

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA

**SPOLEHLIVOST VYBRANÉ ZEMĚDĚLSKÉ
TECHNIKY A OPTIMALIZACE JEJÍ DOBY
PROVOZU**

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Disertační práce

Autor práce: Ing. David Fabiánek

2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma „Spolehlivost vybrané zemědělské techniky a optimalizace její doby provozu“ vypracoval samostatně pod vedením školitele prof. Ing. Václava Legáta, DrSc. a školitele doc. Ing. Zdeňka Aleše, Ph.D. s použitím literatury, která je citována a uvedena v příslušné bibliografii. Tištěná a elektronická verze práce se doslovně shodují.

JMÉNO A PŘÍJMENÍ: Ing. David Fabiánek

PODPIS:

DATUM:

Poděkování

Tímto děkuji svému školiteli prof. Ing. Václavu Legátovi, DrSc. za pomoc při přípravě metodiky disertační práce a odborné vedení v průběhu její tvorby. Naše konzultace vždy probíhaly ve velmi přátelské atmosféře, pan profesor mě problematikou prováděl s lehkostí, nadsázkou a humorem jemu vlastním. Dále děkuji svému školiteli doc. Ing. Zdeňkovi Alešovi, Ph.D, který převzal pomyslnou štafetu a dovedl mě k úspěšné obhajobě tezí disertační práce a velice mi svým vysoce profesionálním vedením pomohl tuto práci dokončit. Děkuji také paní Mgr. Daně Skrbkové, která mi velice ochotně pomáhala při řešení administrativních záležitostí během mého studia na ČZU a poskytovala mi podporu. Také děkuji společnosti STROM PRAHA a.s. jmenovitě panu Ing. Martinovi Grygarovi za poskytnutí podkladů pro výzkum. Rovněž děkuji společnosti PEKASS a.s. kde jsem čerpal další potřebná data, jmenovitě pak panu Ing. Zdeňkovi Volmutovi za odborné vedení v oblasti managementu servisní organizace zaměřené na servis zemědělské techniky, bez něhož bych nebyl schopen provázat vědecké poznatky s praxí. A samozřejmě také děkuji své rodině za podporu, které se mi dostávalo po celou dobu mého studia a velkou dávkou jejich trpělivosti.

Abstrakt

Tato práce analyzuje rozsáhlou databázi obsahující provozní data 166 zemědělských traktorů John Deere 7530. Provozní data byla zaznamenána v období od 4. 1. 2010 do 28. 5. 2019. Pomocí kvantifikace kritičnosti bylo vybráno 10 kritických částí stroje. Dále byly pomocí Weibullový analýzy spolehlivosti podle ČSN EN 61649:2009 vypočítány jejich indikátory spolehlivosti, parametr tvaru α , parametr měřítka β a střední doba provozu do poruchy *MOTTF*. Pro zjištění shody empirického a teoretického rozdělení byl použit koeficient determinace r^2 . Získané údaje o spolehlivosti byly použity k identifikaci vhodných částí pro optimalizaci programu údržby. Pro vybrané části byly vypočítány náklady na údržbu v režimu po poruše, v režimu preventivní údržby a byla provedena nákladová optimalizace intervalu preventivní údržby. V poslední části práce je popsán postup implementace uvedených nástrojů pro optimalizaci programu údržby do ERP systému KARAT.

Klíčová slova: spolehlivost, Weibullovo rozdělení, analýza spolehlivosti, charakteristiky spolehlivosti, ERP systém

Abstract

This dissertation analyzes a vast database containing operation data of 166 agricultural tractors John Deere 7530. Time period of acquired data was from 4. 1. 2010 to 28. 5. 2019. The Using critical quantification, 10 critical components were selected. Furthermore, their dependability indicators, shape parameter α , scale parameter β and mean operation time to failure *MOTTF* were calculated using Weibull dependability analysis according to ČSN EN 61649:2009. The coefficient of determination r^2 was used to determine the agreement between the empirical data and theoretical distributions. The obtained data of dependability was used for identification suitable components for maintenance program optimization. For the selected parts, the maintenance costs were calculated in the post-failure mode, in the preventive maintenance mode, and the cost optimization of the preventive maintenance interval was performed. According to the optimal t_{puo} preventive maintenance interval, selected parts were included in the preventive maintenance program prescribed by the manufacturer. In the last part of the work, the procedure for implementing the mentioned tools for optimizing the maintenance program into the KARAT ERP system is described.

Keywords: dependability, Weibull distribution, dependability analysis, reliability characteristics, ERP system

Obsah

Prohlášení	i
Poděkování	ii
Abstrakt	iii
Abstract	iv
Obsah	v
Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	xi
Seznam zkratk	xv
1 ÚVOD	1
2 PŘEHLED O SOUČASNÉM STAVU POZNÁNÍ	2
2.1 Základní politiky (strategie) údržby	2
2.1.1 Údržba po poruše.....	3
2.1.2 Preventivní údržba – údržba s předem stanovenými intervaly.....	3
2.1.3 Preventivní údržba – údržba podle stavu	3
2.1.4 Preventivní údržba – údržba podle předpokládaného stavu (prediktivní údržba).....	4
2.2 Program údržby	4
2.3 Vliv volby politiky údržby na provozní náklady výrobního zařízení.....	4
2.3.1 Náklady na provoz strojů	5
2.3.2 Výnos z provozu strojů.....	7
2.3.3 Obnova výrobního zařízení	7
2.4 Optimalizace programu preventivní údržby	9
2.4.1 Základní pojmy teorie pravděpodobnosti a statistiky.....	9
2.4.2 Weibullovo rozdělení náhodných veličin.....	10
2.4.3 Matematický model pro optimalizaci programu preventivní údržby	13
2.5 Řízení údržby pomocí informačních technologií	15
2.6 Souhrn	18
3 VĚDECKÉ HYPOTÉZY A CÍLE PRÁCE	20
4 MATERIÁLY A METODY	21
4.1 Výpočet kritičnosti částí stroje a výběr kritických částí stroje pro další analýzu	21
4.2 Výpočet ukazatelů spolehlivosti.....	22
4.2.1 Výpočet parametru tvaru α a parametru měřítka β Weibullova rozdělení	22
4.2.2 Ověření míry statistické významnosti	24

4.2.3 Výpočet charakteristik spolehlivosti	24
4.2.4 Výpočet střední doby provozu do poruchy	25
4.3 Výběr vhodných částí stroje pro nákladovou optimalizaci programu údržby.....	25
4.4 Výpočet nákladů na údržbu v režimu po poruše a v režimu preventivní údržby	26
4.5 Výpočet optimálního intervalu preventivní údržby	26
4.6 Sestavení programu preventivní údržby	27
4.7 Výpočet ekonomického efektu dosaženého aplikací modifikovaného programu preventivní údržby	28
5 VÝSLEDKY	30
5.1 Vybrané kritické částí stroje pro další analýzu.....	30
5.2 Ukazatele spolehlivosti vybraných částí stroje	31
5.3 Výběr vhodných částí stroje pro nákladovou optimalizaci programu údržby.....	43
5.4 Optimální interval preventivní údržby vybraných částí stroje	46
5.5 Sestavení programu preventivní údržby pro traktor JOHN DEERE 7530.....	52
5.6 Ekonomický efekt dosažený aplikací modifikovaného programu preventivní údržby	55
5.6.1 Porovnání celkových nákladů na údržbu před a po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby	55
5.6.2 Porovnání optimálního bodu obnovy před a po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby	62
5.7 Návrh implementace metodického postupu pro optimalizaci údržby zemědělské techniky do ERP systému KARAT	67
5.7.1 Výběr vhodných částí stroje pro zařazení do programu preventivní údržby v IS KARAT	69
5.7.2 Výpočet optimálního intervalu preventivní údržby v IS KARAT	76
5.7.3 Generování požadavků na preventivní údržbu a jejich zpracování v IS KARAT	82
6 DISKUSE	86
7 ZÁVĚR.....	91
8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	93
PŘÍLOHY	99
Příloha A – Vstupní data pro výpočet charakteristik spolehlivosti části stroje SE502330 Turbodmychadlo	99
Příloha B – Vstupní data pro výpočet charakteristik spolehlivosti části stroje RE537578 Tlumič torzních kmitů	100

Příloha C – Vstupní data pro výpočet charakteristik spolehlivosti části stroje RE43738 Senzor tahové síly TBZ	101
Příloha D – Vstupní data pro výpočet charakteristik spolehlivosti části stroje SE501227 Vodní čerpadlo.....	102
Příloha E – Vstupní data pro výpočet charakteristik spolehlivosti části stroje AL160250 Trojcestný ventil brzd	103
Příloha F – Vstupní data pro výpočet charakteristik spolehlivosti části stroje AL168483 Palivové čerpadlo.....	104
Příloha G – Vstupní data pro výpočet charakteristik spolehlivosti části stroje RE543308 Ventil EGR	105
Příloha H – Vstupní data pro výpočet charakteristik spolehlivosti části stroje RE523318 Aktuátor turba.....	106
Příloha CH – Vstupní data pro výpočet charakteristik spolehlivosti části stroje RE167207 Snímač tlaku oleje motoru.....	107
Příloha I – Doby výměn vybraných částí stroje	108

Seznam obrázků

Obrázek 2.1: Rozdělení údržby dle ČSN 13306 [28].....	3
Obrázek 2.2: Princip stanovení optimální doby provozu pro obnovu z průběhu průměrných jednotkových nákladů [1].....	8
Obrázek 2.3: Grafické vyjádření parametru proudu poruch $\lambda(t)$ – vanová křivka [1, 42].....	11
Obrázek 2.4: Vztah mezi parametrem tvaru α a životností výrobního zařízení [48]	12
Obrázek 2.5: Základní princip politiky údržby [52].....	13
Obrázek 2.6: Základní struktura databáze informačního systému pro řízení údržby [56]	16
Obrázek 5.1: Pracovní databáze pro výběr kritických částí stroje	30
Obrázek 5.2: Bodový odhad parametrů Weibullova rozdělení pomocí Microsoft Excel	32
Obrázek 5.3: Charakteristiky spolehlivosti pro RE535729 Chladič zpětného vedení spalín ...	33
Obrázek 5.4: Charakteristiky spolehlivosti pro SE502330 Turbodmychadlo.....	34
Obrázek 5.5: Charakteristiky spolehlivosti pro RE537578 Tlumič torzních kmitů	35
Obrázek 5.6: Charakteristiky spolehlivosti pro RE43738 Senzor tahové síly TBZ.....	36
Obrázek 5.7: Charakteristiky spolehlivosti pro SE501227 Vodní čerpadlo.....	37
Obrázek 5.8: Charakteristiky spolehlivosti pro AL160250 Trojcestný ventil brzd	38
Obrázek 5.9: Charakteristiky spolehlivosti pro AL168483 Palivové čerpadlo.....	39
Obrázek 5.10: Charakteristiky spolehlivosti pro RE543308 Ventil EGR.....	40
Obrázek 5.11: Charakteristiky spolehlivosti pro RE523318 Aktuátor turba	41
Obrázek 5.12: Charakteristiky spolehlivosti pro RE167207 Snímač tlaku oleje motoru.....	42
Obrázek 5.13: Závislost jednotkových nákladů na střední době provozu pro preventivní údržbu pro RE537578 Tlumič torzních kmitů	47

Obrázek 5.14: Závislost jednotkových nákladů na střední době provozu pro preventivní údržbu pro SE501227 Vodní čerpadlo.....	48
Obrázek 5.15: Závislost jednotkových nákladů na střední době provozu pro preventivní údržbu pro AL168483 Palivové čerpadlo	49
Obrázek 5.16: Závislost jednotkových nákladů na střední době provozu pro preventivní údržbu pro RE523318 Aktuátor turba.....	50
Obrázek 5.17: Závislost jednotkových nákladů na střední době provozu pro preventivní údržbu pro RE167207 Snímač tlaku oleje motoru.....	51
Obrázek 5.18: Schéma základního cyklu periodických údržeb předepsaných výrobcem.....	52
Obrázek 5.19: Schéma modifikovaného základního cyklu periodických údržeb	54
Obrázek 5.20: Kumulativní náklady na údržbu před N_{uk1} a po N_{uk2} aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby na reálná data vybraného traktoru	61
Obrázek 5.21: Ceny nafty 2010 – 2019 [62]	64
Obrázek 5.22: Optimální bod obnovy před a po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby	66
Obrázek 5.23: Struktura základní databáze pro implementaci	68
Obrázek 5.24: Struktura databáze pro implementaci výběru nomenklatur pro další zpracování	70
Obrázek 5.25: Vybrané nomenklatury pro další zpracování v IS KARAT.....	72
Obrázek 5.26: Detail nomenklatury v IS KARAT s vyznačenými sloupci použitými pro filtrování.....	72
Obrázek 5.27: Realizace servisních zakázek – záznam opotřebení.....	74
Obrázek 5.28: Parametry Weibullova rozdělení v IS KARAT	75
Obrázek 5.29: Struktura databáze pro implementaci řešení výpočtů parametrů Weibullova rozdělení.....	75

Obrázek 5.30: Sloupec Čas montáže na detailu nomenklatury v IS KARAT	77
Obrázek 5.31: Detail záznamu Mzdové náklady obsluhy stroje v tabulce Ceník v IS KARAT	79
Obrázek 5.32: Umístění sloupců pro určení vzdálenosti stroje od servisního střediska na detailu záznamu v tabulce Zařízení v IS KARAT	79
Obrázek 5.33: Záznamy tabulky Vstupní data pro výpočet t_{puo} v IS KARAT	80
Obrázek 5.34: Výpočet t_{puo} v IS KARAT	81
Obrázek 5.35: Struktura databáze pro implementaci řešení výpočtu optimálního intervalu preventivní údržby t_{puo}	81
Obrázek 5.36: Přehled Požadavky na preventivní údržbu v IS KARAT	84
Obrázek 5.37: Struktura databáze pro implementaci řešení generování požadavků na preventivní údržbu a generování servisních zakázek.....	85

Seznam tabulek

Tabulka 5.1: Vybrané části stroje pro další výzkum podle míry jejich kritičnosti.....	30
Tabulka 5.2: Vstupní data pro výpočet charakteristik spolehlivosti části stroje RE535729 Chladič zpětného vedení spalin.....	31
Tabulka 5.3: Parametry Weibullova rozdělení, indikátory spolehlivosti pro RE535729 Chladič zpětného vedení spalin	33
Tabulka 5.4: Parametry Weibullova rozdělení, indikátory spolehlivosti pro SE502330 Turbodmychadlo	34
Tabulka 5.5: Parametry Weibullova rozdělení, indikátory spolehlivosti pro RE537578 Tlumič torzních kmitů	35
Tabulka 5.6: Parametry Weibullova rozdělení, indikátory spolehlivosti pro RE43738 Senzor tahové síly TBZ	36
Tabulka 5.7: Parametry Weibullova rozdělení, indikátory spolehlivosti pro SE501227 Vodní čerpadlo	37
Tabulka 5.8: Parametry Weibullova rozdělení, indikátory spolehlivosti pro AL160250 Trojcestný ventil brzd.....	38
Tabulka 5.9: Parametry Weibullova rozdělení, indikátory spolehlivosti pro AL168483 Palivové čerpadlo	39
Tabulka 5.10: Parametry Weibullova rozdělení, indikátory spolehlivosti pro RE543308 Ventil EGR.....	40
Tabulka 5.11: Parametry Weibullova rozdělení, indikátory spolehlivosti pro RE523318 Aktuátor turba	41
Tabulka 5.12: Parametry Weibullova rozdělení, indikátory spolehlivosti pro RE167207 Snímač tlaku oleje motoru	42
Tabulka 5.13: Vybrané části stroje pro optimalizaci programu údržby	43

Tabulka 5.14: Medián dob výměny jednotlivých částí stroje.....	44
Tabulka 5.15: Ceny částí stroje	44
Tabulka 5.16: Nákladové položky pro výpočet nákladů na údržbu	45
Tabulka 5.17: Náklady na údržbu.....	46
Tabulka 5.18: Výpočty nákladové optimalizace údržby pro RE537578 Tlumič torzních kmitů	47
Tabulka 5.19: Výpočty nákladové optimalizace údržby pro SE501227 Vodní čerpadlo	48
Tabulka 5.20: Výpočty nákladové optimalizace údržby pro AL168483 Palivové čerpadlo....	49
Tabulka 5.21: Výpočty nákladové optimalizace údržby pro RE523318 Aktuátor turba	50
Tabulka 5.22: Výpočty nákladové optimalizace údržby pro RE167207 Snímač tlaku oleje motoru	51
Tabulka 5.23: Počet pracovních operací pro jednotlivé intervaly programu preventivní údržby předepsané výrobcem.....	52
Tabulka 5.24: Korekce intervalu preventivní údržby vybraných částí stroje podle programu preventivní údržby předepsané výrobcem	53
Tabulka 5.25: Počet pracovních operací pro jednotlivé intervaly modifikovaného programu preventivní údržby	54
Tabulka 5.26: Náklady na údržbu traktoru JOHN DEERE 7530 L07530K657655	55
Tabulka 5.27: Navýšení nákladů na vybrané odstávky o náklady na zapůjčení stroje C_{zs} a prostoj obsluhy N_{ob}	56
Tabulka 5.28: Náklady na údržbu traktoru JOHN DEERE 7530 L07530K657655 po započítání nákladů na zapůjčení stroje C_{zs} a prostoj obsluhy N_{ob}	56
Tabulka 5.29: Odstávky traktoru JOHN DEERE 7530 L07530K657655	57

Tabulka 5.30: Ztráty z nevyčerpání fyzického života částí stroje při výměně v rámci modifikovaného programu preventivní údržby pro JOHN DEERE 7530 L07530K657655	58
Tabulka 5.31: Náklady na plánované odstávky po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby na reálná provozní data traktoru JOHN DEERE 7530 L07530K657655	59
Tabulka 5.32: Struktura nákladů na údržbu a celkové náklady na údržbu N_{u2} po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby na reálná provozní data traktoru JOHN DEERE 7530 L07530K657655	59
Tabulka 5.33: Kumulativní náklady na údržbu N_{uk1} před aplikací modifikovaného programu preventivní údržby	60
Tabulka 5.34: Kumulativní náklady na údržbu N_{uk2} po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby	60
Tabulka 5.35: Základní údaje vybraného traktoru.....	62
Tabulka 5.36: Investiční a provozní náklady strojů – Traktory kolové [61].....	63
Tabulka 5.37: Náklady na obnovu N_o	63
Tabulka 5.38: Náklady na obnovu a provoz traktoru JOHN DEERE 7530 L07530K657655.	64
Tabulka 5.39: Náklady na údržbu traktoru JOHN DEERE 7530 L07530K657655 před a po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby	65
Tabulka 5.40: Výsledky výpočtu optimálního bodu obnovy před a po aplikaci modifikovaného programu údržby aplikovaného na reálná data vybraného traktoru	65
Tabulka 5.41: Hodnoty vybraných sloupců nomenklatur vhodných pro další zpracování	70
Tabulka 5.42: Kombinace hodnot umožňující postoupení nomenklatury k dalšímu zpracování	72
Tabulka 5.43: Vstupní parametry pro nákladovou optimalizaci	73

Tabulka 5.44: Příklad definice vazby mezi typy půjčovaného sortimentu a typy zařízení 78

Seznam zkratk

API	rozhraní pro komunikaci dvou nebo více systémů (Application Programming Interface)
CMMS	system počítačového managementu údržby (Computerized Maintenance Management System)
ČSÚ	Český statistický úřad
ERP	počítačový systém pro řízení firemních procesů a plánování zdrojů (Enterprise resource planning)
ID	identifikační číslo
IS	informační systém
ISÚ	informační systém na podporu řízení údržby
MJ	měrná jednotka
PÚ	preventivní údržba
TPM	totálně produktivní údržba (Total Productive Maintenance)
VÚZT	Výzkumný ústav zemědělské techniky
VZ	výrobní zařízení

1 Úvod

V neustálé snaze o zefektivňování a zeštíhlování výrobních procesů, jejímž cílem je dosažení vyšší úrovně prosperity a konkurenceschopnosti podniku, roste význam péče o hmotný majetek, především pak význam spolehlivosti výrobního zařízení („VZ“). Je kladen velký důraz na udržení VZ ve vysoké pohotovosti, což generuje náročné požadavky na jejich údržbu. Vhodným nastavením politiky údržby lze významně prodloužit dobu provozu do poruchy a délku životního cyklu VZ. Pokud se bude vhodně nastavená politika údržby posuzovat pouze z hlediska výkonnosti celého výrobního uskupení, pak je nejvhodnější takový program údržby, který zabezpečí nejdelší životní cyklus VZ s nejnižšími náklady. Je třeba si uvědomit, že při tvorbě programu údržby je nutné brát v úvahu mnoho dalších především ekonomicko-technických faktorů, které do tvorby programu údržby vstupují jako prvky jeho optimalizace. Jako příklady těchto faktorů lze uvést významnost VZ v rámci celých výrobních linek, náklady na provoz, odpisy, náklady na prostoje, zisk apod. Vhodně optimalizovaný program údržby je vždy kompromisním řešením, na jehož základě jsou náklady na údržbu vždy jen tak vysoké, aby byla zachována jejich rentabilita. [1 – 12]

Počátek markantního růstu významu údržby VZ lze zaznamenat především v první polovině 20. století, kdy se zvyšujícími se požadavky trhu po velkém množství moderních a kvalitních výrobků jsou kladeny také větší nároky na výrobu, a tím samozřejmě i na spolehlivost VZ. Během vývojových etap organizace údržby jsou aplikovány od typu údržby po poruše přes preventivní údržbu, prediktivní a proaktivní, až po dnešní komplexní systémy údržby, jako je TPM (totálně produktivní údržba), Asset management a Údržba 4.0. [1, 6, 8, 13 – 15]

Díky tomuto dynamickému vývoji a neustálému objevování nových technologií se stávají moderní způsoby údržby cenově dostupné a rentabilní i pro další odvětví, jako je doprava, stavebnictví, zemědělství apod., ve kterých je zvyšování provozní spolehlivosti VZ z hlediska konkurenceschopnosti neméně důležité. Z pohledu podmínek, ve kterých jsou výrobní procesy těchto odvětví realizovány a z hlediska skladby VZ (převážně mobilní stroje) se pro výzkumnou činnost otevírá zcela neotřelá disciplína provozní spolehlivosti a optimalizace obnovy, které je nutno věnovat náležitou pozornost a zcela účelně tak řešit tyto vědecké oblasti, které současně výraznou měrou pomáhají praxi.

