

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI  
KOLEJOVÝCH VOZIDEL  
STANDARDNÍMI  
CHARAKTERISTIKAMI

Martin Staněk

Bakalářská práce

**2020**

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Olomouci dne 20. 5. 2020

Martin Staněk

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Martin Staněk**  
Osobní číslo: **D16173**  
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Kolejová vozidla**  
Téma práce: **Hodnocení spolehlivosti kolejových vozidel standardními charakteristikami**  
Zadávající katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

### Zásady pro vypracování

S využitím a konsolidací dat o provozu a údržbě kolejových vozidel zpracujte problematiku hodnocení spolehlivosti kolejových vozidel v prostředí železničního dopravního prostředku. Provedte:

1. teoretický rozbor charakteristik pro popis spolehlivosti, které se aktuálně uplatňují v mezinárodních standardech a normách;
2. výběr charakteristik, jejichž hodnocení lze provést z dat, která jsou k dispozici z dat o provozu a údržbě vozidel;
3. návrh postupu a popis konsolidace dat z informačních systémů;
4. statistické zpracování získaných dat, které odpovídá zvoleným charakteristikám a jeho základní popis;
5. návrh interpretace zjištěných výsledků a hodnot ve vztahu ke spolehlivosti a kvalitě provozu kolejových vozidel.

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**  
Rozsah grafických prací: **podle pokynů vedoucího BP**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

- [1] ČSN IEC 60050-192:2016. Mezinárodní elektrotechnický slovník – Část 192: Spolehlivost.
- [2] FAMFULÍK J., MÍKOVÁ J., KRZYŽANEK R.: Teorie údržby. Ostrava: Ediční středisko Vysoké školy báňská – Technické univerzity Ostrava, 2007. 237 s. ISBN 978-80-248-1509-1.
- [3] LEGAT V.: Management a inženýrství údržby. Praha: Professional Publishing, 2013. 570 s. ISBN 978-80-7431-119-2.
- [4] HOLUB R., VINTR Z.: Spolehlivost letadlové techniky: elektronická učebnice [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2001. Dostupné z: <http://u.fme.vutbr.cz/files/SpolehlivostLetadloveTechniky.pdf>

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Elstner**  
ČD, a.s., DKV Brno

Datum zadání bakalářské práce: **18. února 2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **18. května 2020**

L.S.

---

**doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.**  
děkan

---

**Ing. Jakub Vágner, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 18. února 2020

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Martinu Elstnerovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky v celém průběhu jejího zpracování, zejména při kompletaci výsledků práce. Poděkování patří také zaměstnancům společnosti České dráhy, a.s. ze středisek údržby spadajících pod Oblastní centrum údržby Východ, která mi poskytla potřebná data.

## **Anotace**

Bakalářská práce se zaměřuje na hodnocení spolehlivosti kolejových vozidel standardními charakteristikami. Hlavním cílem práce je při využití a konsolidaci dat o provozu a údržbě kolejových vozidel zpracovat problematiku hodnocení spolehlivosti kolejových vozidel v prostředí železničního dopravce. K hodnocení jsou využity informace z provozu a údržby kolejových vozidel. Práce vznikla ve spolupráci se společností České Dráhy a.s., která poskytla data k provedení analýzy ze středisek údržby spadajících pod Oblastní centrum údržby Východ. Vyhodnocení získaných dat je prováděno v tabulkovém procesoru MS Excel. Součástí práce jsou také grafy získané z analýzy dat o údržbě.

## **Klíčová slova**

Data o provozu a údržbě, údržba kolejových vozidel, spolehlivost kolejových vozidel, Weibullovo rozdělení, železniční doprava osob

## **Title**

The evaluation of rail vehicles dependability by using the standard characteristics.

## **Annotation**

The bachelor thesis focuses on the evaluation of the dependability of rail vehicles by using standard characteristics. The main goal of this work is to use and consolidate data from the operation and maintenance of rail vehicles in order to determine and evaluate the dependability of rail vehicles in the environment of the railway carrier. The work was made in cooperation with České Dráhy a.s., which provided data for analysis from maintenance centres under the Regional Maintenance Centre East. The evaluation of the obtained data is performed by the MS Excel. The work also includes graphs obtained from the analysis of maintenance data.

## **Keywords**

Operation and maintenance data, maintenance of rail vehicles, dependability of rail vehicles, Weibull distribution, passengers rail transport

## **Obsah**

Seznam grafů .....	9
Seznam symbolů a zkratk .....	10
1 Úvod.....	11
2 Spolehlivost v mezinárodních standardech a normách.....	12
2.1 Spolehlivost a její vymezení.....	12
2.2 Spolehlivost a sledované veličiny .....	14
3 Charakteristiky k provedení analýzy spolehlivosti .....	16
3.1 Zákony rozdělení.....	16
3.2 Ukazatele spolehlivosti .....	19
3.3 Ukazatele udržovatelnosti.....	20
4 Postup a konsolidace dat z informačního systému.....	22
4.1 Systém SAP R/3 .....	22
4.2 Motorová jednotka 814 .....	23
4.3 Výzkumný soubor .....	24
4.4 Vyřazení pracovišť.....	25
4.5 Seznam zakázek a operací.....	26
4.6 Konsolidace dat.....	29
5 Statistické zpracování získaných dat.....	31
5.1 Rozdělení do tříd .....	31
5.2 Stanovení četností Weibullova rozdělení.....	32
5.3 Parametry $\alpha$ , $\beta$ .....	32
5.4 Chí-kvadrát test.....	32
6 Interpretace dat.....	34
6.1 Přehled parametrů a střední doby.....	34

**HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI**

6.2	Grafická interpretace .....	35
7	Využití výsledků šetření ve vztahu ke spolehlivosti.....	36
8	Závěr.....	38
	Příloha .....	39
	Bibliografie.....	52



## **Seznam grafů**

Graf 1 Distribuční funkce – Doba preventivní údržby.....	39
Graf 2 Distribuční funkce – Doba údržby po poruše.....	40
Graf 3 Distribuční funkce – Doba údržby.....	41
Graf 4 Distribuční funkce – Doba aktivní preventivní údržby .....	42
Graf 5 Distribuční funkce – Doba opravy.....	43
Graf 6 Srovnání distribuční funkce doby aktivní preventivní údržby a doby opravy.....	44
Graf 7 Srovnání distribuční funkce preventivní údržby a údržby po poruše.....	45
Graf 8 Funkce intenzity – Doba preventivní údržby .....	46
Graf 9 Funkce intenzity – Doba údržby .....	47
Graf 10 Funkce intenzity – Doba údržby po poruše.....	48
Graf 11 Funkce intenzity – Doba aktivní preventivní údržby .....	49
Graf 12 Funkce intenzity - Doba opravy .....	50
Graf 13 Srovnání funkce intenzity doby preventivní údržby a údržby po poruše .....	51

## **Seznam symbolů a zkratek**

ARR – Automatická regulace rychlosti

ERP – Enterprise Resource Planning (Plánování podnikových zdrojů)

Nh – Normohodiny

OCP – Oblastní centrum provozu

OCÚ – Oblastní centrum údržby

PM – Plant Maintenance (údržba)

PMPR – malá prohlídka

PNEO – neplánovaná operace

TM – Technické místo

ŽKV – Železniční kolejové vozidlo

## **1 Úvod**

V konkurenčním prostředí, které v současnosti panuje mezi železničními dopravci v oblasti železniční dopravy v České republice, je provozuschopnost železničních kolejových vozidel (ŽKV) jedním z klíčových faktorů pro zvýšení výkonnosti společnosti a tím i konkurenceschopnosti. „Ušetřená koruna v údržbě znamená o korunu vyšší zisk, ale správně použitá koruna v údržbě může znamenat mnohonásobně více“ (Votava, 2013, str. 13). Konkurenceschopnost železničního dopravce je vedle dalších činitelů úzce spojena s hodnocením jeho spolehlivosti zákazníkem.

Doprovce může při zvyšování úrovně své spolehlivosti sázet jen na vlastní zařízení, případně personál (Eltner, 2018), a proto je efektivnost údržby směřující k zachování nebo obnovení stavu, ve kterém ŽKV splňuje všechny požadované funkce (Votava, 2013, str. 13) v jeho nejvlastnějším zájmu. Právě doba, po kterou ŽKV splňuje všechny požadované funkce a po kterou tak může dopravce spolehlivě uspokojovat potřeby svých zákazníků, aniž by musel pořizovat novou nákladnou investici, je důležitá pro hodnocení efektivity vynaložené investice.

Je-li tedy údržba důležitým procesem k zajištění provozuschopnosti ŽKV a tím i zajištění jeho spolehlivosti, pak s ohledem na výše uvedené logicky vyplývá snaha majitelů optimalizovat náklady na údržbu ŽKV při zvyšování její kvality.

Předkládaná bakalářská práce má ze své podstaty jen omezené možnosti popisu vlastního interdisciplinárního procesu údržby ŽKV, jenž je kombinací mnoha činitelů. Výpočty byly prováděny v prostředí tabulkového procesoru MS Excel. Data pochází ze systému SAP R/3 využívaného u společnosti České dráhy, a. s. a jako nejvhodnější pro porovnání spolehlivosti údržby se jevílo využít informace o údržbě jednotky 814 Regionova. U této jednotky je prováděna údržba ve většině SÚ a je u ní také veden dostatečně dlouho elektronický záznam o provedené údržbě. Data o údržbě byla pro tuto bakalářskou práci získána z pracovišť spadajících pod OCÚ Východ.

Cílem bakalářské práce bylo zpracovat při využití a konsolidaci dat o provozu a údržbě kolejových vozidel problematiku hodnocení spolehlivosti kolejových vozidel v prostředí železničního dopravce.

K dosažení vytčeného cíle, bylo nutné provést šetření o způsobu stanovování spolehlivosti dle platných norem (2. kapitola – Spolehlivost v mezinárodních standardech a normách. Dále pak bylo nutné navrhnout způsob zpracování získaných dat a dle tohoto způsobu provést jejich konsolidaci (3. kapitola – Charakteristiky k provedení analýzy spolehlivosti, 4. kapitola – Postup a konsolidace dat z informačního systému a 5. kapitola – 5 Statistické zpracování získaných dat.

V posledních kapitolách (6. kapitola – Interpretace dat a 7. kapitola – Využití výsledků šetření ve vztahu ke spolehlivosti) byla prezentována číselná i grafická interpretaci zjištěných výsledků ve vztahu ke spolehlivosti provozu ŽKV a naznačena možnost dalšího využití zjištěných výsledků.

## 2 Spolehlivost v mezinárodních standardech a normách

Každý výrobek, služba či prováděná činnost jsou nositeli **jakostních znaků**. Jedná se o obecný parametr, pomocí kterého můžeme porovnávat jednotlivé výrobky, služby činnosti atd. Jakostní znaky lze rozdělit do několika skupin, a to na znaky:

- technické, působící při užívání výrobku,
- estetické,
- ekologické,
- ergonomické,
- ekonomické.

Právě mezi znaky, jež se uplatňují při užívání konkrétního výrobku, můžeme najít ty, které jsou označovány termíny: spolehlivost, životnost, udržovatelnost, opravitelnost, snadnost obsluhy apod. Cílem bakalářské práce bylo zaměřit se na hodnocení spolehlivosti, a proto se dalšími výše uvedenými znaky nebudeme podrobněji zabývat.

### 2.1 Spolehlivost a její vymezení

V současné době je spolehlivost definována v ČSN IEC 60050-192 (Mezinárodní elektrotechnický slovník). Aktuálně platná norma ČSN IEC 60050-192 definuje spolehlivost takto: *schopnost fungovat tak, jak je požadováno a tehdy, když je to požadováno* (ČSN IEC 60050-192, 2016, str. 23). Tato definice je dále upřesněna dvěma poznámkami. První poznámka uvádí následující: *do spolehlivosti se zahrnuje pohotovost, bezporuchovost, zotavitelnost, udržovatelnost a zajištěnost údržby a v některých případech i jiné charakteristiky, jako je životnost, bezpečnost a zabezpečení* (ČSN IEC 60050-192, 2016, str. 23). Druhá poznámka pak uvádí toto: *spolehlivost se používá jako souhrnný termín pro charakteristiky kvality objektu, které se vztahují k času* (ČSN IEC 60050-192, 2016, str. 23).

Nicméně spolehlivost, jakožto termín, není lehké definovat. V čase se samotná definice tohoto termínu měnila, a proto zde pro informaci a přehled bude vhodné uvést nástin jejího vývoje, jak jej bylo možné vysledovat při studiu literatury.

S definicemi spolehlivosti podle starších technických norem se lze setkat například u autorů Holuba a Vintra (2001). V publikaci autorů Famfulík, Míková, Krzyžánek nazvané „Teorie údržby“ se jako definice spolehlivosti uvádí: *„pravděpodobnost bezporuchového provozu, to je pravděpodobnost, že objekt může plnit požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém intervalu“* (Famfulík, Míková, Kryžánek, 2007, str. 10). Pro doplnění můžeme vedle

## HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI

normativního definování uvést také vymezení spolehlivosti, tak, jak jej uvádějí Legát a kol. v publikaci „Management a inženýrství údržby“, když píšou: „... *obecná vlastnost výrobku, spočívající ve schopnosti plnit požadované funkce při zachování hodnot stanovených provozních parametrů v daných mezích a v čase podle stanovených technických podmínek...*“ (Legát a kol., 2013, str. 257). Definice spolehlivosti je také popsána v technické normě pro řízení jakosti ČSN ISO 9000:2015, kde se uvádí: *schopnost fungovat tak, jak a kdy je požadováno* (ČSN ISO 9000, 2015, str. 32) a v normě ČSN EN 60300-1 ed. 2, která uvádí definici spolehlivosti takto: *schopnost fungovat tak, jak je požadováno, a tehdy, když je to požadováno* (ČSN EN 60300-1, 2015, str. 8).

Z toho, jak je spolehlivost definována, lze odvozovat další související charakteristiky – pravděpodobnost bezporuchového provozu, pravděpodobnost poruchy, intenzitu poruchy, hustotu pravděpodobnosti poruchy (ČSN IEC 60050-192, 2016, str. 23).

Pro potřeby naší práce a s odkazem na ČSN IEC 60050-192 uvádíme vymezení vybraných pojmů, které se se spolehlivostí souvisí:

- **bezporuchovost** – *schopnost fungovat v daných podmínkách během daného časového intervalu bez poruchy tak, jak je požadováno,*
- **udržovatelnost** – *schopnost objektu v daných podmínkách používání a údržby být udržen ve stavu nebo být navrácen do stavu, kdy funguje tak, jak je požadováno,*
- **zajištěnost údržby** – *efektivnost organizace s ohledem na podporu údržby,*
- **porucha** – *ztráta schopnosti fungovat tak, jak je požadováno,*
- **doba provozu do první poruchy** – *doba provozu kumulovaná od prvního použití do poruchy,*
- **údržba** – *kombinace všech technických zásahů a zásahů managementu zaměřených na udržení objektu ve stavu nebo jeho navrácení do stavu, ve kterém může fungovat tak, jak je požadováno,*
- **doba údržby** – *doba trvání údržby, včetně doby aktivní údržby a vzniklého technického a logistického zpoždění daného zásahu údržby,*
- **preventivní údržba** – *údržba prováděná ke zmírnění degradace a snížení pravděpodobnosti poruchy,*
- **údržba po poruše** – *údržba prováděná po detekci poruchového stavu s cílem uskutečnit obnovu.*

Z výše uvedených vymezení je zřejmé, že hodnocení spolehlivosti je komplexní úkol vyžadující širší pohled. Samotná definice spolehlivosti není přímá, a proto se hodnocení spolehlivosti musí skládat z více kritérií.

