

Tvorba statistického modelu pro neplánované odstávky spalovny odpadu

Marek Mařcha

Bakalářská práce
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav bezpečnostního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Marek Matčha**
Osobní číslo: **A18127**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Tvorba statistického modelu pro neplánované odstávky spalovny odpadu**
Téma práce anglicky: **The Development of a Statistical Model for Unplanned Shutdowns in Waste Incinerators**

Zásady pro vypracování

1. Seznamte se s pojmy z oblasti matematické optimalizace, statistiky a pravděpodobností, zejména se zaměřením na úlohy spojené s plánovanými a neplánovanými odstávkami zařízení.
2. Sestavte statistický model pro tzv. vynucené změny provozu spalovny odpadů.
3. Za účelem ověření sestaveného modelu zpracujte a využijte reálná data z provozu vybraných spaloven odpadu v České republice.
4. Provedte důkladnou diskuzi dosažených výsledků. Dále vyslovte omezení a limity zvoleného přístupu a popište směry pro případný další výzkum.

Forma zpracování bakalářské práce: **Tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. STEHLÍK, Petr. *Up-to-Date Waste-to-Energy Approach: From Idea to Industrial Application*. Imprint: Springer, 2016. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology. ISBN 978-3-319-15467-1.
2. ŠOMPLÁK, Radovan. *Efektivní plánování investic do technologií pro energetické využití odpadů*. Brno, 2016. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství.
3. ŠOMPLÁK, Radovan. *Využití metod stochastického programování pro hodnocení investic v energetických zdrojích*. Brno, 2011. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství.
4. KALOGIROU, Efstratios, N. *Waste-to-Energy Technologies and Global Applications*. CRC Press, 2017. ISBN 978-135197792-0.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Dušan Hrabec, Ph.D.**
Ústav matematiky

Datum zadání bakalářské práce: **15. ledna 2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **19. května 2021**

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D. v.r.
děkan



Ing. Jan Valouch, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 15. ledna 2021

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 29.4.2021

Marek Mařcha v.r.
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá tvorbou statistického modelu pro neplánované odstávky spalovny odpadu. V první kapitole teoretické části práce je detailně popsána spalovna. Druhá kapitola se zabývá odstávkami provozu spaloven. Dále je formulovaná rešerše řešící témata spjatá s problematikou neplánovaných odstávek. Následně jsou popsány statistické modely, které budou využity při práci s daty a tvorbě modelu. V teoretické části jsou dále rozebrány statistické testy sloužící k vyhodnocení reálných dat. Zavedení bussiness continuity managementu řešící kontinuity společnosti je posledním krokem teoretické práce. V praktické části jsou nejprve statisticky zpracována reálná data provozu spalovny. Dále jsou využity statistické testy pro data týkající se neplánovaných odstávek. Následujícím krokem práce je vytvoření statistického modelu pro dobu mezi neplánovanými odstávkami pomoci Weibullova rozdělení, včetně odhadu parametrů a jejich ověření. Posledním krokem je formulace managementu kontinuity společnosti spjatý právě s neplánovanými odstávkami. Na konci práce jsou výsledky detailně vyhodnoceny.

Klíčová slova: Zařízení na energetické využití odpadu, statistické metody, bezpečnost, Weibullovo rozdělení

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the creation of a statistical model for unplanned outages of a waste incinerator. The first chapter of the theoretical part of the thesis describes in detail the incinerator. The second chapter deals with the outages of incinerators. Furthermore, a search is formulated addressing issues related to unplanned outages. Subsequently, statistical models are described, which will be used in working with data and creating a model. The theoretical part also discusses statistical tests used to evaluate real data. The introduction of business continuity management addressing the continuity of the company is the last step of theoretical work. In the practical part, real data of incinerator operation are first statistically processed. Furthermore, statistical tests are used for data related to unplanned outages. The next step is to create a statistical model for the time between unplanned outages using the Weibull distribution, including the estimation of parameters and their verification. The last step is the formulation of the company's continuity management connected with unplanned outages. At the end of the work, the results are evaluated in detail.

Keywords: Waste-to-energy, statistical method, security, Weibull distribution

Nejprve bych rád poděkoval svému vedoucímu práce panu Ing. Dušanovi Hrabcovi, Ph.D. za zkušené vedení bakalářské práce a cenné rady. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Radovanovi Šomplákovi, Ph.D. za jeho čas a cenné poznatky při konzultacích. Dík také patří firmě Termizo a.s. za poskytnutá data provozu spalovny.

Rád bych poděkoval své rodině za neustálou podporu po celou dobu studia, a nakonec při tvorbě práce.

Táto práce vznikla za podpory projektu "Nové přístupy operačního výzkumu pro udržitelnost v odpadovém hospodářství" č. GA 20-00091Y financovaného Grantovou agenturou České republiky.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 SPALOVNA ODPADŮ	11
1.1 POPIS ZAŘÍZENÍ NA ENERGETICKÉ VYUŽITÍ ODPADU	11
1.2 PRINCIP SKLADOVÁNÍ ODPADU	13
1.3 POSTUP SPALOVÁNÍ ODPADU	13
2 Odstávky při spalování odpadu	15
2.1 PLÁNOVANÉ Odstávky	15
2.2 NEPLÁNOVANÉ Odstávky	16
2.3 NÁSLEDKY NEPLÁNOVANÝCH Odstávek na provoz ZEVO	17
3 Vyhodnocení aktuální situace řešení problému	19
4 STATISTICKÁ ROZDĚLENÍ PRO TVORBU MODELU	21
4.1 NORMÁLNÍ ROZDĚLENÍ	21
4.2 WEIBULLOVO ROZDĚLENÍ	22
4.2.1 Odhad parametrů Weibullova rozdělení	23
5 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ	25
5.1 TEST NORMALITY	25
5.1.1 Kolmogorovův – Smirnovův test	25
5.1.2 Chí–kvadrát test dobré shody	26
5.2 PARAMETRICKÉ TESTY	27
5.2.1 Analýza rozptylu (ANOVA)	27
5.2.2 F–test rovnosti rozptylů ve dvou různých skupinách	28
5.2.3 Nepárový dvouvýběrový t–test rovnosti středních hodnot	29
6 BUSSINESS CONTINUITY MANAGEMENT	31
6.1 STANDARD BCM	31
6.2 POSTUP ZAVÁDĚNÍ PLÁNU KONTINUITY	31
6.2.1 Zavedení BCM	32
6.2.2 Analýza a strategie	32
6.2.3 Plánování	32
6.2.4 Implementace	32
6.2.5 Testování a operativní řízení	32
II PRAKTICKÁ ČÁST	33
7 SBÍRÁNÍ A ZPRACOVÁNÍ DAT	34
8 STATISTICKÉ ZKOUMÁNÍ NEPLÁNOVANÝCH Odstávek	40
8.1 TEST NORMALITY	40
8.2 ANALÝZA ROZPTYLU DAT	42

8.3	F – TEST SHODNOSTI ROZPTYLŮ MEZI DVĚMA SKUPINAMI	42
8.4	T – TEST SHODNOSTÍ STŘEDNÍCH HODNOT	44
9	VYTVOŘENÍ STATISTICKÉHO MODELU PRO NEPLÁNOVANÉ ODSTÁVKY.....	45
9.1	ODHAD KONKRÉTNÍCH PARAMETRŮ WEIBULLOVA ROZDĚLENÍ	45
9.2	OVĚŘENÍ SPRÁVNOSTI ODHADU PARAMETRŮ ROZDĚLENÍ POMOCÍ TESTU DOBŘE SHODY	45
9.3	TVORBA MODELU	47
10	VYTVOŘENÍ PLÁNU KONTINUITY PRO ZEVO.....	49
10.1	KROK 1– ZAVEDENÍ BCM.....	49
10.1.1	Analýza ZEVO	49
11	ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ.....	51
	ZÁVĚR	53
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	54
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	57
	SEZNAM OBRÁZKŮ	58
	SEZNAM TABULEK	59

ÚVOD

Spalovny odpadů představují jednu z klíčových funkcí v zacházení s odpadem. Spalovny jsou převážně děleny podle typu materiálu, který spalují. Další rozdělení spaloven závisí na postupu zpracování SKO. Klíčovým faktorem je, zda se dále využívá vzniklé teplo ze spáleného SKO či nikoli. Spalovny využívající vzniklé teplo k dalšímu použití jsou nazývány jako zařízení na energetické využití odpadu (ZEVO). Jako hlavní palivo tyto zařízení využívají převážně směsný komunální odpad (SKO). V těchto zařízeních dochází k přeměně tepelné energie na elektrickou energii. Převážné množství vyrobené energie je následně využito pro distribuci do veřejné sítě. Zbylé stopové množství je použito pro chod spalovny. Procesy související se spalováním se ale neobejdou bez jednotlivých technických problémů, které je zapotřebí neprodleně řešit. Jednou z prevencí technických problémů jsou plánované odstávky. V menších spalovnách v České republice dochází k jednomu 14dennímu plánovanému odstavení provozu za rok. Během tohoto odstavení dochází k revizím zařízení a s tím souvisejícím nutným opravám. Plánované odstávky ale nezajišťují plynulý provoz po celý rok a v průběhu procesu se vyskytují i neplánované odstávky. Tyto odstávky představují klíčové problémy pro celý provoz a je nutné je v co nejkratším časovém intervale vyřešit. Neplánované odstávky tedy zasahující tedy do návozu odpadu, přes procesu spalování až do výroby energie. Neplánované odstávky tedy značně narušují kontinuitu jednotlivých služeb a činností podniku, což tvoří významnou hrozbu jak z ekonomického, tak bezpečnostního hlediska.

Stanoveným cílem této práce je v teoretické rovině rozebrat princip spalovny a její jednotlivé procesy provozu (Kapitola 1). Ty se neobejdou bez problémů znamenající odstávky provozu. Z tohoto důvodu dojde k rozebrání odstávek provozu a určení jejich případných rizik (Kapitola 2). Dále je nutné rozebrat statistické testy, které v následujících krocích slouží pro pracování s reálnými daty (Kapitola 5). Následující částí je seznámení se se statistickými rozděleními, které budou využity v praktické části při tvorbě statistického modelu právě pro neplánované odstávky (Kapitola 4). Posledním krokem je seznámení se s managementem kontinuity, do kterého neplánované odstávky zasahují (Kapitola 6).

Přínosem práce je navrhnoutí statistického modelu pro intenzity poruch způsobující odstávky spaloven. Model představuje znázornění trendů a pravděpodobností jednotlivých poruch, díky čemuž je možné tyto poruchy predikovat a tím zajistit zefektivnění provozu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SPALOVNA ODPADŮ

ZEVO je technologické zařízení sloužící ke spalování odpadů [1]. Představuje jeden z možných způsobů zpracování odpadu. Tyto zařízení se dělí na dvě různé kategorie, a to:

- s využitím vzniklého tepla,
- bez využití vzniklého tepla.

V ZEVO dochází ke spalování převážně SKO. Ke spalování zdravotnického či nebezpečného odpadu existují jiné zařízení [2]. Vizuální pohled na spalovnu je možné zpozorovat na obrázku 1.



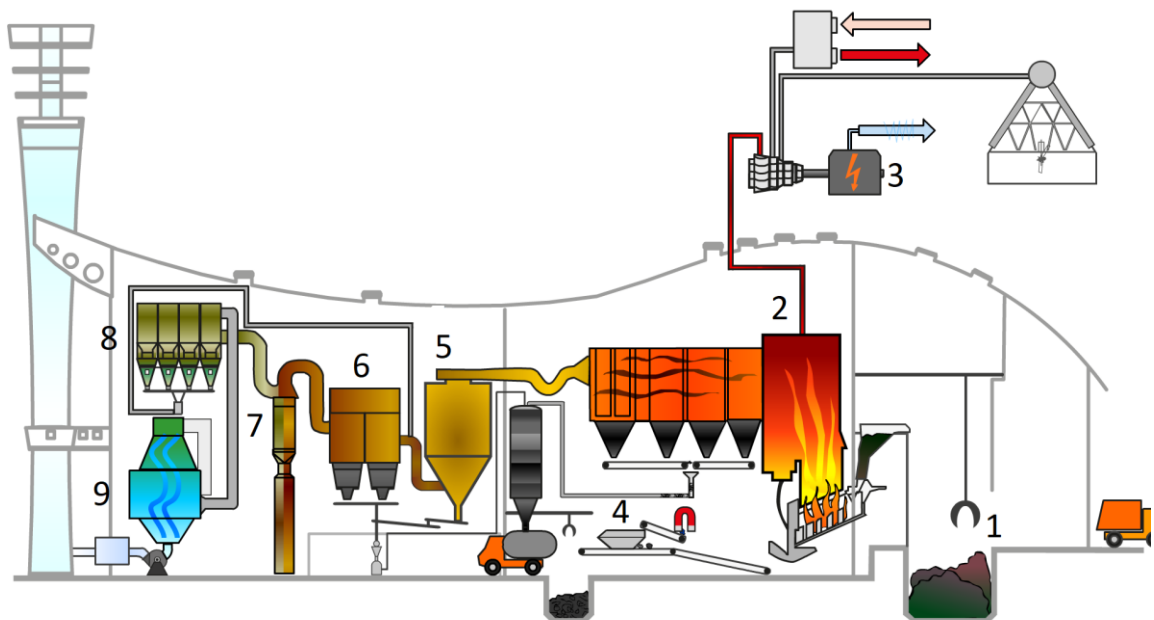
Obrázek 1 – Spalovna odpadů Liberec [3]

1.1 Popis zařízení na energetické využití odpadu

ZEVO představuje složitý systém na sobě závislých subsystémů, které ovlivňují proces spalování. Aby mohlo docházet ke spalování musí všechny subsystémy fungovat. Na Obrázku 2. je možné vidět příklad rozvržení systému ZEVO na 9 subsystémů, a to [1,4]:

- 1– **odpadní bunkr**, do kterého je pravidelně dovážen SKO a jiný vhodný typ odpadu, který je promícháván (homogenizován) pomocí jeřábů,