2 Přehled o současném stavu poznání

Pro provozovatele VZ je spolehlivost stroje jeden z klíčových faktorů ovlivňujících efektivitu výroby. Je proto nutné přijmout taková opatření, která zabezpečí spolehlivost VZ na požadované úrovni. Nástrojem pro zajištění spolehlivosti VZ je aplikace vhodné politiky údržby pro dané VZ. Politika údržby definuje způsob řízení, plánování a organizace technologických, technických, ekonomických a administrativních činností vedoucích k zachování požadované spolehlivosti VZ. [1, 16 – 18]

Zavedení vhodné politiky údržby zvyšuje kvalitu a výkonnost provozu, minimalizuje ztráty vzniklé poruchou VZ. Politika údržby zahrnuje průběžné sledování VZ, analyzování a vyhodnocení jeho technického stavu. Na základě získaných poznatků vzniká program údržby a nastavují se logistické procesy nákupu náhradních dílů. [19, 20]

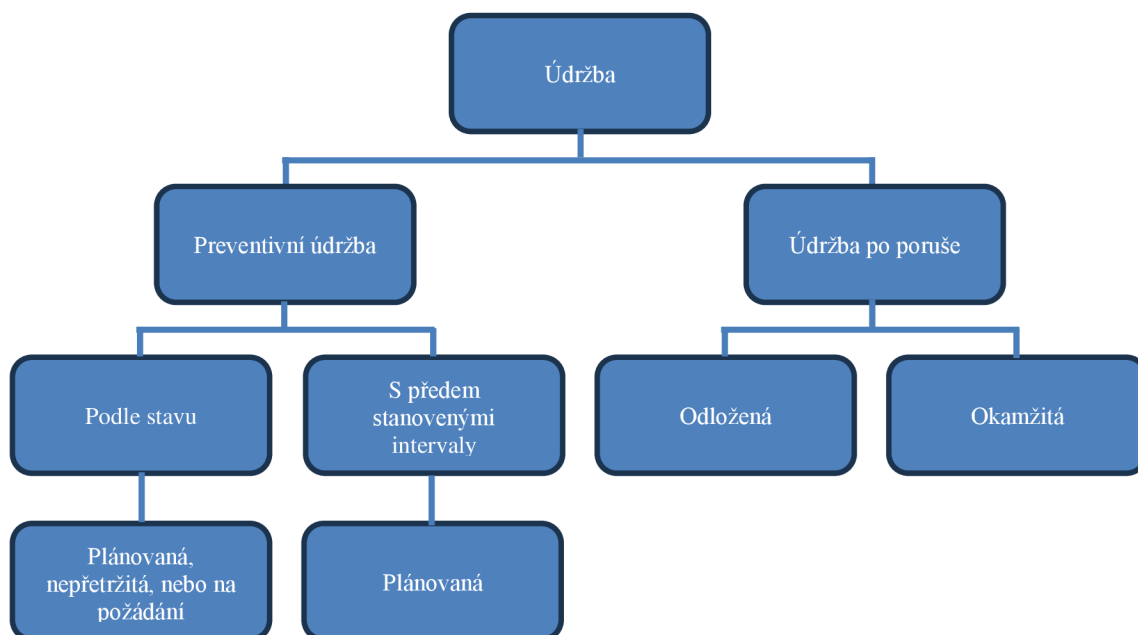
2.1 Základní politiky (strategie) údržby

Bylo vyvinuto mnoho strategií, zásad a metod údržby, jejichž hlavním cílem je minimalizace ztrát plynoucích z neplánovaných odstávek kritických VZ zapříčiněných jejich náhlou poruchou. Minimalizace nákladů zvyšuje celkovou efektivitu a ziskovost organizace. [21 – 26] Přehled základních typů údržby je na obrázku 2.1.

Základní členění politik údržby: [27]

- a) Údržba po poruše.
- b) Preventivní údržba – údržba s předem stanovenými intervaly.
- c) Preventivní údržba – údržba podle stavu.
- d) Preventivní údržba – údržba podle předpokládaného stavu (prediktivní údržba).

Uvedené typy údržby představují základní strategie řízení údržby. Provozovatel se rozhoduje, zda bude údržbu vykonávat až poté, kdy dojde k poruše a tím také k neplánované odstávce VZ (údržba po poruše), nebo se bude snažit neplánované odstávky VZ eliminovat formou prevence (preventivní údržba). [1] V případě, že se jedná o zařízení, které kvůli neplánované odstávce neomezí výrobu a nedojde tak k finančním ztrátám, je vhodné volit údržbu po poruše. V opačném případě je vhodné volit některou z forem údržby preventivní.



Obrázek 2.1: Rozdělení údržby dle ČSN 13306 [28]

2.1.1 Údržba po poruše

Tato politika údržby je aplikována v případě méně významných VZ, kde nehrozí výrobní ztráty plynoucí z neočekávaných odstávek, není ohrožena bezpečnost nebo životní prostředí. Doba mezi poruchami je náhodnou veličinou, poruchy vyvstávají zcela nečekaně a zásah údržby je realizován, až po vzniku poruchy. Tato politika vylučuje zavedení systémového řízení údržby a kvalitně zpracované koncepty údržby se tuto politiku snaží aplikovat jen ve vhodných případech. [2, 19, 29, 30]

2.1.2 Preventivní údržba – údržba s předem stanovenými intervaly

V rámci této politiky údržby jsou na základě ukazatelů spolehlivosti a jejich předpokládaných změnách v průběhu používání VZ předem stanoveny intervaly výměny nebo opravy vybraných částí VZ. Intervaly jsou stanoveny na základě normativu doby používání nebo doby provozu. Aplikací této politiky údržby se ve většině případů zamezí vzniku poruchy, nicméně je třeba počítat s vysokými náklady na výměnu vybraných částí a provozních kapalin, protože tato politika nerespektuje jejich skutečný technický stav a jsou často vyměňovány v případě, kdy jsou zcela funkční a použitelné. [2, 31, 32]

2.1.3 Preventivní údržba – údržba podle stavu

Tato politika údržby je založena na průběžném monitorování technického stavu VZ. Vybrané ukazatele jsou sledovány prostřednictvím pravidelných kontrol nebo

diagnostických senzorů na dálku. Pomocí kontrol se určí aktuální technický stav VZ a jeho jednotlivých částí, doba dalšího provozu stroje a sestaví se program údržby pro další období. Velkou výhodou je, že součásti jsou měněny na konci svého technického života. Nevýhodou je, že zásah údržby lze naplánovat jen krátce dopředu. [1, 31]

2.1.4 Preventivní údržba – údržba podle předpokládaného stavu (prediktivní údržba)

Principem této politiky údržby je na základě získaných informací o provozu predikovat technický stav VZ a jeho jednotlivých částí. Na základě predikce se dynamicky mění program údržby s cílem předcházet nenadálým poruchám VZ. K velkému rozvoji této politiky dochází současně s rozvojem technické diagnostiky. [1, 8]

2.2 Program údržby

Program údržby je seznam všech úkolů údržby, které mají být realizovány v rámci životního cyklu VZ a je sestaven na základě posouzení návrhu konstrukce strojních celků, dat o skutečné degradaci, poruchách, výsledků zkoušek a zkušeností z provozu. V první fázi sestaví výrobce počáteční program údržby, který je pak během provozu doplňován na základě reálných dat z provozu. [1]

Program údržby musí stanovit, jaké celky se musejí udržovat, jakých cílů se má údržbou dosáhnout, jaké prostředky použít a v jakých intervalech údržbu provádět. [1]

2.3 Vliv volby politiky údržby na provozní náklady výrobního zařízení

Z hlediska podnikového účetnictví je VZ dlouhodobým hmotným majetkem a je pořizováno za účelem multiplikování majetku firmy. Výrobní zařízení jako jedna z položek dlouhodobého hmotného majetku firmy je charakterizováno délkou užitečného života, kterou si určuje sám provozovatel podle míry jeho opotřebení. Faktory, které míru opotřebení ovlivňují jsou mimo intenzity jeho používání také volba správné politiky údržby a kvalita jejího provedení. [1, 33]

Údržba je jedna z aktivit, které mají vliv na jakost výrobku. Volba správné politiky pro vybraná VZ má přímý dopad do konečné ceny výrobku prostřednictvím optimalizace

nákladů na životní cyklus VZ. Údržba se tak stává významnou součástí systému řízení hmotného majetku tak zvaného Asset managementu. [2, 6]

Obecně mezi náklady životního cyklu výrobního zařízení patří pořizovací náklady, provozní náklady, náklady na údržbu, náklady na prostoje, náklady na uvedení do původního stavu a po využití zařízení výnosy z prodeje stroje. [1]

Bylo prokázáno, že stroje a zařízení jsou hlavní nákladové položky v zemědělských podnicích. Navíc se v posledních letech s nárůstem výkonu zemědělských strojů a zaváděním pokročilých technologií do jejich konstrukce a vybavení náklady na pořízení a provoz dále zvyšují. Tyto náklady mají tak největší podíl na celkových výrobních nákladech pro mnoho operací realizovaných v zemědělských podnicích. Dostupné zdroje uvádějí, že se náklady na stroje pohybují v rozmezí 35 – 50 % celkových provozních nákladů zemědělských podniků. [34 – 36]

2.3.1 Náklady na provoz strojů

Provozní náklady se dělí na dvě základní složky, fixní a variabilní. Fixní náklady jsou náklady, které se vztahují k časovému období jednoho roku a nejsou přímo závislé na objemu výroby. Opakem pak jsou náklady variabilní, které jsou vztaženy k měrné jednotce vykonané práce. [37, 38]

Struktura fixních nákladů (vztah 2.1) na provoz stroje podle [37, 38]

$$rN_f(t) = rN_a(t) + rN_{zu}(t) + rN_{bu}(t) + rN_{hp} + rN_{pr} + rN_{sd} + rN_g \quad (2.1)$$

Kde:

$rN_f(t)$ Celkové roční fixní náklady [Kč/rok].

$rN_a(t)$ Náklady na odpisy [Kč/rok].

$rN_{zu}(t)$ Náklady na zúročení vlastního kapitálu [Kč/rok].

$rN_{bu}(t)$ Náklady z využívání cizího kapitálu (úvěr, leasing) [Kč/rok].

rN_{hp} Náklady na havarijní pojištění [Kč/rok].

rN_{pr} Náklady na povinné ručení [Kč/rok].

rN_{sd} Náklady na silniční daň [Kč/rok].

rN_g Náklady na garážování [Kč/rok].

Struktura variabilních nákladů (vztah 2.2) na provoz stroje podle [37, 38]

$$jN_V(t) = jN_u(t) + jN_{phm} + jN_{on} + jN_{pm} \quad (2.2)$$

Kde:

$jN_V(t)$ Celkové jednotkové variabilní náklady [Kč/w].

$jN_u(t)$ Jednotkové náklady na údržbu [Kč/w].

jN_{phm} Jednotkové náklady na pohonné hmoty a maziva [Kč/w].

jN_{on} Jednotkové náklady na mzdu obsluhy a pojištění [Kč/w].

jN_{pm} Jednotkové náklady na pomocný materiál [Kč/w].

w..... Obecný symbol pro dobu provozu.

Významnou položkou celkových nákladů na provoz stroje jsou náklady na jeho údržbu. Tyto náklady dle [39] zahrnují:

- mzdy, platy a přesčasy řídicích, vedoucích a podpůrných pracovníků;
- dodatečné náklady ke mzdám (daně, pojištění, příspěvky);
- náklady na náhradní díly a spotřební materiál, účtovaný na vrub údržby;
- náklady na nářadí a zařízení (nikoli ovšem kapitalizované, nebo pronajaté);
- náklady na dodavatele, na pronajaté zařízení;
- náklady na konzultační služby;
- administrativní náklady na údržbu;
- náklady na vzdělávání a školení;
- náklady na činnosti údržby, vykonané lidmi z výroby;
- náklady na dopravu, ubytování v hotelech atd.;
- náklady na dokumentaci;
- náklady na CMMS – Computerized Maintenance Management Systems (software počítačového řízení údržby) a plánovací systém;
- náklady na energii a technické vybavení;
- odpisy kapitalizovaných zařízení a dílen údržby, skladů náhradních dílů.

Výjimky:

- náklady na změnu výroby nebo čas výměny (např. výměna raznice);
- odpisy strategických náhradních dílů;
- náklady na prostoje;

Výše uvedená struktura provozních nákladů koresponduje s provozními náklady na provoz zemědělské techniky na kterou se tato práce zaměřuje. A to včetně rozpadu nákladů na údržbu. Z pravidla je část nákladů na údržbu zemědělské techniky provozovateli účtována outsourcerem a část nákladů je pokryta využitím vlastních zdrojů.

2.3.2 Výnos z provozu strojů

Cena práce stroje je součtem všech variabilních a fixních nákladů na stroj za určité období vztažené k měrné jednotce práce. Výnos z provozu stroje je pak součin roční výkonnosti stroje a tržní ceny práce stroje (vztah 2.3). [37, 38]

$$rV_s = \sum_i C_p \cdot W_s \quad (2.3)$$

Kde:

rV_s Roční výnos z provozu strojů [Kč/w].

C_p Cena práce stroje [Kč/w].

rW_s Roční výkonnost stroje [w/rok].

w Obecný symbol pro dobu provozu.

2.3.3 Obnova výrobního zařízení

Jedním ze základních kritérií pro úspěšné řízení životního cyklu výrobního zařízení je znalost jeho nákladů a výnosů na jejichž základě lze určit nejvhodnější moment, jeho obnovy. Touto problematikou se zabývá teorie obnovy strojů a zařízení, která řeší otázku optimalizace obnovy prostřednictvím obecné účelové funkce. Je-li známá pořizovací cena výrobního zařízení a jeho provozní náklady lze účelovou funkcí interpretovat pomocí vztahu (2.4). [1, 2]

$$u(t_s) = \frac{N_o + N_p(t_s)}{t_s} = u_o(t_s) + u_p(t_s) \rightarrow \min. \quad (2.4)$$

Kde:

$u(t_s)$ Střední hodnota průměrných jednotkových nákladů na obnovu a provoz [Kč/w].

N_o Hodnota obnovy objektu (pořizovací cena) [Kč].

$N_p(t_s)$.. Střední kumulativní náklady na provoz objektu [Kč].

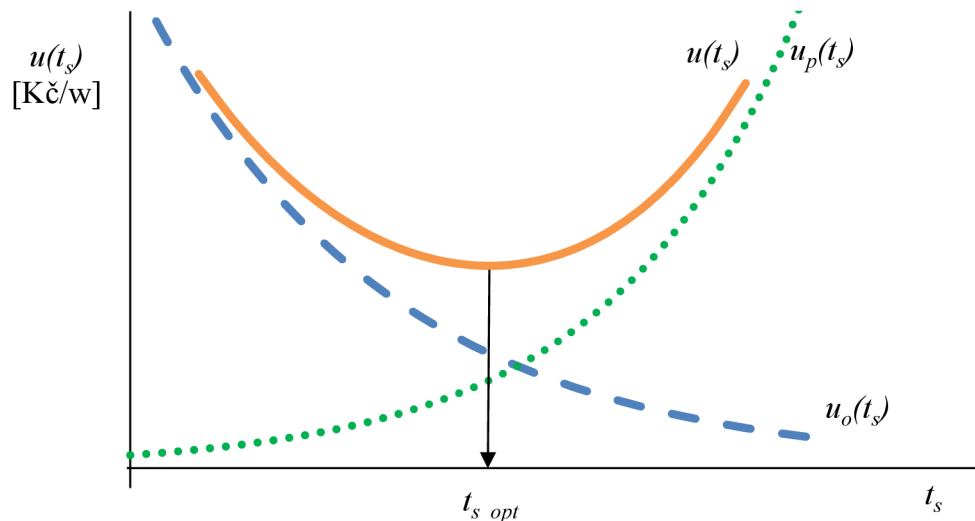
t_s Střední doba provozu [w].

$u_o(t_s)$.. Průměrné jednotkové náklady na obnovu [Kč/w].

$u_p(t_s)$.. Průměrné jednotkové náklady na provoz [Kč/w].

w Obecný symbol pro dobu provozu.

Dosažením hodnot do účelové funkce je získána součtová křivka křivky provozních nákladů $u_p(t_s)$, která v průběhu života výrobního zařízení roste a křivky nákladů na obnovu $u_o(t_s)$, která v průběhu života výrobního zařízení klesá. Podle minima součtové křivky lze určit optimální dobu provozu do obnovy. [1, 2] Obecná účelová funkce je graficky znázorněna na obrázku 2.2. Optimální doba provozu do obnovy je na obrázku 2.2 označena jako t_{s_opt} .



Obrázek 2.2: Princip stanovení optimální doby provozu pro obnovu z průběhu průměrných jednotkových nákladů [1]

Díky vysoké poptávce zemědělských prvovýrobců po mechanizačních prostředcích, které dokážou výrazně zvýšit efektivitu výroby roste také jejich složitost a s tím také nároky na jejich údržbu. Náklady na údržbu se tak dostávají stále více do popředí zájmu i v tomto odvětví, kde se před několika málo desetiletími k těmto nákladům neupírala taková pozornost. Volba vhodné politiky údržby výrobního zařízení nabývá tak v posledních 20 letech v oblasti zemědělské prvovýroby na stále větším významu. Pokud je pro dané zařízení volena preventivní údržba je důležité nalézt vhodné nástroje pro optimalizaci jejího programu, aby došlo k maximální redukci provozních nákladů.

2.4 Optimalizace programu preventivní údržby

Základní program preventivní údržby pro zemědělské traktory je zpravidla předepisován výrobcem. V rámci tohoto programu jsou měněny především opotřebitelné náhradní díly jako olejové, vzduchové a palivové filtry, řemeny a provozní kapaliny. Pokud existuje dostatečné množství dat o údržbě, je na jejich základě možné určit kritické strojní části a sestavit program preventivní údržby VZ.

Významnou pomocí pro sestavení optimálního programu údržby je znalost charakteristik spolehlivosti, mezi které patří tyto funkce: [1, 40]

- a) rozdělení hustoty pravděpodobnosti poruchy $f(t)$,
- b) pravděpodobnost poruchy $F(t)$,
- c) pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$,
- d) okamžitá intenzita poruch $\lambda(t)$.

Odhad charakteristik spolehlivosti je založen na studiu a popisu náhodných veličin. Pro vypočítání odhadu jednotlivých ukazatelů se využívá matematický aparát statistiky a teorie pravděpodobnosti. [41, 42]

2.4.1 Základní pojmy teorie pravděpodobnosti a statistiky

Zkoumání náhodných jevů je založeno na pravidle, podle kterého je k náhodné veličině X přiřazena odpovídající hodnota x . [42, 43]

Podle hodnot, které náhodné veličiny nabývají, se dělí takto: [36, 37]

- a) Diskrétní – takové náhodné veličiny, které nabývají konečného, nebo spočítaného množství hodnot, které jsou od sebe odděleny.
- b) Spojité – takové náhodné veličiny, které nabývají libovolných hodnot z konečného, nebo nekonečného intervalu.

Přiřazování pravděpodobnosti, že náhodná veličina nabude určité hodnoty z definičního oboru, tj. množiny všech hodnot, kterých může nabývat, je řízeno rozdělením pravděpodobnosti náhodné veličiny. [42, 43]

Nejuniverzálnější formou vyjádření rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny X na jejím definičním oboru D v teorii pravděpodobnosti je distribuční funkce $F(x)$ (vztah 2.5). [1, 42, 43]

$$F(x) = P(X < x) \text{ pro } \forall x \in D \quad (2.5)$$

Nebo derivace distribuční funkce hustota pravděpodobnosti $f(x)$ (vztah 2.6).

