

**Vysoká škola logistiky o.p.s.**

**Spolehlivost vozidel MHD**

**(Diplomová práce)**

Přerov 2021

Bc. Jan Pavlík



Vysoká škola  
logistiky  
o.p.s.

## Zadání diplomové práce

student	<b>Bc. Jan Pavlík</b>
studijní program	Logistika
obor	Logistika

Vedoucí Katedry magisterského studia Vám ve smyslu čl. 22 Studijního a zkušebního řádu Vysoké školy logistiky o.p.s. pro studium v navazujícím magisterském studijním programu určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Spolehlivost vozidel MHD**

Cíl práce:

Stanovit pravděpodobnost s jakou dojde během následujících let k poruše vozidel ve vybraném podniku MHD.

Zásady pro vypracování:

Využijte teoretických východisek oboru logistika. Čerpejte z literatury doporučené vedoucím práce a při zpracování práce postupujte v souladu s pokyny VŠLG a doporučeními vedoucího práce. Části práce využívající neveřejné informace uveďte v samostatné příloze.

Diplomovou práci zpracujte v těchto bodech:

Úvod

1. Pravděpodobnost jevů
2. Základní typy rozdělení pravděpodobnosti používané ve spolehlivosti
3. Výpočet spolehlivosti
4. Charakteristika vybraného podniku MHD a provoz vozidel
5. Statistika poruchovosti
6. Zhodnocení spolehlivosti vozidel v podniku MHD

Závěr

Rozsah práce: 55 – 70 normostran textu

Seznam odborné literatury:

DANĚK, Alois. Opravárenství silničních vozidel: (vybrané statě). Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2000. ISBN 80-707-8779-1.

DANĚK, Alois, Michal RICHTÁŘ a Ivo RUBÁČ. Opravárenství silničních vozidel II: (vybrané statě). Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2004. ISBN 80-248-0539-1.

EBELING, Charles E. An Introduction Reliability and Maintainability Engineering. Boston: McGraw-Hill Education, 1997. ISBN 0-07-018852-1.

FAMFULÍK, Jan, Jana MIKLÍKOVÁ a Radek KRZYŽANEK. Teorie údržby. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1509-1.

HOLUB, Rudolf a Zdeněk VINTR. Spolehlivost letadlové techniky. Brno: Vysoké učení technické, 2001.

STODOLA, Jiří. Úvod do teorie údržby. Brno: Univerzita obrany, 2009. ISBN 978-80-7231-674-8.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Alexander Čapka, Ph.D.

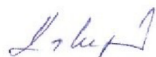
Datum zadání diplomové práce:

30. 10. 2020

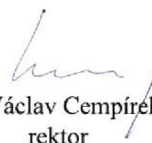
Datum odevzdání diplomové práce:

13. 5. 2021

Přerov 30. 10. 2020



Ing. Blanka Kalupová, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D.  
rektor

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a že jsem ji vypracoval samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná a že jsem v práci neporušil autorská práva ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o autorském právu, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

Prohlašuji, že jsem byl také seznámen s tím, že se na mou diplomovou práci plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 60 – školní dílo. Beru na vědomí, že Vysoká škola logistiky o.p.s. nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro pedagogické, vědecké a prezentační účely školy. Užiji-li svou diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat před tím o této skutečnosti Vysokou školu logistiky o.p.s. prorektora pro vzdělávání.

Prohlašuji, že jsem byl poučen o tom, že diplomová práce je veřejná ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 47b. Taktéž dávám souhlas Vysoké škole logistiky o.p.s. ke zpřístupnění mnou zpracované diplomové práce v její tištěné i elektronické verzi. Souhlasím s případným použitím této práce Vysokou školou logistiky o.p.s. pro pedagogické, vědecké a prezentační účely.

Prohlašuji, že odevzdaná tištěná verze diplomové práce, elektronická verze na odevzdaném optickém médiu a verze nahraná do informačního systému jsou totožné.

V Přerově, dne 13. 5. 2021



.....  
podpis

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Alexanderu Čapkovi, Ph.D. za vstřícné jednání, cenné rady a odbornou pomoc, hlavně při výpočtech praktické části diplomové práce. Dále bych rád poděkoval celé společnosti Arriva Morava a.s. a KAR-mobil s.r.o. za poskytnutí cenných dat a možnosti nahlédnout do chodu logistických procesů obou společností. Obrovské poděkování patří i mé rodinně, která mě podporovala během celého dosavadního studia a mé přítelkyni, která to semnou neměla lehké během psaní diplomové práce.

## **Anotace**

Diplomová práce se zabývá stanovením pravděpodobnosti, s jakou dojde během následujících let k poruše vozidel ve vybraném podniku MHD. V samém úvodu práce je charakterizována pravděpodobnost a základní typy rozdělení pravděpodobnosti ve spolehlivosti. Poté práce navazuje na výpočetní metody spolehlivosti, samotnou charakteristiku podniku MHD. V závěru práce je samotný výpočet poruchovosti a samotné zhodnocení spolehlivosti v podniku.

## **Klíčová slova**

Spolehlivost, pravděpodobnost, náhodná veličina, Weibullovo rozdělení.

## **Annotation**

The diploma thesis deals with the determination of the probability with which vehicles will fail in the selected public transport company in the following years. In the very introduction, the probability and basic types of probability distribution in reliability are characterized. Then the work follows the computational methods of reliability, the very characteristics of the public transport company. At the end of the work is the calculation of failure rates and the evaluation of reliability in the company.

## **Keywords**

Dependability, probability, random variable, Weibull distribution

# Obsah

<b>Obsah .....</b>	<b>7</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>1 Pravděpodobnost jevů.....</b>	<b>10</b>
1.1 Historie pravděpodobnosti .....	10
1.2 Definice pravděpodobnosti .....	11
1.2.1 Klasická (Laplaceova) definice pravděpodobnosti .....	11
1.2.2 Bayesovská interpelace.....	12
1.2.3 Statistická definice pravděpodobnosti.....	12
1.2.4 Geometrická definice pravděpodobnosti.....	13
1.2.5 Podmíněná pravděpodobnost .....	13
1.3 Vlastnosti pravděpodobnosti .....	13
<b>2 Základní typy rozdělení pravděpodobnosti používané ve spolehlivosti .....</b>	<b>15</b>
2.1 Vlastnosti náhodné veličiny .....	15
2.1.1 Náhodný jev .....	15
2.1.2 Rozptyl náhodné veličiny .....	16
2.1.3 Histogram četnosti .....	17
2.2 Základní rozdělení pravděpodobnosti .....	18
2.2.1 Exponenciální rozdělení.....	20
2.2.2 Weibullovo rozdělení .....	22
2.2.3 Normální rozdělení.....	25
<b>3 Výpočet spolehlivosti.....</b>	<b>28</b>
3.1 Teorie spolehlivosti .....	28
3.2 Základní ukazatele spolehlivosti .....	29
3.2.1 Ukazatel bezporuchovosti .....	31
3.3 Zkoušky spolehlivosti .....	34
3.3.1 Určovací zkoušky spolehlivosti .....	34
3.3.2 Ověřovací zkoušky spolehlivosti .....	35
3.3.3 Srovnávací zkoušky .....	35
3.4 Vzájemné souvislosti ukazatelů bezporuchovosti.....	35
3.5 Poruchy .....	36
3.5.1 Dělení poruch .....	36
3.6 Odhad parametrů Weibullova rozdělení .....	38
3.6.1 Grafické metody bodových odhadů .....	38

3.6.2	Analytické metody bodových odhadů .....	38
<b>4</b>	<b>Charakteristika vybraného podniku MHD a provoz vozidel.....</b>	<b>42</b>
4.1	ARRIVA a.s. ....	42
4.1.1	Analýza činnosti společnosti .....	43
4.2	Vozový park společnosti ARRIVA MORAVA a.s. ....	45
4.2.1	SOR CITY NBG12 .....	45
4.2.2	IVECO CROSSWAY CITY LE .....	47
4.2.3	Irisbus Citelis 12M CNG .....	49
4.3	Společnost KAR-mobil s.r.o. ....	51
4.3.1	Organizační struktura .....	51
4.3.2	Poslání a vize.....	52
4.3.3	Cíle společnosti .....	53
4.4	Městská hromadná doprava v Přerově .....	53
4.4.1	IDSOK .....	54
4.4.2	Vozová flotila MHD Přerov .....	55
<b>5</b>	<b>Statistika poruchovosti.....</b>	<b>56</b>
5.1	Příprava dat .....	56
5.1.1	Data SOR City.....	56
5.1.2	Uspořádání dat .....	57
5.2	Bernardova aproximace .....	57
5.2.1	Analytický popis Bernardovy aproximace .....	57
5.2.2	Zpracování Bernardovy aproximace v Excelu .....	58
5.2.3	Transformace distribuční funkce na rovnici přímky .....	58
5.3	Lineární regrese.....	59
5.3.1	Regrese metodou nejmenších čtverců .....	59
5.3.2	Parametr tvaru měřítka .....	60
5.4	Weibullův graf .....	61
5.5	Výpočet ukazatele bezporuchovosti.....	62
<b>6</b>	<b>Zhodnocení bezporuchovosti.....</b>	<b>63</b>
	<b>Závěr .....</b>	<b>68</b>
	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>69</b>
	<b>Seznam tabulek a ilustrací .....</b>	<b>71</b>
	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>74</b>



## Úvod

Hlavním tématem diplomové práce je stanovit pravděpodobnost, s jakou dojde během následujících let k poruše vozidel ve vybraném podniku MHD.

Posuzovanými vozidly jsou autobusy značky Sor, Irisbus a Iveco. Od každé značky budou posuzované tři vozidla, která mají najeté zhruba stejně kilometrů.

V úvodní části diplomové práce popíšu základní informace pravděpodobnosti jevů a základních typů rozdělení pravděpodobnosti používané ve spolehlivosti.

Do další části mé práce zahrnu terminologii a výpočetní metody pro výpočet spolehlivosti. Obecně popíšu Exponenciální a Normální rozdělení. Weibullovo rozdělení zpracuji podrobněji, protože dle tohoto rozdělení bude počítána analytická část diplomové práce.

Následně se zaměřím na společnost Arriva Morava a.s, jakožto poskytovatele městské hromadné dopravy v Přerově. Objasním pár základních údajů o společnosti Kar-mobil s.r.o, jakožto generální společnost zajišťující servis všech autobusů na Moravě.

Závěrečná část práce se bude zabývat samotnou statistikou poruchovosti a jejím zhodnocením. Všechna data byla získána díky společností Arriva Morava a.s. a Kar-mobil s.r.o. V diplomové práci bude podrobně uveden výpočet pro jeden autobus, další výpočty zahrnu vzhledem k rozsáhlosti do příloh. Příloha A zahrne výpočty pro zbylé autobusy pro značku SOR. V příloze B uvedu výpočet pro autobusy značky Irisbus a do přílohy C zahrnu výpočty pro značku Iveco. Příloha D pak zahrne všechna získaná data od značky SOR. Příloha E zahrne data od značky Irisbus a příloha F data od značky Iveco.

Na konci diplomové práce bude zhodnocení spolehlivosti vozidel, kde zahrnu všechny predikce pro jednotlivé autobusy všech tří značek a pak i pro jednotlivé značky.

# 1 Pravděpodobnost jevů

Pravděpodobnost je matematický obor, který se zabývá analýzou náhodných jevů. Výsledek náhodné události nelze určit dříve, než k ní dojde, ale může to být jeden z několika možných výsledků. Skutečný výsledek je považován za náhodný jev.

Výsledků teorie pravděpodobnosti využívá zejména matematická statistika, zejména v oblasti asymptotického chování náhodných výběrů. Časté jsou také aplikace náhodných procesů na finanční, fyzikální a jiné procesy sledované v čase.

Dnes je teorie pravděpodobnosti široká disciplína zahrnující mnoho oborů.

## - Náhodný jev

Je opakovatelná činnost prováděna za stejných (nebo přibližně stejných) podmínek s nejasným výsledkem závisícím na náhodě. Typickými příklady jsou hody kostkou, losování loterie nebo střelba do terče.

Pravděpodobnost se označuje buď reálným číslem od 0 do 1 nebo v procentech 0-100%. Událost, která nemůže nastat má hodnotu pravděpodobnosti 0, jedná se o tzv. nemožný jev. Hodnota pravděpodobnosti 1 značí jistou událost.

## 1.1 Historie pravděpodobnosti

První známé formy pravděpodobnosti a statistiky vyvinuli matematici na Středním východě, kteří studovali kryptografii mezi 8. a 13. stoletím. Italský polymatik Gerolamo Cardano prokázal účinnost definování pravděpodobnosti jako poměr příznivých a nepříznivých výsledků. Z této definice vyplývá, že pravděpodobnost nějaké události je dána poměrem příznivých výsledků k celkovému počtu možných výsledků.

Rozvoj teorie pravděpodobnosti probíhal až od 17. století, kdy převážnou inspiraci získala z hazardních her. Za její počátek se považuje výměna dopisů mezi matematiky Pascalem a Fermatem roku 1654. Jednalo se o otázku, jak spravedlivě rozdělit bank mezi všechny hráče, jelikož hra byla předčasně ukončena. [1]

Nejvýznamnějším a dodnes klasikem teorie pravděpodobnosti byl Pierre-Simon Laplace. Ve svém monumentálním díle o teorii pravděpodobnosti nejen že systematizoval veškeré poznání svých předchůdců, ale i je rozpracoval a aplikoval na téměř všechny oblasti

tehdejšího vědeckého poznání – od fyziky až po sociální vědy. Laplace pozvedl teorii pravděpodobnosti na úroveň, která celé století po jeho smrti nebyla překonána. [1]

## 1.2 Definice pravděpodobnosti

Množinu všech možných výsledků experimentu značíme  $\Omega$ . Jednotlivé možné výsledky pokusu značíme  $\omega$ .

### 1.2.1 Klasická (Laplaceova) definice pravděpodobnosti

Tato definice je založena na předpokladu, že náhodný pokus může mít  $n$  různých, ale rovnocenných výsledků. Jedná se o nejjednodušší model teorie pravděpodobnosti.

Vychází se třech předpokladů kladených na náhodný pokus:

- Počet všech možných výsledků je konečný.
- Všechny výsledky jsou stejně možné.
- Všechny výsledky se vzájemně vylučují.

Pravděpodobnost, že při realizaci náhodného pokusu jev  $A$  nastane je:

$$P(A) = \frac{m}{n} \quad (1.1)$$

Kde:  $m$ ... počet výsledků příznivých jevů

$n$ ... počet všech možných výsledků

Rovnice 1.1 realizace náhodného pokusu při podílu počtu příznivých jevů ku všem možným výsledkům.

Jednoduchost Laplaceova modelu, která vychází z jeho definice a zvolenými předpoklady, přináší řadu omezení. Tyto problémy zapříčinily vznik statistiky a pokročilejších modelů teorie pravděpodobnosti:

- Definice kruhem (stejně možné = stejně pravděpodobné).
- Neumožňuje modelovat systémy, ve kterých mají elementární jevy různou pravděpodobnost (dokáže je pouze aproximovat).
- Nedovoluje, aby byla množina jevů nekonečná.
- Nedovoluje iracionální hodnoty pravděpodobností.
- Neumožňuje, aby se udál jev s nulovou pravděpodobností. [2]

### 1.2.2 Bayesovská interpelace

Pravděpodobnost je míra očekávání toho, že nastane nějaký jev, měřená na škále od nuly (jistota, že jev nenastane) do jedné (jistota, že jev nastane) tak, aby číselná vyjádření pravděpodobnosti vyhovovala zákonům logiky a obvyklým rovnostem teorie pravděpodobnosti. Existují dvě možné bayesovské interpelace pravděpodobnosti:

- Objektivistická

Charakterizuje pravděpodobnost jako racionální očekávání založené na stavu vědomosti a jde o rozšíření klasické dvouhodnotové logiky na situaci, kdy se pracuje i s nejistotou.

- Subjektivistická

Charakterizuje pravděpodobnost jako kvantifikaci subjektivní víry, která má podléhat pravidlům racionality a koherence.

I když se tato definice pravděpodobnosti jmenuje podle autora Thomase Bayese, byl zakladatelem tohoto proudu myšlení až Pierre-Simon Laplace. V první polovině dvacátého století byla tato teorie chápání pravděpodobnosti zatlačena do pozadí jako subjektivní. Zájem narůstal až tehdy, kdy se ukázalo jako výhodné řešení v řadě situací, kdy je frekventistické pojetí méně praktické, nebo ho nelze aplikovat přímočaře. [2]

### 1.2.3 Statistická definice pravděpodobnosti

Statistická definice je založena na relativní četnosti jevů. Tuto zavedenou statistickou pravděpodobnost používáme v případech, kdy je výpočet prováděný podle klasické nebo geometrické definice velmi složitý, popřípadě není vůbec možný. Metoda řešení náhodného pokusu pomocí statistické definice nese název Metoda Monte Carlo.

$$P(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n(A)}{n} \quad (1.2)$$

Kde:  $n(a)$ ... počet realizací pokusu příznivých jevů  $A$

$n$ ... počet všech realizací pokusů

Rovnice 1.2 se používá v případě, pokud provedeme  $n$  realizací náhodného pokusu, přičemž  $n(A)$  realizací je příznivých jevu  $A$

Tento odhad je tím přesnější, čím je počet realizací náhodného pokusu vyšší. Statistická definice pravděpodobnosti umožňuje například odhadnout pravděpodobnost toho, že na cinknuté kostce padne šestka. [2]

#### 1.2.4 Geometrická definice pravděpodobnosti

Zobrazení klasické pravděpodobnosti, kdy počet možných výsledků je nespočetný. V rovině je dána vymezená oblast  $\Omega$ , ve které je další uzavřená oblast  $A$ . Pravděpodobnost jevu tedy spočívá v tom, že náhodně zvolný bod v naší oblasti  $\Omega$  leží i v oblasti  $A$  je:

#### 1.2.5 Podmíněná pravděpodobnost

Jedním ze základních konceptů ve statistice, který jednoznačně propojuje teorii pravděpodobnosti, statistiku a biostatistiku, je podmíněná pravděpodobnost, která, jak už název napovídá, vyjadřuje pravděpodobnost jednoho jevu za podmínky nastání jevu druhého.

Abychom mohli definovat podmíněnou pravděpodobnost, uvažujme dva jevy  $A$  a  $B$  s tím, že jev  $B$  má nenulovou pravděpodobnost, tedy  $P(B) > 0$ .

Pak podmíněnou pravděpodobnost jevu  $A$  za podmínky nastoupení jevu  $B$  definujeme vztahem:

### 1.3 Vlastnosti pravděpodobnosti

V matematické teorii se následně ze základního systému pravidel odvozují další pravidla. Stejně je tomu u pravděpodobnosti, která má také svá pravidla (vlastnosti).

Přehled vlastností pravděpodobnosti: [1]

- 1. vlastnost

Je-li  $A \subset \Omega$  náhodný jev, pak  $A^c = \Omega \setminus A$  je jev opačný.

- 2. vlastnost

Pro jev nemožný  $\emptyset \subset \Omega$  platí  $P(\emptyset) = 0$ .

- 3. vlastnost

Pravděpodobnost libovolného jevu je číslo z intervalu  $\langle 0; 1 \rangle$ .

- 4.vlastnost

Pokud je jev A podjevem jevu B,  $A \subset B$ , pak pravděpodobnost jevu A je nejvýše rovna pravděpodobnosti jevu B.

- 5.vlastnost

Pro libovolné dva jevy A a B platí vzorec:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad (1.5)$$

Rovnice 1.3 se používá k výpočtu pravděpodobnosti pro sjednocení libovolných jevů.

## **2 Základní typy rozdělení pravděpodobnosti používané ve spolehlivosti**

Matematickým základem teorie spolehlivosti je pravděpodobnost a matematická statistika. Tyto nástroje jsou potřebné k popisu a analýze náhodných jevů a procesů odpovídajících procesu poruch a obnov.

Před rozdělením pravděpodobnosti je nutné se seznámit s vlastností náhodné veličiny,

### **2.1 Vlastnosti náhodné veličiny**

Experimentální stanovení životnosti a spolehlivosti se provádí zkouškami spolehlivosti. Jako první z nich se zjišťuje délka technického stavu neboli života vozidla. Praktické zavedení těchto zkoušek je u vozidel spojeno se značnými obtížemi, vzhledem k tomu, že doba zkoušení může být velice dlouhá a nákladná. Protože některá vozidla mají poměrně dlouhou životnost je kolikrát tato zkouška nesmyslná, neboť dochází ke znehodnocení vozidla. Stanovení spolehlivosti z údajů o provozu získanou během provozu daného vozidla je často používanou metodou. Dobrým předpokladem pro získání použitelných údajů jsou veškeré záznamy poruch a jejich příčin, době provozu a době údržby. Je nutné si proto vést informační systém zaměřený na získávání údajů, které je možné následně použít pro práci v oblasti spolehlivosti. [1]

#### **2.1.1 Náhodný jev**

Pod tímto pojmem se ve spolehlivosti rozumí provedení technického experimentu, jehož výsledek se označuje jako náhodný jev (vznik poruchy, ukončení opravy atd.).

Existují čtyři druhy jevů:

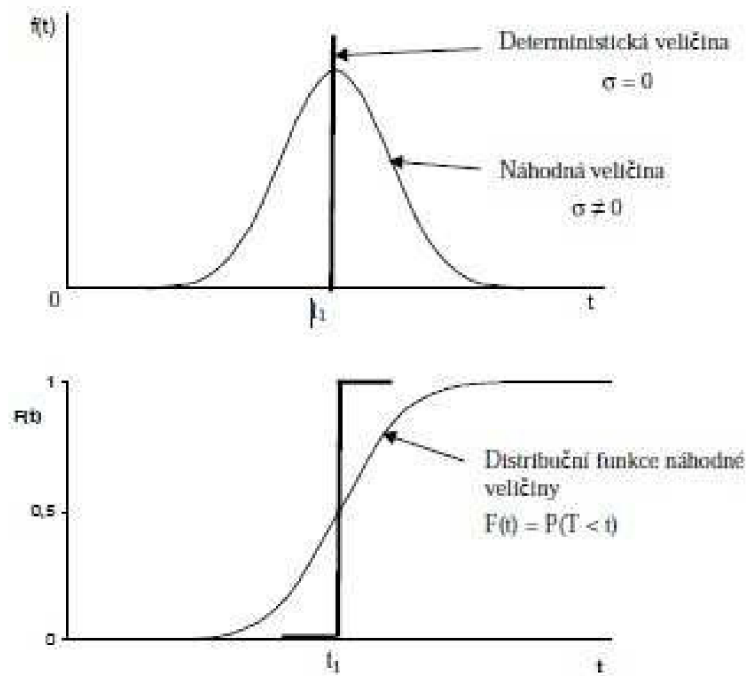
- Jistý – při dodržení stejných podmínek i při opakované realizaci nastane jev vždy.
- Nemožný – při dodržení stejných podmínek i při opakované realizaci jev nenastane nikdy.
- Náhodný – při dodržení stejných podmínek i při opakované realizaci jev může, ale i nemusí nastat v závislosti na náhodě. Je tedy nastává s konstantní nebo proměnnou pravděpodobností.

- Chaotický – tento jev nepatří mezi žádnou z výše uvedených kategorií, proto se jimi dále nezabýváme. V případě výskytu tohoto složitějšího jevu se využívá jiných přístupů, například expertních metod.

### 2.1.2 Rozptyl náhodné veličiny

Při zkouškách spolehlivosti sledujeme četnost nastoupení jevů v závislosti na měřitelných jednotkách (čas, kilometrový průběh, počet cyklů). Tyto znaky charakterizují zkoušenou vlastnost a při nezměněných podmínkách zkoušení se při opakování experimentu (zkoušky) náhodně mění ve značně širokém rozmezí. Proměnlivost je ovlivněna mnoha činiteli (mnohdy nepoznatelnými), a z toho vyplývá nemožnost deterministického určení okamžiku nástupu jevu. Nemůžeme například tvrdit, že k poruše žárovky dojde vždy přesně po 100 hodinách svícení, podvozek vozidla se porouchá přesně po ujetí 1000 km [1].

Pokud by rozptyl neexistoval, problematika spolehlivosti by se značně zjednodušila. Stačilo by vyzkoušet jediné vozidlo a závěry ze zkoušky by platily pro celý soubor (výrobní sérii) vozidel. Bohužel, takto postupovat nelze, je nutné vždy provést jistý počet zkoušek a výsledky zobecnit na celou populaci výrobků [3].