Objekty studie spolehlivosti můžeme rozdělit dle několika kritérií. Jedním z nich může být rozdělení na objekty opravitelné a neopravitelné. U neopravitelných objektů po poruše nedochází k opravě, ale přistupuje se rovnou k výměně. Jedná se zpravidla o objekty, u kterých by byla

## HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI

oprava příliš nákladná nebo obtížná anebo se z časových důvodů vyplatí objekt rovnou vyměnit. Příkladem neopravovaného prvku může být prasklá žárovka. U opravovaných objektů dochází po poruše k opravě a tento proces se opakuje až do doby, kdy je rozhodnuto, že se již z ekonomických, provozních nebo i jiných důvodů nevyplatí objekt dále opravovat a je ukončen jeho fyzický život. Dopravní prostředky jakožto objekty složené z mnoha konstrukčních skupin a prvků řadíme mezi opravované objekty.

Z výše uvedené aktuálně platné definice spolehlivosti, na ni navazujících poznámek a uvedených vymezení pojmů souvisejících se spolehlivostí je zřejmé, že na výslednou spolehlivost u opravovaných objektů má podíl:

- **udržovatelnost**, tedy možnost údržby a předcházení vzniku poruchy,
- **opravitelnost**, tedy schopnost objektu se vrátit opět do provozuschopného stavu po provedené opravě.

## 2.2 Spolehlivost a sledované veličiny

V rámci spolehlivosti je vhodné sledovat různé ukazatele a veličiny ze života pozorovaného objektu. Všechny tyto veličiny je potřeba vztahovat k nějakému období, času, době provozu. Veličiny ve spolehlivosti vozidel mohou být tedy vztahovány například k provozním hodinám, kilometrickému proběhu, litrech spotřebovaného paliva a dalším k provozu se vztahujícím veličinám. Je proto nutné vždy určit, ke kterému rámci jsou dané spolehlivostní veličiny vztaheny a při porovnávání je dodržovat.

Níže jsou uvedeny často sledované veličiny ve spolehlivosti dopravních prostředků a jejich definice tak, jak jsou uvedeny v publikaci „Spolehlivost letadlové techniky“ (Holub, VINTR, 2001):

- **doba provozu** – časový interval, během něhož je objekt v provozu
- **doba provozu do poruchy** – celková doba provozu objektu od okamžiku jeho prvního uvedení do použitelného stavu až do poruchy, nebo od okamžiku obnovy do příští poruchy.
- **doba provozu mezi poruchami** – celková doba provozu mezi dvěma po sobě jdoucími poruchami opravovaného objektu.
- **užitečný život** – časový interval začínající od daného časového okamžiku a končící v okamžiku, kdy intenzita poruch je nepříjemná, nebo kdy je objekt v důsledku poruchového stavu považován za neopravitelný v daných podmínkách.

Všechny tyto veličiny vycházejí ze sledování doby provozu. Následující sledované veličiny vycházejí ze sledování doby údržby, viz též Obr. 1.

- **doba údržby** – časový interval, během něhož se provádí údržbářský zásah buď ručně, nebo automaticky, včetně technických a logistických zpoždění.

**HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI**

- **doba preventivní údržby** – část doby údržby, během níž se na objektu provádí preventivní údržba, včetně technických a logistických zpoždění obsažených v preventivní údržbě.
- **doba údržby po poruše** – část doby, během níž se na objektu provádí údržba po poruše, včetně technických a logistických zpoždění obsažených v údržbě po poruše.
- **doba opravy** – část doby aktivní údržby po poruše, během níž se na objektu provádějí opravárenské práce.
- **logistické zpoždění** – kumulovaná doba během níž se nemohou provádět údržbářské operace z důvodu nezbytného získání údržbářských prostředků, kromě administrativního zpoždění
- **technické zpoždění** – kumulovaná doba potřebná k provedení pomocných technických operací, které souvisí s údržbářským zásahem.



Obr. 1 Schéma doby údržby (HOLUB, VINTR, 2001, s. 20)

Další veličiny, které jsou ještě často sledovány, mohou být například pracnost údržby, doba použitelného nebo nepoužitelného stavu a další.

Sledováním a poctivým zaznamenáváním výše zmíněných veličin je možné získat významný přehled o stavu spolehlivosti daných objektů. K systematickému zaznamenávání takovýchto údajů mohou, a často již slouží, právě různé počítačové softwary zaměřené na provoz či údržbu. Data, která tímto způsobem vytěžíme, lze pak dále zpracovat, a tak získat potřebné ukazatele spolehlivosti.

### 3 Charakteristiky k provedení analýzy spolehlivosti

Abychom mohli kvantitativně popisovat ukazatele spolehlivosti, je potřeba stanovit vhodnou metodu a přístup. Autoři Holub, VINTR uvádějí definici ukazatele jako „*funkci nebo číselnou hodnotu používanou pro popis náhodné proměnné nebo náhodného procesu*“ (Holub, VINTR, 2001, str. 21). Z této definice vyplývá, že na ukazatele spolehlivosti se lze dívat jako na náhodné jevy. S těmito jevy právě úzce souvisí teorie pravděpodobnosti a matematická statistika, jež se pro popis stochastických jevů s výhodou používají.

Matematická statistika, jakožto věda zabývající se hromadným studiem dat, je vhodná pro zpracování velkého množství zaznamenaných veličin. Jelikož však zaznamenaná data jsou především dílem náhody, je potřeba znalost teorie pravděpodobnosti, aby mohly být získané ukazatele správně interpretovány. Zcela obecně pro všechna použití je k úplnému popisu náhodného jevu v teorii pravděpodobnosti postačující znalost definičního oboru a zákona rozdělení pravděpodobnosti dané veličiny na zvoleném definičním oboru. K takovému jednoznačnému určení se obecně nejčastěji používá distribuční funkce  $F(x)$  nebo funkce hustoty pravděpodobnosti  $f(x)$  s příslušným definičním oborem. Dále je možné rozdělení náhodné veličiny charakterizovat pomocí číselných charakteristik, které mnohdy také udávají dostatečný přehled o jednotlivých rozděleních. Z nejčastěji používaných se například jedná o střední hodnotu náhodné veličiny, rozptyl nebo kvantilové charakteristiky. Těchto standartních charakteristik je tedy samozřejmě využíváno i v oblasti teorie spolehlivosti.

#### 3.1 Zákony rozdělení

Konkrétně ve spolehlivosti je typicky pro popis spojitých náhodných jevů používáno několik zákonů rozdělení. Jejich použití často vychází z předchozích zkušeností nebo je stanoveno příslušnou normou. Například při sledování doby do poruchy u klasických žárovek, nabývá náhodná veličina exponenciálního rozdělení. Další používaná rozdělení mohou pro některé případy nabývat tvar normálního nebo logaritmicko-normálního rozdělení. Velmi často používaným rozdělením, zejména pro svou univerzálnost a dobrou možnost zpracování v tabulkových procesorech je Weibullovo rozdělení. Dále jsou uvedeny podrobnější popisy dvou nejčastěji používaných rozdělení v teorii spolehlivosti.

##### 3.1.1 Exponenciální rozdělení

V teorii spolehlivosti se exponenciální rozdělení nejčastěji používá v jedno-parametrické variantě. Parametrem rozdělení je intenzita náhodného jevu. Toto rozdělení se nejčastěji používá pro poruchy zařízení, které nejsou způsobovány v důsledku degradace součástí (např. stárnutí, opotřebení, koroze), ale zcela náhodně, nezávisle na době používání. Nebo například pro popis



## HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI

poruch dopravních prostředků v období konstantního parametru proudu poruch.<sup>1</sup> Hlavní charakteristikou tohoto rozdělení tedy je, že funkce intenzity  $h(x)$ , nebo často také hazardní funkce, je v čase konstantní a je vyjádřena vztahem (1)

$$h(x) = \lambda \quad (1)$$

Kde:

- $\lambda$  je intenzita poruch

Hustota pravděpodobnosti je pak dána vztahem (2):

$$f(x) = \lambda \cdot \exp(-\lambda \cdot x) \quad (2)$$

Vztah pro distribuční funkci vyjadřuje rovnice (3):

$$F(x) = 1 - \exp(-\lambda \cdot x) \quad (3)$$

Důležitá číselná charakteristika je Střední hodnota nebo též nazývaná veličina charakteristický život. Je určena vztahem (4):

$$E(x) = \mu = \frac{1}{\lambda} \quad (4)$$

Kde:

- $\mu$  je střední hodnota náhodné proměnné

### 3.1.2 Weibullovo rozdělení

V praxi je Weibullovo rozdělení zpravidla definováno pomocí dvou parametrů<sup>2</sup>. Jedná se o parametr tvaru a polohy. Jeho největší výhodou je velká variabilita v možnostech popisu rozdělení náhodných veličin. Díky změně parametru tvaru může nahradit i jiná rozdělení, jako například exponenciální nebo aproximuje normální rozdělení. Toho lze s výhodou využít právě při hromadném zpracování dat v tabulkových procesorech. Není třeba dopředu znát předpokládaný tvar rozdělení a ke zpracování postačuje pouze jedna rovnice Weibullova rozdělení. Ve spolehlivosti dopravních prostředků tak lze toto rozdělení využít pro popis celého technického

---

<sup>1</sup> Podrobněji k tomuto tématu lze využít LEGÁT, V., HRUBEC, J.: Bezporuchovost a životnost. In LEGÁT, V. a kol.: Management a inženýrství údržby. Průhonice: Professional Publishing, 2013, ss. 270-272.

<sup>2</sup> v praxi existuje rovněž tříparametrické Weibullovo rozdělení.

## HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI

života prostředku. Lze popsat jak období konstantního parametru proudu poruch, tak období časných poruch nebo období opotřebení.

Hustota pravděpodobnosti pro dvou-parametrické Weibullovo rozdělení je dána vztahem (5):

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \cdot \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \cdot \exp\left[-\exp\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (5)$$

Kde:

- $\alpha$  je parametr polohy rozdělení;
- $\beta$  je parametr tvaru rozdělení

Distribuční funkce je dána vztahem (6):

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (6)$$

Funkci intenzity Weibullova rozdělení stanoví vztah (7):

$$h(x) = \frac{\beta}{\alpha} \cdot \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \quad (7)$$

Číselná charakteristika střední hodnoty je funkcí obou parametrů a je dána vztahem (8):

$$E(x) = \alpha \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (8)$$

Kde:

- $\Gamma$  – hodnota „funkce gama“

Stejně jako u exponenciálního rozdělení můžeme u Weibullova rozdělení určit charakteristický život, ten je v tomto případě roven parametru  $\alpha$  a je nezávislý na druhém parametru  $\beta$ . Pro tuto charakteristiku platí, že náhodná veličina nebude právě hodnotu  $\alpha$  nebo nižší s pravděpodobností 0,632.

Jak již bylo zmíněno, tak Weibullovo rozdělení může nahrazovat také jiná rozdělení používaná pro spojitě náhodné jevy. To je dáno především změnou parametru tvaru rozdělení –  $\beta$ . Obecně platí, že pro hodnoty  $\beta < 1$  je funkce intenzity klesající, pro  $\beta = 1$  je funkce intenzity konstantní a pro  $\beta > 1$  je intenzita náhodného jevu rostoucí. Přesněji hodnota  $\beta = 1$  nahrazuje exponenciální rozdělení a pro hodnotu  $\beta \sim 4$  aproximuje normální rozdělení.

## HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI

Z výše zmíněných bližších charakteristik jednotlivých rozdělení můžeme vidět, že obecně definice rozdělení náhodného jevu je dána typem rozdělení a jeho parametry, které dané rozdělení upravují.

Dále jsou popásány jednotlivé ukazatele, které lze z vybraných dat o spolehlivosti stanovit a které se ve spolehlivosti často používají.

### 3.2 Ukazatele spolehlivosti

Na základě sledování vhodných veličin je možné stanovit různé ukazatele spolehlivosti. Aby se daly mezi sebou porovnávat, jsou obecné způsoby zjišťování a stanovování upraveny příslušnými normami.

V českém normativním systému můžeme najít více takovýchto norem. Příkladem mohou být normy ČSN EN 61 703 – *Matematické výrazy pro ukazatele bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a zajištěnosti údržby*.<sup>3</sup> Tato norma stanovuje matematické výrazy pro výpočet ukazatelů spolehlivosti. Norma ČSN EN 50 126-1 – *Drážní zařízení – Stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti (RAMS)* stanovuje způsoby využití ukazatelů spolehlivosti při stanovování RAMS. Ukazatele spolehlivosti do roku 2003 definovala také norma ČSN 010606 – *Spolehlivost v technice, postup volby nomenklatury normovaných ukazatelů spolehlivosti*. Aktuálně jsou ukazatele spolehlivosti definované v již dříve zmíněné normě ČSN IEC 60050-192.

V existenci vícera norem je však skryt problém. Tím je fakt, že výše zmíněné normy nejsou ve vzájemném souladu, zejména pak v přístupu k označování jednotlivých ukazatelů. Právě z toho důvodu je potřeba pečlivě sledovat, podle které normy jsou dané ukazatele definovány. Pozitivní zprávou je, že v současnosti již postupně dochází napříč všemi normami k sjednocování.

Data, která byla získána pro tuto práci, byla získána na základě vyplnění vstupů v údržbovém systému SAP pracovníky jednotlivých středisek údržby. Jak již bylo zmíněno, je tento systém s modulem PM pro údržbu zavedený u Českých drah již delší dobu a je možné z něj získat potřebné množství dat k provedení statistického šetření. Jedná se především o informace o požadavcích na provedení údržby za období od 1. 11. 2018 do 31. 10. 2019 ve všech SÚ spadající pod OCÚ Východ. Dále pak data o provedených operacích spadající k jednotlivým zakázkám na údržbu za stejné časové období. Současně pak byly k dispozici i informace o kilometrických probězích sledovaných jednotek za rok 2018.

---

<sup>3</sup> Platnost normy skončila v roce 2019. Byla nahrazena druhým vydáním ČSN EN 61703 ed. 2:2017. v době psaní BP byly v platnosti obě normy.

## HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI

Ze sledovaných veličin, které jsou shromažďovány o údržbě a které byly pro tuto práci k dispozici, jsme schopni získat přehled o:

- době údržby,
- době preventivní údržby,
- době aktivní preventivní údržby,
- době údržby po poruše,
- době opravy.

Ze získaných dat bylo také možné získat informace o logistickém zpoždění.

Z výše zmíněných sledovaných veličin bylo možné stanovit následující ukazatele spolehlivosti:

- pravděpodobnost provedení údržby,
- střední doba preventivní údržby,
- okamžitá intenzita opravy,
- střední doba opravy,
- střední doba do obnovy.

Všechny tyto ukazatele se pak dají blíže shrnout do kategorie ukazatelů udržovatelnosti. Ukazatelem udržovatelnosti se obecně rozumí funkce nebo číselná hodnota používaná pro popis rozdělení pravděpodobnosti konkrétní sledované (náhodné) veličiny, která charakterizuje udržovatelnost objektu (Holub, Vintr, 2001, str. 25 a násl.)

### 3.3 Ukazatele udržovatelnosti

Dále je uveden přehled ukazatelů spolehlivosti, které by bylo vhodné použít v rámci dat získaných pro tuto bakalářskou práci včetně definice a způsobu jejich výpočtu. Následující definice jsou převzaty z normy ČSN IEC 60050-192.

#### **Okamžitá intenzita oprav $\mu(t)$**

- limita poměru podmíněné pravděpodobnosti, existuje-li, že zásah údržby po poruše skončí v časovém intervalu  $(t, t + \Delta t)$ , k délce tohoto časového intervalu  $\Delta t$ , jestliže se  $\Delta t$  blíží nule, za podmínky, že tato operace neskončila do začátku časového intervalu.

#### **Střední doba aktivní údržby po poruše MACMT**

- očekávaná hodnota doby aktivní údržby po poruše.

#### **Střední doba do obnovy MTTR**

- očekávaná doba do obnovy.

**Střední doba opravy MRT**

- očekávaná hodnota doby opravy.

**Pravděpodobnost doby aktivní údržby  $M(t_1, t_2)$**

- pravděpodobnost, že daný aktivní údržbářský zásah může být proveden během stanoveného časového intervalu, jestliže se údržba provádí za stanovených podmínek s použitím stanovených prostředků.