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} \text{ pro } \forall x \in D \quad (2.6)$$

Hustota pravděpodobnosti je většinou upřednostněna, protože se dá velmi dobře graficky interpretovat, a navíc je vhodnější pro teoretické úvahy. Při splnění určitých základních podmínek lze vyjádřit rozdělení náhodné veličiny analytickým vztahem. Tento vztah se označuje jako zákon rozdělení pravděpodobnosti. Funkce hustoty pravděpodobnosti nebo distribuční funkce informuje o chování náhodné veličiny. Mimo hustoty pravděpodobnosti a distribuční funkce existují další parametry rozdělení, které popisují jeho základní vlastnosti. Mezi tyto parametry patří střední hodnota náhodné veličiny $E[X]$ (vztah 2.7), rozptyl $D[X]$ (vztah 2.8), druhá odmocnina z rozptylu tzv. směrodatná odchylka σ (vztah 2.8), normovaná náhodná veličina U (vztah 2.9) a kvantilové charakteristiky. [1, 43]

$$E[X] = \int_0^{\infty} xf(x)dx \quad (2.7)$$

$$D[X] = \sigma^2 = \int_0^{\infty} (x - E[x])^2 f(x)dx \quad (2.8)$$

$$U = \frac{x - E[X]}{\sigma} \quad (2.9)$$

Kvantilové charakteristiky jsou hodnoty náhodné veličiny, které vyhovují stanovené podmínce. Nejčastěji používaným kvantilem je tzv. p-kvantil (vztah 2.10). [1, 42]

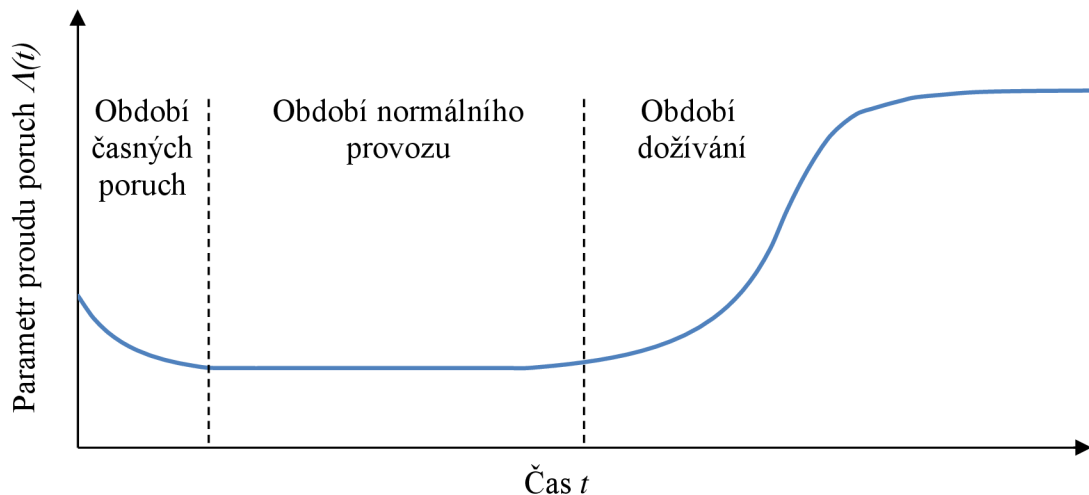
$$F(X_p) = P(X \leq x_p) = p \quad (2.10)$$

2.4.2 Weibullovo rozdělení náhodných veličin

Pro získání odhadu teoretických charakteristik spolehlivosti je nutné získat počet n pozorování hodnot příslušné náhodné veličiny. Na základě empiricky získaných dat pozorování se využívají dvě metody pro získání teoretických charakteristik, a to neparametrická metoda (není předpokládán určitý typ rozdělení pravděpodobnosti) a parametrická metoda (je předpokládán určitý typ rozdělení pravděpodobnosti).

Výhodnější metodou je metoda parametrická, která je při korektně specifikovaném rozdělení přesnější. [44, 45]

V případě parametrických metod jsou aproximována empiricky získaná data analytickým vyjádřením zákona rozdělení pravděpodobnosti. Pro určení teoretického rozdělení lze použít parametr proudu poruch $\Lambda(t)$. Typickým průběhem parametru proudu poruch $\Lambda(t)$ u neobnovovaných objektů vhodným pro aplikaci teoretického rozdělení je tzv. vanová křivka, která je zobrazena na obrázku 2.3. [1, 42]



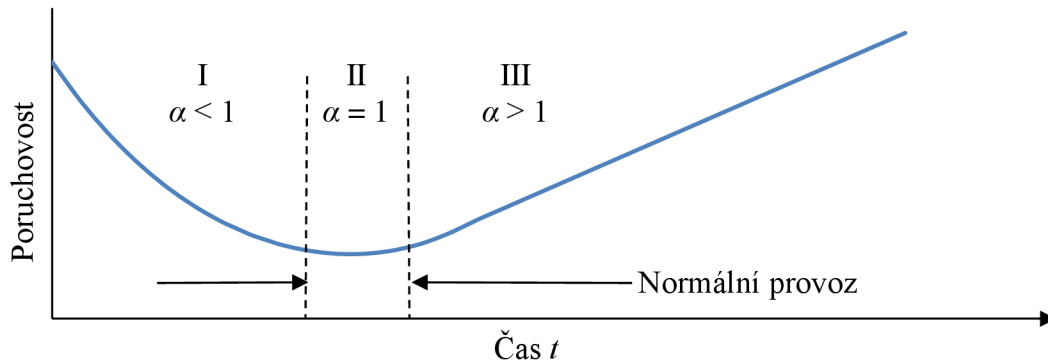
Obrázek 2.3: Grafické vyjádření parametru proudu poruch $\Lambda(t)$ – vanová křivka [1, 42]

V technické praxi se pro teoretické modelování charakteristik spolehlivosti objektů, které podléhají stárnutí, opotřebení, korozi, rázovému zatížení apod. široce používá dvouparametrické Weibullovo rozdělení. Toto rozdělení je velice flexibilní pro data v širokém rozsahu a dokáže aproximovat všechny fáze vanové křivky. Parametry určující funkci hustoty pravděpodobnosti Weibullova dvouparametrického rozdělení je parametr měřítka α a parametr tvaru β . [1, 40, 42, 46]

Parametr tvaru α ovlivňuje tvar funkce hustoty pravděpodobnosti. V závislosti na hodnotě tohoto parametru může Weibullovo rozdělení aproximovat jiná rozdělení: [46]

- a) $\alpha = 1$ – Exponenciální rozdělení.
- b) $\alpha = 2$ – Rayleighovo rozdělení.
- c) $\alpha = 2,5$ – Log-normální rozdělení.
- d) $\alpha = 3,6$ – Normální rozdělení.

Hodnota parametru tvaru α informuje o tom, zda je intenzita poruch $\lambda(t)$ klesající, konstantní, nebo rostoucí. [47] Závislost je graficky zobrazena na obrázku 2.4.



Obrázek 2.4: Vztah mezi parametrem tvaru α a životností výrobního zařízení [48]

Parametr měřítka β ovlivňuje roztažení rozdělení, mění měřítko na časové ose. Nemá však vliv na aktuální tvar rozdělení. [46]

Při zjišťování bodového odhadu parametrů Weibullova rozdělení lze použít těchto metod: [49]

- Metodu pořadové regrese.
- Metodu maximální věrohodnosti (MLE).
- Metodu WeiBayes.

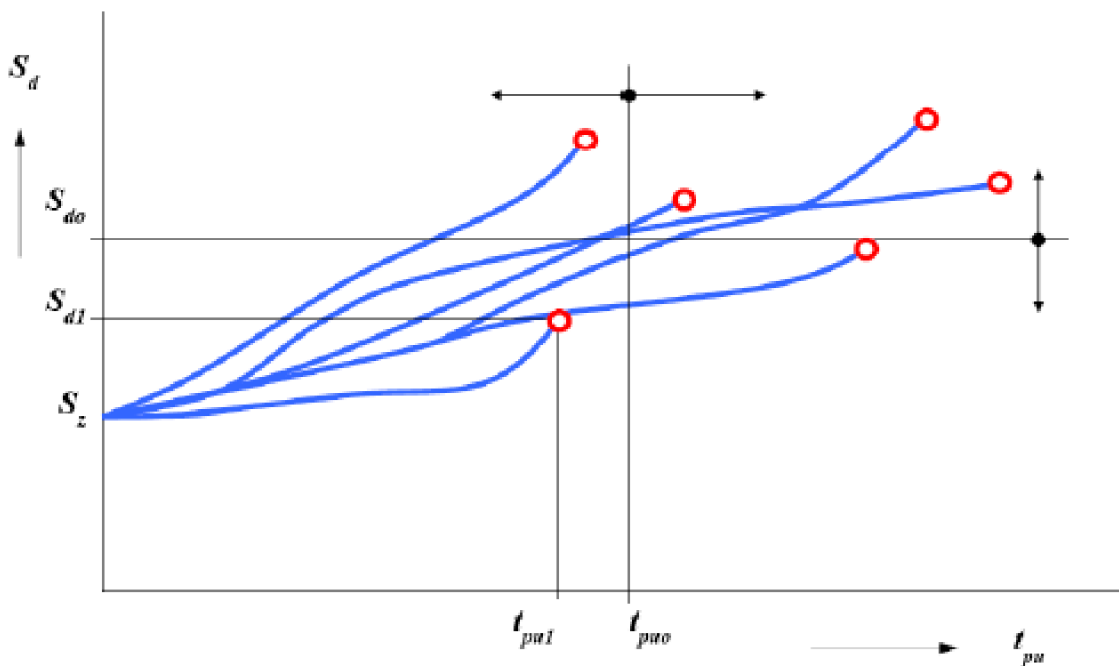
Norma ČSN 61649 uvádí, že výběr vhodné metody má být odvozen od množství zaznamenaných pozorování: [49]

- Pro 10 – 20 pozorování je vhodná metoda pořadové regrese.
- Pro počet menší než 10 pozorování je doporučena WeiBayesova analýza.
- Pro mnoho pozorování je doporučena metoda Maximální věrohodnosti.

Pro univerzálnost Weibullova rozdělení se používá v mnoha různých analýzách zaměřených na hodnocení spolehlivosti mechanických i elektronických součástek. Vypočítané parametry se také využívají v teorii obnovy, kdy je s jejich pomocí volena vhodná politika údržby. Aby bylo možné Weibullovo rozdělení korektně použít, je nutné přizpůsobit rozdělení empirickým datům. Pro zjištění shody empirického a teoretického rozdělení se nejčastěji používá test dobré shody X^2 . [40, 46] Další možností určení míry statistické významnosti je použití koeficientu determinace r^2 . [50]

2.4.3 Matematický model pro optimalizaci programu preventivní údržby

Prostřednictvím matematického modelu lze nalézt takový okamžik údržby, takovou hodnotu diagnostického signálu (doby provozu, doby používání), který je z hlediska nákladů na provoz a obnovu zkoumaného objektu nejvýhodnější. Na základě výsledků získaných aplikací matematického modelu se volí optimální politika údržby, a to údržba po poruše nebo preventivní údržba. [2, 51] Obrázek 2.5 představuje základní princip tvorby politiky údržby. Kroužky prezentují údržbu po poruše, t_{puo} periodickou údržbu a S_{do} diagnostickou údržbu. [52]



Obrázek 2.5: Základní princip politiky údržby [52]

Pro volbu vhodné politiky údržby na základě jednotkových nákladů a optimalizaci preventivní údržby se využívá těchto vztahů. [1, 52]

Jednotkové náklady na údržbu po poruše (vztah 2.11)

$$u_{up}(MOTTF) = \frac{N_{up}}{MOTTF} \quad (2.11)$$

Kde:

N_{up} Náklady na údržbu po poruše (prostoje obsluhy, výrobní ztráty apod.).

$MOTTF$ Střední doba provozu do poruchy při údržbě po poruše.

Střední doba do poruchy (vztah 2.12)

$$MOTTF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n MOTTF_i = \int_{t=0}^{\infty} R(t) dt \quad (2.12)$$

Kde:

$MOTTF_i$ Doba i-tého objektu do poruchy.

n Počet sledovaných objektů.

$R(t)$ Pravděpodobnosti bezporuchového provozu.

Jednotkové náklady na preventivní údržbu (vztah 2.13)

$$u_{pu}(t_{pu}) = \frac{N_{pu} \cdot R(t_{pu}) + N_{up} \cdot F(t_{pu})}{\bar{t}(t_{pu})} = \frac{N_{pu} + Z_{up} \cdot F(t_{pu})}{\bar{t}(t_{pu})} = \min. \Rightarrow t_{pu} = t_{puo} \quad (2.13)$$

Kde:

N_{pu} Náklady na preventivní údržbu.

N_{up} Náklady na údržbu po poruše (prostoje obsluhy, výrobní ztráty apod.).

Z_{up} Výrobní ztráty v důsledku poruchy.

$R(t_{pu})$ Pravděpodobnost bezporuchového provozu v době t_{pu} .

$F(t_{pu})$ Pravděpodobnost poruchy v intervalu periodické údržby t_{pu} .

$\bar{t}(t_{pu})$ Střední doba provozu do provedení preventivní údržby s intervalem t_{pu} .

t_{puo} Optimální interval údržby, kdy jsou jednotkové náklady minimální.

Střední doba provozu do provedení preventivní údržby (vztah 2.14)

$$\bar{t}(t_{pu}) = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^{m(t_{pu})} t_i(t_{pu}) + \sum_{j=1}^{n-m(t_{pu})} t_j(t_{pu}) \right] \quad (2.14)$$

Kde:

$t_i(t_{pu})$ Doba provozu i -tého objektu, žijícího při době t_{pu} .

$t_j(t_{pu})$ Doba provozu j -tého objektu, který při době t_{pu} již nežije.

$m(t_{pu})$ Počet objektů žijících při době t_{pu} .

n Počet všech sledovaných objektů.

Střední dobu provozu do provedení preventivní údržby lze také vypočítat pomocí integrování pravděpodobnosti bezporuchového provozu $R(t)$ (vztah 2.15):

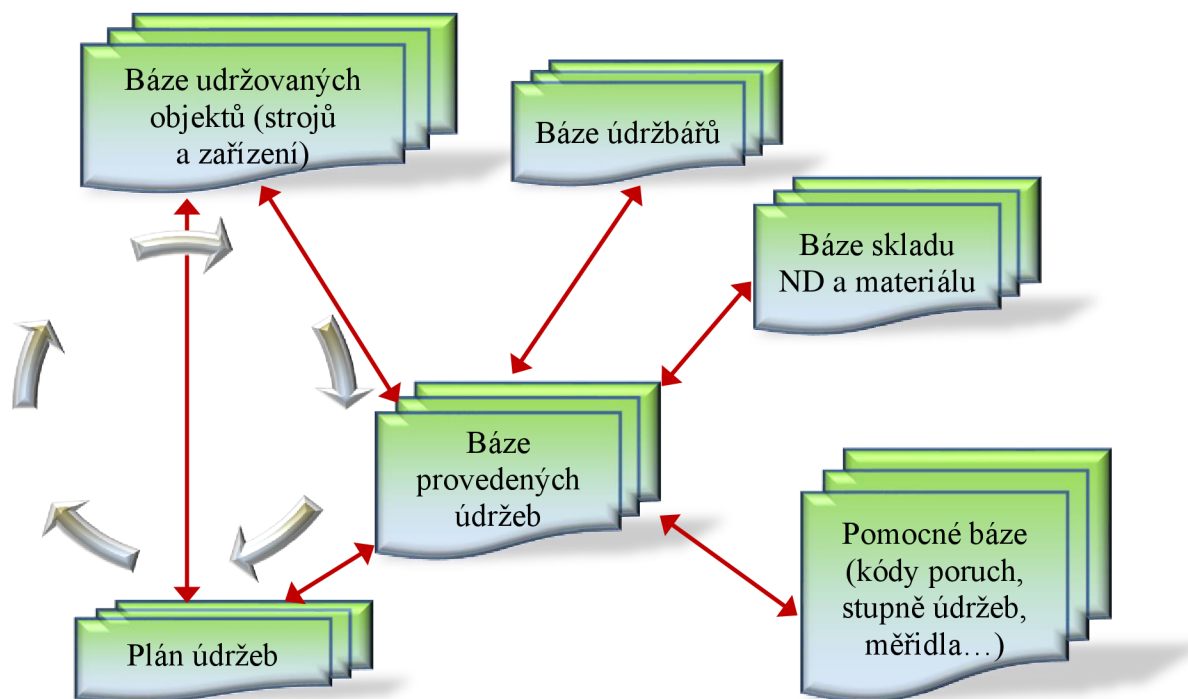
$$\bar{t}(t_{pu}) = \int_{tp=0}^{t_{pu}} R(t) dt \quad (2.15)$$

2.5 Řízení údržby pomocí informačních technologií

Úspěšné řízení systému údržby je založeno na komplexní dokumentaci všech souvisejících činností a jejich plánování. Musí být jasně naplánováno kdo, kdy, na jakém VZ provede údržbu, jaký bude postup, jaké nářadí, přípravky případně diagnostické zařízení se použije. Musí být zdokumentováno v jakém rozsahu byla údržba provedena, jak dlouhý byl prostoj, jaké byly celkové náklady na údržbu apod. Obecně řečeno, přesné shromažďování a ukládání informací o údržbě může zlepšit celkové řízení činností údržby. Pokud jsou takové informace zpracovány do dat a pečlivě analyzovány, lze dosáhnout efektivnější funkce údržby. Například správná a spolehlivá rozhodnutí o plánování preventivní údržby, nákladově efektivní zásady výměny jednotlivých částí případně celého VZ, vyhodnocení skutečné životnosti oproti konstrukční životnosti částí VZ, posouzení výkonu údržby, aby se brzy předešlo odchylkám a udržely se požadované trendy. Dat, která je třeba pro úspěšné řízení údržby shromažďovat a následně analyzovat je velké množství a práce s papírovou evidencí je nevyhovující. Proto softwarové systémy a programy mají velký význam při zavádění nástrojů na podporu řízení údržby v průmyslových odvětvích. [1, 53, 54, 55]

Cílem implementace informačního systému na podporu řízení údržby („ISÚ“) do podnikové infrastruktury je především výrazné zvýšení spolehlivosti VZ při vynaložení minimálních nákladů. ISÚ přináší zjednodušení a zpřehlednění procesu dokumentace dat z údržby, umožňuje jejich rychlou a snadnou analýzu a na základě analýz dále umožňuje flexibilně reagovat a rozhodovat o strategii údržby pro jednotlivá VZ. [1] Základní požadavek na ISÚ je získat odpověď na otázky uvedené v souhrnu níže. Na obrázku 2.6 je pak základní schéma jednotlivýchází ISÚ a relací mezi nimi.

Co (udržovat)	báze udržovaných objektů včetně cyklu preventivních údržeb, diagnostických měření a postupů likvidace havarijních poruch...
Kdy	báze intervalů údržeb, varovných a mezních diagnostických signálů...
Kdo	báze pracovníků údržby včetně hodinové mzdy, báze externistů...
Jak	báze údržbářských postupů včetně potřebných pomůcek, nářadí, diagnostických a měřicích přístrojů...
Čím	báze materiálu a náhradních dílů použitých při údržbě,
Za kolik	báze nákladů vynaložených na údržbu včetně jejich členění. [1]



Obrázek 2.6: Základní struktura databáze informačního systému pro řízení údržby [56]

Při výběru vhodného ISÚ lze volit ze dvou základních variant. První variantou je pořídit centralizovaný informační systém (často označován jako ERP systém, počítačový systém pro řízení firemních procesů a plánování zdrojů) jehož součástí je v podobě jednoho z modulů nabízen modul pro řízení údržby. Tato varianta však často poskytuje jen základní strukturu bází jako je uvedena na obrázku 2.6 a lze ji použít hlavně pro evidenci. Analytické nástroje jsou většinou obsaženy jen v omezené míře, jestli vůbec. Nebo lze zvolit ISÚ který je určen pouze pro řízení údržby. [57]

Vývojáři samostatně nabízených ISÚ pracují s moderními technologiemi a v současné době se soustředí hlavně na nahrazení řízení procesu údržby po poruše a preventivní údržby s pevně stanovenými intervaly za datově řízené predikování výměny částí VZ s vysokou pravděpodobností selhání. Prediktivní údržba vyžaduje automaticky shromažďovat a analyzovat obrovské množství dat o výrobních systémech, protože přistupuje nejen k jedné části, ale ke všem částem, jejichž porucha může mít dopad na fungování celého VZ. Části musí být neustále monitorovány a odhadovány pravděpodobnosti jejich selhání. Tyto ISÚ využívají pro predikci celou řadu zdrojů dat z různých senzorů. Jedná se o údaje o teplotě, vibracích, tlaku, průtoku, akustické

vlastnosti apod. Pro jejich vyhodnocení využívají různé analytické techniky jako regrese, umělá neuronová síť, algoritmy založené na platformách Big Data apod. [58]

V oblasti údržby zemědělské techniky nejsou vysoce sofistikované ISÚ zpravidla využívány. Jedním z důvodů jsou omezené možnosti vzdáleného sběru dat o provozu stroje. Společnosti zabývající se servisem zemědělské techniky často pečují o stroje, které vzdálený sběr provozních dat neumožňují vůbec, nebo stroje opatřené telematickými systémy které ho sice umožňují, ale ne v takovém rozsahu, aby byl využit potenciál vysoce sofistikovaného ISÚ.

Data jsou omezena na informace o době provozu stroje v motohodinách, nebo hektarech, o spotřebě paliva, napětí baterie apod. Data ze snímačů např. tlaku, průtoku, teploty, která sofistikované ISÚ využívají pro výpočty pravděpodobnosti poruchy, jsou ze stroje odesílány ve formě textového upozornění v případě, že sledovaný provozní parametr přesáhne určenou toleranční mez. Pokud by bylo třeba využít potenciál sofistikovaných ISÚ pro řízení údržby zemědělské techniky, znamenalo by to vysoké investice nejen do ISÚ, ale také do výbavy stroje. Tím by pravděpodobně došlo ke zvýšení spolehlivosti, nicméně náklady by byly neúměrně vysoké.

