

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Stanovení provozní spolehlivosti hasičských zásahových vozidel

(Determination of Operational Reliability of
Firefighting Vehicles)

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jan Famfulík Ph.D.

Vypracoval: Bc. David Dubový

Ostrava 2020

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. David Dubový**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie

Specializace: 20 Silniční doprava

Téma: Stanovení provozní spolehlivosti hasičských zásahových vozidel
Determination of Operational Reliability of Firefighting Vehicles

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je stanovit dosaženou úroveň provozní bezporuchovosti, udržovatelnosti a pohotovosti vybraných typů zásahových vozidel. Dle výsledků analýzy provozních dat provést vzájemné porovnání hodnocených typů vozidel.

Osnova práce:

1. Popis vozidlového parku.
2. Výpočetní metody pro stanovení spolehlivosti.
3. Zpracování experimentálních dat.
4. Porovnání dosažené úrovně spolehlivosti hodnocených typů vozidel.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

Famfulík, J. a kol. Zkoušky spolehlivosti. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010. ISBN 978-80-248-2277-8.

Famfulík, J. Teorie údržby. VŠB – TU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1029-8.

Dokumentace k programu Weibull++.

Podklady HZS.

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

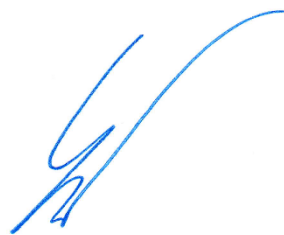
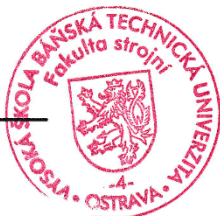
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jan Famfulík, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



prof. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

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

V Ostravě dne 15. května 2020




.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, 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 užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, 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 podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 15. května 2020



.....

Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Bc. David Dubový

Adresa trvalého pobytu autora práce: Březová č.p. 24, 747 44

Poděkování:

Rád bych tímto poděkoval panu doc. Ing. Janu Famfúlíkovi Ph.D. za odborné vedení, konzultace a cenné rady.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

DUBOVÝ, D. *Stanovení provozní spolehlivosti hasičských zásahových vozidel: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy. 2020. Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Famfulík Ph.D.

Diplomová práce se zabývá stanovením provozní spolehlivosti hasičských zásahových vozidel. Je stanovena dosažená úroveň provozní bezporuchovosti, udržovatelnosti a pohotovosti vybraných typů zásahových vozidel. Dle výsledků analýzy provozních dat je provedeno vzájemné porovnání hodnocených typů vozidel.

ANNOTATION DIPLOMA THESIS

DUBOVÝ, D. *Determination of Operational Reliability of Firefighting Vehicles: Diploma Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of transportation, 2020. Thesis head: doc. Ing Jan Famfulík Ph.D.

This diploma thesis focus on determination of the operational reliability of firefighting vehicles. This thesis provides an overview of achieved level of operational reliability, maintainability and readiness of selected types of firefighting vehicles. There is also according to the results of the analysis of operational data, a mutual comparison of the evaluated types of firefighting vehicles is performed.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A_0	pohotovost
c	parametr polohy u Weibullova rozdělení
$D(T)$	rozptyl náhodné veličiny
$E(T)$	střední hodnota náhodné veličiny
$Ex(\lambda)$	exponenciální rozdělení
$F(t)$	distribuční funkce
$f(t)$	hustota pravděpodobnosti
m	parametr tvaru u Weibullova rozdělení
$R(t)$	bezporuchovost
T_s	střední doba do poruchy
T_{su}	střední doba údržby
t	hodnota náhodné veličiny T [h]
t_0	parametr měřítka u Weibullova rozdělení
W_{3p}	tříparametrické Weibullovo rozdělení
W_{2p}	dvouparametrické Weibullovo rozdělení

OBSAH

1. Úvod.....	3
2. Popis vozidlového parku	4
2.1. Tatra 815-2 4x4 CAS20	4
2.1.1. Technické informace	4
2.1.2. Popis vozidla	4
2.2. Tatra 815-7 6x6 CAS 30	6
2.2.1. Technické informace	6
2.2.2. Popis vozidla	6
2.3. Mercedes-Benz Econic CAS 20.....	7
2.3.1. Technické informace	8
2.3.2. Popis vozidla	8
2.4. Scania P480 CB 4x4 CAS20.....	10
2.4.1. Technické informace	10
2.4.2. Popis vozidla	10
2.5. Popis konstrukčních skupin.....	11
2.4.1. Karoserie	11
2.4.2. Brzdy	11
2.4.3. Rám a zavěšení.....	11
2.4.4. Hnací soustava.....	12
2.4.5. Elektronika	12
3. Výpočetní metody pro stanovení spolehlivosti	13
3.1. Základní pojmy	13
3.2. Weibullovo rozdělení	14
3.3. Exponenciální rozdělení.....	17
3.5. Bodový odhad parametrů rozdělení metodou maximální věrohodnosti	19
3.7. Zkoušky Spolehlivosti.....	20
3.8. Korelační analýza.....	24

4.	Zpracování experimentálních dat	26
5.	Porovnání dosažené úrovně spolehlivosti hodnocených typů vozidel	30
5.1.	Střední doba do poruchy dle typů vozidel.....	30
5.2.	Střední doba do poruchy vzhledem ke konstrukčním skupinám	35
5.3.	Střední doba v údržbě.....	38
5.4.	Korelace	42
5.5.	Pohotovost.....	47
6.	Závěr	51
7.	Seznam použité literatury.....	52
8.	Seznam obrázků, tabulek a grafů	53
9.	Seznam příloh.....	55

1. ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá problematikou spolehlivosti hasičských zásahových vozidel v Moravskoslezském a Jihomoravském kraji, konkrétně 4 typů vozidel, které v těchto krajích jezdí. Jsou to vozidla Mercedes-Benz Econic CAS20, Tatra 815-2 4x4 CAS20, Tatra 815-7 6x6 CAS30 a Scania P480 CB 4x4 CAS20. Spolehlivost je zkoumaná dohromady na 73 vozidlech.

Cílem práce je stanovit dosaženou úroveň provozní bezporuchovosti, udržitelnosti a pohotovosti vybraných typů zásahových vozidel. Dle výsledků analýzy provozních dat provést vzájemné porovnání a hodnocení typů vozidel.

2. POPIS VOZIDLOVÉHO PARKU

2.1. Tatra 815-2 4x4 CAS20

2.1.1. Technické informace

Název požární nástavby:	CAS
Hlavní výkonový parametr:	20
Rozměry:	
Šířka (mm):	2550
Výška (mm):	3150
Délka (mm):	8070
Hmotnosti:	
Provozní hmotnost (Kg):	12600
Největší přípustná hmotnost vozidla (Kg):	18000
Největší přípustná hmotnost soupravy (Kg):	21500
Maximální rychlost (km/hod):	
Zdvihový objem (cm³):	12667
Výkon motoru (kW):	325
Počet náprav:	2
Počet míst k sezení:	6

2.1.2. Popis vozidla

Podvozek

Vozidlo je vybaveno dvounápravovým podvozkem T815-231R55/411. Podvozek je vybaven stálým pohonem zadní nápravy s možností připojení přední nápravy.

Motor

Vozidlo je vybaveno motorem splňujícím normu EURO 5. Motor je vznětový, čtyřdobý, přeplňovaný, vzduchem chlazený s rozvodem OHV.

Převodovka

Vozidlo je vybaveno systémem NORGREN, což je systém s elektronickým řazením převodovky. K volbě stupně se používá joystick, řazení proběhne automaticky po vypnutí spojky.

Brzdy

Ve vozidle se nachází čtyři na sobě nezávislé systémy brzd.

Provozní – pneumatická, dvouokruhová, působící na všechna kola, ovládaná pedálem

Nouzová – pružinové brzdové válce působící na kola zadní nápravy, ovládána ručním ventilem

Parkovací – pružinové brzdové válce působící na kola zadní nápravy, ovládána ručním ventilem

Odlehčovací – motorová, uzavírá výfukové potrubí, ovládaná páčkou pod volantem

Kabina řidiče

Kabina je sklopná, čtyřdveřová, celokovová. Je vybavena dvěma řadami sedadel pro osádku o 6 členech. Všechna sedadla jsou vybavena tříbodovým pásem.

Přední řada je tvořena dvěma sedadly určenými pro řidiče a velitele vozu. Sedadlo velitele vozu je vybaveno držákem dýchacího přístroje. Před sedadlem velitele vozu je umístěna lampička pro čtení map.

Zadní řada je určena pro čtyři členy osádky. Každé sedadlo je vybaveno držákem dýchacího přístroje. Mezi těmito držáky jsou místa pro 3 záložní láhve. Pod výklopnými sedadly je umístěn úložný prostor pro osobní ochranné prostředky.

V kabině je nainstalováno spousta dalšího vybavení pro usnadnění a urychlení práce hasičů. [8]



Obrázek 1 - Tatra 815-2 4x4 CAS20 [8]

2.2. Tatra 815-7 6x6 CAS 30

2.2.1. Technické informace

Název požární nástavby:	CAS
Hlavní výkonový parametr:	30
Rozměry:	
Šířka (mm):	2550
Výška (mm):	2960
Délka (mm):	9190
Hmotnosti:	
Provozní hmotnost (Kg):	14500
Největší přípustná hmotnost vozidla (Kg):	25000
Maximální rychlost (km/hod):	
	110
Zdvihový objem (cm3):	12667
Výkon motoru (kW):	325
Počet náprav:	3
Počet míst k sezení:	6

2.2.2. Popis vozidla

Podvozek

Třínápravový podvozek T 815-7 6x6.1. se zadním pohonem a s připojitelným předním a s průběžným rámem.

Motor

Vozidlo je vybaveno motorem splňujícím normu EURO 5. Motor je vznětový, přeplňovaný, vzduchem chlazený s přímým vstřikováním paliva.

Převodovka

Hnací ústrojí je vybaveno převodovkou s automatickým řazením převodových stupňů a s hydrodynamickým měničem. Tato převodovka je vhodná pro jízdu po nepevných komunikacích, při brodění, na sněhu i na blátě, jelikož u ní nedochází k přerušení točivého momentu.

Brzdy

Ve vozidle se nachází čtyři na sobě nezávislé systémy brzd.

Provozní – pneumatická, dvouokruhová, působící na všechna kola, ovládaná pedálem

Nouzová – pružinové brzdové válce působící na kola zadní nápravy, ovládána ručním ventilem

Parkovací – pružinové brzdové válce působící na kola zadní nápravy, ovládána ručním ventilem

Odlehčovací – motorová, uzavírá výfukové potrubí, ovládaná páčkou pod volantem

Kabina řidiče

Kabina je sklopná, čtyřdveřová, celokovová. Je vybavena dvěma řadami sedadel pro osádku o 6 členech. Všechna sedadla jsou vybavena tříbodovým pásem.

Přední řada je tvořena dvěma sedadly určenými pro řidiče a velitele vozu. Sedadlo velitele vozu je vybaveno držákem dýchacího přístroje. Před sedadlem velitele vozu je umístěna lampička pro čtení map.

Zadní řada je určena pro čtyři členy osádky. Každé sedadlo je vybaveno držákem dýchacího přístroje. Mezi těmito držáky jsou místa pro 3 záložní láhve. Pod výklopnými sedadly je umístěn úložný prostor pro osobní ochranné prostředky. [7]

V kabině je nainstalováno spousta dalšího vybavení pro usnadnění a urychlení práce hasičů.



Obrázek 2 - Tatra 815-7 6x6 CAS30 [4]

2.3. Mercedes-Benz Econic CAS 20

2.3.1. Technické informace

Název požární nástavby:	CAS
Hlavní výkonový parametr:	20
Rozměry:	
Šířka (mm):	2550
Výška (mm):	3150
Délka (mm):	8350
Hmotnosti:	
Provozní hmotnost (Kg):	18000
Největší přípustná hmotnost vozidla (Kg):	20000
Maximální rychlost (km/hod):	
Zdvihový objem (cm3):	7201
Výkon motoru (kW):	240
Počet náprav:	2
Počet míst k sezení:	6

2.3.2. Popis vozidla

Podvozek

Dvounápravový podvozek M-B Econic 1833LL 4x2 s pohonem zadní nápravy a průběžným rámem. Podvozek je určen pro provoz na zpevněných komunikacích. Na zadní nápravě je diferenciál s uzávěrkou.

Motor

Vozidlo je vybaveno motorem splňujícím normu EURO 5. Motor je vznětový, čtyřdobý, přeplňovaný.

Převodovka

Převodovka je vybavena dvěma přídatnými pohony, a to pro pohon vodního čerpadla a pro vyprošťovací naviják.

Brzdy

Brzdy jsou kotoučové s automatickým nastavením. Brzdový systém je dvouokruhový tlakovzdušný. Vozidlo je vybaveno systémy ABS a ASR.

Kabina řidiče

Kabina je sklopná, čtyřdveřová. Přední část kabiny je ocelová a zadní část plastová. Kabina je vybavena dvěma řadami sedadel pro osádku o 6 členech. Všechna sedadla jsou vybavena tříbodovým pásem.

Přední řada je tvořena dvěma sedadly určenými pro řidiče a velitele vozu. Sedadlo velitele vozu je vybaveno držákem dýchacího přístroje. Před sedadlem velitele vozu je umístěna lampička pro čtení map.

Zadní řada je určena pro čtyři členy osádky. Každé sedadlo je vybaveno držákem dýchacího přístroje. Mezi těmito držáky jsou místa pro 3 záložní láhve. Pod výklopnými sedadly je umístěn úložný prostor pro osobní ochranné prostředky.

Pro vstup do zadních dveří kabiny jsou výklopné osvětlené schůdky. Tyto schůdky se automaticky vykloupí při otevření dveří. Vyklápění těchto schůdků zajišťuje hydraulický systém. [9]



Obrázek 3 - Mercedes-Benz Econic CAS 20 [9]

2.4. Scania P480 CB 4x4 CAS20

2.4.1. Technické informace

Název požární nástavby:	CAS
Hlavní výkonový parametr:	20
Rozměry:	
Šířka (mm):	2550
Výška (mm):	3100
Délka (mm):	8370
Hmotnosti:	
Provozní hmotnost (Kg):	11600
Největší přípustná hmotnost vozidla (Kg):	18000
Maximální rychlost (km/hod):	
Zdvihový objem (cm³):	12667
Výkon motoru (kW):	353
Počet náprav:	2
Počet míst k sezení:	6

2.4.2. Popis vozidla

Podvozek

Dvounápravový podvozek PB 480 CB 4x4 s pohonem obou náprav Podvozek je určen pro provoz na zpevněných komunikacích. Na zadní nápravě je diferenciál s uzávěrkou.

Motor

Vozidlo je vybaveno motorem D13 111. [6]



Obrázek 4 - Scania P480 CB 4x4 [5]

2.5. Popis konstrukčních skupin

Vozidla jsou rozdělena do několika konstrukčních skupin. Skupiny a jejich popis nalezneme v následujících odstavcích.

2.4.1. Karoserie

Do této skupiny je zařazena kabina řidiče a veškeré její konstrukční části včetně jejího zvedání. V této skupině je zahrnuta i veškerá elektronika týkající se karoserie. Je zde zařazeno i osvětlení vozidla (dálkové, potkávací, brzdové, mlhové, couvací apod.) mimo jeho elektronické části. V této konstrukční skupině se nachází i výstroj vozidla (topení, klimatizace atd.) včetně její elektroniky.

Souhrn:

- kabina
- systém zvedání kabiny
- elektronika v kabině
- výstroj vozidla (topení, klimatizace apod.) včetně elektroniky
- světla (dálková, potkávací, brzdová, mlhová, couvací,) mimo jejich elektronické části.

2.4.2. Brzdy

V této skupině jsou zařazeny mechanické, pneumatické a hydraulické části brzd. V této skupině není zařazena elektronika.

2.4.3. Rám a zavěšení

Do této skupiny patří:

- rám
- zavěšení
- řízení
- kola (náboje, disky, pneu)

Do této skupiny nepatří elektronika těchto konstrukčních součástí.

2.4.4. Hnací soustava

V této skupině nalezneme hnací soustavu vozidla, která přenáší točivý moment od motoru včetně, až po hřídele nesoucí jeho moment, mimo jejich elektroniku.

Konkrétně:

- motor
- spojka
- převodovka
- rozvodovka
- hřídele přenášející moment ke kolům
- diferenciál

2.4.5. Elektronika

Zde je zařazena elektronika jednotlivých součástí vozidla (např. elektronika motoru, posilovačů, asistenčních systému, řídicí jednotky). Do této skupiny nejsou zařazeny poruchy elektroniky, které se týkají kabiny řidiče a osvětlení vozidla.

