí do několika skupin podle doby přepnutí mezi hlavním a nouzovým zdrojem. Ve všeobecné fakultní nemocnici se pro zajištění dodávek elektrické energie po výpadku používají zdroje spadající do Třídy 0 a do Třídy >15 viz. Tabulka 2. (Elektroprůmysl 2019; Moravec 2015; ČSN 33 2000-7-710 2013)

Přepnutí do 0,5 sekundy – v případě výpadku napětí na jednom nebo více fázových vodičích v rozvaděči musí být použito bezpečnostní napájení, které obnoví dodávky elektrické energie do 0,5 sekund a které zajistí minimálně po dobu tří hodin napájení osvětlení operačních sálů, endoskopů a zařízení pro podporu životních funkcí pacientů. (Elektroprůmysl 2019; Moravec 2015; ČSN 33 2000-7-710 2013)

Přepnutí do 15 sekund – Obvody pro zajištění bezpečnostního osvětlení musí být připojeny do 15 sekund na zdroj, který bude schopen toho osvětlení napájet minimálně po dobu 24 hodin. Tato doba může být snížena, a to na tři hodiny, pokud je do této doby možná evakuace daného objektu. (Elektroprůmysl 2019; Moravec 2015; ČSN 33 2000-7-710 2013)

Přepnutí nad 15 sekund – napájení ostatního zdravotnického vybavení, zdroj musí být schopen dodávat energii po dobu 24 hodin. Do této skupiny ředíme přístroje jako jsou sterilizátory, chladicí zařízení, vybavení kuchyní, topení a klimatizace. (Elektroprůmysl 2019; Moravec 2015; ČSN 33 2000-7-710 2013)

Tabulka 2 Klasifikace důležitých obvodů pro zdravotnické prostory (ČSN 33 2000-7-710 2013)

Třída 0 – bez přerušení	Napájení zajištěno automaticky bez přerušení
Třída 0,15 – velmi krátké přerušení	Napájení zajištěno automaticky do 0,15 sekundy
Třída 0,5 – krátké přerušení	Napájení zajištěno automaticky do 0,5 sekundy
Třída 15 – střední přerušení	Napájení zajištěno automaticky do 15 sekund
Třída > 15 – dlouhé přerušení	Napájení zajištěno automaticky za více než 15 sekund

3.6.1 Dělení obvodů dle priorit

Dělení obvodů dle priorit je ve Všeobecné fakultní nemocnici tvořeno podle staré normy ČSN 33 2140, která určovala barevné rozlišení jednotlivých obvodů. V současnosti platná norma ČSN 33 2000-7-710 neřeší jednotlivé barevné rozlišení obvodů, pouze udává, že musí být snadno identifikovatelné. (Obzor 2015)

Méně důležité obvody – zásuvky napojené na tyto obvody jsou označeny bílou barvou a značí se písmenem M. Jsou napájeny základním zdrojem s jistěním na 30 mA. Méně důležité obvody jsou tak používány převážně pro napájení běžných spotřebičů na lékařských pokojích, sesternách apod. (Obzor 2015)

Důležité obvody – jsou značeny písmenem D a zásuvky jsou značeny zelenou barvou. Tyto zásuvky mohou být použity pro zdravotnické přístroje, které však při výpadku energie neohroží pacienty na životech. Tyto obvody jsou napájeny ze záložního zdroje, tedy z dieselaagregátu, které po výpadku plně naběhnou do dvou minut. (Obzor 2015)

Velmi důležité obvody – Zásuvky jsou značeny červenou a oranžovou barvou. Tyto obvody jsou určeny pro zapojení přístrojů zajišťujících základní životní funkce pacientů. Zejména pro potřeby operačních sálů, jednotek intenzivní péče apod. Tyto obvody jsou napojeny na nepřerušitelné zdroje napájení, které bez prodlevy zajistí napájení do plné aktivace dieselaagregátů. (Obzor 2015)

Zdravotnická izolovaná soustava – zásuvky určené pro připojení životně důležitých přístrojů. Jsou napojeny, stejně jako obvody důležité, na dieselaagregáty a díky izolované soustavě mají zajištěno napájení přístrojů i v

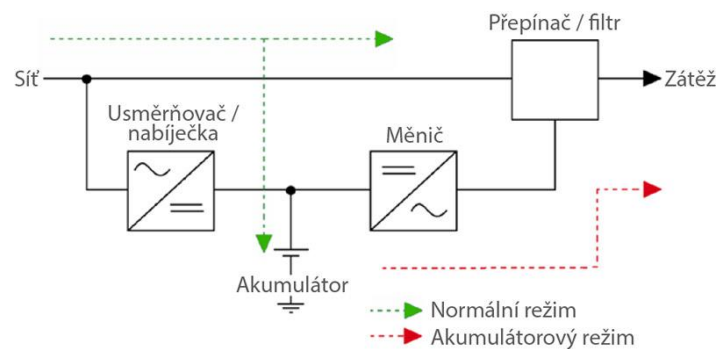
případě poruchy, která by při jinak způsobila zkrat a odstavení celého obvodu. Značí se žlutou barvou. (Obzor 2015)

3.6.2 Nepřerušitelné zdroje napájení

Uninterruptible Power System v překladu tedy nepřerušitelné zdroje napájení. Tyto systémy jsou používány tam, kde je zapotřebí zajistit nepřerušovaný přítok elektrické energie. Tyto systémy se hojně využívají především tam, kde je zapotřebí ochránit citlivé výpočetní systémy před kolísavým napětím v síti, například při bouřkách. Nepřerušitelné zdroje napájení se používají ve zdravotnických zařízeních pro překlenutí doby mezi výpadkem dodávek elektrické energie z hlavního zdroje a mezi dodávkami ze záložních diesela agregátů. Princip fungování těchto systémů je založen na ukládání elektrické energie v akumulátorech. Doba, po kterou je systém schopný napájet připojené spotřebiče je dána velikostí akumulátoru a velikostí zatížení. Řádově se tyto časy pohybují v jednotkách minut, což stačí než se uvedou do provozu další záložní zdroje. Pro zdroje nepřerušitelného napájení je zpracována norma ČSN EN 62040. Dělí se do tří níže popsaných skupin. (Elektroprůmysl 2019; Kubín 2014)

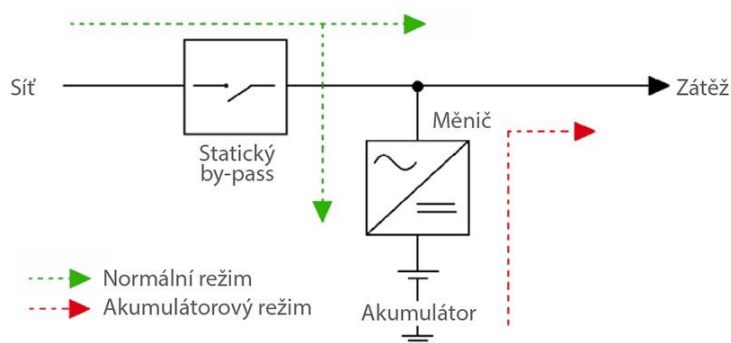
Pasivní záloha – Jedná se o nejzákladnější systém, který pracuje ve dvou režimech. Při běžném provozu je zátěž napájena se sítě přes kompenzátor, který slouží k eliminaci poruch a regulaci napětí. Pokud dojde k poklesu napájecího napětí, byť na krátkou dobu zpravidla 10ms, nebo k jejímu úplnému výpadku, přepne se systém do druhého režimu, do režimu akumulátoru. Zátěž je poté

napájena z akumulátoru až do návratu sítě do specifikovaných tolerancí, kdy se systém vrátí do normálního režimu. (Elektroprůmysl 2019; Kubín 2014)



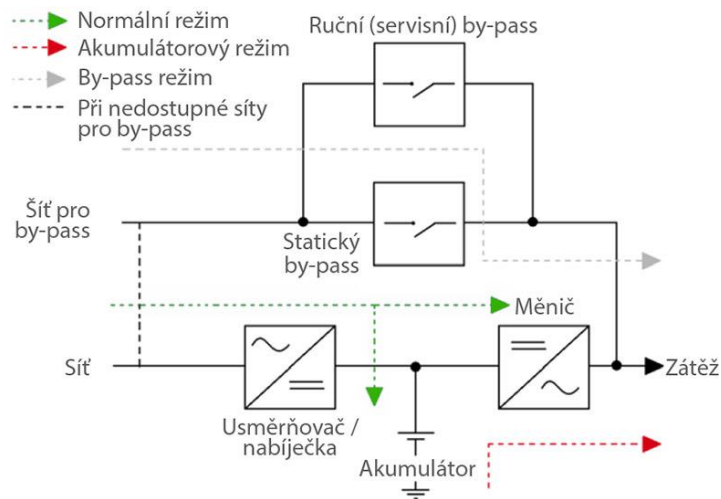
Obrázek 7 Pasivní záloha (Elektroprůmysl.cz 2019)

Interakce se sítí – Používá se nejčastěji k napájení výpočetních sítí. Připojené spotřebiče jsou napájeny tzv. filtrovaným napětím ze sítě přes invertor. Baterie jsou v takovém stavu dobíjeny přímo z obvodu invertoru. Při úplném výpadku elektrické energie jsou připojené přístroje poháněny přímo z baterií. Pokud je v síti pouze určitá výchylka, tedy přepětí či podpětí, pak je tento systém schopen provádět kompenzaci bez použití baterií. Tento systém umožňuje pomocí tzv. bypassu napájet zátěž přímo prostřednictvím síťového napětí v případě poruchy nepřerušitelného zdroje napájení. Prodleva mezi přepnutím je zde v řádu několika málo ms. (Elektroprůmysl 2019; Kubín 2014)



Obrázek 8 Interakce se sítí (Elektroprůmysl.cz 2019)

Dvojitá konverze – Tento systém používá tzv. dvojitou přeměnu elektrické energie. Střídavé napětí je v obvodu usměrňovače měněno na stejnosměrné napětí a následně v obvodu měniče zpět na střídavé napětí. V nepřerušitelném zdroji napětí tak stále protéká proud přes baterie. V případě výpadku elektřiny z hlavního zdroje je zátěž připojena na tento systém napájena z baterií bez jakékoliv prodlevy. Pro případ interních poruch mohou být instalovány moduly pro přemostění. (Elektroprůmysl 2019; Kubín 2014)



Obrázek 9 Dvojitá konverze (Elektroprůmysl.cz 2019)

Všeobecná fakultní nemocnice disponuje více než 63 zálohovacími systémy nepřerušitelného zdroje napájení. Jednotlivé systémy jsou rozmístěny po areálu nemocnice podle míst, která mají zálohovat. Všechny operační sály, jednotky intenzivní péče a anesteziologicko-resuscitační oddělení mají takto jištěné obvody. Například v budově A2 II. Chirurgické kliniky, ve které se nachází operační sály, pooperační kardiochirurgická jednotka, anesteziologické resuscitační oddělení a dvě oddělení standartní oddělení, jsou instalovány zálohové systémy typu Liebert 60 kVa s externí bateriovou soustavou o 132 kusech 12 voltových lithiových baterií s kapacitou 100 Ah. (Havarijní plán-přerušeni dodávek elektrické energie 2014)



Obrázek 10 Zálohový systém pavilonu A2 s bateriovým boxem (Autor)

3.6.3 Dieselagregáty

Mezi tzv. rotační zdroje elektrické energie patří generátory poháněné motorem. Principem výroby elektřiny je přeměna paliva na kinetickou energii a následně na energii elektrickou. V dnešní době se jako palivo pro motorgenerátory používá nejčastěji motorová nafta. Existují však i generátory poháněné benzínem nebo plynem. Uvádí se, že provoz dieselagregátu v porovnání s provozem agregátu na plyn o stejném výkonu je až 7x dražší. Doba jejich schopnosti vyrábět elektrickou energii pak závisí především na schopnosti zásobování pohonnými hmotami. Všeobecná fakultní nemocnice disponuje 9 dieselagregáty rozmístěnými po areálu nemocnice. Dieselagregáty jsou vybaveny systémem pro automatické zapnutí a vypnutí při výpadku dodávek elektrické energie ze sítě. Správu a doplňování pohonných hmot do dieselagregátů má v gesci oddělení elektroúdržby a oddělení technického dispečinku. Doplňování pohonných hmot je zajištěno pomocí čerpacích karet u dodavatele Euro Oil, který má zajištěn čerpací systém náhradními zdroji pro případ výpadku elektrické energie. Pro zajištění bezproblémového chodu a krizové připravenosti je zapotřebí provádění pravidelných revizí a zkoušek funkčnosti. Hlavní areál Všeobecné fakultní nemocnice je zálohován pomocí dvou dieselagregátů o výkonu dohromady 2100 kVA. Konkrétně jde o modely od společnosti Caterpillar. Generátor DG2 byl vyroben roku 2014, novější typ generátoru F1100, o výkonu 1100 kVA je z roku 2016. Oba generátory jsou ovládány elektronicky pomocí samořídící jednotky, v případě poruchy je možné uvést generátory do chodu manuálním způsobem. Generátory jsou zásobeny z nádrže na naftu bez biosložky o objemu 800 litrů a dalšími dvěma záložními nádržemi o celkovém objemu 2000 litrů. Z těch je možné naftu přečerpat pomocí

elektrického čerpadla, popřípadě ručně. (Elektroprůmysl 2019; Kubín 2014; Havarijní plán - přerušení dodávek elektrické energie 2014)



Obrázek 12 Hlavní nádrž pro dieselařegáty (Autor)



Obrázek 11 Záložní nádrže na naftu 2000 l (Autor)



Obrázek 13 Dieselařegát pro hlavní areál (Autor)

4 METODIKA

Analýza patří mezi základní a nejpoužívanější metody a pro tuto práci je stěžejní. Pro splnění cílů této diplomové práce jsme využili analytické metody SWOT a What If. Zkratka SWOT analýza vychází z anglických názvů: Strengths (silné stránky), Weaknesses (slabé stránky), Opportunities (příležitosti) a Threats (hrozby). Jedná se o základní strategickou analýzu, která spočívá v rozboru interních stavů, které jsou organizací ovlivnitelné a mezi které patří silné a slabé stránky, a současně v rozboru neovlivnitelných situací, které identifikujeme jako příležitosti a hrozby.