Obr. 2.1 Rozptyl náhodné veličiny

Zdroj:[1]



Kde:  $O \dots$  je rozptyl náhodné veličiny  
 $TI \dots$  očekávaná (odhadnutá) střední hodnota náhodné veličiny,  
 $T \dots$  náhodná veličina,  
 $t \dots$  časová proměnná.

### 2.1.3 Histogram četnosti

Histogram četností je často používaný prostředek pro zobrazení průběhu náhodné veličiny. Používá se ke znázornění rozdělení absolutních nebo relativních četností spojitého znaku, např. doby do poruchy vozidla. Je to sloupcový graf, který lze charakterizovat následovně: [3]

- Sloupce v histogramu jsou vždy vertikální. Jejich výška odpovídá četnosti (absolutní nebo relativní),
- Stupnice na vodorovné ose grafu je vždy ve stejných jednotkách, např. hod,
- Šířka každého sloupce je úměrná šířce třídy posuzované veličiny.

Histogram četností lze u spojitých veličin nahradit funkcí – hustotou pravděpodobnosti. Podobně kumulativní histogram četností lze u spojitých veličin nahradit distribuční funkcí  $F(t)$ . [1]

V průběhu histogramu nesmí vznikat tzv. propady. Touto metodou získáme názornější popis hustoty pravděpodobnosti pro následný odhad pro následný odhad patřičného rozdělení. Vzniku sedel zabráníme tak, že budeme rozšiřovat šířku třídy tak dlouho, dokud nebude histogram plynulý bez žádných propadů. Správný průběh histogramu je zobrazen na obr. 2.6 a 2.12.

Šířku třídy získáme pomocí vztahu:

$$\Delta T = \frac{t_{max} - t_{min}}{1 + 3,3 * \log N} \quad (2.1)$$

Kde:  $t_{min} \dots$  nejkratší doba do poruchy  
 $t_{max} \dots$  nejdelší doba do poruchy  
 $N \dots$  počet záznamu

Rovnice 2.1 tato rovnice slouží ke stanovení šířky třídy, kdy nejkratší dobu do poruchy odečteme od nej delší doby do poruchy a podělíme  $1 + 3,3 * \log$  počtu záznamů.

### Počet tříd

$$i = \frac{t_{max}}{\Delta T} \quad (2.2)$$

Kde:  $i$  ... počet tříd

$t_{max}$  ... maximální doba do poruchy

$\Delta T$  ... šířka třídy

Celkový počet tříd pak zaokrouhlíme na nejbližší vyšší celé číslo.

Rovnice 2.2 slouží k výpočtu počtu tříd, kdy se stanoví podíl mezi maximální dobou do poruchy a šířkou třídy.

### Relativní četnost

$$X_i = \frac{r_i}{N} \quad (2.3)$$

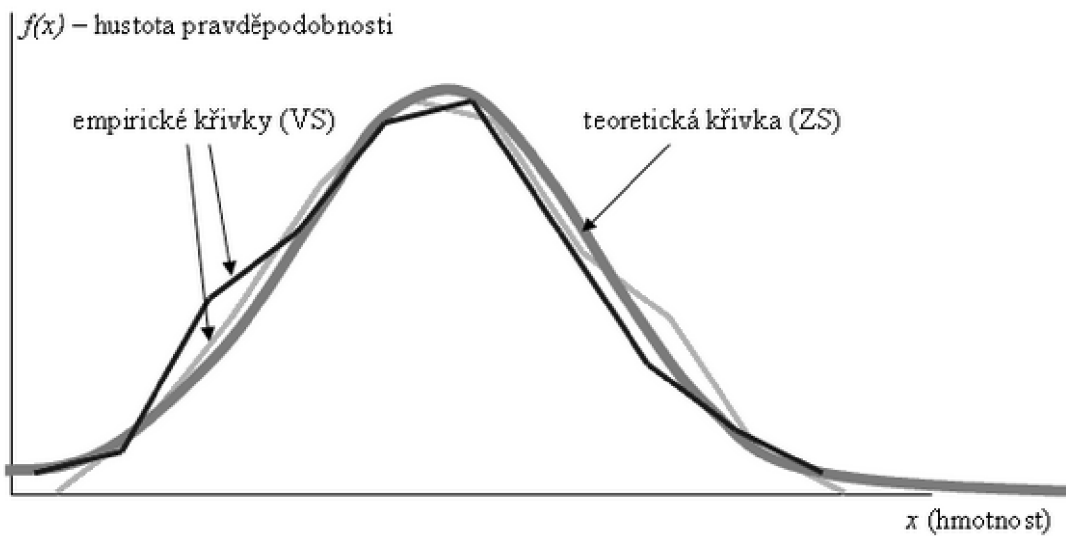
Kde:  $r_i$  ... absolutní četnost poruch náležejících do  $i$ -té třídy

$N$  ... celkový počet poruch

Rovnice 2.3 slouží k výpočtu relativní četnosti, za podílu absolutní četnosti poruch v  $i$ -té třídě ku celkovému počtu poruch.

## **2.2 Základní rozdělení pravděpodobnosti**

Pravděpodobnost lze dělit podle typu náhodné veličiny na spojitou a diskrétní. Spojitá náhodná veličina může nabývat pouze jednotlivých hodnot z konečného nebo nekonečného intervalu. Naopak diskrétní veličina může nabývat všech hodnot z konečného nebo nekonečného intervalu.



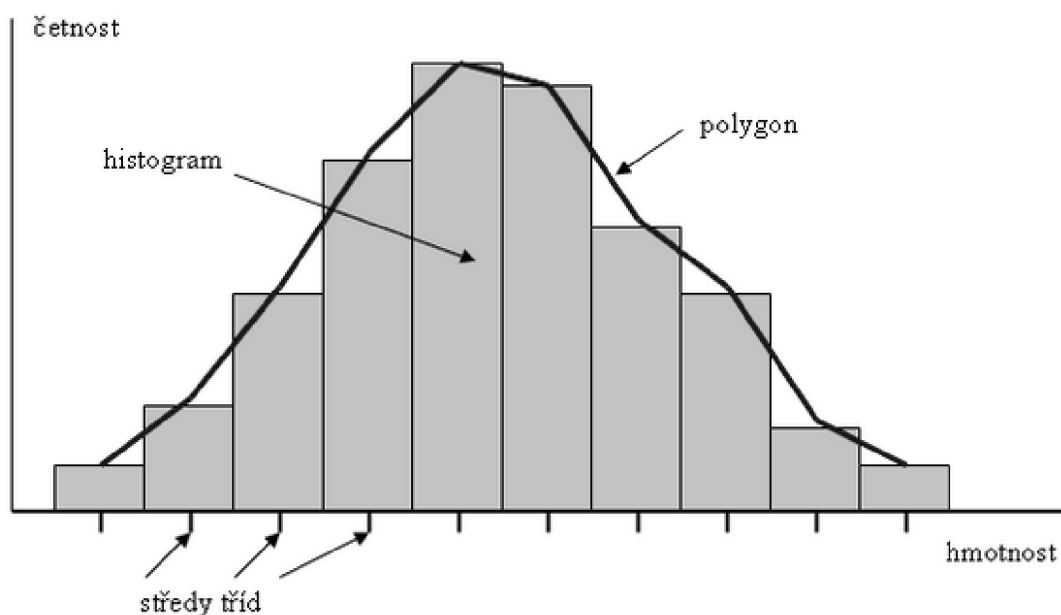
Obr. 2.2 Rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny

Zdroj: [3]

Vzhledem k proudu, kterým je diplomová práce směřována, budu dále pracovat se spojitou náhodnou veličinou.

Spojitá náhodná veličina se dělí dle rozdělení na:

- Exponenciální rozdělení.
- Weibullovo rozdělení.
- Normální rozdělení.



Obr. 2.3 Rozdělení četnosti spojité náhodné veličiny

Zdroj: [3]

### 2.2.1 Exponenciální rozdělení

Jedná se o tzv. normální období života výrobku, které je charakterizováno ustálením intenzity poruch na přibližně konstantní hodnotě. Díky svému konstantnímu průběhu intenzity poruch se využívá právě k této etapě života. Označuje se Ex ( $\lambda$ ) a je určeno jedním parametrem  $\lambda$ . [3]

Pravděpodobnost bezporuchového provozu je dána vztahem

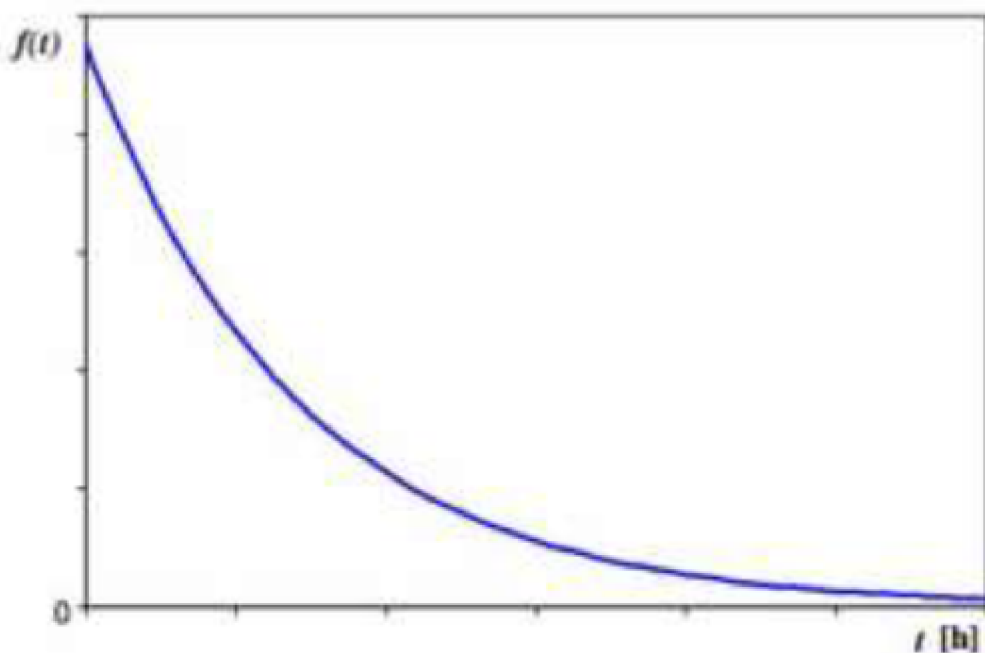
$$R_{(t)} = 1 - F_{(t)} = e^{-\lambda \cdot t} \quad (2.4)$$

$t$  – hodnota náhodné veličiny T

$\lambda$  – intenzita poruch – konstanta

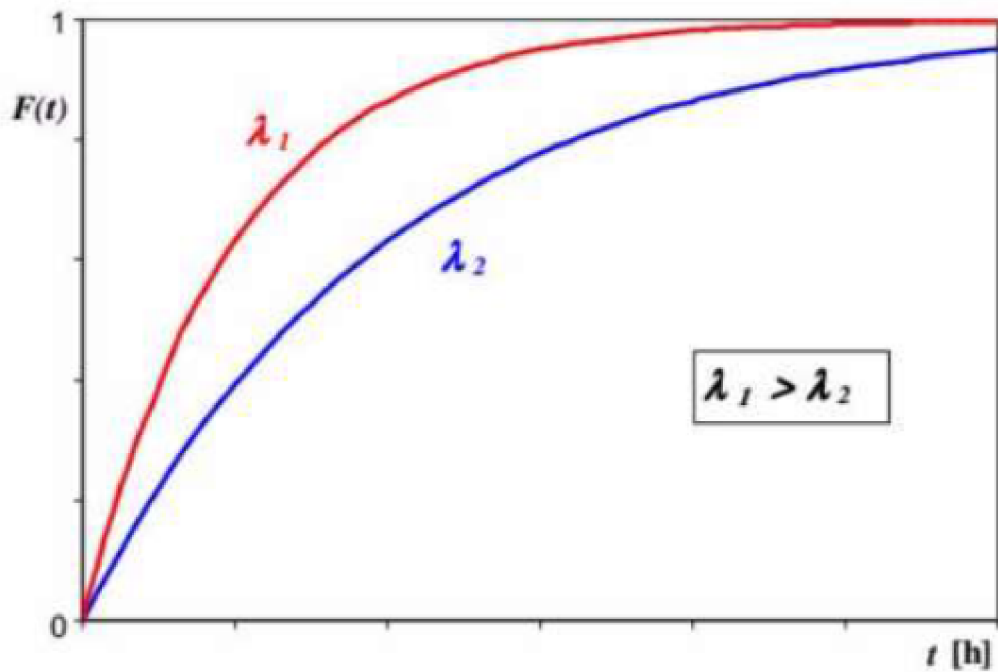
Rovnice 2.4 slouží pro výpočet pravděpodobnosti bezporuchového stavu náležitího do exponenciálního rozdělení.

Hustota pravděpodobnosti  $f(t)$  je klesající exponenciální funkce.



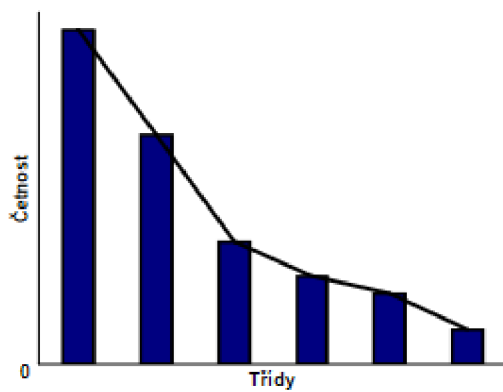
Obr. 2.4 Hustota pravděpodobnosti

Zdroj: [3]



Obr. 2.5 Distribuční funkce exponenciálního rozdělení

Zdroj:[5]



Obr. 2.6 Histogram relativní četnosti pro Exponenciální rozdělení

Zdroj: [3]

### 2.2.2 Weibullovo rozdělení

Weibullovo rozdělení se v literatuře vyskytuje ve dvou podobách. Buď jako tříparametrové  $W(b,c,\delta)$  nebo jako dvouparametrové  $W(b,\delta)$ . Dvouparametrové Weibullovo rozdělení je speciálním případem tříparametrového, kdy parametr  $c=0$ .

Hustota pravděpodobnosti Weibullova rozdělení má tento tvar.

$$f(x) = \frac{b}{\delta} \left(\frac{x-c}{\delta}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{x-c}{\delta}\right)^b} \quad (2.5)$$

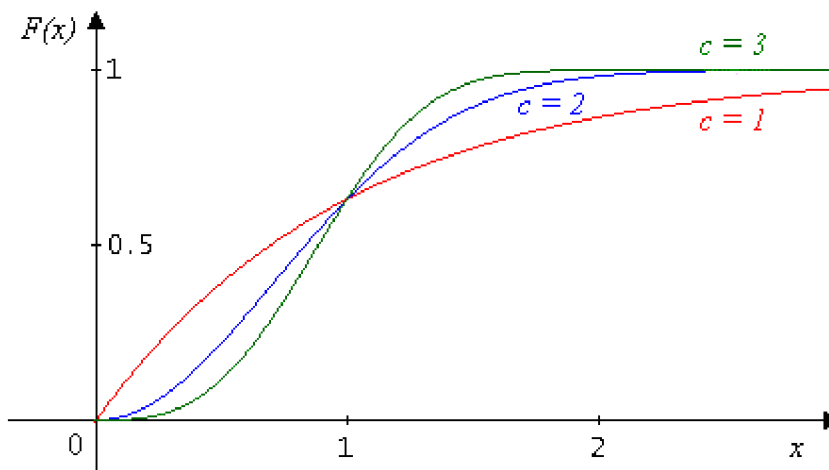
Rovnice 2.5 platí pouze tehdy, pokud náhodná veličina  $x \in \langle 0; \infty \rangle$ .

Pokud je  $x$  záporné, je hustota pravděpodobnosti rovna nule. Weibullovo rozdělení má obecně 3 parametry. Parametr  $b$ , který je vždy větší než nula, se nazývá parametr tvaru. Tento parametr významně ovlivňuje tvar hustoty pravděpodobnosti. V případě, že  $b=1$  přechází Weibullovo rozdělení v exponenciální rozdělení a při hodnotě  $b=3,6$  aproximuje Weibullovo rozdělení rozdělení normální. S jeho rostoucí velikostí se funkce hustoty pravděpodobnosti stává více strmou (viz obrázek 2.7).

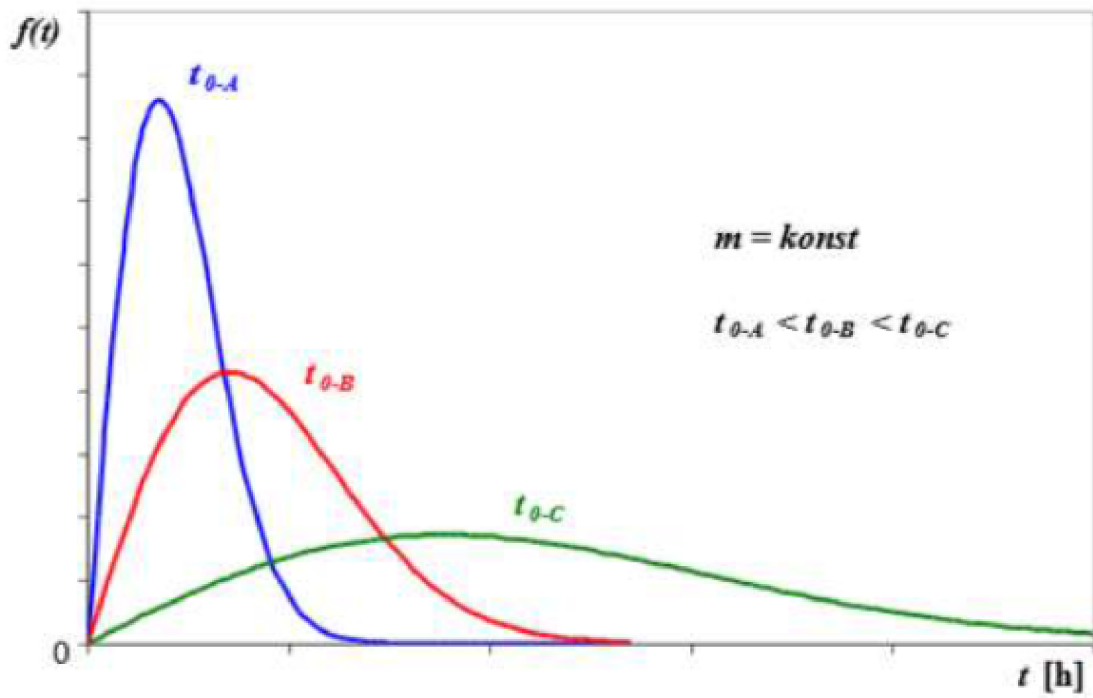
Parametr  $c$  je parametr polohy. Pro hodnoty náhodné veličiny menší, než tento parametr je hustota pravděpodobnosti nulová.

Poslední parametr je parametr  $\delta$ . Tento parametr je vždy větší, než nula a nazývá se parametr měřítka. Na obrázku 2.7 a 2.89 jsou uvedeny grafy hustoty pravděpodobnosti pro různé hodnoty parametru  $b$ , kdy  $\delta=1$  a  $c=0$ .

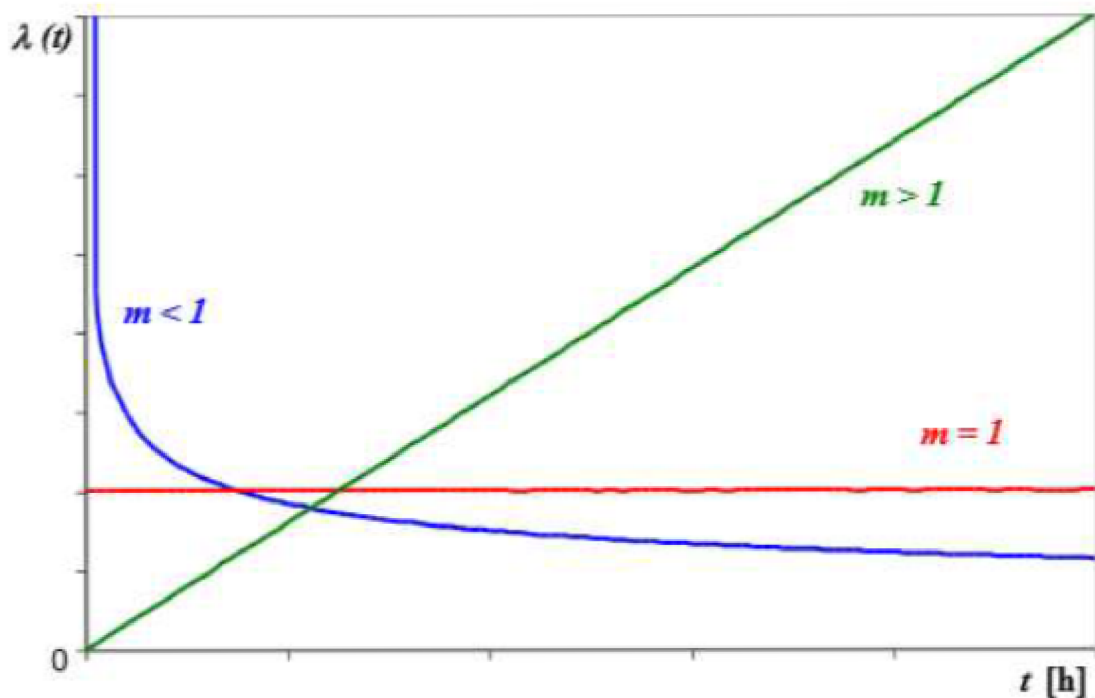
Grafické znázornění distribuční funkce pro  $\delta = 1$  a různé hodnoty  $c$ :



Obr. 2.7 Hustota pravděpodobnosti Weibullova rozdělení v závislosti na parametru  $b$   
Zdroj:[2]



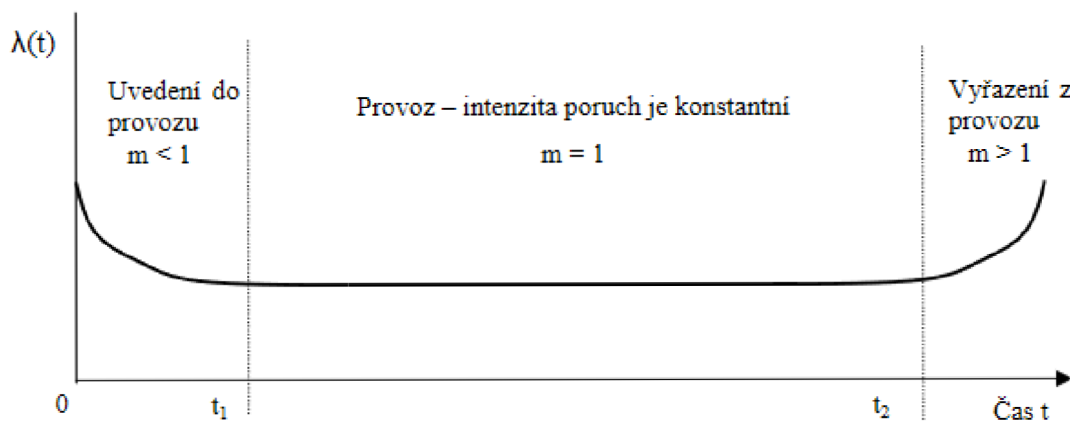
Obr. 2.8 Distribuční funkce W2P  
Zdroj: [3]



Obr. 2.9 Průběh intenzity poruch v čase

Zdroj: [3]

Průběh celé vanové křivky lze popsat W2p rozdělením, kde každé fázi života výrobku odpovídají jiné parametry rozdělení, jak naznačuje obr. 2.11

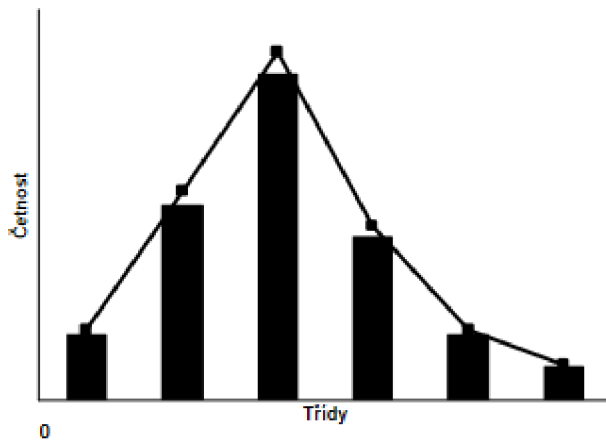


Obr. 2.10 Vanová křivka

Zdroj: [3]



Weibullovo rozdělení zahrnuje exponenciální rozdělení ( $m=1$ ), Rayleighovo rozdělení ( $m=2$ ) a nahrazuje normální rozdělení ( $m=3,5$ ). Těto vlastnosti se využívá při posuzování bezporuchovosti technických objektů, protože veškeré výpočty vyžadující tři různá rozdělení jsou nahrazeny jedním vztahem. [1]



Obr. 2.11 Histogram relativní četnosti pro Weibullovo rozdělení

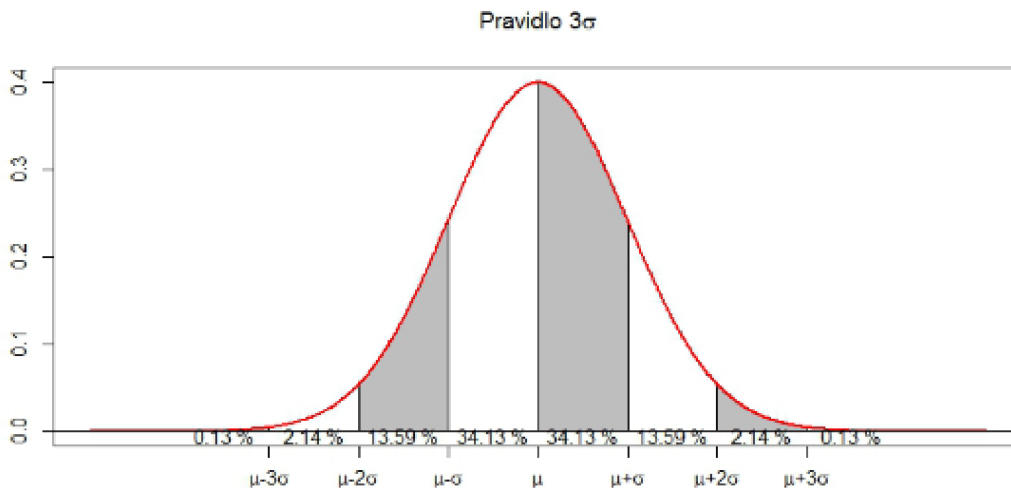
Zdroj: [2]

### 2.2.3 Normální rozdělení

S tímto rozdělením se v praxi setkáváme u řady veličin, jako je např. velikost chyby měření. Normální rozdělení je také známé pod názvem Gaussovo rozdělení podle svého objevitele Gausse, označuje se  $N(\mu, \sigma)$  a je určeno dvěma parametry, střední odchylkou a směrodatnou odchylkou. Ve spolehlivosti se využívá pro intervalový odhad, tj. ke stanovení intervalu, ve kterém s vysokou a předem stanovenou pravděpodobností leží odhadovaný parametr. V našem případě se bude jednat o odhad dolní a horní hranice, mezi kterými leží střední doba do poruchy. Stanovením intervalu se provádí s využitím pravidla  $\sigma$ .

