

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Porovnání dosažené spolehlivosti kolejových vozidel
Comparison of Railway Vehicles Achieved Reliability

Student:

Zdeněk Horák

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Famfulík, Ph.D.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání bakalářské práce

Student: **Zdeněk Horák**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R003 Dopravní technika a technologie
Specializace: 10 Dopravní technika
Téma: Porovnání dosažené spolehlivosti kolejových vozidel
Comparison of Railway Vehicles Achieved Reliability

Zásady pro vypracování:

Cíl: Cílem práce je posoudit dosaženou úroveň provozní spolehlivosti vybrané skupiny kolejových vozidel. Cílovou skupinou jsou lokomotivy provozované na vlečce Tříneckých železárén.

Osnova:

1. Úvod
2. Analýza struktury a stáří vozidlového parku
3. Výpočetní metody používané pro hodnocení spolehlivosti
4. Stanovení charakteristik spolehlivosti s využitím experimentálních dat
5. Technicko – ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Famfulík, J.: Zkoušky spolehlivosti (vybrané stochastické metody). Ostrava: VŠB TU Ostrava. 2010.
2. Famfulík, J.: Teorie údržby. Ostrava: VŠB – TU Ostrava. 2006. ISBN 80-248-1029-8.
3. Daněk, A.: Výpočetní metody obnovy dopravních prostředků. Ostrava: Repronis, Ostrava. ISBN 80-86122-41-7.
4. ČSN IEC 61650: 1998. Techniky analýzy dat o bezporuchovosti. 1998.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Famfulík, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 21.05.2012



doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB -TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB –TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB -TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB -TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB -TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB -TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Zdeněk Horák

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Pastelník 420,

Mořkov

742 72

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HORÁK, Z. *Porovnání dosažené spolehlivosti kolejových vozidel: bakalářská práce.*

Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2012, 45s.

Vedoucí práce: Famfulík, J.

Bakalářská práce se zabývá porovnáním dosažené spolehlivosti kolejových vozidel u vybraných řad lokomotiv. Vozidlový park tvoří 2 lokomotivy řady 727.7, stejný počet 2 lokomotiv řady 729.8 a 9 lokomotiv řady 724.8 pocházející z vlečky Třineckých železáren. V úvodu práce je charakterizována struktura a stáří vozidlového parku společně se základními technickými údaji vybraných lokomotiv. Následně jsou uvedeny statistické metody využité pro hodnocení parametrů spolehlivosti. Pomocí těchto metod a empirických dat z provozu jsou vypočteny dosažené parametry spolehlivosti lokomotiv.

ANNOTATION OF THESIS

HORÁK, Z. *Comparison of Railway Vehicles Achieved Reliability: Bachelor Thesis.*

Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering,

Institute of Transport, 2010, 58 p. Thesis head: Famfulík, J.

This thesis presents a comparison of achieved reliability of rolling stock in selected series locomotives. Rolling stock consists of 2 series locomotives 727.7. The same number of two locomotives 729.8 and 9 locomotives 724.8 from siding Třinecké ironworks. In the beginning is characterized by structure and age of vehicle fleet, together with basic technical data of selected locomotives. Subsequently, given the statistical methods used for evaluating the reliability parameters. Using these methods, and empirical data are calculated from the operation of formal parameters of the reliability of locomotives.

Obsah

Úvod.....	7
1. Analýza struktury a stáří vozidlového parku	8
1.1 Struktura vozidlového parku	8
1.2 Stáří vozidlového parku	9
1.3 Základní technické údaje a charakteristiky zvolených typů vozidel	10
1.3.1 lokomotiva řady 724.8.....	10
1.3.2 lokomotiva řady 724.7.....	12
1.3.3 lokomotiva řady 729.7.....	14
2. Statistické metody hodnocení parametrů spolehlivosti	16
2.1 Základní pojmy spolehlivosti	16
2.2 Náhodná veličina	18
2.2.1 Pravděpodobnost	18
2.2.2 Hustota pravděpodobnosti	19
2.2.3 Distribuční funkce	20
2.2.4 Bezporuchovost	21
2.2.5 Intenzita poruch	21
2.3 Použitá rozdělení náhodné veličiny.....	22
2.3.1 Exponenciální rozdělení	22
2.3.2 Weibullovo rozdělení	23
2.4 Histogram četností.....	27
2.5 Údržba	28
3. Odhad dosažených parametrů spolehlivosti autobusů s využitím empirických dat	30
3.1 Popis a struktura empirických dat	30
3.2 lokomotiva 724.7.....	31
3.3 lokomotiva 724.8.....	34
3.4 lokomotiva 729.7.....	36
4. Technické a ekonomické zhodnocení získaných výsledků.....	38
4.1 Srovnání lokomotiv.....	40
4.2 srovnání parametrů.....	41
5. Závěr	42
6. Seznam použité literatury	43
7 Seznam obrázků.....	44
8 seznam tabulek.....	45

Úvod

Cílem mé diplomové práce je porovnání dosažené spolehlivosti lokomotiv. Stanovení ukazatelů spolehlivosti a jejich porovnání za stejné časové období provozu let 2008-2010. Vybranou skupinou lokomotiv jsou lokomotivy na vlečce Třineckých železáren.

V úvodní části práce charakterizují strukturu a stáří celého vozidlového parku a dále zmiňují popis a základní technické údaje vybraných lokomotiv. Následující kapitola je věnovaná teoretické části, ve které uvádím základní pojmy spolehlivosti společně se statistickými metodami používanými v této práci. Následně jsem ze získaných provozních dat provedl výpočet dosažených parametrů spolehlivosti. Závěrem této práce uvádím celkové hodnocení porovnávaných lokomotiv z technického a ekonomického hlediska.

1. Analýza struktury a stáří vozidlového parku

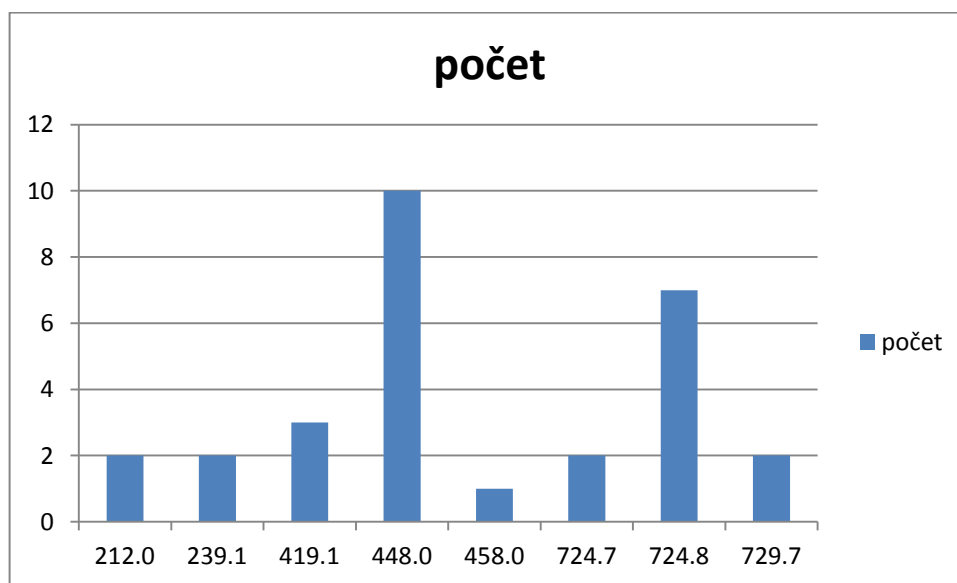
V úvodní kapitole je zpracována struktura vozidlového parku společně s analýzou jeho stáří a následně jsou uvedeny základní technické parametry a charakteristiky zvolených řad lokomotiv

1.1 Struktura vozidlového parku

V současné době obsahuje vozidlový park v Třineckých železárnách celkem 29 lokomotiv řad 212.0,239.1,419.1,448.0,458.0,724.7,724.8,729. To je znázorněno v tabulce č.1.1a znázorněno graficky obr. č. 1.1

Tab. 1.1: Přehled vozidlového parku

řady	počet
212.0	2
239.1	2
419.1	3
448.0	10
458.0	1
724.7	2
724.8	7
729.7	2



Obr. č. 1.1: Přehled vozidlového parku podle typu

V Bakalářské práci se budu zabývat pouze třemi řadami.

Jsou to tyto řady lokomotiv - řada 724.7

- řada 724.8

-řada 729.7

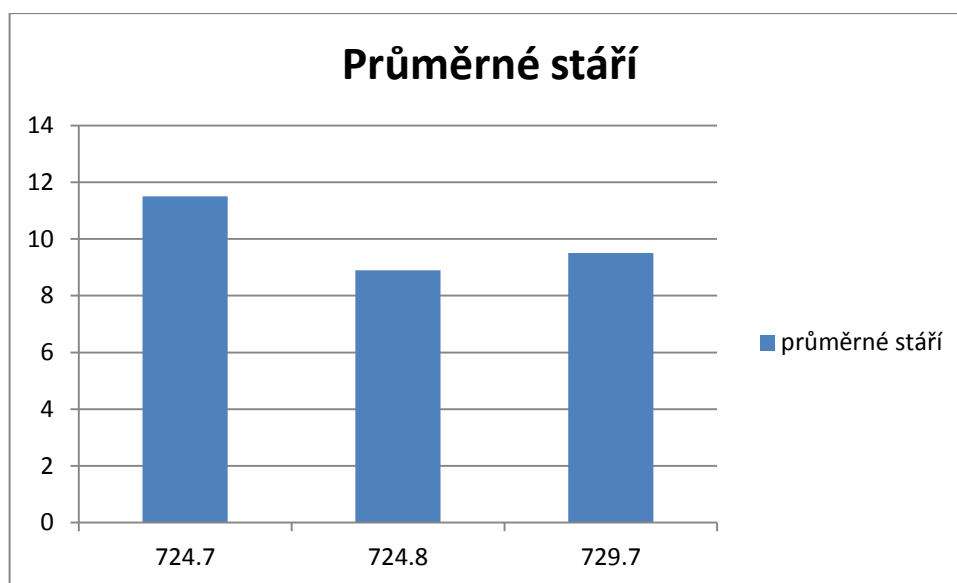
1.2 Stáří vozidlového parku

Důležitým faktorem pro spolehlivost při provozu dopravních prostředků je také stáří vozidlového parku, které je závislé na jeho postupné obměně. Aby byla tato obměna efektivní a zabezpečovala bezpečný a plynulý provoz, je nutno znát objektivní ekonomickou životnost jednotlivých typů provozovaných vozidel.

Průměrné stáří jednotlivých typů vozidel zařazených do vozidlového parku je uvedeno v tabulce 1.2 a grafické znázornění na obrázku č. 1.2

Tab. 1.2: Průměrné stáří jednotlivých řad lokomotiv

řada	průměrné stáří[rok]
724.7	11,5
724.8	8,9
729.7	9,5



Obr. č. 1.2: Průměrné stáří jednotlivých typů vozidel

1.3 Základní technické údaje a charakteristiky zvolených typů vozidel

V této kapitole budou charakterizovány všechny řady lokomotiv

1.3.1 lokomotiva řady 724.8

Hnací drážní vozidlo řady 724.8 je čtyřnápravová motorová lokomotiva s uspořádáním náprav B' o B' o o hmotnosti 19 tun na nápravu a elektrickým střídavě-stejnosměrným (AC/DC) přenosem výkonu. Lokomotiva je určena pro středně těžkou posunovací a traťovou službu na tratích celostátních, regionálních a vlečkách o rozchodu 1 435 mm. Maximální rychlost lokomotivy je 80 km/h. Vozidlo je konstruováno jako kapotová lokomotiva s věžovou kabinou strojvedoucího umístěnou blíže k zadnímu čelu vozidla. Řešení kapot a kabiny vychází z typové stavebnice.