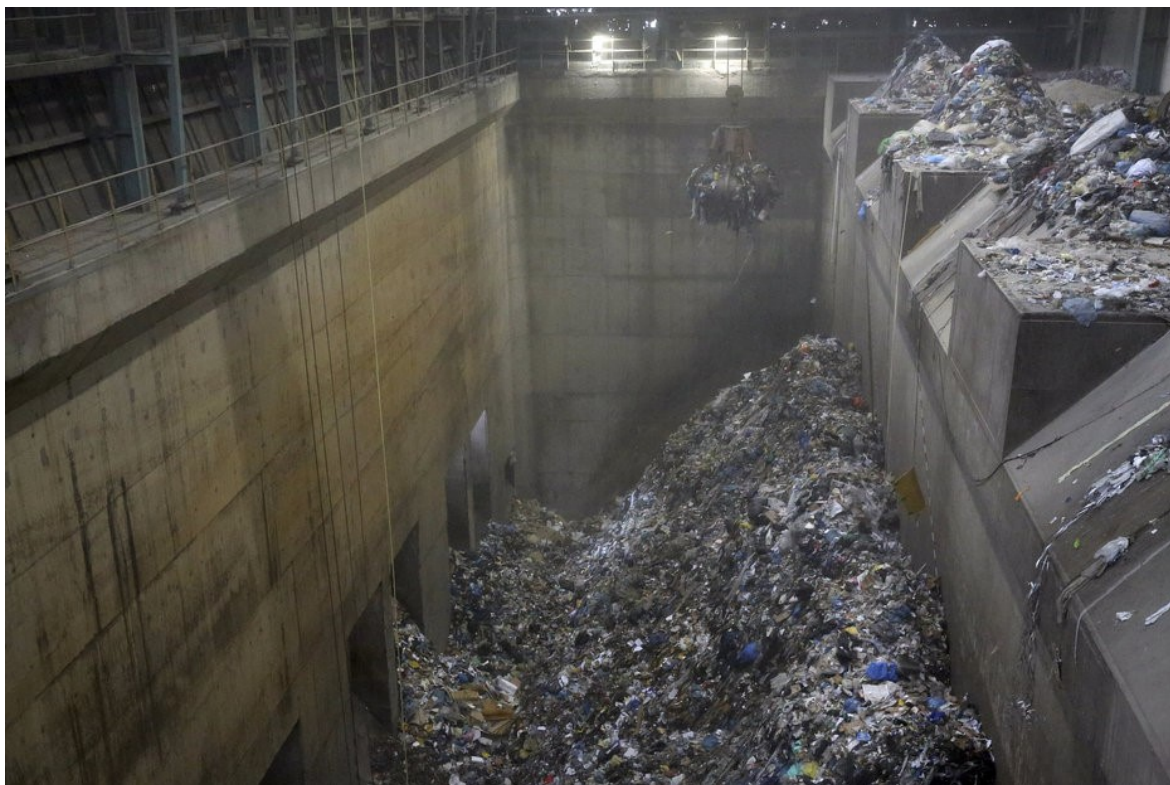
- 2 – **spalovací rošt a parní kotel**, kde dochází ke spalování odpadu a odvodu páry do parní turbíny turbogenerátoru,
- 3 – **oblast dalšího využití energie**, kde se nachází parní turbína. V této oblasti dochází k přeměně tepelné energie na elektrickou energii,
- 4 – **škvárové hospodářství** je součástí procesu spalování. Slouží k odvodu škváry, která vzniká při spalování,
- 5 – **rozprašovací sušárna**, do které vstupují spaliny a jsou zhušťovány,
- 6 – **tkaninový filtr** slouží k filtrování spalin, a to především zachycení kyselých složek,
- 7 – Ve **pračce spalin** jsou právě zachyceny klíčové kyselé složky a těžké kovy z tkaninového filtru,
- 8 – **pojistný filtr** slouží ke stejné funkci, jako tkaninový filtr, a to filtraci kyselých složek ze spalin,
- 9 – **denox reaktor** má za úkol rozložit oxid uhlíku, aby z reaktoru již vystupoval čisté spaliny do atmosféry.



Obrázek 2 – ZEVO [1]

1.2 Princip skladování odpadu

Skladování odpadu je důležitým krokem dlouhého řetězce na sobě závislých procesů zacházení s odpady v ZEVO. Prvním krokem je návoz odpadu do ZEVO a jejího bunkru, kde je odpad pomocí jeřábů neustále promícháván. Bunkr je obrovská skladovací jáma, která slouží k několika účelům. Prvním účelem tohoto bunkru je, aby zajistil hromadění odpadu při potenciálním nedostatku spalovací kapacity ku dovozenému odpadu. Tento problém může nastat z několika příčin, a to například kvůli plánovaným či neplánovaným odstávkám apod. Naopak skladovaný odpad také slouží k dodání paliva při nedostatečném návozu přímo do ZEVO. Dalším účelem tohoto bunkru je zajistit vysoušení vlhkého SKO. Vlhký SKO je pomocí jeřábu promícháván s ostatním odpadem, aby při procesu spalování nedocházelo k malé hořlavosti [2,4]. Na obrázku 3 je možné vidět konkrétní odpadní bunkr.



Obrázek 3 – Bunkr ZEVO [5]

1.3 Postup spalování odpadu

Při spalování SKO dochází k výrobě energie, která je dále dodávána do domácností pod záštitou energetických firem. Postup procesu je zahájen jeřábníkem, který za pomoci jeřábu přivádí odpad do pece. Při této akci je nutné, aby jeřábník odstranil neobvyklé předměty, které jsou pro spalování nevhodné. Ty by mohly zapříčinit problémy při spalování. Také

je důležité, aby neustále docházelo k promíchávání dovezeného materiálu, aby palivo mělo rovnoměrně rozvrženou vlhkost. Tento odpad je vypouštěn do násypek, které dávku odpad do spalovací komory. K přesunu odpadu do spalovací komory dochází pomocí hydraulických jeřábů nebo samospádem [4]. Ve spalovací komoře se nachází tzv. schodovitý mechanický roštový systém obsahující 3 důležité zóny: sušení, zapalování, vyhoření

Uvolněná energie při procesu spalování je využívána pro dodávku tepelné energie pomocí horké vody a výrobu elektrické energie. Uvolněná pára při procesu spalování je odváděna do parní turbíny turbogenerátoru, kde dochází k přeměně na energii elektrickou. Na druhou stranu také vznikají spaliny, které jsou pomocí filtrů očištěny, aby poté mohly být vypuštěny komínem do atmosféry a nedocházelo ke znečištění. Při spalování dochází také ke vzniku horké škváry, která je pomocí škvárové šachty odkloněna do vodní lázně, kde se škvára ochladí. Vodní zdroj chlazení je vybrán schválně kvůli tomu, aby nedocházelo k prášení. Z vodní lázně je dále škvára pomocí vynášecího pístu přemístěna do části systému, odkud je poté za pomoci vozidel škvára odvezena. Množství odvezené škváry je rovno asi 10–15 % celkového původního objemu SKO a hmotnost je při procesu spalování snížena až na 20–40 % původní hmotnosti [2,5]. Pohled do spalovací kotle je možné vidět na obrázku 4.



Obrázek 4 – Spalování odpadu [6]

2 Odstávky při spalování odpadu

Odstávky představují komplikace při provozu každého stroje, a ne jinak tomu je u ZEVO. Klíčovým faktorem odstávek je zefektivnění provozu a vyřešení naskytnutých poruch. Odstávky jsou děleny na plánované a neplánované odstávky [7]. Ideální případ ZEVO by představoval pouze pravidelné plánované odstávky, díky kterým by byl zkontrolován systém a vyloučena možnost odstávek neplánovaných.

2.1 Plánované odstávky

Plánované odstávky způsobují úplné zastavení provozu na dobu nezbytně nutnou pro nutnou údržbu a opravy na zařízeních. Druhou možností je pouze omezení provozu, pokud se jedná o plánované odstávky nezasahující přímo do procesu spalování. Tyto odstávky například představují jednoduché opravy na jednom z více jeřábů sloužících k přesunu SKO z bunkru do kotle. Při plánovaných odstávkách je omezen nebo zastaven dovoz SKO do bunkru [7]. U ZEVO s menší kapacitou je plánována jedna odstávka trvající 1–2 týdny za rok. Na obrázku 5 dochází k revizi zařízení.



Obrázek 5 – Servis drapáku jeřábu [8]

2.2 Neplánované odstávky

V průběhu procesu spalování se ZEVO neobejde pouze s plánovanými odstávkami, během kterých dojde k revizím a opravám zařízení. V průběhu procesu spalování nastávají neočekávaně neplánované odstávky, které s sebou nesou závažnější problémy pro provoz. Neplánované odstávky jsou důsledkem tzv. poruch provozu [10]. Poruchy lze rozdělit do tří různých kategorií, podle toho, kdy nastanou, a to:

- Období časných poruch,
- období stabilní životnosti zařízení
- období poruch v důsledku stárnutí a opotřebení.

V období časných poruch se vyskytují převážně běžné poruchy po startu do provozu spalování. Tyto poruchy lze snadno odstranit a z tohoto důvodu neplánované odstávky zapříčiněné těmito poruchami nezaberou příliš mnoho času [10]. Příkladem těchto poruch může být špatné nastavení dávkování spalovacího kotle nebo zahřívací teplota kotle. Tyto poruchy představují nejmenší riziko na poškození.

Druhou kategorií je období stabilní životnosti zařízení, kdy dochází k náhodným poruchám, mnohdy zapříčiněnými vnějšími činiteli. Bohužel díky těmto poruchám mohou často vzniknout vážnější problémy na provozu [10]. Vyřešení těchto neplánovaných odstávek může zabrat několik hodin až dnů. Poruchy ovlivněné vnějším činitelem mohou nastat například díky nevhodným materiálům při spalování nebo samovznícením skladovaného odpadu v bunkru, vznícením škváry apod. Mezi takové problémy lze také řadit vysoko výhřevný materiál, který díky jeho charakteristikám je schopný poškodit rošty v kotli spaloven. Tyto poruchy jsou nejméně predikovatelné a jejich řešení je velice obtížné.

Poslední druhy poruch jsou zapříčiněny v důsledku stárnutí a opotřebení. Tyto poruchy často poukazují na potřebu odstávky plánované a výměnu nebo revizi jednotlivých součástí systému z důvodu opotřebení. Vhodným řešením by bylo tyto neplánované odstávky již úplně predikovat a zavádět množství plánovaných tak, aby k nim vůbec nedocházelo. Tímto postupem by se poté zefektivnil provoz.

2.3 Následky neplánovaných odstávek na provoz ZEVO

Neplánované odstávky znamenají velké obtížnosti při provozu a je zapotřebí co v nejmenším možném čase je odstranit. Dlouhodobé neplánované odstávky mohou se sebou nést fatální následky pro provoz celé ZEVO. Největší následky neplánovaných odstávek se objevují hlavně v ekonomickém odvětví, ale také v bezpečnosti. Ekonomické problémy se především zabývají příjmy tvořící spalování odpadů jako takové. Problém ohledně těchto příjmů nastává právě při dlouhodobých odstávkách, kdy je ZEVO mimo provoz [7,9].

Jedny z nejzávažnějších následků jsou:

- dlouhodobá odstávka zapříčiní úplné naplnění odpadního bunkru,
- ZEVO nenaplní smlouvy ohledně dodávky vyrobené energie,
- poškození spalovny.

Dlouhodobá odstávka zapříčiní úplné naplnění odpadního bunkru v souvislosti s každodenním návozem odpadu. ZEVO si drží volné místo v bunkrech pro odstávky v čase maximálně desítek hodin. Poté se bunkry návozem zaplní a nutností je odvážet odpad do jiných zařízení, což tvoří nadbytečné náklady.

ZEVO při spalování obvykle z tepelné energie vyrábí energii elektrickou, která je používána k vlastním účelům provozu a velká část prodávána pod záštitou energetických firem. V ČR uzavírají smlouvy převážně s holdingovou společností E.ON [9]. Dlouhodobé odstávky zapříčiní nenaplnění smlouvy ohledně dodávky vyrobené energie, z čehož plynou sankce za nedodržení smlouvy.

Nejhorším scénářem jsou neplánované odstávky vedoucí k poškození ZEVO. Tato poškození může nastat ze dvou možných důvodů:

- Ekonomické problémy,
- technologická poškození spalovny.

Ekonomické problémy se především objevují u soukromých spaloven, u kterých dlouhodobá neplánovaná odstávka sníží natolik příjmy ze spalování, že možná oprava poškozeného zařízení může být fatální.

Technologické poškození představuje nejhorší možný scénář zapříčiněný především vznikem požáru, který se nepodaří dostat pod kontrolu. Jelikož se ve spalovně pracuje s obrovskými teplotami a plamenem, jsou tyto příčiny častými problémy. Predikce těchto

problémů je velice obtížná a následující délka neplánované odstávky je především závislá na velikosti poškození požárem. Na obrázku 6 je konkrétní případ technologického poškození spalovny ve spalovně Ekotermex Vyškov.



Obrázek 6 – Požár spalovny nebezpečných odpadů Ekotermex ve Vyškově [10]

3 VYHODNOCNÍ AKTUÁLNÍ SITUACE ŘEŠENÍ PROBLÉMU

Tato kapitola se zabývá pohledem na aktuální situaci v řešení daného problému neplánovaných odstávek. V tabulce 1 se nachází seznam použité literatury, která je úzce spjata s problematikou poruch při energetickém využití a spalování odpadů. Zde je označeno, zda se daná literatura zaměřuje na vyspecifikovaná kritéria ohledně poruchovosti provozu ZEVO.

Tabulka 1 – Zhodnocení aktuálního stavu pomocí literární rešerše

Autor	Obor zaměření	A	B	C	D	E	F	G
S. Mohammad Hadi Hadavi 2009	Technologický průmysl	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					
Amjad F. Meftah a kol. 2009	Fotovoltaika	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			
A. Kashefi Kaviani a kol. 2009	Fotovoltaika	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
Dong Q. Zhang 2010	Spalovny odpadů		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Steven J. Steer a kol. 2011	Tepelné elektrárny		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Matthew W. Chessness 2015	Ropný průmysl		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
P. Stehlík 2016	Spalovny odpadů	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
A. Hromádka a kol. 2017	Jaderné elektrárny	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
Efstratios N. Kalogirou 2018	Spalovny odpadů	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Misra a kol. 2018	Spalovny odpadů		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
A. Hromádka 2018	Jaderné elektrárny	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			

Kde:

- A – Výpočetní řešení
- B – Poruchy provozu
- C – Příčiny poruch
- D – Spolehlivost stroje / výrobku
- E – Skladování odpadu
- F – Spalování odpadu
- G – Poruchy při spalování odpadu

Je vidět, že informací ohledně odstávek při spalování odpadů, a to jak plánovaných, tak neplánovaných je nedostatek, ne-li se ve vědeckých pracích neobjevují žádné. Z tohoto

důvodu je důležité se při vypracování tématu zabývat příbuznými tématy, které v práci odráží důležité poznatky. Převážně jsou tato témata zaměřena na otázku hospodářského charakteru, ve kterých je práce zaměřena na provoz ZEVO a proces výroby tepla a energie. Ostatní literatura se zabývá poruchami, a to většinou v tepelných, jaderných nebo slunečních elektrárnách. V této souvislosti se převážně řeší důvody a možné následky těchto neplánovaných poruch, které způsobují případný problém domluvené dodávky energie zákazníkům.