Pro výzkum byla vybrána Všeobecná fakultní nemocnice v Praze. Většina interních podkladů pro tvorbu této diplomové práce je všem zaměstnancům dostupná na intranetu nemocnice. Součástí dokumentů jsou i havarijní plány, které nám pomohly objasnit připravenost nemocnice na mimořádné události a krizové situace. Pro tvorbu této diplomové práce byla využita metoda konzultace. Nepravidelné konzultace s hlavním energetikem pro získání informací o energetických spotřebách částí nemocnice a s vedoucím technického dispečinku pro získání informací o náhradních zdrojích elektrické energie v nemocnici. Metoda pozorování byla použita pro lepší pochopení funkčnosti celého zálohovacího systému, po dobu cvičení výpadku elektrické energie a zkoušky funkčnosti náhradních zdrojů. Byl pozorován přístup pracovníků k řešení a kontrole nastalé situace.

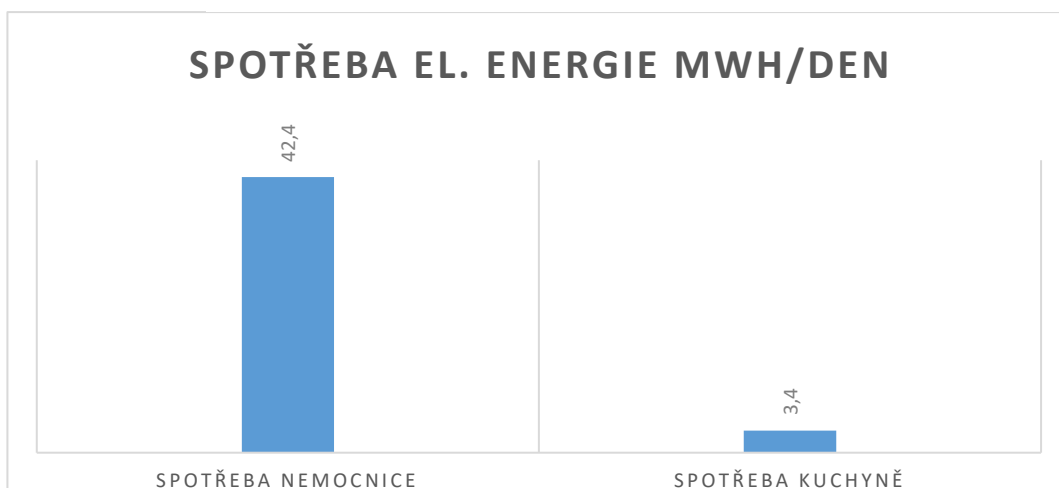
Dále byla pro tvorbu této diplomové práce použita metoda analýzy, která má za cíl důkladné rozebrání stávajícího i navrhovaného řešení energetické zálohy. Analýza se zaměřuje na akceschopnost dosavadních záložních systému elektrické energie v podobě diesela agregátů a systému nepřerušitelného zdroje napájení. Jednotlivé body tohoto systému byly důkladně prodiskutovány

s vedoucími pracovníky jednotlivých oddělení zodpovědnými za jejich správu. Pomocí brainstormingové metody What-if byly definovány hrozby a opatření spojené s jejich provozem. Druhá část výzkumné části spočívá v návrhu systému fotovoltaické elektrárny pro nemocniční kuchyň, která má za cíl zajistit její nouzové napájení elektřinou v době blackoutu. Pro vypracování SWOT analýzy návrhu fotovoltaického systému na zajištění provozuschopnosti nemocniční kuchyně během dlouhodobého výpadku elektrické energie byla použita data získaná z interních zdrojů nemocnice a od vedoucích pracovníků dotčených oddělení.

4.1 Navrhované řešení

Pro zpracování návrhu fotovoltaické elektrárny pro zajištění energetické nezávislosti nemocniční kuchyně vycházíme z dat, která nám byla pro účel této diplomové práce poskytnuta technicko-provozním odborem. Celková roční spotřeba elektrické energie nemocnice byla v roce 2020 téměř 16735 MWh. To znamená denní spotřebu přibližně 45,85MWh. Pro provoz nemocniční kuchyně se odběr elektrické energie pohybuje v závislosti na produkci jídla, respektive porcí. Počítáme-li s průměrnou produkcí 2000 jídel denně a energetickou náročností vztaženou na jedno jídlo 1,72 kWh, činí průměrná denní spotřeba nemocniční kuchyně zhruba 3444,29 kWh tedy 3,44MWh. Pokud tuto hodnotu přepočteme s ohledem na ceny tarifů, které nemocnice vysoutěžila na rok 2020 dostaneme částku 9700 Kč/den. V roce 2020 spotřebovala nemocniční kuchyně elektřinu v celkové hodnotě 3 349 605 Kč.

Tabulka 1 Spotřeba elektrické energie v MWh za den (Autor)



Plocha pro fotovoltaické panely

Nemocniční kuchyně sídlí v areálu gynekologicko-porodnické kliniky. Pro navrhovanou fotovoltaickou elektrárnu by bylo možné, bez dalších úprav nosné konstrukce střechy, osadit panely na plochu zhruba 535 m². Orientace střechy je na jih a její sklon je 35°. Pro tuto konkrétní instalaci počítáme osazení 500 m², což znamená použití 238 kusů panelů. Pro možnost instalace fotovoltaických panelů je však zapotřebí i vyjádření majitelů okolních pozemků, odboru památkové péče Magistrátu hlavního města Prahy a odboru Národního památkového ústavu. Podle vyjádření pracovníka Národního památkového ústavu se umístění větrných či fotovoltaických elektráren v ploše památkově chrněném území či v prostředí kulturních památek může považovat za nesourodý prvek, který může nežádoucím způsobem poškodit obraz historického objektu. Při posuzování žádosti o povolení instalovat panely na střechu nemocniční kuchyně by hrál roli i fakt, že se nejedná o pohledovou stranu střechy. Například v roce 2020 byl veden soudní spor mezi zastupitelstvem obce Lednice a Národním památkovým ústavem, který mimo jiné řešil možnost výstavby fotovoltaické elektrárny na střeše historické budovy. Ústavní soud tehdy spor uzavřel s verdiktem, že zákaz umisťovat fotovoltaické panely na střechy historických budov je v rozporu se zákonem. Za pomoci nástroje pro výpočet plochy, dostupných na mapových stránkách společnosti Google jsme vyznačili plochu střechy nemocniční kuchyně vhodnou pro instalaci panelů. Plocha reálně použitelná pro osazení fotovoltaickými byla počítána s ohledem na střešní vikýře.



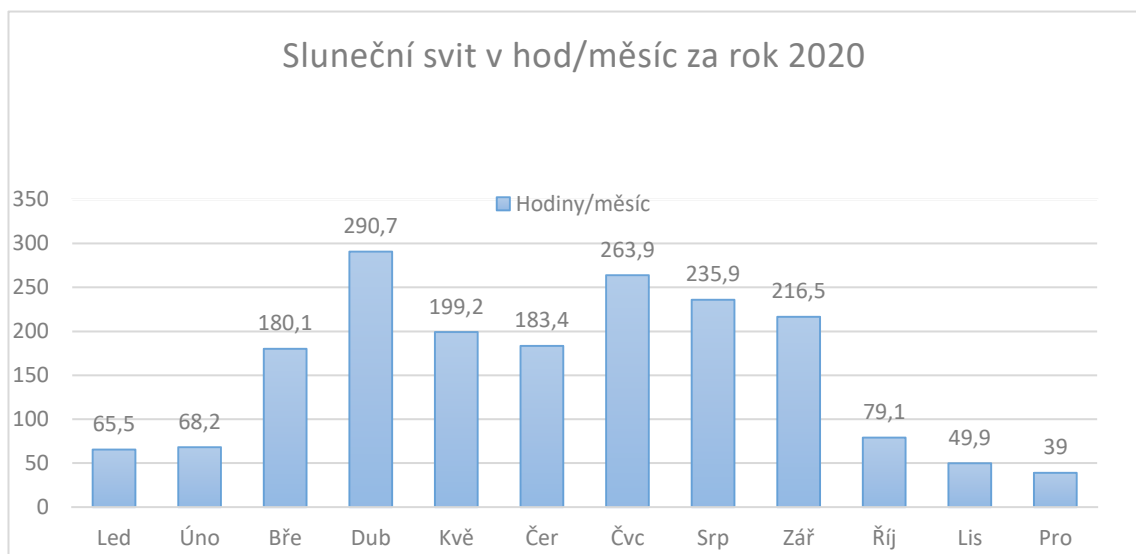
Obrázek 14 Plocha pro fotovoltaické panely (Autor)