Společnosti zabývající se servisem zemědělské techniky v České republice zpravidla využívají ERP systémy jejichž součástí je ISÚ v podobě jednoho z jejich modulů. Autor práce považuje za důležité kritérium pro výběr vhodného ERP úroveň tohoto modulu a možnost dalšího vývoje firemních řešení včetně napojení dalších datových zdrojů prostřednictvím API (rozhraní pro komunikaci dvou nebo více systémů). Takovými ERP systémy na českém trhu jsou např. HELIOS, KARAT, nebo ALTU VARIO. Přičemž KARAT nabízí také tzv. otevřenost což umožňuje vyvíjet firemní řešení přímo uživatelem. Prostřednictvím API je pak možno tyto systémy napojit na portály výrobců zemědělské techniky, na které jsou odesílána data o provozu strojů a data následně importovat do ERP. Tato data pak mohou být zpracována a využita pro řízení údržby. Příkladem takových řešení je např. JDLink od společnosti JOHN DEERE, nebo LiveLink od společnosti JCB. Napojení na portál výrobce a samostatný vývoj firemních řešení na úrovni modulu pro řízení údržby není enormně nákladný a může přinášet uspokojivé výsledky v oblasti řízení údržby zemědělské techniky.

2.6 Souhrn

Na údržbě zemědělské techniky se v průběhu jejího životního cyklu zpravidla podílí několik různých subjektů. V prvopočátku provozu je to sám prodejce, který je zároveň i autorizovaným servisem. Výhradně autorizovaný servis o stroj pečuje především v období jeho záruky což bývá v 1 – 3 roce jeho provozu. Někdy i déle, ale nebývá to více jak 5 let. Po tomto období postupně začíná zásahy údržby přebírat sám provozovatel, případně neautorizovaný servis, nebo fyzické osoby nabízející opravárenské služby.

Rozhodnutí provozovatele jak a kým bude údržba realizována závisí na faktorech jako je finanční situace provozovatele, stáří stroje, rozsah a složitost opravy a aktuální nabídka na trhu s náhradními díly a servisními službami. Nejlepší volbou je autorizovaný servis, který má díky přímému napojení na výrobce aktuální technické informace, diagnostické software, proškolené servisní techniky a při údržbě používá originální náhradní díly, ale je také nejdražší variantou. Údržba realizována dalšími subjekty, která je méně nákladná, nemusí být nutně kvalitativně na o mnoho nižší úrovni, nicméně rizika plynoucí z nekvalitně provedené údržby pomocí nevhodných postupů a náhradních dílů vyšší jsou.

Fakt, že výběr vhodného subjektu pro realizaci údržby významně ovlivňuje finanční hledisko a to, že se na údržbě podílí více na sebe nijak nevázaných subjektů může být na úkor úrovně provozuschopnosti stroje. A to nejen díky zvýšenému riziku z nekvalitně provedené údržby, ale také díky tomu, že jednotlivé subjekty, které údržbu provádějí, mají kusé, nebo žádné záznamy o její historii. Řešení oprav se může neúměrně prodlužovat a původní záměr provozovatele snížit náklady na údržbu stroje pak může mít opačný efekt. Jsou případy, že o vyřešení poruchy stroje se nejprve pokusí provozovatel, poté neautorizovaný servis, a nakonec se stroj dostane do autorizovaného servisu, který pak často s vysokou časovou náročností řeší neodborně provedené kroky údržby předchozích realizátorů, o kterých navíc nemá žádné informace.

Formy preventivní údržby nejsou aplikovány v dostatečné míře. Přestože je v dnešní době zemědělská technika vysoce sofistikovaným zařízením, které plní provozovateli výrobní úkoly s vysokou efektivitou, tak její údržba probíhá z 90 % po poruše. Preventivní údržba probíhá primárně na základě programu předepsaného výrobcem a především v poslední fázi životního cyklu se dodržuje jen sporadicky.

Za špatnou úroveň organizace údržby zemědělské techniky je také nedostatečné využívání dostupných nástrojů, které mohou pomoci při zavádění systémového pojetí údržby. Pokud provozovatel nebo outsourcer používá ISÚ, tak je to především pro vedení záznamů o údržbě, které navíc nevede příliš důsledně. Analýza záznamů a vytváření strategií pro řízení údržby na základě zjištěných informací chybí. Výrobci nabízená řešení vzdáleného monitoringu se používají spíše pro marketingové účely a nejsou plně využívány pro podporu řízení údržby. Provozovatelé ani outsourceri údržby příliš nevnímají trendy v oblasti údržby a nevidí potenciál, který jim současné nástroje nabízí.

Vývoj nástrojů pro řízení údržby, kde jsou uplatňovány vědecké poznatky z oboru provozní spolehlivosti strojů a zařízení s podporou vhodného ISÚ a sběru dat z telematických systémů zemědělské techniky, mohou pomoci celému odvětví zemědělské prvovýroby a na něj navázaným organizacím. Provozovatelům mohou přinést vyšší úroveň provozuschopnosti stroje a efektivnější využití nákladů na údržbu. Outsourcer získá konkurenční výhodu, která eliminuje odliv zákazníků a kontrolu nad údržbou v rámci celého životního cyklu stroje.

3 Vědecké hypotézy a cíle práce

Vědecké hypotézy

Autor disertační práce si klade za úkol potvrdit, nebo vyvrátit tyto hypotézy:

H1 Minimálně u 50 % zkoumaných částí stroje není výskyt poruch náhodného charakteru.

H2 Optimalizací programu údržby vybrané zemědělské techniky dojde k minimálnímu poklesu celkových nákladů na údržbu o 5 %.

Cíle práce

Cílem práce je zlepšit úroveň řízení údržby zemědělské techniky a pomoci tak zvýšit provozuschopnost, ekonomičnost, ekologičnost a bezpečnost jejího provozu.

Ke splnění výše uvedeného hlavního cíle práce povede splnění cílů dílčích:

1. Vypočítat nákladovou kritičnost částí stroje vybrané zemědělské techniky a vybrat vhodné kritické části stroje pro další výzkum.
2. Vypočítat ukazatele spolehlivosti pro vybrané části stroje.
3. Vybrat vhodné části stroje pro nákladovou optimalizaci programu údržby na základě ukazatelů spolehlivosti.
4. Vypočítat náklady na údržbu v režimu po poruše a v režimu preventivní údržby pro vybrané části stroje.
5. Vypočítat optimální interval preventivní údržby pro vybrané části stroje.
6. Sestavit program preventivní údržby pro vybranou zemědělskou techniku.
7. Aplikovat sestavený program preventivní údržby na provozní data vybrané zemědělské techniky a vypočítat ekonomický efekt z jeho aplikace.
8. Vypracovat návrh implementace metodiky pro tvorbu programu preventivní údržby vybrané zemědělské techniky do informačního systém ve zvolené organizaci.

4 Materiály a metody

Pro výzkumné účely byla využita databáze, která obsahuje 3 262 servisních záznamů o údržbě 166 traktorů JOHN DEERE 7530. Záznamy byly pořizovány v časovém období od 4. 1. 2010 do 28. 5. 2019. Jednotkou doby provozu je motohodina [Mth]. Databáze obsahuje stroje s dobou provozu 0 Mth (zřejmě předprodejní příprava stroje) až 19 006 Mth. Proto, aby bylo možné z databáze vybrat kritické části stroje, bylo nutné databázi očistit. Z databáze byly odstraněny především pracovní operace, náhradní díly a materiál měněný v rámci programu preventivní údržby předepsané výrobcem. Typicky jde o palivové, olejové, vzduchové filtry a provozní kapaliny. Kritické části byly vybrány tímto postupem.

4.1 Výpočet kritičnosti částí stroje a výběr kritických částí stroje pro další analýzu

Výpočet kritičnosti částí stroje a výběr kritických částí stroje pro další analýzu bude proveden dle následujícího metodického postupu.

1. Určit počet výskytů poruch jednotlivých částí stroje za sledované období.
2. Odstranit nepodstatné záznamy (části stroje měněné v rámci programu preventivní údržby, pracovní operace, připojení diagnostických zařízení apod.).
3. Pro přesnější statistické výpočty z databáze vyloučit části stroje s počtem výskytů poruch < 10 .
4. Vypočítat průměrnou cenu částí stroje za sledované období.
5. Stanovit kritičnost pomocí vztahu (4.1).

$$K = n_p \cdot C \quad (4.1)$$

Kde:

KMíra kritičnosti [Kč/dané období].

n_pPočet poruch za dané časové období [1].

CPrůměrná cena části stroje za dané období [Kč/dané období].

6. Rozdělit části stroje do dvou kategorií podle jejich kritičnosti pomocí Paretovy analýzy v poměru A=20 %, B=80 % z celkové kumulativní hodnoty kritéria.
7. Vybrat části stroje pro další výzkum.

4.2 Výpočet ukazatelů spolehlivosti

Pro výpočet ukazatelů spolehlivosti bude využito Weibullova dvouparametrického rozdělení. Nejprve je nutné ze zkoumané databáze získat vstupní data pro analýzu spolehlivosti částí stroje vybraných pomocí metodického postupu uvedeného v minulé kapitole. Poté je třeba vypočítat parametr tvaru α a parametr měřítka β Weibullova rozdělení. Pro výpočty bude využit tabulkový procesor Microsoft Excel.

4.2.1 Výpočet parametru tvaru α a parametru měřítka β Weibullova rozdělení

Při zjišťování bodového odhadu parametrů Weibullova rozdělení bude použito standardizovaného postupu uvedeného v normě ČSN EN 61649:2009. [40]

- a) Seřazení vstupních dat vzestupně.
- b) Provedení Bernardovy aproximace.
- c) Nahrazení pozměněné distribuční funkce.
- d) Lineární regrese – rovnice přímky.
- e) Výpočet parametru tvaru α a měřítka β Weibullova rozdělení.

Nejprve jsou jednotlivé hodnoty seřazeny vzestupně v pořadí $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Pro odhad distribuční funkce je použita pořadová statistika s označením mediánové pořadí. Pro výpočet mediánového pořadí je použita Bernardova aproximace (vztah 4.2).

$$F_i(t) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad (4.2)$$

Kde:

$F_i(t)$ Odhad mediánové (střední) hodnoty [-].

i Pořadové číslo doby provozu do poruchy t .

n Rozsah výběru.

Naproti tomu výpočetní postup pro úplná data je nezbytný pro zohlednění vlivu cenzurovaných dat – upravený postup (vztahy 4.3 – 4.5).

$$i_{t_i} = i_{t_{i-1}} + m_{t_i} \quad (4.3)$$

$$m_{t_i} = \frac{(n+1)-i_{t_{i-1}}}{1+(n-m)} \quad (4.4)$$

$$F_i(t) = \frac{i_{t_i}^{-0,3}}{n+0,4} \quad (4.5)$$

Kde:

m_{ii} Upravený počet předchozích objektů (událostí).

i_{ii} Upravený čas do selhání t .

Výpočet parametru tvaru α a parametru měřítka β Weibullova rozdělení je odvozen z distribuční funkce Weibullova rozdělení $F(t)$ (vztahy 4.6 – 4.10).

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\beta} \right)^\alpha \right] \quad (4.6)$$

$$1 - F(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\beta} \right)^\alpha \right] \quad (4.7)$$

$$\ln[1 - F(t)] = - \left(\frac{t}{\beta} \right)^\alpha \quad (4.8)$$

$$\ln \left[\frac{1}{1 - F(t)} \right] = \left(\frac{t}{\beta} \right)^\alpha \quad (4.9)$$

$$\ln \left\{ \ln \left[\frac{1}{1 - F(t)} \right] \right\} = \alpha \cdot \ln(t) - \alpha \cdot \ln(\beta) \quad (4.10)$$

Následuje transformace do tvaru rovnice přímky (vztah 4.11).

$$y = k \cdot x + q \quad (4.11)$$

Kde:

y Závisle proměnná.

x Nezávisle proměnná.

k Směrnice přímky.

q Průsečík přímky s osou y .

Vztah (4.12) pro osu x .

$$x = \ln(t) \quad (4.12)$$

Vztah (4.13) pro osu y .

$$y = \ln \left\{ \ln \left[\frac{1}{1 - F_i(t)} \right] \right\} \quad (4.13)$$

Rovnici přímky lze zjistit metodou nejmenších čtverců a řešením soustavy rovnic (vztahy 4.14 a 4.17).

$$q \cdot \sum_{i=1}^n x_i + k \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (4.14)$$

$$n \cdot q + k \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i \quad (4.15)$$

Potom (vztahy 4.16 a 4.17).

$$k = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (4.16)$$

$$q = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \bar{y}_l - k \cdot \bar{x}_l \quad (4.17)$$

4.2.2 Ověření míry statistické významnosti

Pro ověření míry statistické významnosti je použit koeficient determinace r^2 . Koeficient determinace lze podle [59] interpretovat jako podíl součtu čtverců hodnot pozorovaných a predikovaných (vztah 4.18).

$$r^2 = \frac{(n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i)^2}{[n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2] \cdot [n \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]} \quad (4.18)$$

4.2.3 Výpočet charakteristik spolehlivosti

Rozdělení hustoty pravděpodobnosti poruchy $f(t)$ vztah (4.19).

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} \cdot t^{\alpha-1} \cdot \exp \left[- \left(\frac{t}{\beta} \right)^\alpha \right] \quad (4.19)$$

Pravděpodobnost poruchy $F(t)$ vztah (4.20).

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\beta} \right)^\alpha \right] \quad (4.20)$$

Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$ vztah (4.21).

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\beta} \right)^\alpha \right] \quad (4.21)$$

Okamžitá intenzita poruch $\lambda(t)$ vztah (4.22).

$$\lambda(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (4.22)$$

4.2.4 Výpočet střední doby provozu do poruchy

Pro úplný přehled údajů o spolehlivost zkoumaného objektu je nutné také uvést vztah (4.23) pro výpočet střední doby provozu do poruch *MOTTF*. Pro výpočet pomocí tabulkového procesoru Microsoft Excel je nutné použít vzorec pro funkci Γ – GAMMA.

$$MOTTF = \beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \quad (4.23)$$

4.3 Výběr vhodných částí stroje pro nákladovou optimalizaci programu údržby

Výběr částí stroje pro optimalizaci programu údržby bude proveden podle hodnot parametru tvaru α , koeficientu determinace r^2 a střední doby do poruchy *MOTTF*. Část stroje bude vybrána pokud.

1. Parametr tvaru $\alpha > 1$.
2. Koeficient determinace $r^2 > 0,7$.
3. Střední doba do poruchy *MOTTF* $< 30\,000$ Mth,

Fáze opotřebení nastává, je-li parametr tvaru $\alpha > 1$. [48] Koeficient determinace r^2 je číslo mezi 0 a 1. Např. je-li v experimentu $r^2 = 0,10$ znamená to, že experimentální efekt lze z 10 % připsat vlivu záměrného působení experimentálním faktorem a z 90 % jiným, zpravidla neznámým vlivům. [63] Pro tento experiment je voleno $r^2 > 0,7$ jako dostatečná shoda statistického modelu s reálnými daty. Technický život zemědělského traktoru bývá obvykle na úrovni 30 000 Mth. Po této době zpravidla bývá jakákoliv oprava z hlediska její ekonomičnosti ztrátová. Je proto vhodné vybírat pro optimalizaci takové části stroje, které mají *MOTTF* $< 30\,000$ Mth.

Pro nákladovou optimalizaci programu údržby je třeba vypočítat náklady na údržbu v režimu po poruše a v režimu preventivní údržby.

4.4 Výpočet nákladů na údržbu v režimu po poruše a v režimu preventivní údržby

Výpočet nákladů na údržbu v obou režimech bude proveden dle následujícího metodického postupu.

1. Získat z konkrétních servisních případů uvedených ve zkoumané databázi doby výměny jednotlivých částí stroje a vypočítat jejich medián.
2. Zjistit aktuální prodejní ceny vybraných částí stroje.
3. Vytvořit scénáře pro výpočet nákladů na údržbu v obou režimech.
4. Na základě scénářů vytvořit vztahy pro výpočet nákladů.

4.5 Výpočet optimálního intervalu preventivní údržby

Pro výpočet optimálního intervalu preventivní údržby vybraných částí stroje bude použito upravených vztahů (2.13) a (2.15).

Jednotkové náklady na preventivní údržbu (vztah 4.24)

$$u_{pu}(t_{pu}) = \frac{N_{pu} + Z_{up} \cdot F(t_{pu})}{\bar{t}(t_{pu})} = \frac{N_{pu} + Z_{up} \cdot (1 - \exp(-(\frac{t_{pu}}{\beta})^\alpha))}{\int_0^{t_{pu}} \exp(-(\frac{t}{\beta})^\alpha) dt} = \min. \Rightarrow t_{pu} = t_{puo} \quad (4.24)$$

Kde:

N_{pu} Náklady na preventivní údržbu.

Z_{up} Výrobní ztráty v důsledku poruchy.

$R(t_{pu})$ Pravděpodobnost bezporuchového provozu v době t_{pu} .

$F(t_{pu})$ Pravděpodobnost poruchy v intervalu periodické údržby t_{pu} .

$\bar{t}(t_{pu})$ Střední doba provozu do provedení preventivní údržby s intervalem t_{pu} .

t_{puo} Optimální interval údržby, kdy jsou jednotkové náklady minimální.

t_{pu} Interval údržby.

t Doba provozu.

α parametr tvaru Weibullova rozdělení.

β parametr měřítka Weibullova rozdělení.

Pro výpočet pravděpodobnosti poruchy $F(t_{pu})$ bude použito vyjádření pomocí Weibullovy distribuční funkce. Pro výpočet střední doby provozu do provedení preventivní údržby bude použita funkce pravděpodobnosti bezporuchového provozu $R(t)$,

viz vztah (2.15), do kterého bude dosazen vztah (4.21) uvedený v podkapitole 4.2. Integrál bude řešen numerickou integrací. Pro danou aplikaci je volen krok integrace $\Delta t = 0,1$ Mth.

Pro jednoznačné určení správné politiky údržby pro vybranou část stroje je nutné provést také výpočet jednotkových nákladů na údržbu po poruše pomocí upravených vztahů (1.11) a (1.12).

Jednotkové náklady na údržbu po poruše (vztah 4.25)

$$u_{up} = \frac{N_{up}}{MOTTF} = \frac{N_{up}}{\beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)} \quad (4.25)$$

Kde:

N_{up} Náklady na údržbu po poruše (prostoje obsluhy, výrobní ztráty apod.).

$MOTTF$ Střední doba provozu do poruchy při údržbě po poruše.

α parametr tvaru Weibullova rozdělení.

β parametr měřítka Weibullova rozdělení.

Γ funkce GAMMA.

4.6 Sestavení programu preventivní údržby

Pomocí metodického postupu uvedeného v kapitole 4.1 byly určeny části stroje, které představují z hlediska poruchovosti a nákladů na odstranění poruchy největší ekonomickou zátěž pro provoz stroje.

Na základě výsledků Weibullové analýzy, výsledků výpočtu střední doby do poruchy $MOTTF$ a výsledků výpočtu koeficientu determinace r^2 budou zvoleny části stroje pro optimalizaci programu údržby.

Pokud jsou pro vybrané části stroje vypočítány optimální intervaly preventivní údržby t_{puo} , lze přistoupit k sestavení programu preventivní údržby.

Při sestavování programu preventivní údržby je třeba brát ohled na jeho celkovou ekonomičnost. V praxi to znamená, že se při sestavování programu nelze řídit pouze výpočty optimálního bodu obnovy jednotlivých částí stroje a podle nich stanovit počet odstávek stroje, protože každá odstávka navíc znamená zvýšení celkových provozních nákladů stroje. Jednotlivé odstávky je vhodné slučovat v širší údržbářské celky.

Samozřejmě opět s ohledem na přírůstek nákladů, které vzniknou díky výměně částí stroje mimo vypočítaný optimální interval provedení preventivní údržby t_{puo} .

Pro zemědělské traktory zpravidla předepisují program preventivní údržby výrobci. Pokud pro daný stroj existuje program preventivní údržby předepsaný výrobcem, je vhodné integrovat údržbu vybraných částí stroje do tohoto programu. Sestavení programu preventivní údržby proběhne dle níže uvedeného metodického postupu.

1. Z jednotlivých intervalů údržby uvedených v návodu pro údržbu sestavit ucelený program s ohledem na další faktory jako jsou typy použitých maziv, práce v extrémních podmínkách (prašnost, mráz) apod.
2. Pro zařazení vybraných částí stroje do programu výrobce provést korekci intervalu preventivní údržby u vybraných částí na nejbližší interval údržby v programu výrobce a kvantifikovat ekonomické dopady korekce, aby bylo možné určit vhodnost korekce.
3. Vytvořit modifikovaný program preventivní údržby, který bude obsahovat plánované odstávky v jejichž rámci budou provedeny pracovní operace předepsané výrobcem a výměna vybraných částí stroje.

4.7 Výpočet ekonomického efektu dosaženého aplikací modifikovaného programu preventivní údržby

Poté, kdy je sestaven modifikovaný program preventivní údržby dle postupu uvedeného v kapitole 4.6, je vhodné ověřit, zda bude jeho aplikací dosaženo pozitivního ekonomického efektu. Ekonomický efekt bude ověřen prostřednictvím aplikace modifikovaného programu preventivní údržby na provozní data traktoru vybraného ze zkoumané databáze, porovnáním celkových nákladů na údržbu před a po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby a výpočtem a porovnáním optimálního bodu obnovy před a po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby.

Aplikace modifikovaného programu preventivní údržby na provozní data vybraného traktoru a porovnání nákladů na údržbu před a po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby bude provedeno dle následujícího metodického postupu.