Lokomotiva vznikla komplexní modernizací původní motorové lokomotivy řady 740, ze které je převzat hlavní rám a pojezd lokomotivy. Na podvozcích a hlavním rámu jsou provedeny pouze nezbytné změny související se zvýšením hmotnosti lokomotivy a změnou uložení hlavního rámu na podvozcích pomocí ploché torny.

V přední kapotě je umístěn hnací agregát složený ze spalovacího motoru, trakčního a pomocného alternátoru. Na lokomotivu je dosazen spalovací motor Caterpillar 3412E DI-TA s výkonem nastaveným na hodnotu 709 kW. Regulace výkonu je řízena elektronickým regulátorem. Dále je v přední kapotě uložena většina pomocných pohonů, chladič spalovacího motoru a pneumatický blok. V zadní kapotě je umístěn elektrický rozvaděč a blok odporů elektrodynamickej brzdy (EDB) [4].



Obr. č. 1.3: lokomotiva 724.8 [4]

Základní technické parametry

Rozchod	1 435 mm
Nejvyšší provozní rychlost	80 km/h
Jmen. hmotnost drážního vozidla (se 2/3 provozních hmot)	76 tun (+3 % -1 %)
Jmenovitá hmotnost na nápravu	19 tun (± 2 %)
Způsob uložení hlavního rámu na podvozku	plochá torna
Uspořádání dvojkolí	B' o B' o
Velikost převodu v nápravové převodovce	78 : 15
Počet náprav	4
Obrys pro drážní vozidlo	dle ČSN 28 0312
Maximální šířka	3 050 mm
Maximální výška	4 343 mm
Délka přes nárazníky	13 820 mm
Délka přes čelníky	12 420 mm
Vzdálenost středů otočných čepů	6 700 mm
Rozvor podvozků	2 400 mm
Jmenovitý průměr kola	1 000 mm
Jízdní obrys kola	UIC-ORE
Nejmenší poloměr oblouku při průjezdu rychlostí do 5 km/h	60 m – torna
Přenos výkonu	elektrický AC/DC
Výkon na háku trvalý	500,5 kW
Rychlost při trvalém výkonu	14,3 km/h
Tažná síla na háku při trvalém výkonu	126 kN
Maximální rozjezdový proud – celkový	1 700 A
Maximální tažná síla na háku	220 kN
Výkon dynamické brzdy:	
- spádový režim (trvale)	805 kW
- zastavovací režim (max. 5 minut)	1 048 kW
Maximální síla vyvozená EDB (na náraznících):	
- spádový režim	151 kN
- zastavovací režim	132 kN

1.3.2 lokomotiva řady 724.7

Motorová lokomotiva 724.7 vznikla komplexní modernizací původní lokomotivy řady 740, je určena pro středně těžkou posunovací a traťovou službu především v průmyslu. Lokomotiva je kapotová s jednou věžovou kabinou strojvedoucího poblíž zadního konce stroje s elektrickým střídavě stejnosměrným přenosem výkonu a EDB. Z původní lokomotivy je ponechán pojezd, hlavní rám, hlavní vzduchojemy a naftová nádrž. Kabina a kapoty jsou provedeny jako novostavba včetně vnitřního zařízení.

Nový naftový motor Caterpillar 3412 E DI-TA o výkonu 627 kW, přírubově spojený s trakčním alternátorem Siemens Drásov typu 1FC2-454, je zapuštěn do hlavního rámu, což umožnilo snížit kapoty a realizovat bohatě prosklenou věžovou kabinu s negativním sklonem čelních skel a s vynikajícími rozhledovými podmínkami.

Součástí motorgenerátoru je chladicí blok Caterpillar s ventilátorem poháněným klínovými řemeny od volného konce motoru. V čele přední kapoty se nachází pneumatický blok ve kterém je soustředěna většina pneumatické výzbroje lokomotivy včetně šroubového (724.701) nebo lamelového (742.702) kompresoru. V zadním krátkém představku je umístěn elektrický rozvaděč a odporník EDB včetně ventilační jednotky. Lokomotiva 724.7 je vybavena spádovou a zastavovací EDB o výkonu 1020 kW a elektricky ovládanou samočinnou a přímočinnou pneumatickou brzdou. Vzduchotlaková brzda systému DAKO je dvouokruhová. Ovládání lokomotivy zajišťuje elektronický digitální řídicí systém NES[4].



Obr. č. 1.4: lokomotiva 724.7[4]

Základní technické parametry

Rozchod	1 435 mm
Nejvyšší provozní rychlost	80 km/h
Jmen. hmotnost drážního vozidla (se 2/3 provozních hmot)	72 tun (+3 % -1 %)
Jmenovitá hmotnost na nápravu	18 tun (± 2 %)
Způsob uložení hlavního rámu na podvozku	plochá torna
Uspořádání dvojkolí	B' o B' o
Velikost převodu v nápravové převodovce	78 : 15
Počet náprav	4
Obrys pro drážní vozidlo	dle ČSN 28 0312
Maximální šířka	3 050 mm
Maximální výška	4 343 mm
Délka přes nárazníky	13 820 mm
Délka přes čelníky	12 420 mm
Vzdálenost středů otočných čepů	6 700 mm
Rozvor podvozků	2 400 mm
Jmenovitý průměr kola	1 000 mm
Jízdní obrys kola	UIC-ORE
Nejmenší poloměr oblouku při průjezdu rychlostí do 5 km/h	60 m – torna
Přenos výkonu	elektrický AC/DC
Výkon na háku trvalý	500,5 kW
Rychlost při trvalém výkonu	19,7 km/h
Tažná síla na háku při trvalém výkonu	130 kN
Maximální rozjezdový proud – celkový	1 700 A
Maximální tažná síla na háku	220 kN
Výkon dynamické brzdy:	
- spádový režim (trvale)	700 kW
- zastavovací režim (max. 5 minut)	1 020 kW
Maximální síla vyvozená EDB (na náraznících):	
- spádový režim	151 kN
- zastavovací režim	132 kN

1.3.3 lokomotiva řady 729.7

Motorová lokomotiva řady 729.7 s uspořádáním náprav B' o B' o o hmotnosti 21 tun na nápravu a elektrickým AC/DC přenosem výkonu. Lokomotiva je určena pro středně těžkou posunovací a traťovou službu na tratích o rozchodu 1 435 mm s rychlostí do 40 km/h. Na lokomotivu je dosazen spalovací motor Caterpillar 3412E DI-TA s výkonem nastaveným na hodnotu 709 kW. Regulace výkonu je elektronická. Lokomotiva je standardně vybavena elektrodynamickou brzdou[4].



Obr. č. 1.5: lokomotiva 729.7[5]

Základní technické parametry

Rozchod	1 435 mm
Nejvyšší provozní rychlost	40 km/h
Jmen. hmotnost drážního vozidla (se 2/3 provozních hmot)	84 tun (+3 % -1 %)
Jmenovitá hmotnost na nápravu	21 tun (± 2 %)
Způsob uložení hlavního rámu na podvozku	pryžkovové sloupky
Uspořádání dvojkolí	B' o B' o
Velikost převodu v nápravové převodovce	76 : 15
Počet náprav	4
Obrys pro drážní vozidlo	dle ČSN 28 0312
Maximální šířka	3 094 mm
Maximální výška	4 620 mm
Délka přes nárazníky	15180 mm
Délka přes čelníky	13880mm
Vzdálenost středů otočných čepů	7600 mm
Rozvor podvozků	2 600 mm
Jmenovitý průměr kola	1 050 mm
Jízdní obrys kola	UIC-ORE
Nejmenší poloměr oblouku při průjezdu rychlostí do 5 km/h	70 m – torna
Přenos výkonu	elektrický AC/DC
Výkon na háku trvalý	491 kW
Rychlost při trvalém výkonu	11,4km/h
Tažná síla na háku při trvalém výkonu	155 kN
Maximální rozjezdový proud – celkový	2400 A
Maximální tažná síla na háku	230 kN
Výkon dynamické brzdy:	
- spádový režim (trvale)	742kW
- zastavovací režim (max. 5 minut)	934 kW
Maximální síla vyvozená EDB (na náraznících):	
- spádový režim	152 kN
- zastavovací režim	140 kN

2. Statistické metody hodnocení parametrů spolehlivosti

V této kapitole budou popsány základní pojmy ze spolehlivosti.

2.1 Základní pojmy spolehlivosti

Spolehlivost je dle normy ISO 9000:2000 definována jako souhrnný termín, používaný pro popis pohotovosti a činitelů, které ji ovlivňují.



Obr. č. 1.6: Spolehlivost dle ISO 9000:2000[1]

Bezporuchovost je schopnost objektu plnit nepřetržitě požadované funkce po stanovenou dobu a za stanovených podmínek, [1]

Udržovatelnost je schopnost objektu v daných podmínkách používání setrvat ve stavu nebo se vrátit do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci tehdy, jestliže se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy i prostředky, [1]

Zajištění údržby je schopnost organizace poskytující údržbářské služby zajišťovat podle požadavků v daných podmínkách prostředky potřebné pro údržbu v souladu s koncepcí údržby. [1]

Spolehlivost je rovněž chápána jako komplexní vlastnost objektu, proto lze jednotlivé její vlastnosti rozšířit o další definice:

Bezpečnost je vlastnost objektu neohrožovat lidské zdraví nebo životní prostředí při plnění předepsané funkce, [1]

Životnost je schopnost objektu plnit požadované funkce do okamžiku dosažení mezního stavu při stanoveném systému údržby a oprav, [1]

Pohotovost je schopnost objektu být ve stavu schopném plnit požadované funkce v daném časovém okamžiku a v daných podmínkách, [1]

Filozofie údržby je systém principů pro organizaci a provádění údržby. [1]

Spolehlivost dle normy ČSN IEC 50(191) je vyjádřena jako pravděpodobnost bezporuchového provozu, to je pravděpodobnost, že objekt může plnit požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém intervalu. [1]



Obr. č. 1.7: Spolehlivost dle ČSN IEC 50 (191) [1]

V této normě jsou definovány další pojmy vztahující se k bezporuchovosti a údržbě:

Porucha znamená částečnou nebo úplnou ztrátu schopnosti provozu soustavy nebo prvku. Pokud dojde ke změně schopnosti provozu, rozhoduje se, zda jde o poruchu nebo ne, podle stanovených podmínek provozu, set[1]

Doba do první poruchy je celková doba provozu objektu od okamžiku prvního uvedení do použitelného stavu až do poruchy, [1]

Doba mezi poruchami je doba trvání mezi dvěma po sobě následujícími poruchami opravovaného objektu, [1]

Doba údržby je časový interval, během něhož se na objektu provádí údržbářský zásah buď ručně, nebo automaticky, včetně technických a logistických zpoždění, [1]

Údržba je souhrn konkrétních technologických činností a postupů, jejich uplatňováním za určených podmínek se provádí obnova požadovaného technického stavu objektu, [1]

Preventivní údržba je údržba prováděná v předem určených intervalech nebo podle předepsaných kritérií a je zaměřená na snížení pravděpodobnosti poruchy nebo degradace fungování objektu, [1]

Údržba po poruše je údržba prováděná po zjištění poruchového stavu a je zaměřená na uvedení objektu do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci, [1]

Oprava je část údržby po poruše, při níž se na objektu provádějí ruční operace [1]

2.2 Náhodná veličina

Náhodnou veličinou nazýváme veličinu, která s určitými pravděpodobnostmi nabývá reálných hodnot jednoznačně přiřazených výsledkům příslušných náhodných pokusů.