Například:

- elektronika hnací soustavy
- elektronika asistenčních systému
- řídicí jednotky

3. VÝPOČETNÍ METODY PRO STANOVENÍ SPOLEHLIVOSTI

3.1. Základní pojmy

Distribuční funkce

Je to pravděpodobnost, že náhodná veličina T nabude hodnoty menší nebo rovné zadané hodnotě t . Je to jeden z prostředků popisu zákona rozdělení. Distribuční funkce je definována:

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_{-\infty}^t f(t)dt \quad (1)$$

Vlastnosti distribuční funkce:

- Nabývá hodnot z intervalu $\langle 0,1 \rangle$.
- Není klesající, tedy $F(t_2) \geq F(t_1)$, pro všechna $t_2 \geq t_1$.
- Pro diskrétní náhodnou veličinu je distribuční funkce dána:

$$F(X \leq a) = \sum_{i=1}^a p(x_i) \quad (2)$$

- Mezi hustotou pravděpodobnosti a distribuční funkcí je vztah:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad \text{předpokládáme-li, že daná derivace existuje.} \quad (3)$$

Bezporuchovost

Pravděpodobnost bezporuchového stavu neboli bezporuchovost se definuje jako doplněk k distribuční funkci a má tedy vztah:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (4)$$

Bezporuchovost lze také definovat pomocí intenzity poruch λ :

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \quad (5)$$

Intenzita poruch

Intenzita náhodné veličiny (poruch) λ je definovaná jako podmíněná pravděpodobnost, že jev nastane za nekonečně malý okamžik dt , jestliže jev do okamžiku t ještě nenastal.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad [1/h] \text{ nebo } [1/1000 \text{ km}] \quad (6)$$

Hustota pravděpodobnosti

Funkcí vyjadřující pravděpodobnost, že jev nastane za nekonečně malý okamžik, jestliže však již nenastal nazýváme hustota pravděpodobnosti a vypočítáme ji:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (7)$$

3.2. Weibullovo rozdělení

Weibullovo rozdělení se velice často používá k modelování průběhu náhodné veličiny ve spolehlivosti. Díky jeho variabilitě je s oblibou využíváno při posuzování bezporuchovosti technických objektů. Toto rozdělení dokáže nahradit i jiné rozdělení, a to například exponenciální, Rayleighovo a aproximuje normální rozdělení. Pro veškeré data nám tedy stačí jeden typ rovnice a nemusíme pracovat s rovnicemi jiných rozdělení. Toto nám usnadňuje práci s výpočty třeba v prostředí tabulkového procesoru.

Prof. Weibull odvodil tříparametrické rozdělení značící se W3p. V běžných výpočtech se však častěji využívá zjednodušené dvouparametrické rozdělení, které se značí W2p. To vzniká tím že se parametr polohy $c = 0$.

Vztah distribuční funkce $F(t)$ tříparametrického Weibullova rozdělení:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-c}{t_0}\right)^m} \quad [-] \quad (8)$$

t_0 ... parametr měřítka, $t_0 > 0$ (Někdy označován β)

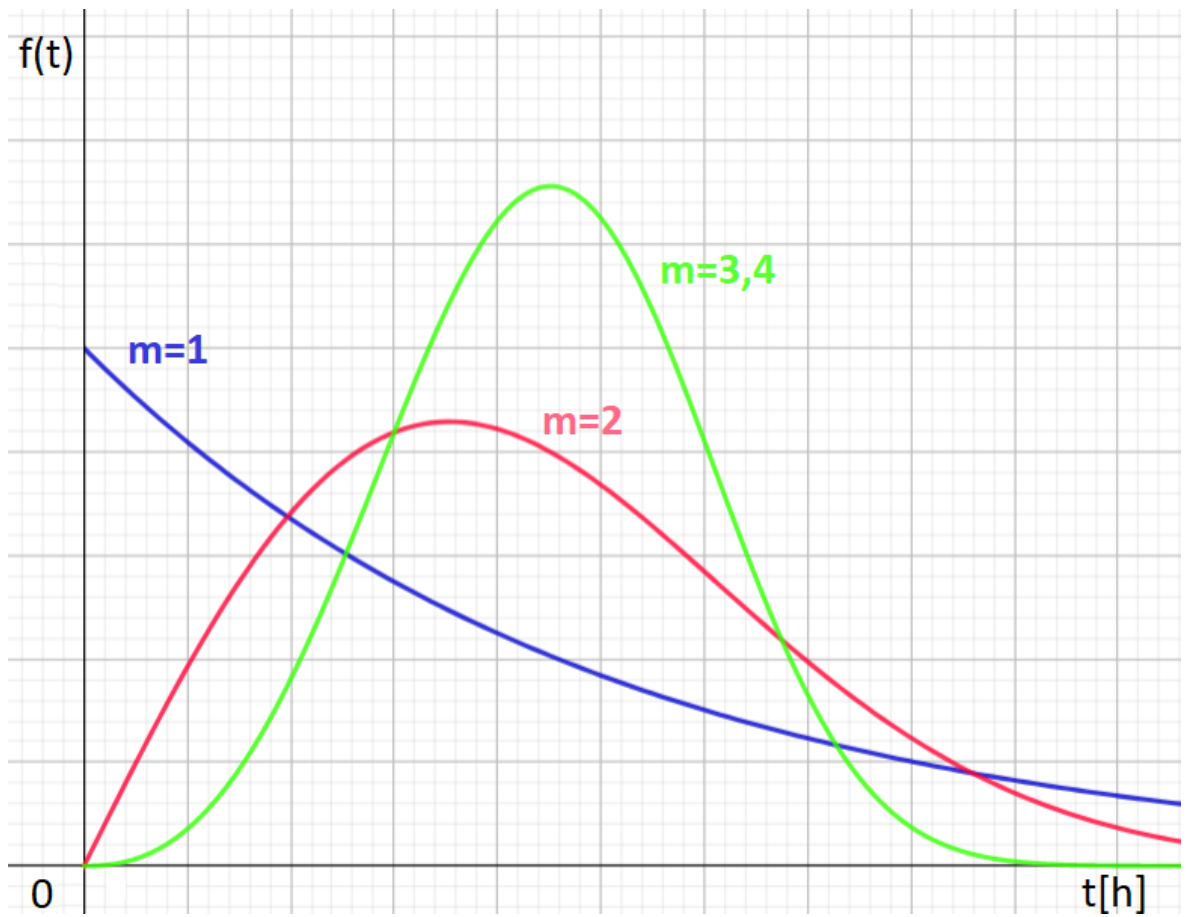
c ... parametr polohy, $c \geq 0$

m ... parametr tvaru, $m > 0$ (někdy označován α)

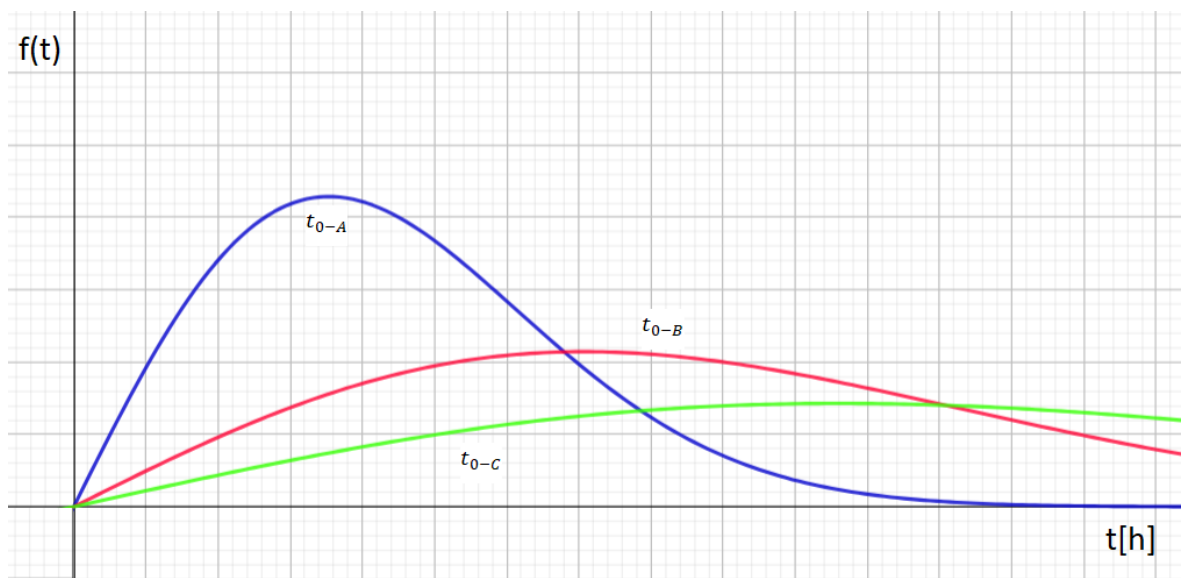
t ... hodnota náhodné veličiny T [h]

Vztah pro Hustotu pravděpodobnosti:

$$f(t) = \frac{m}{t_0} \cdot \left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m\right] \quad [-] \quad (9)$$



Graf 1 - Vliv změny parametru tvaru m na hustotu pravděpodobnosti [1]



Graf 2 - Vliv změny parametru měřítka t_0 na hustotu pravděpodobnosti [1]

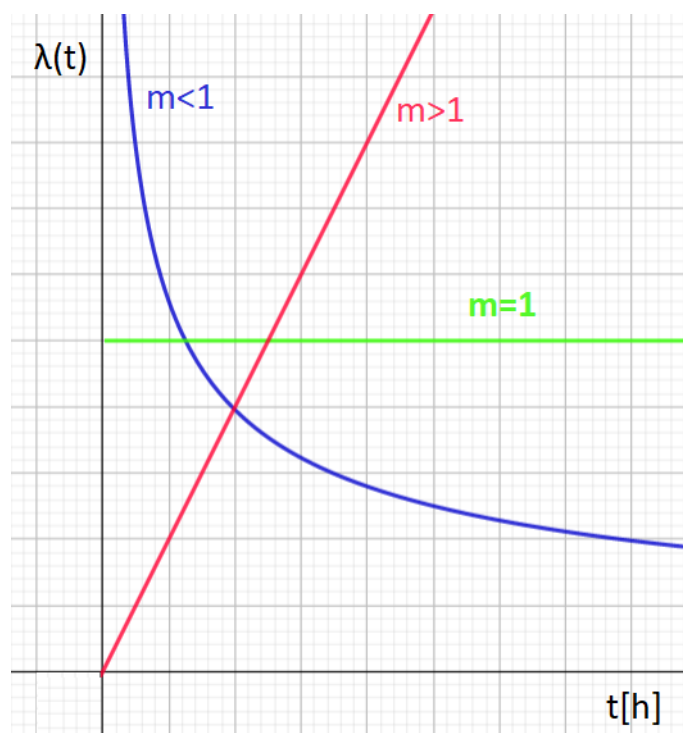
Vztah bezporuchovosti (pravděpodobnosti bezporuchového stavu) $R(t)$:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad [-] \quad (3)$$

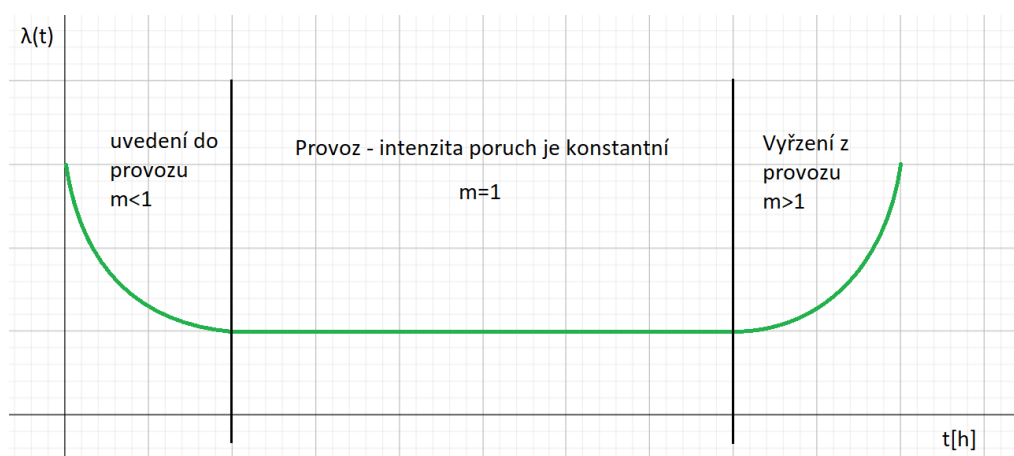
Vztah intenzity poruch $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = \frac{m}{t_0} \cdot \left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} \quad (10)$$

Průběh intenzity poruch závisí na změně hodnoty parametru tvaru m . V různých fázích životního cyklu může mít různý průběh (rostoucí, konstantní, klesající) viz graf 3 a 4.



Graf 3 - Vliv změny parametru tvaru m na intenzitu poruch [1]



Graf 4 - Intenzita Poruch $\lambda(t)$ v závislosti na čase t [2]

Rozptyl $D(T)$ náhodné veličiny a její střední hodnota $E(T)$ jsou:

$$D(T) = t_0 \cdot \left[\Gamma \cdot \left(1 + \frac{2}{m} \right) - \Gamma^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{m} \right) \right] \quad (11)$$

$$E(T) = t_0 \cdot \Gamma \cdot \left(1 + \frac{1}{m} \right) \quad (12)$$

3.3. Exponenciální rozdělení

Toto rozdělení se využívá pro popis doby vzniku náhodného jevu v Poissonově jevu, který je charakteristický konstantní intenzitou výskytu tohoto jevu. Exponenciální rozdělení se označuje $\text{Ex}(\lambda)$. Ve spolehlivosti je toto rozdělení vhodné využívat pro systémy, u kterých nedochází k opotřebení. V těchto systémech tedy vznikají poruchy náhle.

Rozdělení je určeno jedním parametrem, parametrem λ intenzita poruch.

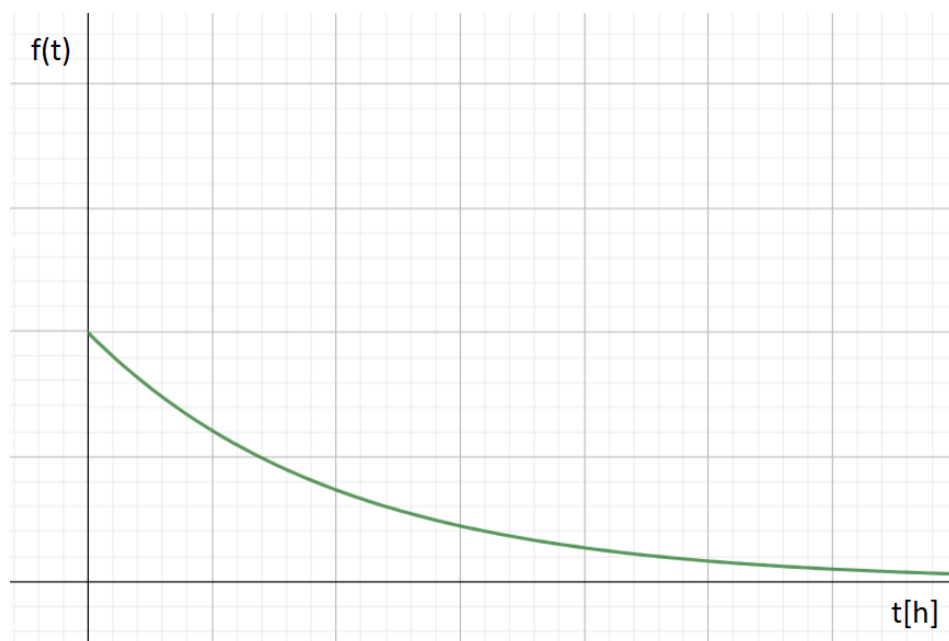
Vztah pro hustotu pravděpodobnosti $f(t)$:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} \quad [-] \quad (13)$$

Kde:

t ... hodnota náhodné veličiny T[h], $t \geq 0$

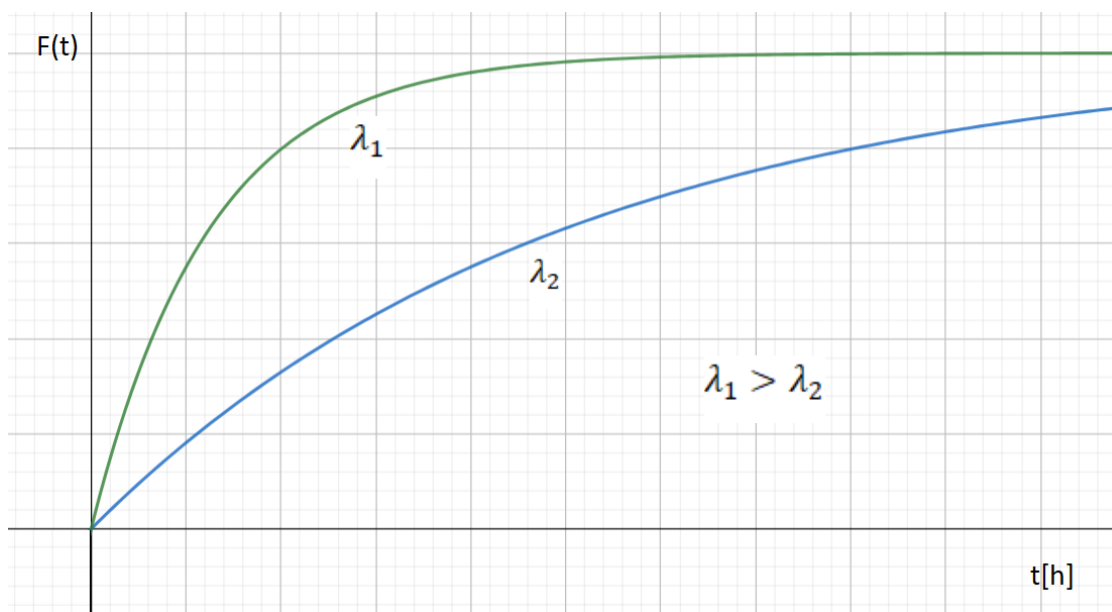
λ ... intenzita porucha [h^{-1}], $\lambda > 0$



Graf 5 - Průběh hustoty pravděpodobnosti [1]

Vztah distribuční funkce $F(t)$ je:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} \quad [-] \quad (14)$$



Graf 6 - Průběh $F(t)$ pro různé hodnoty λ [1]

Vztah pro bezporuchovost (pravděpodobnost bezporuchového stavu) $R(t)$:

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t} \quad [-] \quad (15)$$

Parametr rozdělení λ je rovna intenzitě poruch exponenciálního rozdělení. Intenzita poruch je proto konstantní.

$$\lambda = \lambda(t) = konst. \quad [h^{-1}] \quad (16)$$

Střední hodnota rozdělení T_s , neboli střední doba do poruchy má rozměr například v čase, v cyklech nebo ve vzdálenosti [2],[3].

$$T_s = \frac{1}{\lambda} \quad [-] \quad (17)$$

3.5. Bodový odhad parametrů rozdělení metodou maximální věrohodnosti

Metodu maximální věrohodnosti je vhodné používat pro bodový odhad parametrů rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny, která dosahuje kvalitních výsledků. Náhodných výběrů by měl být větší počet a to minimálně 30 hodnot. S rostoucím počtem hodnot roste přesnost této metody.