Fotovoltaické panely

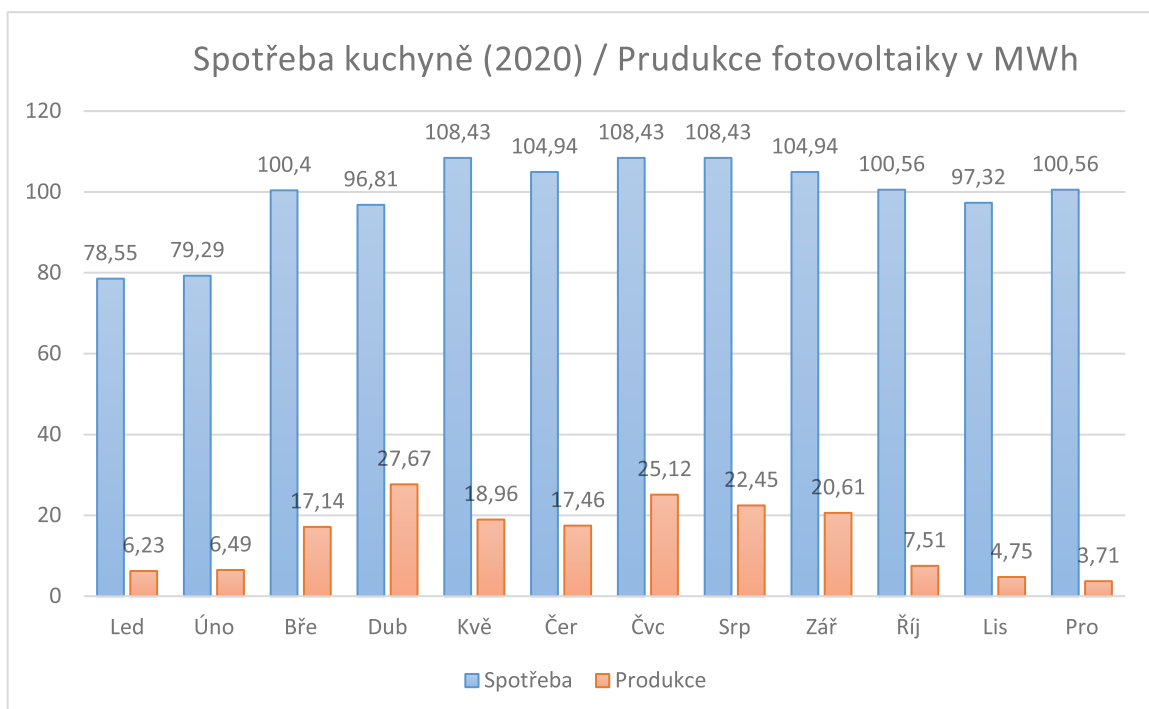
Instalovaný výkon solárních panelů počítáme 450 Wp na jeden panel, přičemž každý je o rozměru zhruba 2,1 m². Počítáme, že jeden monokrystalický panel vyrobí v reálných podmínkách zhruba 400 W. Celková produkce 238 panelů bude 95 200 Wh. Fotovoltaické panely byly vybrány na základě doporučení odborné firmy zabývající se jejich prodejem a jedná se o panely od firmy LG. Panely jsou vyrobeny z monokrystalického křemíku. Jejich povrch je vyroben z vysoce odolného materiálu, jsou schopny odolávat teplotám v rozmezí -40 °C až +85 °C. Výrobce deklaruje záruku 25 let pro materiál i zpracování a garantuje výkon 95 % po dobu prvních 5 let, po dobu dalších 25 let deklaruje výkon minimálně 87 % původního výkonu. Váha jednoho panelu je 25 kg. Celková váha 238 panelů s hliníkovou montážní konstrukcí bude 6250 kg. To je téměř 12.5 kg/m² střechy. Pro instalaci fotovoltaické elektrárny o výkonu vyšším než 20 kWp je zapotřebí povolení od energetického regulačního úřadu, živnostenské oprávnění a stavební povolení. Bude tedy nutné sjednat také statistický posudek na celkovou instalaci. Data naměřená meteorologickou stanicí umístěnou v Praze na Karlově, zhruba 150 m od nemocniční kuchyně, ve správě Českého

hydrometeorologického řadu, udávají hodiny slunečního svitu za měsíc v roce 2020. Z tabulky číslo 4 je patrné, že v zimním období je produkce fotovoltaické elektrárny minimální vzhledem k nižšímu počtu slunečních dní, spotřeba elektrické energie ze sítě by v těchto měsících byla vyšší. V tabulce číslo 5 je porovnána měsíční spotřeba elektrické energie nemocniční kuchyně za rok 2020 s odhadovanou produkcí navrhované fotovoltaické elektrárny.

Tabulka 2 Sluneční svit v hodinách měřen v Praze na Karlově (Autor)



Tabulka 3 Spotřeba a produkce elektrické energie (Autor)



Fotovoltaický střídač

Pro fotovoltaický systém je zapotřebí zvolit dostatečně výkonný střídač. Pro fotovoltaický systém nemocniční kuchyně jsme zvolili na základě doporučení dva střídače od firmy Solar Edge, konkrétně model SE90K Manager. Jedná se o střídače pro fotovoltaické systémy do celkového maximálního vstupního výkonu 180.000 W. Vstupní napětí je záměrně předdimenzováno kvůli možnému budoucímu navýšení fotovoltaické produkce. Střídač je možné integrovat i do již stávajících FV zařízení a je kompatibilní s různými bateriovými technologiemi a ultra kondenzačními systémy pro ukládání energie. Obsahuje AC / DC jistič pro každý napájecí modul, tím zvyšuje bezpečnost a disponuje vestavěným monitoringem na úrovni panelů pro absolutní přehled nad systémem.

Bateriové úložiště

Bateriové úložiště pro elektrickou energii vyprodukovanou solárními panely budeme řešit nejbezpečnější a nejúčinnější technologií baterií, kterými jsou lithium-železo-fosfátové články. Tato technologie přináší efektivní využití energie po celou, mimořádně, dlouhou životnost a zajišťuje tak vysoký podíl vlastní spotřeby. Pro navrhovaný fotovoltaický systém použijeme akumulátor Flex Storage E 80 kW/225 kWh od společnost Varta. Jde o bateriový box, který obsahuje řídicí rozvaděč Flex E 80 kW Power Unit, chytrý rozvaděč s proudovými cívkami a dva bateriové rozvaděče Varta Storage 75 kWh s celkovou kapacitou 150 kWh. Životnost bateriového systému je výrobcem udávána na 6000 nabíjecích cyklů což je zhruba 15 let. Záruka je výrobcem poskytovaná na 5 let. Bateriové boxy je zapotřebí uchovávat na suchých, dobře větraných a za ideálních podmínek také klimatizovaných místech. Vzhledem i jeho rozměrům a váze 1137 kg bude zapotřebí vybrat vhodné místo, ideálně pak samostatnou technickou místnost.

Ekonomické hodnocení

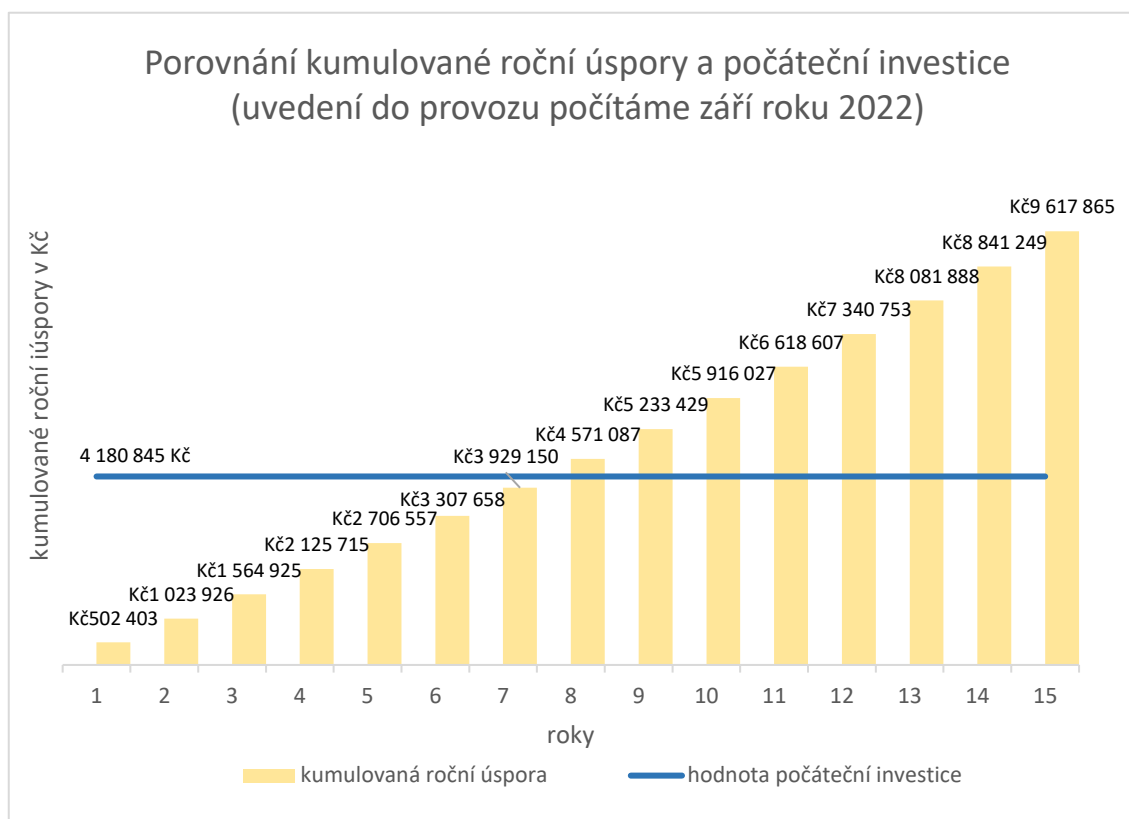
Celková spotřeba elektrické energie nemocniční kuchyně je zhruba 3 254,5 kWh za den, při produkci 2000 jídel denně. To znamená 1 187 000 kWh ročně. Jak již bylo uvedeno, pokud tuto hodnotu přepočteme s ohledem na ceny tarifů, které nemocnice vysoutěžila na rok 2020 dostaneme částku 9 177 Kč/den. Ročně tedy spotřeba elektrické energie nemocniční kuchyně stojí 3 349 605 Kč. Instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny vyrobí za rok zhruba 178157,28 kWh. To je 15,0 % celkové roční spotřeby. Fotovoltaická elektrárna ušetří, při 100 % spotřebě vlastní výroby, 502 403 Kč v prvním roce fungování za elektřinu čerpanou ze sítě. Jako výchozí cenu za kWh uvádíme ceny z roku 2020. Při 100% využití vyrobené elektřiny fotovoltaický systém ušetří ročně až 77 tun CO₂. Celková cena všech součástí pro instalaci fotovoltaické elektrárny, která byla navržena na uvedení do provozu v září roku 2022, byla vypočtena na 7 210 345 Kč bez DPH. Z toho je 3 375 000 Kč za bateriový systém. Při započtení nejvyšší sazby dotací od Evropské unie na výstavbu fotovoltaické elektrárny bude částka, kterou nemocnice musí vynaložit na výstavbu fotovoltaické elektrárny 4 180 845 Kč. Pro výpočet ekonomické návratnosti investice jsme počítali s výše uvedenými hodnotami. Výpočet vykazuje mírné zkreslení v důsledku omezené možnosti předvídat počasí a vývoj cen energií. V tabulce číslo 7 pro porovnání kumulované roční úspory s počáteční investicí do fotovoltaického systému vidíme, že návratnost investice je v 8. roce fungování. Tento výpočet počítá s ročním zvyšováním cen energií o 5 %, kdy počáteční cena je reálná cena energií nemocnice na rok 2020, a také s pravidelným ročním servisem, jehož cena se zvyšuje ročně o 10 %. Zároveň se počítá s průměrnou roční svítivostí podobnou jako v roce 2020. Kumulované roční úspory byly počítány do 15. roku provozu elektrárny. Životnost bateriového systému se pohybuje, v závislosti na počtech nabíjecích cyklů, zhruba okolo 15 let. V 15. roce fungování fotovoltaické elektrárny by se kumulovaná finanční úspora pohybovala okolo 9,6 milionu

korun. To je částka, kterou by nemocnice ušetřila na elektrické energii čerpané ze sítě.

Tabulka 6 Cenová kalkulace fotovoltaického systému, ceny pro instalaci v září 2022 (Autor)

Položka	Kusů	Cena za kus	Cena bez DPH
Fotovoltaické panely LG 450 Wp	238	5 840 Kč	1 389 920 Kč
Bezpečnostní vypínač a optimalizér	188	1 850 Kč	347 800 Kč
Nosná konstrukce pro fotovoltaické panely	375	1 570 Kč	588 750 Kč
Solární střídač Solar Edge SE90K	2	155 000 Kč	310 000 Kč
Kabeláž	375	2 077 Kč	778 875 Kč
Bateriový systém Flex Storage E	1	3 375 000 Kč	3 375 000 Kč
Řídící systém PLC	1	200 000 Kč	200 000 Kč
Vodiče pro AC, svorky, DIN lišty, jističe, relé, rozvaděče	1	75 000 Kč	75 000 Kč
Projektová dokumentace	1	45 000 Kč	45 000 Kč
Doprava systému	1	100 000 Kč	100 000 Kč
Celkem			7 210 345 Kč

Tabulka 4 Porovnání roční úspory s počáteční investicí (Autor)



4.2 SWOT analýza

SWOT analýza navrhovaného řešení fotovoltaické elektrárny pro nemocniční kuchyň.

Tabulka 8 SWOT Analýza (Autor)

SWOT Analýza		
	Silné stránky	Slabé stránky
Interní	<ul style="list-style-type: none">• Částečná energetická soběstačnost• Ekologický provoz• Nenáročnost na obsluhu a provoz• Nezávislost na pohonných hmotách	<ul style="list-style-type: none">• Vysoká pořizovací cena• Závislost na počasí• Omezený výkon
	Příležitosti	Hrozby
Externí	<ul style="list-style-type: none">• Úplná energetická nezávislost• Stravovací plán pro případ blackoutu• Dotace od Evropské unie	<ul style="list-style-type: none">• Extrémní počasí, devastace• Požár budovy• Zamítnutí výstavby úřady

4.2.1 SWOT Silné stránky

Tabulka 9 SWOT Silné stránky (Autor)

	Silné stránky	Důvody
1.	Částečná energetická soběstačnost	Navrhovaný fotovoltaický systém je schopen zajistit částečnou energetickou nezávislost kuchyně
2.	Ekologický provoz	Díky fotovoltaice je nemocnice schopna ušetřit produkci až 77 tun CO ₂ ročně
3.	Nenáročnost na obsluhu a provoz	Fotovoltaický systém nevyžaduje finančně náročnou obsluhu, údržbu ani revize
4.	Nezávislost na pohonných hmotách	Pro provoz fotovoltaické elektrárny není zapotřebí pohonných hmot, jejich skladování, doprava, nákup.