1. Vybrat ze zkoumané databáze vhodný traktor pro aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby.

2. Získat ze zkoumané databáze náklady na údržbu vybraného traktoru.
3. Zahnout do nákladů na neplánované odstávky v jejichž rámci došlo k výměně částí stroje dle modifikovaného programu preventivní údržby náklady na prostoj obsluhy, které při neplánované odstávce vznikají a náklady na zapůjčení stroje, které reprezentují ztráty z nedodržení agrotechnické lhůty.
4. Na upravená provozní data vybraného traktoru aplikovat modifikovaný program preventivní údržby.
5. Kvantifikovat ztráty z nevyčerpání fyzického života částí stroje, které budou měněny na základě aplikace modifikovaného programu preventivní údržby.
6. Vypočítat a porovnat celkové náklady na údržbu před a po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby.

Pokud jsou vypočítány celkové náklady na údržbu stroje před a po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby, lze vypočítat také optimální bod obnovy stroje před a po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby.

Výpočet optimálního bodu obnovy stroje před a po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby bude proveden dle následujícího metodického postupu.

1. Upravit rovnici obecné účelové funkce pro výpočet optimálního bodu obnovy stroje.
2. Zjistit další nákladové položky pro výpočet optimálního bodu obnovy stroje pomocí upravené rovnice obecné účelové funkce.
3. Vypočítat a porovnat optimální bod obnovy před a po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby.

5 Výsledky

5.1 Vybrané kritické části stroje pro další analýzu

Při výběru kritických částí stroje bylo postupováno dle metodického postupu uvedeného v kapitole 4.1. Pracovní databáze pro výběr částí stroje je na obrázku 5.1. Míra kritičnosti K (sloupec E) byla vypočítána pomocí vztahu (4.1). Kritické části stroje byly vybrány z 382 částí stroje, které v databázi patřily do skupiny 20 % s nejvyšší vypočítanou mírou kritičnosti K . Skupina byla určena pomocí sloupce G. Ve sloupci F je vyjádřen procentuální podíl ze součtu kritičností všech částí stroje pro danou část stroje.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Průměrná cena	Nomenklatura objektu	Název objektu	Počet opakování	Kvantifikace kritičnosti	Procento z celku	Kumulativní procenta
2	21851,75704	RE535729	VÝMĚNÍK TEPLA	83	1813695,834	8,417%	8,417%
3	55121,39926	SE502330	TURBOCHARGER REMAN	28	1543399,179	7,163%	15,580%
4	9621,347133	SE501926	REPASOVANÁ VSTŘIKOVACÍ TRYSKA	75	721601,035	3,349%	18,929%
5	13887,1225	R527696	VÝFUKOVÉ POTRUBÍ	33	458275,0425	2,127%	21,056%
6	22665,428	AL181489	PNEUMATIC CONTROL VALVE	20	453308,56	2,104%	23,160%
7	12481,92639	RE537578	REMENICE S TLUMENÍM	36	449349,35	2,085%	25,245%
8	18117,30435	RE543308	EXHAUST GAS RECYCLING VALVE	23	416698	1,934%	27,179%
9	484,6796279	RE504836	S/ OIL FILTER 6820	847	410523,6448	1,905%	29,084%
10	37029,676	RE523318	REGULÁTOR	11	407326,436	1,890%	30,974%
11	1129,782843	AL156625	S/ FILTER ELEMENT	316	357011,3785	1,657%	32,631%
12	6778,028824	RE43738	POTENCIOMETR	52	352457,4988	1,636%	34,267%
13	20614,91313	RE560091	ŘÍDICÍ VENTIL	16	329838,61	1,531%	35,798%
14	25117,78462	AL180458	TORZNÍ TLUMIČ KMITŮ	13	326531,2	1,515%	37,313%
15	7978,65175	SE501227	VODNÍ ČERPADLO	40	319146,07	1,481%	38,794%
16	9809,817333	AL160250	PNEUMATICKÝ ŘÍDICÍ VENTIL	31	304104,3373	1,411%	40,206%
17	21215,56786	R331120	KRYT	14	297017,95	1,378%	41,584%
18	6027,747188	AL209601	KONEC SPOJOVACÍ TYČE ŘÍZENÍ	49	295359,6122	1,371%	42,955%

Obrázek 5.1: Pracovní databáze pro výběr kritických částí stroje

Při finálním výběru částí stroje pro další výzkum byl brán ohled nejen na výši vypočítané míry nákladové kritičnosti K , ale části stroje byly posuzovány také z hlediska dopadu jejich poruchy na plnění výrobních úkolů traktoru. Vybrány byly jen takové části stroje, které svou poruchou znemožní traktoru plnit požadované výrobní úkoly a je nutná jeho odstávka a oprava.

Tabulka 5.1: Vybrané části stroje pro další výzkum podle míry jejich kritičnosti

Nomenklatura části stroje	Název části stroje	Kvantifikace kritičnosti
RE535729	Chladič zpětného vedení spalin	1 813 696
SE502330	Turbodmychadlo	1 543 399
RE537578	Tlumič torzních kmitů	449 349
RE43738	Senzor tahové síly TBZ	352 458
SE501227	Vodní čerpadlo	319 146
AL160250	Trojcestný ventil brzd	304 104
AL168483	Palivové čerpadlo	69 313
RE543308	Ventil EGR	2 510
RE523318	Aktuátor turba	2 454
RE167207	Snímač tlaku oleje motoru	417

5.2 Ukazatele spolehlivosti vybraných částí stroje

Z databáze byla dále získána vstupní data pro výpočet charakteristik spolehlivosti jednotlivých částí stroje. Vzhledem k velkému rozsahu a množství získaných souborů jsou v hlavním textu této práce uvedena pouze provozní data části stroje RE535729 Chladič zpětného vedení spalin. Data zahrnují údaje o provozu do poruchy a provozu bez poruchy tzv. neúplná pozorování. Provozní data jsou v tabulce 5.2. Data pro výpočet charakteristik spolehlivosti dalších vybraných částí jsou v přílohách A – CH této práce.

Tabulka 5.2: Vstupní data pro výpočet charakteristik spolehlivosti části stroje RE535729 Chladič zpětného vedení spalin

Číslo poruchy											
Doba provozu do poruchy [Mth]											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	1080	1303	1820	1913	2057	2200	2205	2311	2377	2642	2798
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2906	2912	2965	2997	3053	3271	3296	3470	3532	3602	3671	3727
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
3762	3792	3917	3948	4057	4148	4183	4401	4452	4471	4578	4752
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
4904	4982	5001	5117	5150	5194	5417	5523	5770	5790	5814	5852
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
6109	6225	6350	6381	6530	6715	6750	6954	7214	7277	7331	7373
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
7688	7704	8118	8312	8391	8529	8689	8785	8969	8993	9094	9203
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	
9363	9461	9938	9987	10440	11281	11299	12229	12300	12804	13458	
Doba provozu bez poruchy [Mth]											
23	135	214	324	357	369	533	583	589	656	700	729
743	819	924	928	944	1001	1004	1007	1187	1244	1324	1385
1405	1412	1428	1442	1543	1647	1746	1872	1933	1940	1972	2119
2251	2625	2646	2797	2814	2816	2905	3033	3051	3057	3084	3088
3142	3213	3244	3255	3311	3317	3467	3503	3539	3541	3576	3655
3719	3757	3780	3782	3983	4041	4095	4218	4320	4333	4345	4368
4425	4435	4498	4511	4602	4683	4762	4789	4833	4849	4913	4946
4980	5094	5300	5337	5380	5474	5523	5854	5918	5927	5928	5945
5962	6007	6066	6112	6196	6247	6262	6395	6429	6497	6499	6500
6600	6604	6884	6965	7060	7125	7335	7346	7435	7578	7674	7706
7836	7932	7962	7988	8055	8132	8219	8413	8431	8549	8570	8625
8721	8798	8901	9200	9380	9386	9444	9495	9540	9803	9956	10141
10848	10904	11293	11300	11527	11781	12095	12326	13388	13427	13713	14160
14212	14844	15170	15790								

Pomocí metodiky uvedené v kapitole 4.2 byl vypočítán parametr tvaru α a parametr měřítka β Weibullova rozdělení. Pro výpočet bylo využito tabulkového procesoru Microsoft Excel. Na obrázku 5.2 je zaznamenán výpočet pro provozní data části stroje RE535729 Chladič zpětného vedení spalin.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Číslo události j	Nastavené číslo poruchy i	Doba provozu do poruchy t_i	Událost	$F_i(t)$	x	y	Odhady parametrů Weibullova rozdělení	Hodnota
2	1	1,0000	2	Porucha	0,0029	0,6931	-5,8499	r^2	0,6710
3	2		23	Vyloučení				α	1,4665
4	3		135	Vyloučení				β	13600,88
5	4		214	Vyloučení				$E(t)$	12313,36
6	5		324	Vyloučení					
7	6		357	Vyloučení					
8	7		369	Vyloučení					
9	8		533	Vyloučení					
10	9		583	Vyloučení					
11	10		589	Vyloučení					
12	11		656	Vyloučení					
13	12		700	Vyloučení					
14	13		729	Vyloučení					
15	14		743	Vyloučení					
16	15		819	Vyloučení					
17	16		924	Vyloučení					
18	17		928	Vyloučení					
19	18		944	Vyloučení					
20	19		1001	Vyloučení					
21	20		1004	Vyloučení					
22	21		1007	Vyloučení					
23	22	2,0897	1080	Porucha	0,0074	6,9847	-4,9090		
24	23		1187	Vyloučení					
25	24		1244	Vyloučení					
26	25	3,1893	1303	Porucha	0,0119	7,1724	-4,4277		

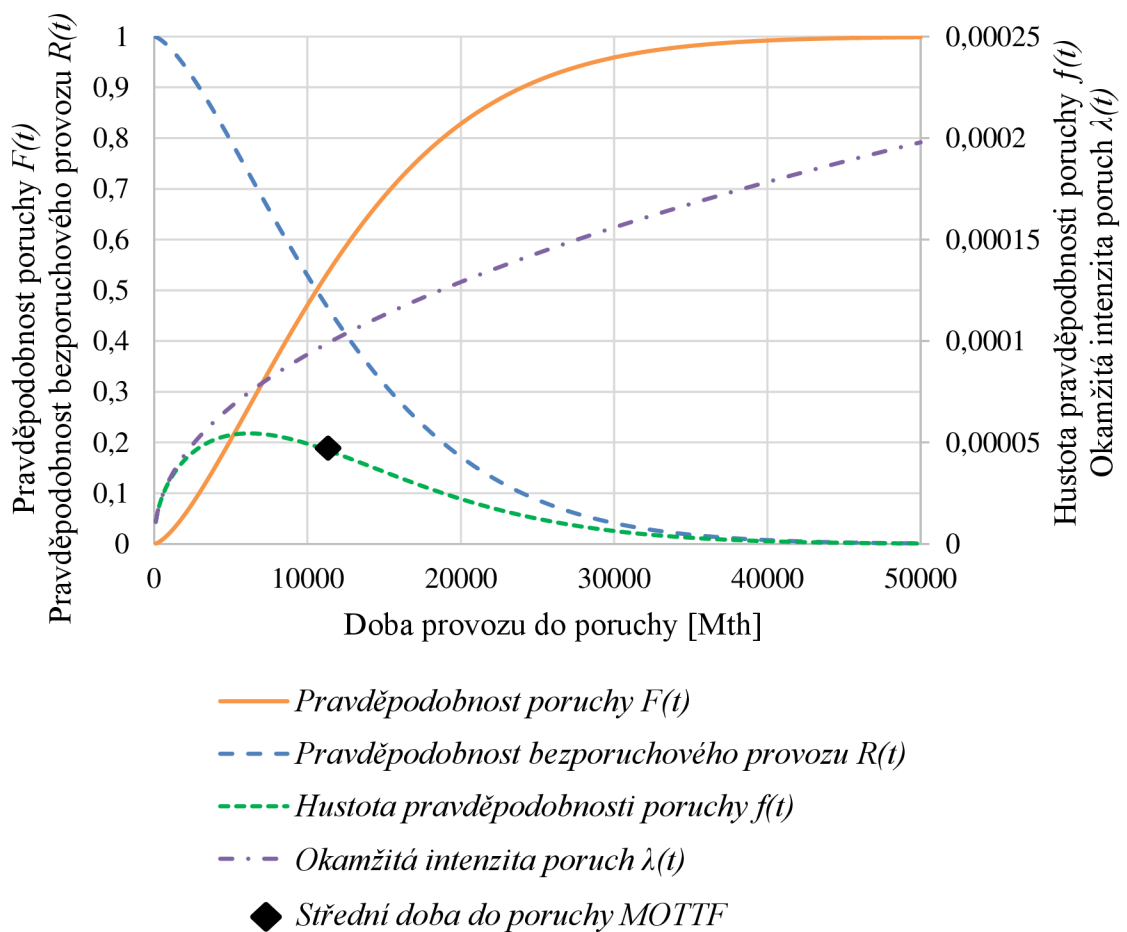
Obrázek 5.2: Bodový odhad parametrů Weibullova rozdělení pomocí Microsoft Excel

- Sloupec A Pořadové číslo události.
- Sloupec B Pořadové číslo poruchy.
- Sloupec C Doba provozu do poruchy [Mth].
- Sloupec D Určuje zde se jedná o úplné, nebo neúplné pozorování.
- Sloupec E Odhad mediánové hodnoty.
- Sloupec F Bernardova aproximace funkce $F_i(t)$.
- Sloupec G Nezávisle proměnná x .
- Sloupec H Závisle proměnná y .
- Sloupec I Odhad parametrů Weibullova rozdělení, koeficient determinace r^2 a střední doba provozu do poruchy $E(t) = MOTTF$.
- Sloupec J Hodnoty α , β , r^2 a $E(t)$ pro část stroje RE535729.

Dále jsou prezentovány charakteristiky spolehlivosti vybraných částí stroje. Parametry distribuční funkce Weibullova rozdělení, indikátory spolehlivosti jsou uvedeny v tabulkách 5.3 – 5.12, charakteristiky na obrázcích 5.3 – 5.12.

Tabulka 5.3: Parametry Weibullova rozdělení, indikátory spolehlivosti pro RE535729 Chladič zpětného vedení spalin

Parametr/indikátor	α parametr tvaru	β parametr měřítka	$MOTTF$ [Mth]
Spolehlivost	1,47	13 600,88	12 313

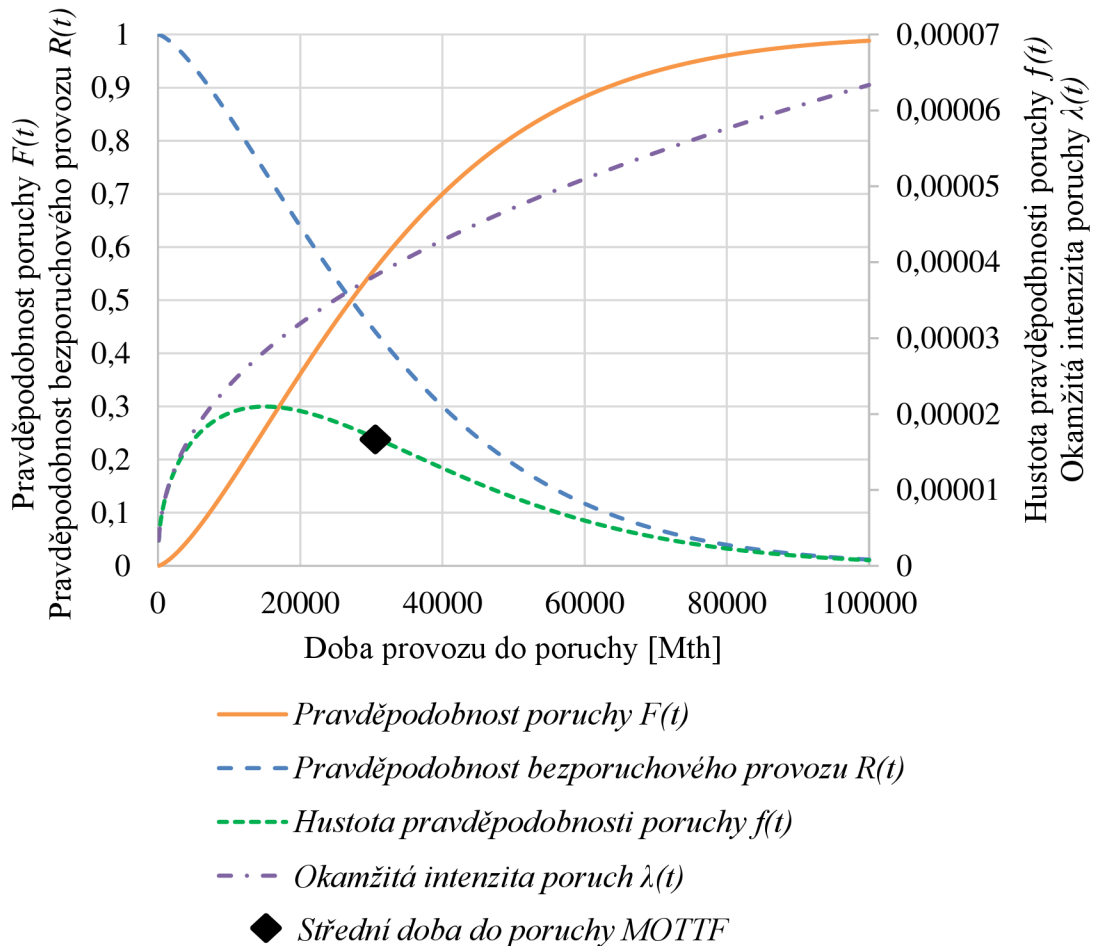


Obrázek 5.3: Charakteristiky spolehlivosti pro RE535729 Chladič zpětného vedení spalin

Parametr tvaru $\alpha = 1,47$ znamená, že okamžitá intenzita poruch $\lambda(t)$ je rostoucí, jak lze vidět na obrázku 5.3. Nicméně statistická významnost modelu je podle koeficientu determinace pouze $r^2 = 0,6710$. Tedy slabá shoda modelu s reálnými daty, proto součást nelze doporučit pro nákladovou optimalizaci programu údržby.

Tabulka 5.4: Parametry Weibullova rozdělení, indikátory spolehlivosti pro SE502330 Turbodmychadlo

Parametr/indikátor	α parametr tvaru	β parametr měřítka	$MOTTF$ [Mth]
Spolehlivost	1,43	35 137,03	31 936

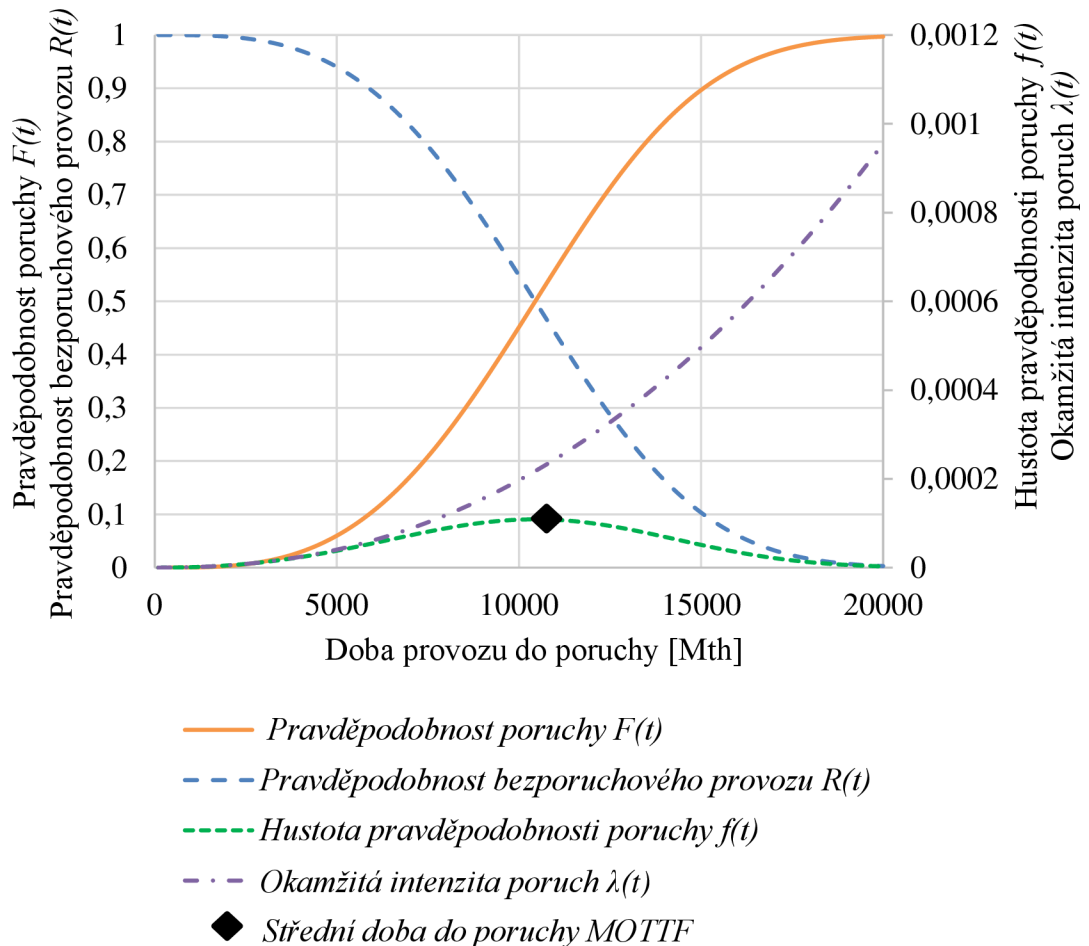


Obrázek 5.4: Charakteristiky spolehlivosti pro SE502330 Turbodmychadlo

Parametr tvaru $\alpha > 1$ znamená, že okamžitá intenzita poruch $\lambda(t)$ je rostoucí, jak lze vidět na obrázku 5.4. Statistická významnost modelu je podle koeficientu determinace $r^2 = 0,7808$. Z hlediska zvolené hodnoty kritéria pro tento experiment se jedná o dostačující shodu statistického modelu s reálnými daty. Střední doba do poruchy $MOTTF = 31\,936$ Mth, z tohoto důvodu nelze doporučit součást pro nákladovou optimalizaci programu údržby, protože výměna části by nebyla rentabilní.