Metoda má za úkol zkonstruovat funkci věrohodnosti pro náhodný výběr $t_1, t_2 \dots t_n$, pocházející z populace, která tvoří určité rozdělení pravděpodobnosti $f(t; \theta)$ s neznámými nebo neznámou hodnotou parametrů θ .

Funkci věrohodnosti tedy definujeme jako sdruženou hustotu pravděpodobnosti n nezávislých proměnných se shodným rozdělením:

$$L(t_1, t_2 \dots t_n; \theta) = \prod_{i=1}^n f(t; \theta) \quad (16)$$

Hustotu parametru θ získáme nalezením lokálního extrému funkce věrohodnosti. Z důvodu snadnějšího výpočtu funkce věrohodnosti přechází do logaritmického tvaru Λ :

$$\Lambda = \ln L(t_1, t_2 \dots t_n) = \sum_{i=1}^n \ln f(t; \theta) \quad (17)$$

Nalezením lokálního extrému funkce Λ získáme neznámý parametr θ :

$$\frac{\partial \Lambda}{\partial \theta} = 0 \quad (20)$$

Metodu maximální věrohodnosti pro bodový odhad parametrů rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny si předvedeme na příkladu pro exponenciální rozdělení. Exponenciální rozdělení je popsáno parametrem λ , s hustotou pravděpodobnosti:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad [-] \quad (18)$$

Funkce věrohodnosti pocházející z exponenciálního rozdělení je pak:

$$L(t_1, t_2 \dots t_n; \lambda) = \lambda^n \cdot e^{-\lambda \cdot \sum_{i=1}^n t_i} \quad (22)$$

Logaritmováním získáme funkce se získáme funkci Λ :

$$\Lambda = \ln(\lambda^n \cdot e^{-\lambda \cdot \sum_{i=1}^n t_i}) = n \cdot \ln \lambda - \lambda \cdot \sum_{i=1}^n t_i \quad (19)$$

V dalším kroku nalezneme lokální extrém funkce Λ :

$$\frac{\partial \Lambda}{\partial \lambda} = \frac{\partial (n \cdot \ln \lambda - \lambda \cdot \sum_{i=1}^n t_i)}{\partial \lambda} = 0 \quad (24)$$

$$\frac{\partial \Lambda}{\partial \lambda} = n \cdot \frac{1}{\lambda} - \sum_{i=1}^n t_i = 0 \quad (20)$$

Vyřešením rovnice získáme maximálně věrohodný odhad parametru λ :

$$\lambda = \frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i} [h^{-1}] \quad (21)$$

Díky platným vztahům mezi střední hodnotou $E(T)$ a intenzitou poruch λ víme:

$$E(T) = \frac{1}{\lambda} [h] \quad (22)$$

$$E(T) = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} [h] \quad (28)$$

3.7. Zkoušky Spolehlivosti

Zkoušky spolehlivosti vycházejí ze stochastického charakteru k plánování a vyhodnocování zkoušek. To znamená, že se pracuje s náhodnou veličinou. Důležitou roli při popisu a zkoumání náhodných veličin hraje pravděpodobnost, z tohoto důvodu s ní při zkouškách spolehlivosti musíme počítat.

Zkoušky spolehlivosti provádíme z důvodu experimentálního určení ukazatelů spolehlivosti. Ukazatelem rozumíme typ a parametry rozdělení náhodné veličiny, jenž popisuje daný jev. V našem případě za zkoumaný jev považujeme dobu do poruchy (bezporuchovost), dobu údržby (udržovatelnost) a pohotovost daného výrobku ku příkladu vozidla [3].

Dělení zkoušek spolehlivosti dle jejich cíle:

Ověřovací zkoušky – Tyto zkoušky mají za cíl ověřit, zda hodnota zjištěných ukazatelů odpovídá předem určeným požadavkům.

Zrychlené zkoušky – Cílem těchto zkoušek je získat informace dříve, než by odpovídalo technickou dokumentací stanoveným pracovním podmínkám. Využívají se při zjišťování doby života elektronických součástí a systému.

Zkrácené zkoušky – Tyto zkoušky ověřují stanovené ukazatele již za dřívějšího ukončení zkoušky. Nečeká se až porucha vznikne i u dalších subsystému. Typickým příkladem může být čtyřválcový spalovací motor. Zkoušku ukončíme již při poruše prvního válce motoru a nečekáme až se pokazí i válce zbývající.

Zkušební plán cenzurovaný dobou do poruchy t-plán

Jednou ze základních skupin zkušebních plánů je tzv. t-plán. V tomto případě je zkouška závislá na čase, což znamená že je zkouška limitovaná dobou trvání t_0 a náhodnou veličinou je počet poruch. Výrobky po poruše se buď nenahrazují, nahrazují nebo opravují. Tímto způsobem vzniklé soubory údajů nazýváme cenzurované soubory II. typu nebo soubory cenzurované dobou trvání zkoušky.

Zkušební plán cenzurovaný počtem poruch r-plán

Tato zkouška je závislá na počtu poruch. Počet poruch výrobků r_0 je předem stanoven a po jeho dosažení zkouška končí. Náhodnou veličinou je doba do poruchy. Výrobky po poruše se buď opravují, nahrazují nebo nenahrazují. Tímto způsobem vzniklé soubory údajů nazýváme cenzurované soubory I. typu nebo soubory cenzurované počtem poruch.

Úplný zkušební plán

Podmínkou této zkoušky je, že dojde k poruše u všech sledovaných výrobků nebo systému, jenž byly vybrány z populace. Zkouška se ukončuje poruchou. Výrobky nejsou nahrazovány ani opravovány.

Zkušební plán progresivně cenzurovaný

Tento zkušební plán je cenzurovaný jak dobou do poruchy, tak i počtem poruch. Výrobky jsou z populace vybrány do dvou skupin. Jedna skupina je cenzurovaná počtem poruch a ta druhá je omezená celkovou dobou zkoušky.

Značení zkušebních plánů:

Zkušební plány se z pravidla značí v tomto tvaru $[n, X, Y]$ kde:

n ... počet zkoušených výrobků

Za X dosazujeme U, R nebo M, kde:

U... výrobek je po poruše vyřazen ze zkoušky

R... výrobek je po poruše nahrazen novým

M... výrobek je po poruše opraven a dále pokračuje

Za Y dosazujeme r nebo t, kde:

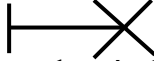
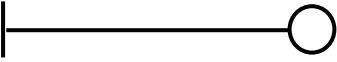
r... označení r-plánu

t... označení t-plánu

V našem případě jsou zkušební plány označeny $[n, M, t]$.

Časové veličiny zkušebních plánů:

V případě zkoušek spolehlivosti s využitím zkušebních plánů jsou určující časové veličiny, jež popisují chování výrobků. V případě že stanovíme maximální dobu zkoušky přicházejí v úvahu dva možné případy:

- Jestliže v čase t_i nastane u výrobku porucha a současně je doba t_i menší než doba zkoušky $t_i \leq t_0$, pak tento stav označujeme symbolem: 
- Jestliže před stanoveným koncem zkoušky t_0 nenastane porucha výrobku pak se jedná o neukončený interval a značí se symbolem: 

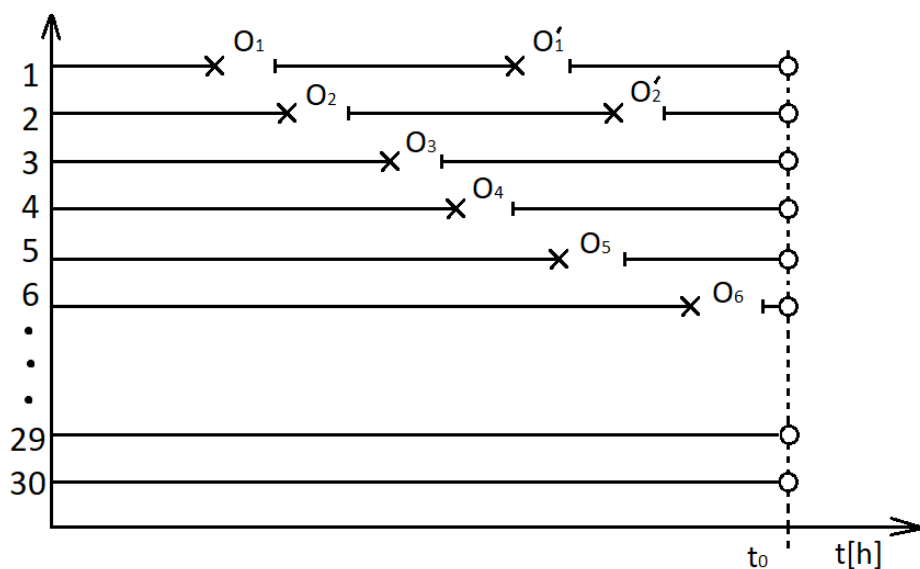
Další neméně důležitou veličinou, která reprezentuje průběh zkoušky spolehlivosti je tzv. **akumulovaný čas T_{aku} [h]**. Tato veličina reprezentuje celkový čas, kdy byly všechny výrobky v provozu. Výpočet je závislý na typu zkušebního plánu. V našem typu $[n, M, t]$ vypadá výpočet následovně [3]:

$$T_{aku} = \sum_{i=1}^r (t_0 - O_i) + (n - r) \cdot t_0 \quad (23)$$

Kde:

r ... počet poruch vzniklých na souboru n výrobků [-]

O_i ... čas potřebný na opravu i -tého výrobku [h]



Obrázek 5 - Příklad grafického vyjádření t-plánu [1]

Způsoby vyhodnocování zkušebních plánů:

Cílem je z odhadu zjištěného při zkoušce stanovit parametry rozdělení základního souboru. Využijeme statistiku vyjadřující vztah mezi parametry odhadu. Tato statistika je odvozena z rozdělení chí-kvadrát, jestliže je znám typ rozdělení základního souboru na stanovené konfidenční úrovni.

Má-li základní soubor Weibullovo rozdělení, platí:

$$P\left(\chi_{2v,1-\alpha/2}^2 \geq 2v\left(\frac{\hat{\theta}}{\theta_0}\right) \geq \chi_{2v,\alpha/2}^2\right) = (1 - \alpha) \quad (24)$$

$\chi_{2v,1-\alpha/2}^2 \dots$ hodnota chí-kvadrátu pro $2v$ stupňů volnosti na konfidenční úrovni $1 - \alpha/2$

$v \dots$ počet stupňů volnosti. V případě cenzurovaných souborů se určuje jako $v = r + 1$

a v případě úplných souborů jako $v = r$, kde r je počet poruch

$\theta_0 \dots$ hledaný parametr rozdělení, v našem případě střední hodnota doby do poruchy T_S

$\hat{\theta} \dots$ vypočítaný odhad parametru rozdělení ze zkoušeného vzorku

Intervalový odhad pro Weibullovo rozdělení se známém parametrem tvaru m stanovíme jako:

Dolní odhad:

$$\left(\widehat{T}_{SD}\right)^m \geq \frac{2 \cdot T_{AKU}^m}{\chi_{2v,1-\alpha}^2} [h] \quad (25)$$

Horní odhad:

$$\left(\widehat{T}_{SH}\right)^m \geq \frac{2 \cdot T_{AKU}^m}{\chi_{2v,\alpha}^2} [h] \quad (26)$$

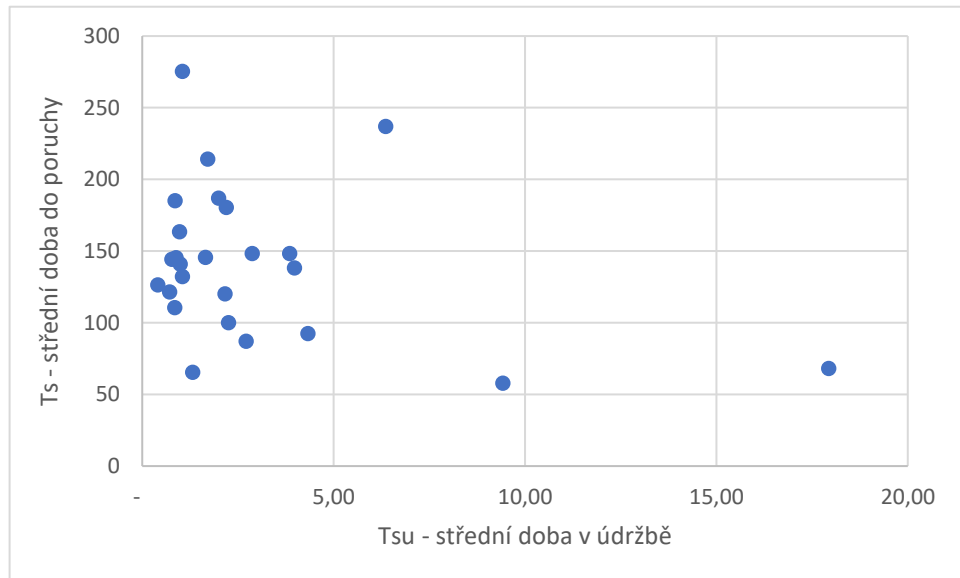
Jestliže chceme stanovit potřebné parametry a následně je vyhodnotit, tak obvykle používáme dolní odhad střední hodnoty. Dolní odhad lze využít například právě při zjišťování střední hodnoty doby do poruchy. Horní odhad použijeme v případě chceme-li zjistit čas v údržbě.

Abychom získali pohotovost A , což je schopnost objektu být ve stavu schopném plnit požadované funkce daného systému, tak dáme střední dobu do poruchy T_S a střední dobu v údržbě T_{SU} do vzájemného poměru, který vypadá následovně [3]:

$$A_0 = \frac{T_S - T_{SU}}{T_S} \quad (27)$$

3.8. Korelační analýza

Korelační analýza si pokládá za cíl určit velikost lineární závislosti mezi dvěma veličinami. Představu o lineární závislosti lze získat tak, že znaky sledujeme u n statistických jednotek, jejichž data znázorníme v bodovém diagramu. V tomto diagramu je každá dvojice dat (x_i, y_i) znázorněna jako bod. Tyto body poté tvoří množinu, na které lze pozorovat vzájemnou závislost.



Graf 7 - Korelační diagram – závislost mezi Ts a Tsu

Nejvyužívanější pro zjišťování závislosti je Pearsonův korelační koeficient ρ . Tento koeficient měří závislost s dvourozměrným normálním rozdělením.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (28)$$

Zjednodušeně pak:

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x \cdot s_y} \quad (29)$$

Kde:

s_x ... směrodatná odchylka proměnné X

s_y ... směrodatná odchylka proměnné Y

s_{xy} ... kovariance proměnných X a Y

Kovariance se tedy vypočítá jako:

$$s_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}) \quad (30)$$

Za předpokladu, že obě náhodné veličiny mají společné dvourozměrné normální rozdělení, pak nulový korelační koeficient znamená, že veličiny jsou nezávislé. Čím více jsou na sobě veličiny závislé, tím více se hodnota korelačního koeficientu blíží k hodnotě jedna. V případě záporného znaménka u korelačního koeficientu tento koeficient značí nepřímou korelaci, což znamená, že se zvyšováním hodnot jedné proměnné se snižují hodnoty druhé proměnné. [10]

4. ZPRACOVÁNÍ EXPERIMENTÁLNÍCH DAT

Hasičský záchranný sbor Moravskoslezského kraje dodal data ke svým zásahovým vozidlům. Jedná se o data o poruchách a o údržbách jejich vozidel. Data byla dodána ke 14 vozům Mercedes-Benz Econic CAS20, 28 vozidlům Tatra 815-2 4x4 CAS 20 a 15 vozidlům Tatra 815-7 6x6 CAS30. Dále byla dodána ještě data k 5 vozidlům SCANIA od hasičského sboru Jihomoravského kraje. Seznam vozidel Jihomoravského kraje naleznete v tabulce 1. a seznam vozidel Tatra a Mercedes-Benz Moravskoslezského kraje naleznete v tabulce 2.

K vozidlům byly dodány tato data: typ opravy, důvod opravy (o jakou poruchu se jednalo), datum zahájení údržby, datum konce údržby, období sledování apod. Data byla následně roztržena do následujících konstrukčních skupin: elektronika, hnací soustava, rám a zavěšení, brzdy a karoserie.

Veškerá data byla dodána v souborech programu MS Excel, ve kterých také probíhalo zpracování těchto dat. Zpracování i výsledky můžeme tedy také vidět v přílohách A – D. V příloze A naleznete výpočty pro M-B Econic, v příloze B pro Tatra 815-2, v příloze C pro Tatra 815-7 a v příloze D pro Scanii.