Podobný problém také představují právě řešené neplánované poruchy při procesu spalování odpadu. Tyto poruchy zapříčiňují na jedné straně problémy s hromaděním množství odpadu, který je každodenně dovážen do ZEVO. Druhou situací je problém s dodávkou tepla a elektrické energie zákazníkům, které při procesu spalování vznikají. Díky vyhodnocení rešerše, která poukazuje na nedostatek řešení neplánovaných poruch při procesu spalování, je vhodným poznatkem zaměření se na tento problém. S dostatečnou datovou sadou dává statistika vhled do problému a může společnost připravit na to, co se může stát. Dále ale také může poukazovat na provázanosti jednotlivých parametrů v systému. Pomocí statistického zpracování dat dochází k vytvoření statistického modelu. Právě pomocí reálných dat z vybraných ZEVO v ČR je model ověřen. Dále v návaznosti na tento model jsou vyjádřené možné predikce neplánovaných poruch a zefektivnění provozu ZEVO a s tím vyřešení souvisejících problémů ohledně odpadu a dodání energie.

4 STATISTICKÁ ROZDĚLENÍ PRO TVORBU MODELU

Statistika je vědecká disciplína zabývající se daty, a to jejich zkoumáním, zpracováním a následným vyhodnocením. S dostatečnou datovou sadou lze pomocí statistických metod poukázat na možné trendy provozu jakéhokoliv zařízení. Matematická statistika je hlavním nástrojem matematické teorie spolehlivosti, která se zabývá odhadem a optimalizací bezporuchového provozu systému. Spolehlivostí se rozumí vlastnost systému, který je po určitou dobu schopný plnit svoji funkci [11].

4.1 Normální rozdělení

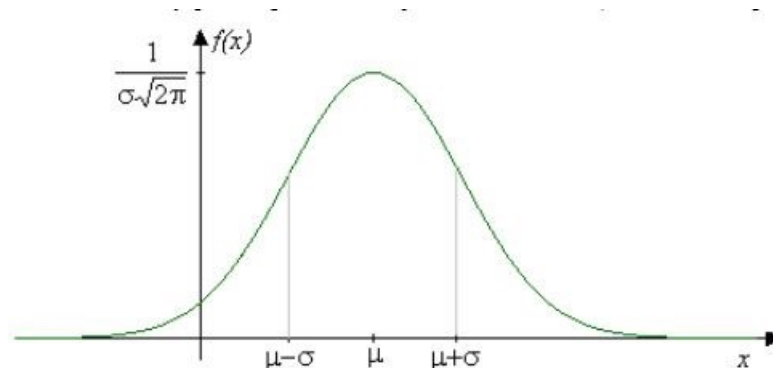
Normální nebo Gaussovo rozdělení je jedno z nejdůležitějších rozdělení pravděpodobnosti spojité náhodné veličiny. Toto rozdělení popisuje řadu veličin, které se shlukují kolem jejich střední hodnoty. Právě náhodné jevy či děje lze dobře modelovat právě pomocí tohoto rozdělení. Jako normální rozdělení lze modelovat například chyby v měření nebo jednotlivých problémů odlišujících se od běžného provozu. Tyto odlišnosti jsou často charakterizovány pomocí nějakých náhodných příčin. Díky jeho vlastnostem se jedná o rozdělení, které má důležitý význam v teoretické statistice. Jedná se o dvou parametrické rozdělení značené $X \sim (\mu, \sigma^2)$ [12].

- Parametr μ : střední hodnota $E(X)$
- Parametr σ^2 : rozptyl $D(X)$

Hustota pravděpodobnosti $f(x)$, známá také pod názvem Gaussova křivka je dána vztahem:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Na obrázku 7 je znázorněn graf hustoty normálního rozdělení.



Obrázek 7 – Hustota normálního rozdělení [12]

Na obrázku 7 je vidět, že parametr střední hodnoty určuje, kde má křivka maximum [12]. Naopak parametr rozptylu určuje, jak následující body budou vzdáleny a tím křivka rozšířena do stran.

Distribuční funkce je vypočítána pomocí vztahu:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx$$

4.2 Weibullovo rozdělení

Weibullovo rozdělení vytváří model výskytu jevu za nějakou dobu. Jedná se o tři parametrické rozdělení $X \sim (\beta, \gamma, \delta)$, více je uvedeno v [13,14].

- Parametr tvaru β : Parametr určující tvar funkce hustoty pravděpodobnosti. Může aproximovat k jiným statistickým rozdělením:
 - $\beta = 1 \rightarrow$ Exponenciální rozdělení,
 - $\beta = 2 \rightarrow$ Rayleighovo rozdělení,
 - $\beta = 3,6 \rightarrow$ Normální rozdělení.
- Parametr polohy γ : Parametr určující minimální dobu do možného výskytu poruchy, mnohdy není vůbec používán ($=0$).
- Parametr měřítka δ : Parametr měnící měřítko na časové ose (hodiny, dny, měsíce).

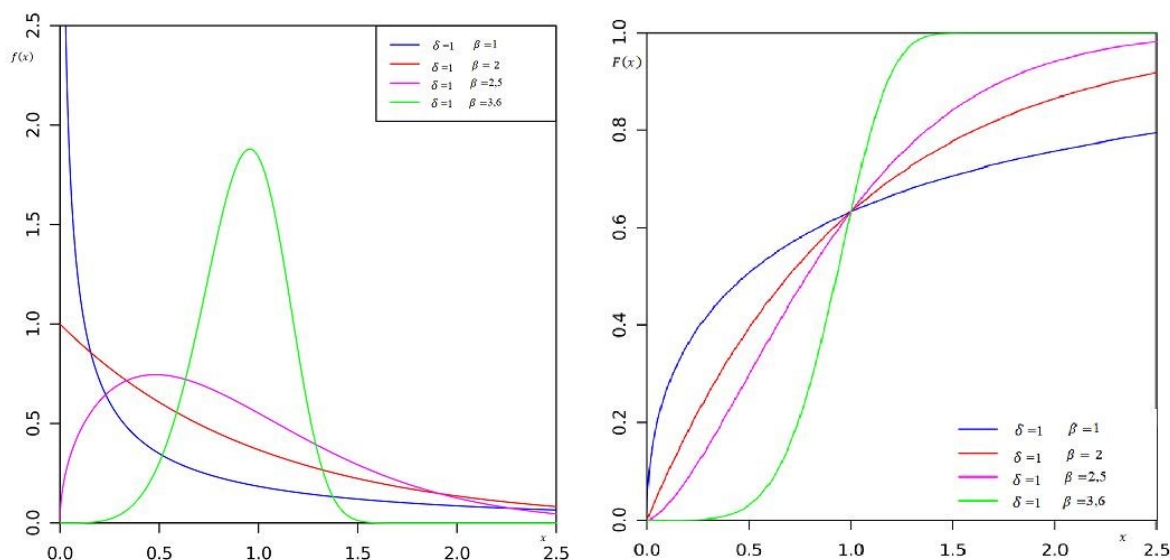
Pro odhad jednotlivých parametrů se využívá metoda maximální věrohodnosti. Metoda funguje na odhadu parametrů z datových souborů. Díky rozmanitosti parametru tvaru lze pomocí Weibullova rozdělení modelovat všechny období poruch.

Distribuční funkce a hustota funkce jsou dány vztahy: [13]

$$f(x) = \frac{\beta}{\delta} \cdot \left(\frac{x-\gamma}{\delta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\delta}\right)^\beta} ; \text{pro } x > 0 \quad (1)$$

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\delta}\right)^\beta} \quad (2)$$

Grafy distribuční funkce a funkce hustoty pravděpodobnosti jsou znázorněny na obrázku 8.



Obrázek 8 – Grafy Weibullova rozdělení s rozdílným parametrem tvaru [14]

4.2.1 Odhad parametrů Weibullova rozdělení

Pro odhad parametrů weibullova rozdělení se nejčastěji využívá metoda maximální věrohodnosti. Je možné ale využít i jiné metody, kterými jsou například metoda nejmenších čtverců nebo metoda momentů. Pro výpočet parametrů je ale také možné využít jednotlivé softwary, jako jsou Matlab, Statistica či Python, ve kterých jsou již předem definované knihovny pro tyto výpočty. Postup maximální věrohodnosti je popsán v následujících krocích.

Pokud jsou známa data ve tvaru $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ a jsou rozdělena do pravděpodobnostní funkce $f(x, \beta, \delta)$, pak je možné pro odhad jednotlivých parametrů tyto data pomocí věrohodností funkce $L(\beta, \delta)$ [13].

$$L(\beta, \delta) = \prod_{i=1}^n f(x_i, \beta, \delta)$$

Jelikož práce se součinem je mnohem složitější než práce se součtem, tak je možné využít přirozený logaritmus této funkce jako $\ln L(\beta, \delta)$ [13].

$$\ln L(\beta, \delta) = \sum_{i=1}^n \ln f(x_i, \beta, \delta)$$

Maximální věrohodný odhad parametrů $\hat{\beta}$ a $\hat{\delta}$ neznámých parametrů spočívá ve výpočtu maxim této funkce. Pro tento výpočet jsou využity parciální derivace, které jsou položeny rovny nule [13].

Postupné derivace podle jednotlivých parametrů jsou dány těmito rovnicemi:

$$\frac{\partial \ln L(\beta, \delta)}{\partial \beta} = \frac{n}{\beta} + \sum_{i=1}^n \ln(x_i) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^\beta \ln(x_i) = 0$$

$$\frac{\partial \ln L(\beta, \delta)}{\partial \delta} = \frac{n}{\delta} + \frac{1}{\delta^2} \sum_{i=1}^n x_i^\beta = 0$$

Po úpravě těchto rovnic dojde k získání tvaru rovnic, díky kterým lze vypočítat maximální věrohodné obrazy parametrů $\hat{\beta}$ a $\hat{\delta}$ [13].

$$\frac{1}{\hat{\beta}} = \left[\sum_{i=1}^n x_i^{\hat{\beta}} \ln(x_i) \right] \left[\sum_{i=1}^n x_i^{\hat{\beta}} \right]^{-1} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \quad (3)$$

$$\hat{\delta} = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^{\hat{\beta}} \right]^{\frac{1}{\hat{\beta}}} \quad (4)$$

5 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ

V této kapitole dojde k vysvětlení postupů ke statistickému zpracování dat. Výběrové soubory dat jsou zkoumány pomocí vybraných testů. Vybrané testy je možné dělit do dvou skupin, a to na testy normality a parametrické testy. Nejprve jsou využity testy normality. Tyto testy slouží ke zkoumání hypotéz tvrdících, zda daná data spadají do normálního či vybraného rozdělení. Postupně jsou využity Kolmogorovův – Smirnovův test a Test dobré shody. Druhou skupinou jsou parametrické testy. Tyto testy jsou zaměřené na hlavní charakteristiky rozdělení, jako střední hodnoty a rozptyly. Postupně dojde k využití ANOVA testu zkoumající rovnost středních hodnot mezi skupinami. Dále je využito F–testů zkoumajících rovnost rozptylů mezi skupinami a na to navazující t–testy, které řeší rovnost středních hodnot. V následujících podkapitolách jsou jednotlivé testy podrobně rozebrány.

5.1 Test normality

Pomocí testu normality dochází k ověření předpokladu, že zvolená data spadají do normálního rozdělení. Pro testování této hypotézy je možné využít několik testů, a to např. Kolmogorovův – Smirnovův test dobré shody a Shapiro – Wilkův test. Jedním z atypických, ale často využívaným testem je Chí–kvadrát test dobré shody, který je využíván k potvrzení zvoleného rozdělení [15]. Statistické testy jsou prováděny na hladině významnosti α . Hladina určuje pravděpodobnost, že dojde ke správnému závěru hypotézy, jelikož nikdy není 100% jistý výsledek.

5.1.1 Kolmogorovův – Smirnovův test

Dochází k testu hypotézy tvrdící, že náhodný výběr dat z rozsahu n pochází ze souboru normálního rozložení $N(\mu, \sigma^2)$ s distribuční funkcí $F(x)$ [16]. Hypotéza je značena jako H_0 .

Postup testování

- Uspořádání dat $x_{(i)}$ podle velikosti vzestupně,
- testovací statistika pomocí vzorce [16]:

$$D_n = \max \left\{ \left| F(x_{(i)}) - \frac{i-1}{n} \right|, \left| F(x_{(i)} - \frac{i}{n}) \right| \right\}, \text{ pro } i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (5)$$

- zhodnocení výsledků: Hypotéza se zamítne tehdy, pokud je $D_n \geq D_\alpha$, kde D_α jsou kritické hodnoty, které jsou tabelovány v tabulce 2 [17]. Ta je upravena pro počet hodnot v rozsahu čísel 4–15.

Tabulka 2 – Maximální odchylka empirické distribuční funkce od teoretické

Rozsah n	Hladina významnosti α			Rozsah n	Hladina významnosti α		
	0,01	0,05	0,1		0,01	0,05	0,1
4	0,734	0,624	0,565	10	0,489	0,409	0,369
5	0,668	0,563	0,509	11	0,468	0,391	0,352
6	0,617	0,519	0,468	12	0,449	0,375	0,338
7	0,576	0,483	0,436	13	0,432	0,361	0,325
8	0,542	0,454	0,410	14	0,418	0,349	0,314
9	0,513	0,430	0,387	15	0,404	0,337	0,304

5.1.2 Chí–kvadrát test dobré shody

Test dobré shody je používán k otestování shody rozdělení četností u znaků, a to metodou porovnání distribuční funkce sledované spojité veličiny. Tento test je založen na zkoumání rozdílu mezi skutečnými četnostmi výskytu hodnot ve výběrovém souboru dat a očekávanými četnostmi podle daného zkoumaného rozdělení pravděpodobnosti. Dochází zde k testu hypotézy H_0 , která zkoumá, zda je rozdíl mezi skutečnými a teoretickými četnostmi vytvořen pouze náhodně nebo naopak pochází z daného rozdělení [18]. Vzorec pro výpočet je:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(o\check{c}_i - s\check{c}_i)^2}{o\check{c}_i} \quad (6)$$

Kde m je počet zvolených mezí, $O\check{C}$...Očekávaná četnost a $S\check{C}$... Stávající četnost

Výsledná hodnota χ^2 je dále porovnána v tabelovaných kritických hodnotami v Tabulka 3 [19]. Pokud je výsledná hodnota menší jako kritická hodnota, pak je výsledkem potvrzení hypotézy, že zvolené parametry funkce a vyfiltrovaná data spadají do daného rozdělení. V opačném případě je nutné vyslovit závěr, že daná data jsou pouze náhodným uskupením dat a nespádají do daného rozdělení.

Tabulka 3 – Kritické hodnoty testu dobré shody

Stupeň volnosti		1	2	3	4	5	6	7	8	9
$1 - \alpha$	0,995	7,88	10,6	12,84	14,86	16,75	18,54	20,28	21,95	23,59
	0,999	10,81	13,80	16,26	18,46	20,52	22,46	24,35	26,10	27,86

5.2 Parametrické testy

Tato kapitola se zabývá testováním hypotéz ohledně shodnosti rozptylů v jednotlivých skupinách dat. Ty jsou testovány pomocí různých metod, kterými jsou ANOVA, F–test a t–test.