## 4 Postup a konsolidace dat z informačního systému

V této kapitole jsou předkládány výsledky šetření, kterým byla zjišťována spolehlivost kolejových vozidel, a to z dat o jejich údržbě získaných ze systému SAP R/3. s ohledem na charakter bakalářské práce bylo šetření zaměřeno na jednu řadu ŽKV – konkrétně jednotku 814. Pro hodnocení spolehlivosti ŽKV bylo vybráno OCÚ Východ se sídlem v Brně. V rámci tohoto OCÚ bylo vybráno 10 SÚ. Volba OCÚ a SÚ byla dána dostupností potřebných informací a dat pro realizované šetření.

### 4.1 Systém SAP R/3

V následující podkapitole se věnuji problematice implementace modulu oprav a údržby systému SAP R/3 v Českých drahách a.s., o které ve svém příspěvku píšou Limberg, Říha, Fiala (2005). Autoři upozorňují na fakt, že České dráhy disponují již od roku 1996 podnikovým informačním systémem (ERP – enterprise resource system). Tento systém byl dodán německou firmou SAP. Systém byl jako první používán v oblasti finančního účetnictví, správy investičního majetku a controllingu. v pozdějších letech byl do tohoto systému implementován i modul pro řízení provozu a údržby (PM). V rámci této implementace došlo k propojení s ostatními moduly a vzniku automatických vazeb pro snadnější komunikaci. Celý tento systém je dostupný online a v reálném čase. To také v mnohém usnadňuje udržení přehledu o aktuálním dění v tak velkém podniku.

Cílem modulu provozu a údržby (PM) je kompletní a správná evidence technických objektů, zařízení a strojů. Dále pak i případná strukturalizace jednotlivých technických prvků. Příklad důležitých technických objektů, které jsou zavedeny v modulu PM jsou technické místo (TM) nebo Vybavení. V samotném programu se pak jedná o elektronické karty, které dále obsahují další volbu parametrů sloužících k přesnější specifikaci.

Všechny informace o údržbě jsou v programu zaznamenávány pomocí různých druhů hlášení. Pro potřeby údržby využívá program systém 4 druhů hlášení:

- PP – hlášení z provozu požadující provedení plánované údržby
- PN – hlášení požadující provedení neplánované opravy
- PS – hlášení požadující odstranění násilného poškození
- PZ – hlášení o vadě v záruční době, pro dodavatelské opravy nebo pro vyrobení

Dále jsou pomocí číselných kódů zaznamenány bližší informace o místě a druhu poruchy případně je připojen i krátký popis poruchy. Každým vloženým hlášením je vytvořen elektronický dokument, který je vždy svázán s daným konkrétním technickým zařízením, například s železničním kolejovým vozidlem (ŽKV). Díky tomu je možné sledovat technický život každého vozidla či určité provozované jednotky od uvedení do provozu až do konce jeho technického života.

## **HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI**

Základním prvkem pro řízení pracovní činnosti je vznik zakázky na údržbu. Jedná se o vytvoření pracovní činnosti, v rámci které je možné provádět podrobné plánování. Následně je potom možné sledovat provedené činnosti, určit rozdíl mezi plánovanými a skutečnými náklady apod. Důležitým a také sledovaným údajem je i délka trvání zakázky nebo množství času potřebné na jednotlivé úkony.

Požadavek na vznik zakázky může být proveden třemi způsoby:

- individuálně přímým založením,
- na základě hlášení o poruše,
- automaticky z plánu údržby.

Každá zakázka obsahuje odkaz na tzv. referenční objekt. Ten v sobě obsahuje všechny potřebné sledované údaje. U plánovaných periodických údržeb se jedná například o seznam všech prací, které je nutné provést. v rámci vytvoření zakázky je také vytvořen požadavek pro skladové hospodářství na konkrétní potřebný materiál. Dále je pak provedeno i plánování termínů provedení dané údržby s ohledem na kapacitu pracoviště údržby a další jiné povinnosti. Od provedených prací a spotřebovaného materiálu se odvíjí i výpočet nákladů na provedení údržby nebo výpočet mzdy zaměstnanců.<sup>4</sup>

System je v současné době nastaven tak, že jednotlivé údržbové a opravárenské činnosti jsou zaznamenávány do knihy oprav a strojmistři jsou povinni tyto papírové záznamy převádět do elektronické podoby.

Zavedením elektronické evidence zakázek byla do značné míry zjednodušena i možnost elektronického zpracování dat, a tedy i provádění statistických hodnocení v rámci zlepšování kvality služeb a zvyšování úrovně spolehlivosti.

V rámci údržby ŽKV je ke každému vozidlu shromažďováno velké množství dat v průběhu celého jeho technického života. Tyto záznamy je nutné vhodným způsobem zpracovat a vyhodnotit. Jen tak je možné plně využít všech výhod, které elektronické systémy přináší.

### **4.2 Motorová jednotka 814**

Motorové jednotky vznikaly ve společnosti Pars nova, a.s. se sídlem v Šumperku, a to přestavbou ze starších motorových vozů 810 a přípojných vozů 010. Tato přestavba byla sériově započata v roce 2006 a poslední rekonstruovaná jednotka byla předána v roce 2012. Celkem bylo

---

<sup>4</sup> Srov. LIMBERG, P., ŘÍHA, L., FIALA, M.: Implementace modulu oprav a údržby (PM) systému SAP R/3 v Českých drahách a.s. In: Vědeckotechnický sborník ČD č. 20/2005 [online]. Praha: Generální ředitelství Českých drah, 2005, s. 1-7 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://vts.cd.cz/documents/168518/195417/2005.pdf/f181152c-c50d-4fff-a88c-2302ec935d5d>

## HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI

rekonstruováno 236 jednotek.<sup>5</sup> Od této doby jednotky zajišťují ve velké míře provoz na regionálních tratích a nahrazují starší motorové vozy. Jednotky komerčně nazývané Regionova mají výkon 242 kW a jsou konstruovány na maximální rychlost 80 km/h. Umožňují dálkové řízení až 3 jednotek z jednoho stanoviště a také jízdu v režimu ARR. Jednotky jezdí často ve složení jeden hnací vůz a jeden řídicí vůz (814+914) nebo s jedním vloženým vozem (814+014+914).<sup>6</sup>

V rámci reorganizace Českých drah zanikla 1. 7. 2018 depa kolejových vozidel a místo nich vznikly nové provozní jednotky Oblastní centra údržby (OCÚ) a Oblastní centra provozu (OCP). Oblastní centra údržby pod sebou dále sdružují ještě další střediska údržby.

Jak bylo již v úvodu zmíněno, bakalářská práce vychází z údajů o údržbě jednotek 814 Regionova spadající pod OCÚ Východ (sídlem v Brně). Tyto jednotky byly v roce 2018 udržovány v 10 střediscích údržby spadajících právě pod OCÚ Východ.

V rámci návrhu zpracování dat z elektronického systému SAP R/3 bylo nejprve nutné, data exportovat ve vhodném formátu, aby je následně bylo možné zpracovat v jiném datovém programu. To bylo nutné zejména proto, že samotný modul PM pro SAP nedisponuje možností statistické analýzy uložených dat. Jako nejvhodnější program byl zvolen Microsoft Excel i přesto, že není primárně určen jako statistický program.

Při exportování dat o provedených zakázkách byla zachována data o technickém místě, tedy přesném určení, o kterou konkrétní vozovou jednotku se jedná. Druh a číslo zakázky. Dále pak datum a čas uvolnění zakázky stejně tak jako referenční datum a čas ukončení zakázky. Součástí každé zakázky bylo také pracoviště, které danou činnost provádělo. Druh vazebné zakázky, v případě, že byla zakázka spojena s nějakou jinou již plánovanou periodickou údržbou a krátký text doprovázející zakázku, pokud byl vložen osobou, která hlášení podávala.

### 4.3 Výzkumný soubor

Data potřebná pro naše šetření byla získána u výzkumného souboru, který byl tvořen 10 SÚ OCÚ Východ:

- Brno Maloměřice
- Brno Maloměřice (pracoviště kolejové váhy a soustruhu)
- Havlíčkův Brod
- Brno Horní Heršpice
- Olomouc

---

<sup>5</sup> Srov. Harák, M. 2012.

<sup>6</sup> Podrobněji viz SCHRÖTTER, J., FULTNER B., 2016, s. 69, nebo viz ŠVESTKA, D.



## HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI

- Opava
- Šumperk
- Vsetín
- Valašské Meziříčí
- Znojmo

Nicméně jak je dále v textu uvedeno, ne všechna SÚ splňovala potřebné parametry, aby jejich data mohla být v šetření využita. Pro realizaci cíle šetření byla nakonec využita data 5 SÚ OCÚ Východ:

- Brno Maloměřice
- Havlíčkův Brod
- Olomouc
- Šumperk
- Znojmo

### 4.4 Vyřazení pracovišť

Během postupného hodnocení dat byly identifikovány důvody, které vedly k vyřazení konkrétních pracovišť z dalšího zpracování. Těmito důvody byly:

- vysoká četnost jedné hodnoty,
- nestanovení parametrů teoretického rozdělení,
- nedostatečné množství vstupních hodnot.

#### 4.4.1 Vysoká četnost jedné hodnoty

Problém, který zprvu nebyl očekáván, bylo identifikování pracoviště, které po provedení filtrování hodnot nesplňovalo předpoklad spojitě náhodné veličiny. Příčinou byla vysoká četnost jedné hodnoty a nedostatečné zastoupení dalších časů ve výběrovém souboru. Tento problém se týkal zejména pracoviště SÚ Vsetín, kde bylo 1743 hodnot s dobou trvání operace 12:00 hod. a to z celkového počtu 1757 hodnot. Z tohoto důvodu nebyla analýza pracoviště dále prováděna, jelikož nesplňovala podmínky pro zpracování.

#### 4.4.2 Nestanovení parametrů teoretického rozdělení

Dalším problémem při zpracování dat byla oblast stanovení parametrů Weibullova rozdělení s dostatečnou přesností. i přesto, že ke stanovení parametrů bylo využito částečné automatizace při použití iteračního počtu v programu MS Excel, bylo nutné některé změny a úpravy provádět ručně. Příčinou byl způsob stanovení i omezení kapacit výpočetní techniky. Z tohoto důvodu se nepodařilo ve stanoveném čase určit parametry teoretického rozdělení s požadovanou přesností a tato pracoviště byla z analýzy dále vyňata. Jednalo se o pracoviště SÚ Valašské Meziříčí a SÚ Opava.

**HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI****4.4.3 Nedostatečné množství vstupních hodnot**

Další podmínkou, aby mohly být výsledky analýzy prováděné na výběrovém souboru považovány za dostatečně přesné, je minimální počet hodnot. Jako minimum se udává 10 hodnot, současně je však vhodné, aby výběrový soubor obsahoval alespoň 50 sledovaných hodnot. Této podmínce nevyhověla dvě SÚ – Brno Maloměřice (04) a Brno Horní Heršpice. v prvním případě se jedná se o pracoviště kolejové váhy a soustruhu. v druhé případě SÚ neprovozuje žádné jednotky 814. Z tohoto důvodu byla daná SÚ vyřazena z analýzy a nebylo s nimi dále počítáno.

*Tabulka 1 Přehled počtu hodnot jednotlivých SÚ včetně minimální a maximální hodnoty*

SÚ	Hodnot
Brno Malom.	2660
Brno Malom.(04)	6
Havl. Brod	1660
Brno HH	3
Olomouc	3563
Opava	1573
Šumperk	164
Vsetín	1757
Valašské Mez.	4226
Znojmo	829
Celkem	16441

**4.5 Seznam zakázek a operací**

Po vyřazení pracovišť a použití časových podmínek, jak bylo popsáno výše, zůstalo ke zpracování z původních 16 441 hodnoty konečných 8 876 hodnot. Tabulka 2 zobrazuje, jakým způsobem se změnilo počty hodnot po vyřazení některých pracovišť.

## HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI

Tabulka 2 Srovnání počtu hodnot před vyřazením SÚ a po vyřazení<sup>7</sup>

SÚ	Hodnot před	Hodnot po
Brno Malom.	2660	2660
Brno Malom.(04)	6	Vyřazeno
Havl. Brod	1660	1660
Brno HH	3	Vyřazeno
Olomouc	3563	3563
Opava	1573	Vyřazeno
Šumperk	164	164
Vsetín	1757	Vyřazeno
Valašské Mez.	4226	Vyřazeno
Znojmo	829	829
Celkem	16441	8876

Dále bylo nutné podobným způsobem zpracovat operace, které jsou vázány k jednotlivým zakázkám na údržbu. To bylo možné pomocí čísla zakázky. Kdykoliv je vytvořena nová zakázka dostane specifické číslo v systému. K tomuto číslu zakázky jsou pak vázány všechny operace, které jsou v rámci daného údržbového zásahu prováděny. Časové údaje o celkové délce provedených operací byly získány na základě součtu všech časů operací zaznamenaných ke konkrétní zakázce.

Soubor s informacemi o zakázkách obsahuje kromě specifického čísla ještě další údaje, které mohou být použity pro zpracování a následnou analýzu. Jedná se o tyto údaje, které každá zakázka obsahuje:

- záznam o technickém místě, tedy konkrétní označení vozidla,
- druh zakázky označený pomocí čtyř písmen,
- výkonové číslo zapsané v číselném kódu a s krátkým popisem přibližujícím důvod nebo rozsah požadovaných oprav,
- odpovědné pracoviště, na kterém byla oprava prováděna.

S ohledem na rozsah bakalářské práce a možnosti zpracování, byly pro naše šetření využity tyto údaje:

- druh zakázky označený pomocí čtyř písmen,
- odpovědné pracoviště, na kterém byla oprava prováděna.

Důležité jsou pak i informace o referenčním datu a čase, které určují vznik zakázky a dále pak datum a čas uvolnění zakázky, které ukončují zakázku. Rozdílem těchto časů pak vznikl nový časový údaj o délce zakázky. Náhled seznamu operací je zobrazen v Tabulka 3.