Tabulka 10 SWOT Silné stránky, hodnocení (Autor)

	Důležitost	Hodnocení	Výsledek
1.	0,5	5	2,5
2.	0,2	4	0,8
3.	0,1	2	0,4
4.	0,2	3	0,6
Součet hodnocení			4,3

1. Částečná energetická soběstačnost

Nemocniční kuchyně spotřebuje denně poměrně velké množství elektrické energie na přípravu a skladování pokrmů. Podle výše navrhovaného řešení by fotovoltaický systém byl schopen pokrýt zhruba 15 % celkové roční spotřeby. Nicméně je navrhovaný systém schopný ušetřit v prvním roce fungování náklady spojené s odběrem elektrické energie ze sítě v hodnotě 502.403 Kč. Uvedení do provozu celého systému počítáme září roku 2022. V tomto návrhu byly použity technologie s naddimenzovaným výkonem, který by do budoucna umožnil připojení dalších fotovoltaických panelů až do výkonu 180 kWp a tím významně přispěl ke zvýšení energetické soběstačnosti. Pro zajištění úplné energetické soběstačnosti v době blackoutu bude zapotřebí sestavit plán produkce jídel, který bude svou náročností na elektrickou energii odpovídat kapacitě bateriového úložiště.

2. Ekologický provoz

Obrovskou výhodou fotovoltaické elektrárny je její ekologický charakter při výrobě elektrické energie. Výroba elektřiny ze slunce pomocí fotovoltaických, křemíkových panelů významně snižuje produkci emisí a skleníkových plynů ve srovnání s konvenčními technologiemi na bázi fosilních paliv v průměru až o 90 %. V navrhovaném řešení by se jednalo o ušetření až 77 tun oxidu uhličitého ročně. Ekologický je i proces zpracování odpadů vzniklých z vyřazených solárních panelů. Účinnost recyklace jednotlivých komponent z panelů je až 97 %.

3. Nenáročnost na obsluhu a provoz

Fotovoltaická elektrárna a její součásti nevyžadují nákladné revize a servis, celkově je tedy její provoz relativně nenákladný. Narozdíl od servisu záložních diesel agregátů, které vyžadují časté kontroly a zkoušky funkčnosti školenými techniky, servis fotovoltaické elektrárny provádí firma, které zprostředkuje její instalaci, minimálně jednou ročně provede kontrolu zapojení jednotlivých komponent.

4. Nezávislost na pohonných hmotách

Fotovoltaická elektrárna je naprosto nezávislá na pohonných hmotách narozdíl od diesel agregátů. Pro jejich provoz je zapotřebí udržovat stálé zásoby nafty bez biosložky. V případě rozsáhlého blackoutu by se zásobením touto naftou mohlo ukázat jako problém v důsledku komplikované dopravy a podobně.

4.2.2 SWOT Slabé stránky

Tabulka 11 SWOT Slabé stránky (Autor)

	Slabé stránky	Důvody
1.	Vysoká pořizovací cena	Jednotlivé komponenty fotovoltaické elektrárny jsou finančně nákladné.
2.	Závislost na počasí	Počasí, respektive sluneční svit, je rozhodujícím faktorem pro tvorbu elektřiny ze slunce.
3.	Omezený výkon	Výkon je přímo závislý na počtu panelů a jmenovitém výkonu jednotlivých panelů.

Tabulka 12 SWOT Slabé stránky, hodnocení (Autor)

	Důležitost	Hodnocení	Výsledek
1.	0,1	-2	-0,2
2.	0,5	-5	-2,5
3.	0,4	-3	-1,2
Součet hodnocení			-3,9

1. Vysoká pořizovací cena

Cena fotovoltaické elektrárny je odvozena od jejího výkonu. To znamená čím vyšší výkon elektrárny, tím vyšší pořizovací náklady. Největší položkou jsou samotné fotovoltaické panely, střídač a bateriové úložiště. V případě maximálního využití dotací v rámci programu Evropské unie by náklady nemocnice na pořízení celého systému klesly z původních 7 210 345 Kč na 4 180 845 Kč. Ceny jednotlivých komponentů a práce jsou počítány pro uvedení elektrárny do provozu v září roku 2022.

2. Závislost na počasí

Produkce energie fotovoltaické elektrárny je přímo závislá na slunečním svitu. Podle tabulky číslo 4 vidíme, že zejména v zimních měsících je produkce snížena téměř na pětinu v porovnání s letními měsíci. To znamená, že pro zajištění úplné soběstačnosti kuchyně i v zimních měsících by bylo zapotřebí investovat do většího počtu fotovoltaických panelů, aby byla produkce elektřiny dostatečná. Navrhovaný systém by pokryl zhruba 15 % celkové roční spotřeby kuchyně.

3. Omezený výkon

Dva zásadní faktory ovlivňující produkci elektrické energie fotovoltaickou elektrárnou jsou sluneční svit a celkový instalovaný výkon panelů. V konkrétní modelaci jsme omezeni prostorem střechy, na který je možné panely instalovat.

Výkon by bylo možné navýšit s možností využití střechy okolních budov. Konkrétně pak budov gynekologicko-porodnické kliniky.

4.2.3 SWOT Příležitosti

Tabulka 13 SWOT Příležitosti (Autor)

	Příležitosti	Důvody
1.	Úplná energetická soběstačnost	Při použití dostatečného množství fotovoltaických panelů a adekvátního bateriového systému může být nemocniční kuchyně prakticky nezávislá na elektrické energii ze sítě.
2.	Stravovací plán pro případy blackoutu	Návrh plánu stravování pro pacienty v době krizových situací spojených s blackoutem. Snížení náročnosti přípravy pokrmů může vést ke zvýšení doby energetické soběstačnosti kuchyně.
3.	Dotace od Evropské unie	Evropská unie v novém dotačním období 2021-2027 umožňuje získání dotací na fotovoltaiku až 35 % a na bateriové systémy až 50 % nákladů.

Tabulka 14 SWOT Příležitosti, hodnocení (Autor)

	Důležitost	Hodnocení	Výsledek
1.	0,3	3	0,9
2.	0,4	5	2,0
3.	0,3	4	1,2
Součet hodnocení			4,1

1. Úplná energetická soběstačnost

Při navrhování fotovoltaického systému bylo myšleno na možné budoucí zvětšení celkového výkonu elektrárny. Jednotlivé komponenty byly navrženy tak, aby bylo možné do systému zapojit fotovoltaické panely o celkovém výkonu 180 kWp. Při použití bateriového úložiště o adekvátní kapacitě bude možné několikanásobně zvýšit celkovou energetickou soběstačnost kuchyně.

2. Stravovací plán pro případ blackoutu

V případech dlouhodobého výpadku elektrické energie by bylo zapotřebí vhodným způsobem upravit složení jídelníčků pro pacienty i personál, a to v rámci snížení energetické náročnosti provozu kuchyně na přípravu. Ve spolupráci s oddělením léčebné výživy a stravování by došlo k úpravě jídelníčků zahrnujících používání potravin a pokrmů méně náročných na přípravu. Vzhledem k faktu, že podle výše uvedených výpočtu by fotovoltaická elektrárna byla schopná produkovat zhruba 178.157 kWh ročně, což je asi 15% celkové roční spotřeby kuchyně, bylo by zapotřebí upravit jídelníčky takovým způsobem, aby byla produkce elektrárny rovna spotřebě, a to i v zimních měsících.

3. Dotace od Evropské unie

Evropská unie v novém dotačním období od roku 2021 do roku 2027 umožňuje získání dotací na výstavbu fotovoltaické elektrárny s finanční podporou 35 % na panelové systémy, nosné konstrukce, projektové dokumentace a podobně. Zároveň poskytuje dotace ve výši až 50 % nákladů na bateriový systém. V případě maximální dotační podpory by se v tomto případě jednalo o částku 3 029 500 Kč. O dotace mohou žádat malé střední i velké podniky, sídlící na území České republiky, přičemž podmínkou je střešní instalace celého systému.

4.2.4 SWOT Hrozby

Tabulka 15 SWOT Hrozby (Autor)

	Hrozby	Důvody
1.	Extrémní počasí, devastace	Panely nejsou chráněny proti extrémním vlivům počasí
2.	Požár budovy	Protipožární bezpečnost
3.	Zamítnutí výstavby úřady	Úřady mohou zakázat výstavbu elektrárny vzhledem k lokaci plánované instalace

Tabulka 16 SWOT Hrozby, hodnocení (Autor)

	Důležitost	Hodnocení	Výsledek
1.	0,3	-1	-0,3
2.	0,5	-2	-1,0
3.	0,2	-1	-0,2
Součet hodnocení			-1,5

1. Extrémní počasí, devastace

Panely jsou vyráběny z odolných materiálů, které by podle norem měly odolat běžným vnějším vlivům nepříznivého počasí, zároveň jsou moderní panely oproti starším panelům odolnější proti povětrnostním vlivům. Samozřejmě ale nemůžeme tvrdit, že při silném krupobití se

panely nemohou rozbít, jelikož testovány na zásahy kroupami o průměru 25 mm a rychlosti 80 km/h. Z tohoto důvodu by bylo vhodné zajistit pojištění celého fotovoltaického systému.

2. Požár budovy

Dodržování pravidelných preventivních kontrol, kontrol proudových spojů, čištění chlazení a filtrů ventilace, monitorování a vyhodnocení dat, provádění pravidelných kontrol a zkoušek vede ke snížení rizikosti selhání, nefunkčnosti a k možnému požáru a ohrožení životů, zdraví a majetku obyvatel. V rámci preventivních kontrol musí technický pracovník prověřit, zda nejsou jednotlivé komponenty elektrárny nějakým způsobem poškozeny. V případě vzniku požáru je zapotřebí informovat velitele zásahu. Při zpracování dokumentace o požární ochraně se zpracovává operativní karta zásahu, nebo v případě menších objektů technický list fotovoltaické elektrárny. Tyto karty obsahují informace o elektrárně, kde jsou technologie umístěny, možnosti odpojení od sítě, schéma vedení kabelů a další potřebné informace.

3. Zamítnutí výstavby úřady

Stavební úřad, odbor památkové péče Magistrátu hlavního města Prahy nebo odbor Národního památkového ústavu může vydat zamítající stanovisko v případě výstavby fotovoltaické elektrárny na střeše nemocniční kuchyně. Z nedávné historie jsou známy případy povolení podobných výstaveb i na střechách národních památek, zamítnutí výstavby tedy nepředpokládáme. Nicméně mírné riziko tato alternativa představuje.

4.2.5 SWOT Vyhodnocení

Pro vyhodnocení SWOT analýzy používáme stanovené číselné hodnoty, které určují váhu, důležitost v hodnocených oblastech. Důležitost se vyznačuje hodnotou, které se přiřadí číselné hodnocení od 0,1 do 0,9. Vyšší hodnota znamená vyšší důležitost. Podmínkou je, že součet číselných hodnot ve skupině musí být roven 1. K pozitivnímu hodnocení řadíme silné stránky a příležitosti vybraného řešení. Toto hodnocení vyjadřujeme celými kladnými čísly od 1 do 5. Hodnota 1 vyjadřuje nejnižší spokojenost, hodnota 5 nejvyšší. K hodnocení slabých stránek a hrozeb analýzy řadíme záporné hodnoty na stupnici od -1 do -5, kdy platí, že -1 vyjadřuje nižší úroveň nespokojenosti, hodnota -5 představuje maximální nespokojenost. Výsledné hodnoty pro každou jednu položku analýzy vynásobíme – jejich důležitost krát hodnocení. Následně tyto výsledné hodnoty sečteme, čímž získáme jednu číselnou hodnotu za každou část analýzy, tedy silné stránky, slabé stránky, příležitosti i hrozby. V posledním kroku sečteme výsledné interní a externí hodnoty, kdy nám vyjde výsledné skóre celé SWOT analýzy. Je-li hodnota výsledku záporná, je třeba navrhované řešení přepracovat. Naopak, je-li výsledná hodnota kladným číslem, je projekt realizovatelný.