5.2.1 Analýza rozptylu (ANOVA)

Jedná se o statistickou metodu zkoumající hypotézu o středních hodnotách mezi více skupinami prvků [20]. Pomocí testu se rozhoduje mezi dvěma hypotézami, ze kterých pomocí výsledku je jedna potvrzena, a to:

- H_0 – rozptyl středních hodnot vybraných dat se statisticky neliší, tedy: $\mu_a = \mu_n$,
- H_1 – alespoň mezi dvěma středními hodnotami existuje statisticky významný rozdíl.

Analýza pracuje na rozkladu celkové variability na dvě, kterými jsou:

- Variabilita mezi výběry – charakterizuje rozdíl mezi středními hodnotami,
- variabilita uvnitř výběrů – charakterizuje rozptyl mezi měřenými hodnotami a středními hodnot měřených dat ve výběru.

Aby ANOVA test mohl být použit, je zapotřebí splnit podmínky. Těmi jsou, aby data spadala do normálního rozdělení a vybrané skupiny byly na sobě nezávislé [21]. Dále je nutné pracovat na hladině významnosti α , jako při testu normality.

Pro vyřešení postupu testování je ideální vytvoření tabulky se vzorci právě pro dané variability. Tento postup je možné vidět v tabulce 4 [21].

Tabulka 4 – Výpočty ANOVA testu

ANOVA TEST				
Variabilita	Součet čtverců odchylek	Počet stupňů volnosti	Průměrný rozptyl	Testovací kritérium
Mezi výběry	$S_G = \sum_{i=1}^m n \cdot (\bar{x}_m - \bar{X})^2$	$DF_G = m - 1$	$M_G = \frac{S_G}{DF_G}$	$F = \frac{M_G}{M_R}$
Uvnitř výběrů	$S_R = \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x}_m)^2$	$DF_R = m \cdot (n - 1)$	$M_R = \frac{S_R}{DF_R}$	

Kde: m je počet skupin, n je počet dat v jednotlivé skupině, \bar{x}_m průměrná hodnota dat ze skupin a \bar{X} celkový průměr.

Výsledkem tohoto testu je tedy přijetí jedné ze dvou zvolených hypotéz. K tomuto závěru se dojde, pokud je porovnána hodnota testovací kritéria s kritickou hodnotou. Kritická hodnota je dopočítána pomocí funkce FINV [21], která vypočítá inverzní funkci daného rozdělení pro danou pravděpodobnost. Závěrem výpočtů je vyjádřen výsledek, tedy pokud je hodnota testovacího kritéria menší, jako kritická hodnota, pak je možné hypotézu přijmout.

5.2.2 F–test rovnosti rozptylů ve dvou různých skupinách

Cílem F–testu je ověřit, zda rozptyl dvou konkrétně vybraných skupin se statisticky neliší. Neboli zda dvě skupiny vykazují stejný rozptyl na hladině významnosti α . Dochází tedy ke zkoumání dvou hypotéz, kterými jsou [22]:

- H_0 – Rozptyl dvou vybraných skupin se statisticky neliší $\rightarrow \sigma_1^2 = \sigma_2^2$,
- H_1 – Rozptyl dvou vybraných skupin se statisticky liší $\rightarrow \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$.

Důležitým předpokladem, jako u ANOVA testu je, že data musí pocházet z normálního rozdělení. Jelikož se jedná o metodu srovnávání dvou jednotlivých skupin o n množstvím x_i prvků, je zapotřebí určit vzorec pro výpočet výběrových rozptylů s_m^2 [22].

$$s_m^2 = \frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n_m}}{n_m - 1} \quad (7)$$

Následujícím krokem je výpočet testovacího kritéria F [22]. Kritérium je vypočítáno pomocí vzorce:

$$F_\alpha = \frac{\text{Vyšší hodnota } s_m^2}{\text{Nižší hodnota } s_m^2} \quad (8)$$

Následným krokem je výpočet stupňů volnosti jednotlivých skupin pomocí vzorce:

$$v = n - 1 \quad (9)$$

Výsledné kritérium je srovnáno s tabelovanou kritickou hodnotou. Pokud je tabelovaná kritická hodnota v tabulce 5 [23] menší jako hodnota testovacího kritéria, poté není důvod zamítnout hypotézu H_0 . V opačném případě je nutné přijmout hypotézu H_1 .

Tabulka 5 – Kritické hodnoty F–testu

	$v_1 = 1$	2	3	4	5
$v_1 = 1$	161,45	199,50	215,71	224,58	230,16
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05

Kde v_1 značí četnější skupinu ze dvou porovnávaných.

5.2.3 Nepárový dvouvýběrový t–test rovnosti středních hodnot

Dvouvýběrový t–test je využíván k porovnávání dvou vybraných skupin dat, u kterých není známa jejich střední hodnota [24]. Dvouvýběrový test je dělen na:

- Párový test – kdy jsou porovnávána dvě měření u jedné dané skupiny dat,
- nepárový test – kdy jsou porovnávána dvě nezávislé skupiny.

Pro porovnání středních hodnot mezi skupinami jednotlivých odstavek mezi roky je využit nepárový test. Jako v předešlých testech je zde zkoumána hypotéza H_0 , která zde potvrzuje rovnost středních hodnot těchto dat $\mu_1 = \mu_2$.

Před zkoumáním této hypotézy je nutné otestovat rovnost rozptylů těchto skupin pomocí F–testu, který je vysvětlen v předešlé kapitole 5.2.2 [22]. U skupin, které nemají stejný počet dat je rozhodující, zda se statisticky rozptyl daných skupin liší nebo ne.

Následně je podle výsledků F–testu určen postup pro výpočet t–testu. Pro výpočet shodnosti středních hodnot skupin o stejné množství dat n je využit vzorec [24]:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{n}}} \quad (10)$$

Kde: $\bar{x}_m \dots$ průměrná hodnota dat zvolené skupiny; $s \dots$ směrodatná odchylka

Následně je vypočítán stupeň volnosti v jednotlivých skupin pomocí vzorce (9).

Posledním krokem je porovnání vypočtené hodnoty t s tabelovanou kritickou hodnotou. Kritické hodnoty jsou znázorněny v tabulce 6 [19].

Tabulka 6 – Kritické hodnoty t–testu

Stupeň volnosti	Hladina významnosti					
	0,80	0,90	0,95	0,975	0,9875	0,995
2	1,061	1,886	2,920	4,303	6,205	9,925
3	0,978	1,638	2,353	3,182	4,176	5,841
4	0,941	1,533	2,132	2,776	3,495	4,604
5	0,920	1,476	2,015	2,571	3,163	4,032
6	0,906	1,440	1,943	2,447	2,969	3,707
7	0,896	1,415	1,895	2,365	2,841	3,499
8	0,889	1,397	1,860	2,306	2,752	3,355
9	0,883	1,383	1,833	2,262	2,685	3,250
10	0,879	1,372	1,812	2,228	2,634	3,169

Pomocí výsledných hodnot je vytyčen závěr. Pokud je výsledná hodnota $t < \text{kritická hodnota}$, poté není důvod hypotézu H_0 zamítnout.

6 BUSSINESS CONTINUITY MANAGEMENT

Bussiness continuity management (BCM) též známý jako řízení kontinuity činnosti organizace je strategický a taktický řídicí proces popisující pokračování podniku v provozu při neplánovaném přerušení. Při tomto procesu je tvořen plán postupu. Tento plán obsahuje postup řešení nenadálé události pro všechny aspekty podnikání, které by mohly být ovlivněny. Těmito aspekty jsou obchodní procesy, aktiva firmy, lidské zdroje a obchodní partneři [25]. Obsahem tohoto plánu je nejen obnovení provozu na předem stanovené úrovni, ale také zajištění prevence před těmito krizovými či havarijními situacemi [26].

6.1 Standard BCM

Všechny úkony spojené s BCM se řídí podle stanoveného standardu ISO 22301, který nahradil dříve používaný standard BS2599.

- ČSN EN ISO 22301:2020 – Bezpečnost a odolnost – Systémy managementu kontinuity podnikání – Požadavky [27]

Celkový standard ISO 22301 se zaměřuje nejen na tvorbu plánů, pravidel, prevenci a snížení následků, ale také na provozní procesy, které tyto činnosti realizují. Jedná se o činnost, která je začleněna do činnosti managementu organizace, který se zabývá především plynulým chodem činnosti společnosti [27]. V normě jsou uvedeny požadavky na dokumentaci, které jsou nutné při zavedení řízení kontinuity činností organizace.

6.2 Postup zavádění plánu kontinuity

Postup zavádění plánu kontinuity probíhá v několika fázích [25], kterými jsou:

- Zavedení BCM,
- analýza a strategie,
- plánování,
- implementace,
- testování,
- operativní řízení.

Posupně jsou následující kroky detailněji vysvětleny.

6.2.1 Zavedení BCM

Tato část obsahuje základní informace o provozu firmy neboli analýzu společnosti. Pod tím je si možno představit stanovení směru a cílů organizace, identifikace činností a majetku, spolupráci a závazky organizace.

6.2.2 Analýza a strategie

V první řadě je zde definována analýza rizik, hrozeb a dopadů. Zde spadá stanovení zranitelných míst, identifikace procesů, jež by mohly ohrozit provoz a určení směru dopadu hrozeb apod.

Následně je specifikována strategie. Ta zajišťuje návrh a vymezení opatření ke snížení pravděpodobnosti výskytu incidentů.

6.2.3 Plánování

Úkolem tohoto plánování je určení postupů, prostřednictvím kterých dojde k zotavení společnosti a jakým způsobem budou obnoveny narušené klíčové procesy [26].

Plánování lze rozdělit do několika částí, a to:

- plán zvládnutí incidentů – Obsahuje seznam úkolů a činností k řízení okamžitých následků přerušení provozu organizace,
- plán kontinuity činností – Popisuje způsob vyvolání BCP a chování pracovníku při jejím vyvolání,
- plán obnovy činností – Popisuje konkrétní činnosti jednotlivých osob po obnově do provozu.

6.2.4 Implementace

Část finálního zavedení BCM do struktury organizace.

6.2.5 Testování a operativní řízení

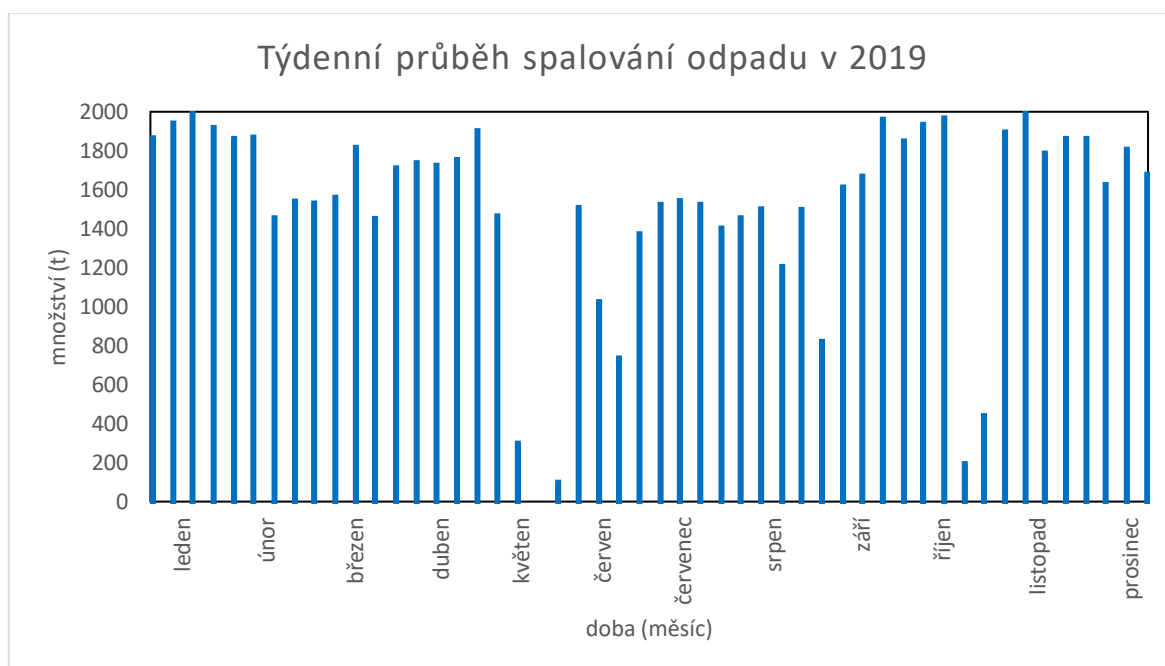
Zavádění pravidelných testů ke kontrole funkčnosti a zefektivnění BCM. Tyto testy kontrolují úplnost plánů nebo simulují situace pro funkčnost BCM.

Jedná se o poslední fázi při zavádění kontinuity činnosti organizace. Představuje neustále opakující se proces činností zahrnující informovanost o procesu BCM [25]. Tím je soubor testování a plánů, audit systému a neustálá školení všech zúčastněných osob.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 SBÍRÁNÍ A ZPRACOVÁNÍ DAT

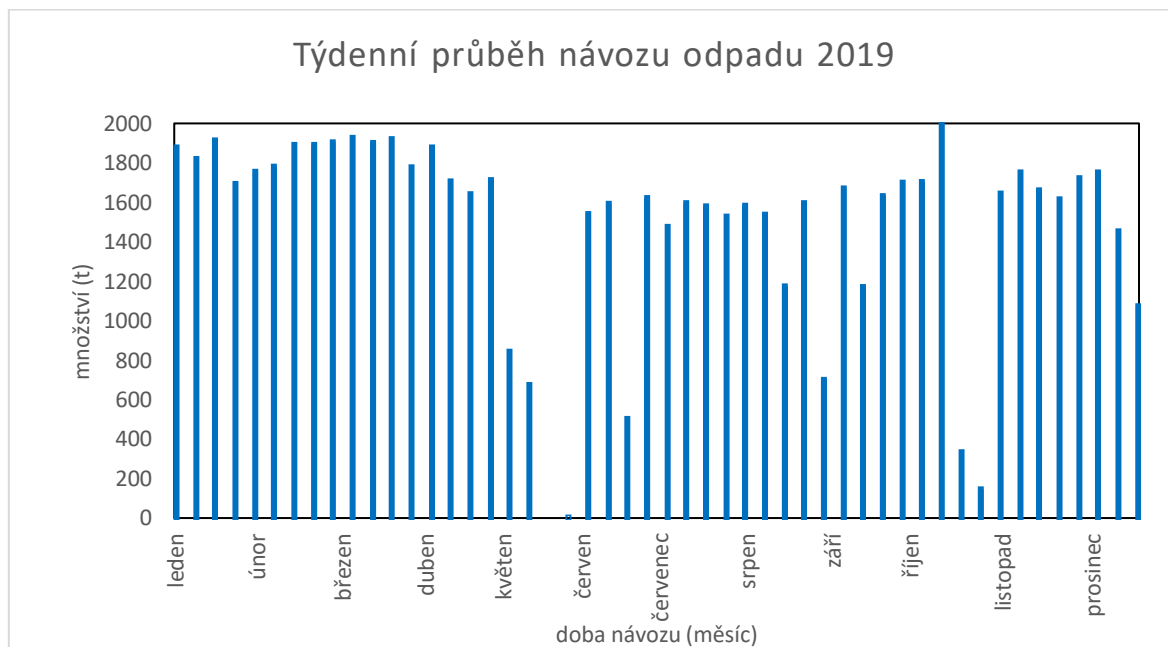
Následující kapitola se zabývá sbíráním dat a jejich následným zpracováním. Konkrétní data představující průběh zpracování odpadu v daném ZEVO. Data jsou filtrována a následně zobrazena pomocí jednotlivých grafů. Obrázky detailně poukazují na různé procesy ZEVO, a to množství spáleno odpadu v daném období, návoz odpadu úzce spjatý s kapacitou bunkru a v neposlední řadě odstávky, jak plánované, tak neplánované. Zpracovaná data budou v práci dále využita, a to především při statistickém testování a modelování. Na obrázku 9 je znázorněn průběh spalování v roce 2019.