Tabulka 1 - Seznam vozidel Scania Jihomoravský kraj

Tovární značka	Datum pořízení	Typ vozidla	Stav tachometru (km)	Výrobce nástavby
SCANIA	14.12.2016	P 480 CB 4x4	26785	WISS, Polsko
SCANIA	14.12.2016	P 440 CB 4x4	31477	WISS, Polsko
SCANIA	31.07.2017	P 480 CB 4x4	14836	WISS, Polsko
SCANIA	31.07.2017	P 480 CB 4x4	23298	WISS, Polsko
SCANIA	31.07.2017	P 480 CB 4x4	22767	WISS, Polsko
SCANIA	27.11.2017	P 480 CB 4x4	14924	WISS, Polsko

Tabulka 2 - Seznam vozidel Moravskoslezský kraj

	Územní odbor (Kmenové JPO)	Rok výroby	poř. číslo jednotky		odbor (Kmenové JPO)	Rok výroby	poř. číslo jednotky		Územní odbor (Kmenové JPO)	Rok výroby	poř. číslo jednotky
Mercedes-Benz Econic 1833 LL 4x2	Ostrava-město	2011	1	TATRA 815-2 TerrNo1 4x4	Karviná	2015	1	TATRA 815-76x6	Ostrava-město	2010	1
	Ostrava-město	2011	2		Karviná	2015	2		Bruntál	2012	2
	Ostrava-město	2011	3		Karviná	2015	3		Opava	2013	3
	Ostrava-město	2012	4		Karviná	2015	4		Nový Jičín	2013	4
	Ostrava-město	2013	5		Karviná	2015	5		Karviná	2013	5
	Ostrava-město	2012	6		Nový Jičín	2015	6		Opava	2015	6
	Ostrava-město	2013	7		Nový Jičín	2015	7		Nový Jičín	2015	7
	Ostrava-město	2010	8		Opava	2015	8		Karviná	2015	8
	Ostrava-město	2014	9		Opava	2015	9		Bruntál	2015	9
	Ostrava-město	2013	10		Opava	2015	10		Frýdek-Místek	2015	10
	Ostrava-město	2013	11		Opava	2015	11		Karviná	2015	11
	Ostrava-město	2010	12		Karviná	2015	12		Karviná	2015	12
	?	?	13		Nový Jičín	2015	13		Opava	2015	13
	?	?	14		Karviná	2015	14		Ostrava-město	2015	14
			Karviná		2015	15	Ostrava-město		2015	15	
			Nový Jičín		2015	16	Ostrava-město		2015	16	
			Opava		2015	17	Ostrava-město		2015	17	
			?		?	18	Ostrava-město		2015	18	
			?		?	19	Karviná		2015	19	
			?		?	20	Bruntál		2015	20	
			?		?	21	Frýdek-Místek		2014	21	
			?		?	22	Ostrava-město		2015	22	
			?		?	23	Frýdek-Místek		2017	23	
			?		?	24	?		?	24	
			?		?	25	?		?	25	
			?		?	26					
			?		?	27					
			?		?	28					

Z těchto dat pomocí zkoušek spolehlivosti byly počítány střední doby do poruchy T_S . Ty byly počítány pro každé vozidlo zvlášť, dále byly vypočítány pro každý typ hasičského vozidla zvlášť a také pro každou konstrukční skupinu daného typu vozidla. Střední doba byly počítána dle vztahu:

$$T_S = \frac{2 \cdot T_{AKU}}{\chi_{2v,1-\alpha}^2} [h] \quad (31)$$

Následně byla vypočítána střední doba údržby T_{SU} . Tento výpočet byl počítán pro jednotlivé vozidla ze seznamu vozidel a také byl počítán pro typy vozidel. Výpočet T_{SU} je obdobný jako výpočet pro T_S . Tyto výpočty byly podrobněji popsány v kapitole 3.

V dalším kroku byla zjišťována pohotovost, jednalo se o výpočty pro jednotlivé vozidla ze seznamu a taktéž pro typy vozidel. Tato pohotovost byla počítána dle vztahu:

$$A_0 = \frac{T_S - T_{SU}}{T_S} \quad (32)$$

V rámci zpracování také proběhla korelace mezi střední dobou do poruchy a střední dobou v údržbě. Výsledky této analýzy si budeme moci prohlédnout v kapitole 5.4.

V následujících tabulkách 3-6 jsou vyobrazeny výsledky výpočtů.

Tabulka 3 - Souhrn výpočtů střední doby do poruchy, střední doby v údržbě a pohotovosti vozidel M-B Eonic

p.č.	počet oprav	Tsu (dni)	rok výroby	Ts (dni)	A0	celková A0
1	30	3,4462	2014	51,36507	0,944477	0,9435763
2	21	10,45527	2013	83,60248	0,900148	
3	23	1,272981	?	134,9017	0,992392	Celková Ts
4	18	3,758493	?	168,2005	0,982466	58,061095
5	15	1,09598	2013	113,613	0,992596	
6	52	5,331489	2011	48,5831	0,905022	Celková Tsu
7	56	4,430771	2010	50,37494	0,923479	3,4181699
8	47	1,246044	2010	59,46161	0,981997	
9	92	2,918658	2011	28,58735	0,908441	
10	34	3,504561	2013	53,05903	0,944721	
11	66	4,945728	2011	37,85244	0,885087	
12	47	2,831918	2013	39,51131	0,938424	
13	53	3,165162	2012	42,24043	0,93506	
14	55	2,488067	2012	41,47827	0,947879	

Tabulka 4 - Souhrn výpočtů střední doby do poruchy, střední doby v údržbě a pohotovosti vozidel Tatra 815-2

p.č.	počet oprav	Tsu (dni)	rok výroby	Ts (dni)	A0	celková A0
1	44	5,065985	?	44	0,88489	0,9463796
2	90	3,544514	?	35	0,897372	
3	94	1,639576	?	21	0,923241	Celkové Ts
4	78	2,995604	?	41	0,926274	49,65937
5	54	3,144481	?	37	0,914164	
6	56	3,749114	?	27	0,859945	celkové Tsu
7	90	2,355237	?	38	0,938299	2,752381
8	49	1,67157	?	59	0,971858	
9	71	2,005335	?	34	0,940614	
10	90	3,218046	?	31	0,897427	
11	30	2,010283	?	61	0,967151	
12	14	2,665856	2015	56	0,952805	
13	10	1,657392	2015	68	0,975715	
14	10	1,215421	2015	109	0,988848	
15	16	1,846656	2015	81	0,977236	
16	15	1,899698	2015	75	0,974625	
17	9	1,106612	2015	116	0,99049	
18	8	3,601142	2015	147	0,97558	
19	11	3,00854	2015	113	0,973481	
20	20	4,298739	2015	58	0,926477	
21	16	4,445652	2015	70	0,936306	
22	16	5,88194	2015	64	0,90859	
23	61	2,342045	2015	24	0,900719	
24	16	3,351338	2015	57	0,941359	
25	8	6,786768	2015	139	0,951283	
26	6	1,108906	2015	80	0,986184	
27	13	4,820814	2015	84	0,942285	
28	8	3,739648	2015	112	0,966591	

Tabulka 5 - Souhrn výpočtů střední doby do poruchy, střední doby v údržbě a pohotovosti vozidel Tatra 815-7

p.č.	počet oprav	Tsu (dni)	rok výroby	Ts (dni)	A0	Celková A0
1	17	1,09	2012	111	0,990117	0,96922786
2	13	5,75	2015	93	0,937833	
3	23	11,69	2015	58	0,798025	celková Ts
4	21	22,46	2014	68	0,669566	153,362367
5	9	1,48	2015	132	0,988829	
6	9	1,84	2017	66	0,971847	Celková Tsu
7	5	1,11	2015	121	0,990888	5,05441973
8	5	2,66	2015	214	0,987593	
9	12	3,85	2013	148	0,973989	
10	5	5,98	2015	148	0,959665	
11	8	5,68	2015	138	0,958922	
12	12	3,03	2015	100	0,969728	
13	12	1,19	2013	145	0,991786	
14	4	4,40	2015	87	0,94944	
15	3	1,81	2013	275	0,993428	
16	8	1,11	2015	144	0,992319	
17	2	12,02	2015	237	0,949297	
18	19	1,26	2010	141	0,991038	
19	1	0,91	?	126	0,992783	
20	7	1,43	2015	164	0,991281	
21	9	3,07	?	180	0,982967	
22	6	1,29	2015	185	0,993009	
23	8	2,35	2015	146	0,98382	
24	5	3,10	2015	187	0,983426	
25	10	2,98	2015	120	0,975183	

Tabulka 6 - Souhrn výsledků střední doby do poruchy, střední doby v údržbě a pohotovosti vozidel Scania

p.č.	počet oprav	Ts (dni)	rok výroby	Tsu (dni)	A0	celková A0
1	4	115,2731	2017	26,1448	0,773192	0,947558
2	4	60,43772	2017	2,476876	0,959018	
3	11	59,27083	2016	1,604555	0,972928	celká Ts
4	8	67,56837	?	3,601142	0,946704	92,113444
5	7	103,3777	2016	1,108968	0,989273	
						celká Tsu
						4,830611

5. POROVNÁNÍ DASAŽENÉ ÚROVNĚ SPOLEHLIVOSTI HODNOCENÝCH TYPŮ VOZIDEL

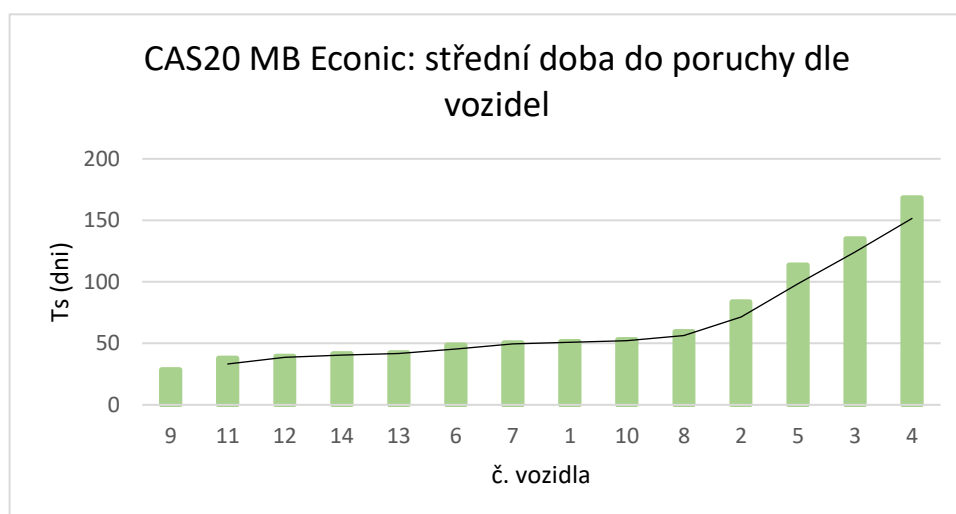
5.1. Střední doba do poruchy dle typů vozidel

V této kapitole si zhodnotíme střední doby do poruchy. V následujících tabulkách a grafech vidíme střední dobu do poruchy jednotlivých vozidel ve skupinách.

Co se týče **M-B Eonicu**, tak z grafu je patrné, že většina vozidel má střední dobu do poruchy mezi 40–60 dny. U vozidel číslo 2, 5, 3, 4, je vidět že střední doba do poruchy znatelně roste. Dá se tedy předpokládat, že tyto vozidla jsou buďto novější nebo jsou méně v provozu než ostatní vozidla. Hodnota celkové střední doby do poruchy nám vyšla 58 dní. Tyto skutečnosti jsou znázorněny v tabulce 7 a grafu 8.

Tabulka 7 - Tabulka hodnot střední doby do poruchy pro typ M-B Eonic

č. vozidla	Ts (dni)	počet oprav	rok výroby
9	29	92	2011
11	38	66	2011
12	40	47	2013
14	41	55	2012
13	42	53	2012
6	49	52	2011
7	50	56	2010
1	51	30	2014
10	53	34	2013
8	59	47	2010
2	84	21	2013
5	114	15	2013
3	135	23	?
4	168	18	?

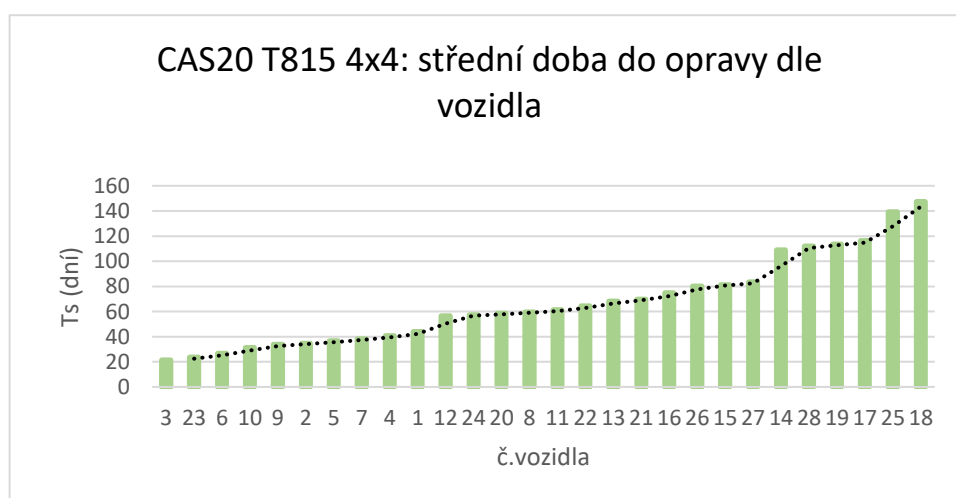


Graf 8 - Střední doba do poruchy dle vozidel pro M-B Eonic

U **Tatry 815-2 4x4** je vidět plynule pozvolný růst střední doby do poruchy. Je z toho tedy vidět, že zde záleží na vytíženosti daného vozidla a celková doba do poruchy u Tatry 815-2 4x4 je 49,65 dní.

Tabulka 8 - Tabulka hodnot střední doby do poruchy pro typ Tatra 815-2

p.č.	počet oprav	Ts (dni)	rok výroby
3	94	21	?
23	61	24	2015
6	56	27	?
10	90	31	?
9	71	34	?
2	90	35	?
5	54	37	?
7	90	38	?
4	78	41	?
1	44	44	?
12	14	56	2015
24	16	57	2015
20	20	58	2015
8	49	59	?
11	30	61	?
22	16	64	2015
13	10	68	2015
21	16	70	2015
16	15	75	2015
26	6	80	2015
15	16	81	2015
27	13	84	2015
14	10	109	2015
28	8	112	2015
19	11	113	2015
17	9	116	2015
25	8	139	2015
18	8	147	2015

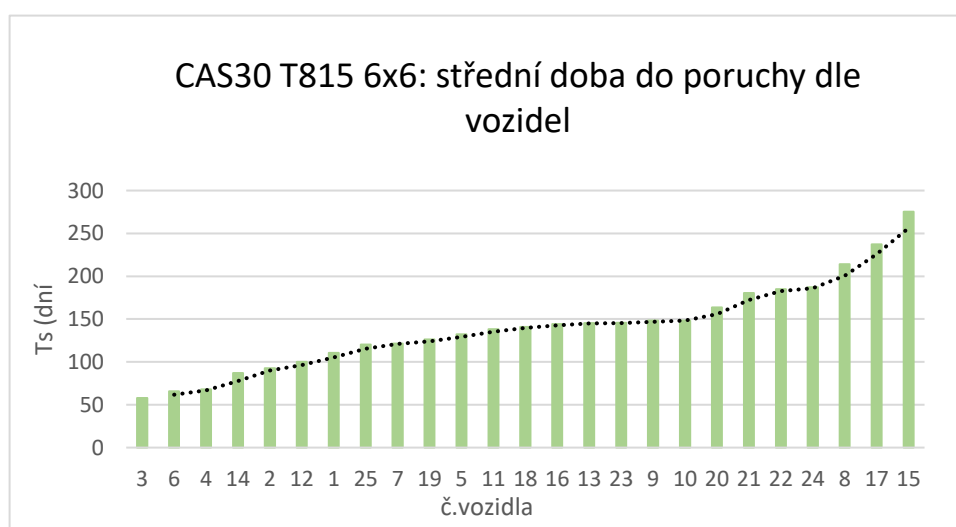


Graf 9 - Střední doba do poruchy dle vozidel pro Tatra 815-2

U **Tatry 815-7 6x6** střední doba do poruchy o poznání vyšší. Hodnota je 153,36. U tohoto typu vozidel je vidět fakt, že jsou vozidla určena do o poznání obtížnějších podmínek, do kterých se tak často nevyjíždí. Vozidla jsou tedy pravděpodobně o dost méně vytížena, a proto také mají delší střední dobu do poruchy.