Tabulka 5.5: Parametry Weibullova rozdělení, indikátory spolehlivosti pro RE537578
Tlumič torzních kmitů

Parametr/indikátor	α parametr tvaru	β parametr měřítka	$MOTTF$ [Mth]
Spolehlivost	3,28	11 683,46	10 477

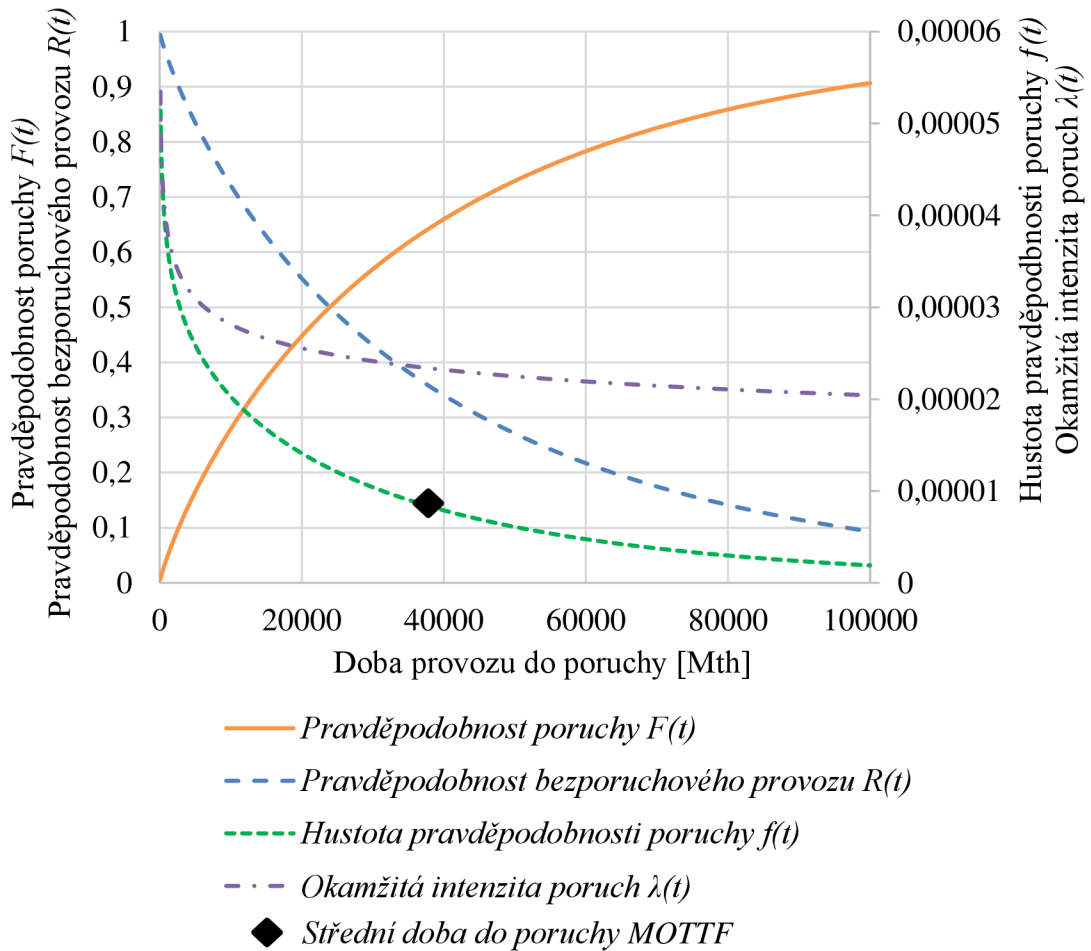


Obrázek 5.5: Charakteristiky spolehlivosti pro RE537578 Tlumič torzních kmitů

Parametr tvaru $\alpha = 3,2791$ znamená, že okamžitá intenzita poruch $\lambda(t)$ je strmě rostoucí, jak je zřejmé z obrázku 5.5. Koefficient determinace $r^2 = 0,9349$, jedná se o silnou shodu statistického modelu s reálnými daty. Střední doba do poruchy $MOTTF = 10\,477$ Mth. Tato součást je z hlediska zvolených kritérií velmi vhodná pro nákladovou optimalizaci programu údržby.

Tabulka 5.6: Parametry Weibullova rozdělení, indikátory spolehlivosti pro RE43738
Senzor tahové síly TBZ

Parametr/indikátor	α parametr tvaru	β parametr měřítka	$MOTTF$ [Mth]
Spolehlivost	0,86	36 663,36	39 585

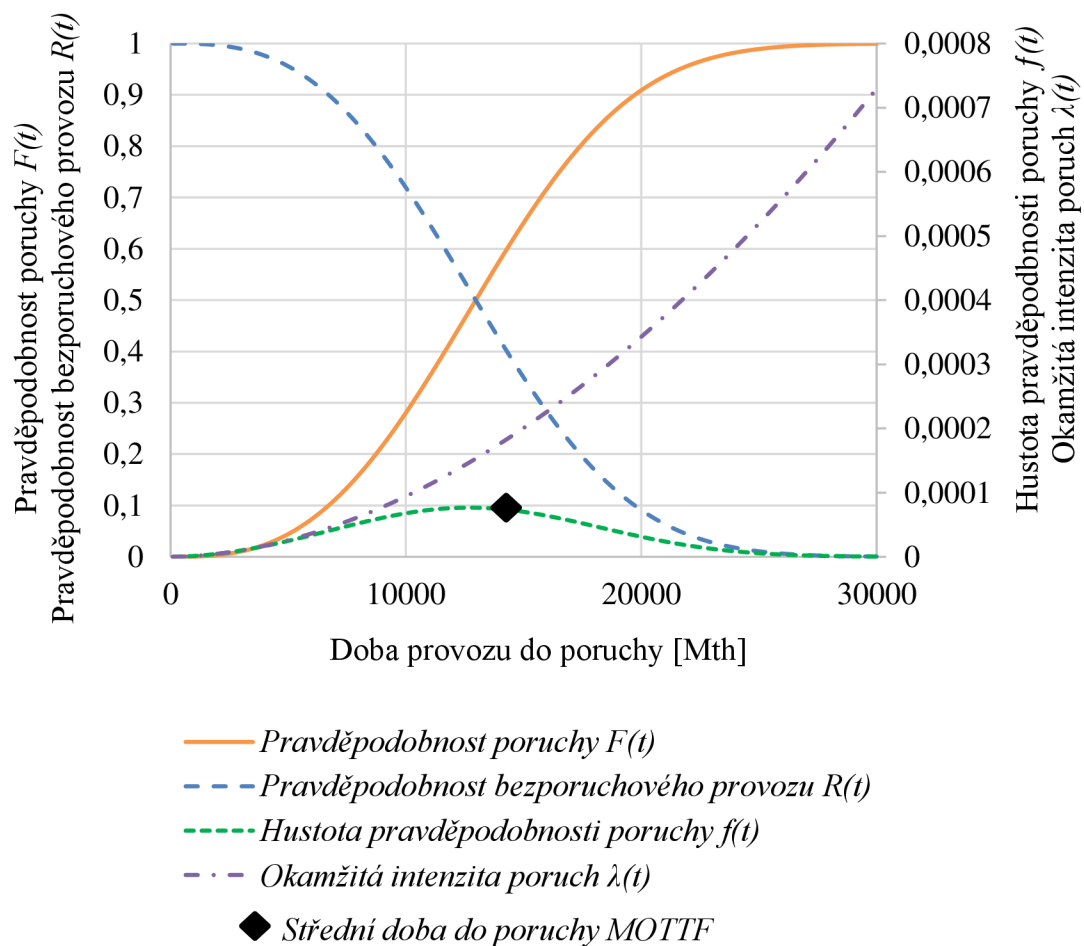


Obrázek 5.6: Charakteristiky spolehlivosti pro RE43738 Senzor tahové síly TBZ

Parametr tvaru $\alpha = 0,86$ znamená, že okamžitá intenzita poruch $\lambda(t)$ je klesající, jak je vidět na obrázku 5.6. Aproximuje první část vanové křivky, tzv. období časných poruch. Tato část stroje není vhodná pro nákladovou optimalizaci programu údržby.

Tabulka 5.7: Parametry Weibullova rozdělení, indikátory spolehlivosti pro SE501227 Vodní čerpadlo

Parametr/indikátor	α parametr tvaru	β parametr měřítka	$MOTTF$ [Mth]
Spolehlivost	2,86	14 739,44	13136

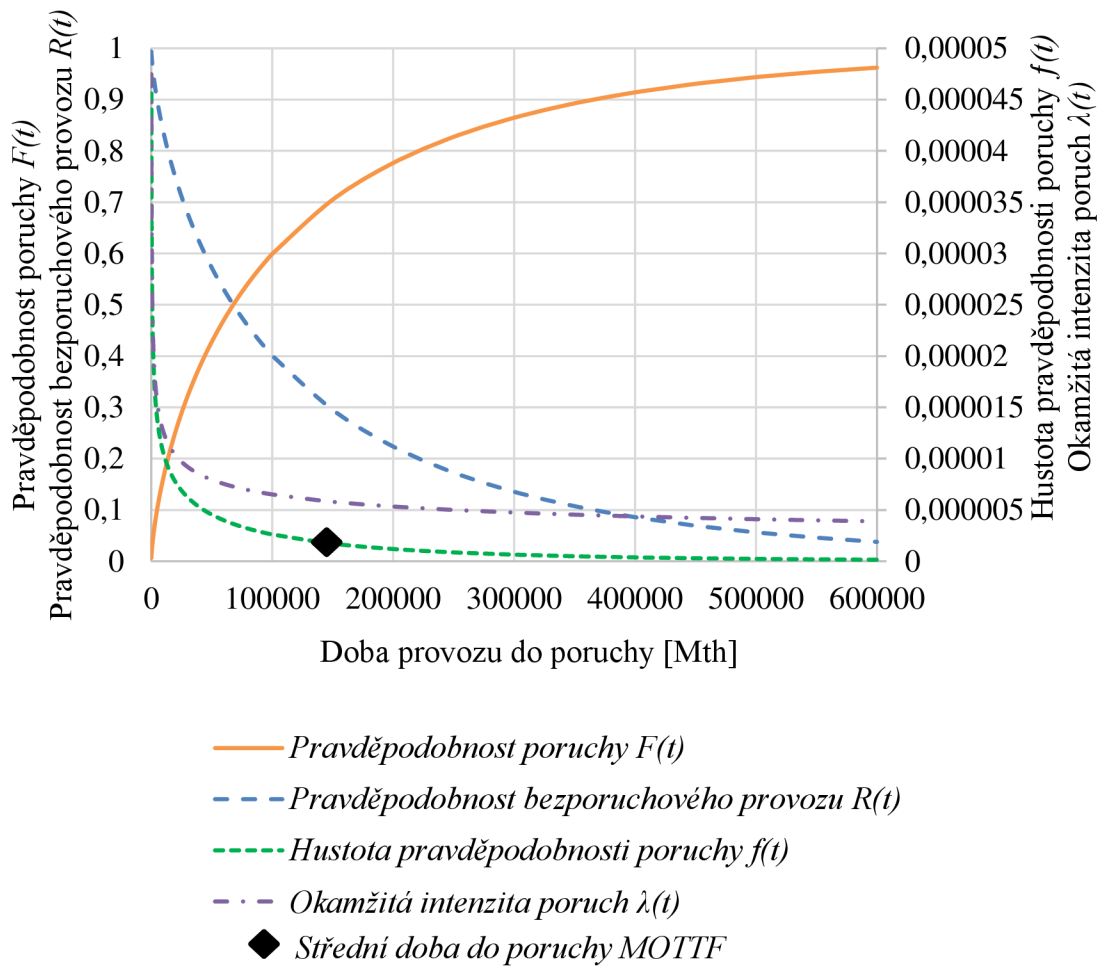


Obrázek 5.7: Charakteristiky spolehlivosti pro SE501227 Vodní čerpadlo

Parametr tvaru $\alpha = 2,86$ znamená, že okamžitá intenzita poruch $\lambda(t)$ je rostoucí, jak je zřejmé z obrázku 5.7. Koeficient determinace $r^2 = 0,9238$, jedná se o silnou shodu statistického modelu s reálnými daty. Střední doba do poruchy $MOTTF = 13\,136$ Mth. Tato součást je z hlediska zvolených kritérií vhodná pro nákladovou optimalizaci programu údržby.

Tabulka 5.8: Parametry Weibullova rozdělení, indikátory spolehlivosti pro AL160250 Trojcestný ventil brzd

Parametr/indikátor	α parametr tvaru	β parametr měřítka	$MOTTF$ [Mth]
Spolehlivost	0,71	11 3460,41	141 273

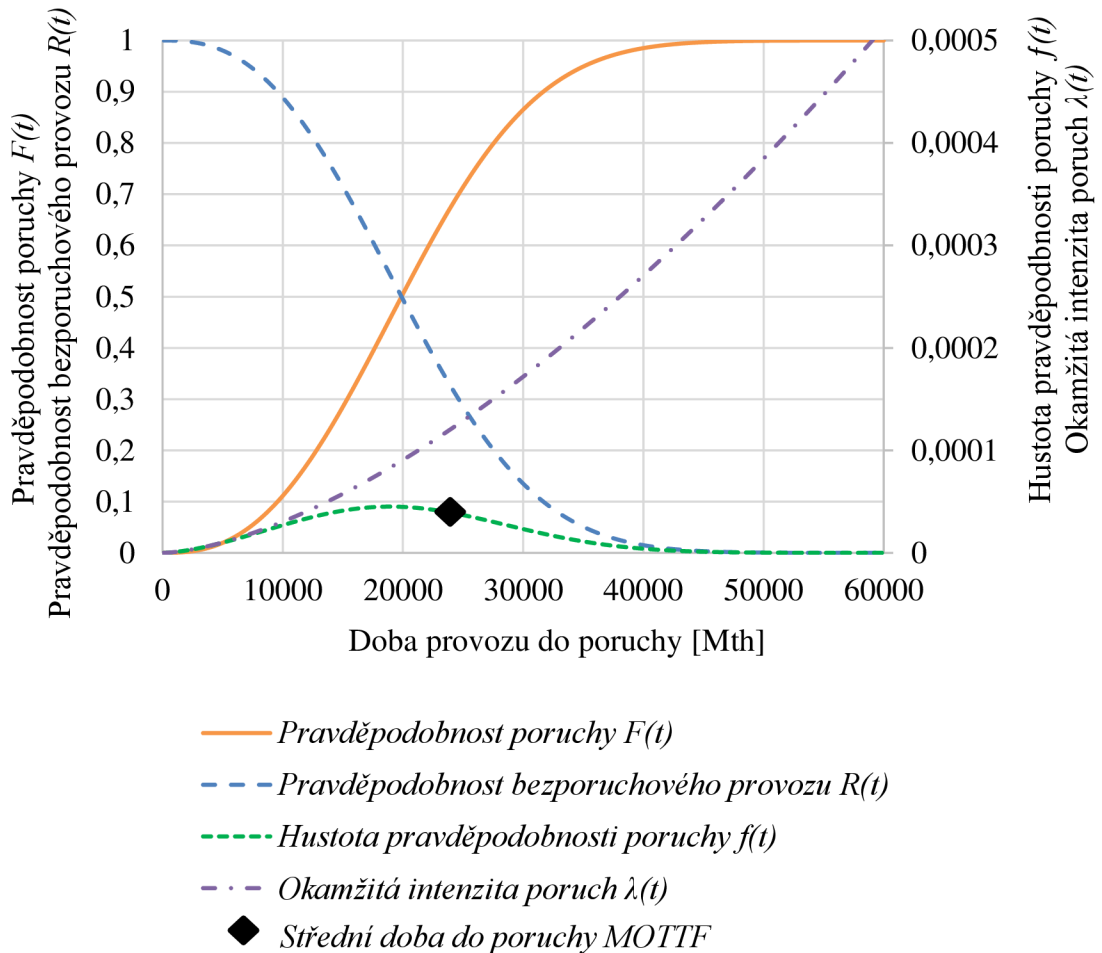


Obrázek 5.8: Charakteristiky spolehlivosti pro AL160250 Trojcestný ventil brzd

Parametr tvaru $\alpha = 0,71$ znamená, že okamžitá intenzita poruch $\lambda(t)$ je klesající, jak je vidět na obrázku 5.8. Aproximuje první část vanové křivky tzv. období časných poruch. Tato část stroje není vhodná pro nákladovou optimalizaci programu údržby.

Tabulka 5.9: Parametry Weibullova rozdělení, indikátory spolehlivosti pro AL168483 Palivové čerpadlo

Parametr/indikátor	α parametr tvaru	β parametr měřítka	$MOTTF$ [Mth]
Spolehlivost	2,58	22 918,67	20 351

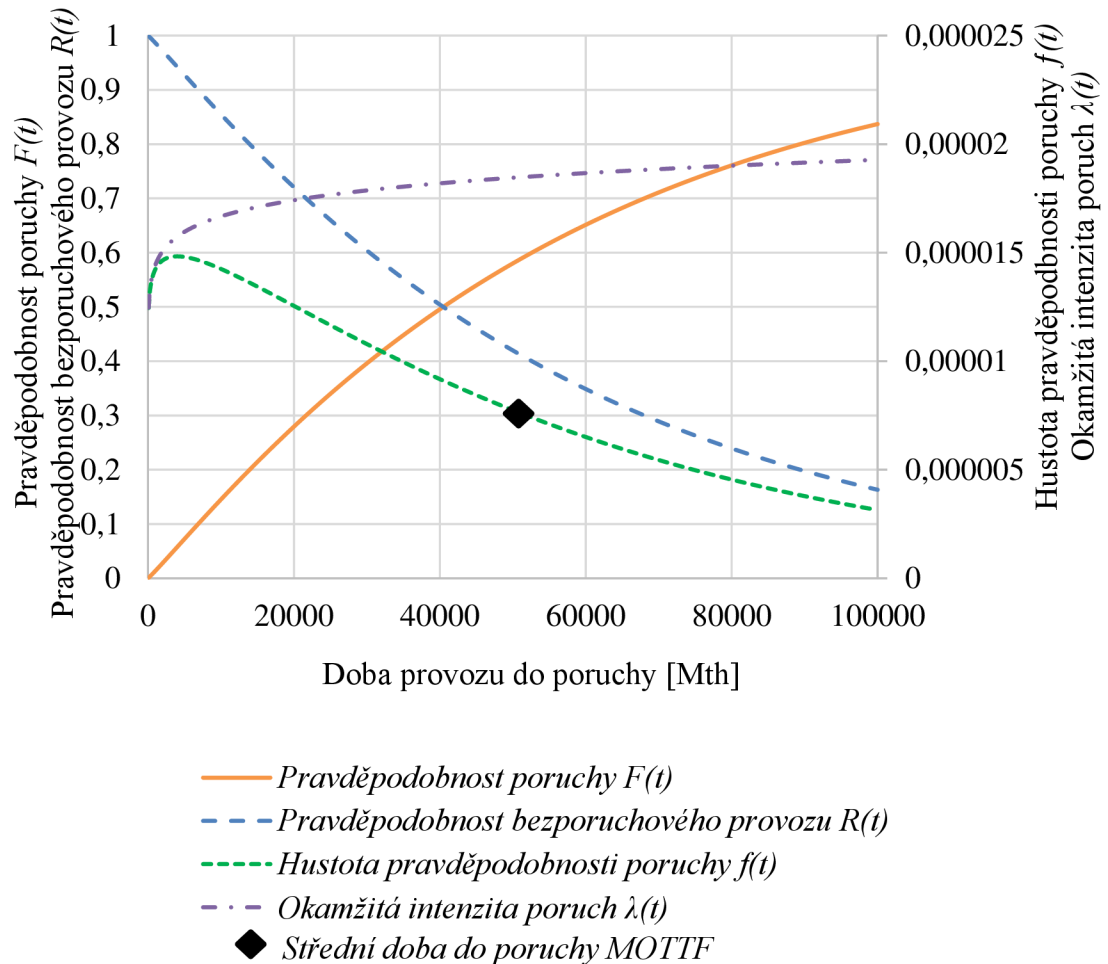


Obrázek 5.9: Charakteristiky spolehlivosti pro AL168483 Palivové čerpadlo

Parametr tvaru $\alpha = 2,58$ znamená, že okamžitá intenzita poruch $\lambda(t)$ je rostoucí, jak je zřejmé z obrázku 5.9. Koefficient determinace $r^2 = 0,9456$, jedná se o silnou shodu statistického modelu s reálnými daty. Střední doba do poruchy $MOTTF = 20\,351$ Mth. Tato část stroje je z hlediska zvolených kritérií vhodná pro nákladovou optimalizaci programu údržby.