<sup>7</sup> SÚ Brno Maloměřice (04) a Brno Horní Heršpice vyřazeny z důvodu nedostatečné četnosti vstupních hodnot, SÚ Opava a Valašské Meziříčím vyřazeno z důvodu nestanovení parametrů Weibullova rozdělení a SÚ Vsetín vyřazeno z důvodu vysoké četnosti jedné hodnoty

## HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI

Tabulka 3 Přehled zakázek v MS Excel

Technické místo	Druh zakázky	Zakázka	Výkonové číslo	Dat.uvol.zak.	Čas uvol.zak.	Refer.datum	Refer.čas	Délka zakázky	Krátký text	Odpov.Pracoviš
100-HV-5814 244	PMPR	900310183718	2840	05.10.2019	06:00:00	07.10.2019	17:13:00	59:13:00	Malá prohlídka M	.184OC01
100-HV-5814 245	PNEO	900103045106	2840	26.01.2019	06:00:00	08.02.2019	15:00:00	321:00:00	Neplánovaná oprava k	M.184OC01
100-HV-5814 245	PNEO	900103093660	2840	04.05.2019	06:00:00	07.05.2019	11:15:00	77:15:00	Neplánovaná oprava k	M.184OC01
100-HV-5814 245	PNEO	900103130348	2840	19.07.2019	06:00:00	20.07.2019	17:15:00	35:15:00	Neplánovaná oprava k	M.184OC01
100-HV-5814 245	PNEO	900103162325	2840	23.09.2019	06:00:00	25.09.2019	21:00:00	63:00:00	Neplánovaná oprava k	M.184OC01
100-HV-5814 245	PMPR	900310176451	2840	26.01.2019	06:00:00	08.02.2019	15:00:00	321:00:00	M	.184OC01
100-HV-5814 245	PMPR	900310179367	2840	04.05.2019	06:00:00	07.05.2019	11:15:00	77:15:00	M	.184OC01
100-HV-5814 245	PMPR	900310181509	2840	19.07.2019	06:00:00	20.07.2019	17:15:00	35:15:00	Malá prohlídka M	.184OC01
100-HV-5814 245	PMPR	900310183369	2840	23.09.2019	06:00:00	25.09.2019	21:00:00	63:00:00	Malá prohlídka M	.184OC01
100-HV-5814 246	PNEO	900103045108	2840	26.01.2019	06:00:00	08.02.2019	15:00:00	321:00:00	Neplánovaná oprava k	M.184OC01
100-HV-5814 246	PNEO	900103093657	2840	04.05.2019	06:00:00	07.05.2019	11:15:00	77:15:00	Neplánovaná oprava k	M.184OC01
100-HV-5814 246	PNEO	900103130354	2840	19.07.2019	06:00:00	20.07.2019	17:15:00	35:15:00	Neplánovaná oprava k	M.184OC01
100-HV-5814 246	PNEO	900103162326	2840	23.09.2019	06:00:00	25.09.2019	21:00:00	63:00:00	Neplánovaná oprava k	M.184OC01
100-HV-5814 246	PMPR	900310176453	2840	26.01.2019	06:00:00	08.02.2019	15:00:00	321:00:00	M	.184OC01
100-HV-5814 246	PMPR	900310179366	2840	04.05.2019	06:00:00	07.05.2019	11:15:00	77:15:00	M	.184OC01
100-HV-5814 246	PMPR	900310181510	2840	19.07.2019	06:00:00	20.07.2019	17:15:00	35:15:00	Malá prohlídka M	.184OC01
100-HV-5814 246	PMPR	900310183371	2840	23.09.2019	06:00:00	25.09.2019	21:00:00	63:00:00	Malá prohlídka M	.184OC01
100-HV-5814 247	PNEO	900103026133	2840	19.12.2018	06:00:00	23.12.2018	11:15:00	101:15:00	Neplánovaná oprava k	M.184OC01
100-HV-5814 247	PNEO	900103070243	2840	17.03.2019	06:00:00	18.03.2019	18:00:00	36:00:00	Neplánovaná oprava	.184OC01
100-HV-5814 247	PNEO	900103107096	2840	01.06.2019	09:00:00	02.06.2019	17:13:00	32:13:00	Neplánovaná oprava	.184OC01
100-HV-5814 247	PNEO	900103147681	2840	24.08.2018	06:00:00	25.08.2018	17:13:00	35:13:00	Neplánovaná oprava k	M.184OC01
100-HV-5814 247	PMPR	900310175453	2840	19.12.2018	06:00:00	21.12.2018	18:00:00	60:00:00	M	.184OC01
100-HV-5814 247	PMPR	900310177913	2840	17.03.2019	06:00:00	18.03.2019	18:00:00	36:00:00	Malá prohlídka M	.184OC01
100-HV-5814 247	PMPR	900310180186	2840	01.06.2019	09:00:00	02.06.2019	17:13:00	32:13:00	M	.184OC01
100-HV-5814 247	PMPR	900310182513	2840	24.08.2019	06:00:00	25.08.2019	17:13:00	35:13:00	Malá prohlídka M	.184OC01
100-HV-5814 248	PNEO	900103026132	2840	19.12.2018	06:00:00	23.12.2018	11:15:00	101:15:00	Neplánovaná oprava k	M.184OC01
100-HV-5814 248	PNEO	900103070241	2840	17.03.2019	06:00:00	18.03.2019	18:00:00	36:00:00	Neplánovaná oprava	.184OC01
100-HV-5814 248	PNEO	900103107094	2840	01.06.2019	09:00:00	02.06.2019	17:13:00	32:13:00	Neplánovaná oprava	.184OC01
100-HV-5814 248	PNEO	900103147684	2840	24.08.2019	06:00:00	25.08.2019	17:13:00	35:13:00	Neplánovaná oprava k	M.184OC01

Soubor informací o provedených operacích obsahuje stejně jako u zakázek záznam o technickém místě, druhu a čísle zakázky. Druh operace zapsané jako čtyřmístný číselný kód a krátký popis operace. Je zde znovu také uvedeno pracoviště, kde byla daná operace provedena. Důležitý je pak časový údaj označený jako skutečná práce uvedená v normohodinách (dále jen Nh). Součtem všech délek prací vázaných k jedné zakázce vznikla nová hodnota označovaná jako **délka operace**, se kterou bude v analýze dále pracováno. v Tabulka 4 je zobrazen přehled operací, který se váže k jedné zakázce.

Tabulka 4 Zobrazení operací vázaných k jedné zakázce

Druh zakázky	Zakázka	Technické místo	Operace	Kr.text operace	Pracoviště	Čas skut.zaháj.	ČasSkut.Ukonč	Refer.datum	Skut. Práce [hod]	Čas skut. Práce
PNEO	900103079473	100-HV-5814 120	0050	doplňte provozní hmoty	184OP01	00:00:00	00:00:00	05.04.2019	0,00	0:00:00
PNEO	900103079473	100-HV-5814 120	0010	v el. rozvaděči zaplombovat nouzi	184OP01	04:45:00	05:00:00	05.04.2019	0,25	0:15:00
PNEO	900103079473	100-HV-5814 120	0020	zkontrolujte stavoznak vody	184OP01	01:00:00	02:30:00	05.04.2019	1,50	1:30:00
PNEO	900103079473	100-HV-5814 120	0030	uražený zemnicí kabel	184OP01	03:00:00	04:45:00	05.04.2019	1,25	1:15:00
PNEO	900103079473	100-HV-5814 120	0040	výměna zdrží, seřízení brzd	184OP01	01:45:00	02:30:00	05.04.2019	0,75	0:45:00
PNEO	900103079473	100-HV-5814 120	0060	Dveře vnitřní	184OP01	02:30:00	04:00:00	05.04.2019	2,50	2:30:00
										<b>6:15:00</b>

Níže je pro lepší přehled uveden způsob výpočtu dob pro následné další zpracování. Rozdíl mezi referenčním časem a časem uvolnění zakázky čili dobu trvání zakázky byl použit pro:

- dobu preventivní údržby,
- dobu údržby po poruše,
- dobu údržby.

Spotřebovaná práce, která vznikla součtem časů uvedených v kolonce skutečné práce v Nh v rámci každé zakázky čili doba trvání operace byla dále použita pro:

- dobu aktivní preventivní údržby,
- dobu opravy.

## **4.6 Konsolidace dat**

Jak už bylo uvedeno v úvodu této kapitoly, byl v rámci bakalářské práce získán přístup k datům údržby z informačního systému SAP R/3 vyplývajících ze záznamu o provedení údržby za rok 2018 a částečně i z roku 2019. Aby bylo možné srovnat co největší počet středisek údržby, bylo také nutné **stanovit způsob, jakým bude možné porovnat co nejvíce zaznamenaných dat napříč všemi SÚ** spadajícími pod dané OCÚ.

Jako nejvhodnější pro porovnání udržovatelnosti se jeví využít informace o údržbě jednotky 814 Regionova. u této jednotky je prováděna údržba ve většinách SÚ a je u ní také veden dostatečně dlouho elektronický záznam o provedené údržbě.

Dále bylo nutné **stanovit časový rámeček, který bude vyšetřován**. Jako nejvhodnější se jeví stanovit délku sledovaného období na 1 rok. Jelikož práce započala na podzim roku 2019, bylo sledované období stanoveno od 1. 11. 2018 do 31. 10. 2019. Takto bylo zajištěno dostatečné množství hodnot k provedení analýzy. Současně bylo potřeba **stanovit časový rámeček, který musí splňovat délka údržbových prací**, resp. zakázky na provedení údržby.

Toto časové omezení bylo zavedeno zejména k odstranění odlehlých hodnot zapříčiněných například z důvodu velkých a časově náročných oprav po nehodě. Tyto opravy by mohly zbytečně zkreslovat statistickou analýzu, a to i z důvodu, že nelze přepokládat stejné rozdělení četností takovýchto oprav napříč SÚ. Délka zakázky tedy byla stanovena na dobu maximálně 168 hodin. Tímto postupem bylo zajištěno, že do šetření byly zahrnuty i časově náročnější vyvazovací operace, jež jsou periodicky prováděny, a to při současném zajištění dostatečné přesnosti výsledků analýzy

Jak již bylo výše zmíněno, ke zpracování a analyzování byly využity oba získané seznamy. K dalšímu zpracování dat byly využity informace o střediscích, aby bylo možné příslušné zakázky a operace roztrždit mezi jednotlivé SÚ. Dále pak pro další třídění byly využity informace o druhu zakázky. Jako hlavní sledované veličiny pro analýzu byly zvoleny veličiny:

- doba trvání operace,
- doba trvání zakázky.

K následnému zpracování a pro potřeby stanovení ukazatelů spolehlivosti byly sledované veličiny rozděleny do několika skupin. V rámci každé skupiny pak proběhlo stanovení parametrů a analýza dat pro všechny SÚ.

- 1. skupina – byly použity hodnoty doby trvání zakázky pro všechny typy operací prováděných v jednotlivých SÚ. Jednalo se o plánovanou i neplánovanou údržbu.
- 2. skupina – byly použity doby délky zakázky a operací pouze pro vybraný druh zakázky. Konkrétně pro malou prohlídku jako zástupce plánované údržby.

**HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI**

- 3. skupina – byly použity doby délky zakázky a operací pro neplánované opravy.

Ve všech těchto skupinách a pro všechny SÚ bylo při stanovení parametrů postupováno stejně tak, jak je uvedeno v následující kapitole.

## 5 Statistické zpracování získaných dat

Poté, co byl stanoven výběr a způsob sjednocení dat, bylo možné započít s analýzou dat. Jak již bylo dříve zmíněno, při hromadné analýze dat pomocí počítače je výhodné použít Weibullovo rozdělení pro svou univerzálnost. Z tohoto důvodu a také protože nebylo předem jisté, jakého tvaru rozdělení budou sledované veličiny nabývat, bylo použito právě Weibullovo rozdělení při analýze v rámci této bakalářské práce.

Stanovení parametrů Weibullova rozdělení bylo důležitým úkolem k provedení dalšího statistického šetření. Následující odstavce pojednávají o způsobu určení těchto parametrů v této bakalářské práci.

### 5.1 Rozdělení do tříd

Aby bylo možné statisticky vyšetřovat spojité náhodné veličiny, je nejprve nutné takovýto soubor rozdělit do konečného počtu tříd. Takto lze s daty dále pracovat a též je zobrazit graficky pomocí histogramu. K určení počtu tříd se ve statistice používají různá pravidla.

#### Sturgesovo pravidlo

Jedno z často užívaných pravidel k určení počtu tříd. Vychází z velikosti souboru a příslušné konstanty. Vypočítá se dle vztahu (9):

$$k = 1 + 3,32 \cdot \log(n) \quad (9)$$

Kde:

- $n$  je celkový počet hodnot v souboru

Poté, co bylo stanoven počet tříd, se dále vypočítala šířka dané třídy tak, aby bylo možné postihnout všechny obsažené hodnoty v souboru. Následně bylo provedeno rozdělení vybraných empirických hodnot do jednotlivých tříd a stanovení četností. Důležitým kritériem pro správné provedení statistické analýzy bylo dodržení minimální četnosti v jedné třídě. Pro využití zamýšleného testu dobré shody je vhodné dodržet pravidlo pro minimálně 5 hodnot v jedné třídě (Souček, 2008, str. 69).

V případě, že nebylo možné dodržet minimální četnost ve třídě, došlo ke změně šířky třídy tak, aby četnosti vyhovovaly danému kritériu. Tento postup rozdělení empirických hodnot do tříd byl opakován pro všechny případy.

## 5.2 Stanovení četností Weibullova rozdělení

Ke stanovení četností Weibullova rozdělení bylo použito funkce *Weibull.dist* v programu MS Excel. Z té je možné na základě parametrů získat teoretické rozdělení četností. Ty byly rozděleny do stejných tříd jako empirické četnosti získané z údržbového systému. Platilo zde stejné kritérium pro minimální počet četností v každé třídě.

## 5.3 Parametry $\alpha$ , $\beta$

Jelikož právě parametry  $\alpha$  a  $\beta$  nejsou známy, bylo nutné stanovit na základě podobnosti obou rozdělení. Program MS Excel podporuje funkci Řešitel, jenž se využívá pro iterační metody výpočtu. Toho bylo využito pro stanovení parametrů. Řešitel se pokoušel na základě provedených výpočtů stanovit oba parametry tak, aby se teoretické Weibullovo rozdělení blížilo svým tvarem co nejvíce k teoretickému empirickému rozdělení. Řešitel pro svou správnou funkci potřebuje kromě proměnných modelu ještě určit účelovou funkci. Tou byla zvolena minimalizace residuální sumy čtverců (dále jen RSČ). Právě zmenšování RSČ vede ke zmenšování rozdílů mezi křivkami a tím k jejich přibližování. Obecně je způsob výpočtu RSČ dán vztahem (10):

$$RSČ = \sum_{i=1}^N (y_i - f(x_i))^2 \quad (10)$$

Kde:

- $N$  je počet tříd pro rozdělení výběrového souboru,
- $y$  jsou četnosti empiricky získaných dat
- $f(x)$  je funkce teoretického modelu

K provedení výpočtů bylo využito gradientní metody, kterou Řešitel nabízí.

V případě, že výsledek výpočtu nebyl dostatečně uspokojivý, bylo nutné provést úpravy v rozdělení do tříd a provádět iterační operace znovu, dokud nebyl model teoretického rozdělení dostatečně blízko tomu teoretickému.

## 5.4 Chí-kvadrát test

Stanovení, jestli je model teoretického rozdělení dostatečně přiblížen k empirickému bylo provedeno pomocí testu dobré shody neboli chí-kvadrát testu. Testování hypotéz se ve statistice obvykle používá pro potvrzení či vyvrácení tzv. nulové hypotézy. Jelikož tato hypotéza nemůže být nikdy potvrzena či vyvrácena se 100% platností, stanovuje se obvykle určitá hladina významnosti  $\alpha_0$  pro kterou se test stanovuje. V této bakalářské práci byla hladina významnosti



### HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI

stanovena  $\alpha_0 = 0,05 \cdot 100$  [%]. Test dobré shody vychází z nulové hypotézy  $H_0$ , která předpokládá: „Že v konečném základním souboru roztržiděném podle nějakého kvantitativního nebo kvalitativního znaku do  $k$  skupin existuje rozdělení určitého typu“ (Souček, 2008, str. 69). Tudíž je snahou ověřit, že teoretické rozdělení není statisticky významně odlišné od empirického a že pokud existují nějaké rozdíly, lze je přičíst důsledkům náhodného výběru. Výpočet testu je dán obecně vztahem (11):

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i} > \chi_{1-\alpha}^2 \quad (11)$$

Kde:

- $k$  je počet tříd pro rozdělení výběrového souboru,
- $n_i$  jsou četnosti empiricky získaných dat,
- $p_i$  je pravděpodobnost získaná z modelu teoretického rozdělení, že zkoumaný znak padne do  $i$ -té třídy,
- $\chi_{1-\alpha}^2$  je hodnota rozdělení  $\chi^2$  o hladině významnosti  $1-\alpha$  a  $k-1$  stupních volnosti.

## 6 Interpretace dat

Poté, co byly získány parametry rozdělení pro všechny případy zkoumané v této bakalářské práci, mohlo dojít k naplnění cíle našeho šetření, jímž bylo navrhnout interpretaci zjištěných výsledků a hodnot ve vztahu ke spolehlivosti provozu ŽKV.

Výsledky šetření lze interpretovat jednak číselně, ale také graficky. Obě formy interpretace přibližují následující podkapitoly.

### 6.1 Přehled parametrů a střední doby

Získáním parametrů teoretického rozdělení pro jednotlivé skupiny, bylo možné dle vztahu (8) vypočítat střední doby. Tyto doby současně s příslušnými parametry jsou uvedeny v následující Tabulka 5.