Spolehlivost neopravovaných výrobků a soustav se měří pravděpodobností bezporuchového provozu a odvozenými veličinami, jako je hustota poruch, intenzita poruch nebo střední doba bezporuchového provozu. Chování výrobku se zpravidla sleduje v čase, popřípadě na jiném výkonovém parametru. U většiny výrobků může porucha nastat při libovolné hodnotě nezávislé proměnné, z čehož vyplývá, že náhodná veličina je spojitá. [1]

U výrobků s nespojitou činností může porucha nastat pouze v okamžicích, kdy je výrobek v provozu, tudíž náhodná proměnná je diskrétní [1]

2.2.1 Pravděpodobnost

Při opakované realizaci pokusu se stejný jev za nezměněných podmínek vyskytuje s různou četností, tj. s různou pravděpodobností. [1]

Pravděpodobnost nastoupení jevu $P(A)$ je tedy definována jako:

$$P(A) = \frac{n}{m} \quad (2.1)$$

Kde:

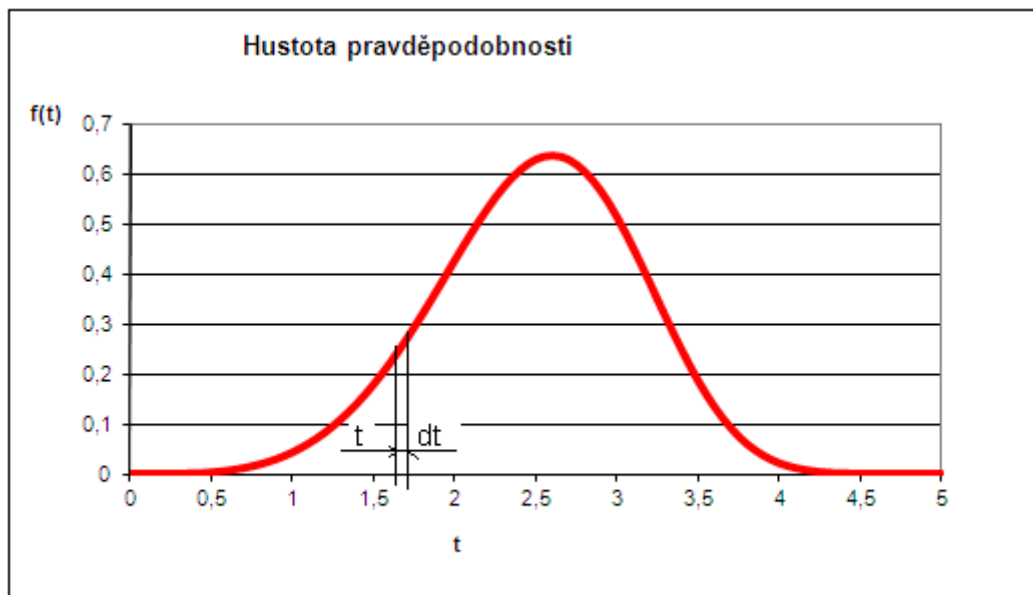
n – počet pokusů, kdy jev nastal

m – celkový počet provedených pokusů .

2.2.2 Hustota pravděpodobnosti

Hustota pravděpodobnosti je funkce vyjadřující že náhodná veličina T nabude hodnoty z nekonečně malého intervalu dt . Definujeme ji vztahem[1]:

$$f(t)dt = P(t \leq T \leq t + dt) \quad (2.2)$$



Obr. č. 1.8: Graf kdefinici hustoty pravděpodobnosti spojité náhodné veličiny

Základní vlastnosti hustoty pravděpodobnosti:

-je nezáporná, $f(t) \geq 0$,

-velikost plochy pod křivkou je rovna jedné $\int_{-\infty}^{\infty} f(t)dt = 1$,

(2.3)

Pravděpodobnost, že náhodná veličina T nabude hodnoty z intervalu $\langle t_1; t_2 \rangle$ je dána:

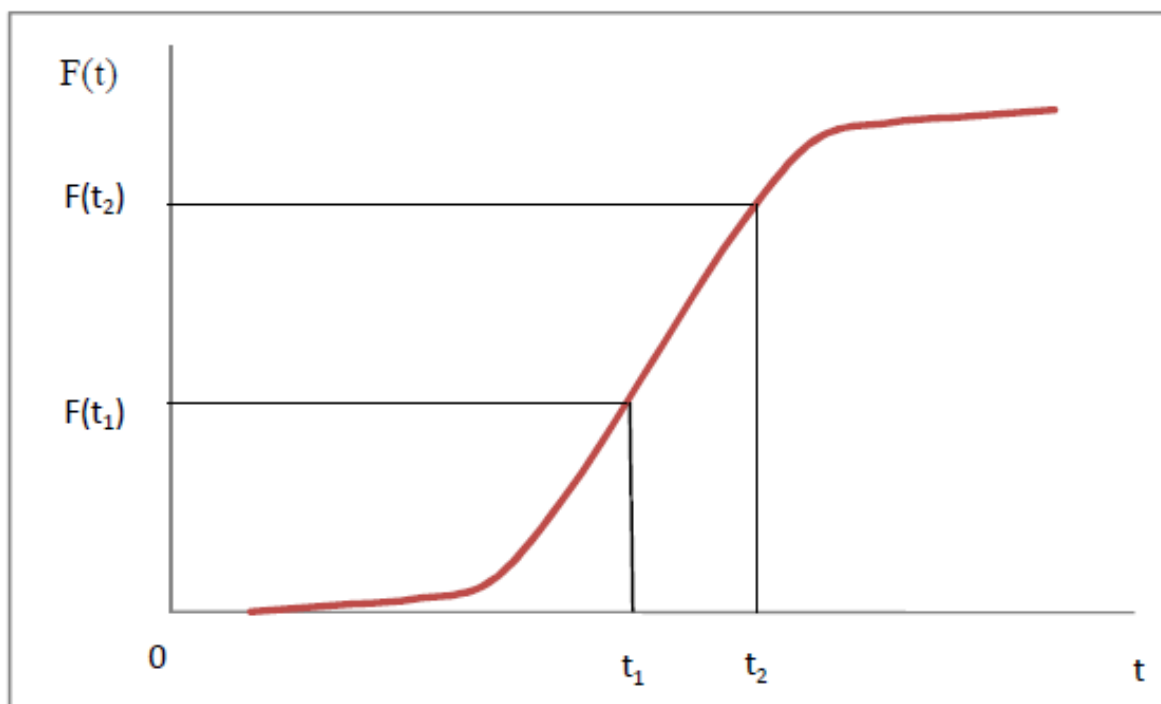
$$P(t_1 \leq T \leq t_2) = \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt \quad (2.4)$$

Pro spojité náhodné veličiny je hustota pravděpodobnosti označována $f(t)$, pro diskrétní je označována jako pravděpodobnostní funkce $p(x)$ [1].

2.2.3 Distribuční funkce

Distribuční funkce je pravděpodobnost, že náhodná veličina T nabude hodnoty menší nebo rovné, než je zadaná hodnota t [1]. A dále je jedním z prostředků popisu zákona rozdělení a je definována:

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt \quad (2.5)$$



Obr. č. 1.9: Distribuční funkce spojité náhodné veličiny[1]

Distribuční funkce má tyto vlastnosti:

-je nezáporná a nabývá hodnoty z intervalu $\langle 0; 1 \rangle$,

-je neklesající, tudíž $F(t_2) > F(t_1)$ pro všechna $t_2 > t_1$

-mezi hustotou pravděpodobnosti a distribuční funkcí platí následující vztah:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (2.6)$$

Pro diskrétní náhodnou veličinu je distribuční funkce daná vztahem:

$$F(X \leq a) = p(x_1) + p(x_2) + \dots + p(a) = \sum_{i=1}^{i=a} p(x_i) \quad (2.7)$$

2.2.4 Bezporuchovost

Bezporuchovost je nazývána jako doplňková funkce, neboli doplněk distribuční funkce $F(t)$ do jedné [1]. Tudíž je definována vztahem:

$$R(t) = P(T \geq t) = 1 - F(t) \quad (2.8)$$

2.2.5 Intenzita poruch

Intenzita poruch je definována jako podmíněná pravděpodobnost, že porucha nastane za nekonečně malý okamžik dt za podmínky, že do okamžiku t jev nenastal. Obecně je definována vztahem :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.9)$$

Intenzita poruch má nejčastěji rozměr 1/čas, obvykle je udávána v jednotkách 1/hod. Pokud je však výkonovým parametrem kilometrický proběh vozidla, má intenzita poruch rozměr 1/km a udává se v jednotkách 1/1000 km

Střední intenzitu poruch je také možno vyjádřit jako počet poruch za jednotku času, tudíž:

$$\lambda(t) = \frac{N_p}{t} \quad (2.10)$$

Kde:

N_p – počet poruch

t – délka časového intervalu [den]

2.3 Použitá rozdělení náhodné veličiny

2.3.1 Exponenciální rozdělení

Toto rozdělení má spojitá náhodná veličina, která představuje dobu čekání do nastoupení náhodného jevu nebo délku intervalu mezi takovými dvěma jevy (např. doba čekání na obsluhu). Označuje se $Ex(\lambda)$ a je určeno jedním parametrem λ [2].

Jelikož je průběh intenzity poruch exponenciálního rozdělení konstantní, velmi často se využívá k vyjádření „normálního“ života výrobku (období ustálení intenzity poruch na přibližně konstantní hodnotě)[1]. Hustota pravděpodobnosti je dána vztahem :

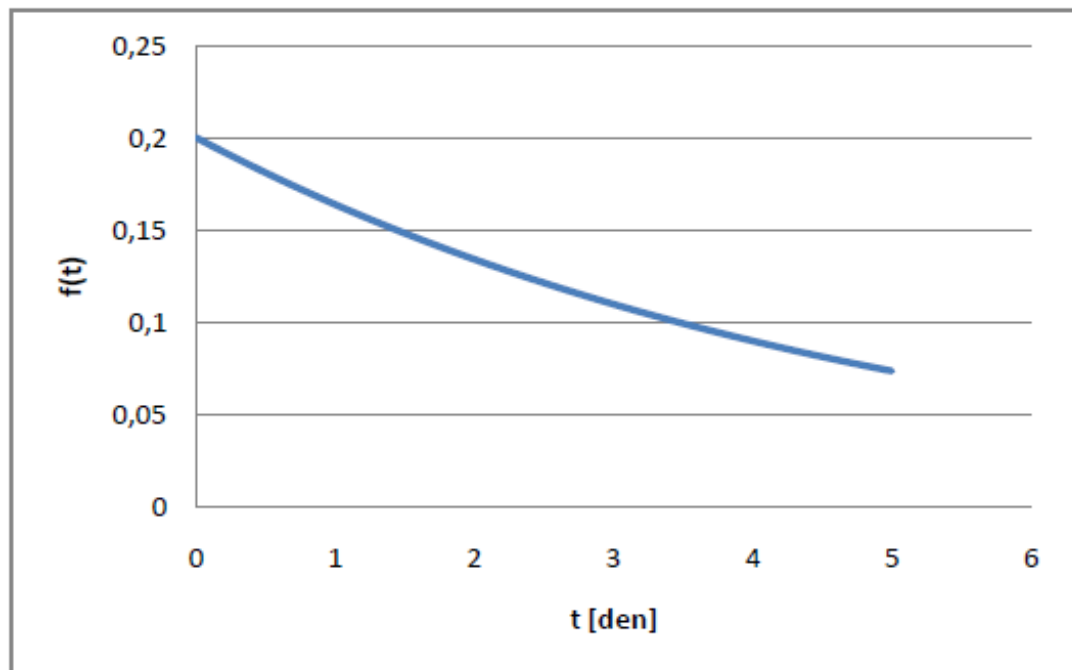
$$f(t) = \lambda e^{(-\lambda t)} \quad , \quad \lambda > 0, t \geq 0 \quad (2.11)$$

Kde:

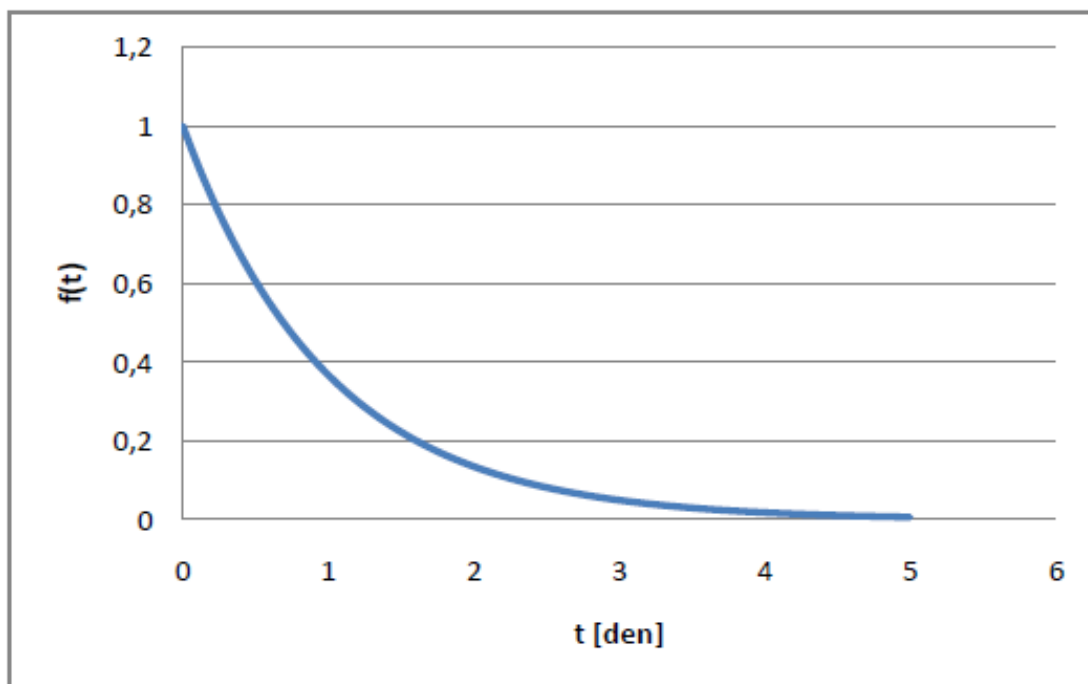
λ – střední intenzita poruch [1/den]

t – délka intervalu [den]

Na následujících obrázcích 1.10 a 1.11 jsou graficky znázorněny průběhy hustoty pravděpodobnosti s dvěma odlišnými parametry λ .



Obr. č. 1.10: průběh hustoty pravděpodobnosti pro $\lambda=0,2$



Obr. č. 1.11: průběh hustoty pravděpodobnosti pro $\lambda=0,1$

Distribuční funkce je poté vyjádřena pomocí vztahu:

$$F(t) = 1 - e^{(-\lambda t)} \quad (2.12)$$

2.3.2 Weibullovo rozdělení

Ve spolehlivosti se pro modelování průběhu náhodné veličiny často používá Weibullovo rozdělení. Je velmi variabilní, čehož se s výhodou využívá při posuzování bezporuchovosti technických objektů. Změnou parametru tvaru nahrazuje jiné zákony rozdělení, např. exponenciální ($m = 1$), Rayleighovo rozdělení ($m = 2$) a aproximuje normální rozdělení ($m = 3,5$). Pracujeme tak s jedním tvarem rovnic, nemusíme používat rovnice pro další typy rozdělení, a to je výhodné při numerických výpočtech v tabulkových procesorech[3].

Weibullovo rozdělení bylo odvozeno prof. Weibullem původně jako tří parametrické, ale pro běžné účely jsou rovnice upraveny a zjednodušeny převodem na dvou parametrické rozdělení W_2P . Úprava spočívá v tom že parametr polohy „c“ položíme rovno 0, čímž vznikne W_2p rozdělení[3].

Distribuční funkce $F(t)$ je daná vztahem:

$$F(l) = 1 - \left(\frac{l}{l_0} \right)^{-m} \quad (2.13)$$

Kde:

$F(l)$ – distribuční funkce,

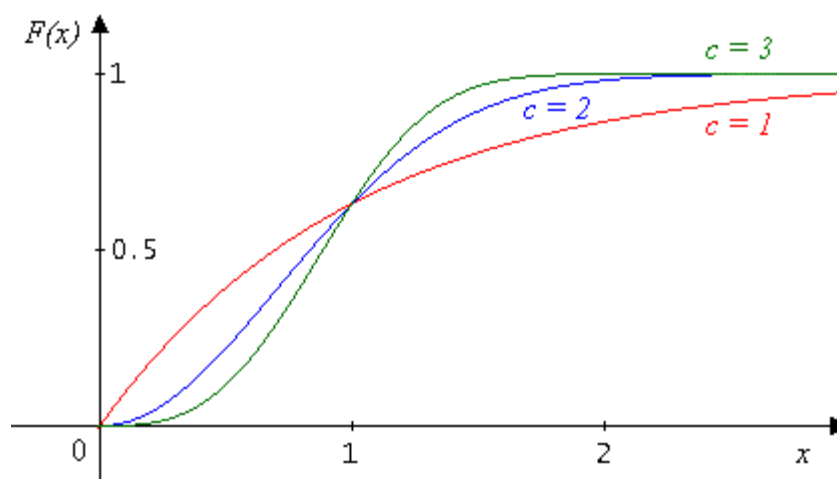
e – Eulerovo číslo (též základ přirozených logaritmů), $e = 2,71$,

l – počet ujetých kilometrů, $l \geq 0$,

l_0 – parametr měřítka,

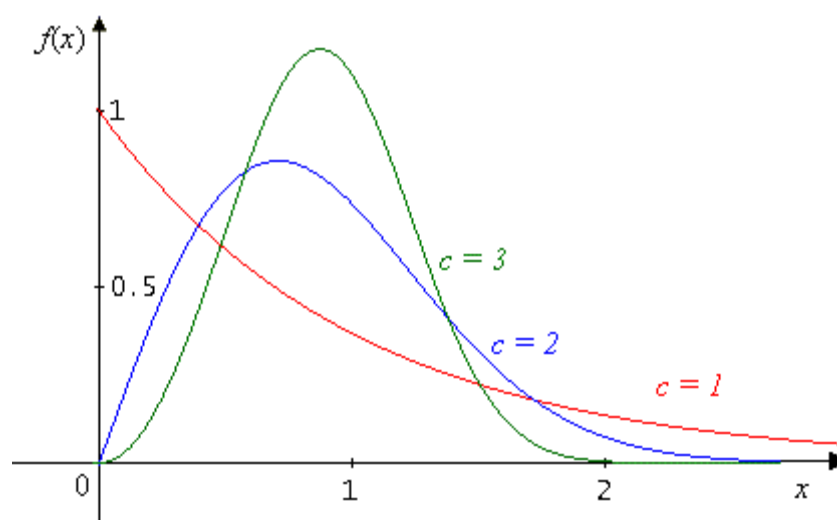
m – parametr tvaru, $m > 0$.

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



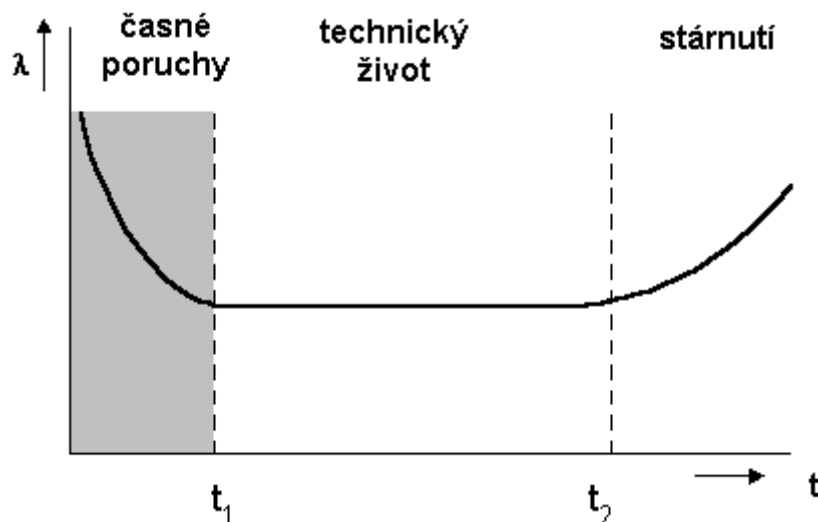
Obr. č. 1.12: Weibullovo rozdělení $F(x)$ [7]

Grafické znázornění hustoty pravděpodobnosti pro $d = 1$ a různé hodnoty c :



Obr. č. 1.12: Weibullovo rozdělení $f(x)$ [7]

Pro stanovení etapy doby života, ve které se výrobek při analýze poruchovosti nachází, má rozhodující význam právě parametr m , protože charakterizuje příslušnou část vanové křivky:



Obr. č. 1.13: Vanová křivka[6]

$m < 1 \Rightarrow$ etapa uvádění do provozu- období časných poruch, které vznikly následkem chyb v konstrukci a při výrobě. Intenzita poruch postupně klesá, spolehlivost se zlepšuje.

$m = 1 \Rightarrow$ etapa ustáleného provozu- období ustáleného provozu, intenzita poruch se ustálí přibližně na konstantní hodnotě, poruchy vznikají působením náhodných událostí. Je to nejdelší období života.

$m > 1 \Rightarrow$ etapa dožívání- období dožívání a následné likvidace. Vlivem opotřebení intenzita poruch začne stoupat, po dosažení jistého okamžiku, kdy se ekonomicky a technicky nevyplatí další provoz, je vozidlo fyzicky zlikvidováno

Odhad parametru Weibullova rozdělení s využitím lineární regrese

distribuční funkce $F(t)$:

$$F(t) = 1 - \left(\frac{t}{\theta} \right)^m$$

$$1 - F(t) = \left(\frac{t}{\theta} \right)^m$$

$$\ln(1 - F(t)) = - \left(\frac{t}{\theta} \right)^m$$

$$\ln(\ln(1 - F(l))) = m \cdot \ln\left(\frac{l}{l_0}\right)$$

$$\ln(\ln(1 - F(l))) = n \cdot \ln l + n \cdot \ln l_0$$

$$\ln(-\ln(1 - F(l))) = n \cdot \ln l - n \cdot \ln l_0$$

rovnice přímky:

$$y = k \cdot x + q$$

substituce:

$$y = \ln(-\ln(1 - F(l)))$$

(2.14)

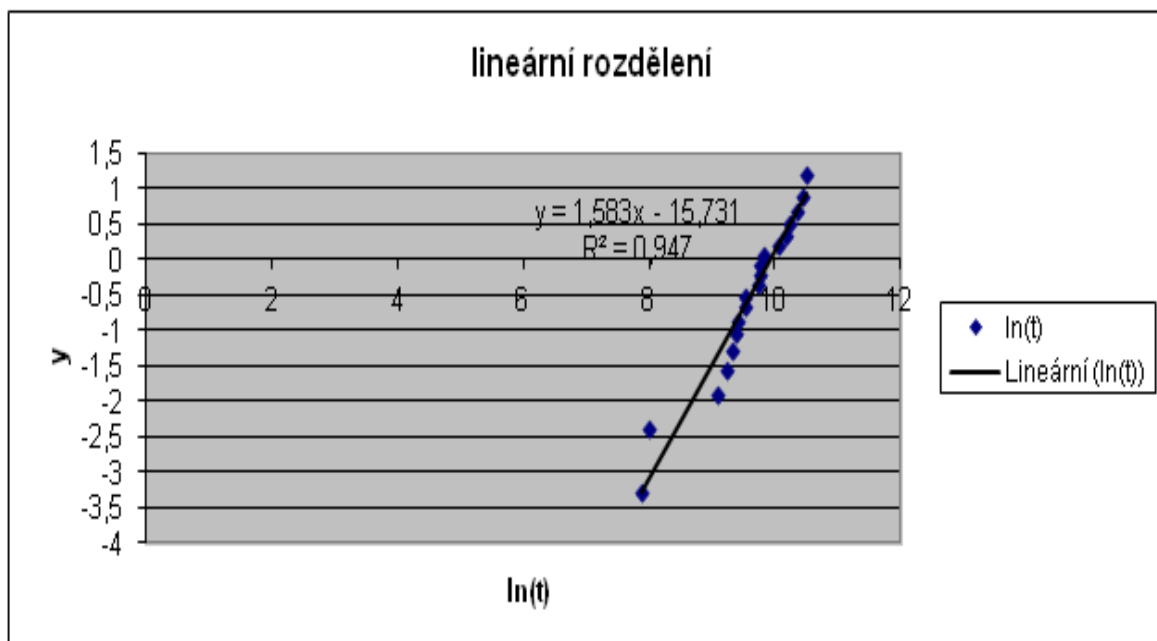
$$k \cdot x = m \cdot \ln l$$

(2.15)

$$q = -m \cdot \ln l_0$$

$$l \Rightarrow l_0 = e^{-\left(\frac{q}{m}\right)}$$

(2.16)



Obr. č. 1.14: Parametry rovnice přímky

Kde:

$y = 1,583x - 15,731$ je rovnice přímky, z níž se vyjadřuje: parametr $m = 1,583$,

hodnota $q = -15,731$

$R^2 = 0,947$ je koeficient determinace, který porovnává skutečné hodnoty y a jejich odhady.