Tabulka 5.10: Parametry Weibullova rozdělení, indikátory spolehlivosti pro RE543308 Ventil EGR

Parametr/indikátor	α parametr tvaru	β parametr měřítka	$MOTTF$ [Mth]
Spolehlivost	1,06	57 134,78	55 784

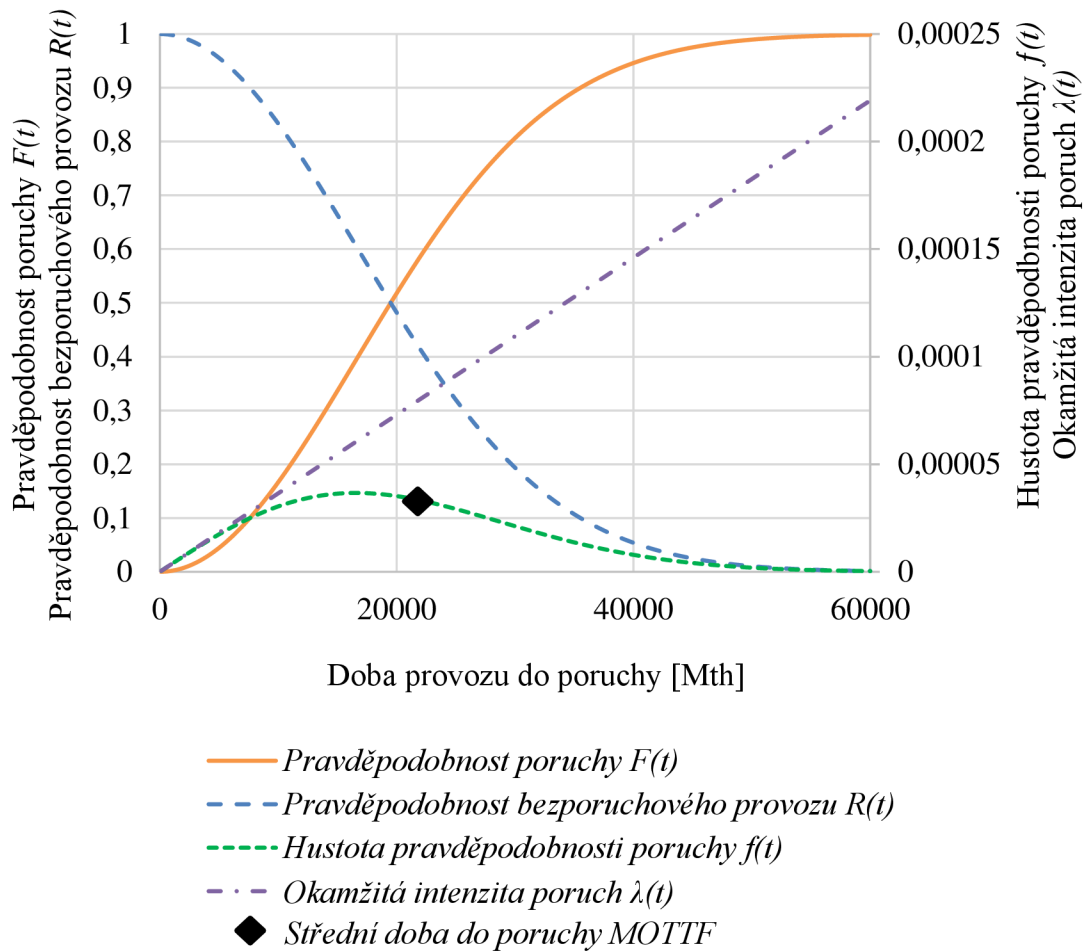


Obrázek 5.10: Charakteristiky spolehlivosti pro RE543308 Ventil EGR

Parametr tvaru $\alpha = 1,06$ znamená, že okamžitá intenzita poruch $\lambda(t)$ je jen mírně rostoucí, jak lze vidět na obrázku 5.10. Statistická významnost modelu je podle koeficientu determinace pouze $r^2 = 0,5815$. Jedná se o velmi slabou shodu statistického modelu s reálnými daty. Střední doba do poruchy $MOTTF = 55\,784$ Mth, tedy dávno za hranicí běžného technického života zemědělského traktoru. Část stroje nelze doporučit pro nákladovou optimalizaci programu údržby.

Tabulka 5.11: Parametry Weibullova rozdělení, indikátory spolehlivosti pro RE523318
Aktuátor turba

Parametr/indikátor	α parametr tvaru	β parametr měřítka	<i>MOTTF</i> [Mth]
Spolehlivost	2	23 412,96	20 749

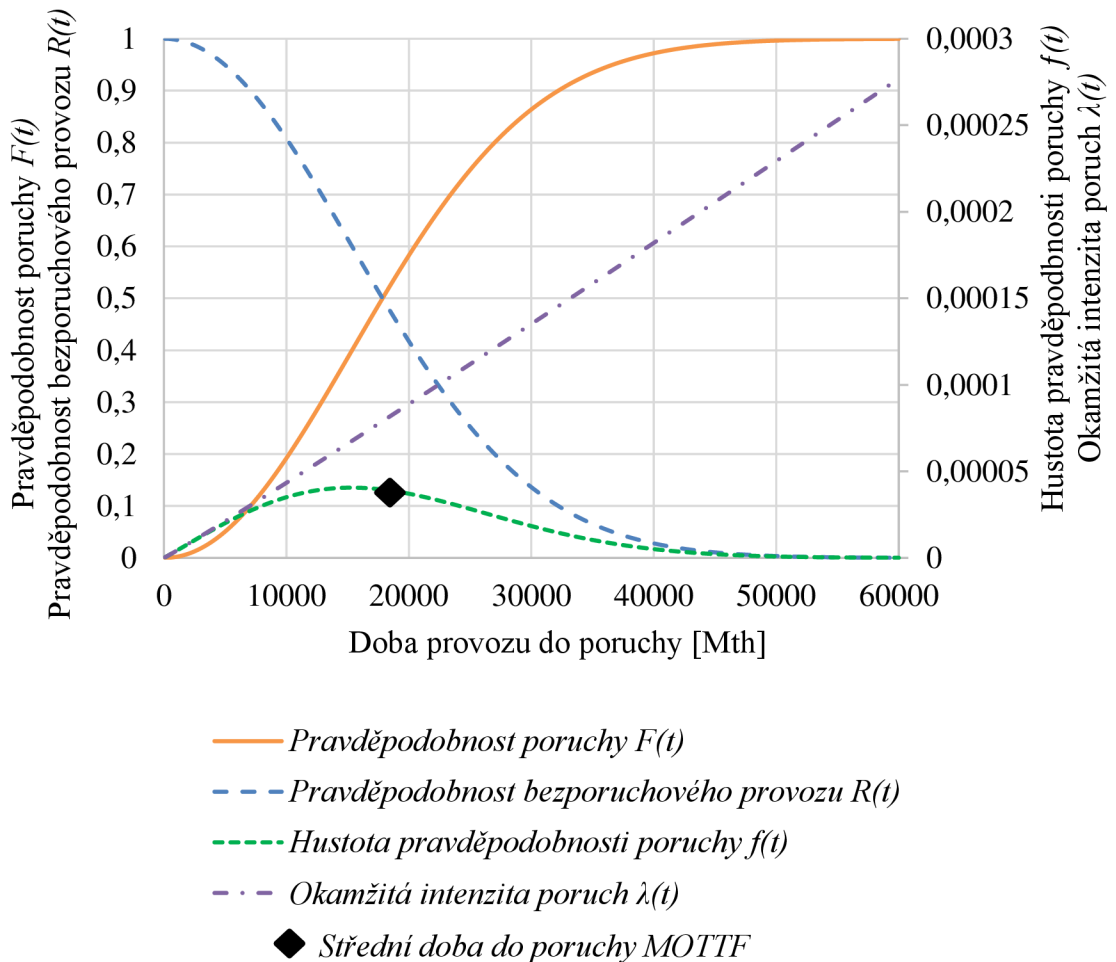


Obrázek 5.11: Charakteristiky spolehlivosti pro RE523318 Aktuátor turba

Parametr tvaru $\alpha = 2$ znamená, že okamžitá intenzita poruch $\lambda(t)$ je rostoucí, jak je zřejmé z obrázku 5.11. Koeficient determinace $r^2 = 0,9286$, jedná se o silnou shodu statistického modelu s reálnými daty. Střední doba do poruchy $MOTTF = 20\,749$ Mth. Tato část stroje je z hlediska zvolených kritérií vhodná pro nákladovou optimalizaci programu údržby.

Tabulka 5.12: Parametry Weibullova rozdělení, indikátory spolehlivosti pro RE167207 Snímač tlaku oleje motoru

Parametr/indikátor	α parametr tvaru	β parametr měřítka	$MOTTF$ [Mth]
Spolehlivost	2,03	21 373,55	18 937



Obrázek 5.12: Charakteristiky spolehlivosti pro RE167207 Snímač tlaku oleje motoru

Parametr tvaru $\alpha = 2,03$ znamená, že okamžitá intenzita poruch $\lambda(t)$ je rostoucí, jak je zřejmé z obrázku 5.12. Koeficient determinace $r^2 = 0,8488$, jedná se o silnou shodu statistického modelu s reálnými daty. Střední doba do poruchy $MOTTF = 18\,937$ Mth. Tato část stroje je z hlediska zvolených kritérií vhodná pro nákladovou optimalizaci programu údržby.

5.3 Výběr vhodných částí stroje pro nákladovou optimalizaci programu údržby

Na základě vypočítaných charakteristik spolehlivosti lze vybrat části stroje vhodné pro optimalizaci programu údržby. Výběr je proveden na základě hodnot parametru tvaru $\alpha > 1$, koeficientu determinace $r^2 > 0,7$ a střední doby do poruchy $MOTTF < 30\ 000$ Mth jak uvádí metodický postup v kapitole 4.3. Jednotlivé hodnoty sledovaných parametrů jsou uvedeny v tabulce 5.13.

Tabulka 5.13: Vybrané části stroje pro optimalizaci programu údržby

	Část stroje	α parametr tvaru	β parametr měřítka	r^2 koeficient determinace	$MOTTF$ [Mth]	Optimalizace
RE535729	Chladič zpětného vedení spalin	1,4665	13 600,88	0,6710	12 313	NE
SE502330	Turbodmychadlo	1,4258	35 137,03	0,7808	31 936	NE
RE537578	Tlumič torzních kmitů	3,2791	11 683,46	0,9349	10 477	ANO
RE43738	Senzor tahové síly TBZ	0,8606	36 663,36	0,8773	39 585	NE
SE501227	Vodní čerpadlo	2,8622	14 739,44	0,9238	13 136	ANO
AL160250	Trojcestný ventil brzd	0,7124	113 460,41	0,8958	141 273	NE
AL168483	Palivové čerpadlo	2,5768	22 918,67	0,9456	20 351	ANO
RE543308	Ventil EGR	1,0631	57 134,78	0,5815	55 784	NE
RE523318	Aktuátor turba	2,0007	23 412,96	0,9286	20 749	ANO
RE167207	Snímač tlaku oleje motoru	2,0345	21 373,55	0,8488	18 937	ANO

Pro nákladovou optimalizaci byly vybrány části, které mají v tabulce 5.13 ve sloupci Optimalizace uvedenu hodnotu ANO. Na základě hodnot parametru $\alpha > 1$ a koeficientu determinace $r^2 > 0,7$ lze také říci, že výskyt poruch těchto částí stroje není náhodného charakteru což potvrzuje hypotézu H1. Pro úplnost je uveden také parametr měřítka β .

Proto, aby mohla být provedena nákladová optimalizace programu údržby vybraných částí stroje je třeba vypočítat náklady na údržbu v případě, že je provedena po poruše a v případě, že je provedena preventivně. Náklady na obě varianty údržby budou vypočítány dle metodického postupu uvedeného v kapitole 4.4.

Proto, aby bylo možné vypočítat náklady na údržbu po poruše N_{up} a na údržbu preventivní N_{pu} , je třeba nejprve z databáze zjistit doby výměny jednotlivých částí stroje. Po zjištění dob výměn bylo třeba vypočítat jejich medián M_{dv} . Zjištěné doby výměn jsou uvedené v příloze I. Výsledky pro vybrané části stroje jsou shrnuty v tabulce 5.14.

Tabulka 5.14: Medián dob výměny jednotlivých částí stroje

Část stroje		Medián dob výměny M_{dv} [h]
RE537578	Tlumič torzních kmitů	4
SE501227	Vodní čerpadlo	3
AL168483	Palivové čerpadlo	2
RE523318	Aktuátor turba	2
RE167207	Snímač tlaku oleje motoru	1

Hodnoty mediánů v tabulce 5.14 jsou zaokrouhleny nahoru, protože servisní organizace účtují za započatou hodinu. Dále byly zjištěny aktuální ceny částí stroje. Ceny byly zjištěny z ceníku společnosti PEKASS a.s. (společnost zabývající se prodejem a servisem zemědělské techniky). V tabulce 5.15 jsou uvedeny běžné prodejní ceny C_{pb} , cena při dodání do jednoho týdne C_{plt} a cena při dodání do dvou dnů C_{p2d} .

Tabulka 5.15: Ceny částí stroje

Část stroje		C_{pb} [Kč]	C_{p2d} [Kč]	C_{plt} [Kč]
RE537578	Tlumič torzních kmitů	12 503	9 503	8 252
SE501227	Vodní čerpadlo	10 849	8 245	7 160
AL168483	Palivové čerpadlo	6 000	4 560	3 960
RE523318	Aktuátor turba	47 071	35 774	31 067
RE167207	Snímač tlaku oleje motoru	3 206	2 437	2 116

Pro výpočet nákladů na údržbu v obou režimech byly vytvořeny scénáře, které odpovídají současné praxi servisních organizací v oblasti opravárenství zemědělské techniky.

Na základě scénářů byly doplněny nákladové položky uvedené v tabulce 5.16 a sestaveny vztahy (5.1) pro výpočet nákladů na preventivní údržbu N_{pu} a (5.2) pro výpočet nákladů na údržbu po poruše N_{up} .

Ceny za práci a dopravu jsou z ceníku společnosti PEKASS a.s. Cena zapůjčení stroje byla převzata z ceníku společnosti KOMILO s.r.o. (půjčovna zemědělské techniky) pro stroje traktory kolové, výkon 120 – 150 kW. Mzda obsluhy byla zjištěna na stránkách ČSÚ (Český statistický úřad).

Tabulka 5.16: Nákladové položky pro výpočet nákladů na údržbu

Cena práce v dílně C_{pd} [Kč/hod]	700
Cena práce v terénu C_{pt} [Kč/hod]	1 000
Cena provedení diagnostiky C_{dt} [Kč/h]	1 200
Doprava C_{do} [Kč/km]	19
Zapůjčení náhradního stroje C_{zs} [Kč/den]	8 400
Mzdové náklady obsluhy stroje N_{ob} [Kč/den]	1 792
Vzdálenost servisního střediska od místa poruchy V_{ss} [km]	50

Scénář pro preventivní údržbu

Pokud je údržba provedena v režimu preventivním, znamená to, že údržba je plánovaná. Náhradní díly lze objednat s předstihem za cenu C_{p1t} . Je předpoklad, že bude provedena na dílně. Není třeba provádět diagnostiku pro odhalení příčiny závady. Pak:

$$N_{pu} = (M_{dv} \cdot C_{pd}) + C_{p1t} \quad (5.1)$$

Kde:

N_{pu} Náklady na preventivní údržbu [Kč].

M_{dv} Medián doby výměny částí stroje [h].

C_{pd} Cena práce na dílně [Kč/h].

C_{p2d} Cena části stroje při dodání do jednoho týdne [Kč].

Scénář pro údržbu po poruše

Údržba je provedena v místě poruchy. Mechanik musí dojet na místo havárie. Je třeba počítat s náklady na jeho dopravu. vzdálenost od servisního střediska je stanovena na 50 km. Po příjezdu na místo je třeba provést diagnostiku za účelem zjištění příčiny poruchy. Je třeba počítat s náklady na diagnostiku. Pro zjištění příčiny závady je stanovena 1 hodina. Náhradní díly je nezbytné objednat expresně za cenu C_{p2d} . Protože si servisní organizace nemohla naplánovat kapacity pro údržbu, je pro tento případ doba odstávky stanovena na 3 dny. Vzhledem k tomu, že k poruše došlo při práci stroje, hrozí náklady plynoucí z nedodržení agrotechnické lhůty a snížení výnosu ze sklizně plodiny. Je třeba zapůjčit náhradní stroj, aby byla agrotechnická lhůta dodržena. Prodleva mezi poruchou a zapůjčením náhradního stroje je stanovena na 1 den. Tento den dochází k prostoji obsluhy stroje. Je tedy třeba si zapůjčit stroj na 2 dny. Pak:

$$N_{up} = (M_{dv} \cdot C_{pt}) + (2 \cdot C_{zs}) + (100 \cdot C_{do}) + C_{p2d} + N_{ob} \quad (5.2)$$

Kde:

N_{up} Náklady na údržbu po poruše [Kč].

M_{dv} Medián doby výměny části stroje [h].

C_{pd} Cena práce v terénu [Kč/h].

C_{zs} Zapůjčení náhradního stroje [Kč/den].

C_{p2d} Cena při dodání do dvou dnů (expresní dodání) [Kč].

N_{ob} Mzdové náklady obsluhy stroje [Kč/den].

Výsledky výpočtů jsou uvedeny v tabulce 5.17. Náklady na údržbu po poruše N_{up} jsou vypočítány pomocí vztahu (5.2). Náklady na preventivní údržbu N_{pu} jsou vypočítány pomocí vztahu (5.1). Výrobní ztráty v důsledku poruchy Z_{up} vyjadřují rozdíl mezi náklady na údržbu po poruše N_{up} a náklady na preventivní údržbu N_{pu} . Vypočítané náklady budou dále využity pro nákladovou optimalizaci programu údržby vybraných částí stroje.

Tabulka 5.17: Náklady na údržbu

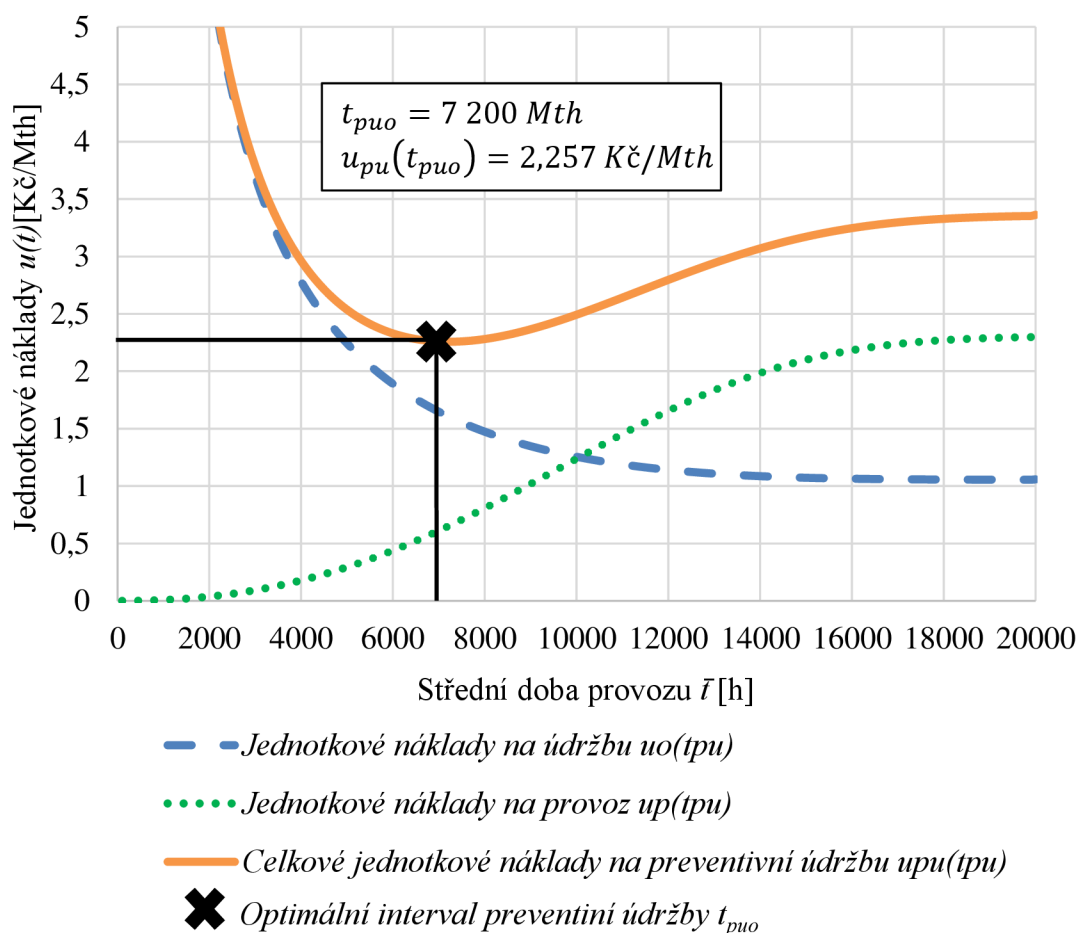
Část stroje		Náklady na preventivní údržbu N_{pu}	Náklady na údržbu po poruše N_{up}	Výrobní ztráty v důsledku poruchy Z_{up}
RE537578	Tlumič torzních kmitů	11 052 Kč	35 194 Kč	24 142 Kč
SE501227	Vodní čerpadlo	8 910 Kč	32 437 Kč	23 527 Kč
AL168483	Palivové čerpadlo	5 360 Kč	28 252 Kč	22 892 Kč
RE523318	Aktuátor turba	32 467 Kč	59 466 Kč	26 999 Kč
RE167207	Snímač tlaku oleje motoru	2 816 Kč	25 219 Kč	22 403 Kč

5.4 Optimální interval preventivní údržby vybraných částí stroje

Nákladová optimalizace je provedena aplikováním postupu uvedeného v podkapitole 4.5, pomocí vztahů (4.24) a (4.25). Výsledky výpočtů jsou uvedeny v tabulkách 5.18 – 5.22. Závislost jednotkových nákladů na střední době provozu pak na obrázcích 5.13 – 5.17.