Tabulka 5 Přehled parametrů a střední doby stanovených pro jednotlivá pracoviště<sup>8</sup>

PŘEHLED ZAKÁZEK							
PPOS				PNEO			
Doba preventivní údržby				Doba údržby po poruše			
SÚ	Alfa [Hod]	Beta [-]	Střední doba [Hod]	SÚ	Alfa [Hod]	Beta [-]	Střední doba [Hod]
Brno Malom.	560,54	0,53	12,33	Brno Malom.	462,57	0,52	12,16
Havl. Brod	62,61	0,30	6,31	Havl. Brod	50,82	0,31	6,58
Olomouc	53,66	0,22	4,63	Olomouc	42,18	0,25	5,33
Šumperk	70,07	0,27	5,85	Šumperk	59,38	0,27	5,76
Znojmo	63,16	0,18	3,87	Znojmo	47,87	0,20	4,29

PŘEHLED OPERACÍ							
PPOS				PNEO			
Doba aktivní preventivní údržby				Doba opravy			
SÚ	Alfa [Hod]	Beta [-]	Střední doba [Hod]	SÚ	Alfa [Hod]	Beta [-]	Střední doba [Hod]
Brno Malom.	40,00	0,29	6,14	Brno Malom.	26,00	0,21	4,94
Havl. Brod	55,26	0,20	4,33	Havl. Brod	34,37	0,23	5,10
Olomouc	206,66	0,18	4,04	Olomouc	24,11	0,14	3,36
Šumperk	66,09	0,18	3,88	Šumperk	20,90	0,16	4,00
Znojmo	65,45	0,20	4,23	Znojmo	25,26	0,15	3,62

PŘEHLED ZAKÁZEK			
Doba údržby			
SÚ	Alfa [Hod]	Beta [-]	Střední doba [Hod]
Brno Malom.	505,29	0,52	12,27
Havl. Brod	23,66	0,26	6,31
Olomouc	55,83	0,23	4,86
Šumperk	119,43	0,22	4,82
Znojmo	50,20	0,20	4,24

<sup>8</sup> Pro přehled zakázek vychází časové údaje z doby trvání zakázek, pro přehled operací vychází časové údaje z doby spotřeby práce v Nh

## HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI

Jak je již z přehledu vidět, hodnoty parametru  $\alpha$  spadají velikostí do rozmezí  $\beta < 1$  a tudíž funkce intenzity je klesající. Z hodnot středních dob, jež mohou sloužit k prvnímu stručnému hodnocení, můžeme vidět rozdíly mezi jednotlivými SÚ.

Přehled středních dob může být použit k prvnímu pohledu na stanovení výsledků spolehlivosti údržby napříč středisky. Můžeme pozorovat rozdíly v rámci jedné skupiny nebo absolutní rozdíly v délce mezi jednotlivými skupinami. Toho lze využít například pro srovnání délky doby preventivní údržby a délky doby po poruše.

### 6.2 Grafická interpretace

Kurčení některých ukazatelů spolehlivosti je pro lepší přehled v hodné namísto číselného vyjádření použít vyjádření grafické. Proto byly ze získaných parametrů Weibullova rozdělení na základě vztahů (6) a (7) vypočítány průběhy distribuční funkce a funkce intenzity, které byly následně vyneseny do grafů. Tímto způsobem je možné například zobrazit průběh okamžité intenzity opravy  $\mu(t)$  nebo získat pravděpodobnost provedení údržby  $M(t_1, t_2)$ . Tyto průběhy lze pak následně porovnávat mezi jednotlivými SÚ nebo například distribuční funkci doby preventivní údržby a doby údržby po poruše. Grafy získané z dat z analýzy jsou součástí přílohy.

## 7 Využití výsledků šetření ve vztahu ke spolehlivosti

Uvědomuji si, že k tomu, aby bylo možné zodpovědně aplikovat zjištěné výsledky šetření ve vztahu ke spolehlivosti, tedy výsledky zobecnit, nebylo během šetření zpracováno dostatečné množství dat. Nicméně zpracovaná data a zvolené postupy naznačují, že za určitých podmínek lze získat informace, které by byly využitelné pro rozsáhlejší šetření a následně i v praxi. Přes výše uvedené výhrady bylo z výsledků našeho šetření možné vyvodit následující domněnky.

Tabulka 6 Přehled počtu vytvořených zakázek dle zkoumaných druhů

SÚ	Počet údržbových zásahů	
	PMPR	PNEO
Brno Malom.	1047	1446
Havl. Brod	646	927
Olomouc	1452	1878
Šumperk	65	85
Znojmo	332	430

Zaměříme-li se na porovnání počtů operací PMPR a PNEO mezi jednotlivými SÚ (viz Tabulka 6), můžeme vidět odlišnosti, které by mohly být zapříčiněny rozdíly v počtu jednotek, o které se jednotlivá SÚ starají.

Délky prací malé prohlídky by měly být přibližně stejné, jelikož množství operací je dáno údržbovým plánem. Jisté odlišnosti jsou pak dány místními specifiky. Tomu odpovídají i hodnoty střední doby preventivní údržby uvedené v Tabulka 5. Výjimku tvoří SÚ Brno Maloměřice. Z jakého důvodu je střední doba vyšší se však v rámci této analýzy nepodařilo zjistit a bylo by nutné provést například místní šetření. Současně tato zjištění podporují i Graf 1 a Graf 2.

Vyhodnocení střední doby do obnovy (MTTR) a počtu neplánovaných oprav může poukazovat na spolehlivost jednotek a pracnost, s jakou jsou tyto poruchy odstraňovány. v souvislosti s neplánovanými opravami můžeme také stanovit, s jakou pravděpodobností bude obnova dokončena. K tomu lze využít Graf 2. V Tabulka 7 jsou uvedeny pravděpodobnosti, že zakázka typu PNEO bude dokončena během jedné směny.

Tabulka 7 Pravděpodobnost že PNEO skončí do 7,5 hod

SÚ	P [%]
Brno Malom.	11,0
Havl. Brod	42,5
Olomouc	47,8
Šumperk	43,5
Znojmo	49,8

## **HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI**

Graf 3, Graf 4, Graf 5 zobrazují průběhy distribučních funkcí pro další sledované charakteristiky. Z nich je stejně tak možné jako v přechozím případě sledovat rozdíly mezi jednotlivými SÚ případně stanovit pravděpodobnost, s jakou bude daná oprava dokončena do určité doby.

Distribučních funkce bylo možné využít také pro porovnání doby aktivní preventivní údržby a doby opravy – viz Graf 6 nebo doby preventivní údržby a údržby po poruše – viz Graf 7. Zde je možné vidět rozdíly v průběhu distribučních funkcí mezi středisky a také pro plánovanou a neplánovanou údržbu.

Funkci intenzity lze stejně tak jako distribuční funkci využít k přehledu o způsobu, jakým sledovaná charakteristika nabývá svých hodnot. Právě způsob, jakým klesá intenzita oprav u jednotlivých pracovišť, nám může napovědět, jak efektivně a cíleně probíhají opravy v jednotlivých SÚ. Graf 8 zobrazuje srovnání funkce intenzity pro dobu preventivní údržby. Jelikož průběhy intenzity pro jednotlivá SÚ se brzy od zahájení překrývají, rozdíly v průběhu funkce lze pozorovat do 1 hodiny od zahájení.

Graf 9, Graf 10, Graf 11, Graf 12 dále zobrazují průběhy funkce intenzity pro další charakteristiky, které bylo možné získat ze sledovaných veličin. Tyto grafy lze potenciálně využít k hodnocení spolehlivosti ŽKV na základě informací z údržby. Lze je také využít ke srovnání rozdílů mezi preventivní údržbou a údržbou po poruše. Tedy získat alespoň první náhled na závislost mezi prováděním preventivní údržby s cílem předcházet poruchám a opravám po poruše. Graf 13 takové srovnání znázorňuje.

Tímto způsobem lze sledovat rozdíly v údržbě napříč SÚ a také nepřímo zkoumat poruchovost zkoumaných jednotek zvýšenou četností neplánovaných oprav nebo zvýšenou délkou potřebného času k dokončení oprav. Dále je možné pozorovat, jestli zvýšená preventivní údržba má za následek menší počet neplánovaných zakázek, které reprezentují opravy po poruše. Tímto způsobem by mohlo být možné sledovat změny v přístupu k údržbě ŽKV a vyhodnocovat jejich přínosnost.

## **8 Závěr**

Cílem bakalářské práce bylo zpracovat problematiku hodnocení spolehlivosti kolejových vozidel v prostředí železničního dopravce. K tomu byla využita data o provozu a údržbě ŽKV v SÚ spadajících pod OCÚ Východ u společnosti České dráhy, a.s.

Cíle, tak jak byl stanoven, se podařilo dosáhnout, i když bylo nutné se vypořádat s některými problémy. Zejména při zpracovávání získaných dat bylo potřeba se vypořádat s neočekávaným problémem, jehož příčinou byla vysoká četnost jedné veličiny. Důsledkem toho bylo vyřazení několika pracovišť z dalšího zpracovávání. Rovněž se ukázalo, že zvolená metoda zpracování získaných dat prostřednictvím MS Excel má svá omezení. Právě kvůli nim se nepodařilo stanovit s dostatečnou přesností parametry teoretického rozdělení.

I přes výše uvedené problémy jsou zpracované výsledky dat o provozu a údržbě ŽKV ve vztahu ke spolehlivosti použitelné pro formulaci závěrů, na něž by se dalo navázat. V této souvislosti je vhodné upozornit zejména na skutečnost, že u většiny SÚ nejsou velké rozdíly ve sledovaných charakteristikách, až na významné odchylky u SÚ Brno – Maloměřice. Protože nebylo cílem identifikovat příčiny těchto odlišností, nelze je ani spolehlivě pojmenovat bez toho, aby bylo provedeno např. dodatečné místní šetření.

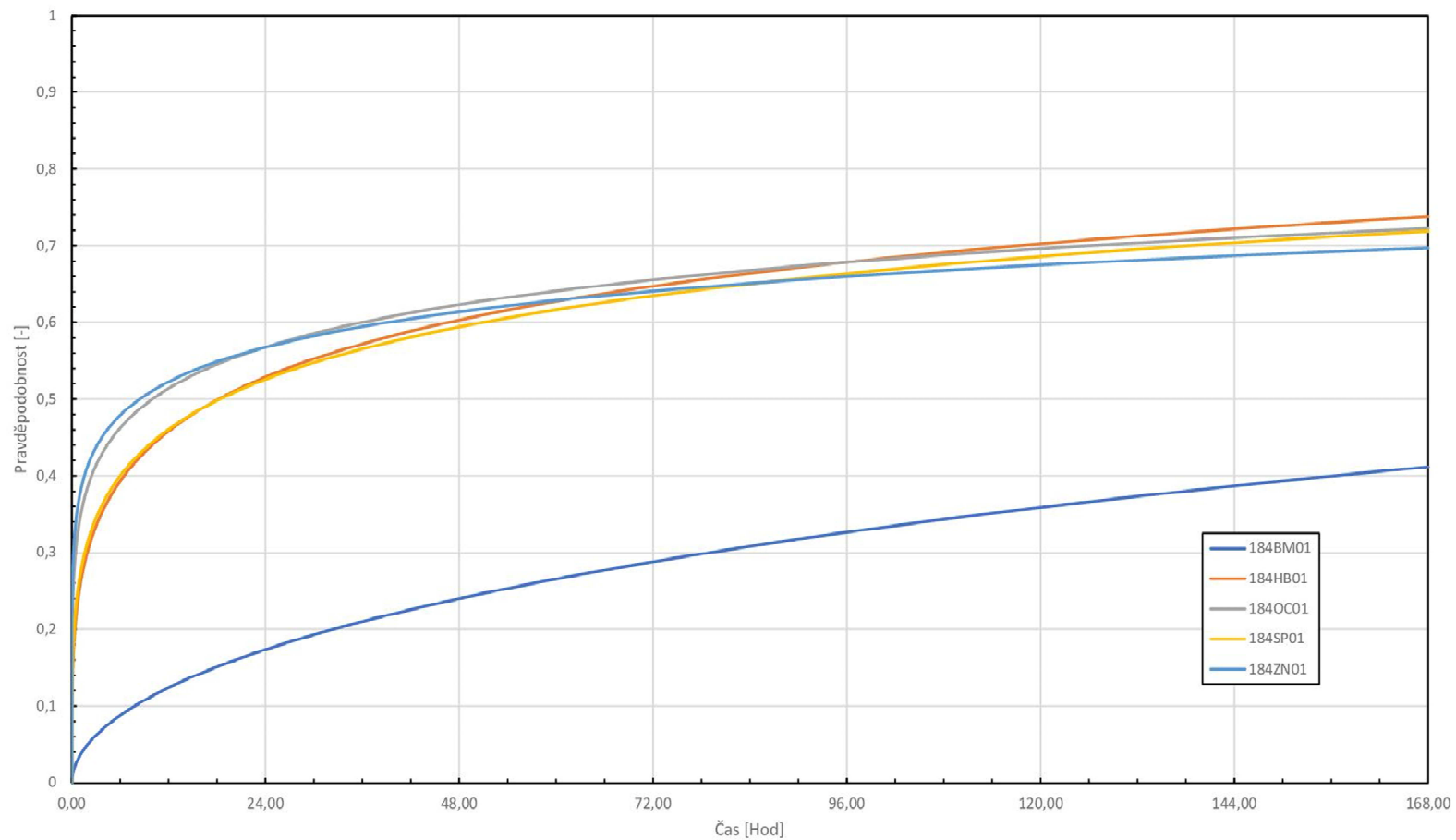
### **Závěrečná zjištění**

Pro hodnocení spolehlivosti ŽKV v prostřední železničního dopravce z dat o provozu a údržbě ŽKV je vhodné a může být zdrojem potřebných informací pro zefektivnění údržbových prací.

Pro větší spolehlivost a vypovídající hodnotu je však nezbytné, aby se do šetření zapojilo mnohem více SÚ, a to i z jiných OCÚ.

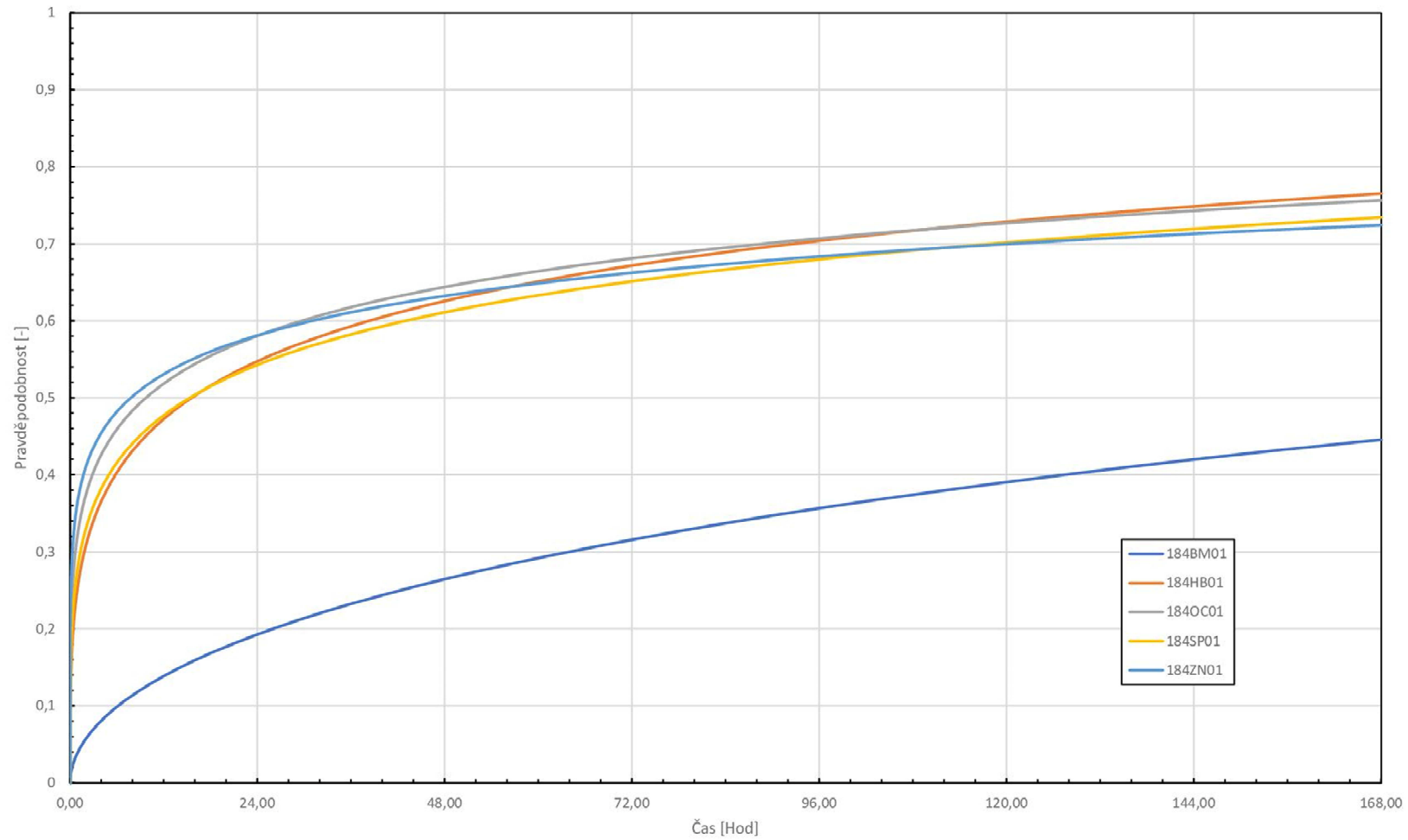
Rovněž je důležité, aby záznamy o údržbě vkládané do systému SAP R/3 u jednotlivých SÚ byly co nejpřesnější.