Tabulka 9 - Tabulka hodnot střední doby do poruchy pro typ Tatra 815-7

p.č.	počet oprav	Ts (dni)	rok výroby
3	23	58	2015
6	9	66	2017
4	21	68	2014
14	4	87	2015
2	13	93	2015
12	12	100	2015
1	17	111	2012
25	10	120	2015
7	5	121	2015
19	1	126	?
5	9	132	2015
11	8	138	2015
18	19	141	2010
16	8	144	2015
13	12	145	2013
23	8	146	2015
9	12	148	2013
10	5	148	2015
20	7	164	2015
21	9	180	?
22	6	185	2015
24	5	187	2015
8	5	214	2015
17	2	237	2015
15	3	275	2013

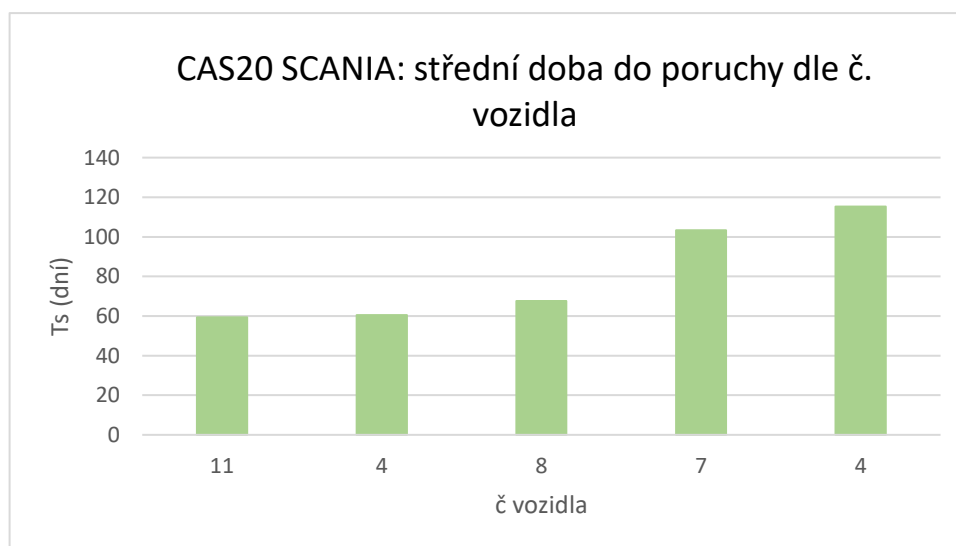


Graf 10 - Střední doba do poruchy dle vozidel pro Tatra 815-7

Vozidel **Scania** z Jihomoravského kraje máme pouze 6, navíc jsou tyto vozidla poměrně nová, takže ani dat o poruchách není zatím dostatečně. Výsledky jsou proto jen orientační a může se objevovat ve výsledcích skreslení. Dle výpočtů z aktuálních dat nám vychází celková střední doba do poruchy 92,11 dní.

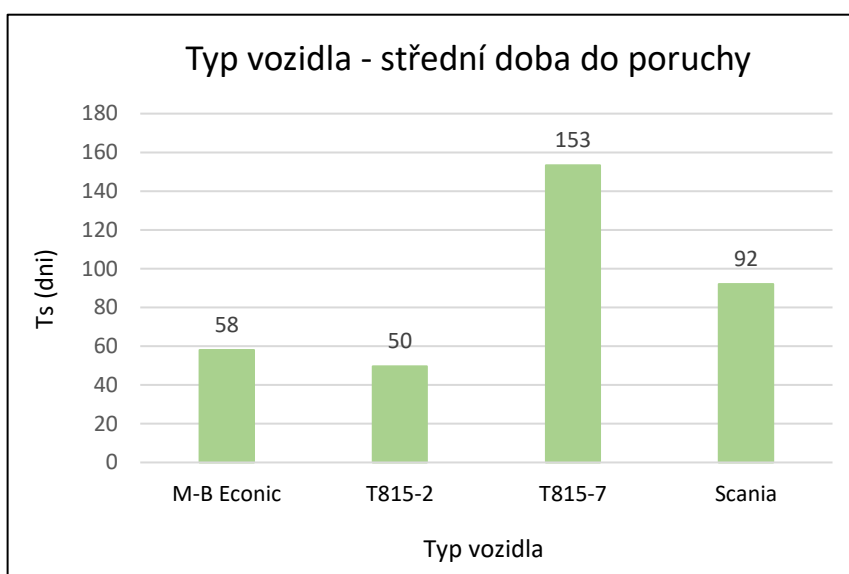
Tabulka 10 - Tabulka hodnot střední doby do poruchy pro typ Scania P480

p.č.	počet oprav	Ts (dni)	rok výroby
3	11	59,27083	2016
2	4	60,43772	2017
4	8	67,56837	?
5	7	103,3777	2016
1	4	115,2731	2017



Graf 11 - Střední doba do poruchy dle vozidel pro Scania P480

Když si to shrneme, tak zjistíme že u vozidel M-B Eonic a Tatra 815-2 4x4 nám vychází celková střední doba do poruchy podobně, ačkoliv u M-B Eonic je o 8 dní delší. U Tatra 815-7 6x6 nám vychází střední doba do poruchy o poznání vyšší, ale nejspíše to bude způsobeno jinými podmínkami, do kterých vozidlo vyjíždí, a tím i jinou využitelností těchto vozidel. Střední doby do poruchy u vozidel Scania vycházejí někde ve středu mezi těmito vozidly.



Graf 12 - Střední doba do poruchy dle typu vozidel

5.2. Střední doba do poruchy vzhledem ke konstrukčním skupinám

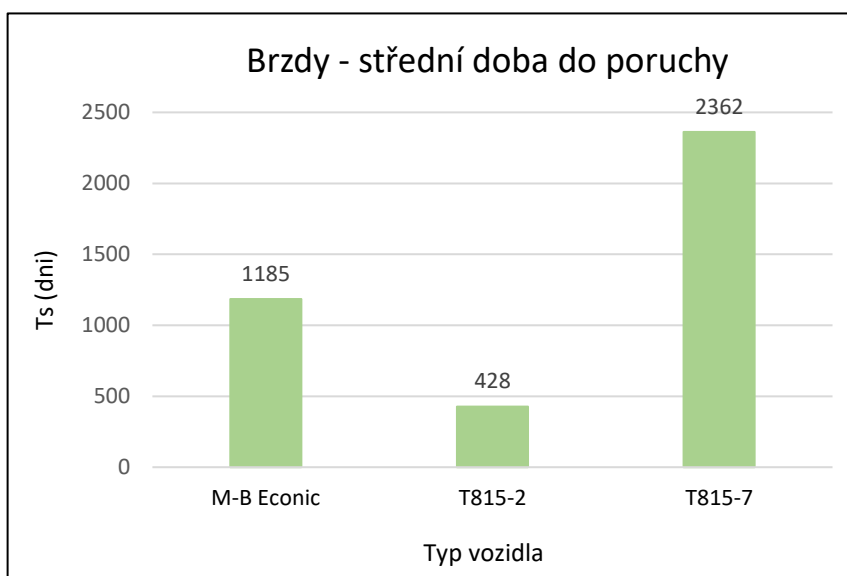
V této kapitole jsou vyobrazeny výsledky jednotlivých typů vozidla vzhledem ke konstrukčním skupinám. Automobil byl rozdělen do několika konstrukčních skupin. Zde nalezneme výsledky pro brzdy, karoserii, hnací soustavu, rám a zavěšení, elektroinstalaci.

Tabulka 11 - Střední doba do poruchy vzhledem ke konstrukčním skupinám

Skupina	M-B Eonic	T815-2	T815-7
Elektroinstalace	365	327	694
Hnací soustava	801	327	905
Karoserie	209	207	1008
Rám a zavěšení	905	436	1355
Brzdy	1185	428	2362

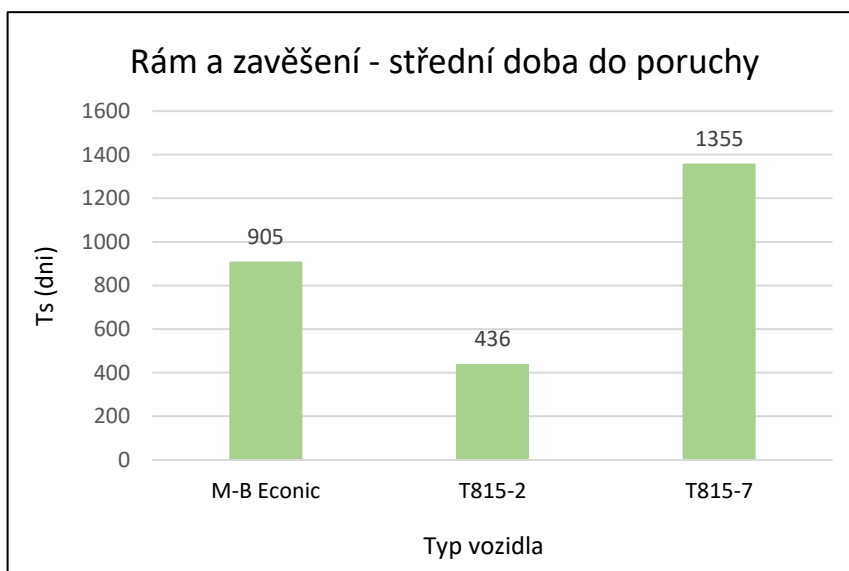
Nadstavbou a opravami po nehodě se zde zabývat nebudeme.

Co se týče brzd, které jsou pro hasičské zásahová vozidla velmi důležitou skupinou, vzhledem k tomu, jak jsou namáhány. Kupříkladu ve městech na semaforech a v hustém provozu, kde se musí vyhýbat neukázněným řidičům a jiným překážkám. Díky tomuto faktu také vidíme, že v této konstrukční skupině si nejlépe vede Tatra 815-7, která je určená do méně přístupných terénu. V tomto terénu je jízda sice pomalejší, ale na brzdovou soustavu méně náročná oproti jízdě v hustém provozu, kde se používají především automobily M-B Eonic a Tatra 815-2. Z těchto dvou vozidel vyšlo o poznání lépe vozidlo M-B Eonic. Střední doby do poruchy můžeme vidět v grafu 13.



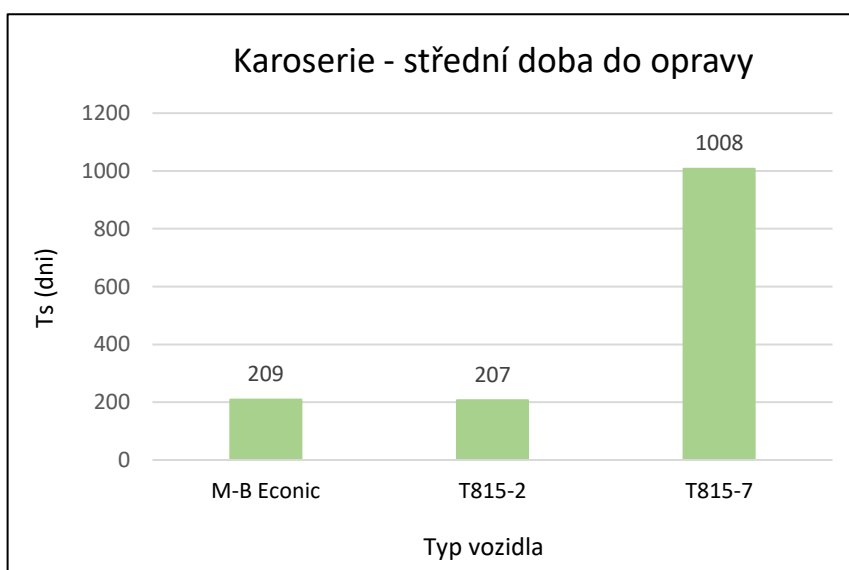
Graf 13 - Střední doba do poruchy u brzd

Rám a zavěšení má také nejdelší střední dobu do poruchy u vozidel Tatra 815-7. Je to zřejmě z důvodu menší vytíženosti vozidla. U podobně vytížených vozidel M-B Eonic a Tatra 815-2 vychází opět poměrně lépe M-B Eonic. Tento výsledek je docela překvapivý vzhledem ke koncepci podvozku, kterou se Tatra 815 honosí. Výsledky střední doby do poruchy této skupiny vidáme na grafu 14.



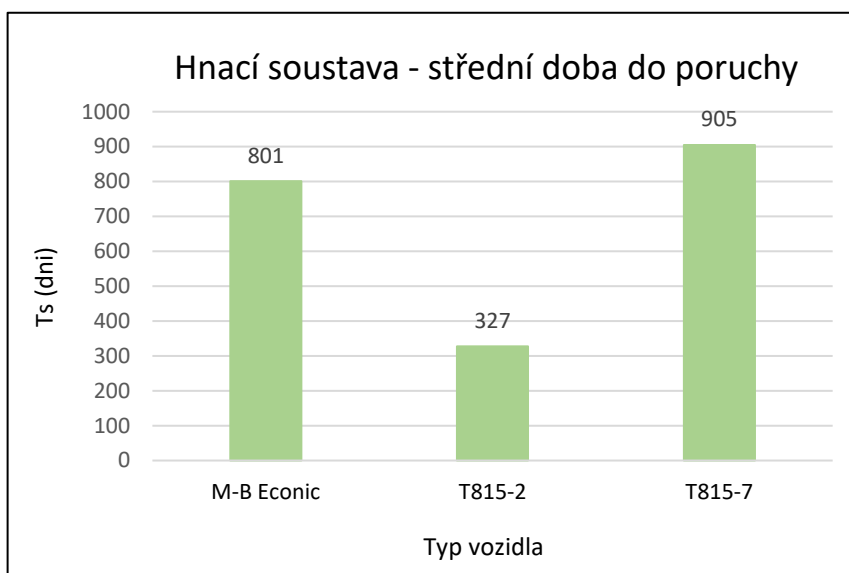
Graf 14 - Střední doba do poruchy u rámu a zavěšení

I na karoserii je vidět zřejmé menší vytíženost vozidel Tatra 815-7. V této konstrukční skupině už jsou ovšem oba zbývající typy vozidel, M-B Eonic a Tatra 815-2 naprosto vyrovnané a je vidět že typ vozu v tomto případě roli nehraje (viz. graf 15).



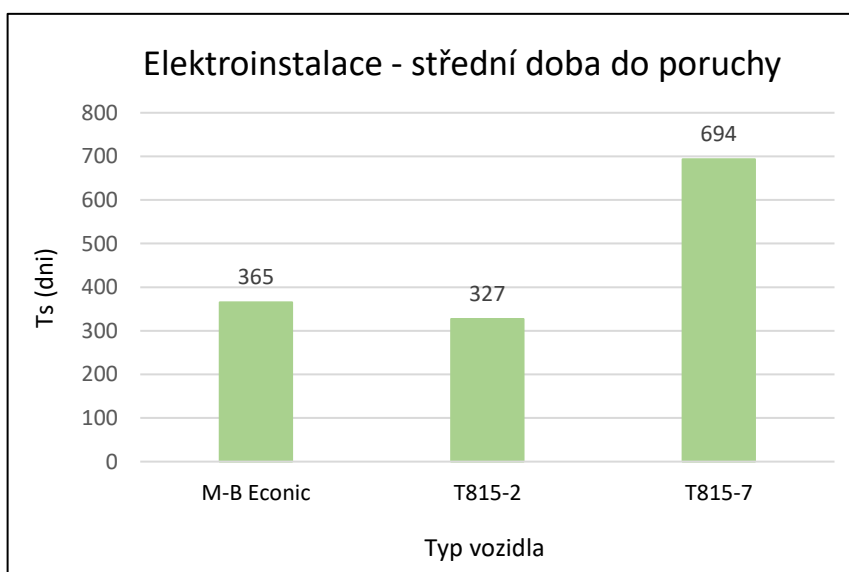
Graf 15 - Střední doba do poruchy u karoserie

U hnací soustavy celkem zaostávají obě vozidla Tatra. Tatra 815-7 má sice mírně delší střední dobu do poruchy než vozidlo M-B Eonic, ale vzhledem k výsledkům v ostatních konstrukčních skupinách a z nich vyvozených závěrů, že je tento typ vozidel o poznání méně využíván, tak ani tato střední doba do poruchy není pro vozidlo Tatra 815-7 příliš lichotivá. Vozidlo Tatra 815-2 v této konstrukční skupině výrazně zaostává.



Graf 16 - Střední doba do poruchy u hnací soustavy

Jestliže vezmeme v potaz výsledky z ostatních konstrukčních skupin a tím vyvozené závěry o využívání vozidel, tak u elektroinstalace lze vidět dost obdobné výsledky. Z mého pohledu se spolehlivost elektroniky u těchto typů vozidel téměř neliší, i když z grafu 17 jsou vidět rozdíly ve střední době do poruchy.



Graf 17 - Střední doba do poruchy u elektroinstalace

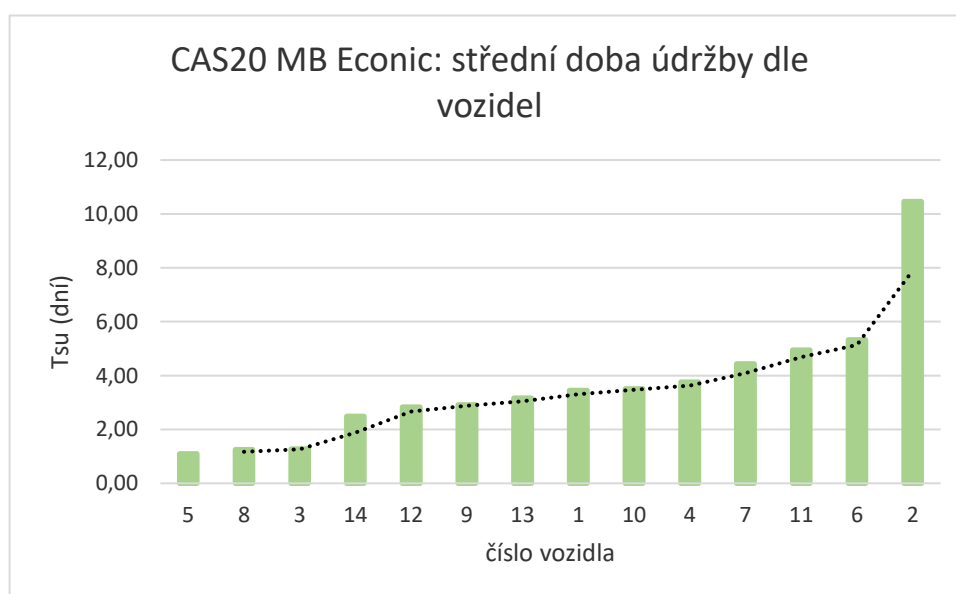
5.3. Střední doba v údržbě

Následující kapitola je věnována zhodnocení střední doby v údržbě pro jednotlivé typy vozidel.