#### Pravidlo $\sigma$

Pravidlo  $\sigma$  říká, že u přibližně normálně rozděleného souboru by se měly téměř všechny relevantní hodnoty nacházet do tří směrodatných odchylek od aritmetického průměru.

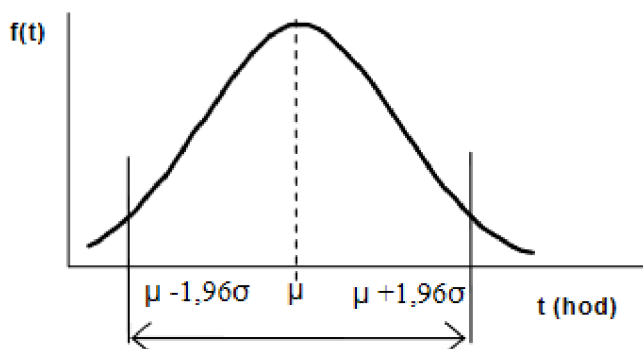


Obr. 2.12 Pravidlo  $3\sigma$

Zdroj:[6]

Tři pravidla  $\sigma$ :

- Téměř 70 % hodnot leží ve vzdálenosti menší než 1 směrodatné odchyly od průměru.
- Téměř 90 % hodnot leží ve vzdálenosti menší než 2 směrodatné odchyly od průměru.
- Téměř 99 % hodnot ve vzdálenosti menší než 3 směrodatné odchyly od průměru



Obr. 2.13 Normální rozdělení – pravidlo  $\sigma$

Zdroj:[6]

**Hustota pravděpodobnosti normálního rozdělení je dána vztahem:**

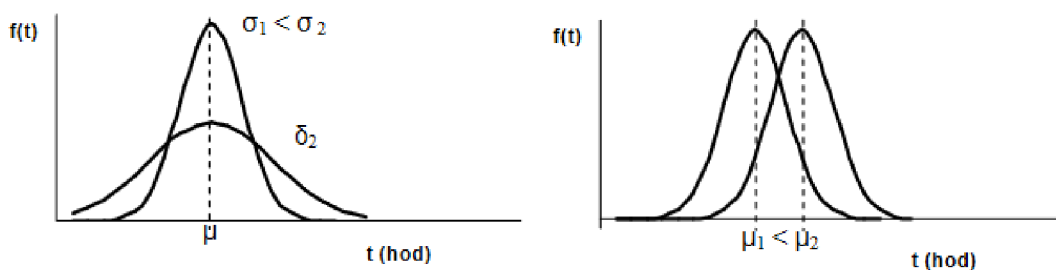
$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} * e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.6)$$

Kde:  $\mu$  – střední hodnota

$\sigma$  – směrodatná odchylka náhodné veličiny

Rovnice 2.6 se používá ke stanovení pravděpodobnosti, že náhodná proměnná spadá do určitého intervalu hodnot namísto libovolné jediné hodnoty.

Průběh hustoty pravděpodobnosti a vliv parametrů na průběh funkce je znázorněn na obr. 2.15



Obr. 2.14 Vliv parametrů na průběh funkce

Zdroj:[1]

Ve spolehlivosti má často veličina náhodné proměnné rozměr času nebo kilometrického proběhu, proto může nabývat pouze nezáporných hodnot a rozdělení je zleva useknuto. Distribuční funkce a hustota pravděpodobnosti normovaného rozdělení jsou tabelované, použitím těchto funkcí dostáváme charakteristiky bezporuchovosti určené normálním rozdělením. [1]

Pravděpodobnost, že náhodná veličina nabude hodnot z určitého intervalu, je rovna ploše pod hustotou pravděpodobnosti nad tímto intervalem, viz. obr. 2.14.

### 3 Výpočet spolehlivosti

Spolehlivost je věda o správné nebo nesprávné funkci objektu (v našem případě dopravního systému). Spolehlivost tedy zkoumá podmínky pro požadovanou funkci nebo podmínky vzniku nesprávné funkce, možnosti jejich ovlivňování, predikce, ověřování a měření. Spolehlivost je nedílnou součástí pojmu jakost (kvalita). Typickou matematickou záležitostí je například stanovení charakteristik spolehlivosti jako jsou zaručená doba životnosti, střední doba bezporuchového provozu, střední doba mezi poruchami, průměrné náklady na údržbu a na opravy. [4]

Mimo dopravní systémy se se spolehlivostí setkáváme i v elektrických zařízeních, kdy největší důraz je kladen na elektrotechniku v dopravních prostředcích (jedná se o různé bezpečnostní asistenty). V případě selhání těchto asistentů by se jednalo o kritický moment, který by mohl mít životu ohrožující až fatální následky. V důsledku toho obsahují komplexní systémy vlastní vnitřní diagnostiku. O spolehlivosti systému vypovídá celá řada faktorů, které je potřeba hlídat a vyvozovat z nich patřičné závěry. Spolehlivost je nejčastěji definována jako míra pravděpodobnosti (procentní šance) že daný zkoumaný prvek bude bezchybně plnit funkci, pro kterou byl navržen v předem definovaných mezích a podmínkách. Díky testování spolehlivosti získávají výrobci důležitý feedback o kvalitě výrobního procesu.

#### 3.1 Teorie spolehlivosti

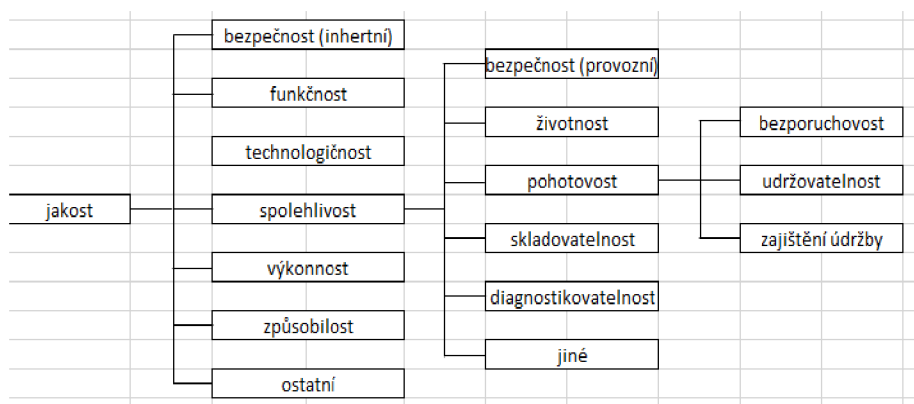
Teorie spolehlivosti je disciplína aplikované statistiky, která se zabývá zjišťováním, předvídáním a řízením spolehlivosti systémů. Očekává se od ní funkčnost nebo odolnost vůči vnějším vlivům a rychlostí zotavení z jejich poruchového stavu. Pomocí nástrojů teorie spolehlivosti se vyčíslují parametry poruch, bezpečnost nebo spolehlivost těch zařízení, jejichž nečinnost nebo špatné fungování jsou z nějakého důvodu vysoce nežádoucí. [5]

Technická problematika souvisí s konstrukcí, použitými materiály, technologií a organizací výroby, diagnostikou a strategií údržby. Matematická teorie spolehlivosti se soustředí na prognózu, odhad a optimalizaci bezporuchového provozu výrobku. Hlavními nástroji matematické teorie spolehlivosti jsou teorie pravděpodobnosti a matematická statistika. Typicky matematickou záležitostí je např. stanovení charakteristik (ukazatelů)

spolehlivosti jako jsou např. střední užitečný (technický) život, střední doba provozu do poruchy, intenzita poruch, střední doba mezi poruchami, střední doba opravy, střední pracnost údržby, okamžitá pohotovost, aj.

Spolehlivost je nutno posuzovat též podle ekonomického hlediska. Aplikací výsledků teorie spolehlivosti lze též použít nejen při návrhu zařízení a jeho způsobu provozu na zadané úrovni spolehlivosti, ale též při vzájemném porovnávání různých alternativ řešení.

Jak již bylo uvedeno, spolehlivost je nedílnou součástí jakosti (obr. 3.1).



Obr. 3.1 Rozdělení spolehlivosti

Zdroj: [5]

### 3.2 Základní ukazatele spolehlivosti

Spolehlivost je obecná vlastnost objektu se schopností plnit požadované funkce při zachovaných hodnotách v rámci daných mezí, v čase a podle stanovených technických podmínek.

Patří sem několik ukazatelů, viz. obr.3.1:

- **Bezporuchovost**

Schopnost výrobku plnit nepřetržitě požadovanou funkci za stanovených podmínek po stanovenou dobu.

- **Životnost**  
Doba, po kterou by měl výrobek plnit funkci. Bývá vyjádřena počtem provozních hodin, provozních cyklů nebo kalendářní dobou.
- **Udržovatelnost**  
Při předepsané údržbě se jedná o schopnost zařízení zůstat v provozuschopném stavu.
- **Morální životnost**  
Snížení užitné hodnoty výrobku působením času zcela závislé na rozvoji vědy a techniky. Čímž dochází k zastarání parametrů zařízení, tudíž ke snížení konkurenceschopnosti.
- **Skladovatelnost**  
Schopnost zařízení zachovávat nepřetržitě provozuschopný stav jak po dobu skladování, tak i po dobu přepravy při dodržení předepsaných podmínek.
- **Pohotovost**  
Komplexní vlastnost zařízení zahrnující opravitelnost a bezporuchovost v podmínkách provozu.
- **Bezpečnost**  
Při plnění předepsané funkce se jedná o vlastnost neohrožovat lidské zdraví nebo životní prostředí po stanovenou dobu a za stanovených podmínek.
- **Provozeroschopnost**  
Plní se stanovené funkce a dodržují se hodnoty sledovaných parametrů v předepsaných mezích.
- **Bezvadný stav**  
Provozeroschopný stav z hlediska všech sledovaných parametrů
- **Oprava**  
Souhrn činností sloužících k navrácení zařízení do původního stavu
- **Diagnostika**  
Cílem diagnostiky je detekce a lokalizace poruchy (zjištění rozsahu poruchy, příčin vzniku a šíření poškození). [5]

V naší práci se budeme blíže věnovat bezporuchovosti.

### 3.2.1 Ukazatel bezporuchovosti

Ukazatelem bezporuchovosti obecně rozumíme funkci nebo číselnou hodnotu, používanou pro popis sledované veličiny, která charakterizuje bezporuchovost objektu. Nejpoužívanějšími základními ukazateli, které se v praxi používají jsou:

- Pravděpodobnost bezporuchového provozu  $R(t)$ .
- Intenzita poruch  $\lambda(t)$ .
- Střední doba bezporuchového provozu  $T$ .
- Parametr proudu poruch  $h(t)$  [6]

#### 3.2.1.1 Pravděpodobnost bezporuchového provozu

Pravděpodobnost bezporuchového provozu vyjadřuje hodnotu pravděpodobnosti, že v daném časovém intervalu nevznikne u výrobku porucha. Podmínkou je, aby byl výrobek na začátku v bezporuchovém stavu.

$$R(t) = P(\tau \geq t) \quad (3.1)$$

Kde:  $R(t)$  – pravděpodobnost bezporuchového provozu  
 $\tau$  – náhodná veličina vyjadřující dobu provozu do poruchy  
 $t$  – čas do poruchy

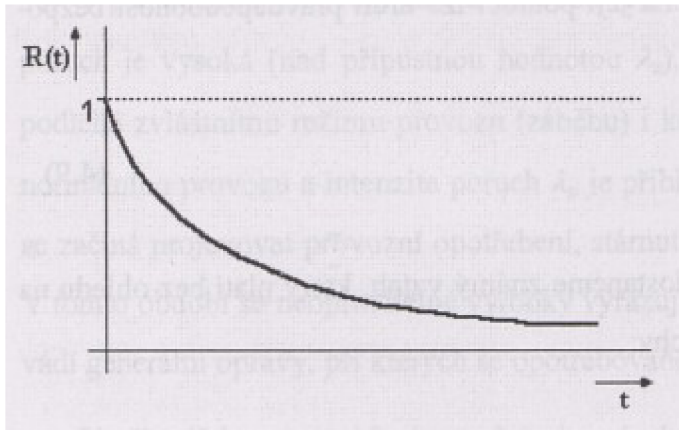
Rovnice 3.1 se používá v případě splnění podmínky, že byl výrobek na začátku v bezporuchovém stavu.

$$Q(t) = P(\tau \geq t) \quad (3.2)$$

Kde:  $Q(t)$  – pravděpodobnost poruchy  
 $\tau$  – náhodná veličina vyjadřující dobu provozu do poruchy  
 $t$  – čas do poruchy

Rovnice 3.2 ukazuje, že se jedná o dva navzájem se vylučující stavy kdy  $R(t) + Q(t) = 1$ .

Funkce  $R(t)$  má následující vlastnosti.



Obr. 3.2 Funkce bezporuchovosti provozu

Zdroj: [7]

### 3.2.1.2 Intenzita poruch

Intenzita poruch  $\lambda(t)$  patří k nejvýznamnějším ukazatelům bezporuchovosti a vyjadřuje podmíněnou hustotu pravděpodobnosti poruchy.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3.3)$$

Rovnice 3.3 představuje pravděpodobnost vzniku poruchy v závislosti na časovém úseku, za předpokladu, že do této doby k poruše ještě nedošlo.

Hodnota pravděpodobnosti bezporuchového provozu klesá podle exponenciály v závislosti na velikosti hodnoty intenzity poruchy. Pravděpodobnost tedy klesá se zvyšující se intenzitou poruch a s rostoucí dobou provozu.

- Neklesající průběh.

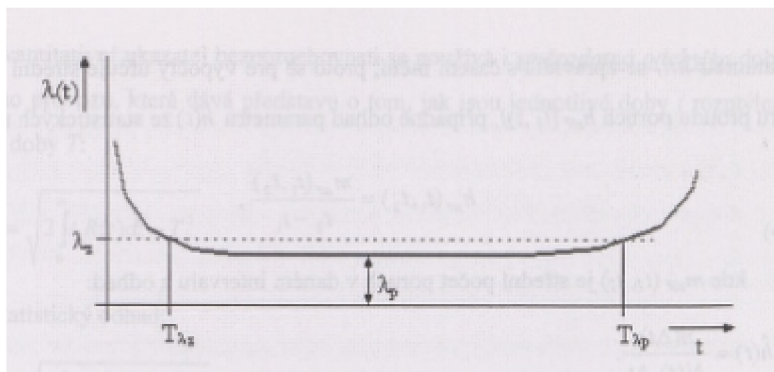
Je typický pro neopravitelné výrobky, u kterých se projevilo stáří a opotřebení materiálu. Odpovídá Weibullovu a normálnímu zákonu rozdělení doby do poruchy.

- Klesající průběh.

Je typický pro logaritmickeo-normální rozdělení. Intenzita poruchy není závislá na době provozu, je rovna parametru pro zákon rozdělení a je ho možné použít tam, kde se projevují nečekané a náhlé poruchy, kde se neprojevuje opotřebení a



stárnutí materiálu a kde jsou výrobky vystaveny podmínkám vysokého zatížení. Tento průběh znázorňuje takzvaná vanová křivka (obr. 3.3). [8]



Obr. 3.3 Závislost funkce – tzv. vanová křivka

Zdroj: [2]

V počátečním časovém úseku provozu ( $T_{\lambda z}$ ) se projevují výrobní nedostatky a intenzita poruch je nad přípustnou hodnotu  $\lambda_z$ . V této době je výrobek ještě v záruce dodavatele a podléhá zvláštním předpisům zahrnující speciální režim provozu i kontrol, aby nedošlo k zániku záruky. Střední úsek mezi body  $T_{\lambda z}$  a  $T_{\lambda p}$  je úsek normálního provozu, intenzita poruch je přibližně konstantní. Od bodu  $T_{\lambda p}$  se začíná projevovat stáří výrobků, provozní opotřebení, únava materiálu a intenzita poruch roste. V tomto konečném období se neopravitelné výrobky vyřazují z provozu, u opravitelných výrobků se provádí celkové generální opravy. [8]

### 3.2.1.3 Parametr proudu poruch

Tento parametr lze definovat jako podmíněnou pravděpodobnost vzniku poruchy obnovovaného prvku za daný čas za předpokladu, že do této doby byl prvek vyroben v bezporuchovém stavu. [2]

$$h(t) = \frac{Q(\Delta t)}{\Delta t} \quad (3.4)$$

Rovnice 3.4 se používá za předpokladu, že výraz pro odhad parametru proudu poruch je totožný s výrazem pro odhad intenzity poruch.

Důležitý aspekt rozdílu je v tom, že hodnota počtu bezporuchových výrobků pro odhad intenzity poruch se mění v závislosti na čase měření, oproti pro odhad parametru proudu poruch zůstává v důsledku oprav po poruše přibližně stejná.

### **3.3 Zkoušky spolehlivosti**

Zkoušení spolehlivosti je základním prostředkem k určení odhadu nebo ověření úrovně spolehlivosti v podobě číselných hodnot ukazatelů pro dílčí vlastnost spolehlivosti.

Zkoušky spolehlivosti, zejména bezporuchovosti, nenahrazují jiné typy zkoušek (jako např. zkoušky technických parametrů, zkoušky provozuschopnosti výrobku v extrémních podmínkách apod.). Při zkoušení prvků výrobku se musí k výpočtu ukazatelů spolehlivosti uvést i blokový diagram spolehlivosti. [9]

Vzhledem k obsahu diplomového projektu se zkouška vlastnosti spolehlivosti dělí podle účelu provedení a s ohledem na dílčí vlastnosti spolehlivosti.

Dělení dle účelu provedení:

- Určovací neboli odhadovací.
- Ověřovací.
- Srovnávací.

Dělení s ohledem na dílčí vlastnosti:

- Zkouška bezporuchovosti.
- Zkouška pohotovosti
- Zkouška životnosti a udržitelnosti. [5]

#### **3.3.1 Určovací zkoušky spolehlivosti**

Určovací zkoušky spolehlivosti jsou definovány jako experimentální stanovení ukazatelů spolehlivosti ve formě bodových či intervalových odhadů, které slouží jako podklad pro formulaci nebo zpřesnění požadavků na spolehlivost v technických podmínkách daného výrobku. [8]

Tohoto typu zkoušek může být také využito:

- K odhalení nespolehlivých prvků, nedostatků konstrukčního řešení a technologie výroby.
- Pro návrh nápravných opatření za účelem zvýšení spolehlivosti výrobků pro stanovení a případné upřesnění jednotlivých cyklů systémů údržby a plánování oprav.
- K upřesnění souboru náhradních dílů.
- Ke zjištění typů rozdělení náhodných veličin nezbytných k odhadu ukazatelů spolehlivosti. [9]

### **3.3.2 Ověřovací zkoušky spolehlivosti**

Tento typ zkoušek je definován jako experimentální ověření, zda číselné hodnoty ukazatelů spolehlivosti souhlasí s požadavky. Jejich realizace je podmínkou pro prokázání ukazatelů spolehlivosti.

Výchozími podklady pro ověřovací zkoušky spolehlivosti jsou tzv. zkušební plány a přehled ověřovaných ukazatelů. Dle výsledků zkoušek se rozhodne, zda výrobek splňuje či nespĺňuje požadovanou úroveň spolehlivosti. Nemělo by se však zůstat jen u pouhého konstatování. Příčiny a důsledky každé poruchy by se měly prošetřit a následná nápravná opatření by měla vést k jejich odstranění. Pro potřebu přejímky musí být zkušební plán doprovázen i určitým pravidlem pro rozhodování o přijetí či zamítnutí výrobku. [7]

### **3.3.3 Srovnávací zkoušky**

Tyto zkoušky jsou určeny pro vzájemné porovnání dvou ukazatelů spolehlivosti na základě experimentálních dat.

## **3.4 Vzájemné souvislosti ukazatelů bezporuchovosti**

K získání ukazatele bezporuchovosti kolikrát nevede jednoduchá cesta. Obvykle je k tomu zapotřebí statické sledování údajů o poruchách a následná analýza těchto dat.

Z výše uvedeného popisu ukazatelů bezporuchovosti je patrné, že je mezi nimi existující vzájemná souvislost. Pokud známe jeden z ukazatelů, pak se dá podle něj jednoduše určit ostatní ukazatele viz tab.3.1, kde jsou vyjádřené matematické vztahy mezi jednotlivými ukazateli.

Tab. 3.1 Matematické vztahy mezi jednotlivými ukazateli spolehlivosti

	R(t)	Q(t)	f(t)	$\lambda(t)$
R(t)	$R(t)$	$1 - Q(t)$	$1 - \int_0^t f(t) dt$	$\exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]$
Q(t)	$1 - R(t)$	$Q(t)$	$\int_0^t f(t) dt$	$1 - \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]$
f(t)	$-\frac{dR(t)}{dt}$	$\frac{dQ(t)}{dt}$	$f(t)$	$\lambda(t) \cdot \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]$
$\lambda(t)$	$-\frac{\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)}$	$\frac{\frac{dQ(t)}{dt}}{1 - Q(t)}$	$\frac{f(t)}{1 - \int_0^t f(t) dt}$	$\lambda(t)$

Zdroj: [10]

### 3.5 Poruchy

Poruchou označujeme stav, kdy dojde k porušení provozuschopného stavu objektu, v našem případě vozidla. Tento proces je možno považovat za náhodný a lze tak aplikovat pravidla teorie pravděpodobnosti a matematické statistiky.

#### 3.5.1 Dělení poruch

Ve spolehlivosti uvažujeme pouze o náhodných poruchách. Jejich příčiny vzniku mohou být různorodé a mohou také různě ovlivňovat funkci vozidla. Kritéria pro dělení poruch jsou dána buďto charakterem samotných poruch, nebo souvislým řetězcem příčina – porucha – následek.