Nabývá hodnot od 0 do 1.

2.4 Histogram četností

K zobrazení průběhu náhodné veličiny se často používá histogram četnosti. Používá se ke znázornění rozdělení absolutních nebo relativních četností spojitého znaku, např. doby do poruchy vozidla. Histogram četnosti je sloupcový graf, jenž můžeme charakterizovat takto:

- Sloupce v histogramu jsou vždy vertikální. Jejich výška odpovídá četnosti.
- Stupnice na vodorovné ose grafu je vždy ve stejných jednotkách.
- Šířka každého sloupce je vždy úměrná šířce posuzované veličiny.

U spojitých veličin můžeme histogram četností nahradit funkcí $f(t)$ tzv. hustotou pravděpodobnosti a kumulativní histogram četnosti nahradit distribuční funkcí $F(t)$ [1]. Přibližnou šířku třídy pro histogram vypočteme pomocí vzorce:

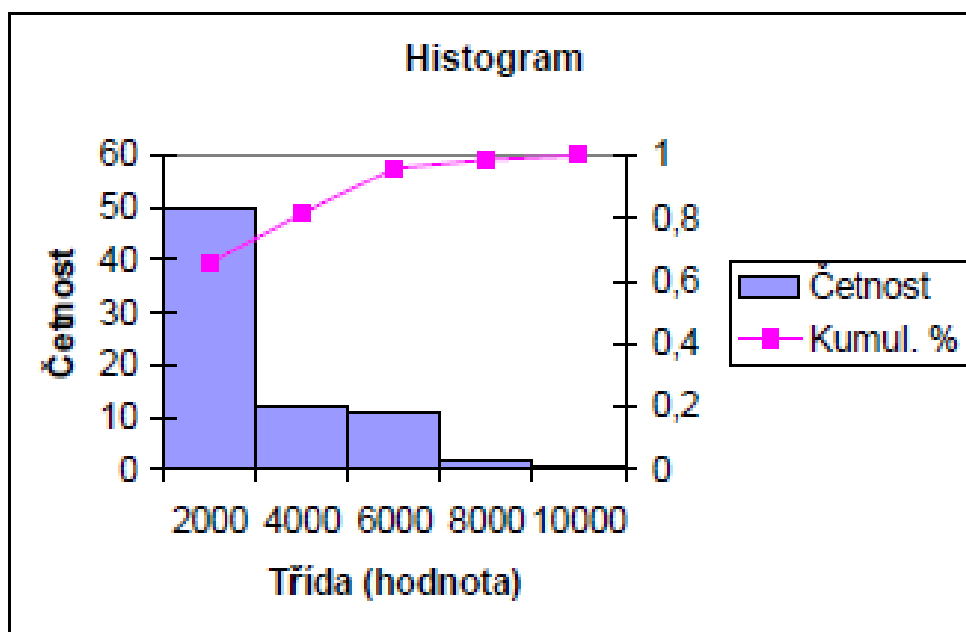
$$\Delta t = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{1 + 1,3 \cdot \log N} \quad (2.17)$$

t_{\min} – nejkratší doba do poruchy

t_{\max} - nejdelší doba do poruchy

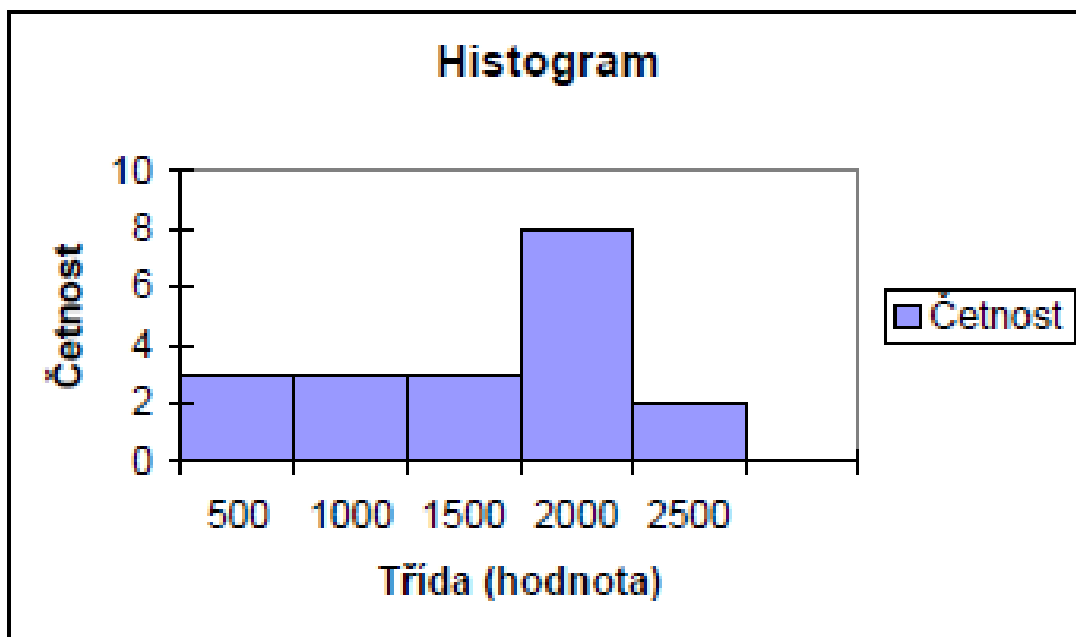
N – počet záznamu

Histogram relativní četnosti



Obr. č. 1.16: Histogram relativní četnosti[1]

Histogram absolutní četnosti



Obr. č. 1.17: Histogram absolutní četnosti[1]

2.5 Údržba

Je souhrn konkrétních technologických činností a postupů, jejichž uplatněním za určených podmínek se provádí obnova požadovaného technického stavu objektu. Rozeznáváme údržbu preventivní, která je předem stanovena v určitých intervalech. Údržbu po poruše, která se provádí po zjištění poruchového stavu. Součástí údržby je oprava, při níž se na objektu provádějí ruční práce. Důležitými veličinami, které se sledují v souvislosti s údržbou jsou doby jednotlivých typů údržby. Základním intervalem je doba údržby[1].

2.5.1 Doba údržby

je časový interval, během něhož se provádí údržbářský zásah buď ruční nebo automaticky, včetně technických a logistických zpoždění. V případě, že nejsou uvažována logistická zpoždění, ale pouze ta část doby údržby, kdy se provádí vlastní údržbářský zásah, hovoříme o době aktivní údržby[5].

2.5.2 Doba preventivní údržby

je část doby údržby, během níž se na objektu provádí preventivní údržba, včetně technických a logistických zpoždění, obsažených v preventivní údržbě. V případě, že nejsou uvažována logistická zpoždění, hovoříme o době aktivní preventivní údržby[1].

2.5.3 Doba údržby po poruše

je část doby údržby, během níž se na objektu provádí údržba po poruše, včetně technických a logistických zpoždění obsažených v údržbě po poruše. V případě, že nejsou uvažována logistická zpoždění, hovoříme o době aktivní údržby po poruše. [1].

2.5.4 Doba opravy

je část doby aktivní údržby po poruše během níž se na objektu provádějí opravárenské práce. Dobu opravy můžeme dále rozdělit na dobu lokalizace porouchané části, dobu aktivní opravy, během níž se provádí vlastní opravárenské operace a na dobu kontroly, kdy se provádí kontrola funkce objektu. [1].

2.5.5 Logistické zpoždění

je kumulovaná doba, během níž se nemohou provádět údržbářské operace z důvodu nezbytného získání údržbářských prostředků, kromě administrativního zpoždění. Logistické zpoždění může být způsobeno například čekáním na náhradní díly, odborníky, zkušební zařízení, informace, vhodné podmínky prostředí apod.[1].

2.5.6 Technické zpoždění

je kumulovaná doba potřebná k provedení pomocných technických operací, které souvisí s údržbářským zásahem. Technické zpoždění spojujeme výhradně s údržbou po poruše. Zahrnujeme zde například čas potřebný k přesunu objektu na příslušné opravárenské pracoviště a zpět, očištění objektu před zahájením opravy apod. [1].

3. Odhad dosažených parametrů spolehlivosti autobusů s využitím empirických dat

Odhad dosažených spolehlivostních parametrů lokomotiv je prováděn ze získaných empirických dat z provozu u vybraných kolejových vozidel každého z výše zmíněných řad za období roku 2008 a 2010.

3.1 Popis a struktura empirických dat

Získaná empirická data pocházejí ze směnovek, které jsou používány v Třineckých železárnách

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
T 458.1540	8851				688888888888											4885
T 458.1542	88	388	888888888888									5				
T 458.1543					588888888888						6882888888888888					
724.701-8									884							
724.702-6					1/				7888888888888888888888							
724.801-6				1/				2881						1/		
724.802-4	5881								5							81

Obr. č. 1.18: směnovnice

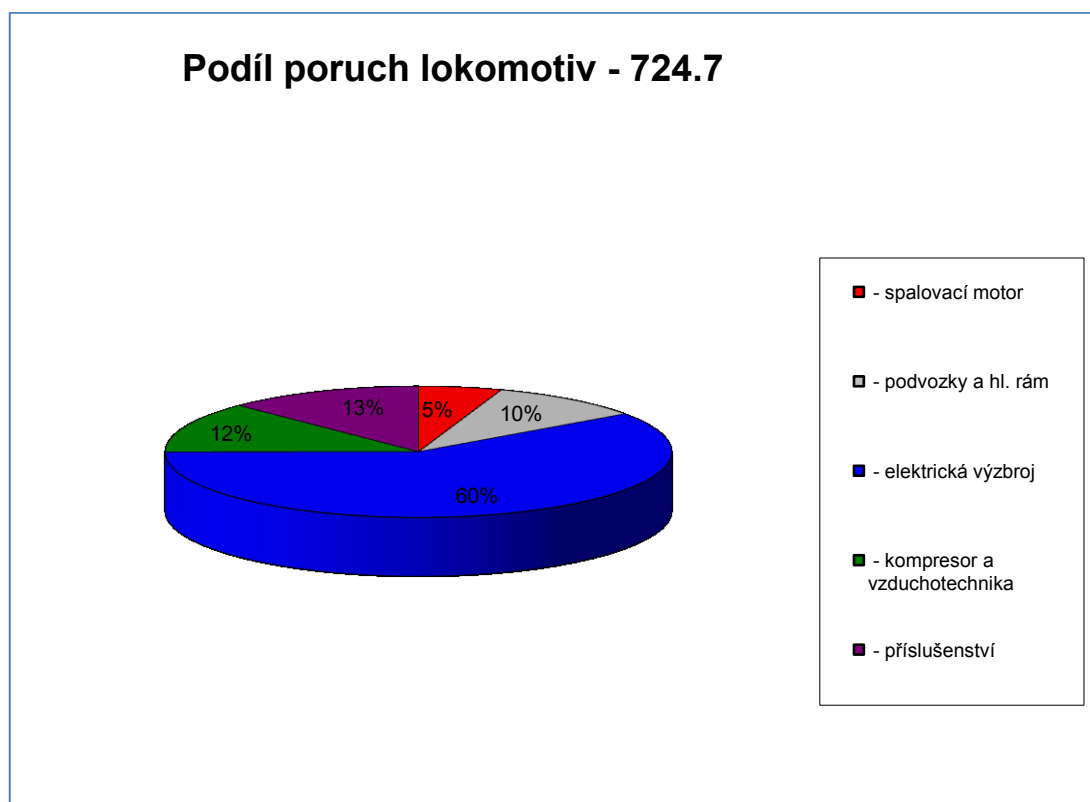
každý den je rozdělen do tří 8hodinových směn. Pokud v políčku není nic napsáno, byla lokomotiva 8 hodin v provozu. Zelená číslice je záloha, modrá je preventivní údržba a červená porucha.