SWOT Silné stránky

Tabulka 17 SWOT Silné stránky, hodnocení (Autor)

	Důležitost	Hodnocení	Výsledek
1.	0,5	5	2,5
2.	0,2	4	0,8
3.	0,1	2	0,4
4.	0,2	3	0,6
Součet hodnocení			4,3

Nejvyšší důležitostí v silných stránkách navrhovaného řešení jsme ohodnotili částečnou energetickou soběstačnost. Navrhovaná fotovoltaická elektrárna by byla schopna kompenzovat ze zhruba 15 % celkovou energetickou spotřebu kuchyně za normálního chodu. V režimu omezeného výkonu by produkce panelů mohla stačit na pokrytí celé spotřeby kuchyně. Druhou nejvyšší důležitostí jsme ohodnotili hned dvě silné stránky, a to nezávislost na pohonných hmotách a ekologický provoz. V rámci ekologie bude elektrárna schopna ušetřit až 77 tun oxidu uhličitého ročně. Nejnižší důležitost jsme přiřadili nenáročnosti na provoz a obsluhu.

SWOT Slabé stránky

Tabulka 18 SWOT Slabé stránky, hodnocení (Autor)

	Důležitost	Hodnocení	Výsledek
1.	0,1	-2	-0,2
2.	0,5	-5	-2,5
3.	0,4	-3	-1,2
Součet hodnocení			-3,9

Mezi body s největší důležitostí jsme pro slabé stránky vybrali závislost na počasí a omezený výkon fotovoltaického systému. Zásadním faktorem pro správnou funkčnost fotovoltaické elektrárny je příznivé počasí. Její výkon je přímo závislý na ročním období a počasí, respektive slunečním svitu. Jako nejnižší důležitost jsme označili vysokou pořizovací cenu celého systému, vzhledem k poměrně krátké době návratnosti investice.

SWOT Příležitosti

Tabulka 19 SWOT Příležitosti, hodnocení (Autor)

	Důležitost	Hodnocení	Výsledek
1.	0,3	3	0,9
2.	0,4	5	2,0
3.	0,3	4	1,2
Součet hodnocení			4,1

V rámci příležitostí jsme bod s nejvyšší důležitostí označili stravovací plán pro případy blackout. Při spolupráci s oddělením léčebné výživy by bylo možné úpravou jídelníčku pro pacienty v případech dlouhodobého výpadku elektrické energie zajistit nižší energetickou náročnost na výrobu jídla a tím pádem zvýšit energetickou soběstačnost nemocniční kuchyně. Druhou nejvyšší důležitostí jsme označili hned dva body, a to úplnou energetickou soběstačnost a dotace na pořízení z Evropské unie.

SWOT Hrozby

Tabulka 20 SWOT Hrozby, hodnocení (Autor)

	Důležitost	Hodnocení	Výsledek
1.	0,3	-1	-0,3
2.	0,5	-2	-1,0
3.	0,2	-1	0,2
Součet hodnocení			-1,5

Hrozbou pro fotovoltaický systém jsou zejména vlivy extrémního počasí. Výrobce udává vysokou odolnost panelů, nicméně silné krupobití či například pád větví stromů může panely poškodit. Vyšší důležitost jsme přiřadili poškození požárem. Zamítnutí úřady jsme přiřadili nízkou důležitost, jelikož vzhledem k podobným stavbám, které byly v minulosti povoleny, nepředpokládáme zamítnutí výstavby.

SWOT Vyhodnocení

Tabulka 21 SWOT Celkové vyhodnocení (Autor)

Výsledky hodnocení			
Interní	Silné stránky	4,3	0,4
	Slabé stránky	-3,9	
Externí	Příležitosti	4,1	2,6
	Hrozby	-1,5	
Celkové hodnocení			3,0

Tabulka výše znázorňuje celkové hodnocení z provedené SWOT analýzy. Hodnoty ovlivněné interními záležitostmi mají výsledek 0,4. Hodnoty ovlivněné externími záležitostmi nesou výsledek 1,9. Celkovým hodnotícím výsledkem je tak hodnota 3,0. Jak je uvedeno výše, vyjde-li výsledné číslo vyšší než 0, tak jako

v našem případě, je výsledek považován za pozitivní. Je tedy možné v rámci SWOT analýzy vyhodnotit námi navrhované řešení za obstojné.

Naprosto zásadním bodem pro zajištění energetické soběstačnosti nemocniční kuchyně v době výpadku elektrické energie je sestavení adekvátního stravovacího plánu pro tyto případy. Stravovací plán musí být podřízen kapacitě bateriového úložiště. Kombinace bateriového systému a fotovoltaických panelů byla navržena tak, aby i v zimních měsících byly panely schopné naplnit kapacitu akumulátorů. I kdyby za průměrných slunečných podmínek byla fotovoltaické elektrárny schopna vyrobit zhruba 488 kWh denně, je třeba počítat s možností výpadku v době špatného počasí, kdy by produkce byla menší. To znamená, že denní spotřeba nemocniční kuchyně by se v případech výpadku musela snížit na 150 kWh denně.

4.3 Metoda What-if

Na předem připravené otázky analytické metody What-if odpovídali vedoucí pracovníci oddělení zodpovědných za správu energetiky a záložních zdrojů nemocnice.

Tabulka 22 What-If metoda (Autor)

	Co se stane když	Rizika	Opatření
1.	Nastane výpadek elektrické energie v areálu nemocnice	Nefunkčnost zásadních nemocničních přístrojů	Nemocniční areál A je zálohovaný dvěma výkonnými dieselagregáty, velmi důležité obvody pak

			ještě bateriovými systémy.
2.	Automaticky nesepnou záložní dieselaagregáty	Obvody bez bateriového zálohování budou bez elektřiny	Záložní zdroje pro nemocniční areál A mají možnost manuálního startu. Operační středisko je schopno do 2 minut nastartovat záložní generátor
3.	Dojdou zásoby nafty	Diesel agregáty mají spotřebu 120 l na hodinu provozu. Bez nafty není možný provoz.	Zásoby nafty bez bio složky v nádrži na 800 l a dvou barelech 2 x 1000 l
4.	Selžou bateriové systémy	Velmi důležité obvody nebudou nepřetržitě zálohovány. Budou odkázány na dieselaagregáty. Za normálního provozu dojde k přemostění bateriového systému.	Bateriové systémy jsou externí firmou pravidelně servisovány. V pravidelných několikaletých intervalech jsou baterie vyměňovány

1. Co se stane, když nastane výpadek elektrické energie v areálu nemocnice?

Rizika: Nefunkčnost životně důležitých nemocničních přístrojů.

Opatření: Nemocniční areál A je zálohovaný dvěma výkonnými diesel agregáty o celkovém výkonu 1x1000 kW a 1x1100 kW. Pro potřebu areálu A za běžného provozu stačí provoz pouze hlavního diesel agregátu o výkonu 1100 kW. Druhý záložní generátor je v pohotovostním režimu připraven převzít funkci hlavního agregátu při jeho poruše nebo pomoci svým výkonem při náhlé vyšší spotřebě nemocnice. Dalším bodem zajištění jsou systémy nepřerušitelného zdroje napájení, kterým jsou v celé nemocnici zálohovány jednotky intenzivní péče, operační sály a jednotky anesteziologicko-resuscitační péče. Dalším bodem zabezpečení je skutečnost, že veškeré přístroje na podporu životních funkcí pacienta, jako jsou ventilátory, přístroje mimotělní oxygenace a podobně mají instalovaný vlastní bateriový systém, který je schopen daný přístroj napájet alespoň po dobu několika minut.

2. Co se stane, když automaticky nesepnou záložní dieselagregáty?

Rizika: Obvody bez bateriové zálohy budou bez elektřiny.

Opatření: Hlavní i záložní dieselagregáty se nacházejí ve speciálně připravené místnosti přímo pod řídicím dispečinkem. Záložní generátory jsou opatřeny digitálními mechanismy automatického sepnutí v případě, že zaznamenají pokles napětí v nemocniční síti. Pro jejich záložní start jsou vytyčené dvě startovací olověné baterie o kapacitě 2x 180 Ah, které se použijí v případě, že by pro start nebylo možné využít napětí ze sítě. V případě selhání tohoto automatizovaného mechanismu je každý pracovník technického dispečinku proškolen a připraven provést manuální start jednotlivých dieselagregátů, a to zhruba do dvou minut od zjištění závady.

3. Co se stane, když dojdou zásoby nafty do dieselagregátů?

Rizika: Dieselagregáty jsou závislé na stálých dodávkách pohonných hmot.

Opatření: Místnost, pod technickým dispečinkem, kde se nacházejí záložní dieselagregáty je vybavena i nádrží na pohonné hmoty o objemu 800 l, která je přímo napojena na dieselagregáty. Do této hlavní nádrže vedou trubky z níže uložených záložních naftových nádrží o celkovém objemu 2000 l. Tyto nádrže jsou vybaveny přečerpávacím mechanismem, který je možné, v případě jeho nefunkčnosti, nahradit manuálním přečerpávacím pohonem. Zásoby nafty vydrží při spotřebě 120 l za hodinu provozu přibližně 23 hodin. Před vyčerpáním zásob je nutné jejich doplňování, které je zjištěno pracovníky technického dispečinku a smluvním prodejcem pohonných hmot Euro Oil, který má záložní zdroje pro přečerpávání uložených zásob pohonných hmot při výpadku elektřiny. Technický dispečink usiluje o nákup technického vozidla s nádržemi na naftu a možností přečerpávání. Momentálně by se doplňování dieselagregátů provádělo poněkud nepraktickým převážením nafty v 20 litrových kanystrech, které by se mohlo ukázat jako nedostatečné, pokud vezmeme v úvahu fakt, že spotřeba jednoho dieselagregátu je 120 litrů za hodinu. Technický dispečink se stejným způsobem stará o doplňování záložních zdrojů umístěných i v ostatních areálech nemocnice.

4. Co se stane, když selžou záložní bateriové systémy

Rizika: Velmi důležité obvody budou odkázány na záložní dieselagregáty

Opatření: Bateriové systémy a systémy nepřerušitelného zdroje napájení jsou po areálu nemocnice rozmístěny podle potřeb zálohovat velmi důležité obvody. Z pravidla jsou to obvody, které se nacházejí na jednotkách intenzivní péče a na operačních sálech. Například pro pavilon A2, kde se nachází dvě jednotky intenzivní péče a operační sály, jsou instalovány systémy, které čítají 132 baterií o kapacitě 100 Ah. Systém byl externí firmou navrhnut tak, aby byl schopen nouzově napájet tato oddělení po dobu 4 až 6 hodin. V reálném provozu slouží kapacita akumulátorů jen pro překlenutí doby mezi výpadkem elektrické energie ze sítě a startem záložních dieselagregátů. Externí firmou je také zajištěn pravidelný servis těchto systému a nepřetržitá pohotovostní služba pro případy poruchy. V horizontu do 7 až 10 let dochází k samovolnému poklesu kapacity baterií, které již nejsou schopny zajistit minimální dobu zálohy energií, a dochází tedy k jejich celkové náhradě. Pokud bateriový systém z nějakého důvodu selže, je pro tyto případy vybaven takzvaným systémem bypassu, který automaticky odpojí baterie z okruhu.

5 VÝSLEDKY

Hypotéza 1 – Jedinoty intenzivní péče, operační sály a anesteziologicko-resuscitační oddělení jsou připraveny na dlouhodobý výpadek elektrické energie.

Nynější řešení výpadku elektrické energie ve Všeobecné fakultní nemocnici je podle provedené analýzy metodou What-if dostatečné. Důležité a velmi důležité obvody, používané na jednotkách intenzivní péče, anesteziologicko-resuscitačních odděleních a na operačních sálech jsou dostatečně zálohovány bateriovými systémy a dieselagregáty. Zásadním momentem je ovšem schopnost dotčených oddělení zajistit zásobování pohonnými hmotami a udržování jejich dostatečných zásob v areálu nemocnice. V momentálním řešení by se mohlo ukázat jako problémové doplňování pohonných hmot pomocí 20 litrových kanystrů, když vezmeme v úvahu spotřebu jednoho dieselagregátu 120 l za hodinu provozu. Technický dispečink zažádal vedení nemocnice o koupi zásobovací cisterny s přečerpávajícím zařízením pro tyto případy.