V tomto ohledu lze poruchy klasifikovat v následujících hlediscích:

1. Podle podmínek vzniku příčin

- Porucha z vnějších příčin – je způsobena nedodržením provozních podmínek (zátěž, obsluha a údržba)
- Porucha z vnitřních příčin – je způsobena při zachování provozních podmínek a předpisů vlastní nedokonalostí.
  - Časné poruchy – vznikají při návrhu a výrobě. S rostoucím časem využívání tato poruchovost klesá.
  - Poruchy dožitím – je to opak časných poruch. Jedná se o poruchy vzniku následkem opotřebení nebo stárnutím.

2. Podle časového průběhu

- Náhlá porucha – je projevena prudkou změnou jednoho nebo i více parametrů výrobku.
- Postupná porucha – je projevena postupnou změnou parametrů vozidla (stárnutí vozu, opotřebení vozu nebo jeho součástek)

Náhlé poruchy se teoreticky nedají předvídat, u poruch postupných se touto otázkou předvídání setkáváme v úlohách teorie spolehlivosti.

3. Podle následku poruchy

- Závada – je drobná vada, která nemá vliv na schopnost dopravního prostředku plnit svou požadovanou funkci v provozu. Nejčastěji se s tím setkáváme u poruch LCD panelů.
- Porucha – jedná se o úplnou nebo částečnou ztrátu schopnosti vozidla plnit svůj účel.
- Kritická porucha – je porucha, jejímž následkem dojde k ohrožení nebo ztráty života, případně dojde k velké hmotné škodě. [11]

4. Podle stupně porušení provozuschopnosti

- Úplná porucha – vzniká v závislosti na změně hodnot jednoho nebo více parametrů zařízení, které úplně zabraňují funkčnosti.

- Částečná porucha – vzniká v závislosti na změně hodnot jednoho nebo více parametrů zařízení, které omezují funkčnost.
- Havarijní porucha – porucha, která má za následek úplnou ztrátu schopnosti provozu. Porucha je náhlá a úplná.
- Degradální porucha – porucha, která má za následek postupné zhoršení schopnosti provozu. Porucha je postupná a částečná. [12]

### **3.6 Odhad parametrů Weibullova rozdělení**

Ukazatelé spolehlivosti mohou být vyjádřeny ve formě konkrétních hodnot parametrů daného typu rozdělení náhodné veličiny, nebo formou číselných charakteristik náhodné veličiny. Obecně se dělí do dvou kategorií:

- Grafické metody.
- Analytické metody.

#### **3.6.1 Grafické metody bodových odhadů**

Tyto metody se nejčastěji používají pro svoji jednoduchost a rychlost. Jejich nevýhodou je značná nepřesnost. Dvěma hlavními grafickými metodami k odhadu neznámých parametrů jsou:

- Weibullův pravděpodobnostní papír.
- Metoda komutativní intenzity poruch

#### **3.6.2 Analytické metody bodových odhadů**

Vzhledem k nepřesnosti grafických metod se v praxi při odhadech parametrů dává přednost analytickým metodám. Příkladem analytických metod mohou být např.:

- Metoda momentů.
- Metoda maximální věrohodnosti.
- Metoda nejmenších čtverců (použito v této dp.).

### Metoda momentů

Metoda momentů je vhodná pro získání bodového odhadu parametrů známého typu rozdělení. Její princip je založen na porovnávání výběrových momentů, které jsou určeny z dat náhodného výběru a teoretických momentů pro daný typ rozdělení. [4]

### Metoda maximální věrohodnosti

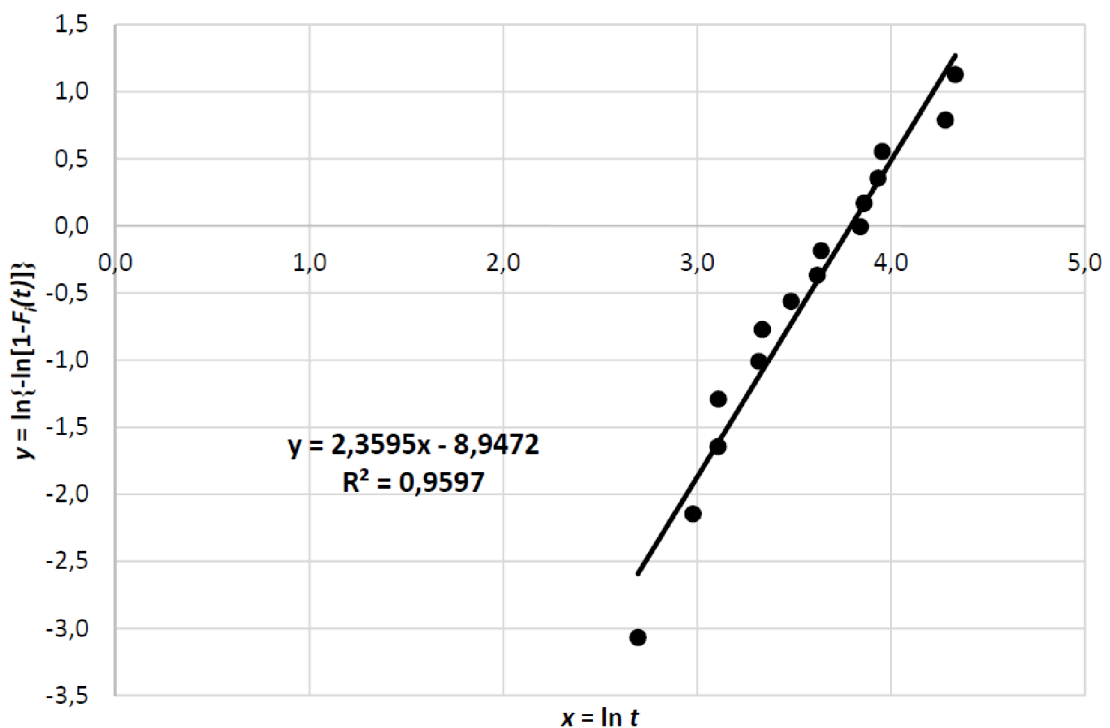
Tato metoda je vhodná pro bodový odhad parametru rozdělení dosahující kvalitních výsledků. Jedná se minimálně o 30 hodnot (čím více hodnot, tím větší přesnost).

Cílem metody je konstrukce funkce věrohodnosti pro náhodný výběr s určitým rozdělením pravděpodobnosti, popsaným hustotou pravděpodobnosti s neznámou hodnotou parametrů. [4]

### Metoda nejmenších čtverců

Metoda nejmenších čtverců je velmi často využívána především ve strojírenství a v matematice. Myšlenka této metody je stejná jako u metody pravděpodobnostního papíru, vychází z předpokladu lineární závislosti mezi dvěma proměnnými. K odhadnutí parametrů se za pomoci regresní analýzy proloží přímka procházející body (vyznačenými dobami do poruchy). Snažíme se minimalizovat vzdálenost mezi všemi body a úsečkou. [4].

Na grafu 3.1 je zobrazen příklad lineární regrese.



### Graf 3.1 Weibullův graf

Zdroj: [5]

Zjištěné hodnoty parametrů konkrétního rozdělení se mohou lišit v závislosti na tom, jestli minimalizujeme vzdálenost mezi body a úsečkou z hlediska osy X nebo Y.

Podrobný postup je uveden v kapitole 5.

#### - Weibullův graf

Weibullův pravděpodobnostní graf je grafickou technikou umožňující (a) vizuální kontrolu, zda pro modelování vlastností souboru dat lze využít Weibullova rozdělení, (b) odhad příslušných parametrů Weibullova rozdělení. Při použití této metody se empirická data vynášejí do grafu, který má speciálně transformované měřítka os, viz. obr. 2.16.

Weibullův pravděpodobnostní graf Umožňuje vizuální kontrolu, zda pro modelování vlastností souboru dat lze využít Weibullova rozdělení a odhad příslušných parametrů Weibullova rozdělení. Při použití této metody se empirická data vynášejí do grafu, který má speciálně transformované měřítka os tak, aby se nelineární kumulativní distribuční funkce transformovala na funkci lineární. Na osu x je v logaritmickém měřítku vynášena doba do poruchy. Na osu y se vynášejí ve dvojitým logaritmickém měřítku kumulativní pravděpodobnost: [4]

$$\ln[\ln(1 - p)] \quad (3.5)$$

Kde:  $p = (i - 0.3) / (n + 0.4)$ ,

$i$  – je pořadí pozorování.

Rovnice 3.5 umožňuje vizuální kontrolu, zda lze využít Weibullovo rozdělení.

$$F_i(t) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad (3.6)$$

kde:  $F_i(t)$  - odhad mediánové hodnoty (-),

$i$  – počet pořadové číslo doby provozu do poruchy  $t$ ,

$n$  – rozsah výběru

Rovnice 3.6 využívá se pro výpočet mediánového pořadí Bernardovy aproximace.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha} \quad (3.7)$$



kde:  $F(t)$  - distribuční funkce W.R.

$\alpha$  – parametr měřítka

$\beta$  – parametr tvaru

$t$  – doba do poruchy

Rovnice 3.7 se používá jako distribuční funkce pro Weibullovo rozdělení.

Po vynesení empirických dat do tohoto grafu lze určit, zda je možné tato data modelovat Weibullovým rozdělením (datové body leží na přímce), zda existují odlehlé hodnoty a jaké parametry zvolit pro aktuální Weibullovo rozdělení. Pokud leží jednotlivé body v přímce, můžeme předpokládat, že toto rozdělení lze modelovat Weibullovým rozdělením. Metoda pravděpodobnostního grafu umožňuje vizuální posouzení vhodnosti přizpůsobení teoretického rozdělení empirickým datům. [4]

$$q = -\alpha \cdot \ln(\beta)$$

Po úpravách:

$$\beta = e^{\left[-\frac{q}{\alpha}\right]} \quad (3.8)$$

Rovnice 3.8 slouží k výpočtu parametru měřítka  $\beta$ .

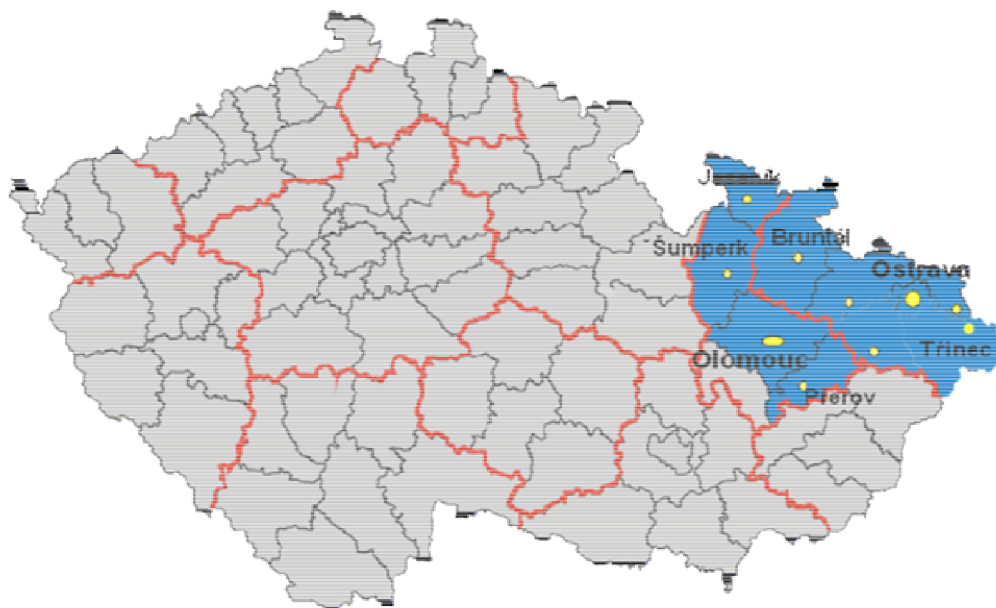
## 4 Charakteristika vybraného podniku MHD a provoz vozidel

Statutární město Přerov je velmi důležitým článkem celého regionu, a právě jeho městská hromadná doprava je hojně využívána nejen místními, ale také lidmi z celého širokého okolí, kteří se pomocí ní pohybují za prací, školou, či zábavou.

Městská hromadná doprava v Přerově je provozována společností ARRIVA MORAVA a.s. Na zajištění dopravní obslužnosti Přerova a blízkého okolí se podílí kromě MHD také veřejná linková a železniční doprava. Všechny tyto dopravy spadají do Integrovaného dopravního systému Olomouckého kraje – IDSOK. Realizací IDSOK došlo ke sloučení původně izolovaně fungujících integrovaných systémů, které již na území Olomouckého kraje byly provozovány. Celému procesu předcházela optimalizace veřejné dopravy v jednotlivých okresech a městech. [13]

### 4.1 ARRIVA a.s.

ARRIVA je jednou z největších dopravních společností v Evropě, která ve 14 evropských zemích zaměstnává přes 46 000 lidí a ročně přepraví více než 2,1 miliardy cestujících. Od roku 2010 je součástí koncernu Deutsche Bahn. [14]



Obr. 4.1 Působnost společnosti ARRIVA MORAVA a.s.

Zdroj: [11]

Základními činnostmi společnosti jsou:

- Pravidelná příměstská doprava – je zajištěna pomocí 400 linek a jedná se o přepravu mezi jednotlivými přilehlými městy daného regionu, kde jsou jednotlivé přepravní služby nabízeny dle předem stanovených a vyhlášených podmínek, které musí být za všech okolností dodržovány.
- Městská hromadná doprava – společnost se podílí na zajištění přepravy osob a zavazadel na území Olomouckého a Moravskoslezského kraje.
- Vnitrostátní dálková doprava – zajištění přepravy osob a zavazadel na větší vzdálenost, při které jsou kladeny vyšší nároky na komfort a rychlost dopravy.
- Mezinárodní autobusová přeprava – tato činnost zahrnuje přepravu osob a zavazadel, kde výchozí a cílové místo leží na území jiného státu. Lze sem zařadit i přepravu na území jednoho státu, pokud je ale část cesty přes území jiného státu.

Dále sem můžeme zařadit i příležitostnou osobní dopravu, dopravu zaměstnanců, drážní dopravu nebo i provozování integrovaných dopravních systémů.

Pomocí normy ČSN EN 13816 je stanovena a zajištěna kvalitní úroveň výše uvedených činností. Tato norma se zabývá požadavky v oblasti veřejné přepravy osob.

Společnost ARRIVA MORAVA a.s. má ve svém vlastnictví pouze autobusy, řidiče, licence k provozování přepravních služeb a nezbytnou kancelářskou techniku. V pronájmu má potom veškeré budovy, které pro chod potřebuje. Opravárenské a jiné servisní úkony jsou plně outsourcovány. Vzhledem k tomu, že firma nedisponuje ani žádnou větší centrální garáží, je nucena z velké části parkovat své autobusy na místech, kde začínají, popřípadě končí jejich pracovní výkony. Tyto faktory tak kladou velký důraz na propracovanost informačního systému, který musí být schopen zajistit, pokud možno, bezproblémové řízení celé společnosti. [14]

#### **4.1.1 Analýza činnosti společnosti**

V této podkapitole jsem zpracoval krátkou SWOT analýzu. Analýza přispěla vyhodnocení činnosti a poukázala na možné nedostatky, které by mohly společnosti uškodit na trhu a budoucí možné konkurenci pomohla k dostání na špičku trhu.

Tab. 4.1 SWOT analýza

<b>SWOT analýza</b>	
<b>Silné stránky</b>	<b>Slabé stránky</b>
Postavení na trhu	Chybějící vlastní prostory
Vozový park	Zastaralé technologie
Velké množství nabízených služeb	Nezavedené odbavení pomocí IT
Nabízené služby	
<b>Příležitosti</b>	<b>Ohrožení</b>
Zajištění dotací z EU na zavedení modernějšího systému	Nezavedení povinné koncepce odbavovacího systému
Posílení webových stránek	Outsourcing
Sjednocení řídicích oddělení do jednoho koncernu Arriva	Pandemie – v současnosti pandemie koronaviru
Zajištění vlastních prostor	Silnější konkurence

Zdroj: Vlastní zpracování 2021

Z uvedené analýzy vyplynulo, že mezi nejsilnější stránky společnosti patří dosavadní postavení na trhu a poměrně moderní vozový park. Obrovskou slabinou jsou pak chybějící vlastní prostory, jako jsou kanceláře, odstavné plochy, kdy je potřeba si tyto prostory pronajímat. Mezi příležitostmi, které by společnosti pomohly jsem zařadil zajištění dotací na zavedení modernějšího systému, především na posílení online služeb jako je nákup jízdenek, rezervace místa k přepravě. Další významnou příležitostí jsem vybral sjednocení řídicích oddělení pod jeden koncern. Poslední částí je ohrožení, kdy by nezavedením povinné koncepce odbavovacího systému do roku 2026 došlo k sankcím, později k vypovězení smlouvy. Silnější konkurence v ČR není, jediným možným adeptem do budoucna je Veolia Transport Morava a.s.

## 4.2 Vozový park společnosti ARRIVA MORAVA a.s.

V České republice skupina ARRIVA provozuje 2 200 autobusů, 38 trolejbusů a zhruba 65 vlaků a zaměstnává více než 3 700 zaměstnanců. Celkový roční obrát skupiny převyšuje 4 miliardy korun. V roce 2013 vstoupila i na trh osobní dopravy železniční.

Všechna vozidla MHD jsou vybavena LCD monitory, na kterých jsou znázorněny průběhy tras s možným zpožděním k příjezdu do další zastávky.

Nejvyžívanějšími vozidly zabezpečující městskou hromadnou dopravu jsou značky SOR CITY NBG 12, IVECO CROSSWAY LE CITY a IRISBUS CITELIS 12M CNG. [14]

### 4.2.1 SOR CITY NBG12

Jedná se model českého městského nízkopodlažního autobusu standartní délky. Prototyp tohoto vozu byl vyroben v roce 2006, sériově se začal vyrábět roku 2008. Ačkoli se jedná o nízkopodlažní autobus, tak má většinu sedaček umístěnou na výrazně vyvýšených částech podlahy.

Bezbariérově dostupný je pouze s několika sklopnými sedadly ve střední části, která je určena pro cestující na invalidním vozíku nebo s kočárkem.

V Přerově je zastoupeno šest vozidel této značky.



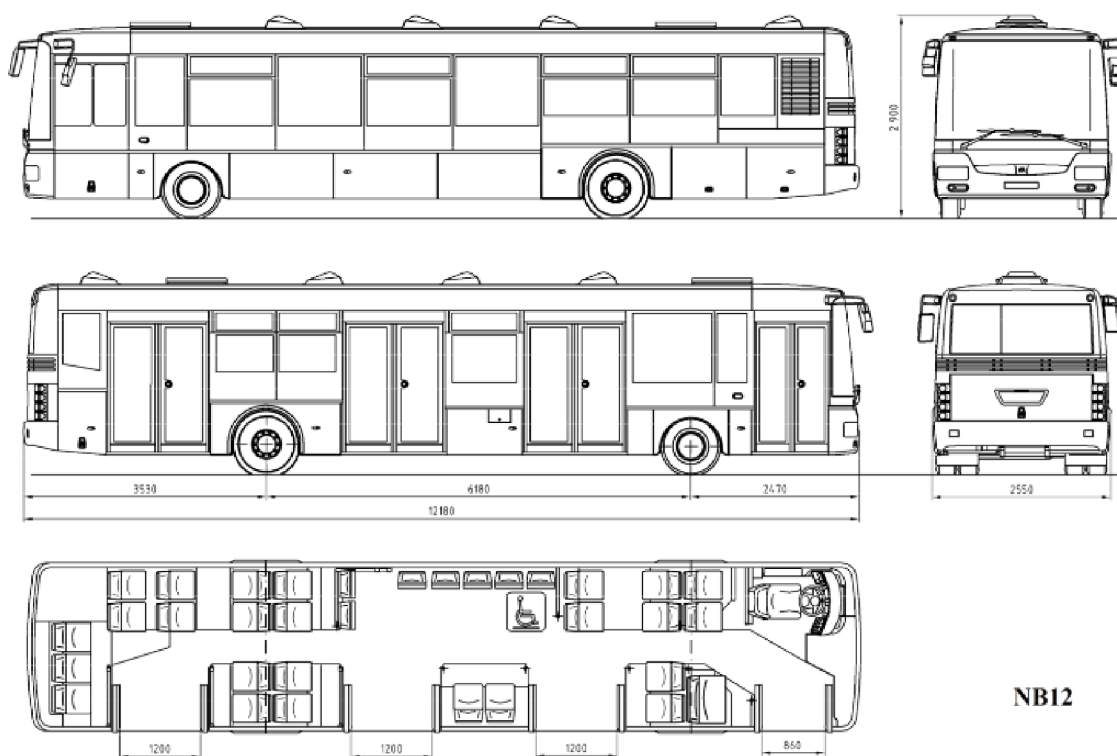
Obr. 4.2 SOR CITY NBG12

Zdroj: [14]

#### 4.2.1.1 Konstrukce vozidla

Typ NB 12 (většinou s obchodním pojmenováním CITY) je prvním plně nízkopodlažním autobusem z produkce společnosti SOR. Jeho karoserie z ocelových profilů je zvenku oplechovaná, uvnitř obložená plastem. Cestujícím slouží dvoje, troje nebo čtyři dovnitř otevírané dvoukřídlé dveře. Podlaha se ve většině vozu nachází ve výšce 360 mm nad úrovní vozovky, velká část sedaček je však umístěna na poměrně vysokých stupíncích. Celková kapacita vozu je u čtyřdveřové varianty 26 sedících a 76 stojících cestujících.

Orientaci pasažérů usnadňují oranžové LED panely na přední, pravé a zadní straně vozu, a hlavně v počátcích provozu poměrně neobvyklá LCD obrazovka uvnitř, která cestujícím ukazuje nejen název cílové zastávky, ale také čas, tarifní pásma a 5 nejbližších zastávek na trase. Pracovištěm řidiče je uzavřená kabina. Délka vozu činí 12 180 mm, šířka 2 550 mm a výška 2 900 mm. Přední dveře mají šířku 800 mm, všechny další 1 200 mm. [14]



Obr. 4.3 Konstrukce vozidla SOR City

Zdroj: vlastní konstrukce v programu AutoCad 2015, 2021

#### 4.2.1.2 Výroba a provoz

Prototypový exemplář autobusu SOR NB 12 (vyroben roku 2006) byl k vidění ve většině měst České republiky na předváděcích a zkušebních jízdách. Poté byl odkoupen firmou ČSAD Semily, jezdil v rámci českolipské MHD, začátkem roku 2010 však byl i s druhým prototypem zapůjčen do provozu MHD v Jablonci nad Nisou. První dva sériové vozy NB 12 byly v roce 2008 zakoupeny slovenskou firmou SAD Liptovský Mikuláš, která je od začátku října 2008 provozuje na linkách MHD v Liptovském Mikuláši. Dne 12. února 2009 oznámil Dopravní podnik hl. m. Prahy, že firma SOR vyhrála výběrové řízení na dodávku nových autobusů pro Prahu a model NB 12 bude tvořit novou flotilu standardních autobusů. Jedním z dalších provozovatelů je i dopravce ČSAD Karviná, který zajišťuje městskou autobusovou dopravu v Karviné.