Obrázek 9 – Týdenní průběh spalování odpadu v roce 2019

Plánované množství spáleného odpadu za jeden týden v měsíci je dáno přibližně na 2000 tun. Z grafu je tedy možné zpozorovat, že tohoto množství ZEVO dosáhlo pouze ve čtyřech měsících v daném roce, a to v lednu, dubnu, listopadu a prosinci. To je zapříčiněno tím, že nedošlo k žádné odstávce. V ostatních měsících je zřejmé odchylení od plánovaného množství, které je spojeno právě s odstávkami, ať už plánovanými nebo neplánovanými. V květnu a září došlo k velkým poklesům spalování, což způsobily plánované odstávky provozu. Následující odchylení jsou ovlivněna neplánovanými odstávkami. Největší pokles, způsoben neplánovanými odstávkami, je možné vidět v červnu, kdy došlo k závažnému problému při spalování. V daném měsíci došlo k poklesu spalování až o 1/3 spáleného odpadu.

Úzce spjata se spalováním je navážení odpadu do spalovny. Návoz odpadu je nezbytný pro neprodlený provoz ZEVO. K ukládání odpadů slouží odpadní bunkry. Na obrázku 10 je možné vidět průběh návozu odpadu v daném roce.

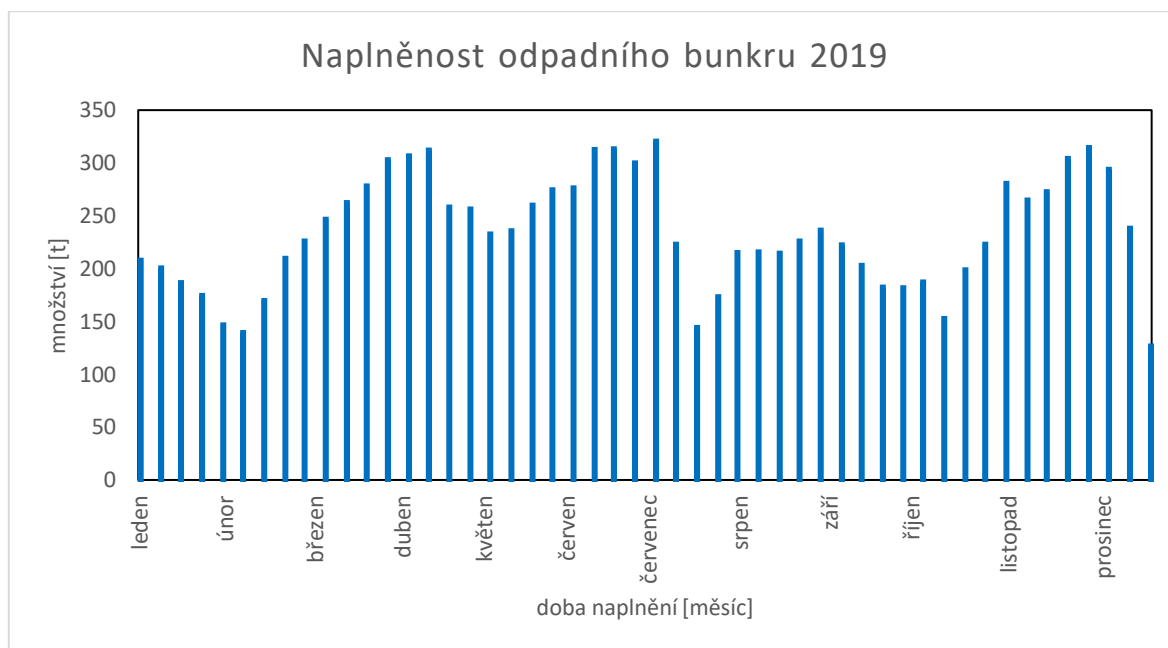


Obrázek 10 – Týdenní průběh návozu odpadu za rok 2019

Plánované množství naváženého odpadu je vybalancované vůči rychlosti spalování, která je dána na 2000 tun odpadu týdně. Takové množství odpadu je tedy zapotřebí také navézt. Z grafu je možné vypočítat, že návoz grafu je závislý na provozu ZEVO. Z důvodu odstávek, jak plánovaných, tak neplánovaných není návoz odpadu konstantní. Z obrázku 10 je zřejmé, že při plánovaných odstávkách, a to v květnu a říjnu je návoz po tuto dobu pozastaven. Toto pozastavení bývá plánováno s předstihem. Důvodem je, aby nedošlo k přeplnění bunkru a po odstávce mohlo dojít k plynulému provozu. Větší problém představují neplánované odstávky. Po krátkou dobu je možné při neplánovaných odstávkách odpad ukládat do odpadních bunkrů. Pokud ale dojde k delší odstávce, jak je z grafu na obrázku 10 zřejmé například v červnu a září, je ZEVO nuceno neplánovaně návoz pozastavit. Delší pozastavení způsobuje komplikace. Odpad je nutné přemísťovat do blízkých skládek, aby nedošlo k přeplnění bunkru a po odstávce mohlo začít plynulé najetí do provozu. Tato situace zapříčiňuje nečekané výdaje, a to z důvodu zvýšení nákladů za převoz SKO.

Jako již bylo řečeno, návoz odpadu je úzce spjat se zaplněností odpadního bunkru. Objem odpadního bunkru zkoumané spalovny je 3000 m³. Při vycházení z toho, že průměrná objemová hmotnost SKO je 122 kg/m³ [28], vyjde, že do odpadního bunkru se vejde až 350

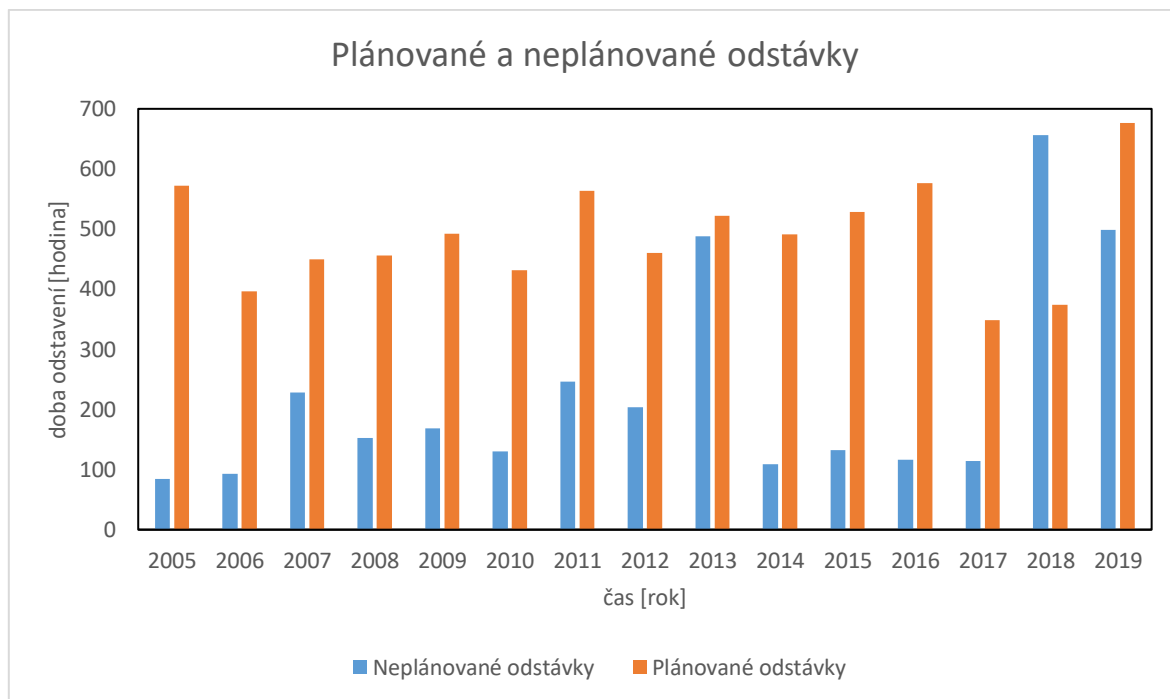
tun SKO. Tudíž z předešlých datových zpracování vychází, že k plnému naplnění odpadního bunkru, při návozu přibližně 2000 tun týdně a odstaveném provozu, dojde do dvou dnů. Optimálním množstvím SKO uložené v odpadním bunkru je dáno zhruba na 2/3 kapacity bunkru. Toto množství je zapříčiněno tím, že je potřeba udržovat zásobu na případné problémy s návozem, aby v ZEVO probíhal nepřetržitý provoz. Na obrázku 11 je možné porovnat průběžnou naplněnost bunkru v jednotlivých týdnech jednoho roku.



Obrázek 11 – Naplněnost odpadního bunkru za rok 2019

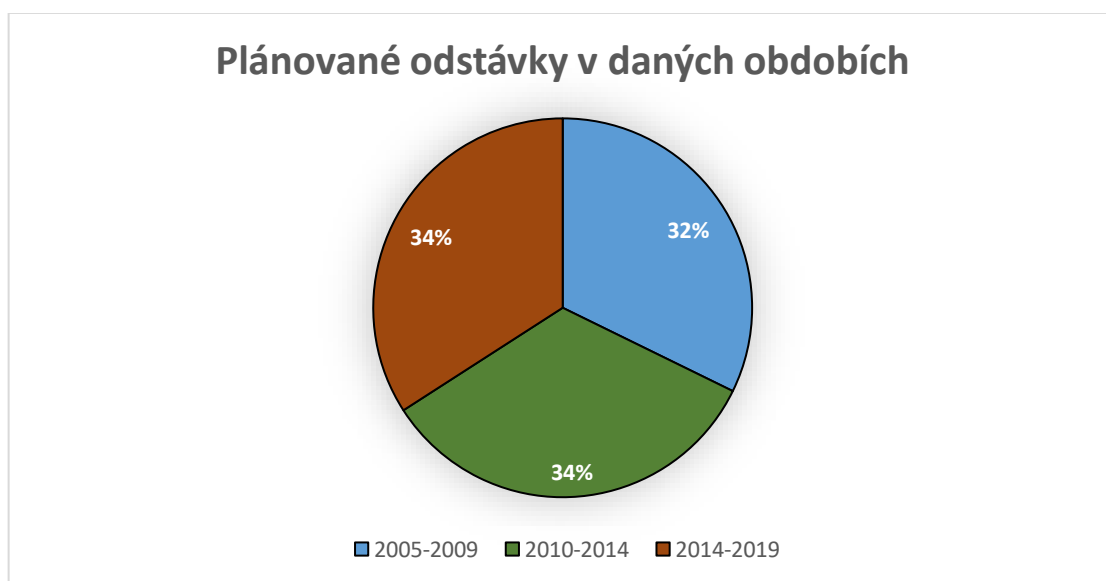
Při porovnání obrázků 9-11, o naplněnosti bunkru s předešlými obrázky ohledně spalování a návozu SKO je možné vidět, že všechny tyto procesy jsou na sobě závislé. Z obrázku 11 je možné vyčíst, že dochází ke kolísavosti naplněnosti bunkru. Důvodem je, že při neplánovaných odstávkách dochází k naplnění bunkru a z tohoto důvodu je nutné SKO odvážet na skládky. Tento případ je možné v grafu pozorovat především v několika měsících, a to v dubnu, červnu, červenci, listopadu a prosinci. Za těchto předpokladů je ZEVO nuceno SKO odvážet na skládky.

Z předchozích grafů je zřejmé, že ZEVO ve všech směrech negativně ovlivňují odstávky, a to hlavně neplánované. Na obrázku 12 je možné vidět výskyt těchto odstávek za posledních 15 let.



Obrázek 12 – Znázornění odstávek spalovny odpadů v průběhu 15 let

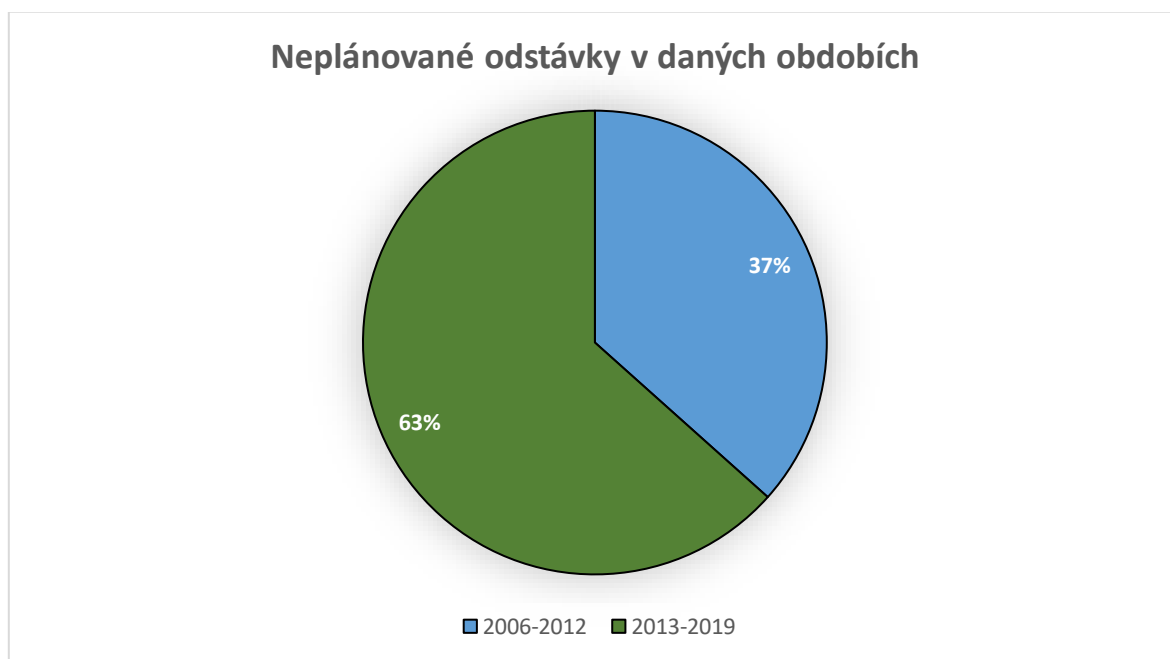
Z grafu je zřejmé, že ZEVO má naplánováno v průměru 500 hodin odstávek za rok, což tvoří přibližně 3 týdny z celého provozu. Za tuto dobu probíhají nutné kontroly, opravy a revize komponentů. Jelikož jsou tyto odstávky plánované, tak již předem je pozastaven návoz SKO, tudíž v době plánovaných odstávek nedochází k úplnému naplnění bunkru. SKO je tedy rovnou odvážen na skládky. Poměrně konstantní četnost plánovaných odstávek je znázorněn pomocí koláčového grafu na obrázku 13.