Kapacita bateriových systému je dimenzována na 4 až 6 hodiny provozu jednotlivých zálohovaných obvodů v případě výpadku. Dieselagregáty a jejich zásoby pohonných hmot jsou schopny napájet tyto obvody po dobu minimálně 24 hodin, což považujeme za dostatečné. **Hypotéza 1 „Jedinoty intenzivní péče, operační sály a anesteziologicko-resuscitační oddělení jsou připraveny na dlouhodobý výpadek elektrické energie“ byla potvrzena.**

Hypotéza 2 – Vybudování fotovoltaické elektrárny zajistí částečnou energetickou soběstačnost nemocniční kuchyně v době výpadku elektrické energie.

Nemocniční kuchyně není žádným způsobem zálohovaná pro případ výpadku elektrické energie. Navrhované řešení spočívá v instalaci fotovoltaické elektrárny na střechu kuchyně, přičemž by zajistila její částečnou energetickou soběstačnost. Konkrétní návrh by byl schopen pokrýt 15 % roční spotřeby elektrické energie nemocniční kuchyně. Pro zajištění její úplně energetické soběstačnosti v případech dlouhodobého výpadku by bylo zapotřebí vytvořit „krizový stravovací plán“ a jídelníčky upravit takovým způsobem, aby pro veškerou denní produkci stačila energetická kapacita instalovaného bateriového úložiště. Fotovoltaické panely v kombinaci s bateriovým úložištěm byly navrženy tak, aby i v zimních měsících, kdy je produkce energie menší, dostačoval jejich výkon k plnému nabití baterií.

Výsledný návrh fotovoltaického systému pro nemocniční kuchyň je schopen zajistit její částečnou energetickou nezávislost, a tím pádem i zlepšit krizovou připravenost na blackout.

Celková spotřeba nemocniční kuchyně za rok 2020 byla 1.156 MWh. Navržený fotovoltaický systém dokáže ročně vyrobit zhruba 178.160 kWh. Při 100 % spotřebě vlastní vyrobené energie dokáže fotovoltaika v prvním roce fungování snížit náklady spojené s odběrem elektrické energie ze sítě o 502 403 Kč. Při ročním zvyšování cen energií o 5 % a započtení výdajů spojených s údržbou a revizemi systému se dostaneme v patnáctém roce fungování elektrárny na kumulovanou finanční úsporu 9,6 milionu Kč. Návratnosti počáteční investice 4 180 845 Kč dosáhneme v 8. roce od uvedení do provozu. V kalkulacích jsou

počítány ceny energií z roku 2020 a uvedení do provozu je počítáno na září roku 2022.

Vzhledem k tomu, že v současnosti nemá nemocniční kuchyně žádný záložní zdroj a při výpadku elektrické energie je odkázána pouze na vydávání kusových balených potravin, považujeme toto řešení, v kombinaci s vhodným stravovacím plánem, za účinné. **Hypotéza 2 „Vybudování fotovoltaické elektrárny zajistí částečnou energetickou soběstačnost nemocniční kuchyně v době výpadku elektrické energie“ byla potvrzena.**

6 DISKUZE

Vzhledem k poměrně stabilní přenosové soustavě, která se na území České republiky nachází jsou dlouhodobé výpadky dodávek elektrické energie vcelku ojedinělé. Nejčastěji vznikají na základě poničení části přenosové soustavy vlivem nepříznivého počasí, například pádem stromů nebo větví na vodiče. Správa přenosové soustavy je zpravidla schopna takto vzniklou závadu opravit v rádu několika hodin. Výpadky jsou pak spíše lokálního charakteru. Největším rizikem pro přetížení sítě s jejím následným poškozením mohou být v dnešní době hlavně přetoky energie z okolních států, které v hojné míře využívají obnovitelné zdroje energie. Z nedávné historie jsou však známy rozsáhlé a dlouhodobé výpadky elektrické energie, které mohou zásadním způsobem ovlivňovat chod důležitých institucí, jako jsou například i nemocnice. To jsou situace, které mohou přímo ohrozit lidské životy a je zapotřebí jim předcházet. Po cvičení v roce 2014 zaměřeném na schopnost orgánů krizového řízení a složek integrovaného záchranného systému řešit situace spojené s dlouhodobým výpadkem elektrické energie přišla společnost PRE Distribuce a.s. s návrhem záložního systému (Výpadek elektřiny 2014), který by měl v případě výpadku zajistit elektrickou energii pro funkčnost kritické infrastruktury, nemocnic a pro zajištění základních potřeb obyvatelstva. Záložní zdroj by musel mít instalovaný výkon alespoň 300 MW. K realizaci toho projektu nicméně nedošlo, a proto jsou jednotlivé nemocnice odkázány na vlastní záložní zdroje. Konkrétně záložní zdroje Všeobecné fakultní nemocnice v Praze byly předmětem zkoumání naší diplomové práce. V úvodu této práce jsme si stanovili dvě hypotézy, které se týkají nouzového zajištění dodávek elektrické energie dvou rozdílných částí nemocnice. Zajištění životně důležitých oddělení, jakými jsou jednotky intenzivní péče, anesteziologicko-resuscitační oddělení a operační sály. Druhou část výzkumu jsme zaměřili na zdánlivě méně důležitou část nemocnice, a to nemocniční kuchyň.

Výsledkem provedené analýzy metodou What-if, která byla vytvořena ve spolupráci s vedoucími pracovníky technicko-prvozního úseku nemocnice, kteří odpovídali na předem připravené otázky, bylo zjištěno několik faktů. Zajištění důležitých obvodů nemocnice, které jsou využívány hlavně v prostorách operačních sálů, jednotek intenzivní péče, anesteziologicko-resuscitačních oddělení nebo v prostorách serveroven a datových úložišť, je dostatečné. Zálohu těchto obvodů tvoří kombinace bateriových úložišť nepřerušitelného zdroje napájení a dieselařegátů. Bateriová úložiště jsou dimenzována tak, aby byla schopna napájet zálohované obvody či konkrétní přístroje po dobu alespoň několika minut, v případě operačních sálů a akutních lůžkových oddělení i několik hodin. Riziko nefunkčnosti těchto systému je minimalizováno díky pravidelným servisním kontrolám a výměnám baterií v případě poklesu jejich celkové kapacity. Pro případy nenadálé poruchy jsou bateriové systémy vybaveny systémem automatického bypassu a v případě jejich nefunkčnosti jsou do několika málo sekund zastoupeny dieselařegáty. To považujeme, stejně jako Probošt (2017) ve své diplomové práci, za účinné řešení při výpadku elektrické energie v takto zálohovaných prostorách nemocnice.

Konkrétně pak celý hlavní areál nemocnice je zálohovaný dvěma velmi výkonnými dieselařegáty, které byly do nemocnice pořízeny nedávno. Aktualizaci záložních zdrojů považujeme za velmi přínosný krok k zajištění spolehlivosti záložního napájení. Jak je uvedeno v analýze, jejich výkon je pro provoz nemocnice v částečně omezeném režimu více než dostatečný. Riziko pro jejich bezproblémový chod zde představuje například neodhalené poškození generátoru nebo neschopnost zajistit provozní kapaliny pro jejich chod.

Pro možné odhalení závad má správa záložních zdrojů nemocnice vypracovaný systém zkoušek všech záložních generátorů. Každou sobotu se testují záložní zdroje bez připojené zátěže a každou poslední sobotu v měsíci se navíc testují

generátory se zapojenou zátěží. Tento systém považujeme za účinný z hlediska možnosti odhalení případných poruch, navíc zkoušky přispívají k lepší krizové připravenosti pracovníků zodpovědných za chod záložních zdrojů.

Další riziko pak představuje skutečnost, že se Všeobecná fakultní nemocnice nachází v centru města, což může způsobit komplikace při jejím zásobování pohonnými hmotami. Dle vyhodnocení cvičení blackout 2014 (Výpadek elektřiny 2014) se dá totiž předpokládat, že dlouhodobý výpadek elektrické energie bude mít zásadní vliv na dopravu v centru města a vyústí v její kolaps. To může mít negativní vliv na schopnost technicko-provozního úseku doplňovat zásoby nafty pro dieselaagregáty, přičemž zásoby nafty bez biosložky jsou dostačující na 23 hodin provozu.

Dosavadní řešení zásobování dieselaagregátů pohonnými hmotami pomocí 20-litrových kanystrů se zdá být v tomto kontextu neúčinné a představuje tak poměrně velké riziko. Navrhovaným řešením by bylo pořízení malé cisterny na pohonné hmoty se schopností přečerpávat. Tato strategická investice v hodnotě přibližně 350 000 Kč by znamenala významné snížení rizika nefunkčnosti dieselaagregátů z důvodu nedostatku pohonných hmot, a zvýšila tak dobu energetické soběstačnosti nemocnice. Nicméně využití cisterny by bylo z hlediska četnosti dlouhodobých výpadků minimální, proto by ji pro její maximální využití bylo vhodné využívat například i pro zásobování vozidel autoprovozu. Druhým možným řešením této situace by byl návrh smlouvy mezi nemocnicí a dodavatelem, který by v případech potřeby zajišťoval nouzové zásobování nemocničních dieselaagregátů pomocí vlastních cisteren. Toto řešení by oproti předchozímu návrhu snížilo finanční nákladnost, nicméně by závislost na třetí straně mohla představovat určité riziko ve spolehlivosti dodávek.

První hypotéza zněla: Jednotky intenzivní péče, operační sály a anesteziologicko-resuscitační oddělení jsou připraveny na dlouhodobý výpadek elektrické energie. Nynější řešení dvojího zálohování pomocí bateriových systému a dieselařegátu se jeví jako účinné i vzhledem k faktu, že oba zálohovací systémy podléhají pravidelným zkouškám a kontrolám funkčnosti. Zásoby pohonných hmot jsou dostačující na přibližně 23 hodin provozu, což považujeme za dostatečné. **Hypotéza číslo 1** „Jednotky intenzivní péče, operační sály a anesteziologicko-resuscitační oddělení jsou připraveny na dlouhodobý výpadek elektrické energie“ **byla potvrzena.**

Nemocnice nemá dostatečné kapacity zálohovacích systému, aby mohly být zálohovány veškeré její prostory. Některá méně důležitá oddělení jsou bez záložních generátoru a stejně tak i nemocniční kuchyň. Současný plán krizové připravenosti nemocniční kuchyně na případ výpadku elektrické energie se jeví jako nedostatečný. V druhé části této diplomové práce jsme se tedy věnovali návrhu fotovoltaického systému pro nemocniční kuchyň, jakožto doporučení na pořízení alternativního záložního systému pro případy výpadku elektrické energie.

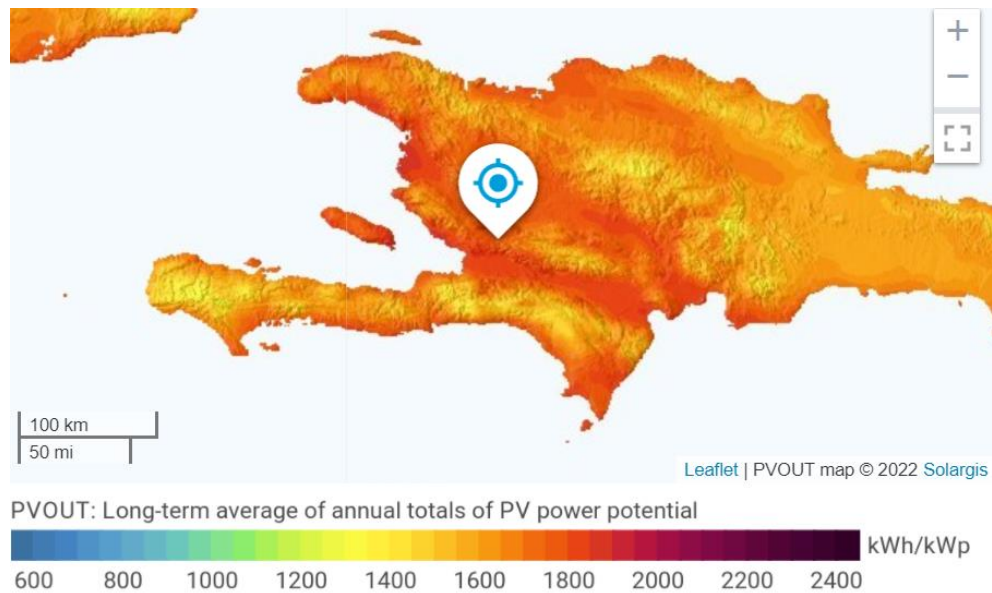
Pro návrh fotovoltaického systému jsme spolupracovali s odborníky z firem zabývajících se prodejem a instalací těchto systému. Inspirací pro použití fotovoltaiky jako záložního systému pro provoz části nemocnice bylo hned několik. Fotovoltaika je jakýmsi trendem dnešní doby v oblasti energetiky a je v hojné míře používána k zajištění soběstačnosti rodinných domů, rekreačních objektů a podobně. Je považována za efektivní způsob snížení celkových provozních nákladů spojených s chodem domácností. V hojné míře se také fotovoltaické systémy používají pro napájení různých firemních provozů. Při optimální kombinaci fotovoltaiky a bateriového úložiště je často návratnost

investice jen několik málo let, což se vzhledem k životnosti panelů a baterií jeví jako efektivní a výhodné.