V srpnu 2011 bylo v rámci komplexní obnovy vozového parku 5 kusů dodáno pro MHD Chrudim, kterou provozuje Veolia Transport Východní Čechy. [14]

#### 4.2.2 IVECO CROSSWAY CITY LE

Jde o městský, částečně nízkopodlažní, autobus se dvěma nápravami a trojicí dveří. Vůz je určený pro hromadnou přepravu osob na kratší vzdálenosti v městském provozu, čemuž odpovídá i umístění sedadel s prostorem pro dětský kočárek a invalidní vozík, který se nachází uprostřed. Autobus má manuální výklopnou plošinu pro bezpečný nájezd invalidního vozíku, event. Dětského kočárku. 6 vozidel je vybaveno manuální a 6 vozidel automatickou převodovkou. [14]

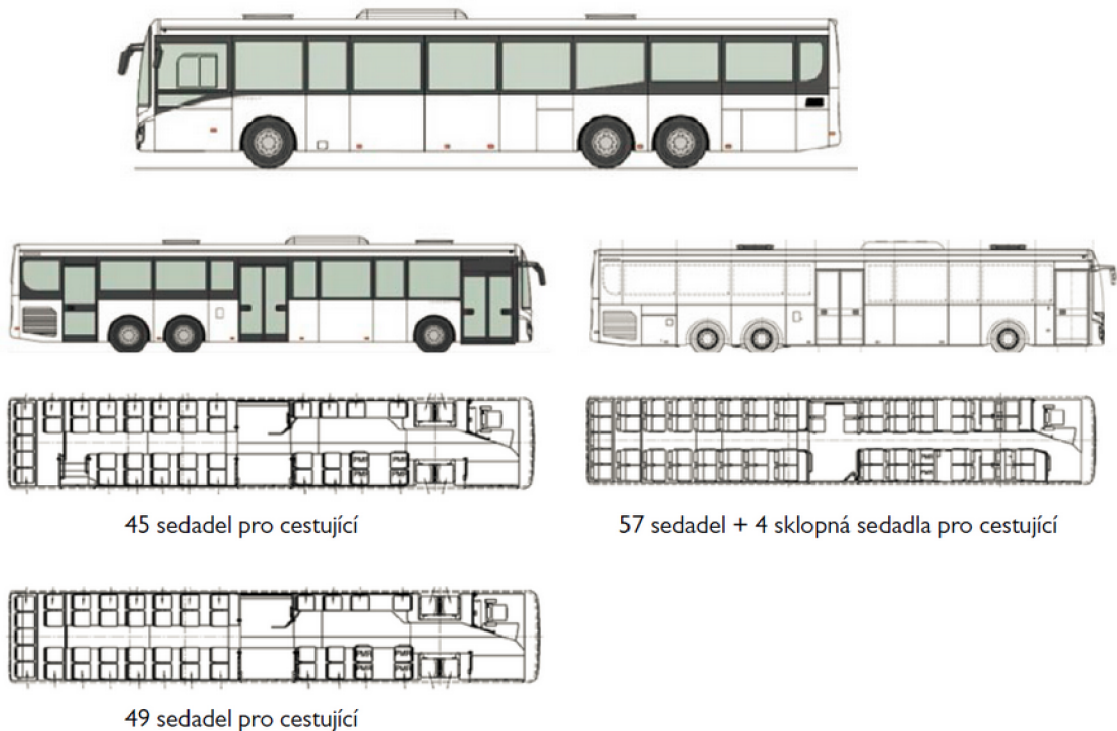


Obr. 4.4 IVECO CROSSWAY CITY LE

Zdroj: [15]

#### 4.2.2.1 Konstrukce vozidla

Crossway LE konstrukčně vychází z modelu se standardní výškou podlahy, linkového vozu Irisbus Crossway. Crossway LE je dvounápravový autobus se zadní hnací nápravou. Podélně uložený stojatý motor je společně s převodovkou umístěn v zadní části vozu. Přední polovina šasi autobusu (po druhé dveře včetně), která je odvozena z městského vozu Irisbus Citelis 12M, je nízkopodlažní o výšce podlahy 320/330 mm nad vozovkou. Zadní část šasi, do které vedou dva schody, je zcela shodná s klasickým Crosswayem. Naproti druhým dveřím se nachází místo pro kočárek nebo invalidní vozík. Sedačky pro cestující jsou rozmístěny 1+1 nebo 1+2 (v nízkopodlažní části) a 2+2 (v zadní polovině autobusu). V pravé bočnici vozu jsou umístěny dvojce nebo troje (podle verze) dveře, které mohou být dle přání zákazníka představné nebo otevírající se dovnitř. Crossway LE je také možno vybavit tzv. kneelingem (naklonění stojícího vozu v zastávce o 7° směrem k nástupnímu ostrůvku, čímž se ještě více sníží nástupní výška). [14]



Obr. 4.5 Uspořádání vozu

Zdroj: [14]



#### 4.2.2.2 Výroba a provoz

Světová premiéra Crossway LE proběhla v květnu 2007 na veletrhu UITP v Helsinkách na tzv. mezinárodním svazu veřejné dopravy. V Česku byla premiérová prezentace o dva měsíce později na zámku v Litomyšli. Během druhé poloviny roku 2007 začala sériová výroba vozu, která pokračuje dodnes. Na brněnské výstavě Autotec 2008 měla světovou premiéru třídveřová verze.

V MHD Přerov se jedná nejvyužívanější typ vozidla. Aktuálně je využíváno 12 vozidel.

#### 4.2.3 Irisbus Citelis 12M CNG

je městský nízkopodlažní autobus vyráběný v letech 2005–2013 společností Irisbus. Citelis 12M, představený 31. března 2005, je nástupcem modelu Citybus 12M (Renault Agora). Stejně jako jeho předchůdce, i Citelis 12M byl vyráběn buď ve francouzském městě Annonay nebo v italském Valle Ufita, přičemž speciální požadavky českých a slovenských zákazníků byly řešeny ve Vysokém Mýtě v závodě Iveco Czech Republic (dříve Karosa). Od poloviny roku 2010 se výroba autobusů pro střední Evropu přesunula do Vysokého Mýta. Nahrazen byl modelem Iveco Urbanway 12M. [16]

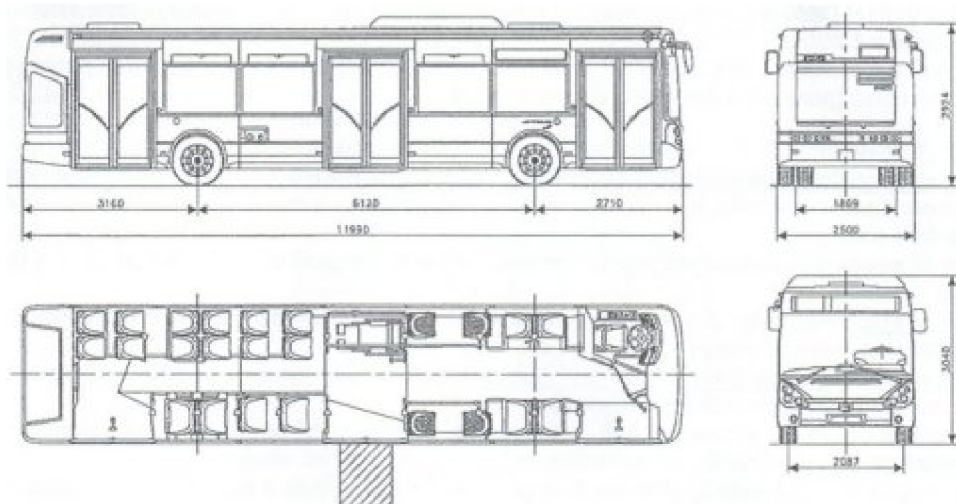


Obr. 4.6 IVECO CROSSWAY CITY LE

Zdroj: [14]

#### 4.2.3.1 Konstrukce vozidla

Irisbus Citelis 12M se konstrukčně velmi podobá Citybusu 12M. Jedná se o dvounápravový nízkopodlažní autobus s polosamonosnou karoserií. Ta byla nejprve sestavena do skeletu a poté prošla kataforetickou lázní, olakováním a oplechováním. Rám podvozku je vytvořen z ocelových podélníků a příček, bočnice a střecha jsou vyrobeny ze svařených tažených profilů a oplechovány. Zatímco zadní čelo tvoří jeden panel sklolaminátu, přední čelo je vyrobeno z uzavřených profilů, které jsou pokryty plechy a plasty. Motor a převodovka autobusu se nachází v mohutné zadní části. Přední okno vozu je vlepeno a kryto přilepeným gumovým profilem. Ostatní skla jsou lepená. V pravé bočnici jsou umístěny troje (v případě příměstské verze pouze dvoje – přední a střední) dvoukřídlé skládací dveře. V prostoru středních dveří se nachází výklopná plošina pro kočárky a invalidní vozíky, pro které je určen volný prostor právě naproti tomuto vstupu. Výška podlahy je u předních dveří 320 mm nad vozovkou, v prostoru středních a zadních dveří pak 330 mm. Tuto výšku může řidič ještě více snížit pomocí tzv. kneelingu (mírné naklonění vozu v zastávce směrem k nástupnímu ostrůvku), kterým je možné autobus vybavit. [16]



Obr. 4.7 Konstrukce vozu Irisbus Citelis,

Zdroj: vlastní konstrukce v programu AutoCad 2015, 2021

#### **4.2.3.2 Výroba a provoz**

Prototyp vozu Citelis 12M byl vyroben na počátku roku 2005, česká verze (vyprodukovaná Karosou) byla vyrobena v první polovině téhož roku. Ve druhé polovině roku 2005 absolvoval tento autobus zkušební jízdy na linkách MHD po celé České republice. V prosinci 2005 tento vůz zakoupil Dopravní podnik hl. m. Prahy, který ho v lednu 2006 zařadil do svého vozového parku pod evidenčním číslem 3501. Autobus byl sešrotován na začátku roku 2021. Výroba Citelisu 12M, který nahradil Citybus 12M, započala ještě v roce 2005 a skončila na konci roku 2013.

Pro posílení obslužnosti MHD v Přerově byly vyčleněny čtyři tyto autobusy.

### **4.3 Společnost KAR-mobil s.r.o.**

Skupina KAR poskytuje komplexní služby pro zákazníky provozující autobusovou a nákladní kamionovou dopravu. Tyto služby jsou zajišťovány v šestnácti moderně vybavených provozovnách umístěných ve většině českých a moravských krajů a jsou prováděny odborně vzdělanými a vyškolenými pracovníky. Skupina KAR patří k největším společnostem působícím v tomto segmentu na českém trhu.

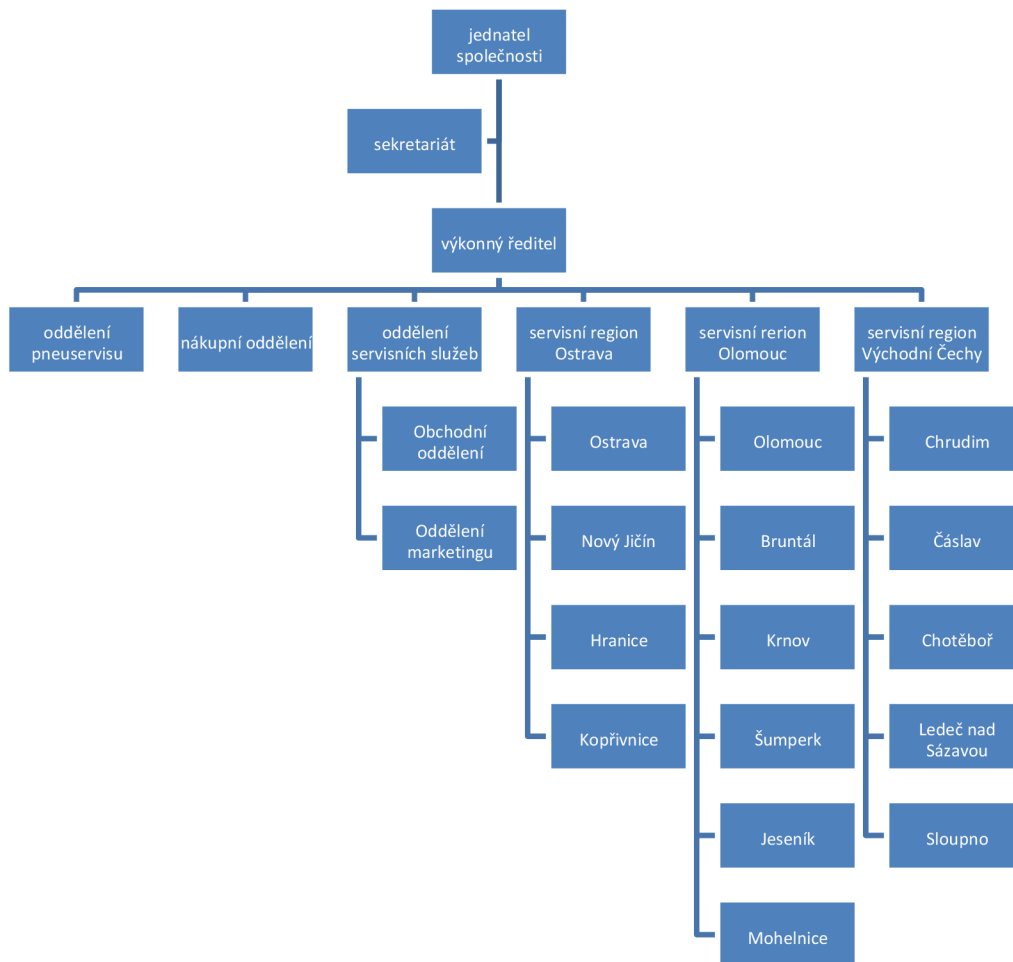
Skupina KAR působí na trhu od roku 1996. Od svého vzniku se zabývala prodejem autobusů značky Karosa a v roce 1999 převzala servisní činnost od společnosti ČSAD Ostrava.

KAR group je členem holdingu OSTRA GROUP a.s. Je to skupina propojených firem z různých oborů. Patří mezi největší poskytovatele služeb pro osobní a nákladní dopravu, zdokonaluje jízdní vlastnosti vozidel a díky svým nemovitostem zajišťuje podmínky pro podnikání i bydlení. [16]

#### **4.3.1 Organizační struktura**

Z teoretického hlediska lze organizační strukturu společnosti KAR-mobil s.r.o. definovat jako liniovou se štábní pozicí. Nejvyšší pozice je dána jednateli společnosti KAR-mobil s.r.o., jemuž je podřízený výkonný ředitel. Výkonný ředitel řídí oddělení pneuservisu, nákupní oddělení, oddělení servisních služeb a regionální manažery zaštiťující příslušné regiony. Oddělení servisních služeb zahrnuje oddělení obchodní a oddělení marketingu.

Ostatní funkce (finanční oddělení, oddělení ICT, provozní oddělení) jsou zaštiťovány mateřskou společností. [16]



Obr. 4.8 Organizační schéma společnosti KAR-mobil s.r.o

Zdroj: [16]

#### 4.3.2 Poslání a vize

Hlavním posláním společnosti je poskytnutí komplexních služeb zákazníkům se zajištěním oprav nákladním vozidel a autobusů.

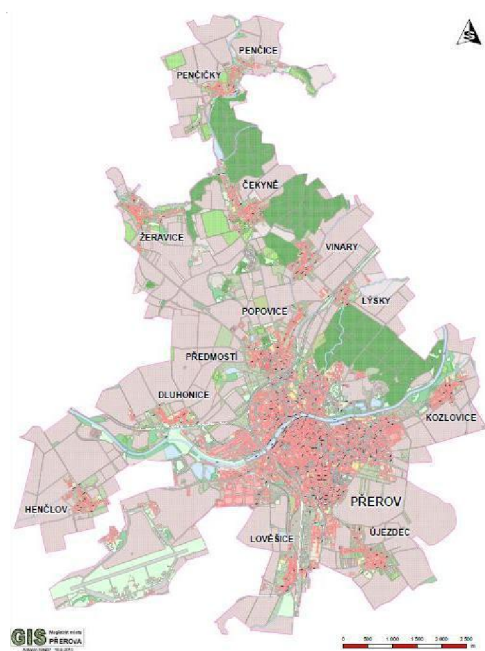
### 4.3.3 Cíle společnosti

Z celkové strategie skupiny KAR jsou vytýčeny následující cíle:

- Maximalizace zisku.
- Zvyšování obrátu společnosti o 3 % ročně.
- Vývoj v oblasti provozních nákladů
- Udržet si současné postavení na trhu – být největší společnost v oboru opravárenství v České republice.
- Udržet si komplexnost služeb a rozšiřování portfolia služeb.
- Posílení vzhledu společnosti.
- Postupné zvyšování kvality poskytovaných služeb. [16]

### 4.4 Městská hromadná doprava v Přerově

MHD v Přerově je zajištěna pouze autobusovou dopravou, kterou zajišťuje IDSOK, jakožto koordinátor integrovaného dopravního systému Olomouckého kraje. Hlavním důvodem vzniku této organizace byla snaha o centralizaci veřejné dopravy, jejího plánování a řízení z jednoho místa. IDSOK je řízen z centrálního místa v Olomouci.



Obr. 4.9 Místní části města Přerova

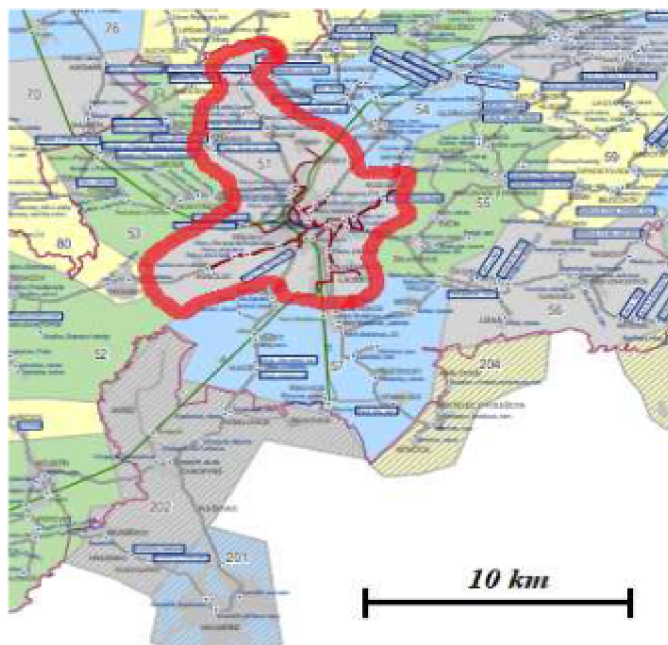
Zdroj: [14]

Na obrázku 4.8 je možno vidět výřez celé zóny 51, která slouží k zabezpečení městské hromadné dopravy v Přerově.

#### 4.4.1 IDSOK

Do tohoto integrovaného systému spadají všechna města a vesnice v Olomouckém kraji, který je rozdělen do určitých zón. Zóny, které jsou v blízkosti sebe jsou navzájem propojeny. Celkově má systém 209 zón, kdy Přerov spadá pod zónu 51. Do této zóny spadají nejen linky přímo v Přerově, ale i v jeho příměstských částech. [14]

Na obr. 4.2 je zvýrazněna zóna 51 v rámci Olomouckého kraje.



Obr. 4.10 Zóna 51

Zdroj: [14]

Pro systém IDSOK zajišťují dopravu v jednotlivých zónách jednotliví dopravci, jako jsou České dráhy a.s., ČSAD Frýdek Místek a.s., DPMO a.s., FTL – First Transport Lines a.s., ARRIVA MORAVA a.s., VOJTILA TRANS s.r.o.

#### 4.4.2 Vozová flotila MHD Přerov

Vozová flotila na kompletní zajištění MHD v Přerově celkově obsahuje 22 vozidel. Nejčastěji se jedná o původní vozidla s adaptivním předěláním na CNG pohon. Hlavním důvodem přechodu na tento typ pohonné hmoty byly neustále se zvyšující nároky na emisní normy. V současné době platí, že vozidla městské hromadné dopravy musí plnit emisní normy EURO 6.

Celkový roční nájezd MHD vozidel je 838 000 km.

Přesný popis vozidel zajišťující MHD v Přerově je v kapitole 4.2



Obr. 4.11 Flotila vozidel MHD Přerov

Zdroj: [16]

## 5 Statistika poruchovosti

V této kapitole se snažím podle statistických metod a zjištěných dat stanovit předpověď, kdy dojde k poruše vozidel MHD v Přerově během následujících let.

Poruchovost je počítána pomocí Weibullova rozdělení, kdy je použito dvojparametrické rozdělení, kde parametr polohy  $c=0$ . Toto rozdělení jsem vybral z důvodu jeho variability (možnosti nahradit jiná rozdělení).

Statistika poruchovosti bude počítána pro tři autobusy od každé výrobní značky, tedy pro SOR, Irisbus a pro Iveco.

### 5.1 Příprava dat

Ze získaných dat od společnosti Arriva Morava a.s. a Kar-mobil s.r.o. budou vybrány od každé výrobní značky tři autobusy, u kterých je nejméně opakování stejného počtu oprav. Tímto výběrem jsem udělal něco, co bych normálně musel udělat. Normálně bych musel provést test dat ke zjištění, jaké mají rozdělení (zda normální nebo Weibullovo). Toto se dělá např. testem dobré shody  $\chi^2$  (chí kvadrát).

#### 5.1.1 Data SOR City

V tab. 5.1 jsou data pro autobus společnosti SOR. Data byla získána od společnosti Arriva Morava a.s.

Tab. 5.1 Data pro bus

bus č.1	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2013	0	0
2014	1	17
2015	3	86
2016	0	0
2017	5	180
2018	2	12
2019	0	0
2020	2	48
celkem	13	343

Zdroj: vlastní zpracování, 2021.



### 5.1.2 Uspořádání dat

V tab. 5.2 jsem data uspořádal vzestupně, nuly jsem pak vynechal. Jednotlivé hodnoty byly uspořádány vzestupně v pořadí  $i = 1, 2, 3 \dots n$ . viz tab.5.2.

Tab. 5.2 Uspořádání dat pro bus č.1

p.č.	počet oprav
1	1
2	2
3	2
4	3
5	5

Zdroj: vlastní zpracování, 2021.

## 5.2 Bernardova aproximace

Bernardova aproximace slouží k transformaci uspořádaných dat do dále použitelných hodnot.

### 5.2.1 Analytický popis Bernardovy aproximace

Pro odhad distribuční funkce  $F(t)$  se používá pořadové statistiky s označením mediánové pořadí. Pro výpočet mediánového pořadí používá Bernardova aproximace dle vztahu (3.7).

Použitím lineární regrese, která představuje aproximaci daných hodnot přímkou metodou nejmenších čtverců. Následující vztahy reprezentují odvození výpočtů parametru tvaru  $\alpha$  a parametru měřítka  $\beta$  Weibullova rozdělení z distribuční funkce  $F(t)$  uvedeno ve vztahu (5.1).

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha} \quad (5.1)$$

kde:  $F(t)$  - distribuční funkce W.R.

$\alpha$  - parametr měřítka

$\beta$  - parametr tvaru

$t$  - doba do poruchy

Rovnice 5.1 využívá se pro aproximaci hodnot přímkou metodou nejmenších tvarů.

### 5.2.2 Zpracování Bernardovy aproximace v Excelu

Na obr. (5.1) je uvedeno naprogramování tabulky Bernardovy aproximace.

	Pořadové číslo $i$	Doba provozu do poruchy $t$	Bernardova aproximace $F_i$	$x = \ln(t)$	$y = \ln\{-\ln[1-F_i(t)]\}$
1					
2	1	14,78	$= (A2-0,3)/(\$A\$16+0,4)$	$= \text{LN}(B2)$	$= \text{LN}(-\text{LN}(1-C2))$
3	2	19,62	$= (A3-0,3)/(\$A\$16+0,4)$	$= \text{LN}(B3)$	$= \text{LN}(-\text{LN}(1-C3))$
4	3	22,35	$= (A4-0,3)/(\$A\$16+0,4)$	$= \text{LN}(B4)$	$= \text{LN}(-\text{LN}(1-C4))$
5	4	22,36	$= (A5-0,3)/(\$A\$16+0,4)$	$= \text{LN}(B5)$	$= \text{LN}(-\text{LN}(1-C5))$
6	5	27,59	$= (A6-0,3)/(\$A\$16+0,4)$	$= \text{LN}(B6)$	$= \text{LN}(-\text{LN}(1-C6))$
7	6	28,04	$= (A7-0,3)/(\$A\$16+0,4)$	$= \text{LN}(B7)$	$= \text{LN}(-\text{LN}(1-C7))$
8	7	32,55	$= (A8-0,3)/(\$A\$16+0,4)$	$= \text{LN}(B8)$	$= \text{LN}(-\text{LN}(1-C8))$
9	8	37,23	$= (A9-0,3)/(\$A\$16+0,4)$	$= \text{LN}(B9)$	$= \text{LN}(-\text{LN}(1-C9))$
10	9	37,99	$= (A10-0,3)/(\$A\$16+0,4)$	$= \text{LN}(B10)$	$= \text{LN}(-\text{LN}(1-C10))$
11	10	46,54	$= (A11-0,3)/(\$A\$16+0,4)$	$= \text{LN}(B11)$	$= \text{LN}(-\text{LN}(1-C11))$
12	11	47,42	$= (A12-0,3)/(\$A\$16+0,4)$	$= \text{LN}(B12)$	$= \text{LN}(-\text{LN}(1-C12))$
13	12	50,96	$= (A13-0,3)/(\$A\$16+0,4)$	$= \text{LN}(B13)$	$= \text{LN}(-\text{LN}(1-C13))$
14	13	52,11	$= (A14-0,3)/(\$A\$16+0,4)$	$= \text{LN}(B14)$	$= \text{LN}(-\text{LN}(1-C14))$
15	14	72,13	$= (A15-0,3)/(\$A\$16+0,4)$	$= \text{LN}(B15)$	$= \text{LN}(-\text{LN}(1-C15))$
16	15	75,94	$= (A16-0,3)/(\$A\$16+0,4)$	$= \text{LN}(B16)$	$= \text{LN}(-\text{LN}(1-C16))$

Obr. 5.1 Naprogramovaná tabulka B. aproximace

Zdroj: [4]

Tab. 5.3 Vlastní výsledky aproximace

p. č.	počet poruch	$F_i (m)$	$x_i$	$y_i$
1	1	0,12963	0	-1,97446
2	2	0,314815	0,693147	-0,97269
3	2	0,5	0,693147	-0,36651
4	3	0,685185	1,098612	0,144767
5	5	0,87037	1,609438	0,714455

Zdroj: vlastní zpracování, 2021.