Obrázek 13 – Znázornění četnosti plánovaných odstávek v obdobích po 5 letech

Obrázek 13 je rozdělen do 3 období po 5 letech, kde došlo k sumě plánovaných odstávek. Je tedy potvrzením tvrzení, že četnost plánovaných odstávek zůstává po celou dobu konstantní a dochází pouze k mírnému kolísání.

Větší problém představují odstávky neplánované. Lze určit, že data začínají rokem 2005, kdy ZEVO bylo v provozu pátým rokem. Je zřejmé, že spalovna již byla zajata do provozu a neplánovaných odstávek bylo po dobu několika let v rádech desítek až dvou stovek hodin. Tomuto průběhu odpovídá období stabilního života. Výjimku představuje rok 2013, kdy došlo k prasknutí kotle, což způsobilo odstavení provozu na několik dní. Roku 2018 došlo ke zlomu a neplánované odstávky vzrostly. Tento stav může být způsoben opotřebením a stárnutím zařízením a s tím související intenzivnější výskyt poruch. Na obrázku 12 je vidět průběh neplánovaných odstávek v posledních dvou letech, který lze přirovnat k třetí kategorii poruchovosti, kterou je období stárnutí a opotřebení. Znázornění zvýšení četnosti neplánovaných odstávek v posledních letech je znázorněno na obrázku 14.



Obrázek 14 – Znázornění četnosti neplánovaných odstávek v obdobích po 7 letech

Obrázek 14 je rozdělen do 2 období po 7 letech počínaje rokem 2006. Lze vidět, že četnost neplánovaných odstávek rapidně vzrostla. Mezi lety 2006–2012 se jednalo o 1221 hodin neplánovaného odstavení. Zatímco mezi roky 2013–2019 došlo k 2114 hodinám odstavení, což způsobila vzrůst 1,7x oproti prvnímu období. Tento fakt lze považovat za potvrzení předešlého tvrzení o postupném přechodu do 3. období poruchovosti.

Každá neplánovaná odstávka zapříčiňuje komplikaci právě s návozem SKO a zaplněností bunkru. Zda se odstávku nepodaří odstranit v jednotkách, maximálně desítkách hodin, tak je ZEVO nuceno SKO odvážet na skládky, a to právě z důvodu zaplnění bunkru. Po důkladném statistickém rozboru jednotlivých roků je možné vidět výsledky četnosti a intenzity neplánovaných odstávek v tabulce 7.

Tabulka 7 – Zpracovaná data za období 15 let

Měsíc	Celkové odstavení [hodin]	Průměrně odstaveno [hodin]	Počet odstavení za 15 let
Leden	225,0	28,1	8
Únor	185,0	30,8	6
Březen	366,0	40,7	9
Duben	102,0	20,4	5
Květen	246,0	35,1	7
Červen	296,0	49,3	6
Červenec	498,0	55,3	9
Srpen	194,0	32,3	6
Září	691,0	98,7	7
Říjen	280,0	40,0	7
Listopad	288,0	48,0	6
Prosinec	48,0	16,0	3

Za dané období se neplánované odstávky nejčastěji vyskytují ve dvou měsících, a to v březnu a červnu. Avšak nejintenzivnější odstavení je v měsících září. Zatímco absolutně nejméně neplánovaných odstávek se vyskytuje v prosinci. Při zpracování těchto dat vyjde, že průměrná doba neplánovaných odstávky za posledních 15 let je 227 hodin, a to v 5 odstávkách.

Pomocí znázorněných dat a grafů dojde v následujících částech práce ke statistickému zpracování právě neplánovaných odstávek.

8 STATISTICKÉ ZKOUMÁNÍ NEPLÁNOVANÝCH ODSTÁVEK

Tato kapitola se zabývá statistickým zkoumáním dat z oblasti neplánovaných odstávek. Ve zpracování nejprve došlo k součtu všech neplánovaných odstávek během roku. V tomto kroku došlo ke sčítání doby odstavení provozu v časovém měřítku, a to konkrétně v hodinách. V dalším kroku byla data rozdělena do 3 časových období. Fakticky se jedná o období mezi roky 2005–2009, 2010–2014 a 2015–2019. Toto rozdělení je možné vidět v tabulce 8.

Tabulka 8 – Zpracovaná data neplánovaných odstávek do jednotlivých období

Období	2005–2009	2010–2014	2015–2019
Množství odstávek v jednotlivých letech v hodinách	84 (2005)	130 (2010)	132 (2015)
	93	246	116
	228	204	114
	152	488	656
	168 (2009)	109 (2014)	499 (2019)

Tato data budou dále statisticky zpracována. Nejprve dojde k ověření, zda pocházejí z normálního rozdělení, a to pomocí testu normality. Následující krok bude směřovat k testování rozptylu středních hodnot jednotlivých období, a to pomocí analýzy rozptylu.

8.1 Test normality

V první řadě dojde k testování hypotézy H_0 . Ta tvrdí, že zvolený soubor dat neplánovaných odstávek v již dříve specifikovaných obdobích mezi roky 2004–2019, pochází z normálního rozdělení. Data z jednotlivých období jsou spojena a následně vzestupně uspořádána podle jejich velikosti. Na testování této hypotézy je využit jeden ze vzorců pro testování normality, a to konkrétně již dříve specifikovaný Kolmogorovův – Smirnonův test. Pomocí vzorce (5) je vypočítána maximální odchylka empirické distribuční funkce. Tato hodnota je poté porovnána s kritickou hodnotou. Díky porovnání se dojde k výsledku, zda je možné hypotézu přijmout nebo zamítnout. Detailní postup výpočtů je vidět v tabulce 9.

Vypočítané hodnoty pro následující výpočty jsou: směrodatná odchylka výběrová = 175,66 a průměr = 227,93.

Tabulka 9 – Kolmogorovův – Smirnonův test normality

Kolmogorovův – Smirnonův test s hladinou významnosti $\alpha = 0,05$						
i	x_i	i/n	$(i - 1) / n$	$F(x)$	$ F(x) - (i - 1)/n $	$ F(x) - (i/n) $
1	84	0,067	0,000	0,206	0,206	0,140
2	93	0,133	0,067	0,221	0,155	0,088
3	109	0,200	0,133	0,249	0,116	0,049
4	114	0,267	0,200	0,258	0,058	0,008
5	116	0,333	0,267	0,262	0,005	0,071
6	130	0,400	0,333	0,289	0,045	0,111
7	132	0,467	0,400	0,292	0,108	0,174
8	152	0,533	0,467	0,333	0,134	0,201
9	168	0,600	0,533	0,366	0,167	0,234
10	204	0,667	0,600	0,446	0,154	0,221
11	228	0,733	0,667	0,500	0,167	0,233
12	246	0,800	0,733	0,541	0,192	0,259
13	488	0,867	0,800	0,931	0,131	0,064
14	499	0,933	0,867	0,939	0,072	0,005
15	656	1,000	0,933	0,993	0,059	0,007

V tabulce 9 je možné vidět že maximální odchylka empirické distribuční funkce je 0,259. Tato hodnota je porovnána s tabelovanými hodnotami v tabulce 2. V tabulce je kritická hodnota pro počet dat $n = 15$ a hladinu významnosti $\alpha = 0,05$ je 0,337. Následně dojde k porovnání výsledné vypočtené maximální odchylky s tabelovanou, a to $0,259 < 0,337$. Vzhledem k tomu, že kritická hodnota je vyšší než vypočtená hodnota D_n , tak není důvod zamítnout testovanou hypotézu H_0 , která říká, že testovaná data pochází z normálního rozdělení.

8.2 Analýza rozptylu dat

Následující podkapitola statistického zkoumání se zabývá další hypotézou H_0 . Hypotéza se zabývá tím, zda se střední hodnoty konkrétních dat od sebe výrazně liší. Tudíž H_0 zkoumá, zda rozdíl středních hodnot je statisticky nevýznamný. Pro tento výzkum je využit ANOVA test. Před začátkem analýzy rozptylu je nutné splnit podmínky dat, kterými jsou již dříve potvrzená hypotéza charakterizující, že data spadají do normálního rozdělení. Druhou podmínkou je, aby jednotlivé skupiny byly na sobě nezávislé. Tyto podmínky vybraná data neplánovaných odstavěk splňují. Je možné přejít k analýze rozptylu. Jako již dříve bylo specifikováno, je nutné celkovou variabilitu rozdělit na variabilitu mezi výběry a variabilitu uvnitř výběru, u kterých dojde k výpočtům. Pro výpočty je vytvořena tabulka 10 s těmito výpočty.

Tabulka 10 – ANOVA test pro neplánované odstavky

ANOVA TEST				
Variabilita	Součet čtverců odchylek	Počet stupňů volnosti	Průměrný rozptyl	Testovací kritérium
Mezi výběry	$S_G = 63\ 144$	$DF_G = 2$	$M_G = 31572$	$F = 1,027$
Uvnitř výběrů	$S_R = 368\ 838$	$DF_R = 12$	$M_R = 30736$	

Kritická hodnota po výpočtu je 3,885. Za pomoci porovnání hodnoty testovacího kritéria a kritické hodnoty lze vyjádřit výsledky. Z důvodu, že $1,027 < 3,885$ není důvod, aby byla hypotéza H_0 zamítnuta. Z tohoto výsledku plyne, že rozptyl mezi jednotlivými daty a skupinami je statisticky nevýznamný.

8.3 F – test shodnosti rozptylů mezi dvěma skupinami

V předešlé kapitole byla zkoumána hypotéza shodnosti rozptylů mezi všemi skupinami. Tato kapitola se zabývá testováním shodností rozptylů mezi danými dvojicemi skupin. Je zde tedy testována hypotéza H_0 . Tato hypotéza zkoumá shodnost rozptylů právě mezi dvěma skupinami. Pro tento postup je využit F–test, kdy je pracováno na hladině významnosti $\alpha = 0,05$

Nejprve dojde k určení stupňů volnosti a výpočtu jednotlivých odchylek daných skupin pomocí vzorců (7), (9). Ke zjednodušení výpočtu je vytvořena tabulka 11, ve které jsou viděny postupné kroky analýzy. V tabulce jsou určeny jednotlivé skupiny. Skupina 1 znázorňuje data mezi roky 2004–2009, skupině 2 náleží data v letech 2010–2014 a skupina 3 charakterizuje data v letech 2015–2019.

Tabulka 11 – Výpočet odchylek F–testů

	Počet dat	Stupeň volnosti	$\sum x_i^2$	$(\sum x_i)^2$	Výsledek čitatele	Výsledek jmenovatele	Odchylka
Skupina 1	5	4	119017	525625	13892	4	3473
Skupina 2	5	4	369057	1385329	91991	4	22998
Skupina 3	5	4	723213	2301289	262955	4	65738

Nyní pomocí vypočítaných odchylek je možné určit výsledná kritéria rozptylů mezi jednotlivými skupinami pomocí vzorce (8). Nejprve dojde k testování první a druhé skupiny, poté dojde k testu první a třetí skupiny, a nakonec druhé a třetí skupiny.

- Skupina 1 a 2

$$F_{1,2} = \frac{22998}{3473} = 6,62$$

- Skupina 1 a 3

$$F_{1,3} = \frac{65738}{3473} = 18,93$$

- Skupina 2 a 3

$$F_{2,3} = \frac{65738}{22998} = 2,86$$

Následně jsou výsledky porovnány s tabelovanou kritickou hodnotou v tabulce 5, která je pro stupeň volnosti 4 rovna 6,39. Je možné vidět, že pouze mezi skupinami 2 a 3 není důvod hypotézu H_0 zamítnout. Tedy mezi skupinami 2,3 se rozptyl daných dat ve skupině statisticky neliší. Mezi ostatními skupinami se jejich rozptyl statisticky liší, tedy hypotéza H_0 se zamítá a je nutné přijmout hypotézu H_1

8.4 T – test shodností středních hodnot

Tato podkapitola se zabývá zkoumáním shodnosti středních hodnot mezi jednotlivou dvojicí skupin. Je zde zkoumána hypotéza H_0 tvrdící, že střední hodnoty mezi danými skupinami se statisticky neliší. Podmínkou pro toto testování je využití F–testu, jenž byl využit v předešlé kapitole 7.3. Pomocí dat z F–testu je možné pokračovat ve výpočtech t–testu. Jako v předešlých testech je pracováno na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Skupiny jsou rozděleny jako v F–testu na skupina 1, 2 a 3. Pomocná vypočtená data pro následující postup výpočtů lze vidět v tabulce 12. Konečný výsledek testovacího kritéria je vypočten vzorcem (10).

Tabulka 12 – Pomocná vypočtená data t–testu

	Počet dat	Odchylka	Průměrná hodnota	Stupeň volnosti
Skupina 1	5	3473	145	4
Skupina 2	5	22997,8	235,4	4
Skupina 3	5	65738,8	303,4	4

Skupina 1 a 2

$$t = \frac{90,4}{72,8} = 1,24$$

Skupina 1 a 3

$$t = \frac{158,4}{117,7} = 1,35$$

Skupina 2 a 3

$$t = \frac{68}{133,2} = 0,51$$

Následně jsou výsledky porovnány s tabelovanou kritickou hodnotou v tabulce 6, která je pro stupeň volnosti 4 rovna 2,776. Z výsledků je patrné, že všechny tři výsledné hodnoty testovacího kritéria menší jako kritická hodnota. Důsledkem je nezamítnutí hypotézy H_0 ve všech případech. Tedy ve všech třech skupinách v libovolných kombinacích dvou skupin se jejich střední hodnoty statisticky neliší.