3.2 lokomotiva 724.7

Při porovnání poruch je zabýváno pěti základními částech lokomotivy-spalovací motor, pojezd a hl. rám, elektrická výzbroj, kompresor a vzduchotechnika a příslušenstvím.

3.2.1 Porovnání poruch

Srovnání poruch je prováděno na základních vozidlových částech a ústrojích lokomotivy

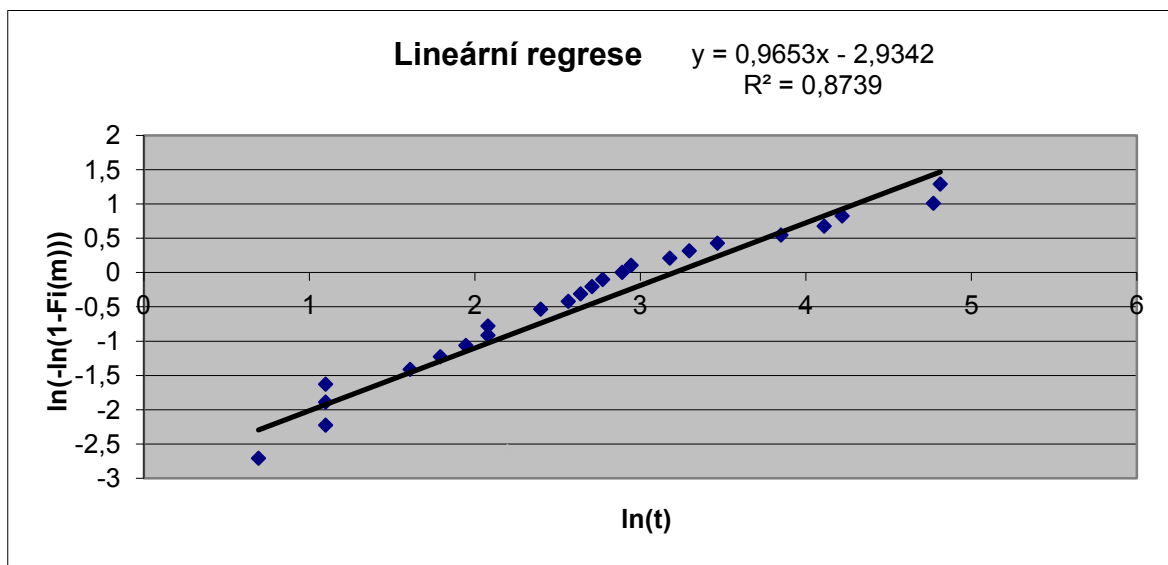


Obr. č. 1.19: podíl poruch

Z tohoto grafů vyplývá, že k nejvýraznějšímu procentuálnímu rozdílu dochází mezi poruchami spalovacího motoru a elektrické výzbroji. Největší poruchovost je u elektrické výzbroji.

3.2.2 Doba mezi poruchami

Po proložení dat spojnicí trendu jsem získal rovnici přímky, z které vyčteme parametr tvaru a dopočítám parametr měřítka Weibullova rozdělení. Z takto získaných hodnot dopočítám střední dobu mezi poruchami.



Obr. č. 1.20: Stanovení parametrů rovnice přímky

Parametr tvaru m :

$$y = 0,9653x \rightarrow m = 0,9653x$$

$$\rightarrow q = -2,9342$$

Parametr měřítka t_0 :

$$t_0 = e^{-\left(\frac{q}{m}\right)}$$

$$t_0 = e^{-\left(\frac{2,9342}{0,9653}\right)}$$

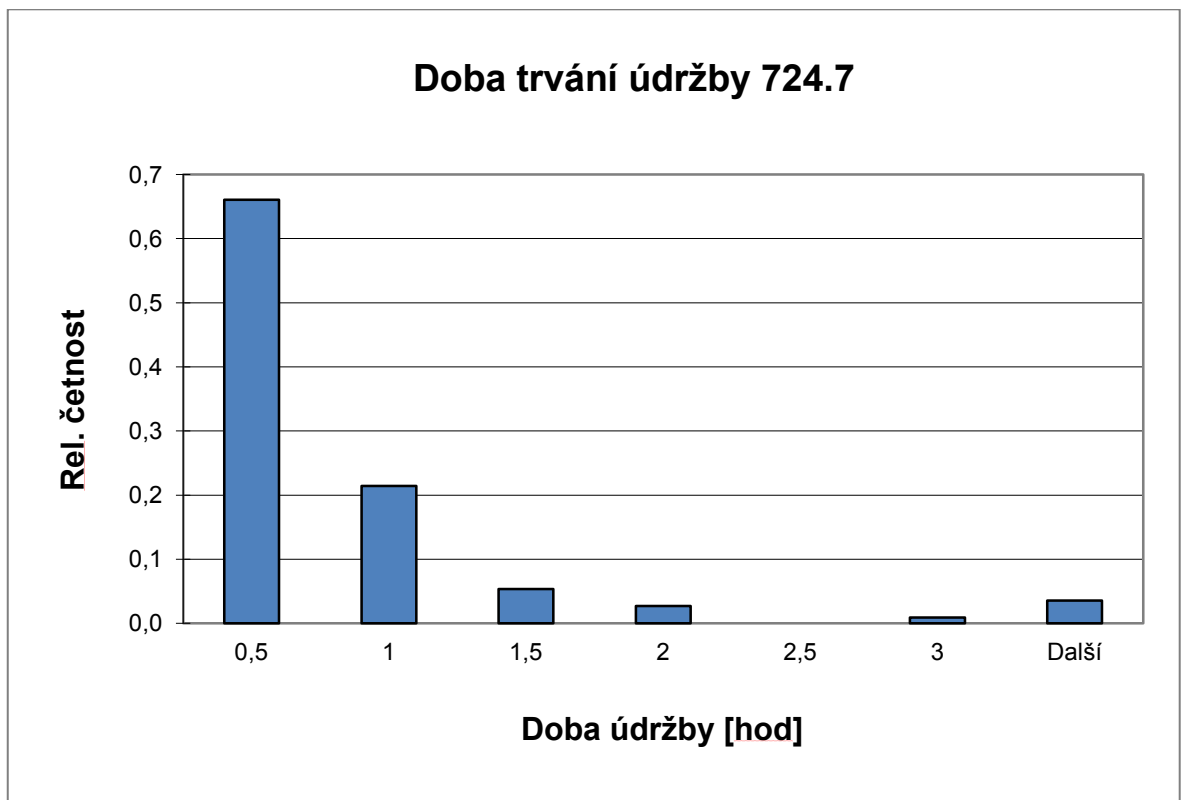
$$T_0 = 20,9 \text{ den}$$

$$T_s = r_0 \cdot \Gamma^{(1 + \frac{1}{m})} \quad (3.1)$$

$$T_s = 20,9 \cdot \Gamma^{(1 + \frac{1}{10,9653})}$$

$T_s = 19,6$ den

3.2.2 Doba trvání údržby



Obr. č. 1.21: Doba trvání údržby

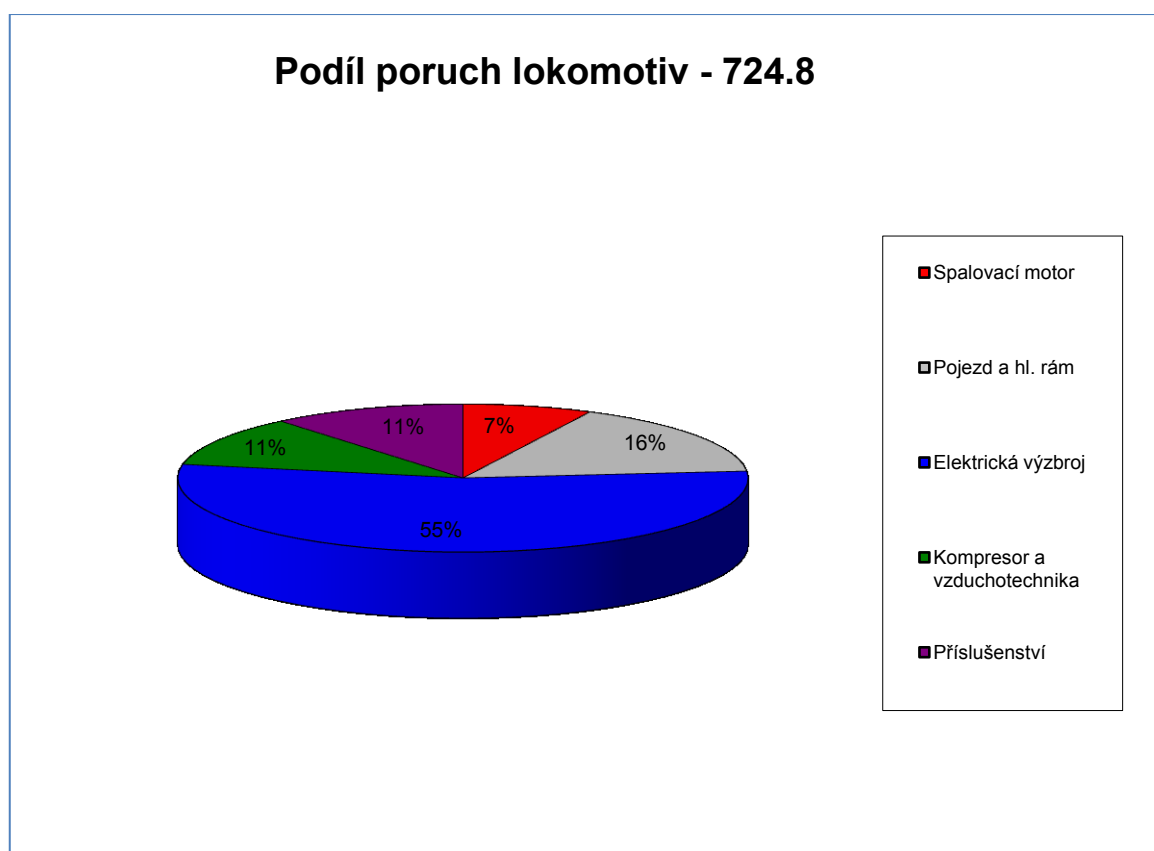
Z analýzy neplánované údržby k odstranění poruch vyplývá, že oprava většiny poruch (více než v 80 % případů) je provedena v době max. 1 hodiny

3.3 lokomotiva 724.8

Při porovnání poruch je zabýváno pěti základními částech lokomotivy-spalovací motor, pojezd a hl. rám, elektrická výzbroj, kompresor a vzduchotechnika a příslušenstvím.