### 5.2.3 Transformace distribuční funkce na rovnici přímky

Po jednoduchých matematických úpravách a dvojnásobným logaritmováním lze distribuční funkci  $F(t)$  transformovat do tvaru rovnice přímky:

$$y = k \cdot x + q \quad (5.2)$$

kde:  $y$  – závisle proměnná,  
 $x$  – nezávisle proměnná,  
 $k$  – směrnice přímky, sklon,  
 $q$  – průsečík přímky s osou  $y$ , absolutní člen.

Rovnice 5.2 vzniká po matematických úpravách z distribuční funkce

### 5.3 Lineární regrese

**Lineární regrese** je matematická metoda používaná pro proložení souboru bodů v grafu přímkou. O bodech reprezentujících měřená data se předpokládá, že jejich  $x$ -ové souřadnice jsou přesné, zatímco  $y$ -ové souřadnice mohou být zatíženy náhodnou chybou, přičemž předpokládáme, že závislost  $y$  na  $x$  lze graficky vyjádřit přímkou

#### 5.3.1 Regrese metodou nejmenších čtverců

Teorie k této podkapitole je v podkapitole 3.6.

Na obr. 5.2 je vzor regresní statistiky.

Regresní statistika								
Násobné R	0,979659782							
Hodnota								
spolehlivosti R	0,959733289 ← $r^2$ - koeficient determinace							
Nastavená								
hodnota	0,95663585							
Chyba stř.								
hodnoty	0,239593224							
Pozorování	15							
ANOVA								
	Rozdíl	SS	MS	F	Významnost F			
Regrese	1	17,78676	17,78676	309,8473	1,89013E-10			
Rezidua	13	0,746264	0,057405					
Celkem	14	18,53302						
	Koeficienty	Chyba stř. hodnoty	t Stat	Hodnota p	Dolní 95%	Horní 95%	Dolní 95,0%	Horní 95,0%
Hranice	-8,947175708	0,481787	-18,5708	9,66E-11	-9,988014007	-7,90634	-9,98801	-7,90634
Soubor X 1	2,359527944	0,134045	17,60248	1,89E-10	2,069940909	2,649115	2,069941	2,649115
$k$ - směrnice přímky		$q$ - průsečík přímky						

Obr. 5.2 Regresní statistika

Zdroj: [21]

Tab. 5.4 Vlastní regrese

Násobné R	0,971802
Hodnota spolehlivosti R	0,944399
Nastavená hodnota spolehlivosti R	0,925865
Chyba stř. hodnoty	0,282484
Pozorování	5

ANOVA

	Rozdíl	SS	MS	F	Významnost F
Regrese	1	4,0661	4,0661	50,95558	0,00566
Rezidua	3	0,239391	0,079797		
Celkem	4	4,305491			

	Chyba stř. hodnoty		t Stat	Hodnota P	Dolní 95%	Horní 95%	Dolní 95,0%	Horní 95,0%
Hranice Soubor X	Koeficienty							
1	-1,88373	0,232448	-8,10388	0,003927	-2,62348	-1,14398	-2,62348	-1,14398
	1,70093	0,238282	7,138318	0,00566	0,942613	2,459251	0,942613	2,459251

Zdroj: vlastní zpracování, 2021.

### 5.3.2 Parametr tvaru měřítka

Ze vzorce 5.1 a jeho úpravách dostaneme finální vztah:

$$\beta = e^{\left[\frac{-q}{\alpha}\right]} \quad (5.3)$$

Rovnice 5.3 je finální vzorec po všech úpravách.

Po dosazení hodnot mi vyšla hodnota: - tvar  $\alpha = 1,700932$

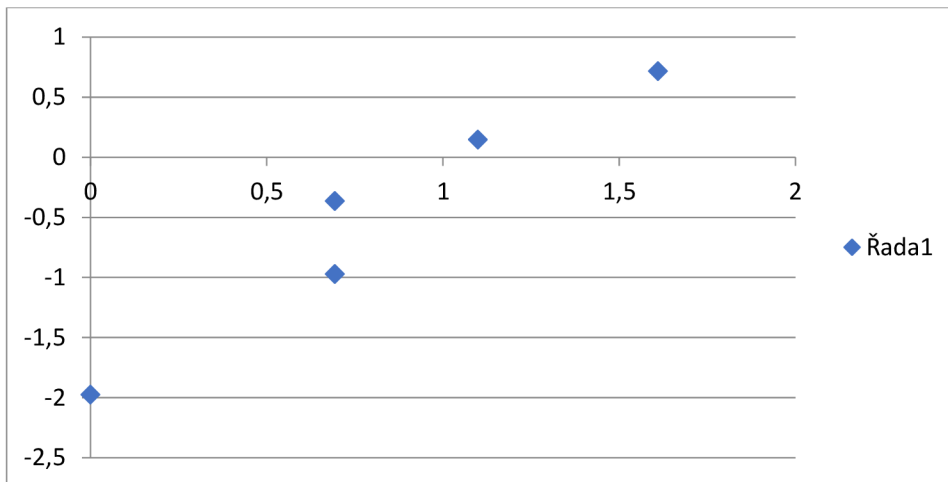
- měřítka:  $\beta = 3,033052$  (počítáno dle):

$$\beta = e^{\frac{-1,8873}{1,70093}} \quad (5.4)$$

Rovnice 5.4 slouží k dopočítání měřítka  $\beta$ .

## 5.4 Weibullův graf

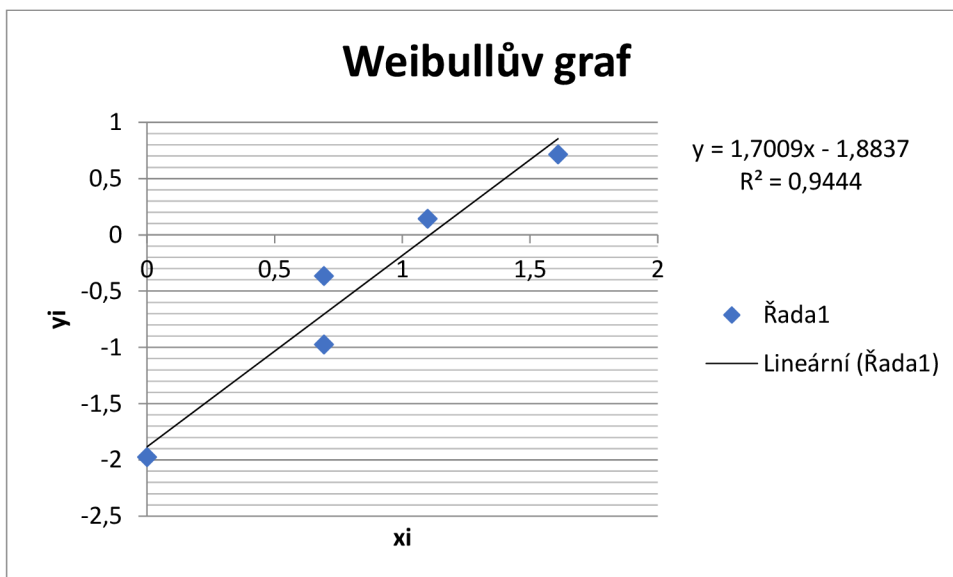
Po dosazení regresních dat do Weibullova grafu vznikne tzv. nehotový Weibullův graf viz graf 5.1.



Graf 5.1 Nehotový Weibullův graf.

Zdroj: vlastní zpracování, 2021.

Po doplnění přímky nám vznikne graf 5.2.



Graf 5.2 Weibullův graf.

Zdroj: vlastní zpracování, 2021.

Z grafu 5.2 je vidět, že body jsou blíže k přímce, tudíž volba W.R. u tohoto autobusu byla správnou volbou.

## 5.5 Výpočet ukazatele bezporuchovosti

Z podkapitoly 5.3.2 mám hodnoty:

- Tvar:  $\alpha = 1,700932$
- Měřítko:  $\beta = 3,033052$

Tyto hodnoty dosadím do tabulky Weibull predikce v (%) pro rok 2021,2022,...2025, (1,2,...5) viz tab. 5.5.

Tab. 5.5 Weibull predikce

1	t	2	t	3	t	4	t	5	t
1,700932	alfa	1,700932	alfa	1,700932	alfa	1,700932	alfa	1,700932	alfa
3,033052	beta	3,033052	beta	3,033052	beta	3,033052	beta	3,033052	beta
0,140565		0,38889		0,625265		0,798325		0,903693	
F(t)	14,05649	F(t)	38,88897	0	62,52647	0	79,83253	0	90,3693

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

V tab. 5.6 je shrnutí po dosažení jednotlivých roků.

Tab. 5.6 Predikce pro bus č.1

p.č.	rok	F(t) [%]
;1	2021	14
2	2022	39
3	2023	63
4	2024	80
5	2025	90

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Hodnoty distribuční funkce F(t) jsem zaokrouhlil na celá čísla.

Výpočty pro ostatní autobusy jsou v přílohách A,B a C.

## 6 Zhodnocení bezporuchovosti

Ke zhodnocení dat jsem použil Weibullovo rozdělení. Hlavní důvodem volby tohoto rozdělení byla jeho variabilita, tj. že lze změnou parametru tvaru nahradit jiná rozdělení.

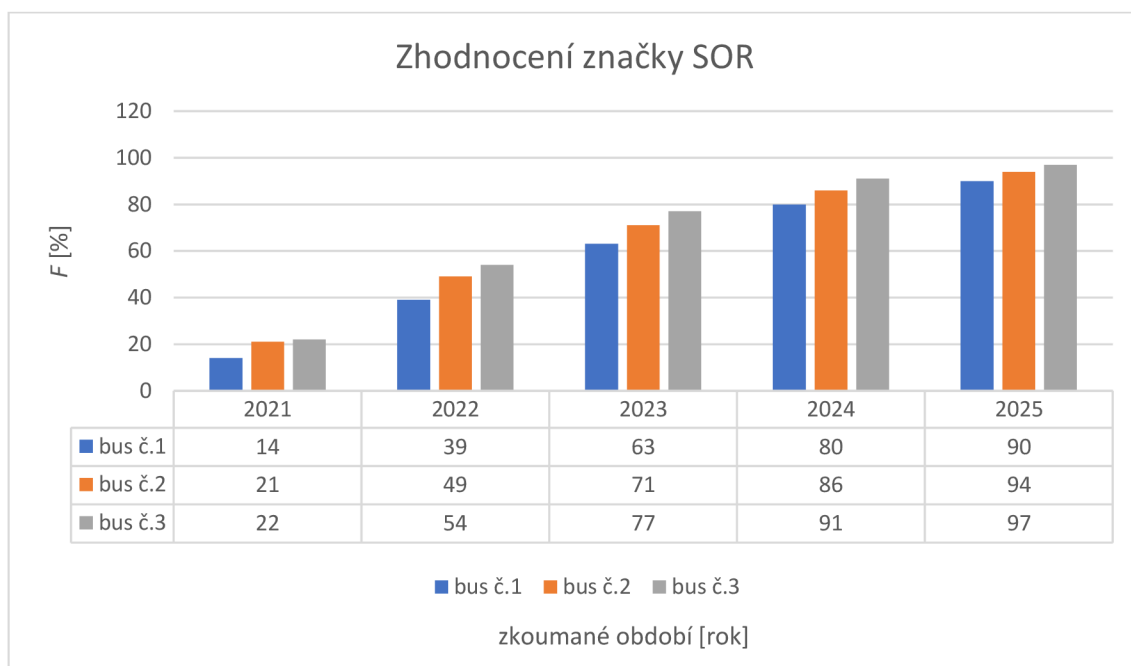
V tab.5.7 je celková predikce pro počítané autobusy od roku 2021 do roku 2025. Všechna další potřebná data z výpočtů jsou v příloze A, B a C.

Tab. 6.1 Celková predikce pro SOR, Irisbus a Iveco

		$F$ [%]				
		t [rok]:				
Značka	č.busu	2021	2022	2023	2024	2025
SOR City	1	14	39	63	80	90
	2	21	49	71	86	94
	3	22	54	77	91	97
Irisbus	1	33	59	76	87	93
	2	13	41	68	86	95
	3	29	59	79	90	96
Iveco	1	18	40	59	74	84
	2	10	30	51	69	82
	3	17	49	75	90	97

Zdroj: vlastní zpracování, 2021.

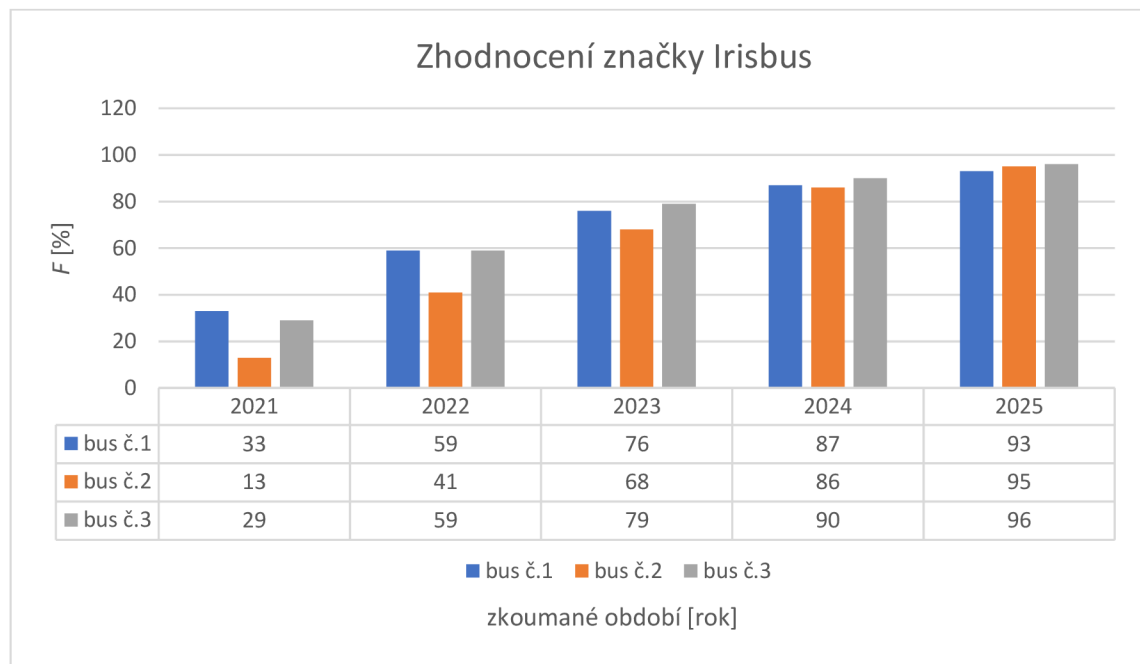
Na grafu 6.1, 6.2, 6.3 bude zhodnocení pro jednotlivé autobusy pro každou značku.



Graf 6.1 Zhodnocení poruchovosti pro značku SOR.

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Z grafu číslo 6.2 je patrné, že všechny tři zkoumané autobusy mají značný nárůst pravděpodobnosti do poruchy. V roce 2025 atakuje tato pravděpodobnost hranici 100%.

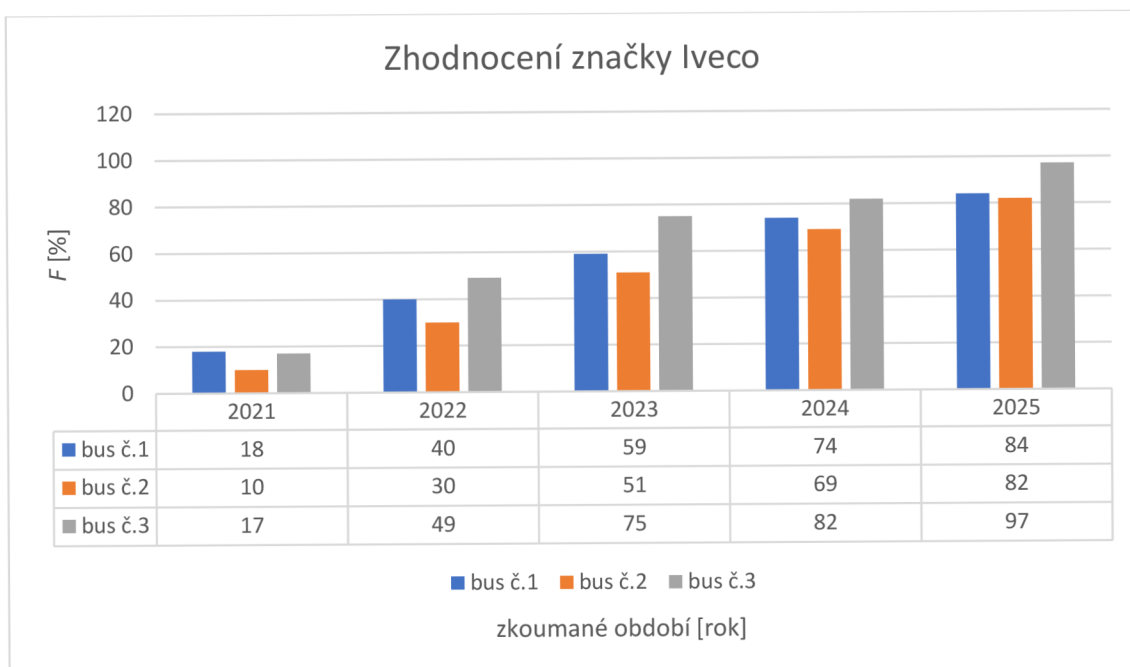


Graf 6.2 Zhodnocení poruchovosti pro značku Irisbus.

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Z grafu číslo 6.2 je patrné, že všechny tři zkoumané autobusy značky Irisbus mají značný nárůst pravděpodobnosti, že nastane v nejbližších letech porucha. V roce 2025 je pravděpodobnost téměř totožná, jako je tomu u značky SOR.

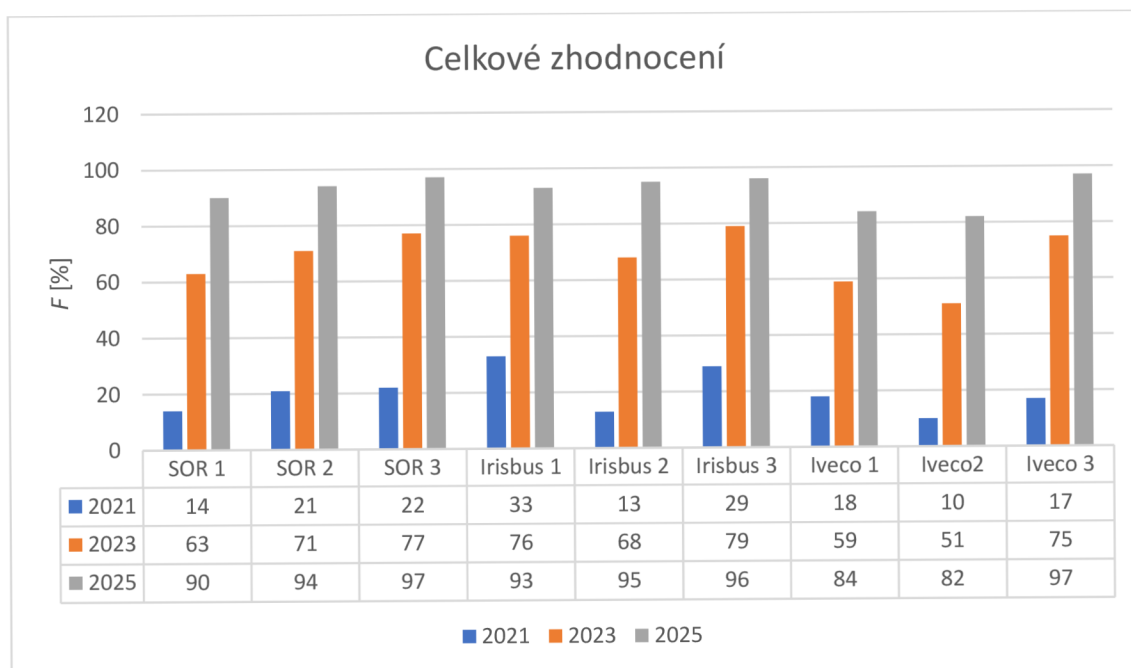




Graf 6.3 Zhodnocení poruchovosti pro značku Iveco.

Zdroj: vlastní zpracování, 2021.

Z grafu číslo 6.3 vyplývá, že bus číslo 1 a bus číslo 2 mají ze všech zkoumaných autobusů nejmenší pravděpodobnost poruchy, naopak bus číslo 3 v roce 2025 dosahuje hranice 100%.



Graf 6.4 Celkové zhodnocení pro rok 2021, 2023 a 2025.

Zdroj: vlastní zpracování, 2021.

Z grafu 7 vyplývá, že v letošním roce 2021 nejlépe vychází Irisbus 2 a nejhůře Irisbus 1.

V roce 2023 by podle výpočtu spolehlivosti měl být Iveco 2 s nejmenší pravděpodobností poruchy, naopak s největší pravděpodobností výskytu poruchy je opět značka Irisbus, konkrétně autobus 3.

Pro rok 2025 je nejlepší prognóza pro Iveco 2 a nejhorší pro Iveco3 a SOR 3.

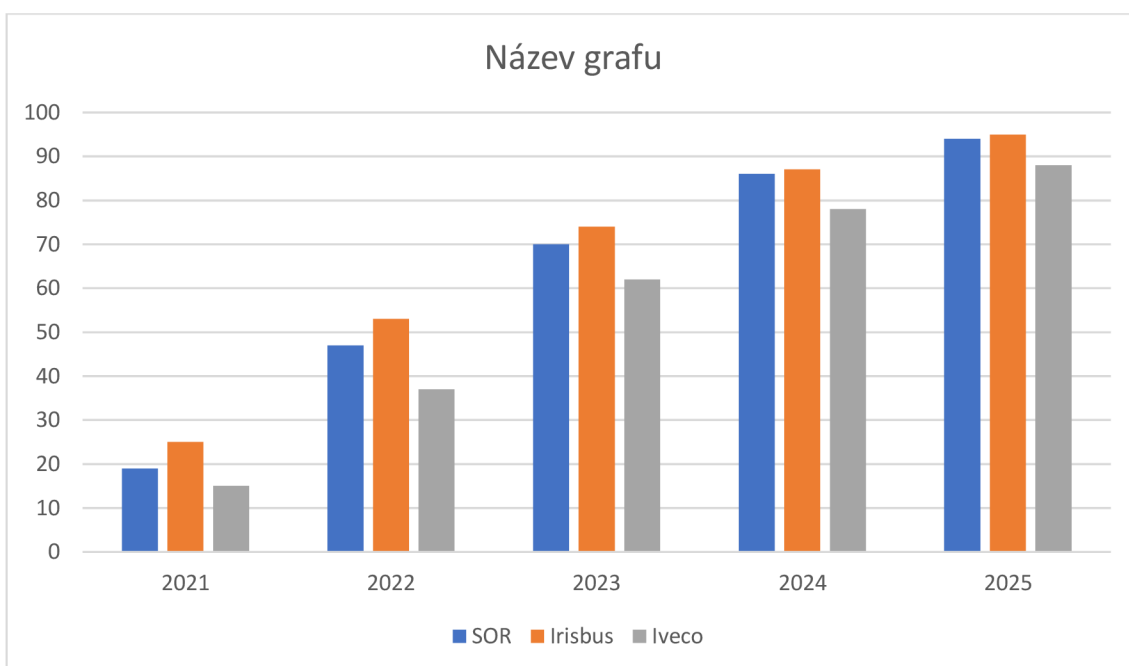
Tab. 6.2 Predikce pro jednotlivé značky

<i>F</i> [%]					
t [rok]:					
Značka	2021	2022	2023	2024	2025
SOR City	19	47	70	86	94
Irisbus	25	53	74	87	95
Iveco	15	37	62	78	88

Zdroj: vlastní zpracování, 2021.