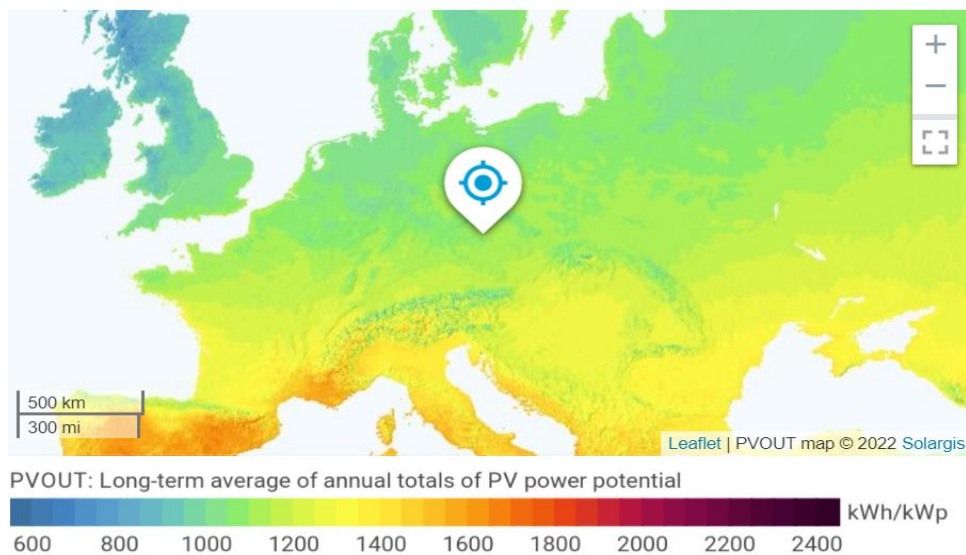
Nejen v České republice jsou fotovoltaické systémy velice rozšířené, ať už na střechách rodinných domů, na střechách výrobních hal nebo například i na střeše Národního divadla (Starý 2010). Ve světě jsou i případy použití fotovoltaických systému na střechách nemocnic. Je však známo jen několik málo použití na střechách nemocnice a všechny tyto instalace jsou v zemích, kde výtěžnost z fotovoltaických panelů dosahuje, vzhledem k počtu slunných dní, několikanásobných hodnot v porovnání s fotovoltaickými systémy vybudovanými na území střední Evropy.

V roce 2013 byla na střeše nemocnice ve státě Haiti v Karibském moři, vybudována solární elektrárna. Tamní přenosová síť zaznamenává časté poruchy a výpadky dodávek elektrické energie. V průměru se zde potýkají s výpadky trvajících až 3 hodiny denně. Solární elektrárna na střeše nemocnice čítající 1800 fotovoltaických panelů o výkonu 280 Wp s celkovým výkonem 500 kWp je schopna pokrýt celkové nároky nemocnice na elektrickou energii během dne. V průběhu noci je nemocnice závislá na elektřině ze sítě. Při výpadku během noci je tak zálohovaná několika diesela agregáty. Fotonvoltaické panely jsou instalovány na střeše nemocnice za pomoci betonových panelů, které mají zvýšit celkovou odolnost konstrukce proti nepříznivým povětrnostním vlivům, přičemž konstrukce byla navržena tak, aby odolala větru o rychlosti 193 km/h. Střecha nemocnice byla opatřena speciálním nátěrem bílé barvy pro snížení absorpce slunečního záření a tím omezení zahřívání panelů. Celková investice do fotovoltaického systému nemocnice v hodnotě 2,2 milionu dolarů byla financována několika neziskovými organizacemi. Návratnost investice byla 6 let. Ročně tato fotovoltaická elektrárna ušetří nemocnici 379 000 dolarů. (Engineering 2013)

Z výše uvedeného případu lze prokázat schopnost fotovoltaiky zajistit energetickou soběstačnost i pro celé nemocniční zařízení. Samozřejmě v závislosti na počtu použitých fotovoltaických panelů, na místě instalace a na typu fotovoltaického systému.



Obrázek 15 Průměrná potencionální fotovoltaická výťažnost Haiti (Global Solar Atlas 2022)



Obrázek 16 Průměrná potencionální fotovoltaická výťažnost Česká republika (Global Solar Atlas 2022)

Na obrázcích 15 a 16 je možné pozorovat rozdíl v potenciálu fotovoltaické elektrárny v závislosti na jejím umístění. Je tedy patrné, že Haiti má obrovský potenciál k využívání solární energie vzhledem ke klimatu a počtu slunečních dní v roce. Česká republika, vzhledem ke své zeměpisné šířce nemá takový počet slunečních dní v roce, nicméně je i tady potenciál fotovoltaické výtěžnosti poměrně velký. Podle (Global Solar Atlas 2022) jsou průměrné hodnoty výkonnosti fotovoltaiky na území České republiky až 1000 kWh/m². Průměrné hodnoty dosažitelné na území Haiti jsou zhruba 2200 kWh/m². Hodnoty odpovídají fotovoltaickému systému s orientací panelů na jih a ideálním náklonem 35° ke slunci. Vzhledem k těmto údajům lze říci, že fotovoltaika vybudovaná na území České republiky má, za určitých podmínek, poměrně velký potenciál výtěžnosti elektrické energie a s tím spojenou i velice dobrou finanční návratnost investice.

Systém bez bateriového úložiště, který používá výše zmíněná nemocnice na Haiti, se ovšem nedá považovat za účinný z hlediska krizového zásobování elektřinou v případech výpadku. Nemocnice je v noci, kdy je produkce panelů nulová, odkázaná na dieselagregáty jakožto na záložní zdroj.

V našem případě, kdy je zajištění krizového zásobování elektrickou energií stěžejní, je nezbytné použití adekvátních bateriových úložišť, které jsme navrhli, pro zajištění nepřetržitých dodávek elektrické energie nezávisle na slunečním svitu.

Fotovoltaický systém, který jsme navrhli pro nemocniční kuchyň by byl schopen pokrýt až 15 % celkové roční spotřeby elektrické energie potřebné pro provoz kuchyně. Celý systém byl navržen tak, aby byl schopen svou výkonností nabít bateriové úložiště i v zimním období, kdy je méně slunečných dní. Předpokladem pro účinný záložní systém, v případě výpadku, je denně plně

nabité bateriové úložiště. Finanční nákladnost na realizaci celého projektu po odečtení dotací z Evropské unie byla vyčíslena na 4 180 845 Kč. Dotace je možné získat na malé střední i velké podniky sídlící na území České republiky, podmínkou pro získání dotací je instalace fotovoltaiky na střechy budov. Dotace je možné získat na fotovoltaické systémy až do výkonu 1 MWp. V případě instalace bez bateriového úložiště je možné získat dotaci až do výše 35 % z celkové ceny instalace, která zahrnuje projektovou dokumentaci, nosnou konstrukci, vodiče i instalaci. V tomto návrhu by bylo možné využít i 50 % dotaci na pořízení bateriové úložiště. Podle výpočtu, který zahrnoval meziroční zvyšování cen energií o 5 %, zároveň veškeré výdaje spojené s údržbou a revizemi fotovoltaického systému, kde bylo počítáno s meziročním zvyšováním cen údržby o 10 %, by navrhovaný systém dosáhl úplné návratnosti investice v 8. roce fungování.

Situace lokálního výpadku z roku 2016, kdy porucha v rozvaděčích znamenala patnácti hodinový výpadek elektrické energie v nemocniční kuchyni, poukázala na fakt, že bez záložního systému, který by napájel minimálně elektronický objednávkový systém a osvětlení kuchyně, je dosavadní plán připravenosti na blackout neúčinný, a proto považujeme navrhovaný systém za účinné řešení jakožto záložního systému pro případy výpadku elektrické energie.

Mezi pozitivitu navrhovaného systému řadíme i fakt, který z hlediska krizové připravenosti není naprosto stěžejním, nicméně by navrhované řešení fotovoltaické elektrárny dosáhlo v 15. roce fungování kumulované roční úspory téměř 9 700 000 Kč. Což v porovnání s investicí do záložního dieselaagregátu, která by bez dopravy, instalace a úpravy rozvodů, činila odhadem 3,5 milionů Kč, je investice do navrhovaného alternativního záložního zdroje z hlediska návratnosti efektivnější.

V závislosti na použití dostatečného počtu fotovoltaických panelů a adekvátního bateriového úložiště je možné považovat tento systém za účinný záložní zdroj, který má navíc schopnost finanční rentability vzhledem k možnosti jeho nepřetržitého používání i mimo krizové stavy spojené s výpadkem elektřiny.

Mezi zásadní pozitiva tohoto systému řadíme kromě částečné energetické soběstačnosti i ekologický provoz celé elektrárny. Jak uvádí Pechlát ve své diplomové práci z roku 2010 (Pechlát 2010), průměrně se v České republice vyprodukuje 411 g oxidu uhličitého při výrobě jedné kWh. Navrhovaný systém by tak poměrně významně přispěl i ke snížení uhlíkové stopy.

Hlavním negativním faktorem fotovoltaického navrhovaného systému je jeho omezený výkon, který je přímo závislý na ročním období, respektive na sluneční svítivosti a ploše, která je k dispozici pro umístění fotovoltaických panelů. Domníváme se ale, že v kombinaci s adekvátním stravovacím plánem bude možné dosáhnout i úplné energetické soběstačnosti nemocniční kuchyně v případech výpadku.

Hypotéza číslo 2 „Vybudování fotovoltaické elektrárny zajistí částečnou energetickou soběstačnost nemocniční kuchyně v době výpadku elektrické energie“. Plně nabitý bateriový systém by dokázal pokrýt energetické nároky nemocniční kuchyně v nouzovém provozu, a **proto považujeme navrhované řešení za účinné a hypotéza tak byla potvrzena.**

7 ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřena na krizovou připravenost nemocnice na blackout. V teoretické části práce jsme se zabývali popisem jednotlivých součástí energetické infrastruktury. Dalším bodem bylo definování dlouhodobého výpadku elektrické energie, v souvislosti s krizovou připraveností nemocnice, rozbor jeho příčin vzniku a popis vybraných událostí blackoutu ze světa. Cílem praktické části bylo ověřit krizovou připravenost jednotek intenzivní péče, anesteziologicko-resuscitačních oddělení a operačních sálů na rozsáhlý výpadek elektrické energie. Ve spolupráci s vedoucími pracovníky technicko-provozního oddělení jsme pomocí metody What-if ověřili připravenost těchto oddělení. Tu považujeme za dostatečnou vzhledem k zajištění těchto oddělení pomocí nepřerušitelných zdrojů napájení a vysoce výkonných dieselaagregátů. První hypotéza, která měla za úkol ověřit připravenost těchto oddělení na dlouhodobý výpadek elektrické energie, **byla potvrzena.**

Doporučením pro zvýšení doby energetické soběstačnosti bylo zajištění adekvátního systému pro zásobování dieselaagregáty pohonnými hmotami.