## Příloha



Graf 1 Distribuční funkce – Doba preventivní údržby

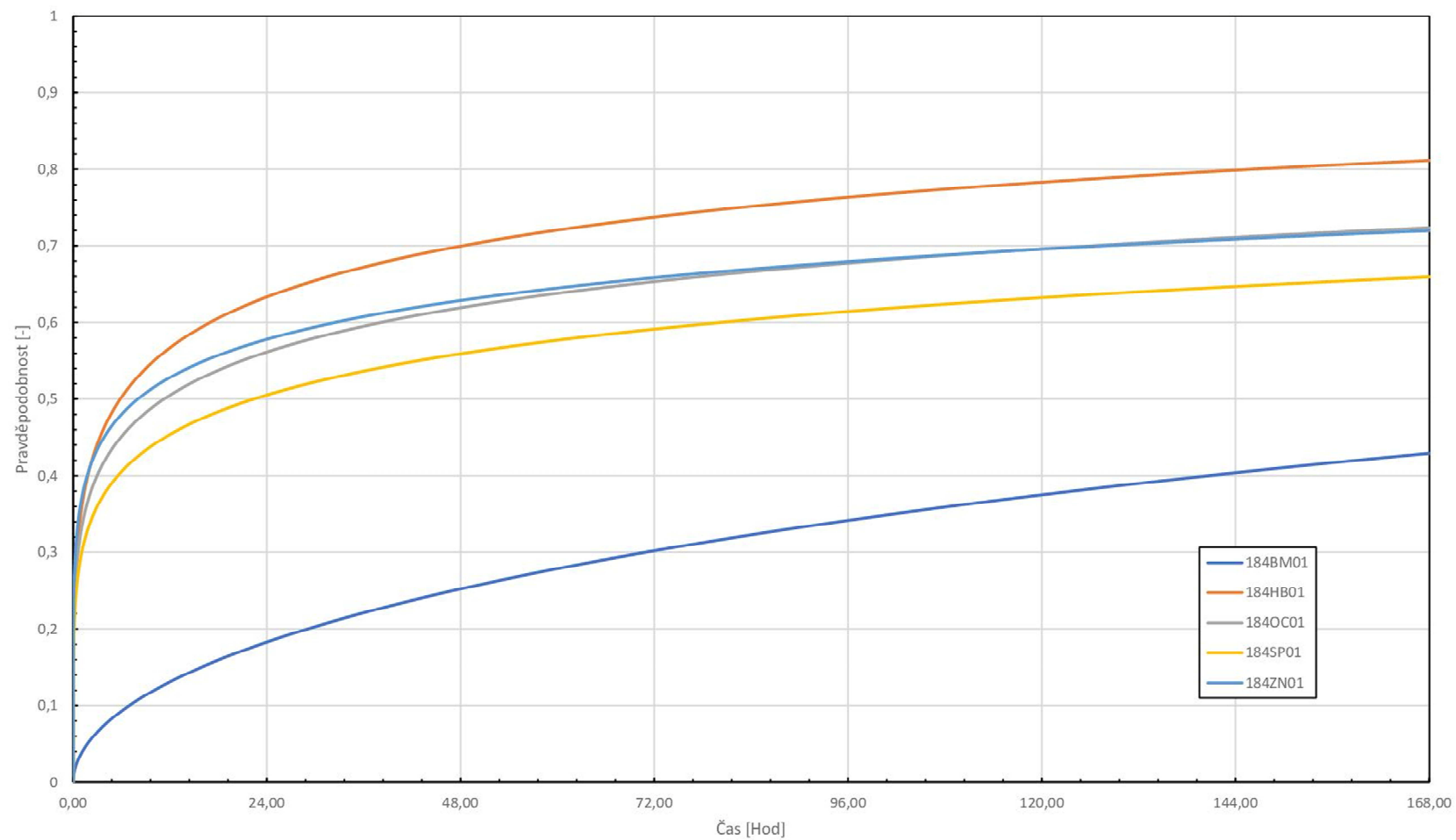
**HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI**



Graf 2 Distribuční funkce – Doba údržby po poruše

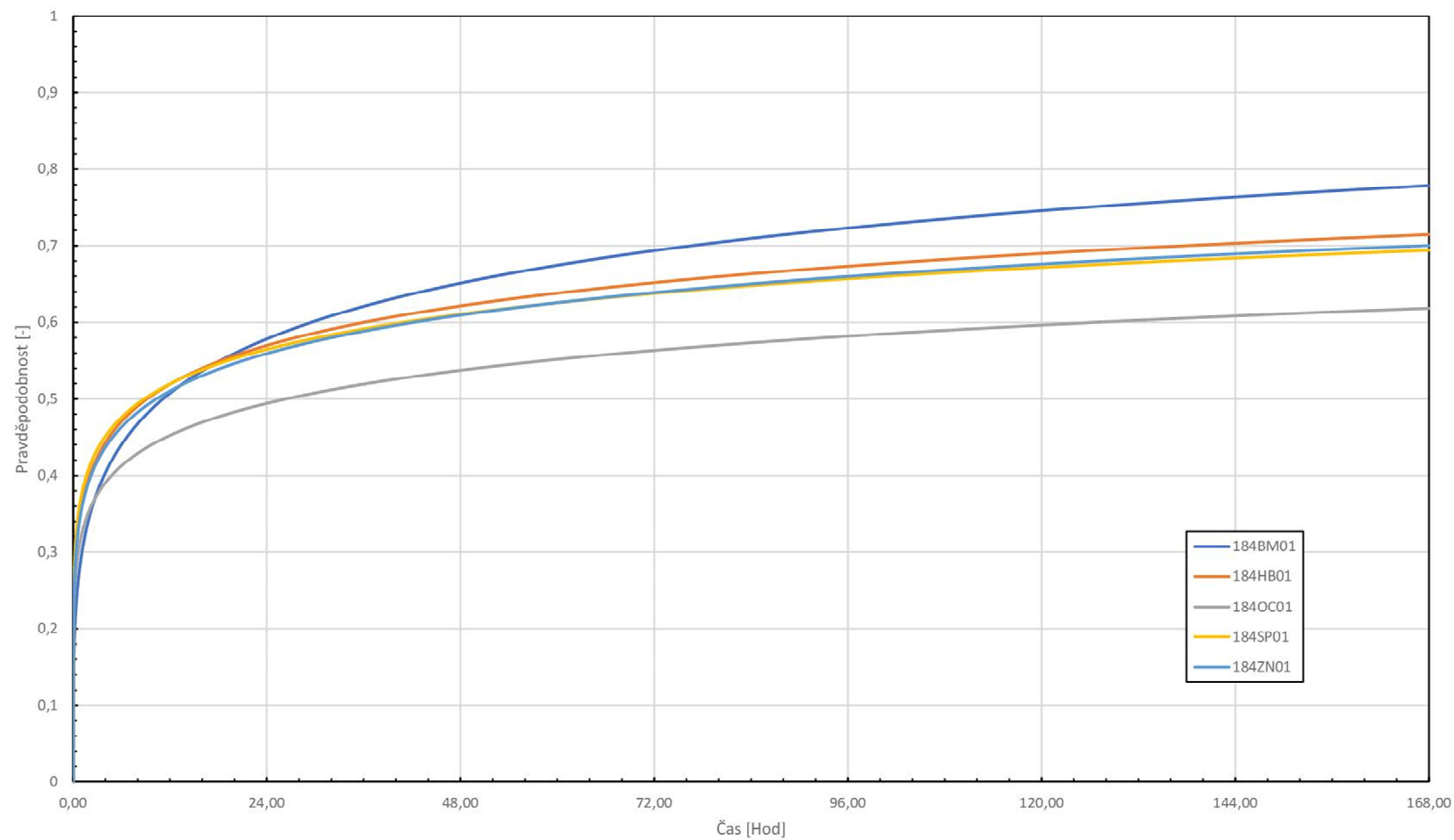


**HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI**



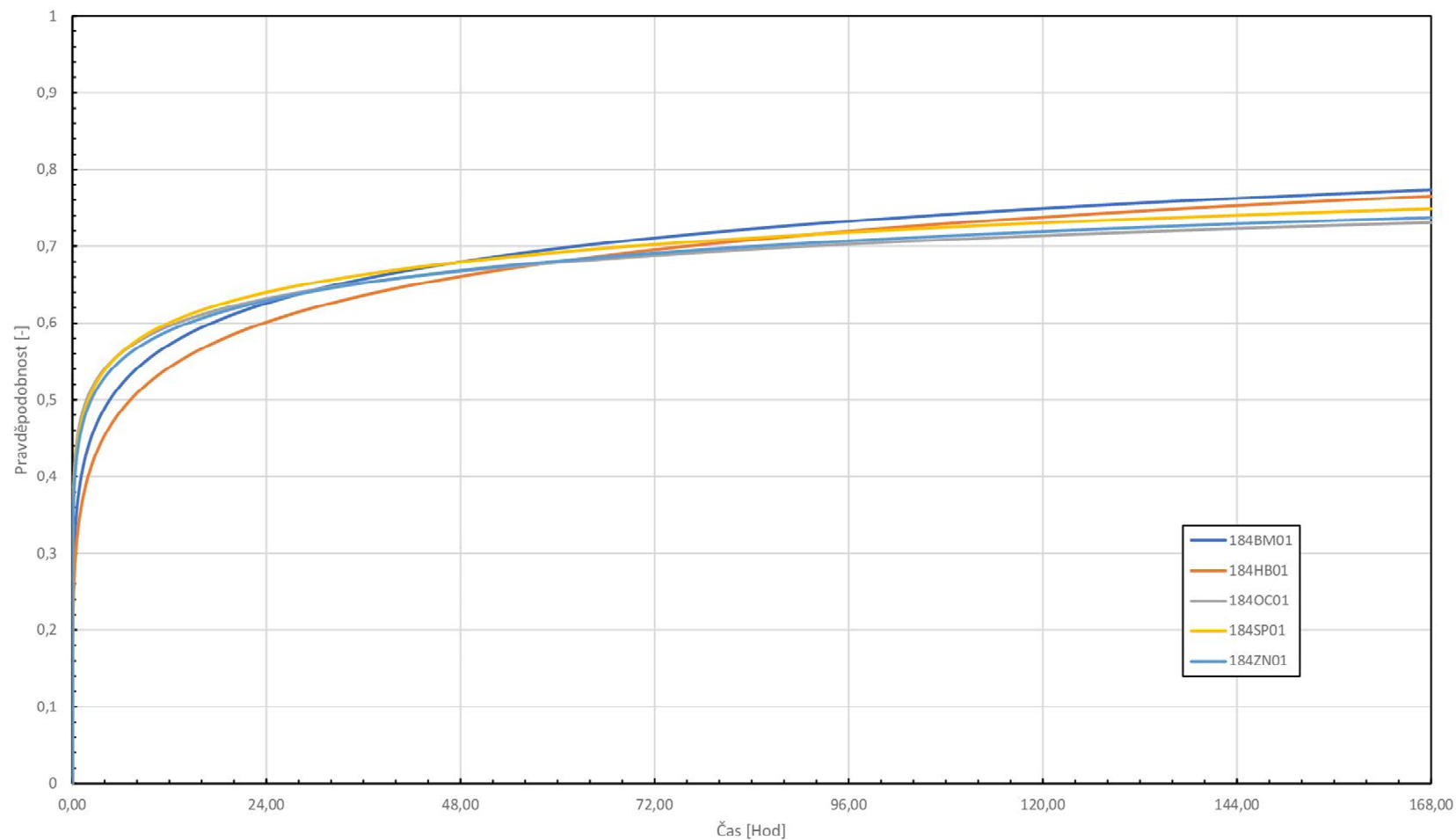
Graf 3 Distribuční funkce – Doba údržby

**HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI**



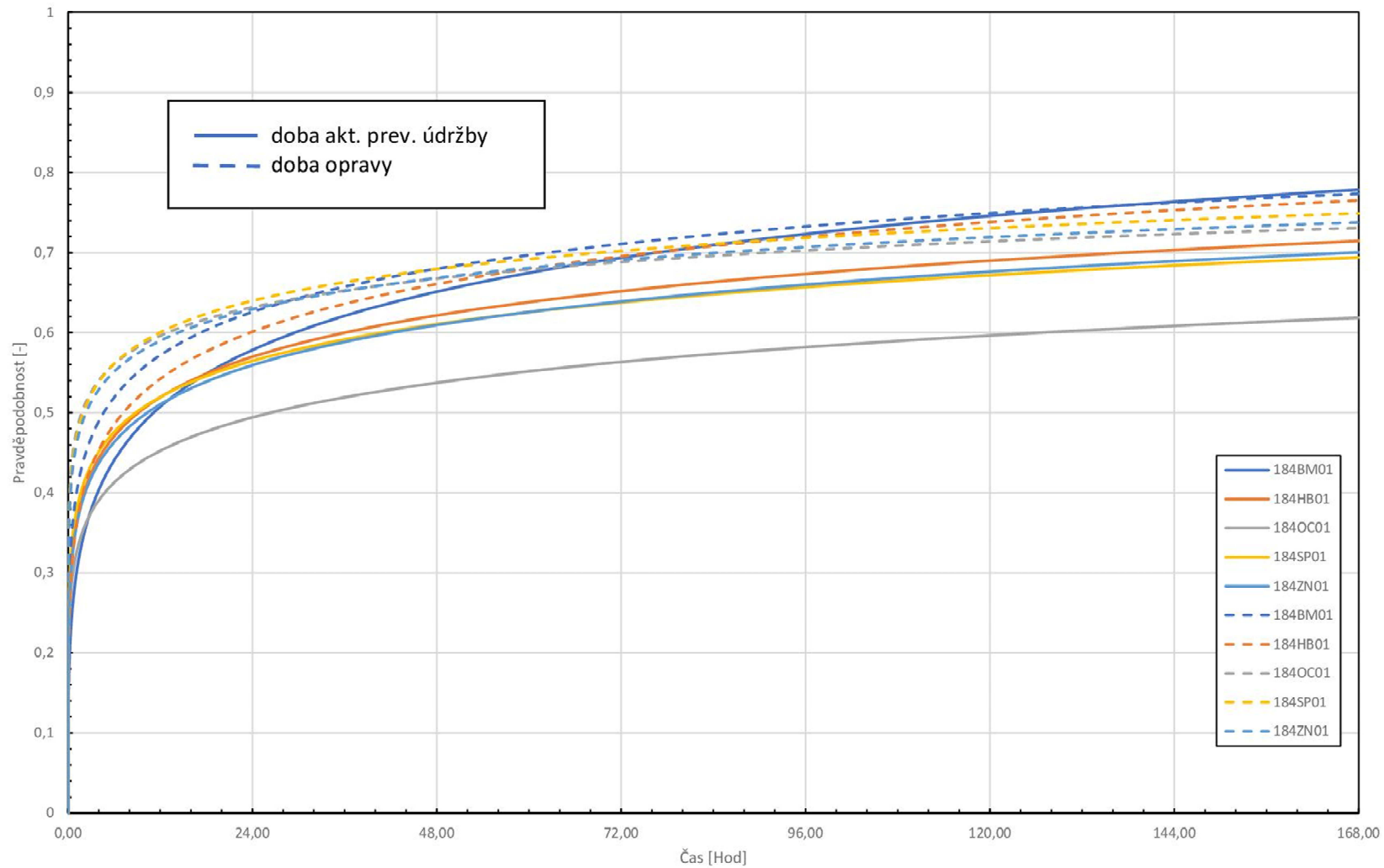
Graf 4 Distribuční funkce – Doba aktivní preventivní údržby

**HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI**



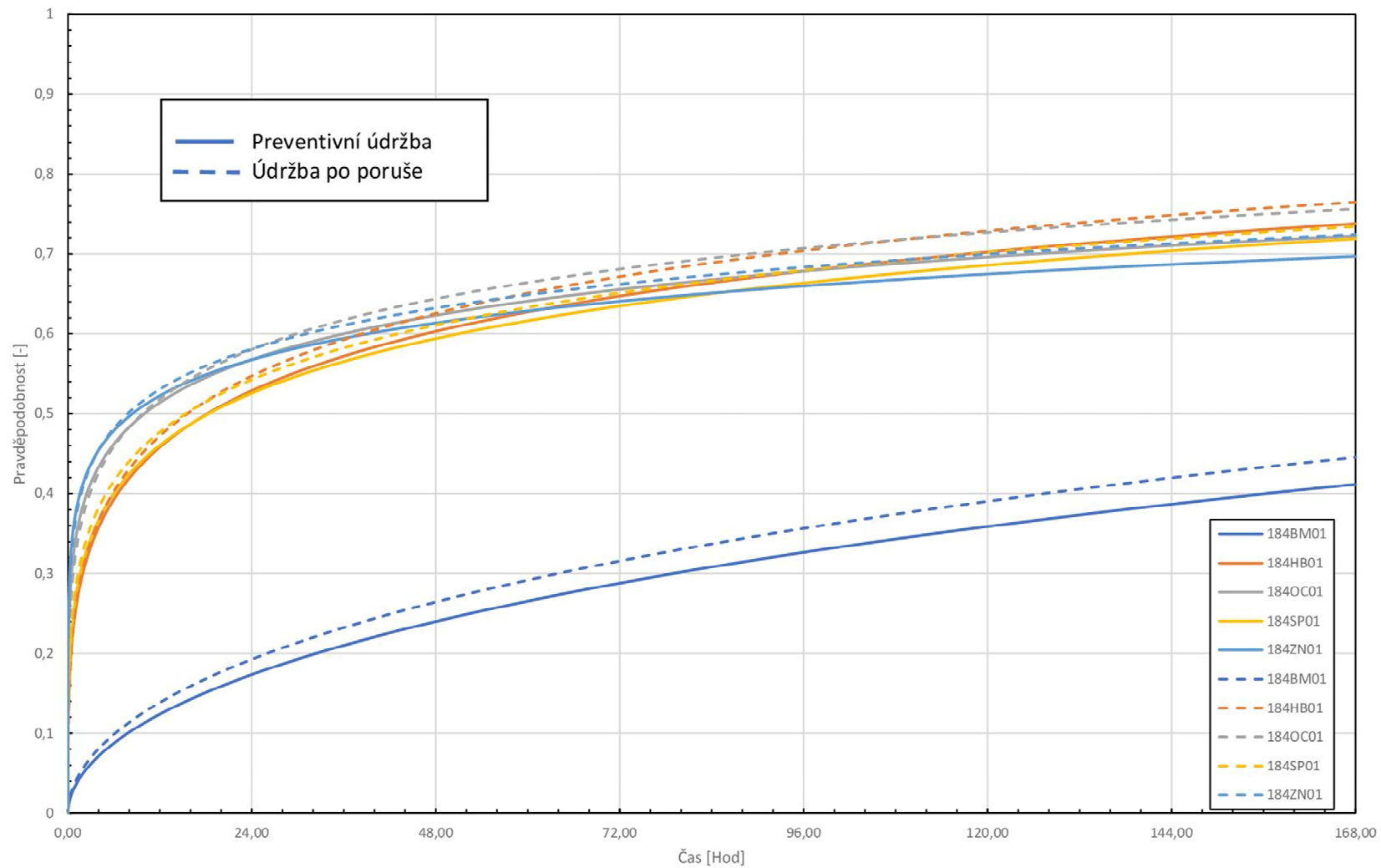
Graf 5 Distribuční funkce – Doba opravy

**HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI**



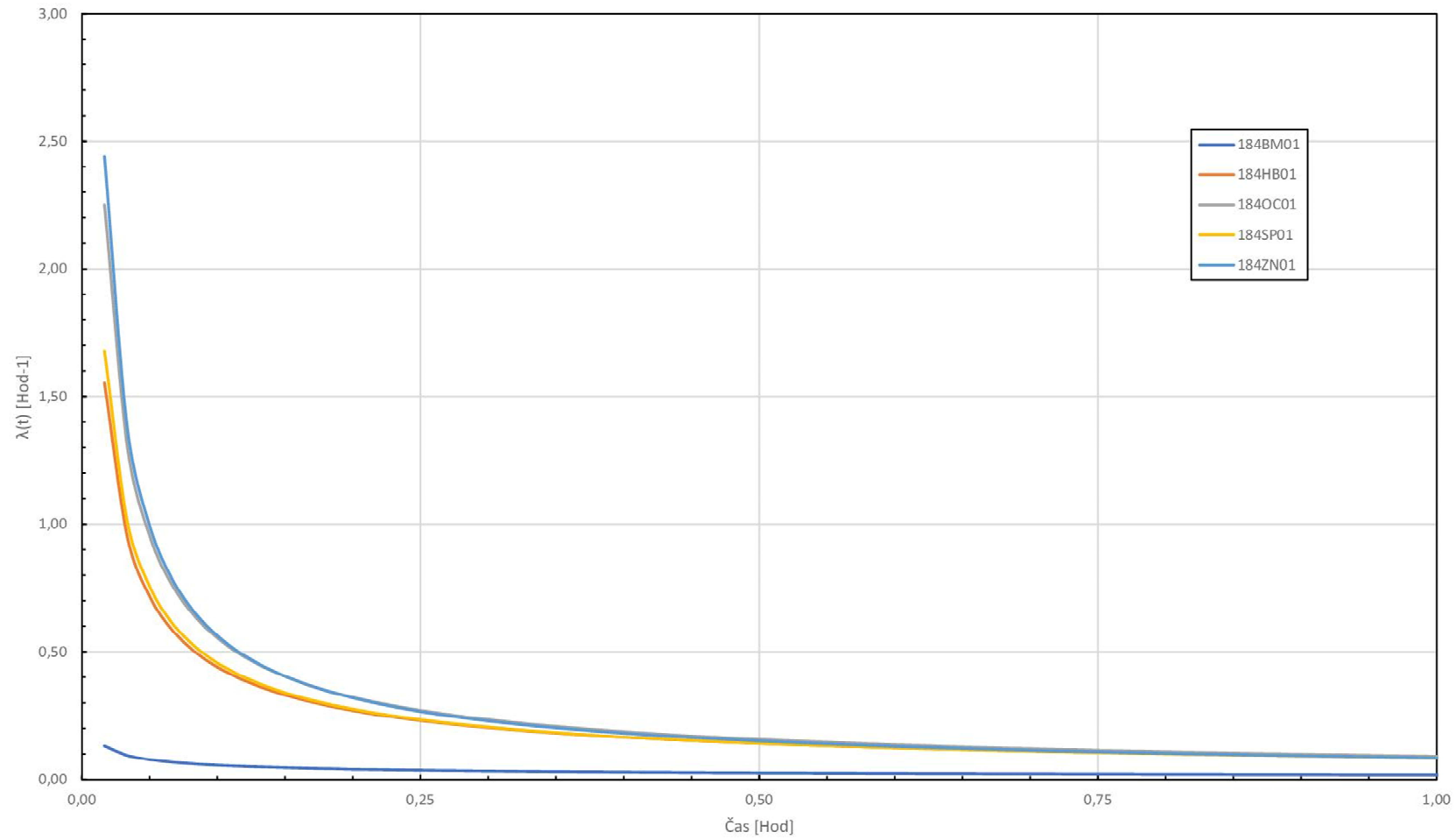
Graf 6 Srovnání distribuční funkce doby aktivní preventivní údržby a doby opravy

**HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI**



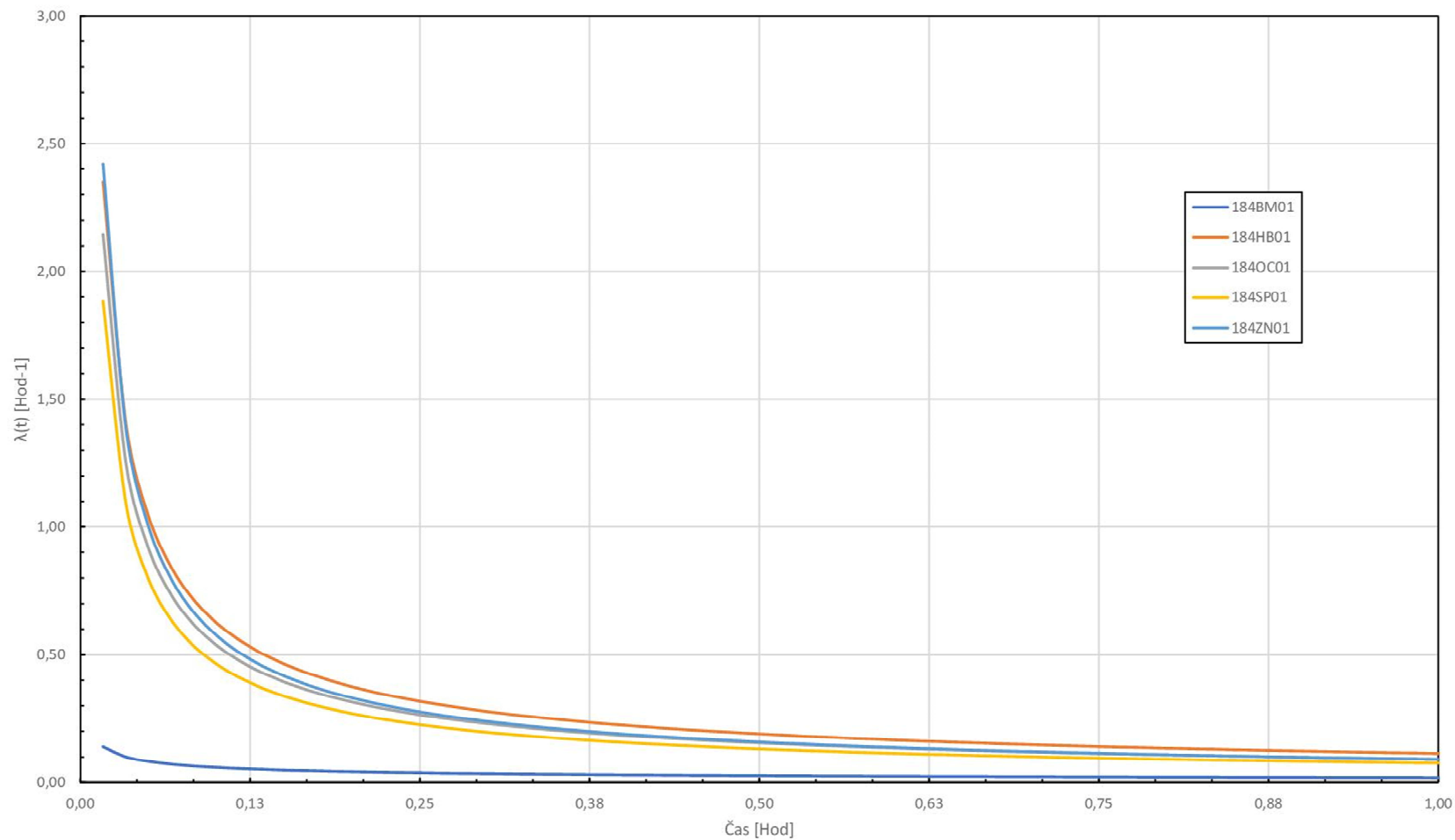
Graf 7 Srovnání distribuční funkce preventivní údržby a údržby po poruše

**HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI**



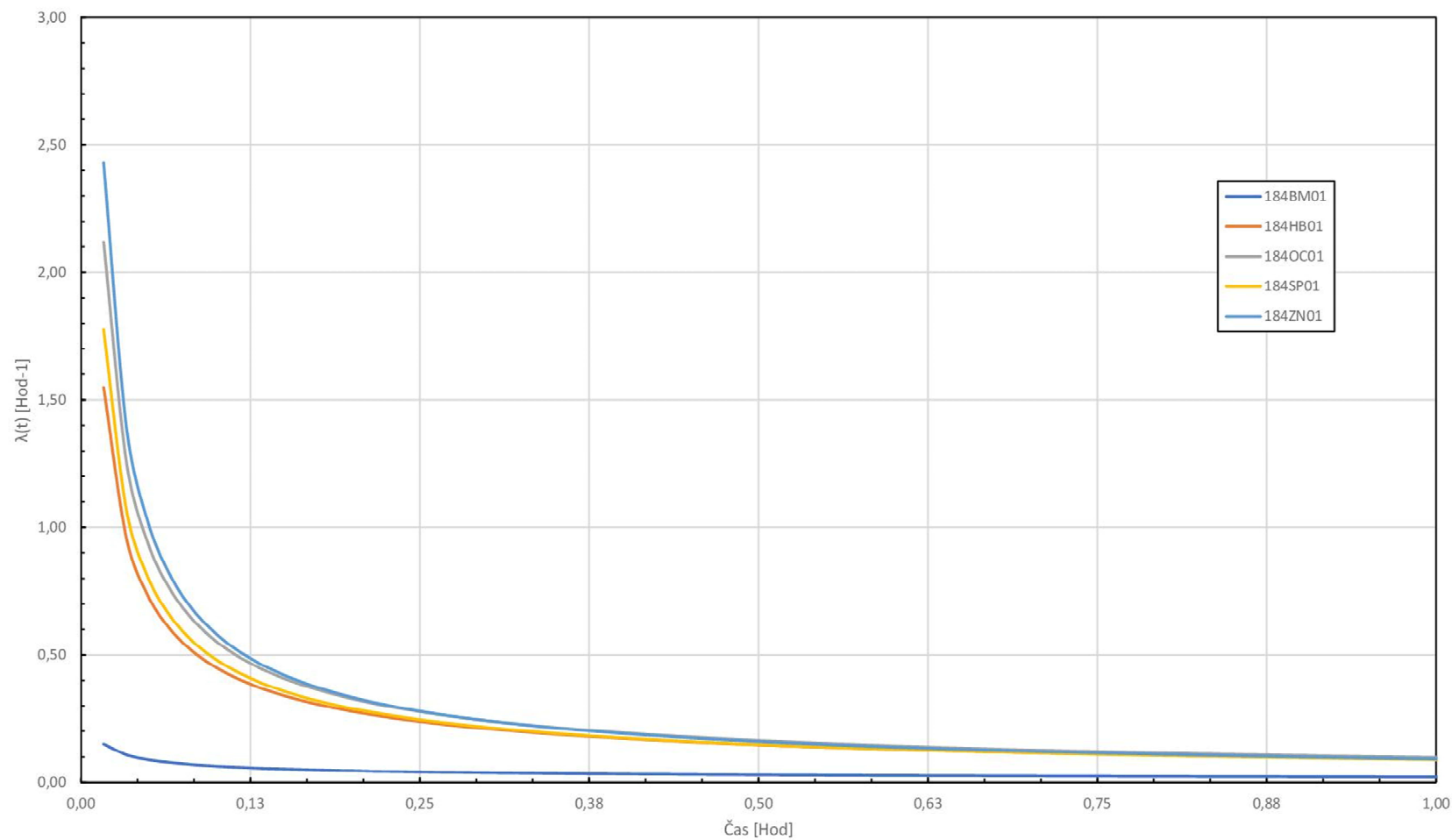
Graf 8 Funkce intenzity – Doba preventivní údržby

**HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI**



Graf 9 Funkce intenzity – Doba údržby

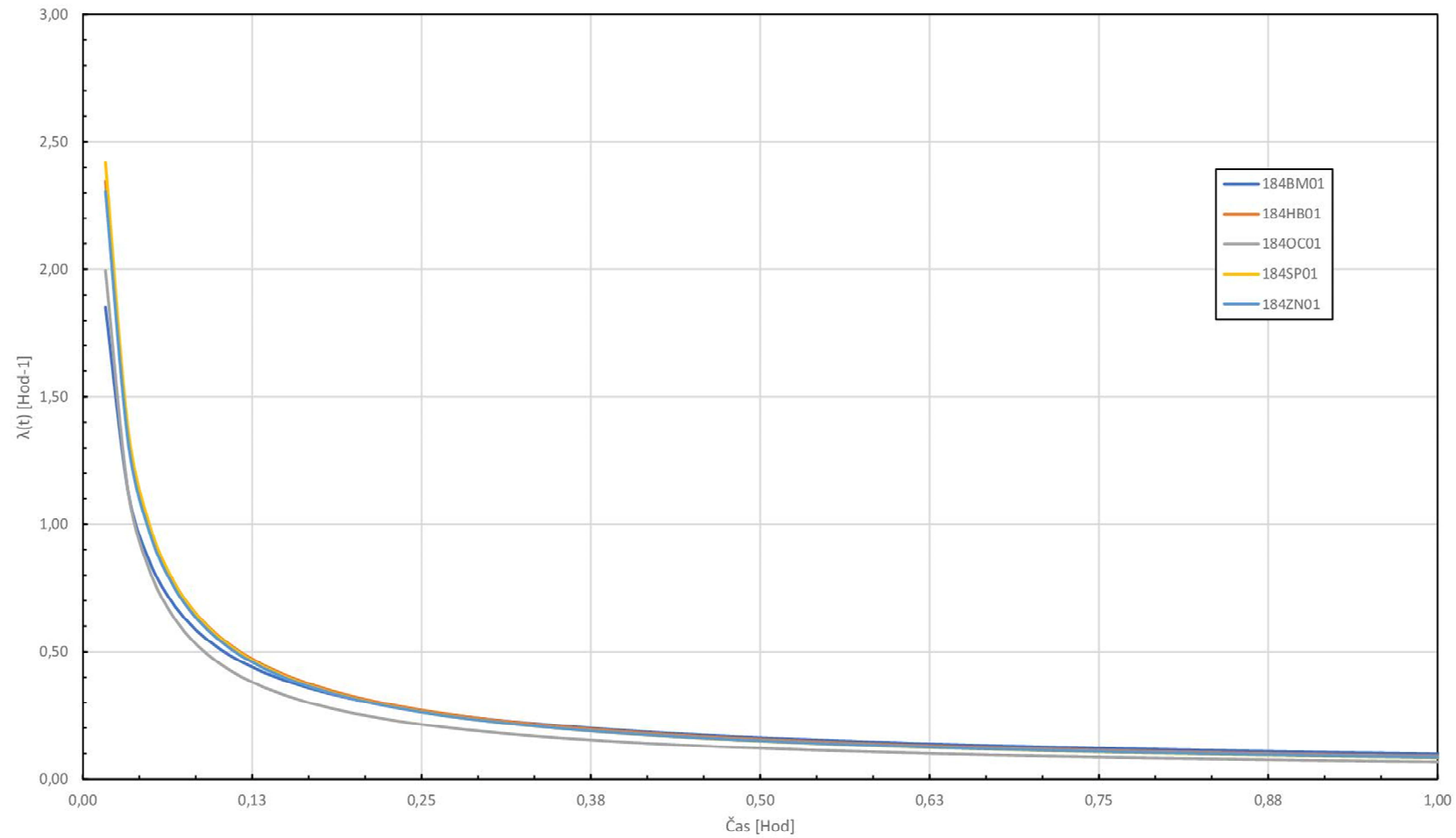
**HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI**



Graf 10 Funkce intenzity – Doba údržby po poruše

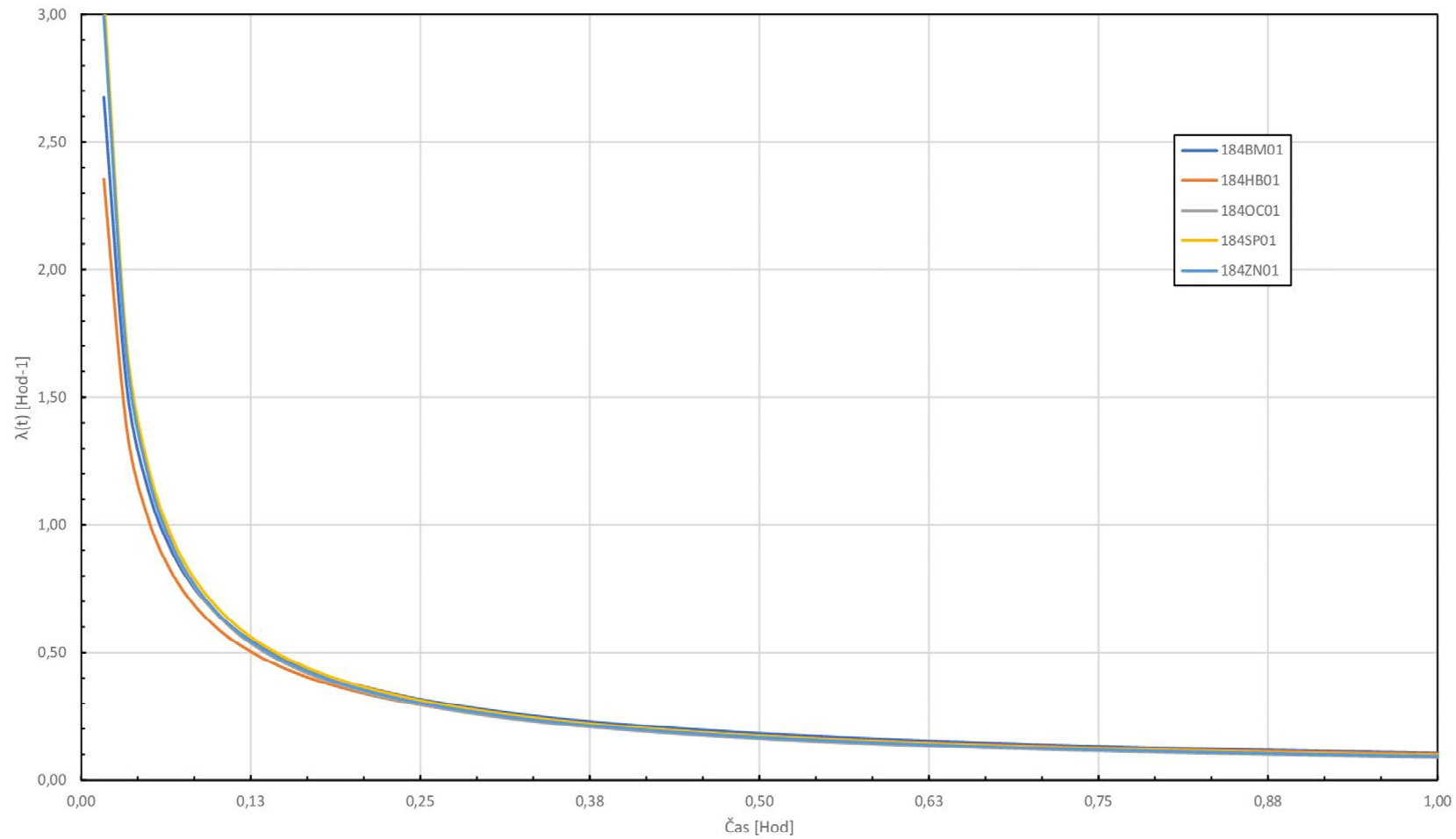


**HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI**



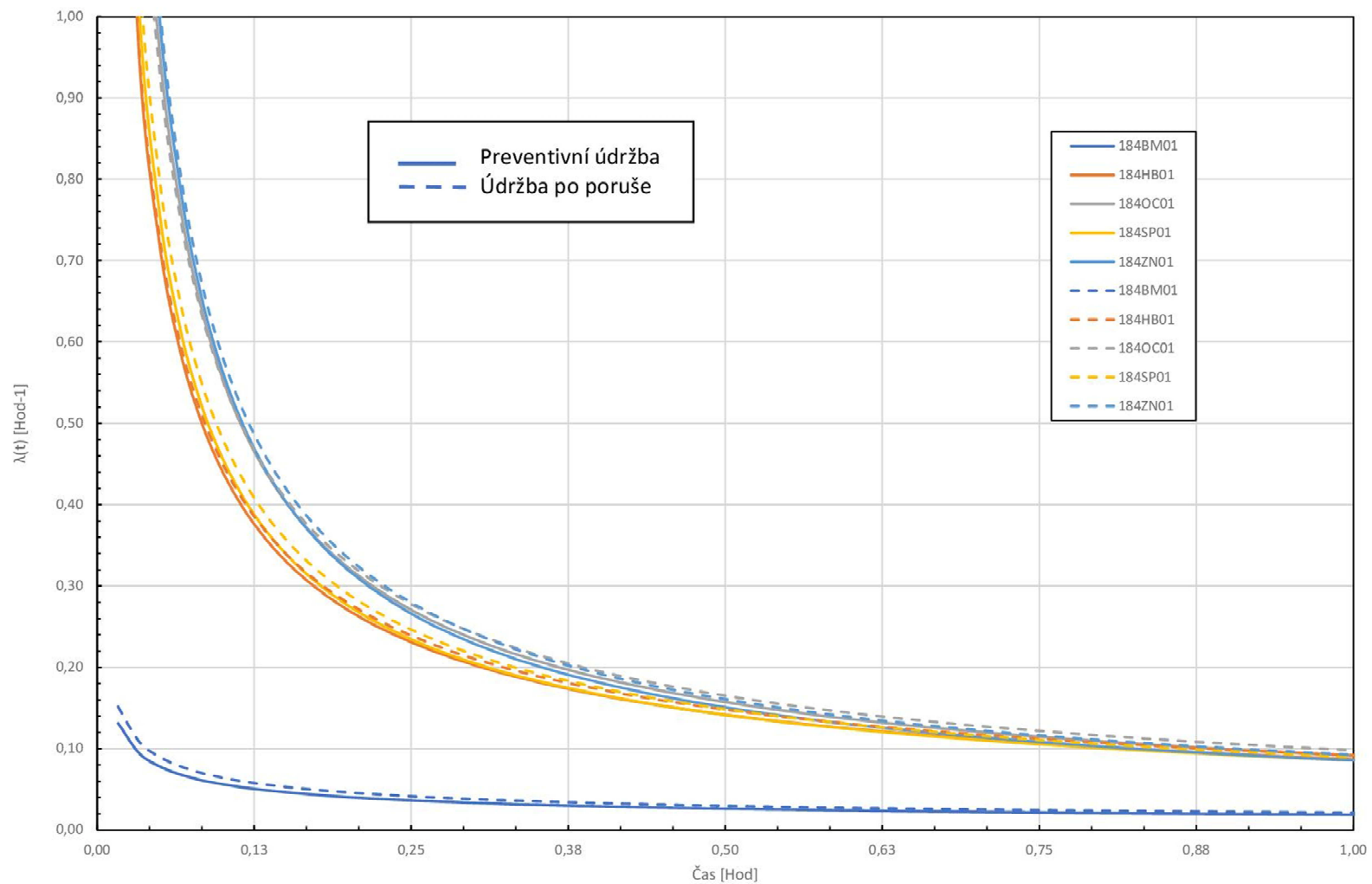
Graf 11 Funkce intenzity – Doba aktivní preventivní údržby

**HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI**



Graf 12 Funkce intenzity - Doba opravy

### HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI



Graf 13 Srovnání funkce intenzity doby preventivní údržby a údržby po poruše

## Bibliografie

ČSN EN 60300-1 ED.2. Management spolehlivosti – Část 1: Návod pro management a použití. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.

ČSN EN 61703. Matematické výrazy pro ukazatele bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a zajištěnosti údržby. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2002.

ČSN ISO 9000:2000. Systémy managementu jakosti – Základy, zásady a slovník. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2001.

ČSN EN ISO 9000:2005. Systémy managementu kvality – Základní principy a slovník. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.

ČSN EN ISO 9000:2015. Systémy managementu kvality – Základní principy a slovník. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.

ČSN IEC 50(191). Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 191: Spolehlivost' a akost' služieb. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1993.

ČSN IEC 60050-192, Mezinárodní elektrotechnický slovník - Část 192: Spolehlivost. První. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.

ELSTNER, Martin. Řízení údržby kolejových vozidel pro optimalizaci spolehlivosti. Pardubice, 2018. Disertační práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera.

FAMFULÍK, Jan, Jana MÍKOVÁ a Radek KRZYŽANEK, 2007. Teorie údržby. První. Ostrava: Ediční středisko Vysoké školy baňská – Technické univerzity Ostrava, 237 s. ISBN 978-80-248-1509-1. Dostupné také z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/TU/TU/>

HARÁK, Martin. Výroba šumperských Regionov po sedmi letech skončila. *Železničář* [online]. Praha: Generální ředitelství Českých drah, 2012 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: [https://seznam.cd.cz/zeleznicar/provoz-a-technika/vyroba-sumperskych-regionov-po-sedmi-letech-konci-/-533/21,0,/,/](https://seznam.cd.cz/zeleznicar/provoz-a-technika/vyroba-sumperskych-regionov-po-sedmi-letech-konci-/-533/21,0,/)

HOLUB, Rudolf a Zdeněk VINTR. *Spolehlivost letadlové techniky* [online]. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2001 [cit. 2020-04-15].

LEGÁT, Václav. Management a inženýrství údržby. Průhonice: Professional Publishing, 2013. ISBN 978-80-7431-119-2.

LIMBERG, Petr, Leoš ŘÍHA a Miloš FIALA. Implementace modulu oprav a údržby (PM) systému SAP R/3 v Českých drahách a.s. In: *Vědeckotechnický sborník ČD č. 20/2005* [online]. Praha:

**HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI KOLEJOVÝCH VOZIDEL STANDARTNÍMI CHARAKTERISTIKAMI**

Generální ředitelství Českých drah, 2005, s. 1-7 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://vts.cd.cz/documents/168518/195417/2005.pdf/f181152c-c50d-4fff-a88c-2302ec935d5d>

SCHRÖTTER, Josef a Bohuslav FULTNER. Svět lokomotiv. 2. vydání. Brno: CPress, 2016. ISBN 978-80-264-1268-7.

SOUČEK, Eduard. Základy pravděpodobnosti a statistiky. Vyd. 3. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2008. ISBN 978-80-7395-142-9.

ŠVESTKA, David. 814, 814.2. Atlas lokomotiv [online]. [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-814.html>