9 VYTVOŘENÍ STATISTICKÉHO MODELU PRO NEPLÁNOVANÉ ODSTÁVKY

V této kapitole dojde k vytvoření statistického modelu pro neplánované odstávky, včetně ověření všech filtrovaných a vypočítaných hodnot. Pro vytvoření statistického modelu je v první řadě nutné filtrování dat. Z jednotlivých dat neplánovaných odstávek mezi roky 2004–2019 jsou vyfiltrována data, která charakterizují dobu mezi jednotlivými neplánovanými odstávkami. Jednotlivá data jsou převedena do jednotného formátu, a to hodin. Následně se s daty pracuje jako s výběrovým souborem. Soubor dat je následně porovnán s Weibullovým rozdělením. Weibullovo rozdělení bylo vybráno kvůli tomu, že pomocí výpočtu jednotlivých parametrů jim lze vyjádřit i ostatní rozdělení, jakými jsou například Exponenciální a Rayleighovo. Následujícím důvodem výběru Weibullova rozdělení je, že se jedná o rozdělení s pamětí. Pod tímto pojmem je si možné představit, že reaguje na jednotlivé neplánované odstávky v průběhu spalování s určitou četností v čase. Weibullovo rozdělení je možné v tomto případě brát jako dvouparametrické rozdělení. Důvodem je nevyužití parametru γ , který charakterizuje parametr polohy. Za tento parametr je tedy v průběhu výpočtů dosazena nula.

9.1 Odhad konkrétních parametrů weibullova rozdělení

Nyní dojde k odhadu parametrů weibullova rozdělení pomocí daného souboru dat. K odhadu parametrů je využita metoda maximální věrohodnosti. Po dosazení dat do vzorců (3) a (4) jsou vypočítány jednotlivé parametry.

Parametr tvaru $\beta = 1,1462$

Parametr měřítka $\delta = 1103,77$

Správnost vypočítaných parametrů je dále ověřena pomocí dalších výpočtů, a to pomocí metody nejmenších čtverců a využitím matematických knihoven implementovaných pro výpočet parametrů Weibullova rozdělení v programovacím jazyce Python.

9.2 Ověření správnosti odhadu parametrů rozdělení pomocí testu dobré shody

V této kapitole dojde k ověření správnosti volby daného rozdělení s vypočítanými parametry k výběrovému souboru dat. Při testování bude pracováno na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. To znamená, že s pravděpodobností 95 % dojde ke správnému výsledku a tím pádem

nedojde k chybnému rozhodnutí hypotézy. Nejprve je nutné určit horní a dolní hranice jednotlivého souboru dat. Následně jsou data rozdělena podle stávajících četností do vytvořených mezí mezi tyto hranice. Poté jsou vypočítány očekávané četnosti v jednotlivých mezích. Pro výpočet je využito určitého integrálu pravděpodobnostní funkce Weibullova rozdělení. Po dokončení očekávaných četnosti v jednotlivých mezích je možné využít vzorec (6) pro výpočet chí-kvadrátu. Jednotlivé meze a postupy výpočtu jsou znázorněny v tabulce 13.

Tabulka 13 – Výpočty testu dobré shody

Počet	Meze	SČ	OČ	OČ – SČ	$(OČ - SČ)^2$	$\frac{(OČ - SČ)^2}{OČ}$
1	0–480	24	26,348	-2,348	5,514	0,209
2	480–960	26	20,924	5,076	25,766	1,231
3	960–1440	14	13,911	0,089	0,008	0,001
4	1440–1920	3	8,727	-5,727	32,802	3,759
5	1920–2400	3	5,274	-2,274	5,172	0,981
6	2400–2880	4	3,115	0,885	0,783	0,251
7	2880–3360	5	1,797	3,203	10,262	5,712
8	3360–3840	2	1,022	0,978	0,957	0,936
9	3840–4320	0	0,569	-0,569	0,323	0,569
10	4320–4800	1	0,313	0,687	0,472	1,506

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{10} \frac{(o\check{c}_i - s\check{c}_i)^2}{o\check{c}_i} = 15,16$$

Vypočítaná hodnota chí-kvadrátu je porovnána s tabelovanou kritickou hodnotou v tabulce 3 pro danou hladinu významnosti a stupeň volnosti $\nu = 9$. Kritická hodnota je 16,92. Porovnáním je zjištěno, že $15,16 < 16,92$, a z toho je možné vyjádřit správnost zvoleného rozdělení s vypočítanými parametry.

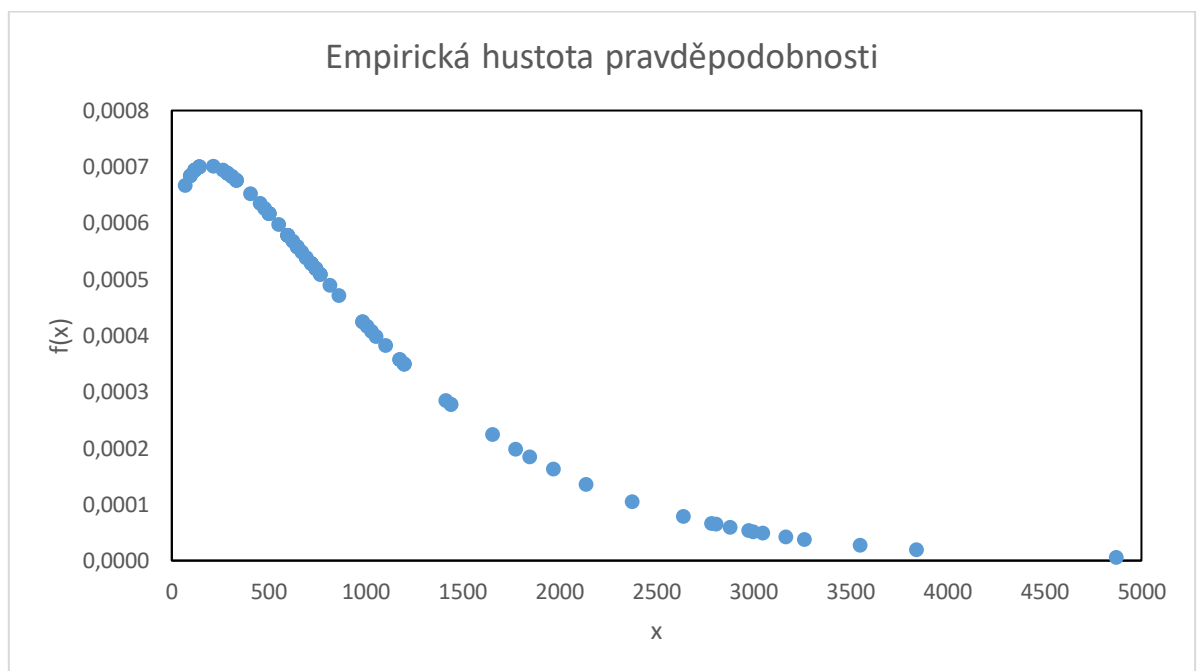
9.3 Tvorba modelu

Díky vypočítaným parametrům Weibullova rozdělení a ověření správného odhadu jeho parametrů je možné vytvořit daný model charakterizující neplánované odstávky v průběhu provozu mezi roky 2004–2019. Po dosazení parametrů do funkce hustoty pravděpodobnosti $f(x)$ (1) a distribuční funkce $F(x)$ (2) Weibullova rozdělení je možné vyjádřit daný model a vykreslit právě dané funkce s konkrétními daty.

Funkce hustoty pravděpodobnosti pro daný soubor dat je vyjádřena jako:

$$f(x) = \frac{1,146}{1103} \cdot \left(\frac{x}{1103}\right)^{0,146} \cdot e^{-\left(\frac{x}{1103}\right)^{1,146}} \quad \text{pro } x > 0$$

Nyní dosazení vybraného souboru dat do dané funkce je možné vykreslit graf empirické hustoty pravděpodobnosti vytvořeného modelu na obrázku 15.

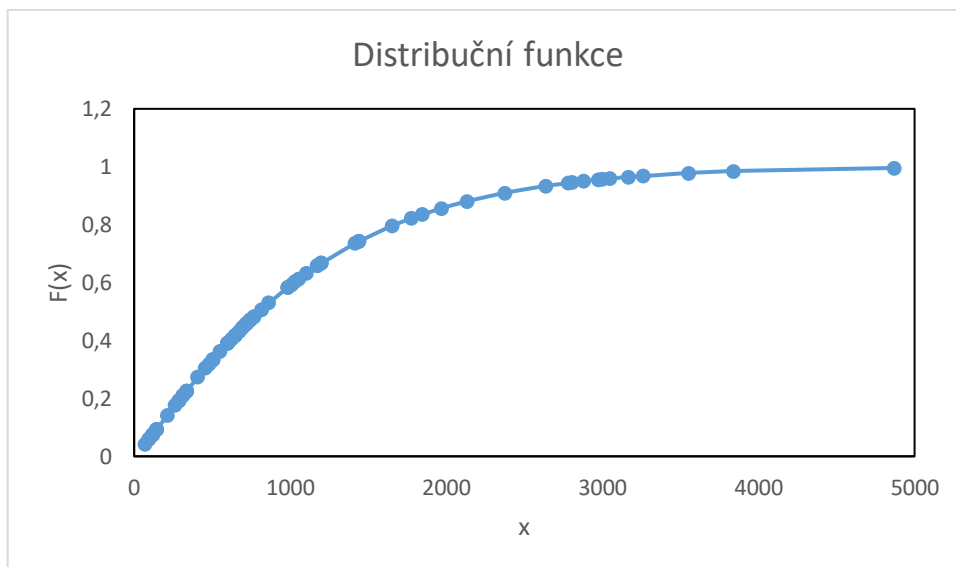


Obrázek 15 – Graf empirické hustoty pravděpodobnosti vytvořeného modelu

Po zintegrování funkce hustoty pravděpodobnosti je získána distribuční funkce Weibullova rozdělení ve tvaru:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{1103}\right)^{1,146}}$$

Při dosazení vybraného souboru dat do distribuční funkce Weibullova rozdělení je možné vykreslit jeho graf na obrázku 16.



Obrázek 16 – Distribuční funkce vytvořeného modelu

10 VYTVOŘENÍ PLÁNU KONTINUITY PRO ZEVO

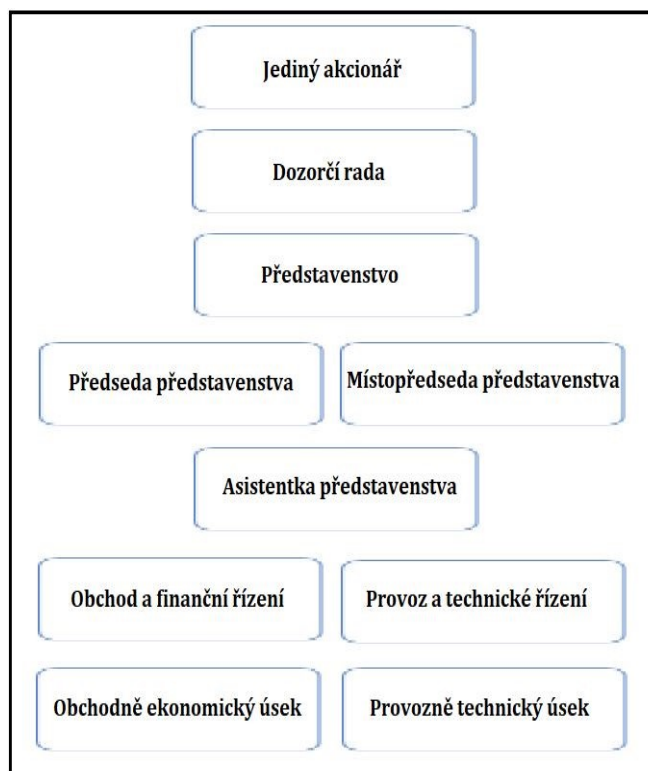
Tato kapitole se zabývá konkrétním využitím BCM na vybrané ZEVO. Je postupováno podle standardu ISO 22301, který byl detailněji vysvětlen v kapitole 6.1. Plán kontinuity slouží ke plynulému náběhu ZEVO do provozu při naskytnutých potížích. Také se ale snaží tyto potíže minimalizovat na co nejmenší možnou úroveň. Jedním z hlavních problémů, proč je plán kontinuity zaváděn, jsou právě neplánované odstávky. Pro efektivní zavedení plánu kontinuity je nutné postupovat podle jednotlivých bodů, které byly popsány v kapitole 6.2.

10.1 Krok 1– Zavedení BCM

Tato podkapitola se zabývá zjištěním důležitých údajů ohledně společnosti. To především jakými činnostmi se společnost zabývá, vytyčením jejich cílů, jakým směrem hodlá společnost směřovat.

10.1.1 Analýza ZEVO

Společnost sídlí v Liberci s názvem TERMIZO. Byla postavena v roce 1999. Jedná se o zařízení na energetické využití odpadu s průměrným využitím 96kt odpadu za rok. Jde o jednu ze čtyř velkých spaloven v ČR. Společnost má 43 zaměstnanců [29]. Na obrázku 17 je detailní popis organizační struktury.



Obrázek 17 – Organizační struktura společnosti [30]

Mezi hlavní činnosti spojené s aktivy společnosti patří právě jednotlivé kroky provozu ZEVO. Tyto činnosti lze rozdělit do několika částí:

- dovoz SKO,
- skladování SKO,
- zpracování SKO,
- dodání energie obchodním partnerům,
- odvoz strusky pro další využití,
- odvoz popílku

Všechny tyto kroky jsou na sobě závislé. Pokud u nich dojde k jakémukoliv problému, ovlivní to plynulý provoz celé ZEVO.

Následujícími kroky jsou analýza rizik, vytyčení opatření, vytvoření plánů a jejich testování.

Neplánované odstávky značně narušují kontinuitu jednotlivých služeb a činností podniku a tvoří tak významnou hrozbu. A to jak z pohledu ekonomického, kdy se neúměrně zvyšují náklady spojené s poskytováním služeb, tak bezpečnostní, kdy může docházet k negativnímu vlivu na současná rizika z pohledu bezpečnosti a ochrany zdraví při práci (BOZP). Navržením vhodného statistického modelu pomůže tyto výpadky snížit, čím dojde i k celkovému snížení rizik spojených s BOZP, což je hlavním důvodem, proč je bakalářská práce zaměřena primárně na návrh statistického modelu.

11 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Tato kapitola se zabývá zhodnocením dosažených výsledků práce.

Nejprve došlo k vytvoření grafů znázorňující jednotlivé procesy provozu ZEVO. Ty slouží k ověření negativního vlivu neplánovaných odstávek na provoz ZEVO. Na grafech (Obrázek 9, 10, 11) je možné vidět, že pokud dojde k neplánované odstávce, tak to má obrovský dopad na celý provoz. Jak lze na grafech zpozorovat, tak s neplánovanou odstávkou dochází k naplnění odpadního bunkru a s tím k téměř okamžitému odstavení dovozu SKO.