3.3.1 Porovnání poruch

Srovnání poruch je prováděno na základních vozidlových částech a ústrojích lokomotivy

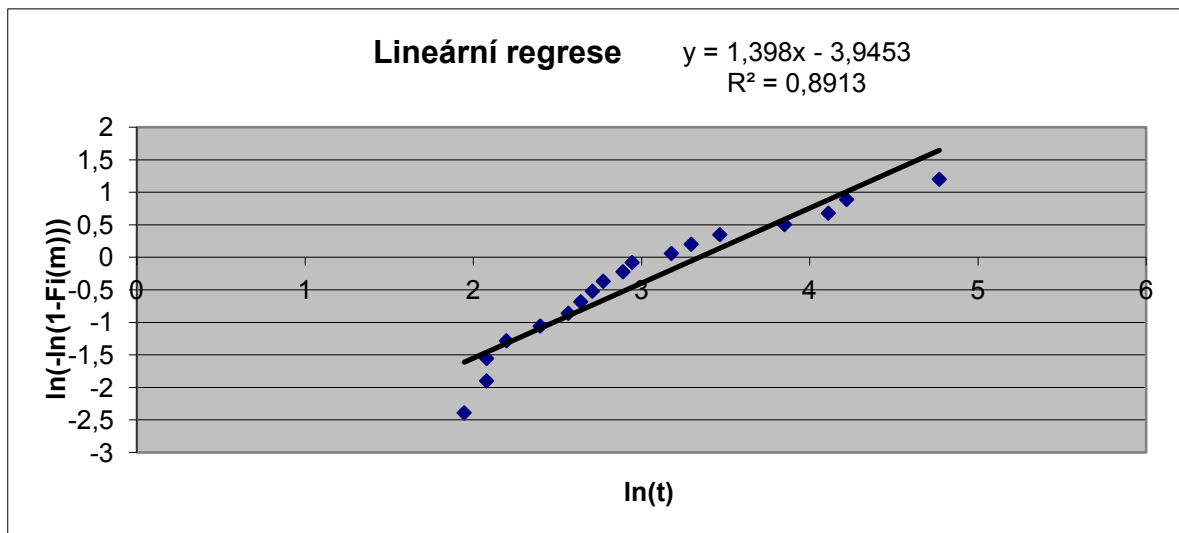


Obr. č. 1.22: podíl poruch

Z tohoto grafu vyplývá, že k nejvýraznějšímu procentuálnímu rozdílu dochází mezi poruchami spalovacího motoru a elektrické výzbroji. Největší poruchovost je u elektrické výzbroji.

3.3.2 Doba mezi poruchami

Po proložení dat spojnici trendu jsem získal rovnici přímky, z které vyčteme parametr tvaru a dopočítám parametr měřítka Weibullova rozdělení. Z takto získaných hodnot dopočítám střední dobu mezi poruchami.



Obr. č. 1.23: Stanovení parametrů rovnice přímky

Parametr tvaru m :

$$y=1,398 \rightarrow m=1,398x$$

$$\rightarrow q = -3,9453$$

Parametr měřítka t_0 :

$$t_0 = e^{-\left(\frac{q}{m}\right)}$$

$$t_0 = e^{-\left(\frac{3,9453}{1,398}\right)}$$

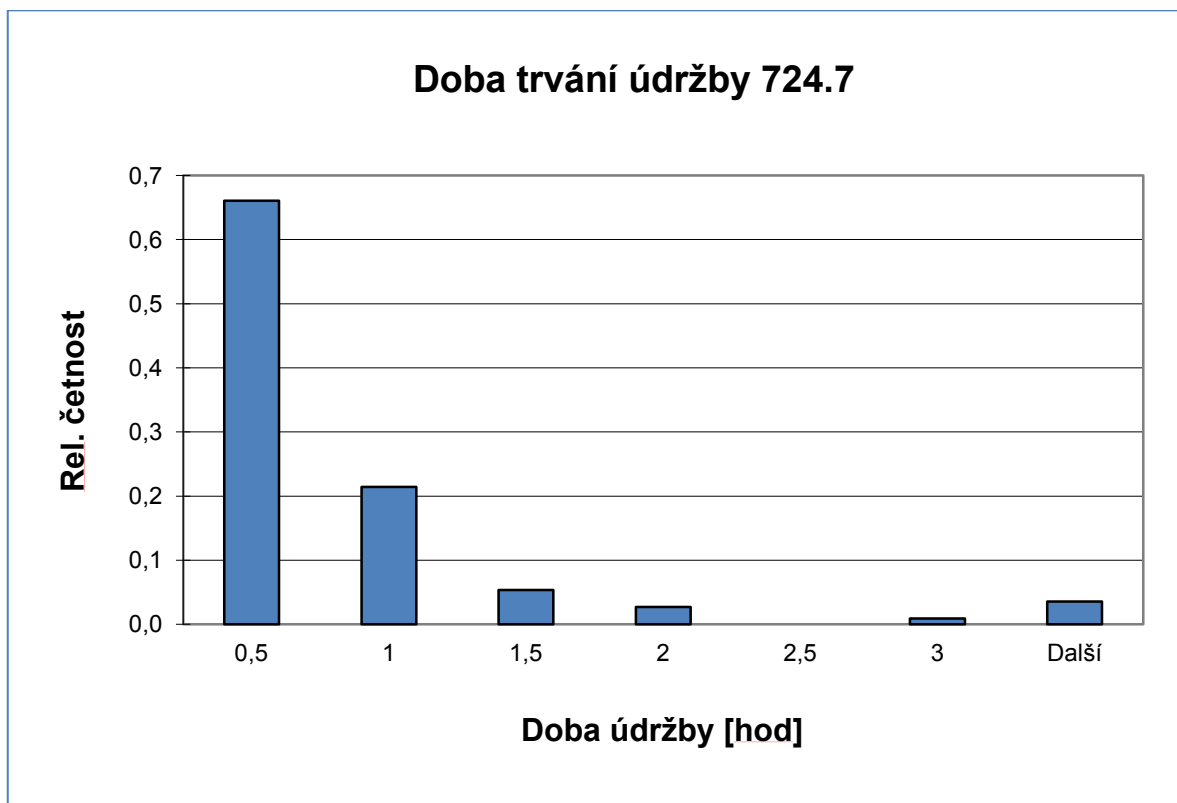
$$T_0 = 16,9 \text{ den}$$

$$T_s = r_0 \cdot \Gamma^{(1 + \frac{1}{m})}$$

$$T_s = 6,9 \cdot \Gamma^{(1 + \frac{1}{1,398})}$$

$T_s = 15,4$ den

3.3.3 Doba trvání údržby



Obr. č. 1.24: Doba trvání údržby

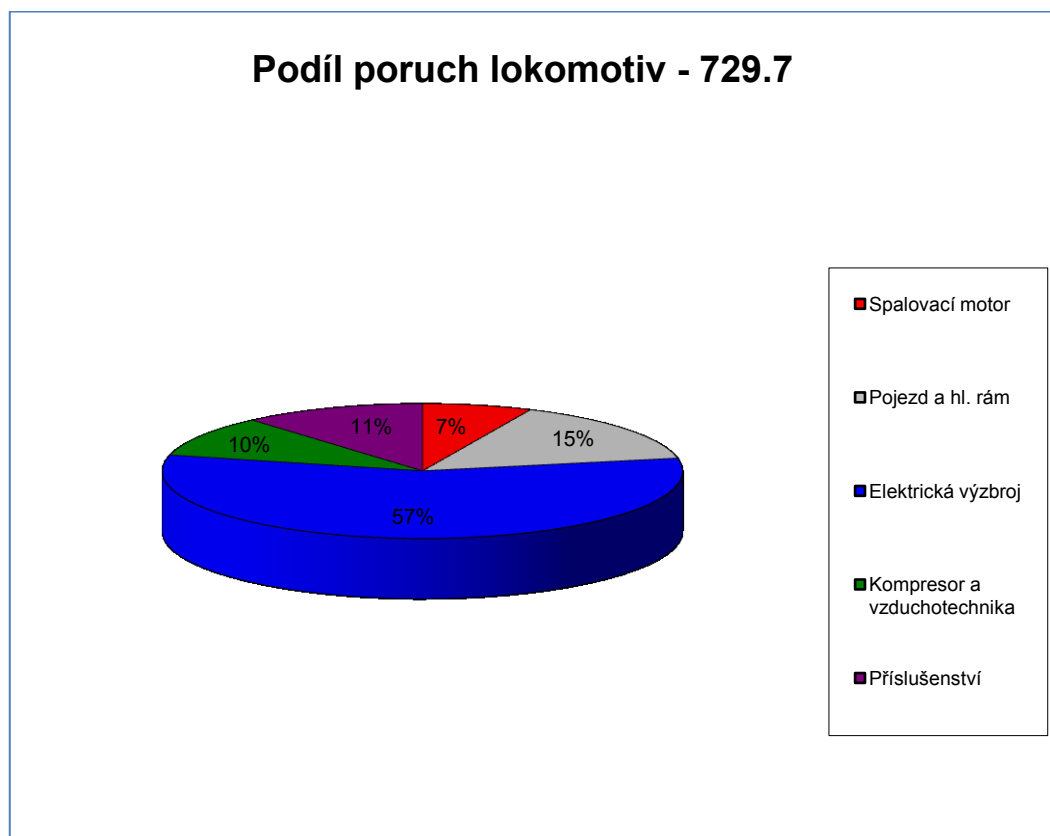
Z analýzy neplánované údržby k odstranění poruch vyplývá, že oprava většiny poruch (více než v 80 % případů) je provedena v době max. 1 hodiny

3.4 lokomotiva 729.7

Při porovnání poruch je zabýváno pěti základními částech lokomotivy-spalovací motor, pojezd a hl. rám, elektrická výzbroj, kompresor a vzduchotechnika a příslušenstvím.

3.4.1 Porovnání poruch

Srovnání poruch je prováděno na základních vozidlových částech a ústrojích lokomotivy

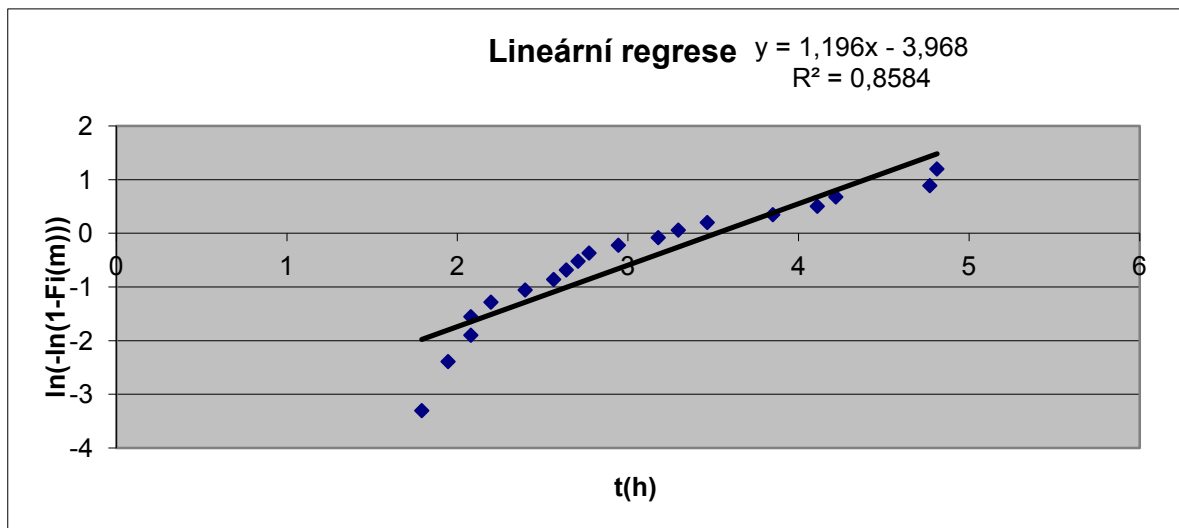


Obr. č. 1.25: podíl poruch

Z tohoto grafu vyplývá, že k nejvýraznějšímu procentuálnímu rozdílu dochází mezi poruchami spalovacího motoru a elektrické výzbroji. Největší poruchovost je u elektrické výzbroji.