Dalším dílčím bodem této práce byl návrh fotovoltaického systému, jakožto alternativního záložního zdroje pro nemocniční kuchyň. Pomocí metody SWOT jsme ověřili jeho silné a slabé stránky, příležitosti a hrozby. Výsledkem tohoto návrhu byl systém schopný nouzového napájení kuchyně v případech výpadku. Druhá hypotéza, která měla za úkol ověřit schopnost fotovoltaického systému zajistit alespoň částečně funkční provoz nemocniční kuchyně v případech výpadku, **byla potvrzena.**

Doporučením pro zvýšení provozuschopnosti v případech výpadku je sestavení adekvátního stravovacího plánu, který sníží celkovou energetickou náročnost na přípravu jídel.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. BENEŠ, Ivan. *Odolnost proti blackoutu – základní pilíř lidské bezpečnosti*. CzechIndustry magazín : spektrum českého průmyslu, dopravy a stavebnictví. 2015, 14(2), 60–62. ISSN 2464-5664.
2. BERAN, Hynek, Vladimír WAGNER a Václav PAČES, ed., 2018. *Česká energetika na křižovatce*. V Praze: Management Press. ISBN 978-80-7261-560-5.
3. BREHOVSKÁ, Lenka, 2011. *Blackout* [online]. Kontakt – odborný a vědecký časopis pro zdravotně sociální otázky. [cit. 2021-10-04]. Dostupné z: <https://kont.zsf.jcu.cz/pdfs/knt/2011/01/14.pdf>
4. ČEZ DISTRIBUCE: *Energetici se z Kyrilla poučili* [online], 2017. Praha: ČEZ [cit. 2021-10-11]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/promedia/tiskove-zpravy/energetici-se-z-kyrilla-poucili-95619/index.shtml>
5. ČSN 33 2000-7-710, 2013. *Elektrická instalace nízkého napětí, část 7-710: Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech – Zdravotnické prostory*. Praha: Český normalizační institut.
6. ELEKTROPRŮMYSL.CZ: *Topologie zdrojů nepřerušovaného napájení* [online], 2019. Hajany: Elektroprůmysl.cz [cit. 2021-10-21]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/elektricke-a-zalozni-zdroje-energie/topologie-zdroju-nepreperusovaneho-napajeni-ups>
7. ENERGO THERM PRAHA: *Fotovoltaika v České republice* [online], 2021. Praha: Energotherm Praha [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: <http://www.energotherm.cz/fotovoltaika-v-ceske-republice-p41.html>
8. Engineering: *Solar Powered Hospital* [online], 2013. San Francisco: Tom Lombardo [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.engineering.com/story/solar-powered-hospital>
9. ERU: *Kodex přenosové soustavy* [online], 2020. Praha: ERU [cit. 2021-10-4]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/documents/10540/5722055/%C4%8C%C3>

%A1stV_20_k_pripominkam_s_revizemi.pdf/64ec06ef-999e-4259-81ff-17f97af1bcc2

10. EU SCIENCE HUB: *Photovoltaic Geographical Information System* [online], 2019. Brusel: The European Commission's science and knowledge service [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
11. *Global Solar Atlas* [online], 2022. Washington: The World Bank Group [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://globalsolaratlas.info/map?c=11.523088,8.613281,3>
12. HASELHUHN, Ralf, 2011. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL. ISBN 978-80-86167-33-6.
13. *Havarijní plán - přerušení dodávek elektrické energie*, 2014. Praha: Všeobecná fakultní nemocnice v Praze.
14. *Havarijní plán – zajištění stavby pro pacienty*, 2019. Praha: Všeobecná fakultní nemocnice v Praze.
15. HONIŠ, René, 2013. *Přenosová soustava České republiky*. Ostrava: Moravskoslezský energetický klastr. ISBN 978-80-905392-3-5.
16. HROMADA, Martin, 2014. *Ochrana kritické infrastruktury ČR v odvětví energetiky*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. ISBN 978-80-7385-144-6.
17. HRUBÝ, Zdeněk a Libor LUKÁŠEK, 2015. *Energetická bezpečnost České republiky*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, nakladatelství Karolinum. ISBN 9788024629742.
18. CHMEL, Ladislav a Hamerník IVO, 2016. *Fotovoltaika, fototermika*. Praha: Code Creator. ISBN 978-80-88058-02-1.
19. KUBÍN, Jiří a Aleš RICHTER, 2014. *Bezpečnost elektrických zařízení ve zdravotnictví: učební text*. Vyd. 2., upr. Liberec: Technická univerzita v Liberci. ISBN 978-80-7494-062-0.
20. MAREK, Jiří a Luděk STEHLÍK, 2014. *Hermetické akumulátory v praxi*. Praha: IN-EL. Elektro (IN-EL). ISBN 80-86230-34-1

21. MAREŠ, Miroslav, Jaroslav REKTOŘÍK a Jan ŠELEŠOVSKÝ, 2013. *Krizový management: případové bezpečnostní studie*. Praha: Ekopress. ISBN 978-80-86929-92-7.
22. MÁŠLO, Karel, 2013. *Řízení a stabilita elektrizační soustavy*. [Praha]: Asociace energetických manažerů. ISBN 9788026044611.
23. MASTNÝ, Petr, 2011. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-04937-2.
24. MAULE, P. *Energetická bezpečnost v aktualizované Státní energetické koncepci České republiky: úloha rozvoje decentralizovaných energetických zdrojů*. Plzeň: Česká fotovoltaická asociace, 2015. ISBN 978-80-906281-0-6.
25. MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU: *Narušení dodávek elektrické energie velkého rozsahu* [online], 2018. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu [cit. 2021-10-7]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/typove-plany-reseni-krizi/typove-plany-reseni-krizovych-situaci-v-energetice--236674/>
26. MORAVEC, JAN. *Záložní zdroje elektrické energie – 1.díl: Úvod do problematiky*. Oenergetice.cz [online]. 2015 [cit. 2016-09-19]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/zalozni-zdroje-elektricke-energie-1-dil-uvod-doproblematiky/>
27. *Nařízení vlády č. 432/2010.*, Nařízení vlády o kritériích pro určení prvku kritické infrastruktury.
28. OBZOR: *Zásuvky pro zdravotnictví Medical* [online], 2015. Zlín: Obzor [cit. 2021-11-08]. Dostupné z: <https://www.obzor.cz/zasuvky-medical>
29. OENERGETICE.CZ [online], 2015. Praha: Eduard Majling [cit. 2021-10-11]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/blackouty-1-cast-nejvetsi-blackouty-v-historii-lidstva>
30. OCHRANA OBYVATELSTVA A KRIZOVÉ ŘÍZENÍ: *Skripta*, 2015. Praha: Ministerstvo vnitra - generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR. ISBN 978-80-86466-62-0.

31. PECHLÁT, Vít, 2010. *Analýza podpory solární energie ze zdrojů Evropské unie v Jihočeském kraji*. České Budějovice. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Doc. Ing. Eva Cudlínová, CSc.
32. *Plán krizové připravenosti*, 2020. Verze 4. Praha: Všeobecná fakultní nemocnice v Praze.
33. RADIOŽURNÁL: *Krym zůstal bez elektřiny. Funguje v nouzovém režimu* [online], 2015. Praha: Martin Dorazín [cit. 2021-10-11]. Dostupné z: <https://radiozurnal.rozhlas.cz/krym-zustal-bez-elektriny-funguje-v-nouzovem-rezimu-6246447>
34. ŘEHÁK, D. *Kritická infrastruktura elektroenergetiky: určování, posuzování a ochrana*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2013. ISBN 978-80-7385-126-2.
35. STANĚK, Kamil, 2012. *Fotovoltaika pro budovy*. Praha: Grada pro Katedru konstrukcí pozemních staveb Fakulty stavební Českého vysokého učení technického v Praze. ISBN 978-80-247-4278-6.
36. STARÝ, Pavel, 2010. Národní divadlo v Praze má na své střeše druhou sluneční elektrárnu. In: *Izolace a projekty staveb* [online]. Libochovice: Pavel Starý, 2010 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.izolace.com/wp-content/uploads/2015/08/sfi.pdf>
37. STROHMANDL, Jan, ed., 2013. *Sborník přednášek mezinárodní konference Metody a postupy ke zkvalitnění výuky krizového řízení a přípravy obyvatelstva na řešení krizových situací: Uherské Hradiště, FLKŘ UTB ve Zlíně, 12.-13. září 2013*. Uherské Hradiště: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta logistiky a krizového řízení. ISBN 978-80-7454-283-1.
38. ŠTOREK, Josef. *Krizový management, krizová připravenost, medicína katastrof*. Bratislava : Kartprint, 2015. ISBN 978-80-89553-31-0.
39. TOMAN, Petr, 2011. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-04935-8.

40. *Traumatologický plán*, 2017. Verze č. 10. Praha: Všeobecná fakultní nemocnice v Praze.
41. TZB-info: *Přenosová soustava elektrické energie* [online], 2016. Praha [cit. 2021-10-3]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/13676-prenosova-soustava-elektricke-energie>
42. VLČEK, Tomáš a Filip ČERNOCH, 2012. *Energetický sektor České republiky*. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 978-80-210-5982-5.
43. VŠEOBECNÁ FAKULTNÍ NEMOCNICE V PRAZE: *Historie VFN* [online], 2015. Praha: Hana Kratochvílová [cit. 2021-11-08]. Dostupné z: <https://www.vfn.cz/o-nemocnici/o-nas/historie-vfn/>
44. VÝPADEK ELEKTRINY: *Vyhodnocení cvičení blackout 2014* [online], 2014. Praha: Hlavní město Praha [cit. 2021-10-11]. Dostupné z: <http://vypadekelektliny.cz/vyhodnoceni-cviceni-blackout-2014/>
45. *Zákon č. 240/2000.*, o krizovém řízení a o změně některých zákonů.

9 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Vztah energetického systému a bezpečnosti (Ministerstvo průmyslu a obchodu 2015)	16
Obrázek 2 Uspořádání elektrizační soustavy (Toman 2011)	17
Obrázek 3 Schéma přenosové soustavy České republiky (TZB-info 2016).....	19
Obrázek 4 Poškození stožáru vysokého napětí (Radiožurnál 2015)	23
Obrázek 5 Následky orkánu Kyrill (ČZE Distribuce 2017).....	25
Obrázek 6 Roční úhrn slunečního záření (Energotherm Praha 2021).....	31
Obrázek 7 Pasivní záloha (Elektroprůmysl.cz 2019).....	43
Obrázek 8 Interakce se sítí (Elektroprůmysl.cz 2019).....	43
Obrázek 9 Dvojitá konverze (Elektroprůmysl.cz 2019).....	44
Obrázek 10 Zálohový systém pavilonu A2 s bateriovým boxem (Autor).....	45
Obrázek 11 Záložní nádrže na naftu 2000 l (Autor)	47
Obrázek 12 Hlavní nádrž pro dieselagagáty (Autor)	47
Obrázek 13 Dieselagagát pro hlavní areál (Autor).....	47
Obrázek 14 Plocha pro fotovoltaické panely (Autor)	52
Obrázek 15 Dlouhodobá potencionální fotovoltaická výtěžnost Haity (Global Solar Atlas 2022).....	84
Obrázek 16 Dlouhodobá potencionální fotovoltaická výtěžnost Česká republika (Global Solar Atlas 2022)	84

10 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1 Historie blackoutu (Autor).....	22
Tabulka 2 Klasifikace důležitých obvodů pro zdravotnické prostory (ČSN 33 2000-7-710 2013)	40
Tabulka 3 Spotřeba elektrické energie v MWh za den (Autor)	50
Tabulka 4 Sluneční svit v hodinách měřen v Praze na Karlově (Autor)	53
Tabulka 5 Spotřeba a produkce elektrické energie (Autor)	53
Tabulka 6 Cenová kalkulace fotovoltaického systému, ceny pro instalaci v září 2022 (Autor)	56
Tabulka 7 Porovnání roční úspory s počáteční investicí (Autor)	56
Tabulka 8 SWOT Analýza (Autor).....	57
Tabulka 9 SWOT Silné stránky (Autor).....	58
Tabulka 10 SWOT Silné stránky, hodnocení (Autor).....	59
Tabulka 11 SWOT Slabé stránky (Autor).....	61
Tabulka 12 SWOT Slabé stránky, hodnocení (Autor).....	61
Tabulka 13 SWOT Příležitosti (Autor)	63
Tabulka 14 SWOT Příležitosti, hodnocení (Autor).....	64
Tabulka 15 SWOT Hrozby (Autor).....	66
Tabulka 16 SWOT Hrozby, hodnocení (Autor).....	66
Tabulka 17 SWOT Silné stránky, hodnocení (Autor).....	68
Tabulka 18 SWOT Slabé stránky, hodnocení (Autor).....	69
Tabulka 19 SWOT Příležitosti, hodnocení (Autor)	70
Tabulka 20 SWOT Hrozby, hodnocení (Autor)	70
Tabulka 21 SWOT Celkové vyhodnocení (Autor).....	71
Tabulka 22 What-If metoda (Autor)	73