Tab.7 ukazuje, jak jsou na tom jednotlivé značky, co se týče bezporuchovosti. Hodnoty jsem u každé značky pro určitý rok zprůměroval.

Na grafu 6.5 je zhodnocení pro jednotlivé značky.



Graf 6.5 Zhodnocení pro jednotlivé značky.

Zdroj: vlastní zpracování, 2021.

Z grafu 8 je patrné, že při zprůměrování jednotlivých busů pro jednotlivou značku vychází nejlépe značka Iveco následovaná značkou SOR. Nejhůře dopadla značka Iveco. Pokud se zaměřím na rok 2025 tak jako nejmíň mi vyšla značka Iveco a značky SOR a Iveco mají rozdíl pouze jednoho bodu.

## Závěr

Cílem diplomové práce bylo stanovit pravděpodobnost s jakou dojde během následujících let k poruše vozidel ve vybraném podniku MHD.

Do své práce jsem zapojil 9 z celkových 22 vozidel zajišťující městskou hromadnou dopravu ve městě Přerov. Kritériem pro výběr byl co nejméně se opakující počet oprav. Protože ke každému autobusu bylo málo dat, především z důvodu zavedení vozů do dopravy. Vozidla značky SOR byla zavedena do konceptu MHD v roce 2013, Irisbus byl zaveden v roce 2015 a Iveco bylo zavedeno v roce 2014. Tudíž díky této skutečnosti jsem mohl udělat něco, co bych normálně musel udělat. Normálním postupem by bylo provedení testu dat, aby bylo patrné, o jaké rozdělení se jedná. Tento test se dělá například testem dobré shody  $\chi^2$  (chí kvadrát).

Pro samotný výpočet jsem použil Weibullovo rozdělení. Vzhledem ke skutečnosti, že nám u většiny autobusů body neleží na přímce nebo aspoň v její blízkosti, mělo by se použít jiné rozdělení, což by ale zvětšovalo objem diplomové práce, a tak od toho bylo záměrně upuštěno a této chyby si jsem vědom. Opět bych ale zdůraznil, že Weibullovo rozdělení nahrazuje jiná rozdělení.

Použitou metodou byl bodový odhad Weibullova rozdělení. Bylo použito dvojparametrické W.r., kde parametr polohy  $c = 0$ .

Na závěr práce bych konstatoval, že mezi nejspolehlivější značky zabezpečující MHD v Přerově patří jednoznačně Iveco. Mezi spolehlivé lze zařadit i přes svůj věk vozidla značky SOR. Nejhůře dopadly ta testovaných vozech vozidla Irisbus.

Tato diplomová práce by mohla posloužit jako možný aparát pro společnosti zaručující nejen městskou hromadnou dopravu, ale i mimoměstskou dopravu. Výsledky by mohly posloužit jako ukazatel, kdy by bylo třeba nákupu nového vozu namísto stálých oprav.

## Seznam použité literatury

- [1] SVOBODA, Emanuel. *Přehled středoškolské fyziky*. 4., upr. vyd. Praha: Prometheus, 2005. ISBN 978-80-7196-307-3.
- [2] OTIPKA, Petr a Vladislav ŠMAJSTRLA. *Pravděpodobnost a statistika*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2006. ISBN isbn80-248-1194-4.
- [3] BLATNÁ, Dagmar. *Statistika a pravděpodobnost*. Praha: Bankovní institut, 2003. ISBN isbn80-7265-059-9.
- [4] HOLUB, Rudolf a Zdeněk VINTR. *Spolehlivost letadlové techniky*. Brno: Vysoké učení technické, 2001.
- [5] ČAPKA, Alexander. *Dopravní systémy*. Přerov: Vysoká škola logistiky, 2021. ISBN 978-80-87179-60-4.
- [6] ČSN IEC 60300-3-5 *Management spolehlivosti: Podmínky při zkouškách bezporuchovosti a principy statistických h testů*. Část 3-5. Praha: ČNI, 2002.
- [7] FAMFULÍK, Jan a Jana MÍKOVÁ. *Teorie údržby* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [2008] [cit. 2021-5-9]. ISBN 978-80-248-1509-1.
- [8] STODOLA, Jiří. *Úvod do teorie údržby*. Brno: Univerzita obrany, 2009. ISBN 978-80-7231-674-8.
- [9] TŮMA, Jiří. *Spolehlivost v elektroenergetice*. Praha: Conte, [2006?]. ISBN 80-239-6483-6.
- [10] DANĚK, Alois. *Oprávenství silničních vozidel: (vybrané statě)*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2000. ISBN 80-707-8779-1.
- [11] DANĚK, Alois, Michal RICHTÁŘ a Ivo RUBÁČ. *Oprávenství silničních vozidel II: (vybrané statě)*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2004. ISBN 80-248-0539-1.
- [12] EBELING, Charles E. *An Introduction Reliability and Maintainability Engineering*. Boston: McGraw-Hill Education, 1997. ISBN 0-07-018852-1.
- [13] Koordinátor integrovaného dopravního systému Olomouckého kraje [online]. Olomouc: IDSOK, 2019 [cit. 2021-0-09]. Dostupné z: <https://www.kidsok.cz>

[14] *Arriva Morava a.s.* [online]. Praha: FG Forrest, 2014 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z:  
<https://www.kar.cz/>

[15] *Přerovská MHD* [online]. Přerov: Webgarden, 2017 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z:  
<https://prerovskamhd.wgz.cz/>

[16] *KAR* [online]. Ostrava: pixelmate, 2016 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z:  
<https://www.kar.cz/>

## Seznam tabulek a ilustrací

### Seznam obrázků

Obr. 2.1 Rozptyl náhodné veličiny .....	16
Obr. 2.2 Rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny .....	19
Obr. 2.3 Rozdělení četnosti spojité náhodné veličiny .....	20
Obr. 2.4 Hustota pravděpodobnosti .....	21
Obr. 2.5 Distribuční funkce exponenciálního rozdělení .....	21
Obr. 2.6 Histogram relativní četnosti pro Exponenciální rozdělení .....	21
Obr. 2.7 Hustota pravděpodobnosti Weibullova rozdělení v závislosti na parametru b	23
Obr. 2.8 Distribuční funkce W2P .....	23
Obr. 2.9 Průběh intenzity poruch v čase .....	24
Obr. 2.10 Vanová křivka.....	24
Obr. 2.11 Histogram relativní četnosti pro Weibullovo rozdělení .....	25
Obr. 2.12 Pravidlo $3\sigma$ .....	26
Obr. 2.13 Normální rozdělení – pravidlo $\sigma$ .....	26
Obr. 2.14 Vliv parametrů na průběh funkce .....	27
Obr. 3.1 Rozdělení spolehlivosti.....	29
Obr. 3.2 Funkce bezporuchovosti provozu .....	32
Obr. 3.3 Závislost funkce – tzv. vanová křivka .....	33
Obr. 4.1 Působnost společnosti ARRIVA MORAVA a.s. ....	42
Obr. 4.2 SOR CITY NBG12.....	45
Obr. 4.3 Konstrukce vozidla SOR City .....	46
Obr. 4.4 IVECO CROSSWAY CITY LE.....	47
Obr. 4.5 Uspořádání vozu.....	48
Obr. 4.6 IVECO CROSSWAY CITY LE.....	49
Obr. 4.7 Konstrukce vozu Irisbus Citelis,.....	50
Obr. 4.8 Organizační schéma společnosti KAR-mobil s.r.o.....	52
Obr. 4.9 Místní části města Přerova.....	53
Obr. 4.10 Zóna 51 .....	54
Obr. 4.11 Flotila vozidel MHD Přerov .....	55
Obr. 5.1 Naprogramovaná tabulka B. aproximace .....	58
Obr. 5.2 Regresní statistika.....	59

## **Seznam grafů**

Graf 3.1 Weibullův graf.....	40
Graf 5.1 Nehotový Weibullův graf.....	61
Graf 5.2 Weibullův graf.....	61
Graf 6.1 Zhodnocení poruchovosti pro značku SOR.....	63
Graf 6.2 Zhodnocení poruchovosti pro značku Irisbus.....	64
Graf 6.3 Zhodnocení poruchovosti pro značku Iveco.....	65
Graf 6.4 Celkové zhodnocení pro rok 2021,2023 a 2025.....	65
Graf 6.5 Zhodnocení pro jednotlivé značky.....	67

## **Seznam tabulek**

Tab. 3.1 Matematické vztahy mezi jednotlivými ukazateli spolehlivosti.....	36
Tab. 4.1 SWOT analýza.....	44
Tab. 5.1 Data pro bus.....	56
Tab. 5.2 Uspořádání dat.....	57
Tab. 5.3 Vlastní výsledky aproximace.....	58
Tab. 5.4 Vlastní regrese.....	60
Tab. 5.5 Weibull predikce.....	62
Tab. 5.6 Predikce.....	62
Tab. 6.1 Celková predikce pro SOR, Irisbus a Iveco.....	63
Tab. 6.2 Predikce pro jednotlivé značky.....	66





## **Seznam příloh**

Příloha A

Příloha B

Příloha C

Příloha D

Příloha E

Příloha F

## Výpočet bezporuchovosti pro značku SOR

### Sběr dat

Data pro bus č.2.

bus č.2	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2013	1	12
2014	0	0
2015	4	48
2016	3	24
2017	2	240
2018	1	86
2019	0	0
2020	0	0
celkem	11	410

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Uspořádání dat pro bus č.2

p.č.	počet oprav
1	1
2	1
3	2
4	3
5	4

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.3.

bus č.3	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2013	0	0
2014	2	12
2015	2	86
2016	0	0
2017	4	252
2018	1	24
2019	0	0
2020	1	48
celkem	10	422

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Uspořádání dat pro bus č.3.

p.č.	počet oprav
1	1
2	1
3	2
4	2
5	4

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

### Bernardova aproximace

Bernardova aproximace pro bus č.2.

p. č.	počet poruch	$F_i (m)$	$x_i$	$y_i$
1	1	0,12963	0	-1,97446
2	1	0,314815	0	-0,97269
3	2	0,5	0,693147	-0,36651
4	3	0,685185	1,098612	0,144767
5	4	0,87037	1,386294	0,714455

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Bernardova aproximace pro bus č.3.

p. č.	počet poruch	$F_i (m)$	$x_i$	$y_i$
1	1	0,12963	0	-1,97446
2	1	0,314815	0	-0,97269
3	2	0,5	0,693147	-0,36651
4	2	0,685185	0,693147	0,144767
5	4	0,87037	1,386294	0,714455

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

## Lineární regrese

Lineární regrese pro bus

č.2.

<i>Regresní statistika</i>	
Násobné R	0,93872
Hodnota spolehlivosti R	7
Nastavená hodnota spolehlivosti R	0,88120
Chyba stř. hodnoty	9
Pozorování	0,84161
	2
	0,41289
	8
	5

ANOVA

	<i>Rozdíl</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Významnos t F</i>
Regrese	1	3,79404	3,79404	22,2544	0,01804
Rezidua	3	0,51145	0,17048	4	
Celkem	4	4,30549	5		

	<i>Koeficienty</i>	<i>Chyba stř. hodnoty</i>	<i>t Stat</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>Dolní 95%</i>	<i>Horní 95%</i>	<i>Dolní 95,0%</i>	<i>Horní 95,0%</i>
Hranice Soubor X	-1,47298	0,278275	-5,29326	0,013156	-2,3586	-0,58738	-2,35857	-0,58738
1	1,545115	0,327531	4,717461	0,018039	0,50276	2,587465	0,502765	2,587465

Zdroj: vlastní zpracování, 2021.

Lineární regrese pro bus č.3.

<i>Regresní statistika</i>	
Násobné R	0,913202
Hodnota spolehlivosti R	0,833938
Nastavená hodnota spolehlivosti R	
Chyba stř. hodnoty	0,778584
Pozorování	0,488187
	5

ANOVA

	Rozdíl	SS	MS	F	Významnost F
Regrese	1	3,590517	3,590517	15,06552	0,030294
Rezidua	3	0,714981	0,238327		
Celkem	4	4,305498			

	Chyba stř.		Hodnota t Stat	Hodnota P	Dolní 95%	Horní 95%	Dolní 95,0%	Horní 95,0%
	Koeficienty	hodnoty						
Hranice Soubor X	-1,39681	0,319594	-4,37057	0,022157	-2,4139	-0,37972	-2,4139	-0,37972
1	1,633707	0,420903	3,881433	0,030294	0,294205	2,973208	0,294205	2,973208

Zdroj: vlastní zpracování, 2021.

### Parametr tvaru měřítka

Bus č.2

- tvar  $\alpha = 1,545115$

- měřítko:  $\beta = 2,594293$

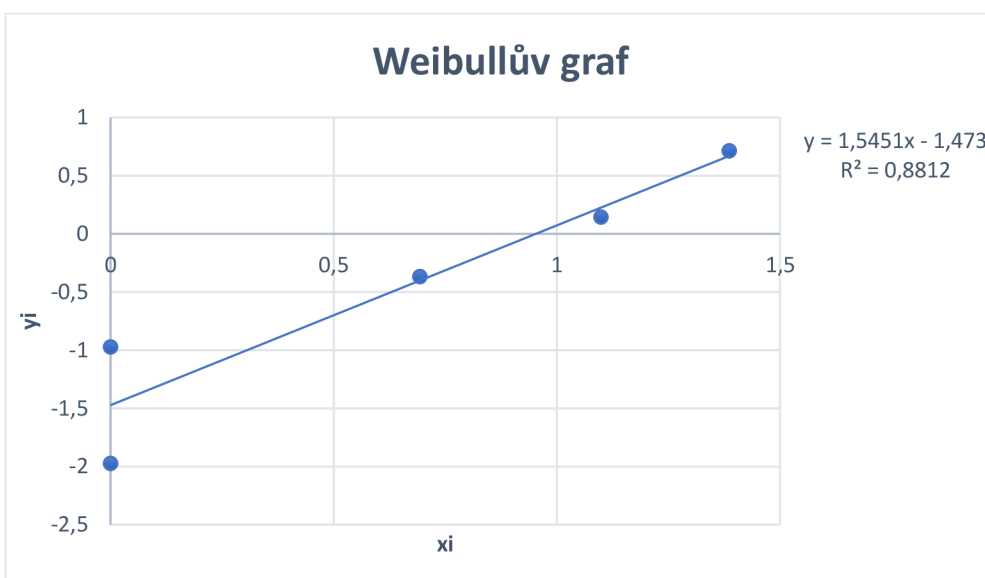
Bus č.3

- tvar  $\alpha = 1,633707$

- měřítko:  $\beta = 2,351361$

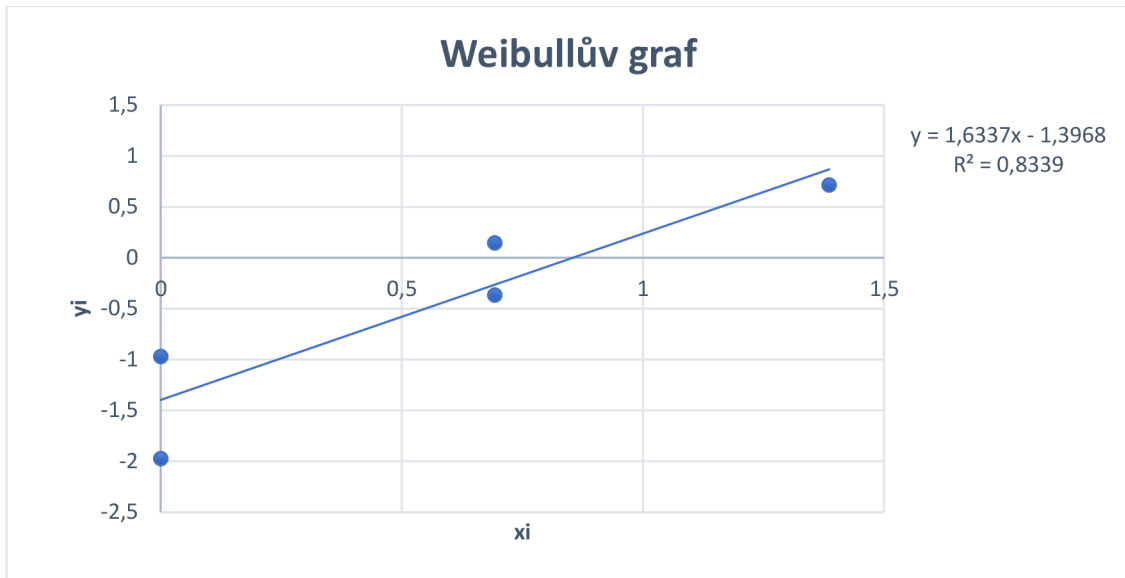
### Weibullův graf

Weibullův graf pro bus č.2.



Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Weibullův graf pro bus č.3.



Zdroj: vlastní zpracování

V obou případech jak pro bus č.2 tak i pro bus č.3 se jedná o nepěkné Weibullovo rozdělení.

### Výpočet ukazatele bezporuchovosti

Weibullova predikce pro bus č.2.

1	t	2	t	3	t	4	t	5	t
1,545115	alfa	1,545115	alfa	1,545115	alfa	1,545115	alfa	1,545115	alfa
2,59429	beta	2,59429	beta	2,59429	beta	2,59429	beta	2,59429	beta
0,204863		0,487774		0,713982		0,858052		0,936456	
F(t)	20,48634	F(t)	48,77738	0	71,39818	0	85,80517	0	93,64557

p.č.	rok	F(t) [%]
1	2021	21
2	2022	49
3	2023	71
4	2024	86
5	2025	94

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Weibullova predikce pro bus č.3.

1	t	2	t	3	t	4	t	5	t
1,633707	alfa	1,633707	alfa	1,633707	alfa	1,633707	alfa	1,633707	alfa
2,351361	beta	2,351361	beta	2,351361	beta	2,351361	beta	2,351361	beta
0,21916		0,535901		0,774367		0,907645		0,967611	
F(t)	21,91598	F(t)	53,59013	0	77,43668	0	90,76449	0	96,76108

p.č.	rok	F(t) [%]
1	2021	22
2	2022	54
3	2023	77
4	2024	91
5	2025	97

Zdroj: vlastní zpracování, 2021.



### Výpočet ukazatele bezporuchovosti pro značku Irisbus

#### Sběr dat

Data pro bus č.1.

bus č.1	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2015	1	12
2016	3	18
2017	1	11
2018	2	96
2019	4	72
2020	1	48
celkem	12	257

Zdroj: vlastní zpracování,2021

Data pro bus č.2.

bus č.2	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2015	2	48
2016	1	12
2017	3	65
2018	2	43
2019	4	96
2020	0	0
celkem	12	264

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.3.

bus č.3	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2015	1	24
2016	4	48
2017	2	14
2018	1	48
2019	0	0
2020	1	13
celkem	9	147

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

## Uspořádání dat

Uspořádání dat pro bus č.1.

p.č.	počet oprav
1	1
2	1
3	1
4	2
5	3
6	4

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Uspořádání dat pro bus č.2.

p.č.	počet oprav
1	1
2	2
3	2
4	3
5	4

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Uspořádání dat pro bus č.3.

p.č.	počet oprav
1	1
2	1
3	1
4	2
5	4

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

## Bernardova aproximace

Bernardova aproximace pro bus č.1.

p. č.	počet poruch	$F_i (m)$	$x_i$	$y_i$
1	1	0,109375	0	-2,15562
2	1	0,265625	0	-1,17527
3	1	0,421875	0	-0,60154
4	2	0,578125	0,693147	-0,14729
5	3	0,734375	1,098612	0,281918
6	4	0,890625	1,386294	0,794337

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Bernardova aproximace pro bus č.2.

p. č.	počet poruch	$F_i (m)$	$x_i$	$y_i$
1	1	0,12963	0	-1,97446
2	2	0,314815	0,693147	-0,97269
3	2	0,5	0,693147	-0,36651
4	3	0,685185	1,098612	0,144767
5	4	0,87037	1,386294	0,714455

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Bernardova aproximace pro bus č.3.

p. č.	počet poruch	$F_i (m)$	$x_i$	$y_i$
1	1	0,12963	0	-1,97446
2	1	0,314815	0	-0,97269
3	1	0,5	0	-0,36651
4	2	0,685185	0,693147	0,144767
5	4	0,87037	1,386294	0,714455

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

## Lineární regrese

Lineární regrese pro bus č.1.

<i>Regresní statistika</i>	
Násobné R	0,959902
Hodnota spolehlivosti R	0,921412
Nastavená hodnota spolehlivosti R	0,895215
Chyba stř. hodnoty	0,247135
Pozorování	6

ANOVA

	<i>Rozdíl</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Významnost F</i>
Regrese	1	2,148257	2,148257	35,17356	0,009581
Rezidua	3	0,183228	0,061076		
Celkem	4	2,331485			

	<i>Chyba</i>		<i>t Stat</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Dolní</i>	<i>Horní</i>	<i>Dolní</i>	<i>Horní</i>
	<i>Koeficienty</i>	<i>stř. hodnoty</i>						
Hranice	-0,90857	0,166558	-5,45496	0,012103	-1,43863	-0,37851	-1,43863	-0,37851
Soubor X								
1	1,16266	0,19604	5,93073	0,009581	0,538773	1,786547	0,538773	1,786547

Zdroj: vlastní zpracování, 2021.

Lineární regrese pro SOR bus č.2.

<i>Regresní statistika</i>	
Násobné R	0,978239
Hodnota spolehlivosti R	0,956952
Nastavená hodnota spolehlivosti R	0,942603
Chyba stř. hodnoty	0,248557
Pozorování	5

ANOVA

	<i>Rozdíl</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Významnost</i>
					<i>F</i>
Regrese	1	4,120157	4,120157	66,6903	0,003841
Rezidua	3	0,185341	0,06178		
Celkem	4	4,305498			

	<i>Chyba</i>		<i>t Stat</i>	<i>Hodnota</i>	<i>Dolní</i>	<i>Horní</i>	<i>Dolní</i>	<i>Horní</i>
	<i>Koeficienty</i>	<i>stř. hodnoty</i>						
Hranice	-1,9945	0,215074	-9,27355	0,002654	-2,67896	-1,31004	-2,67896	-1,31004
Soubor X								
1	1,942051	0,23781	8,166413	0,003841	1,185235	2,698867	1,185235	2,698867

Zdroj: vlastní zpracování

Lineární regrese pro SOR bus č.3.

<i>Regresní statistika</i>	
Násobné R	0,820714
Hodnota spolehlivosti R	0,673571
Nastavená hodnota spolehlivosti R	0,564761
Chyba stř. hodnoty	0,684456
Pozorování	5

## ANOVA

	<i>Rozdíl</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Významnost F</i>
Regrese	1	2,900058	2,900058	6,190357	0,088637
Rezidua	3	1,40544	0,46848		
Celkem	4	4,305498			

	<i>Koeficienty</i>	<i>Chyba stř. hodnoty</i>	<i>t Stat</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>Dolní 95%</i>	<i>Horní 95%</i>	<i>Dolní 95,0%</i>	<i>Horní 95,0%</i>
Hranice Soubor X	-1,06208	0,382622	-2,77578	0,069234	-2,27975	0,155599	-2,27975	0,155599
1	1,373419	0,552008	2,488043	0,088637	-0,38332	3,130154	-0,38332	3,130154

Zdroj: vlastní zpracování, 2021.