3.4.2 Doba mezi poruchami

Po proložení dat spojnicí trendu jsem získal rovnici přímky, z které vyčteme parametr tvaru a dopočítám parametr měřítka Weibullova rozdělení. Z takto získaných hodnot dopočítám střední dobu mezi poruchami.



Obr. č. 1.26: Stanovení parametrů rovnice přímky

Parametr tvaru m :

$$y=1,196 \rightarrow m=1,196x$$

$$\rightarrow q = -3.968$$

Parametr měřítka t_0 :

$$t_0 = e^{-\left(\frac{q}{m}\right)}$$

$$t_0 = e^{-\left(\frac{3,968}{1,196}\right)}$$

$$T_0 = 27,6 \text{ den}$$

Střední doba do poruchy T_S

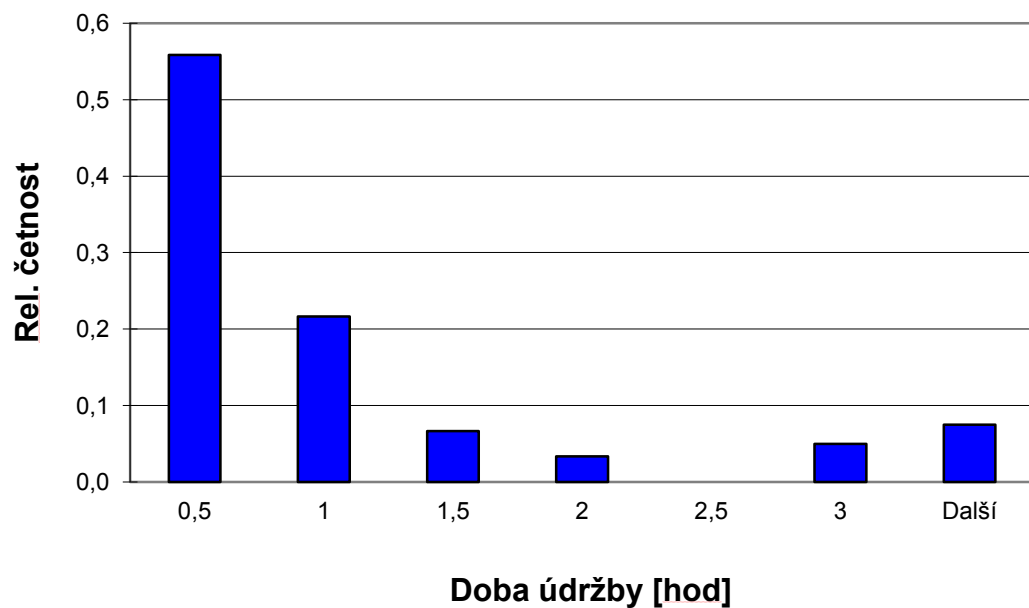
$$T_S = r_0 \cdot \Gamma^{(n+\frac{1}{m})}$$

$$T_S = 17,6 \cdot \Gamma^{(1+\frac{1}{1,196})}$$

$T_S=24,8$ den

3.4.3 Doba trvání údržby

Doba trvání údržby 729.7



Obr. č. 1.27: Doba trvání údržby

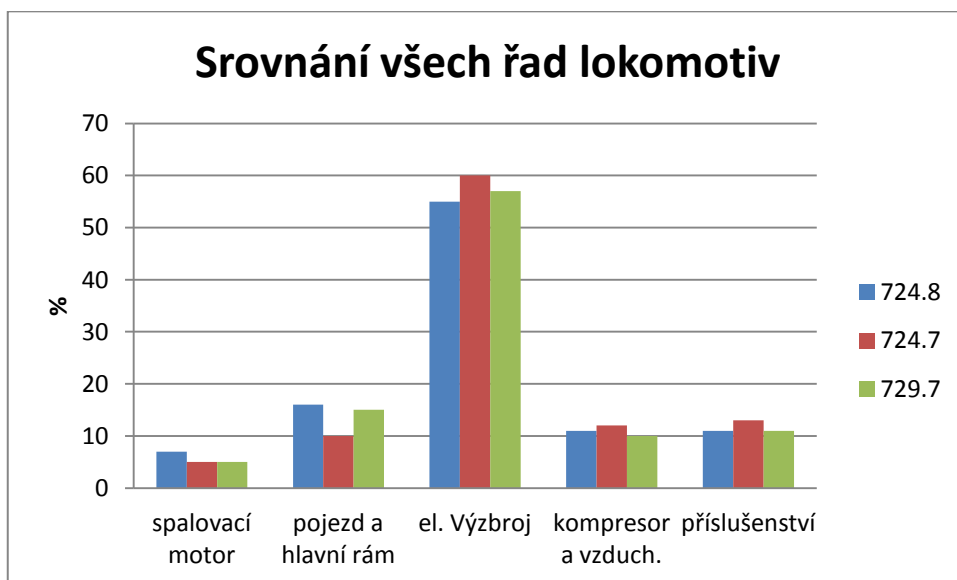
Z analýzy neplánované údržby k odstranění poruch vyplývá, že oprava většiny poruch (více než v 80 % případů) je provedena v době max. 1 hodiny

4. Technické a ekonomické zhodnocení získaných výsledků

Pro stanovení etapy doby života, ve které se výrobek při analýze poruchovosti nachází, má rozhodující význam parametr m , protože charakterizuje příslušnou část vanové křivky.

V mém případě jsou lokomotivy řad 724.8 a 729.7 ve stavu dožívání, protože parametr $m > 1$ a u řady 724.7 je ve stavu technického života, $m=1$

4.1 srovnání řad lokomotiv

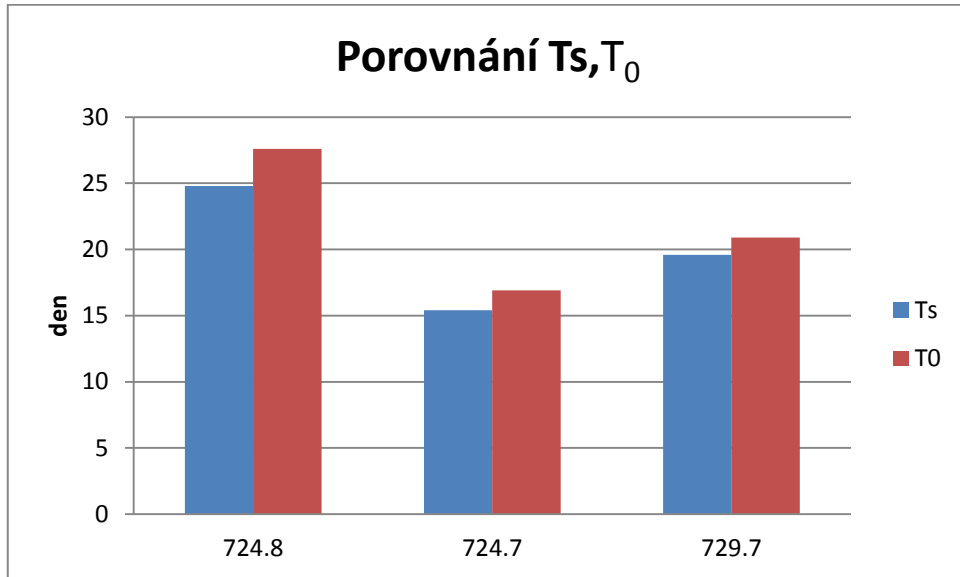


Obr. č. 1.28: Srovnání všech řad lokomotiv

Z grafu vyplývá, že poruchy jsou nejvíce na elektrické výzbroji, naopak nejmenší četnost poruch je u spalovacího motoru. Poruchy u všech tří řad jsou v četnosti poruch u jednotlivých ustrojí lokomotivy téměř identické.

4.2 Srovnání parametrů spolehlivosti

Zde porovnávám parametry T_0 a střední dobu do poruchy T_s



Obr. č. 1.29: Porovnání T_s, T_0

Z grafu je patrné, že nejmenší střední dobu do poruchy má řada 724.7, z tohoto důvodu

Můžu říct, že je nejméně spolehlivá. Naopak nejspolehlivější je řada 724.8.

5. Závěr

Hlavním cílem mé bakalářské práce bylo provést hodnocení provozní spolehlivosti železničních kolejových vozidel na základě analýzy dat.

Z mých výpočtů vyplývá, že parametr měřítka t_0 řady 729.7 je 27,6 den, řady 724.7 je 16,9 den a u řady 724.8 je 20,9 den.

6. Seznam použité literatury

[1] Famfulík, J. Teorie údržby. VŠB – TU Ostrava, 2006. 136 s. ISBN 80-248-1029-8.

[2] Pravděpodobnost a statistika [online], [cit. 25. 3. 2010]. Dostupné na WWW:
<<http://homen.vsb.cz/~oti73/cdpast1/>>.

[3] Famfulík, J; Míková, J; Krzyžanek, R. *Teorie údržby* [online].
1. vydání. Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 2007. 3.3.2008. [cit. 23. 1 2010].
Dostupné WWW: <<http://home1.vsb.cz/~krz011/>>. ISBN 978-80-248-1509-1.

[4] TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Třinec, motorové lokomotivy ČMKS. [cit. 11.3.2010]

[5] Charakteristika CZLOKO [online], [cit. 5. 5. 2011]. Dostupné na WWW:

< <http://www.czloko.cz/cz/produkty-sluzby>>.

[6] Vanová křivka [online], [cit. 5. 5. 2011]. Dostupné na WWW:

< <http://akce.fs.vsb.cz/1999/asr99>>.

[7] Weibullovo rozdělení [online], [cit. 8. 5. 2011]. Dostupné na WWW:

<<http://homen.vsb.cz/~oti73/cdpast1/>>.

7. Seznam obrázků

Obr. č. 1.2: Průměrné stáří jednotlivých typů vozidel.....	8
Obr. č. 1.3: lokomotiva 724.8.....	9
Obr. č. 1.4: lokomotiva 724.7.....	11
Obr. č. 1.5: lokomotiva 729.7	14
Obr. č. 1.6: Spolehlivost dle ISO 9000:2000.....	16
Obr. č. 1.7: Spolehlivost dle ČSN IEC 50 (191)	17
Obr. č. 1.8: Graf kdefinici hustoty pravděpodobnosti spojité náhodné veličiny.....	19
Obr. č. 1.9: Distribuční funkce spojité náhodné veličiny	20
Obr. č. 1.10: průběh hustoty pravděpodobnosti pro $\lambda=0,2$	22
Obr. č. 1.11: průběh hustoty pravděpodobnosti pro $\lambda=0,1$	23
Obr. č. 1.12: Weibullovo rozdělení $F(x)$	24
Obr. č. 1.13: Weibullovo rozdělení $F(x)$	24
Obr. č. 1.14: Vanová křivka	25
Obr. č. 1.15: Parametry rovnice přímky	26
Obr. č. 1.16: Histogram relativní četnosti	27
Obr. č. 1.17: Histogram absolutní četnosti	28
Obr. č. 1.18: směnovnice	30
Obr. č. 1.19: podíl poruch.....	31
Obr. č. 1.20: Stanovení parametrů rovnice přímky	32
Obr. č. 1.21: Doba trvání údržby	33
Obr. č. 1.22: podíl poruch	34
Obr. č. 1.23: Stanovení parametrů rovnice přímky	35
Obr. č. 1.24: Doba trvání údržby	36
Obr. č. 1.25: podíl poruch	37
Obr. č. 1.26: Stanovení parametrů rovnice přímky	38
Obr. č. 1.27: Doba trvání údržby	39
Obr. č. 1.28: Srovnání všech řad lokomotiv	40
Obr. č. 1.29: Porovnání T_s, T	41

8. Seznam tabulek

Tab. 1.1: Přehled vozidlového parku 8

Tab. 1.2: Průměrné stáří jednotlivých řad lokomotiv9