Dále došlo ke statistickému zkoumání právě neplánovaných odstávek. Konkrétně k testování možných vazeb mezi množstvím odstávek ve třech vybraných časových intervalech, a to 2005–2009, 2010–2014, 2015–2019. Aby mohly být využity jednotlivé statistické testy je nutné ověřit, že data spadají do normálního rozdělení a rozptyl jednotlivých dat je statisticky nevýznamný. Obě tvrzení byla potvrzena pomocí testu normality a ANOVA testu. Následně mohly být jednotlivé skupiny zkoumány. Nejprve došlo ke zkoumání rozptylů mezi konkrétními skupinami pomocí F–testu. Zde byly postupně testovány všechny kombinace těchto tří skupin. Z výsledků je zřetelné, že pouze mezi skupinami 2 a 3 se rozptyl dat statisticky neliší. Naopak v ostatních případech je nutné hypotézu o shodnosti rozptylů zamítnout. Z toho je zřejmé, že četnost neplánovaných odstávek se v postupu času významně statisticky mění. Je tedy možné sledovat kolísavost. Pomocí výsledků tohoto testu je možné využít následující t-test, který slouží ke zkoumání shodnosti středních hodnot mezi konkrétní dvojicí skupin dat. Z výsledků tohoto testu je zřejmé, že mezi libovolnými kombinacemi tří skupin se jejich střední hodnoty statisticky neliší. Tedy dochází se k závěru, že ve zkoumaných časových intervalech neplánovaných odstávek se jejich střední hodnota významně neliší, ale ve dvou případech je statisticky významný rozptyl.

Následně byl vytvořen statistický model pro neplánované odstávky. Pro vytvoření modelu bylo využito Weibullovo rozdělení. Nejprve byla vyfiltrována data charakterizující časovou dobu mezi jednotlivými odstávkami mezi roky 2004–2019. Následně pro tyto hodnoty byly pomocí metody maximální věrohodnosti vypočítány parametry tvaru ($\beta = 1,1462$) a měřítka ($\delta = 1103,77$). Vypočítané parametry byly spolu s vyfiltrovanou sadou dat následně ověřeny pomocí testu dobré shody. Tento test prokázal, že parametry i datová sada splňují podmínky Weibullova rozdělení a nejedná se pouze o náhodně uskupená data. Po ověření již došlo k tvorbě modelu a vykreslení grafů (Obrázek 15,16). Z grafu empirické hustoty pravděpodobnosti (Obrázek 15) je zřetelné, že s nejvyšší pravděpodobností se vyskytují

odstávky mezi 150 h a 300 h od zajetí do provozu. Z tohoto lze soudit, že tento výsledek již charakterizuje období poruch v důsledku stárnutí a opotřebení. Možným doporučením ke zvýšení doby mezi jednotlivými odstávkami je častější revize zařízení a obměna starších komponentů, které mohou zapříčínovat častější odstavení.

ZÁVĚR

V teoretické části byla nejprve probána tematika spaloven odpadů, převážně tedy zařízení na energetické využití odpadu. Zde byly specifikovány všechny procesy spjaté právě se spalování SKO. Těmi jsou návoz odpadu, skladování odpadu a průběh spalování s využitím vyrobené energie. Dále se práce zabývala odstávkami, které při procesu mohou nastat. Odstávky byly dělené na plánované, které probíhají ve předem stanovený čas a je na ně spalovna připravena a neplánované. Právě neplánované odstávky byly stěžejním tématem této práce. V kapitolách 2.2 a 2.3 byly tyto odstávky důkladně rozebrány a vytyčeny možná rizika jejich dopadu na celý provoz ZEVO. Následně byl vyhotoven pohled na aktuální situaci řešeného problému, který obsahoval literární rešerši a důležitá kritéria úzce související s danou problematikou neplánovaných odstávek. Zde došlo ke zjištění, že tematika řešení neplánovaných odstávek se ve vědeckých pracích neobjevuje. Z tohoto důvodu je tedy adekvátní se touto tematikou zabývat. Další probíranou částí byla statistická rozdělení, díky nimž dochází k modelování grafů souvisejících s provozem spaloven. Nedílnou součástí je také zpracování dat pomocí statistických testů. Jednotlivé testy byly rozebrány v kapitole 5. Jednalo se především o testy normality určující, zda daný soubor dat spadá do normálního rozdělení (Kapitola 5.1) a parametrické testy sloužící k testování daných hypotéz (Kapitola 5.2). Jako posledním kapitolou teoretické části byl proces BCM. Ten určuje strategický a taktický řídicí proces popisující pokračování podniku v provozu při neplánovaném přerušení.

V praktické části byla zkoumána data poskytnutá akciovou společností Termizo, jenž je ZEVO v Liberci. Nejprve byly ze zpracovaných dat vytvořené grafy, které poukázaly na ovlivnění celého provozu ZEVO odstávkami. V následující kapitole byly neplánované odstávky statisticky zkoumány. Zde došlo ke statistickým testům, díky nimž bylo určeno chování neplánovaných odstávek v určitých časových intervalech provozu ZEVO. V této části byly právě využity statistické testy z kapitoly 5. V následující kapitole došlo k tvorbě statistického modelu pro neplánované odstávky. Pro tvorbu modelu bylo využito Weibullovo rozdělení. Nejprve došlo k filtraci neznámých parametrů daného rozdělení pomocí metody maximální věrohodnosti. Následně byly parametry včetně souboru dat neplánovaných odstávek testovány pomocí testu dobré shody. Tento test sloužil k určení, zda je možné využít právě Weibullovo rozdělení s vyfiltrovanými parametry společně s vybraným souborem dat pro tvorbu modelu. Po otestování byl model vytvořen. Následující kapitolou bylo řešení BCM právě v dané ZEVO. Posledním částí bylo důkladné zhodnocení výsledků práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Plzeňská teplárenská: *ZEVO* Plzeň [online]. Plzeň. Dostupné z: <https://www.zevoplzen.cz/>
- [2] KALOGIROU, Efstratios, N. *Waste-to-Energy Technologies and Global Applications*. CRC Press, 2017. ISBN 978-135197792-0.
- [3] *Cena tepla v Liberci může být 550 Kč/GJ* [online]. Liberec.cz, 2017. Dostupné také z: <https://www.liberec.cz/cz/obcan/urad/odbory-magistratu/odbor-strategickeho-rozvoje-dotaci/aktuality/cena-tepla-vliberci-muze-byt-550-kc-gj.html>
- [4] ROGOFF, Marc a William ANDREW. *Waste-To-Energy* [online]. 2nd Edition. Noyes Publication, USA, 2011. ISBN 9781437778724.
- [5] *Spalovna v Malešicích projde modernizací. V provozu je devatenáct let*. E15 [online]. Praha, 2017. Dostupné z: <https://www.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/spalovna-v-malesicich-projde-modernizaci-v-provozu-je-devatenact-let-1340073>
- [6] *Pohled do kotle při spalování*. In: Aktuálně.cz [online]. Malešice, 2008. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/odpad-hori-para-hreje-podivejte-se-do-spalovny/r~i:gallery:6674/>
- [7] ŠOMPLÁK, Radovan. *Efektivní plánování investic do technologií pro energetické využití odpadů* [online]. Brno, 2016. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství.
- [8] *Hledali jsme dodavatele, který má desítky úspěšných instalací v podobně náročných podmínkách ...vybrali jsme si DEMAG*. T+T Technika a trh [online]. CCB, Dostupné z: <https://www.technikaatrh.cz/manipulacni-technika/hledali-jsme-dodavatele-ktery-ma-desitky-uspesnych-instalaci-v-podobne-narocnych-podminkach-vybrali-jsme-si-demag>
- [9] STEHLÍK, Petr. *Up-to-Date Waste-to-Energy Approach: From Idea to Industrial Application*. Imprint: Springer [online]. 2016. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology. ISBN 978-3-319-15467-1.
- [10] *Spalovny a jejich havárie v Evropě* [online]. Vyškov, 2017. Dostupné také z: <https://arnika.org/mapa-havarii-spaloven>
- [11] HOLICKÝ, Milan. *Základy teorie spolehlivosti a hodnocení rizik*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03129-2.

- [12] *Základní typy rozdělení pravděpodobnosti: Přednáška – všb* [online]. Ostrava. Dostupné z: <https://homel.vsb.cz/~oti73/cdpast1/KAP05/PRAV5.HTM>
- [13] MUSIL, Pavel. *Modelování spolehlivosti a životnosti elektrických zařízení pomocí statistických modelů* [online]. Plzeň, 2015. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra technologií a měření. Vedoucí práce Jakub Souček.
- [14] *Weibull distribution*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Weibull_distribution
- [15] ZIMMERHAKLOVÁ, Tereza. *Ověřování normality rozdělení* [online]. Praha, 2009. Dostupné také z: https://vskp.vse.cz/13701_overovani_normality_rozdeleni?print=yes. Bakalářská práce. Vysoká škola ekonomická v Praze. Vedoucí práce Eva Jarošová.
- [16] *Ověřování normality dat: Kolmogorovův – Smirnovův test* [online]. Masarykova univerzita, 2015 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=analiza-a-hodnoceni-biologickych-dat--statisticke-modelovani--overovani-predpokladu-v-klasickem-modelu-linearni-regrese--overovani-normality-dat--kolmogorovuv-smirnovuv-test>
- [17] ZAIONTZ, Charles. *Kolmogorovův-Smirnovův test: tabulka kritických hodnot*. Real-statistics [online]. Dostupné z: <https://www.real-statistics.com/statistics-tables/kolmogorov-smirnov-table/>
- [18] BEDÁŇOVÁ, Iveta. *Testování normality: Chí-kvadrát test dobré shody*. Cit.vfu.cz [online]. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn3/chi2test.htm>
- [19] BEDÁŇOVÁ, Iveta. *Statistické tabulky*. Cit.vfu.cz [online]. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/tabulky>
- [20] *Analýza rozptylu: ANOVA*. Matematickabiologie.cz [online]. Brno: Masarykova univerzita. Dostupné z: http://user.mendelu.cz/drapela/Statisticke_metody/Prezentace/zakladni/Anova.pdf
- [21] *Analýza rozptylu*. Mendelu.cz [online]. Brno: Lesnická a dřevařská fakulta MENDELU v Brně. Dostupné z: http://user.mendelu.cz/drapela/Statisticke_metody/Prezentace/zakladni/Anova.pdf

- [22] BEDÁŇOVÁ, Iveta. *Parametrické testy: F-test*. Cit.vfu.cz [online]. Brno: Masarykova univerzita. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn3/Ftest.htm>
- [23] DINOV, Ivo. *F – test: tabulka kritických hodnot*. Statistics Online Computational Resource [online]. Los Angeles. Dostupné z: http://socr.ucla.edu/Applets.dir/F_Table.html
- [24] BEDÁŇOVÁ, Iveta. *Parametrické testy: t-test*. Cit.vfu.cz [online]. Brno: Masarykova univerzita. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn3/ttest.htm>
- [25] BILOVÁ, Blanka. *Aplikace procesu managementu kontinuity činností organizace v průmyslu komerční bezpečnosti* [online]. Zlín, 2013. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Jan Valouch.
- [26] LONG, Richard. *What is Business Continuity?: Business Continuity 101*. MHA Consulting [online]. Arizona, 2017. Dostupné z: <https://www.ready.gov/business-continuity-plan>
- [27] ČSN EN ISO 22301:2020 – Bezpečnost a odolnost – Systémy managementu kontinuity podnikání – požadavky. Praha: CNI, 2020. 36 s. Třídící znak 012306.
- [28] MAREŠOVÁ, Karolina, SLEJŠKA, Antonín: Výsledky pilotního projektu v Uherském Hradišti sledujícím nakládání s bioodpadem. *Biom.cz* [online]. 2006-09-18. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vysledky-pilotniho-projektu-v-uherskem-hradišti-sledujícím-nakládání-s-bioodpadem>. ISSN: 1801-2655.
- [29] *Základní informace*. Termizo [online]. Liberec, 2020. Dostupné z: <https://tmz.mvv.cz/technologie/zakladni-technicke-informace/>
- [30] *Organizační struktura*. Termizo: Výroční zprávy [online]. Liberec, 2015. Dostupné z: <https://tmz.mvv.cz/o-spolecnosti/vyrocní-zpravy/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ZEVO	Zařízení na energetické využití odpadu
SKO	Směsný komunální odpad
$E(X)$	Střední hodnota
$D(X)$	Rozptyl
ANOVA	Analýza rozptylu
BCM	Business continuity management
BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Spalovna odpadů Liberec [3]	11
Obrázek 2 – ZEVO [1]	12
Obrázek 3 – Bunkr ZEVO [5].....	13
Obrázek 4 – Spalování odpadu [6].....	14
Obrázek 5 – Servis drapáku jeřábu [8].....	15
Obrázek 6 – Požár spalovny nebezpečných odpadů Ekotermex ve Vyškově [10].....	18
Obrázek 7 – Hustota normálního rozdělení [12].....	21
Obrázek 8 – Grafy Weibullova rozdělení s rozdílným parametrem tvaru [14].....	23
Obrázek 9 – Týdenní průběh spalování odpadu v roce 2019	34
Obrázek 10 – Týdenní průběh návozu odpadu za rok 2019	35
Obrázek 11 – Naplněnost odpadního bunkru za rok 2019	36
Obrázek 12 – Znázornění odstávek spalovny odpadů v průběhu 15 let.....	37
Obrázek 13 – Znázornění četnosti plánovaných odstávek v obdobích po 5 letech	37
Obrázek 14 – Znázornění četnosti neplánovaných odstávek v obdobích po 7 letech.....	38
Obrázek 15 – Graf empirické hustoty pravděpodobnosti vytvořeného modelu	47
Obrázek 16 – Distribuční funkce vytvořeného modelu.....	48
Obrázek 17 – Organizační struktura společnosti [30].....	49

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Zhodnocení aktuálního stavu pomocí literární rešerše	19
Tabulka 2 – Maximální odchylka empirické distribuční funkce od teoretické	26
Tabulka 3 – Kritické hodnoty testu dobré shody	26
Tabulka 4 – Výpočty ANOVA testu	27
Tabulka 5 – Kritické hodnoty F–testu	29
Tabulka 6 – Kritické hodnoty t–testu	30
Tabulka 7 – Zpracovaná data za období 15 let	39
Tabulka 8 – Zpracovaná data neplánovaných odstávek do jednotlivých období	40
Tabulka 9 – Kolmogorovův – Smirnonův test normality	41
Tabulka 10 – ANOVA test pro neplánované odstávky	42
Tabulka 11 – Výpočet odchylek F–testů	43
Tabulka 12 – Pomocná vypočtená data t–testu	44
Tabulka 13 – Výpočty testu dobré shody	46