Nejprve si prohlédneme výpočty střední doby v údržbě pro **M-B Eonic**. Dle tohoto vývoje jde předpokládat, že vozidlo 5 a 3 je v provozu méně, což rovněž potvrzují i data ze střední doby do poruchy zmiňované v grafu 8. Vozidlo č. 2 má dle mého data zkreslené, kvůli 2-3 zbytečně dlouhým přestávkám v údržbě. Buďto se zde vyskytl nějaký problém, nebo se na opravu z nějakého důvodu nespěchalo. Možnost je taky chyba v dodaných datech. Celková střední doba v údržbě je pro vozidla M-B 3,42 dnů. Souhrny všech středních dob v údržbě vidíte v tabulce 12 a grafu 18.

Tabulka 12 - Tabulka hodnot střední doby údržby pro typ M-B Eonic

p.č.	počet oprav	Tsu (dni)	rok výroby
5	15	1,10	2013
8	47	1,25	2010
3	23	1,27	?
14	55	2,49	2012
12	47	2,83	2013
9	92	2,92	2011
13	53	3,17	2012
1	30	3,45	2014
10	34	3,50	2013
4	18	3,76	?
7	56	4,43	2010
11	66	4,95	2011
6	52	5,33	2011
2	21	10,46	2013

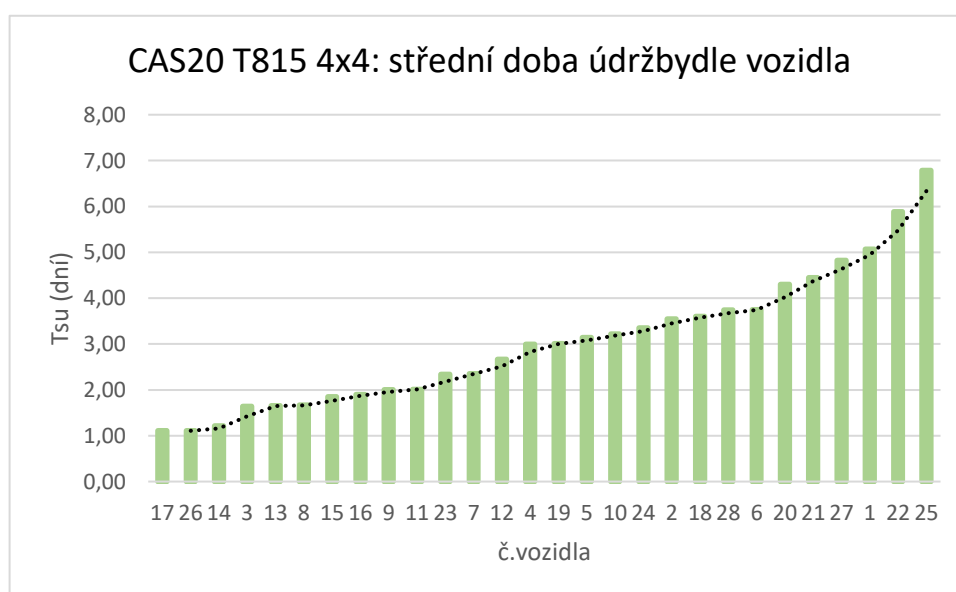


Graf 18 - Střední doba údržby dle vozidel pro M-B Eonic

Střední doby v údržbě u vozidel **Tatra 815-2** jsou opět plynule rostoucí a dá se předpokládat, že určitým způsobem jsou závislá na frekvenci využití těchto vozidel. Celková střední doba v údržbě je v tomto případě 2,75 dnů. Výsledky jednotlivých vozidel si můžeme prohlédnout v tabulce 13 a grafu 19.

Tabulka 13 - Tabulka hodnot střední doby údržby pro typ Tatra 815-2

p.č.	počet oprav	Tsu (dni)	rok výroby
17	9	1,11	2015
26	6	1,11	2015
14	10	1,22	2015
3	94	1,64	?
13	10	1,66	2015
8	49	1,67	?
15	16	1,85	2015
16	15	1,90	2015
9	71	2,01	?
11	30	2,01	?
23	61	2,34	2015
7	90	2,36	?
12	14	2,67	2015
4	78	3,00	?
19	11	3,01	2015
5	54	3,14	?
10	90	3,22	?
24	16	3,35	2015
2	90	3,54	?
18	8	3,60	2015
28	8	3,74	2015
6	56	3,75	?
20	20	4,30	2015
21	16	4,45	2015
27	13	4,82	2015
1	44	5,07	?
22	16	5,88	2015
25	8	6,79	2015

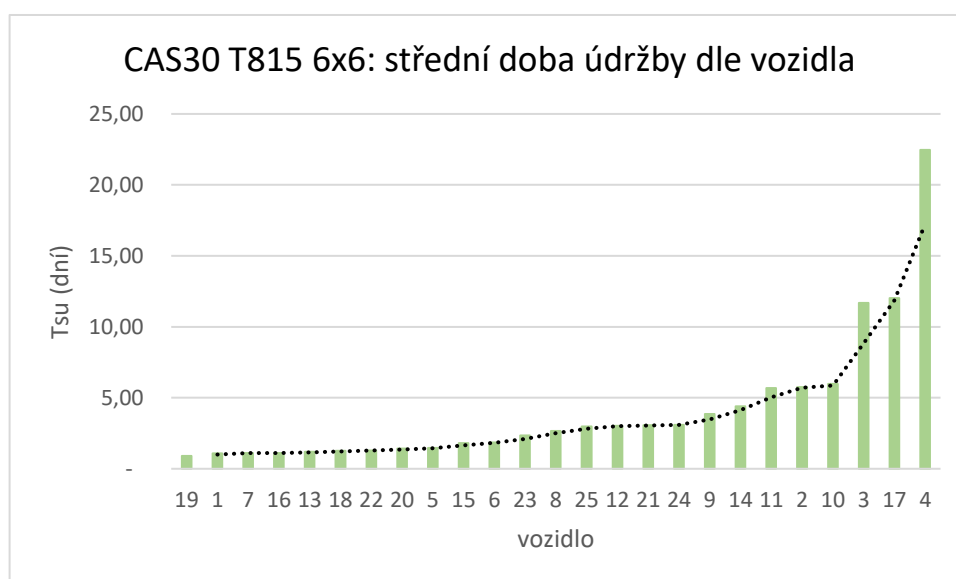


Graf 19 - Střední doba údržby dle vozidel pro Tatra 815-2

Vozidla Tatra 815-7 jsou také seřazena docela rovnoměrně až na vozidlo 3, 4 a 17. Vozidlo 4 má ovšem data zkrácené jednou zastávkou v údržbě, která trvala 336 dní. Vozidlo bylo v údržbě z důvodu opravy brzd. V případě, že tuto poruchu do výpočtu nezahrneme klesne střední doba údržby z 22,46 na 5,09 dní a vozidlo tak zapadne do plynulé křivky ostatních vozidel. U vozidla 3 a 17 nalezneme podobný výkyv v datech jako u vozidla 4. Celková střední doba údržby po vozidlo Tatra 815-7 je 5,05 dní. Na celkový přehled výsledků se můžete kouknout v tabulce 14 a grafu 20.

Tabulka 14 - Tabulka hodnot střední doby údržby pro typ Tatra 815-7

p.č.	počet oprav	Tsu (dny)	rok výroby
19	1	0,91	?
1	17	1,09	2012
7	5	1,11	2015
16	8	1,11	2015
13	12	1,19	2013
18	19	1,26	2010
22	6	1,29	2015
20	7	1,43	2015
5	9	1,48	2015
15	3	1,81	2013
6	9	1,84	2017
23	8	2,35	2015
8	5	2,66	2015
25	10	2,98	2015
12	12	3,03	2015
21	9	3,07	?
24	5	3,10	2015
9	12	3,85	2013
14	4	4,40	2015
11	8	5,68	2015
2	13	5,75	2015
10	5	5,98	2015
3	23	11,69	2015
17	2	12,02	2015
4	21	22,46	2014

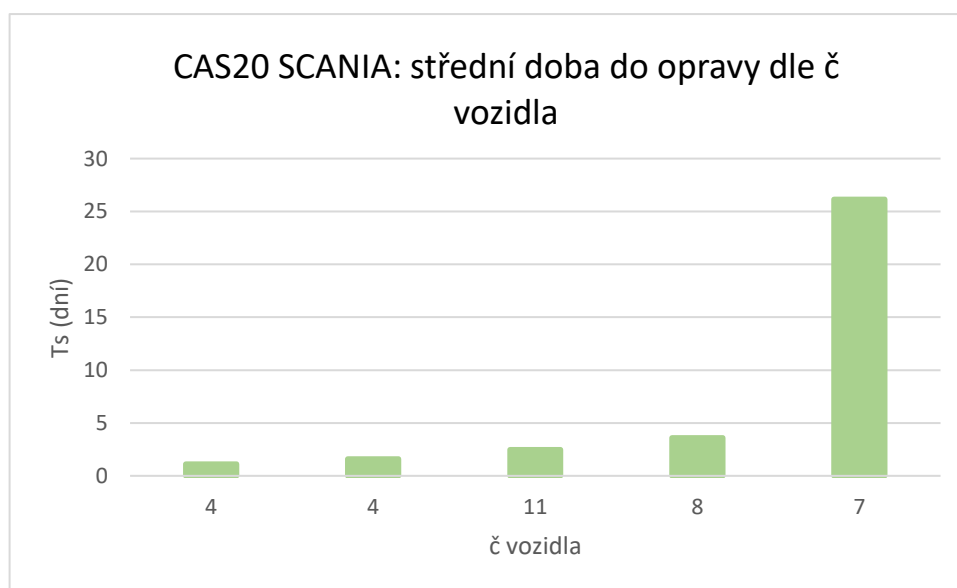


Graf 20 - Střední doba údržby dle vozidel pro Tatra 815-7

U vozidla **Scania** můžeme opět vidět docela ustálené hodnoty až na vozidlo číslo 1, u kterého máme jen pár dat, jelikož je docela nové, a proto tam hraje velký vliv ve výpočtu jedna dlouho trvající záruční oprava. Celková střední doba v údržbě u vozidel Scania je 4,83 dní.

Tabulka 15 - Tabulka hodnot střední doby údržby pro typ Scania P480

p.č.	počet oprav	Ts (dni)	rok výroby	Tsu (dni)
1	4	115,2731	2017	1,108968
2	4	60,43772	2017	1,604555
3	11	59,27083	2016	2,476876
4	8	67,56837	?	3,601142
5	7	103,3777	2016	26,1448



Graf 21 - Střední doba údržby dle vozidel pro Scania P480

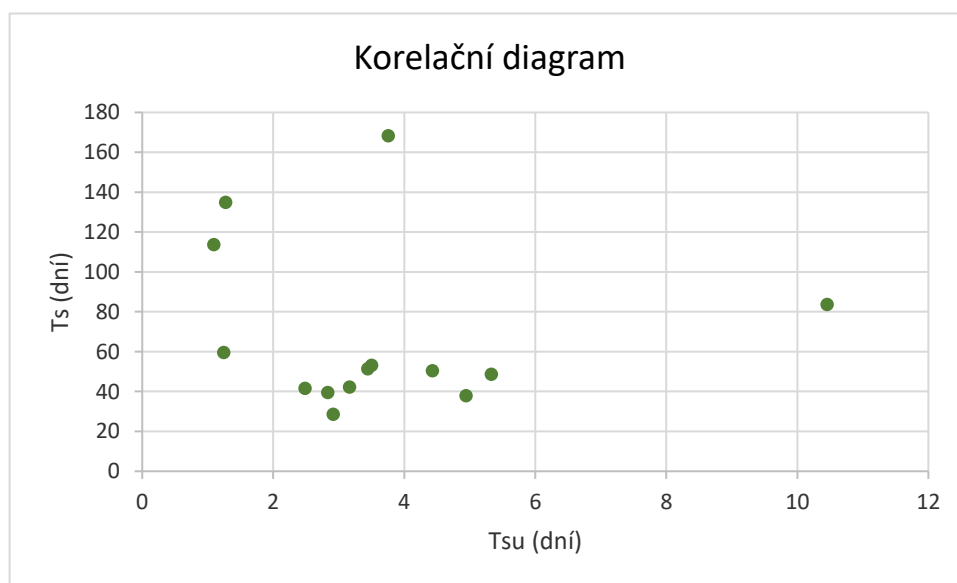
5.4. Korelace

V této kapitole si provedeme korelační analýzu mezi středními dobami do poruchy a středními dobami v údržbě.

Začneme vozidlem **M-B Eonic**. Jak jsem již zmiňoval v kapitole 5.3. vozidlo 2 má zkreslená data střední doby v údržbě, a proto nejsou do výpočtu korelačního koeficientu započítávány. Po vyloučení tohoto vozidla z výpočtu Pearsonová korelačního koeficientu tento koeficient vyšel -0,59. Můžeme zde tedy vidět mírnou nepřímou korelaci. Výpočet je vidět v tabulce 16 a korelační diagram je zobrazený v grafu 22.

Tabulka 16 - Výpočet Pearsonova korelačního koeficientu pro M-B Eonic

p.č.	počet oprav	Tsu (dni)	rok výroby	Ts (dni)	A0	$\bar{x}_i - \bar{x}$	$\bar{y}_i - \bar{y}$	$(\bar{x}_i - \bar{x})(\bar{y}_i - \bar{y})$	celková A0
1	30	3,4462	2014	51,365	0,932908	0,0280296	-6,70	-0,18769	0,94357627
2	21	10,45527	2013	83,602	0,874941	-	-	-	
3	23	1,272981	?	134,902	0,990564	-2,1451893	76,84	-164,838	Celková Ts
4	18	3,758493	?	168,201	0,977655	0,3403236	110,14	37,48305	58,0610953
5	15	1,09598	2013	113,613	0,990353	-2,3221903	55,55	-129,002	
6	52	5,331489	2011	48,583	0,89026	1,9133188	-9,48	-18,1344	Celková Tsu
7	56	4,430771	2010	50,375	0,912044	1,0126007	-7,69	-7,783	3,41816991
8	47	1,246044	2010	59,462	0,979045	-2,1721259	1,40	-3,04209	
9	92	2,918658	2011	28,587	0,897904	-0,4995119	-29,47	14,72249	koeficient r
10	34	3,504561	2013	53,059	0,93395	0,086391	-5,00	-0,43213	-0,5937266
11	66	4,945728	2011	37,852	0,869342	1,5275582	-20,21	-30,8699	
12	47	2,831918	2013	39,511	0,928326	-0,5862516	-18,55	10,87484	
13	53	3,165162	2012	42,240	0,925068	-0,2530077	-15,82	4,002751	
14	55	2,488067	2012	41,478	0,940015	-0,9301033	-16,58	15,42374	

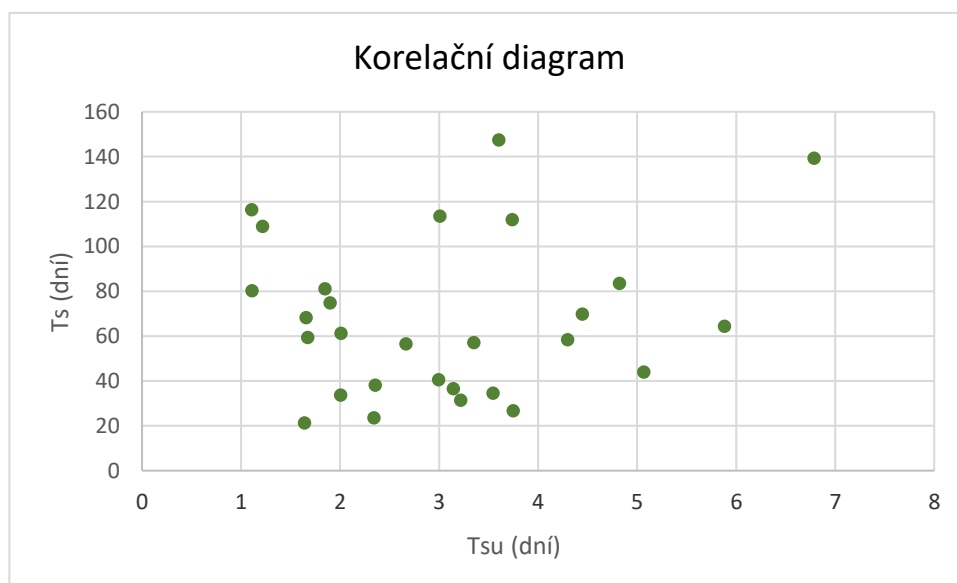


Graf 22 - Korelační diagram pro M-B Eonic

Nyní si zhodnotíme korelační analýzu pro vozidla **Tatra 815-2**. V grafu 23 můžeme vidět vcelku chaotický korelační diagram. Tomuto odpovídá i výpočet Pearsonova korelačního koeficientu, který vyšel $r = -0,086$. Lze tedy vidět, že jelikož se tento koeficient hodně blíží nule, tak zde žádná závislost mezi porovnávanými daty není. Konkrétní hodnoty výpočtu můžeme vidět v tabulce 17.