**Parametr tvaru měřítka**

Bus č.1

- tvar  $\alpha = 1,16266$

- měřítko:  $\beta = 2,184655$

Bus č.2

- tvar  $\alpha = 1,942051$

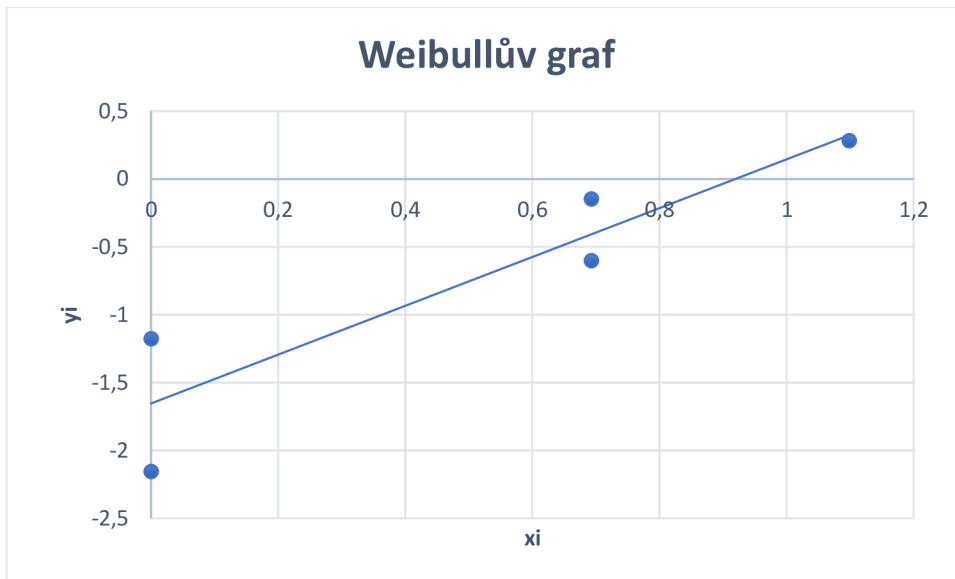
- měřítko:  $\beta = 2,792695$

Bus č.3

- tvar  $\alpha = 1,373419$

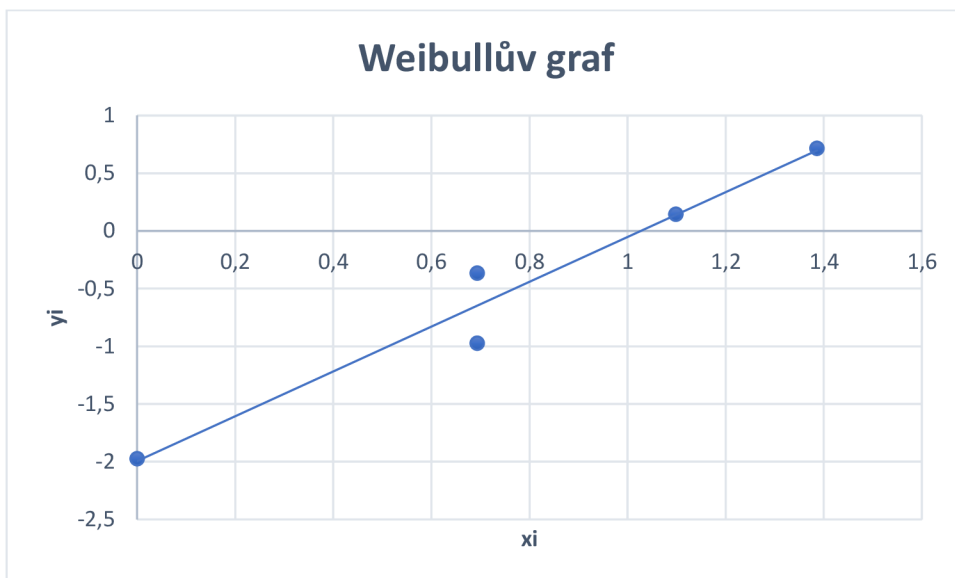
- měřítko:  $\beta = 2,166929$

Weibullův graf pro bus č.1.



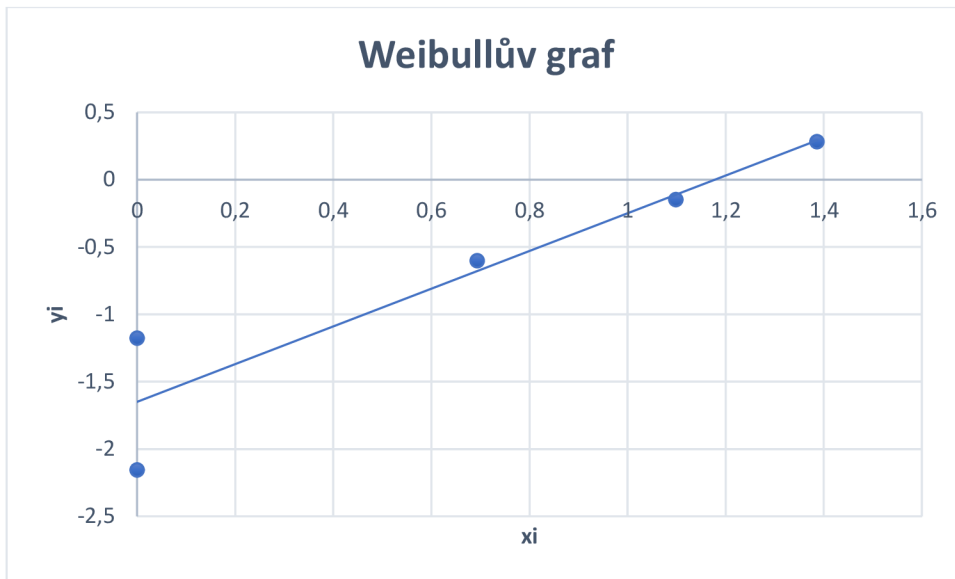
Zdroj: vlastní zpracování, 2021.

Weibullův graf pro bus č.2.



Zdroj: vlastní zpracování, 2021.

Weibullův graf pro bus č.3.



Zdroj: vlastní zpracování,2021.

U tohoto výběru autobusů se jednalo o pěkné Weibullovo rozdělení pouze u autobusu číslo 2. U obou dalších autobusů se jednalo o chybu v častém opakování počtu jedné opravy.

### Výpočet ukazatele bezporuchovosti

Weibullova predikce pro bus č.1.

1	t	2	t	3	t	4	t	5	t
1,16266	alfa	1,16266	alfa	1,16266	alfa	1,16266	alfa	1,16266	alfa
2,184655	beta	2,184655	beta	2,184655	beta	2,184655	beta	2,184655	beta
0,331755		0,594413		0,76447		0,867377		0,927099	
F(t)	33,17549	F(t)	59,4413	0	76,44697	0	86,73771	0	92,70988

p.č.	rok	F(t) [%]
1	2021	33
2	2022	59
3	2023	76
4	2024	87
5	2025	93

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Weibullova predikce pro bus č.2.

1	t	2	t	3	t	4	t	5	t
1,942051	alfa	1,942051	alfa	1,942051	alfa	1,942051	alfa	1,942051	alfa
2,792695	beta	2,792695	beta	2,792695	beta	2,792695	beta	2,792695	beta
0,127229		0,407199		0,683108		0,865909		0,95491	
F(t)	12,72286	F(t)	40,71986	0	68,3108	0	86,59088	0	95,491

p.č.	rok	F(t) [%]
1	2021	13
2	2022	41
3	2023	68
4	2024	86
5	2025	95

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Weibullova predikce pro bus č.3.

1	t	2	t	3	t	4	t	5	t
1,373419	alfa	1,373419	alfa	1,373419	alfa	1,373419	alfa	1,373419	alfa
2,166929	beta	2,166929	beta	2,166929	beta	2,166929	beta	2,166929	beta
0,292301		0,591697		0,790548		0,901798		0,957276	
F(t)	29,23007	F(t)	59,16971	0	79,05484	0	90,17984	0	95,7276

p.č.	rok	F(t) [%]
1	2021	29
2	2022	59
3	2023	79
4	2024	90
5	2025	96

Zdroj: vlastní zpracování,2021.



### Výpočet ukazatele bezporuchovosti pro značku Iveco

#### Sběr dat

Data pro bus č.1.

bus č.1	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2014	1	12
2015	1	4
2016	0	0
2017	3	26
2018	5	96
2019	2	24
2020	4	156
celkem	16	318

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.2.

bus č.2	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2014	0	0
2015	1	24
2016	4	7
2017	3	72
2018	2	48
2019	0	0
2020	3	72
celkem	13	223

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.3.

bus č.3	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2014	2	36
2015	1	11
2016	3	163
2017	0	0
2018	1	12
2019	2	17
2020	4	63
celkem	13	302

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

## Bernardova aproximace

Ve sloupci počet poruch jsou zahrnuty data dle uspořádání dat, viz podkapitola 5.1.2.

Bernardova proximace pro bus č.1.

p. č.	počet poruch	$F_i (m)$	$x_i$	$y_i$
1	1	0,109375	0	-2,15562
2	1	0,265625	0	-1,17527
3	2	0,421875	0,693147	-0,60154
4	3	0,578125	1,098612	-0,14729
5	4	0,734375	1,386294	0,281918
6	5	0,890625	1,609438	0,794337

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Bernardova aproximace pro bus č.2.

p. č.	počet poruch	$F_i (m)$	$x_i$	$y_i$
1	1	0,109375	0	-2,15562
2	2	0,265625	0,693147	-1,17527
3	3	0,421875	1,098612	-0,60154
4	3	0,578125	1,098612	-0,14729
5	4	0,734375	1,386294	0,281918

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Bernardova proximace pro bus č.3.

p. č.	počet poruch	$F_i (m)$	$x_i$	$y_i$
1	1	0,109375	0	-2,15562
2	1	0,265625	0	-1,17527
3	2	0,421875	0,693147	-0,60154
4	2	0,578125	0,693147	-0,14729
5	3	0,734375	1,098612	0,281918
6	4	0,890625	1,386294	0,794337

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

## Lineární regrese

Lineární regrese pro bus č.1

<i>Regresní statistika</i>	
Násobné R	0,929817
Hodnota spolehlivosti R	0,86456
Nastavená hodnota spolehlivosti R	0,819414
Chyba stř. hodnoty	0,403501
Pozorování	6

ANOVA

	<i>Rozdíl</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Významnost</i> <i>F</i>
Regrese	1	3,117881	3,117881	19,15009	0,022083
Rezidua	3	0,488439	0,162813		
Celkem	4	3,60632			

	<i>Chyba</i>			<i>Hodnota</i>	<i>Dolní</i>	<i>Horní</i>	<i>Dolní</i>	<i>Horní</i>
	<i>Koeficienty</i>	<i>stř. hodnoty</i>	<i>t Stat</i>	<i>P</i>	<i>95%</i>	<i>95%</i>	<i>95,0%</i>	<i>95,0%</i>
Hranice	-1,64985	0,271941	-6,06693	0,008987	-2,51529	-0,78441	-2,51529	-0,78441
Soubor X								
1	1,400682	0,320077	4,376081	0,022083	0,382055	2,419308	0,382055	2,419308

Zdroj: vlastní zpracování, 2021.

Lineární regrese pro bus č.2.

<i>Regresní statistika</i>	
Násobné R	0,979536
Hodnota spolehlivosti R	0,959491
Nastavená hodnota spolehlivosti R	
R	0,945988
Chyba stř. hodnoty	0,220673
Pozorování	5

ANOVA

	<i>Rozdíl</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Významnost</i> <i>F</i>
Regrese	1	3,46023	3,46023	71,05699	0,003503
Rezidua	3	0,14609	0,048697		
Celkem	4	3,60632			

	Chyba stř.		t Stat	Hodnota P	Dolní 95%	Horní 95%	Dolní 95,0%	Horní 95,0%
	Koeficienty	hodnoty						
Hranice Soubor X	-2,23798	0,201245	-11,1207	0,001558	-2,87843	-1,59753	-2,87843	-1,59753
1	1,728475	0,20505	8,429531	0,003503	1,075914	2,381035	1,075914	2,381035

Zdroj: vlastní zpracování, 2021.

Lineární regrese pro bus č.3.

Regresní statistika	
Násobné R	0,91489
Hodnota spolehlivosti R	0,837024
Nastavená hodnota spolehlivosti R	0,782699
Chyba stř. hodnoty	0,442622
Pozorování	6

ANOVA

	Rozdíl	SS	MS	F	Významnost F
Regrese	1	3,018577	3,018577	15,40766	0,029422
Rezidua	3	0,587742	0,195914		
Celkem	4	3,60632			

	Chyba stř.		t Stat	Hodnota P	Dolní 95%	Horní 95%	Dolní 95,0%	Horní 95,0%
	Koeficienty	hodnoty						
Hranice Soubor X	-1,65353	0,301748	-5,47984	0,011951	-2,61383	-0,69323	-2,61383	-0,69323
1	1,798801	0,458263	3,925259	0,029422	0,340404	3,257198	0,340404	3,257198

Zdroj: vlastní zpracování, 2021.

### Parametr tvaru měřítka

Bus č.1

- tvar  $\alpha = 1,400682$

- měřítko:  $\beta = 3,247516$

Bus č.2

- tvar  $\alpha = 1,728475$

- měřítko:  $\beta = 3,650161$

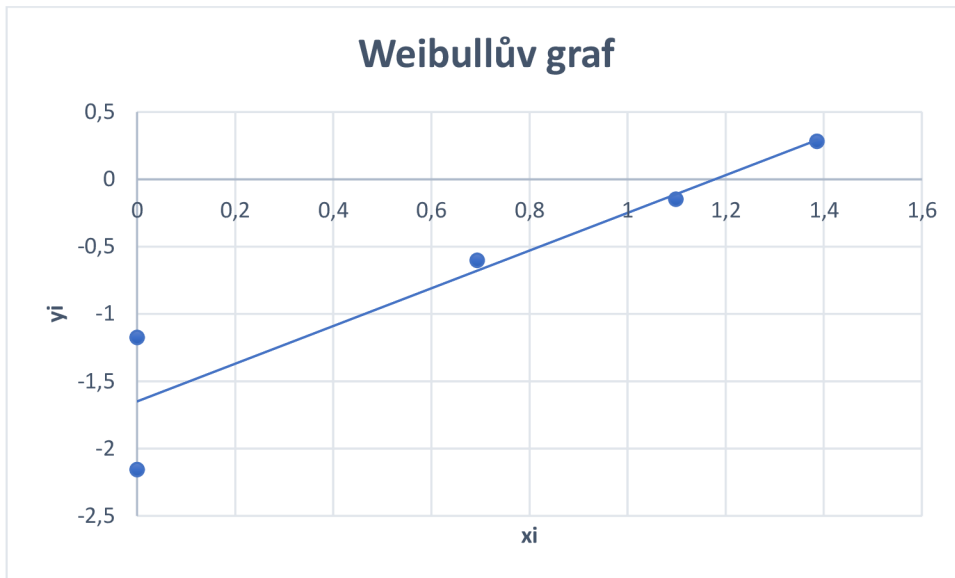
Bus č.3

- tvar  $\alpha = 1,798801$

- měřítko:  $\beta = 2,507384$

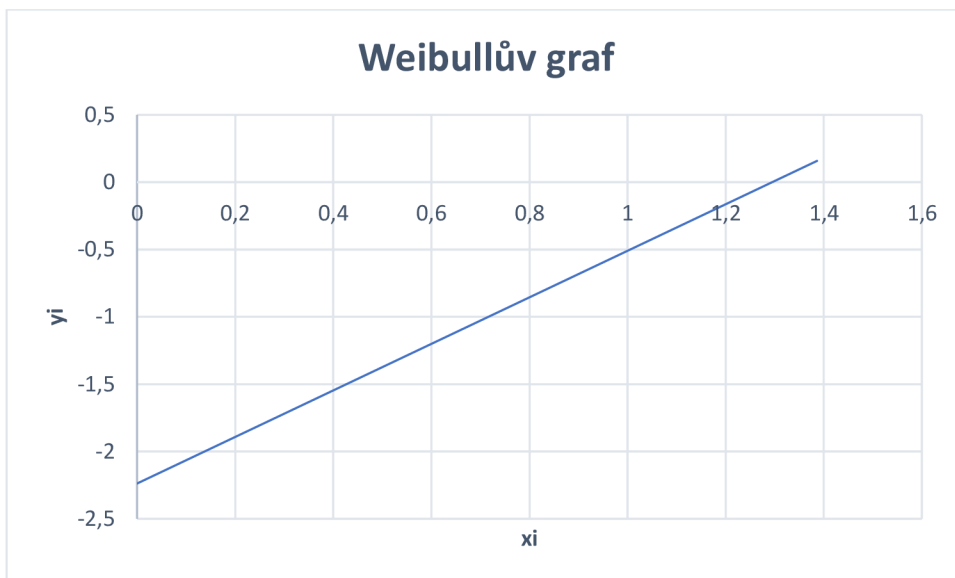
### Weibullův graf

Weibullův graf pro bus č.1



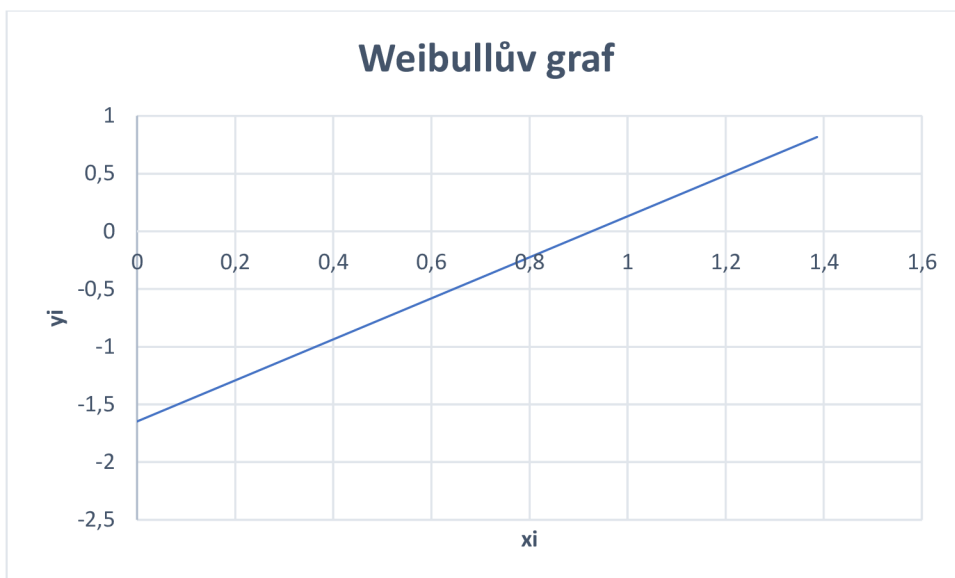
Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Weibullův graf pro bus č.2



Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Weibullův graf pro bus č.3



Zdroj: vlastní zpracování,2021.

U tohoto výběru autobusů se jednalo o pěkné Weibullovo rozdělení pouze u autobusu číslo 2. U obou dalších autobusů se jednalo o chybu v častém opakování počtu jedné opravy.

### Výpočet ukazatele bezporuchovosti

Weibullova predikce pro bus č.1.

1	t	2	t	3	t	4	t	5	t
1,400682	alfa	1,400682	alfa	1,400682	alfa	1,400682	alfa	1,400682	alfa
3,247516	beta	3,247516	beta	3,247516	beta	3,247516	beta	3,247516	beta
0,174758		0,397784		0,591351		0,737887		0,839629	
F(t)	17,47581	F(t)	39,77837	0	59,13515	0	73,7887	0	83,9629

p.č.	rok	F(t) [%]
1	2021	18
2	2022	40
3	2023	59
4	2024	74
5	2025	84

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Weibullova predikce pro bus č.2.

1	t	2	t	3	t	4	t	5	t
1,728475	alfa	1,728475	alfa	1,728475	alfa	1,728475	alfa	1,728475	alfa
3,650161	beta	3,650161	beta	3,650161	beta	3,650161	beta	3,650161	beta
0,101181		0,297769		0,509555		0,690066		0,821417	
F(t)	10,11812	F(t)	29,77689	0	50,95552	0	69,00657	0	82,14169

p.č.	rok	F(t) [%]
1	2021	10
2	2022	30
3	2023	51
4	2024	69
5	2025	82

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Weibullova predikce pro bus č.3.

1	t	2	t	3	t	4	t	5	t
1,798801	alfa	1,798801	alfa	1,798801	alfa	1,798801	alfa	1,798801	alfa
2,507384	beta	2,507384	beta	2,507384	beta	2,507384	beta	2,507384	beta
0,174176		0,486162		0,74862		0,9014		0,968599	
F(t)	17,41757	F(t)	48,61617	0	74,86199	0	90,14002	0	96,85985

p.č.	rok	F(t) [%]
1	2021	17
2	2022	49
3	2023	75
4	2024	90
5	2025	97

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

## Soubor dat pro značku SOR

Data pro bus č.1.

bus č.1	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2013	0	0
2014	1	17
2015	3	86
2016	0	0
2017	5	180
2018	2	12
2019	0	0
2020	2	48
celkem	13	343

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.2.

bus č.2	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2013	1	12
2014	0	0
2015	4	48
2016	3	24
2017	2	240
2018	1	86
2019	0	0
2020	0	0
celkem	11	410

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.3.

bus č.3	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2013	0	0
2014	2	12
2015	2	86
2016	0	0
2017	4	252
2018	1	24
2019	0	0
2020	1	48
celkem	10	422



Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.4.

bus č.4	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2015	1	12
2016	0	0
2017	4	240
2018	1	24
2019	0	0
2020	1	48
celkem	7	324

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.5.

bus č.5	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2015	1	24
2016	3	170
2017	0	0
2018	1	48
2019	0	0
2020	1	48
celkem	6	290

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.6.

bus č.6	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2015	0	0
2016	3	80
2017	1	12
2018	0	0
2019	0	0
2020	2	96
celkem	6	188

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

## Soubor dat pro značku Irisbus

Data pro bus č.1.

bus č.1	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2015	1	12
2016	3	0
2017	1	11
2018	2	96
2019	4	72
2020	1	48
celkem	12	239

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.2

bus č.2	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2015	2	48
2016	1	12
2017	3	65
2018	2	43
2019	4	96
2020	0	0
celkem	12	264

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.3.

bus č.3	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2015	1	24
2016	4	48
2017	2	14
2018	1	48
2019	0	0
2020	1	13
celkem	9	147

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.4.

bus č.4	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2015	1	24
2016	3	170
2017	0	0
2018	2	48
2019	6	256
2020	0	0
celkem	12	498

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

## Soubor dat pro značku Iveco

Data pro bus č.1.

bus č.1	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2014	1	12
2015	1	4
2016	0	0
2017	3	26
2018	5	96
2019	2	24
2020	4	156
celkem	16	318

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.2.

bus č.2	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2014	0	0
2015	1	24
2016	0	0
2017	3	72
2018	2	48
2019	0	0
2020	3	72
celkem	9	216

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.3.

bus č.3	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2014	2	36
2015	1	11
2016	3	163
2017	0	0
2018	1	12
2019	2	17
2020	4	63
celkem	13	302

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.4.

bus č.4	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2014	2	48
2015	3	124
2016	0	0
2017	0	0
2018	1	12
2019	3	156
2020	2	74
celkem	11	414

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.5.

bus č.5	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2014	0	0
2015	1	24
2016	2	64
2017	1	12
2018	1	26
2019	4	235
2020	0	0
celkem	9	361

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.6.

bus č.6	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2014	1	12
2015	1	10
2016	0	0
2017	4	137
2018	0	0
2019	3	28
2020	1	46
celkem	10	233

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.7.

bus č.7	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2014	3	86
2015	2	38
2016	0	0
2017	2	8
2018	1	13
2019	1	16
2020	2	48
celkem	11	209

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.8.

bus č.8	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2014	0	0
2015	1	8
2016	3	79
2017	0	0
2018	7	268
2019	0	0
2020	1	13
celkem	12	368

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.9.

bus č.9	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2014	1	24
2015	1	24
2016	3	170
2017	0	0
2018	1	48
2019	6	256
2020	0	0
celkem	12	522

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.10.

bus č.10	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2014	1	24
2015	1	24
2016	3	170
2017	0	0
2018	1	48
2019	3	56
2020	0	0
celkem	9	322

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.11.

bus č.11	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2017	0	0
2018	1	14
2019	4	103
2020	1	18
celkem	6	135

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

Data pro bus č.12.

bus č.12	počet oprav	Doba mimo provoz (hod)
Rok		
2017	1	12
2018	0	0
2019	2	64
2020	2	58
celkem	5	134

Zdroj: vlastní zpracování,2021.

<b>Autor (vypracoval)</b>	Bc. Jan Pavlík
<b>Název DP</b>	Spolehlivost vozidel MHD
<b>Studijní obor</b>	LRDP
<b>Rok obhajoby DP</b>	2021
<b>Počet stran</b>	60
<b>Počet příloh</b>	6
<b>Vedoucí DP</b>	Ing. Alexander Čapka Ph.D
<b>Oponent DP</b>	
<b>Anotace</b>	Diplomová práce se zabývá stanovením pravděpodobnosti, s jakou dojde během následujících let k poruše vozidel ve vybraném podniku MHD. V samém úvodu práce je charakterizována pravděpodobnost a základní typy rozdělení pravděpodobnosti ve spolehlivosti. Poté práce navazuje na výpočetní metody spolehlivosti, samotnou charakteristiku podniku MHD. V závěru práce je samotný výpočet poruchovosti a samotné zhodnocení spolehlivosti v podniku.
<b>Klíčová slova</b>	Spolehlivost, pravděpodobnost, náhodná veličina, Weibullovo rozdělení.
<b>Místo uložení</b>	ITC (knihovna) Vysoké školy logistiky v Přerově
<b>Signatura</b>	