Tabulka 17 - Výpočet Pearsonova korelačního koeficientu pro Tatra 815-2

p.č.	počet oprav	Tsu (dni)	rok výroby	Ts (dni)	A0	$\bar{x}-x$	$\bar{y}-y$	$(\bar{x}-x)(\bar{y}-y)$	celková A0
1	44	5,065985	?	44,010	0,88489	2,313604	-5,649	-13,07066379	0,94457479
2	90	3,544514	?	34,538	0,897372	0,792133	-15,122	-11,97845516	
3	94	1,639576	?	21,360	0,923241	-1,11281	-28,299	31,49172081	Celkové Ts
4	78	2,995604	?	40,631	0,926274	0,243223	-9,028	-2,195817417	49,6593696
5	54	3,144481	?	36,634	0,914164	0,3921	-13,026	-5,107346277	
6	56	3,749114	?	26,769	0,859945	0,996733	-22,890	-22,81568234	celkové Tsu
7	90	2,355237	?	38,172	0,938299	-0,39714	-11,487	4,562129072	2,75238101
8	49	1,67157	?	59,398	0,971858	-1,08081	9,739	-10,52573437	
9	71	2,005335	?	33,768	0,940614	-0,74705	-15,892	11,87169209	koeficient r
10	90	3,218046	?	31,373	0,897427	0,465665	-18,286	-8,515257504	0,08618582
11	30	2,010283	?	61,198	0,967151	-0,7421	11,539	-8,563097489	
12	14	2,665856	2015	56,486	0,952805	-0,08653	6,827	-0,590706331	
13	10	1,657392	2015	68,246	0,975715	-1,09499	18,587	-20,3526739	
14	10	1,215421	2015	108,986	0,988848	-1,53696	59,326	-91,1824363	
15	16	1,846656	2015	81,121	0,977236	-0,90573	31,462	-28,49562702	
16	15	1,899698	2015	74,863	0,974625	-0,85268	25,204	-21,4911172	
17	9	1,106612	2015	116,358	0,99049	-1,64577	66,699	-109,7704688	
18	8	3,601142	2015	147,466	0,97558	0,848761	97,807	83,01451728	
19	11	3,00854	2015	113,449	0,973481	0,256159	63,789	16,34019094	
20	20	4,298739	2015	58,468	0,926477	1,546358	8,809	13,62139899	
21	16	4,445652	2015	69,797	0,936306	1,693271	20,138	34,09828914	
22	16	5,88194	2015	64,346	0,90859	3,129559	14,687	45,9642126	
23	61	2,342045	2015	23,590	0,900719	-0,41034	-26,069	10,69718309	
24	16	3,351338	2015	57,150	0,941359	0,598957	7,490	4,486470955	
25	8	6,786768	2015	139,311	0,951283	4,034387	89,652	361,6903297	
26	6	1,108906	2015	80,261	0,986184	-1,64348	30,602	-50,29283121	
27	13	4,820814	2015	83,527	0,942285	2,068433	33,868	70,05388012	
28	8	3,739648	2015	111,934	0,966591	0,987267	62,275	61,48206154	

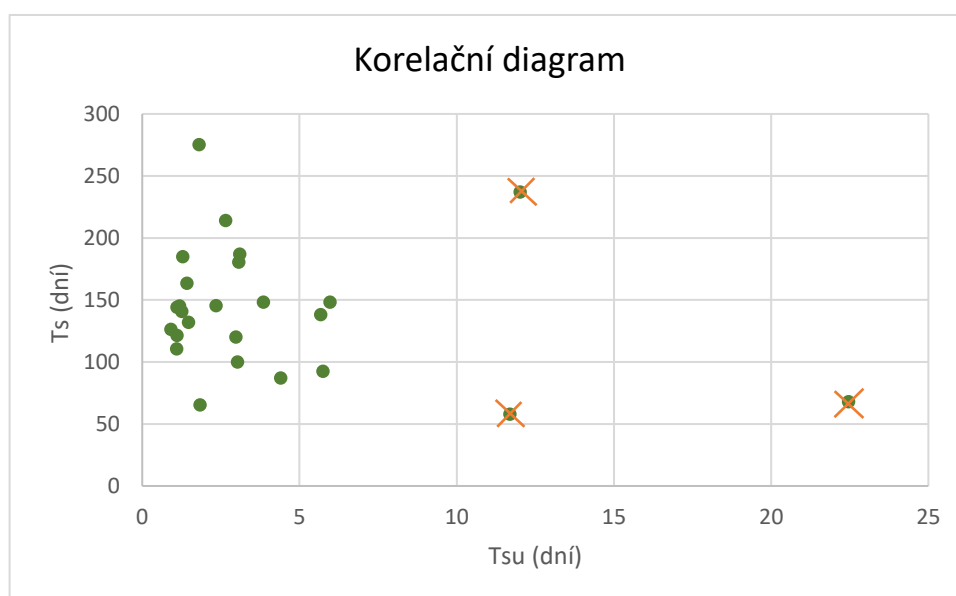


Graf 23 - Korelační diagram pro Tatra 815-2

U vozidla **Tatra 815-7** jsou z analýzy vyloučena vozidla 3, 4 a 17 z důvodů zkreslených dat popsaných v kapitole 5.3. I po tomto vyloučení jsou ovšem data chaotická a korelační koeficient $r = 0,17$ se hodně blíží nule, takže ani zde nevidíme závislost mezi sledovanými daty. V tabulce 18 můžeme vidět konkrétní hodnoty a v grafu 24 je znázorněný korelační diagram.

Tabulka 18 - Výpočet Pearsonova korelačního koeficientu pro Tatra 815-7

p.č.	počet oprav	Tsu (dni)	rok výroby	Ts (dni)	A0	$\bar{x}_i - \bar{x}$	$\bar{y}_i - \bar{y}$	$(\bar{x}_i - \bar{x})(\bar{y}_i - \bar{y})$	Celková A0
1	17	1,0927	2012	110,5657	0,990117	- 3,96	-42,797	169,548	0,967042634
2	13	5,7511	2015	92,5110	0,937833	0,70	-60,851	-42,3968	
3	23	11,6926	2015	57,8910	0,798025	-	-	-	celkové Ts
4	21	22,4633	2014	67,9813	0,669566	-	-	-	153,3623671
5	9	1,4755	2015	132,0773	0,988829	- 3,58	-21,285	76,17797	
6	9	1,8444	2017	65,5117	0,971847	- 3,21	-87,851	282,0063	Celkové Tsu
7	5	1,1069	2015	121,4751	0,990888	- 3,95	-31,887	125,8757	5,054419731
8	5	2,6565	2015	214,1159	0,987593	- 2,40	60,754	-145,679	
9	12	3,8546	2013	148,1895	0,973989	- 1,20	-5,173	6,206683	koeficient r
10	5	5,9772	2015	148,1895	0,959665	0,92	-5,173	-4,77356	0,17285815
11	8	5,6787	2015	138,2433	0,958922	0,62	-15,119	-9,43888	
12	12	3,0286	2015	100,0468	0,969728	- 2,03	-53,316	108,009	
13	12	1,1931	2013	145,2490	0,991786	- 3,86	-8,113	31,32846	
14	4	4,4033	2015	87,0914	0,94944	- 0,65	-66,271	43,14796	
15	3	1,8092	2013	275,2912	0,993428	- 3,25	121,929	-395,691	
16	8	1,1080	2015	144,2624	0,992319	- 3,95	-9,100	35,91204	
17	2	12,0181	2015	237,0306	0,949297	6,96	83,668	582,6407	
18	19	1,2618	2010	140,7906	0,991038	-	-	-	
19	1	0,9113		126,2701	0,992783	- 4,14	-27,092	112,247	
20	7	1,4258	2015	163,5366	0,991281	- 3,63	10,174	-36,9183	
21	9	3,0739		180,4646	0,982967	- 1,98	27,102	-53,6759	
22	6	1,2937	2015	185,0562	0,993009	- 3,76	31,694	-119,191	
23	8	2,3546	2015	145,5244	0,98382	- 2,70	-7,838	21,16111	
24	5	3,0993	2015	186,9946	0,983426	- 1,96	33,632	-65,7548	
25	10	2,9833	2015	120,2132	0,975183	- 2,07	-33,149	68,6556	

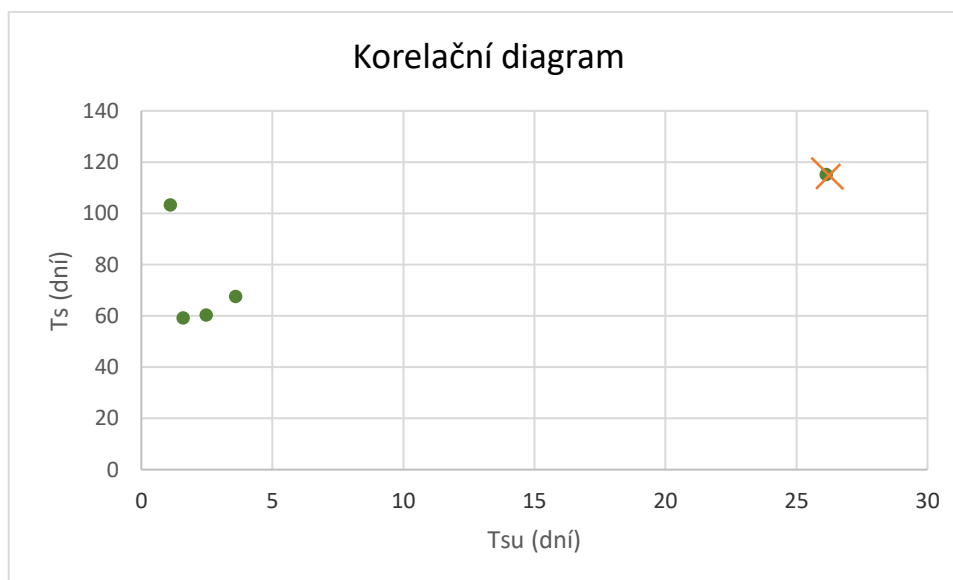


Graf 24 - Korelační diagram pro Tatra 815-7

U vozidla **Scania** je tato analýza pouze orientační z důvodu malého počtu dat. Z výpočtu je ještě vynecháno vozidlo č. 1. Důvod tohoto vyloučení je popsán v kapitole 5.3. Po této úpravě nám vyjde korelační koeficient $r = 0,21$ což je mírná přímá korelace. Bohužel se domnívám, že je to způsobeno zkreslením z malého počtu dat a domnívám se, že i tady jsou data chaotická a žádná závislost mezi střední dobou do poruchy a střední dobou v údržbě zde není. Na výsledky analýzy se můžeme podívat v tabulce 19 a grafu 25.

Tabulka 19 - Výpočet Pearsonova korelačního koeficientu pro Scania P 480

p.č.	počet oprav	Ts (dni)	rok výroby	Tsu (dni)	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	celková A0
1	4	115,2731	2017	26,1448	-	-	-	0,95611015
2	4	60,43772	2017	2,476876	-2,35373	-31,6757	74,5562562	
3	11	59,27083	2016	1,604555	-3,22606	-32,8426	105,9521381	Celková Ts
4	8	67,56837	?	3,601142	-1,22947	-24,5451	30,17739418	92,1134438
5	7	103,3777	2016	1,108968	-3,72164	11,26428	-41,92162808	
								Celková Tsu
								4,83061103
								koeficient r
								0,20598702



Graf 25 - Korelační diagram pro Scania P 480

Z této analýzy jsme zjistili vcelku překvapivý fakt a to, že mezi střední dobou do poruchy a střední dobou v údržbě není prakticky žádná vazba. Dalo by se ovšem přepokládat, že čím je vozidlo opotřebovanější a zkracuje se mu střední doba do poruchy, tak tím mu bude růst střední doba v údržbě, jelikož by se měly projevit větší a zásadnější poruchy. Tento předpoklad se zde ovšem nepotvrdil a ukázalo se, že v tomto případě u hasičských zásahových vozidel to neplatí.

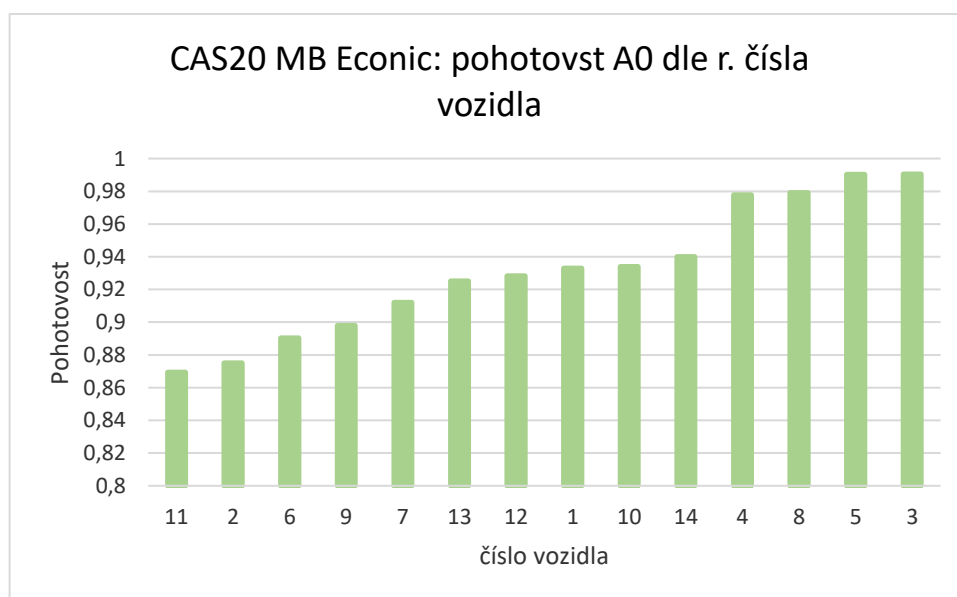
5.5. Pohotovost

Následně si zhodnotíme výsledky pohotovosti pro jednotlivé typy vozidel. Pohotovost je poměr střední doby do poruchy a střední doby v údržbě, proto opět souvisí s předchozími kapitolami.

U vozidel **M-B Econic** můžeme sledovat pohotovost jednotlivých vozidel mezi 0,86 a 0,99. U tohoto typu vozidel je celkem plynulý růst a celková pohotovost pro M-B Econic je 0,94. Konkrétní hodnoty u jednotlivých vozidel pro M-B Econic jsou vyobrazeny v tabulce 20 a grafu 26.

Tabulka 20 - Hodnoty pohotovosti pro jednotlivá vozidla typu M-B Econic

p.č.	počet oprav	Tsu (dni)	rok výroby	Ts (dni)	A0	celková A0
11	66	4,945728	2011	38	0,869342	0,94112805
2	21	10,45527	2013	84	0,874941	
6	52	5,331489	2011	49	0,89026	Celková Ts
9	92	2,918658	2011	29	0,897904	58,061095
7	56	4,430771	2010	50	0,912044	
13	53	3,165162	2012	42	0,925068	Celková Tsu
12	47	2,831918	2013	40	0,928326	3,4181699
1	30	3,4462	2014	51	0,932908	
10	34	3,504561	2013	53	0,93395	
14	55	2,488067	2012	41	0,940015	
4	18	3,758493	?	168	0,977655	
8	47	1,246044	2010	59	0,979045	
5	15	1,09598	2013	114	0,990353	
3	23	1,272981	?	135	0,990564	

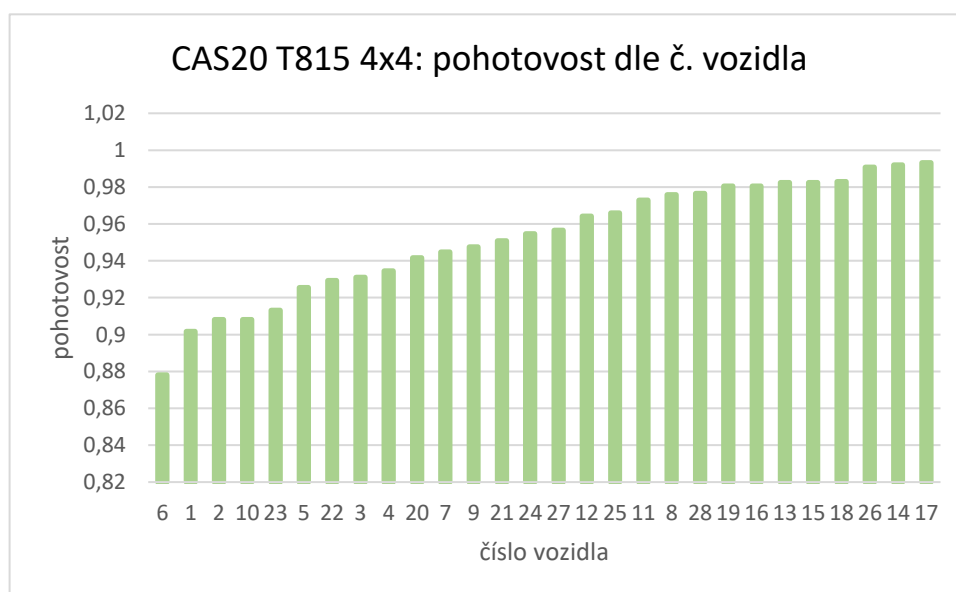


Graf 26 - Graf pohotovosti jednotlivých vozidel typu M-B Econic

U vozidel **Tatra 815-2** je situace téměř totožná jako u vozidel M-B Econic. Pohotovosti se pohybují v intervalu 0,86 – 0,99, přičemž celková pohotovost je 0,95. Výsledky jsou vyobrazeny v tabulce 21 a grafu 27.

Tabulka 21 - Hodnoty pohotovosti pro jednotlivá vozidla typu Tatra 815-2

p.č.	počet oprav	Tsu (dni)	rok výroby	Ts (dni)	A0
6	56	3,749114	?	27	0,859945
1	44	5,065985	?	44	0,88489
2	90	3,544514	?	35	0,897372
10	90	3,218046	?	31	0,897427
23	61	2,342045	2015	24	0,900719
22	16	5,88194	2015	64	0,90859
5	54	3,144481	?	37	0,914164
3	94	1,639576	?	21	0,923241
4	78	2,995604	?	41	0,926274
20	20	4,298739	2015	58	0,926477
21	16	4,445652	2015	70	0,936306
7	90	2,355237	?	38	0,938299
9	71	2,005335	?	34	0,940614
24	16	3,351338	2015	57	0,941359
27	13	4,820814	2015	84	0,942285
25	8	6,786768	2015	139	0,951283
12	14	2,665856	2015	56	0,952805
28	8	3,739648	2015	112	0,966591
11	30	2,010283	?	61	0,967151
8	49	1,67157	?	59	0,971858
19	11	3,00854	2015	113	0,973481
16	15	1,899698	2015	75	0,974625
18	8	3,601142	2015	147	0,97558
13	10	1,657392	2015	68	0,975715
15	16	1,846656	2015	81	0,977236
26	6	1,108906	2015	80	0,986184
14	10	1,215421	2015	109	0,988848
17	9	1,106612	2015	116	0,99049

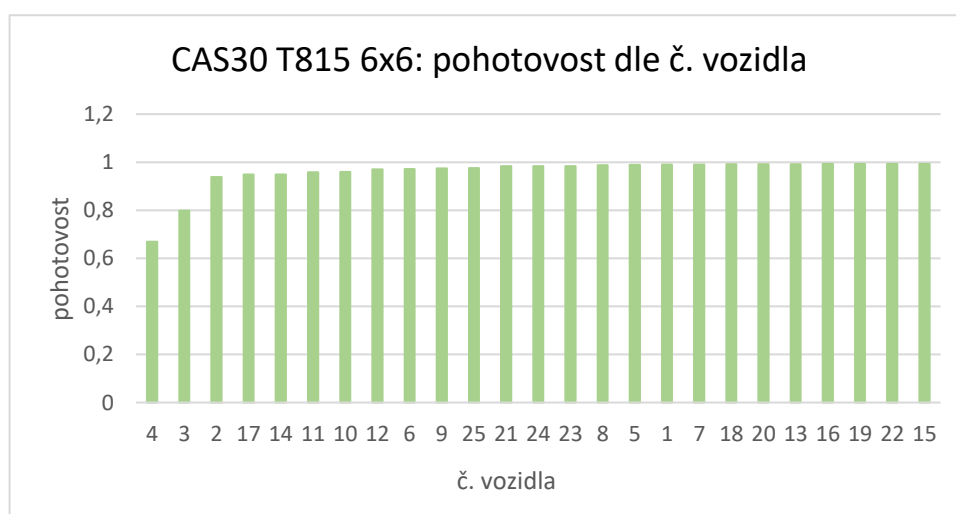


Graf 27 - Graf pohotovosti jednotlivých vozidel typu Tatra 815-2

Pohotovosti vozidel Tatra 815-7 se téměř všechny pohybují v intervalu od 0,95 – 0,996 a celková pohotovost je 0,97. Můžeme tedy pozorovat lepší pohotovost než u vozidel M-B Eonic a Tatra 815-2. Výjimku tvoří vozidla 4 a 3, u kterých byla vyšší střední doba v údržbě, která je objasněna v kapitole 5.3. Tento údaj o pohotovosti těchto dvou vozidel proto opět pokládám za zkreslený. Na hodnoty u jednotlivých vozidel se můžeme podívat v tabulce 22 grafu 28.

Tabulka 22 - Hodnoty pohotovosti pro jednotlivá vozidla typu Tatra 815-7

p.č.	počet oprav	Tsu (dni)	rok výroby	Ts (dni)	A0
4	21	22,46	2014	68	0,669566
3	23	11,69	2015	58	0,798025
2	13	5,75	2015	93	0,937833
17	2	12,02	2015	237	0,949297
14	4	4,40	2015	87	0,94944
11	8	5,68	2015	138	0,958922
10	5	5,98	2015	148	0,959665
12	12	3,03	2015	100	0,969728
6	9	1,84	2017	66	0,971847
9	12	3,85	2013	148	0,973989
25	10	2,98	2015	120	0,975183
21	9	3,07	?	180	0,982967
24	5	3,10	2015	187	0,983426
23	8	2,35	2015	146	0,98382
8	5	2,66	2015	214	0,987593
5	9	1,48	2015	132	0,988829
1	17	1,09	2012	111	0,990117
7	5	1,11	2015	121	0,990888
18	19	1,26	2010	141	0,991038
20	7	1,43	2015	164	0,991281
13	12	1,19	2013	145	0,991786
16	8	1,11	2015	144	0,992319
19	1	0,91	?	126	0,992783
22	6	1,29	2015	185	0,993009
15	3	1,81	2013	275	0,993428

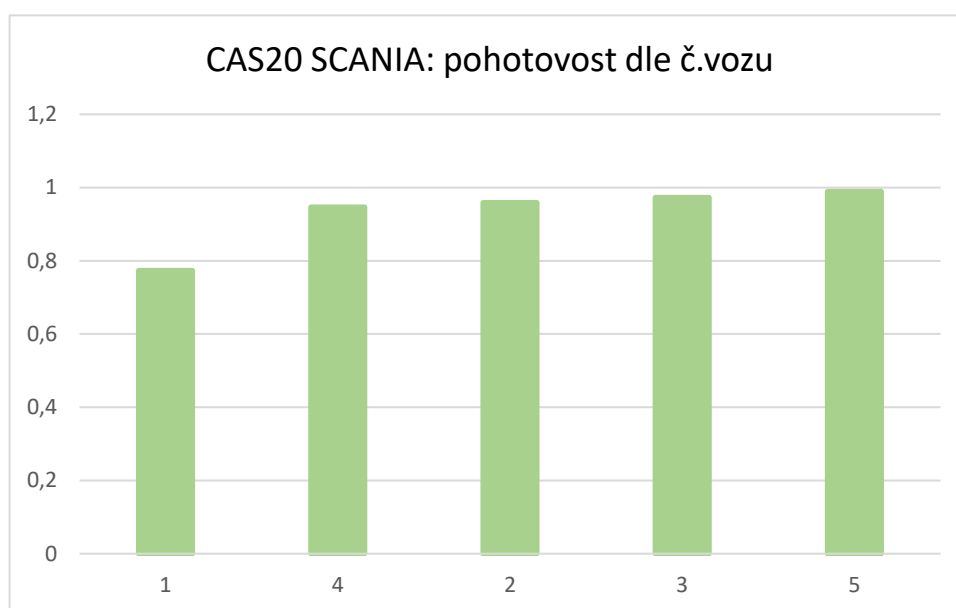


Graf 28 - Graf pohotovosti jednotlivých vozidel typu Tatra 815-7

U vozidel **Scania** z Jihomoravského kraje se pohotovost vešla do intervalu od 0,86 do 0,993 a celková pohotovost je 0,96. Vzhledem k počtu dat i tyto výsledky beru jako orientační, ale dá se předpokládat, že Scania se nebude nijak zvlášť lišit od M-B Econic a Tatra 815-2. V následující tabulce 23 a grafu 29 si můžeme prohlédnout výsledky.

Tabulka 23 - Hodnoty pohotovosti pro jednotlivá vozidla typu Scania P 480

p.č.	počet oprav	Ts (dni)	rok výroby	Tsu (dni)	A0
1	4	115,2731	2017	26,1448	0,773192
4	8	67,56837	?	3,601142	0,946704
2	4	60,43772	2017	2,476876	0,959018
3	11	59,27083	2016	1,604555	0,972928
5	7	103,3777	2016	1,108968	0,989273



Graf 29 - Graf pohotovosti jednotlivých vozidel typu Scania P 480

6. ZÁVĚR

Předmětem této práce bylo stanovit dosaženou úroveň provozní bezporuchovosti, udržitelnosti, a pohotovosti vybraných typů zásahových vozidel. Těmito vozidly byly vozidla z Moravskoslezského kraje, a to vozidla Mercedes-Benz Econic, Tatra 815-2 4x4 a Tatra 815-7 6x6, a vozidla Scania P480 CB 4x4 připadající Jihomoravskému kraji. Dále bylo nutno dle výsledků analýzy provést vzájemné porovnání hodnocených typů vozidel.

Data o poruchách a údržbě byla dodána v souborech Microsoft Excel, ve kterých také probíhaly veškeré výpočty.

Z dodaných dat o poruchách vozidel byly vidět nerovnoměrné využívání jak mezi typy vozidel, tak i mezi jednotlivými vozidly, což bylo přehledně viditelné zejména v korelaci mezi střední dobou do poruchy a střední dobou v údržbě. Z výsledků je patrné, že vozidla Tatra 815-7 jsou méně využívána. Dá se předpokládat, že je to z důvodu, že se tyto vozidla povolávají do provozu pouze na větší zásahy a zásahy do méně přístupných oblastí. Vozidla M-B Econic a Tatra 815-2 jsou naopak zasahují v běžných podmínkách a jsou v provozu znatelně častěji.

Doporučuje se hasičskému záchrannému sboru, aby přešel na sofistikovanější systém databáze o poruchách vozidel za účelem snížení chybovosti v těchto datech. Poté se bude moci lépe stanovit dosaženou úroveň provozní bezporuchovosti, udržitelnosti, a pohotovosti. Případně poté navrhnout výhodnější systém údržby těchto vozidel, což může mít za následek pozitivní ekonomický dopad, ale i vyšší pohotovost vozidel.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. FAMFULÍK, J. a kol. *Zkoušky spolehlivosti*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010. ISBN 978-80-248-2277-8.
2. FAMFULÍK, J. *Teorie údržby*. VŠB – TU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1029-8.
3. FAMFULÍK, J, R KRZYŽANEK a V HRANOŠ. *Spolehlivost pozemní dopravy*. Ostrava, 2017. ISBN 978-80-248-3266-1.
4. [online]. [cit. 25.4.2020] Dostupné z: <https://www.storage.pozary.cz/article/5/1/5197a9a080c9b/obr5197aed6f263b.800.jpg>
5. [online]. [cit. 25.4.2020] Dostupné z: https://www.scontent-lga3-1.cdninstagram.com/v/t51.2885-15/sh0.08/e35/c135.0.810.810a/s640x640/75231174_194180978289977_830557739172066648_n.jpg?_nc_ht=scontent-lga3-1.cdninstagram.com&_nc_cat=105&_nc_ohc=HzYstOfu6ygAX-Xqbft&oh=fa874cfd3eef20106aa0a45312da9fe7&oe=5EC451B8
6. Technický ústav požární ochrany - CISTERNOVÁ AUTOMOBILOVÁ STRÍKAČKA 20/4000/240-S 2 T na podvozku SCANIA P480 CB 4x4 CrewCab CP28 s převodovkou Allison - Hasičský záchranný sbor České republiky. Úvodní strana - Hasičský záchranný sbor České republiky [online]. Copyright © 2019 Generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, všechna práva vyhrazena [cit. 25.04.2020]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/cisternova-automobilova-strikacka-20-4000-240-s-2-t-na-podvozku-scania-p480-cb-4x4-crewcab-cp28-s-prevodovkou-allison.aspx>
7. TATRA 815-7 EURO 5: *Návod k obsluze*. 10. vydání. TATRA TRUCK, 2014.
8. TATRA 815-2 EURO 5: *Návod k obsluze*. 5. vydání. TATRA TRUCK, 2013.
9. ROTZLER. *ECONIC: Návod k obsluze*. Mercedes-Benz, 2013.
10. Katedra psychologie – Aktuality [online] [cit. 25.04.2020]. Dostupné z: <http://kps.pedf.cuni.cz/skalouda/pokrocili/korelacni.htm>
11. Podklady HZS

8. SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázek 1 - Tatra 815-2 4x4 CAS20 [8]	5
Obrázek 2 - Tatra 815-7 6x6 CAS30 [4]	7
Obrázek 3 - Mercedes-Benz Econic CAS 20 [9]	9
Obrázek 4 - Scania P480 CB 4x4 [5]	10
Obrázek 5 - Příklad grafického vyjádření t-plánu [1]	22
Tabulka 1 - Seznam vozidel Scania Jihomoravský kraj	26
Tabulka 2 - Seznam vozidel Moravskoslezský kraj	27
Tabulka 3 - Souhrn výpočtů střední doby do poruchy, střední doby v údržbě a pohotovosti vozidel M-B Econic	28
Tabulka 4 - Souhrn výpočtů střední doby do poruchy, střední doby v údržbě a pohotovosti vozidel Tatra 815-2	28
Tabulka 5 - Souhrn výpočtů střední doby do poruchy, střední doby v údržbě a pohotovosti vozidel Tatra 815-7	29
Tabulka 6 — Souhrn výsledků střední doby do poruchy, střední doby v údržbě a pohotovosti vozidel Scania	29
Tabulka 7 - Tabulka hodnot střední doby do poruchy pro typ M-B Econic	30
Tabulka 8 - Tabulka hodnot střední doby do poruchy pro typ Tatra 815-2	31
Tabulka 9 - Tabulka hodnot střední doby do poruchy pro typ Tatra 815-7	32
Tabulka 10 - Tabulka hodnot střední doby do poruchy pro typ Scania P480	33
Tabulka 11 - Střední doba do poruchy vzhledem ke konstrukčním skupinám	35
Tabulka 12 - Tabulka hodnot střední doby údržby pro typ M-B Econic	38
Tabulka 13 - Tabulka hodnot střední doby údržby pro typ Tatra 815-2	39
Tabulka 14 - Tabulka hodnot střední doby údržby pro typ Tatra 815-7	40
Tabulka 15 - Tabulka hodnot střední doby údržby pro typ Scania P480	41
Tabulka 16 - Výpočet Pearsonova korelačního koeficientu pro M-B Econic	42
Tabulka 17 - Výpočet Pearsonova korelačního koeficientu pro Tatra 815-2	43
Tabulka 18 - Výpočet Pearsonova korelačního koeficientu pro Tatra 815-7	44
Tabulka 19 - Výpočet Pearsonova korelačního koeficientu pro Scania P 480	45
Tabulka 20 - Hodnoty pohotovosti pro jednotlivá vozidla typu M-B Econic	47
Tabulka 21 - Hodnoty pohotovosti pro jednotlivá vozidla typu Tatra 815-2	48
Tabulka 22 - Hodnoty pohotovosti pro jednotlivá vozidla typu Tatra 815-7	49
Tabulka 23 - Hodnoty pohotovosti pro jednotlivá vozidla typu Scania P 480	50

Graf 1 - Vliv změny parametru tvaru m na hustotu pravděpodobnosti [1].....	15
Graf 2 - Vliv změny parametru měřítka t_0 na hustotu pravděpodobnosti [1].....	15
Graf 3 - Vliv změny parametru tvaru m na intenzitu poruch [1].....	16
Graf 4 - Intenzita Poruch $\lambda(t)$ v závislosti na čase t [2]	16
Graf 5 - Průběh hustoty pravděpodobnosti [1]	17
Graf 6 - Průběh $F(t)$ pro různé hodnoty λ [1].....	18
Graf 7 - Korelační diagram – závislost mezi T_s a T_{su}	24
Graf 8 - Střední doba do poruchy dle vozidel pro M-B Eonic.....	30
Graf 9 - Střední doba do poruchy dle vozidel pro Tatra 815-2	31
Graf 10 - Střední doba do poruchy dle vozidel pro Tatra 815-7	32
Graf 11 - Střední doba do poruchy dle vozidel pro Scania P480	33
Graf 12 - Střední doba do poruchy dle typu vozidel.....	34
Graf 13 - Střední doba do poruchy u brzd	35
Graf 14 - Střední doba do poruchy u rámu a zavěšení	36
Graf 15 - Střední doba do poruchy u karoserie.....	36
Graf 16 - Střední doba do poruchy u hnací soustavy	37
Graf 17 - Střední doba do poruchy u elektroinstalace	37
Graf 18 - Střední doba údržby dle vozidel pro M-B Eonic.....	38
Graf 19 - Střední doba údržby dle vozidel pro Tatra 815-2.....	39
Graf 20 - Střední doba údržby dle vozidel pro Tatra 815-7.....	40
Graf 21 - Střední doba údržby dle vozidel pro Scania P480	41
Graf 22 - Korelační diagram pro M-B Eonic	42
Graf 23 - Korelační diagram pro Tatra 815-2.....	43
Graf 24 - Korelační diagram pro Tatra 815-7.....	44
Graf 25 - Korelační diagram pro Scania P 480.....	45
Graf 26 - Graf pohotovosti jednotlivých vozidel typu M-B Eonic	47
Graf 27 - Graf pohotovosti jednotlivých vozidel typu Tatra 815-2	48
Graf 28 - Graf pohotovosti jednotlivých vozidel typu Tatra 815-7	49
Graf 29 - Graf pohotovosti jednotlivých vozidel typu Scania P 480.....	50

9. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Výpočty pro M-B Eonic

Příloha B – Výpočty pro Tatra 815-2

Příloha C – Výpočty pro Tatra 815-7

Příloha D – Výpočty pro Scania