Tabulka 5.18: Výpočty nákladové optimalizace údržby pro RE537578 Tlumič torzních kmitů

t_{pu} [100 Mth]	20	40	60	70	72	90	120	140	160	200
$F(t_{pu})$	0,0031	0,0293	0,1064	0,1701	0,1849	0,3462	0,6643	0,8363	0,9394	0,9971
$R(t_{pu})$	0,9969	0,9707	0,8936	0,8299	0,8151	0,6538	0,3357	0,1637	0,0606	0,0029
$t(t_{pu})$	1998,67	3972,52	5847,31	6710,55	6875,06	8203,92	9687,27	10176,27	10388,93	10444,69
$u_o(t_{pu})$	5,530	2,782	1,890	1,647	1,608	1,347	1,141	1,086	1,064	1,058
$u_p(t_{pu})$	0,0370	0,1782	0,4391	0,6119	0,6493	1,0189	1,6556	1,9840	2,1831	2,3046
$u_{pu}(t_{pu})$	5,567	2,960	2,329	2,259	2,257	2,366	2,796	3,070	3,247	3,363
Jednotkové náklady na preventivní údržbu $u_{pu}(t_{puo})$									2,257 Kč/Mth	
Optimální interval preventivní údržby t_{puo}									7 200 Mth	
Jednotkové náklady na údržbu po poruše $u_{up}(MOTF)$									3,359 Kč/Mth	
Střední doba provozu do poruchy při údržbě po poruše $MOTF$									10 477 Mth	

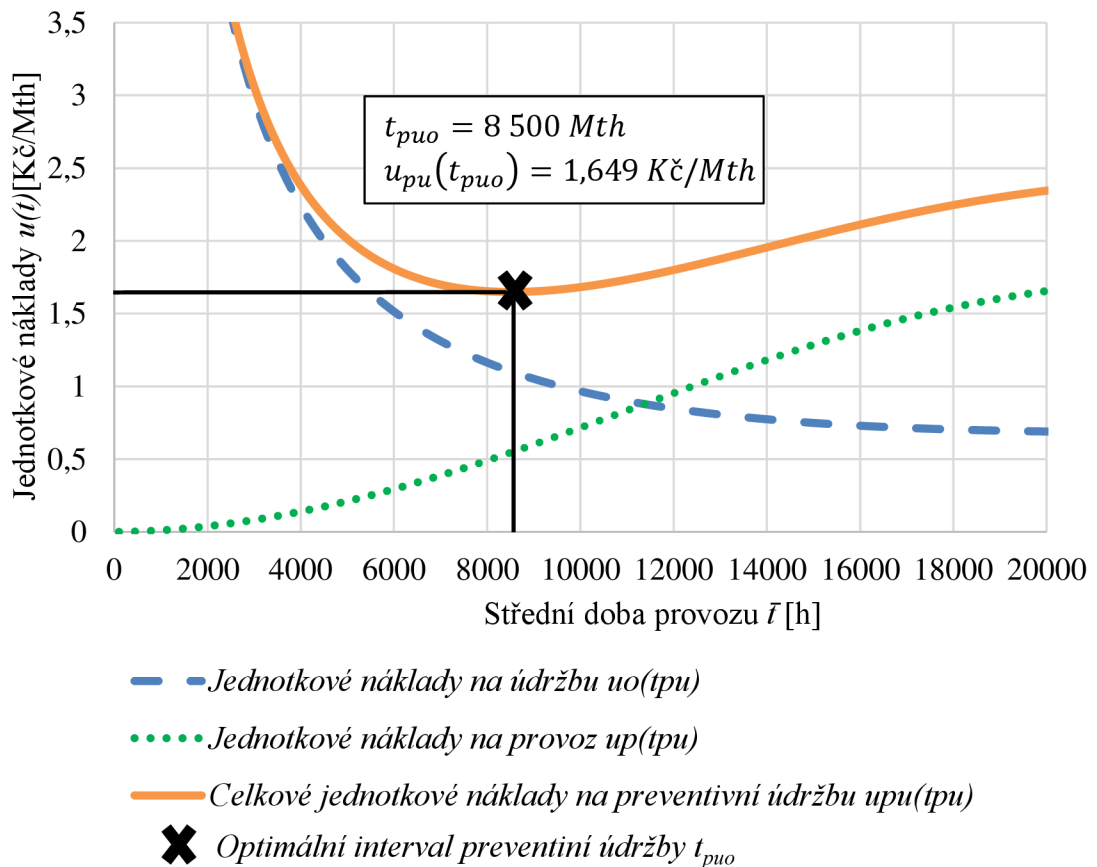


Obrázek 5.13: Závislost jednotkových nákladů na střední době provozu pro preventivní údržbu pro RE537578 Tlumič torzních kmitů

Optimální interval t_{puo} pro tuto část stroje má hodnotu 7 200 Mth při minimální hodnotě průměrných jednotkových nákladů 2,257 Kč/Mth. Je volena údržba preventivní.

Tabulka 5.19: Výpočty nákladové optimalizace údržby pro SE501227 Vodní čerpadlo

t_{pu} [100 Mth]	20	40	60	80	85	100	120	140	160	200
$F(t_{pu})$	0,003	0,024	0,074	0,160	0,187	0,281	0,426	0,578	0,718	0,909
$R(t_{pu})$	0,997	0,976	0,926	0,840	0,813	0,719	0,574	0,422	0,282	0,091
$t(t_{pu})$	1998,40	3975,49	5884,04	7657,08	8070,53	9221,94	10517,98	11513,32	12213,95	12916,51
$u_o(t_{pu})$	4,459	2,241	1,514	1,164	1,104	0,966	0,847	0,774	0,729	0,690
$u_p(t_{pu})$	0,039	0,140	0,294	0,491	0,545	0,716	0,953	1,181	1,382	1,655
$u_{pu}(t_{pu})$	4,497	2,381	1,808	1,654	1,649	1,682	1,800	1,955	2,112	2,345
Jednotkové náklady na preventivní údržbu $u_{pu}(t_{puo})$									1,649 Kč/Mth	
Optimální interval preventivní údržby t_{puo}									8 500 Mth	
Jednotkové náklady na údržbu po poruše $u_{up}(MOTTF)$									2,469 Kč/Mth	
Střední doba provozu do poruchy při údržbě po poruše $MOTTF$									13 316 Mth	

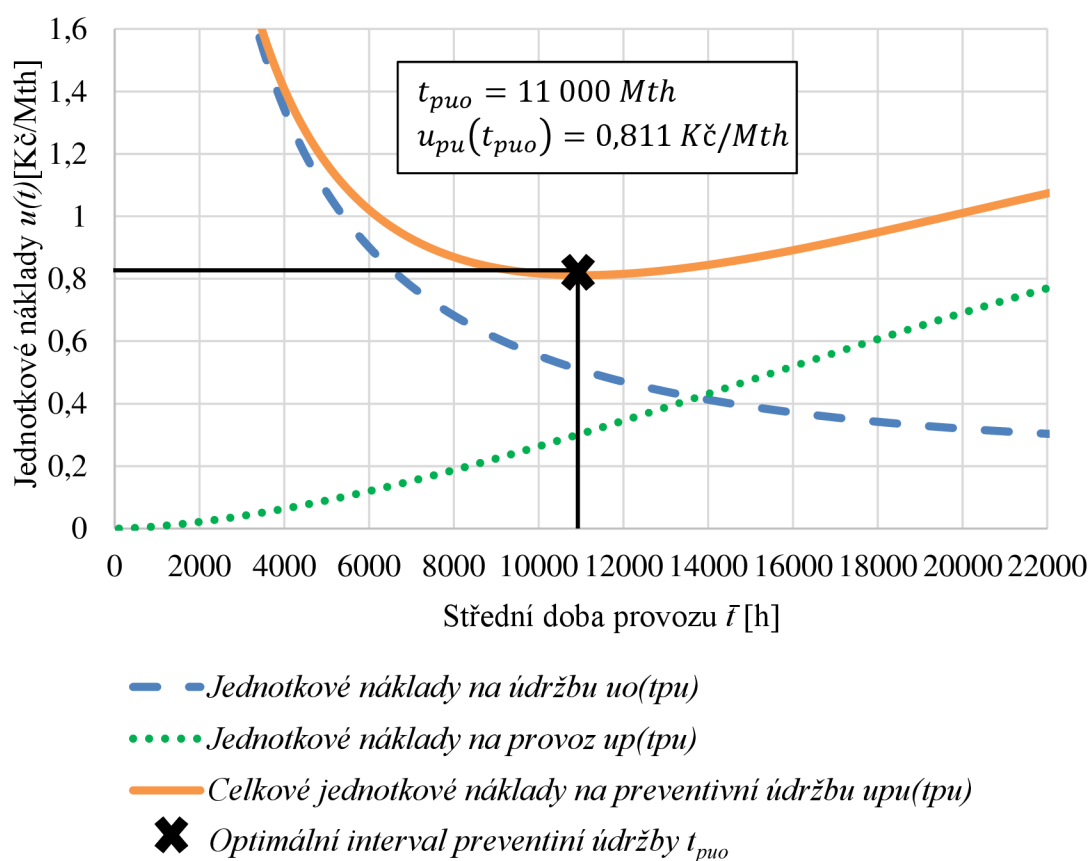


Obrázek 5.14: Závislost jednotkových nákladů na střední době provozu pro preventivní údržbu pro SE501227 Vodní čerpadlo

Optimální interval t_{puo} pro tuto část stroje má hodnotu 8 500 Mth při minimální hodnotě průměrných jednotkových nákladů 1,649 Kč/Mth. Je volena údržba preventivní.

Tabulka 5.20: Výpočty nákladové optimalizace údržby pro AL168483 Palivové čerpadlo

t_{pu} [100 Mth]	25	50	75	100	110	125	150	175	200	225
$F(t_{pu})$	0,0033	0,0196	0,0547	0,1113	0,1400	0,1892	0,2850	0,3929	0,5054	0,6147
$R(t_{pu})$	0,9967	0,9804	0,9453	0,8887	0,8600	0,8108	0,7150	0,6071	0,4946	0,3853
$t(t_{pu})$	2497,78	4972,61	7384,10	9681,19	10555,81	11809,78	13720,30	15374,74	16752,02	17850,51
$u_o(t_{pu})$	2,146	1,078	0,726	0,554	0,508	0,454	0,391	0,349	0,320	0,300
$u_p(t_{pu})$	0,030333	0,090159	0,169502	0,263185	0,303658	0,366686	0,475484	0,584976	0,690622	0,788245
$u_{pu}(t_{pu})$	2,176	1,168	0,895	0,817	0,811	0,821	0,866	0,934	1,011	1,089
Jednotkové náklady na preventivní údržbu $u_{pu}(t_{puo})$									0,811 Kč/Mth	
Optimální interval preventivní údržby t_{puo}									11 000 Mth	
Jednotkové náklady na údržbu po poruše $u_{up}(MOTTF)$									1,388 Kč/Mth	
Střední doba provozu do poruchy při údržbě po poruše $MOTTF$									20 351 Mth	

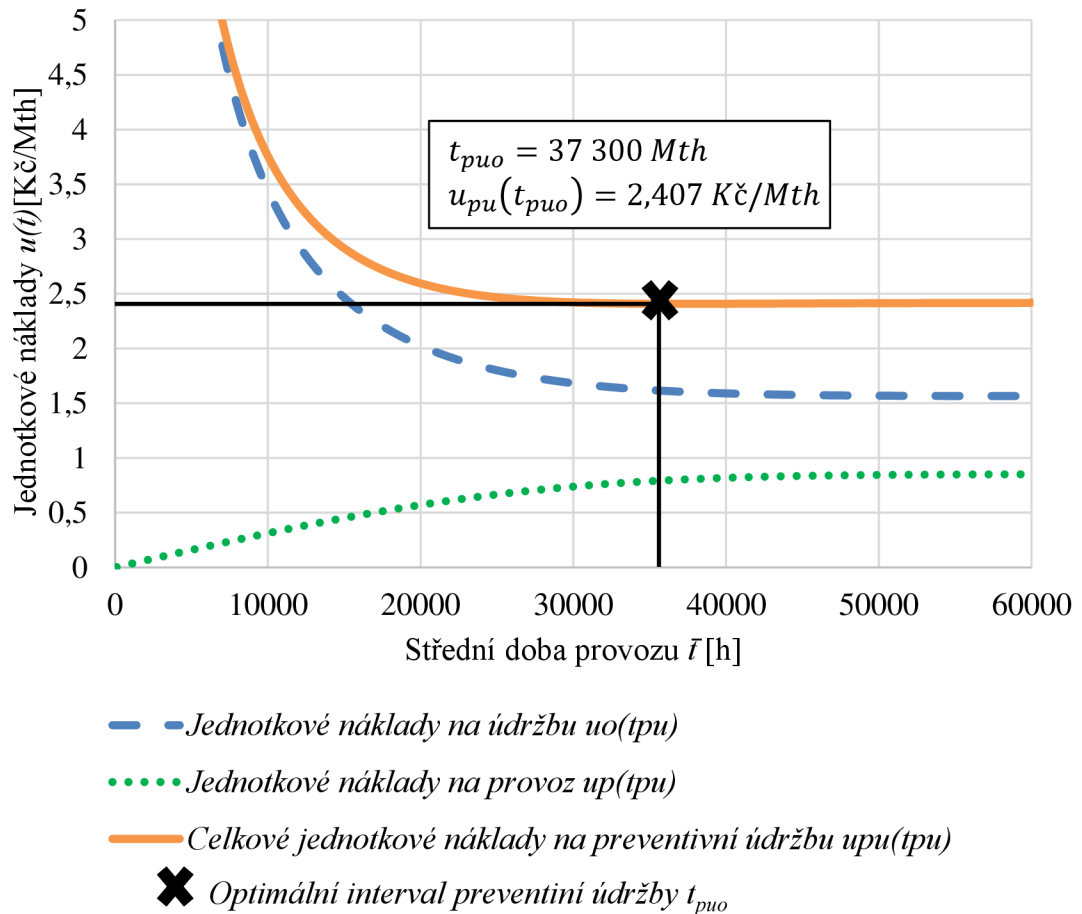


Obrázek 5.15: Závislost jednotkových nákladů na střední době provozu pro preventivní údržbu pro AL168483 Palivové čerpadlo

Optimální interval t_{puo} pro tuto část stroje má hodnotu 11 000 Mth při minimální hodnotě průměrných jednotkových nákladů 0,811 Kč/Mth. Je volena údržba preventivní.

Tabulka 5.21: Výpočty nákladové optimalizace údržby pro RE523318 Aktuátor turba

t_{pu} [100 Mth]	20	80	160	240	300	373	420	480	540	600
$F(t_{pu})$	0,007	0,110	0,373	0,650	0,806	0,921	0,960	0,985	0,995	0,999
$R(t_{pu})$	0,993	0,890	0,627	0,350	0,194	0,079	0,040	0,015	0,005	0,001
$t(t_{pu})$	1995,25	7699,63	13823,73	17697,25	19298,41	20246,50	20517,50	20671,70	20726,18	20701,09
$u_o(t_{pu})$	16,272	4,217	2,349	1,835	1,682	1,604	1,582	1,571	1,566	1,568
$u_p(t_{pu})$	0,064	0,253	0,477	0,649	0,738	0,804	0,827	0,842	0,848	0,852
$u_{pu}(t_{pu})$	16,336	4,469	2,825	2,484	2,421	2,407	2,409	2,413	2,415	2,421
Jednotkové náklady na preventivní údržbu $u_{pu}(t_{puo})$									2,407 Kč/Mth	
Optimální interval preventivní údržby t_{puo}									37 300 Mth	
Jednotkové náklady na údržbu po poruše $u_{up}(MOTTF)$									2,866 Kč/Mth	
Střední doba provozu do poruchy při údržbě po poruše $MOTTF$									20 750 Mth	

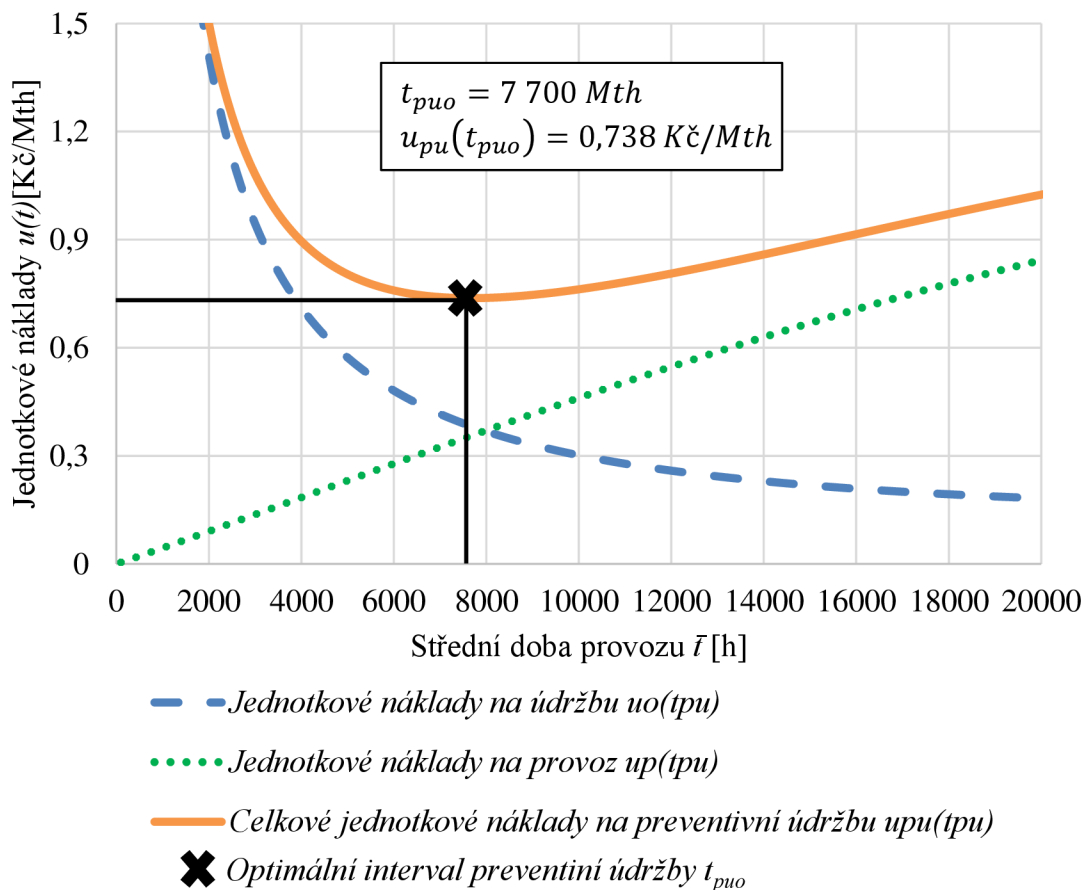


Obrázek 5.16: Závislost jednotkových nákladů na střední době provozu pro preventivní údržbu pro RE523318 Aktuátor turba

Optimální interval t_{puo} pro tuto část stroje má hodnotu 37 000 Mth. To je hodnota za běžným technickým životem traktoru. Je volena údržba po poruše.

Tabulka 5.22: Výpočty nákladové optimalizace údržby pro RE167207 Snímač tlaku oleje motoru

t_{pu} [100 Mth]	10	30	50	70	77	100	130	160	180	200
$F(t_{pu})$	0,002	0,018	0,051	0,098	0,118	0,192	0,305	0,426	0,506	0,583
$R(t_{pu})$	0,998	0,982	0,949	0,902	0,882	0,808	0,695	0,574	0,494	0,417
$t(t_{pu})$	999,45	2982,00	4915,65	6769,18	7393,73	9340,03	11598,04	13502,70	14570,57	15481,34
$u_o(t_{pu})$	2,818	0,944	0,573	0,416	0,381	0,301	0,243	0,209	0,193	0,182
$u_p(t_{pu})$	0,044	0,137	0,231	0,325	0,357	0,461	0,589	0,707	0,778	0,843
$u_{pu}(t_{pu})$	2,862	1,081	0,804	0,741	0,738	0,762	0,832	0,915	0,971	1,025
Jednotkové náklady na preventivní údržbu $u_{pu}(t_{puo})$									0,738 Kč/Mth	
Optimální interval preventivní údržby t_{puo}									7 700 Mth	
Jednotkové náklady na údržbu po poruše $u_{up}(MOTTF)$									1,332 Kč/Mth	
Střední doba provozu do poruchy při údržbě po poruše $MOTTF$									18 937 Mth	



Obrázek 5.17: Závislost jednotkových nákladů na střední době provozu pro preventivní údržbu pro RE167207 Snímač tlaku oleje motoru

Optimální interval t_{puo} pro tuto část stroje má hodnotu 7 700 Mth při minimální hodnotě průměrných jednotkových nákladů 0,738 Kč/Mth. Je volena údržba preventivní.

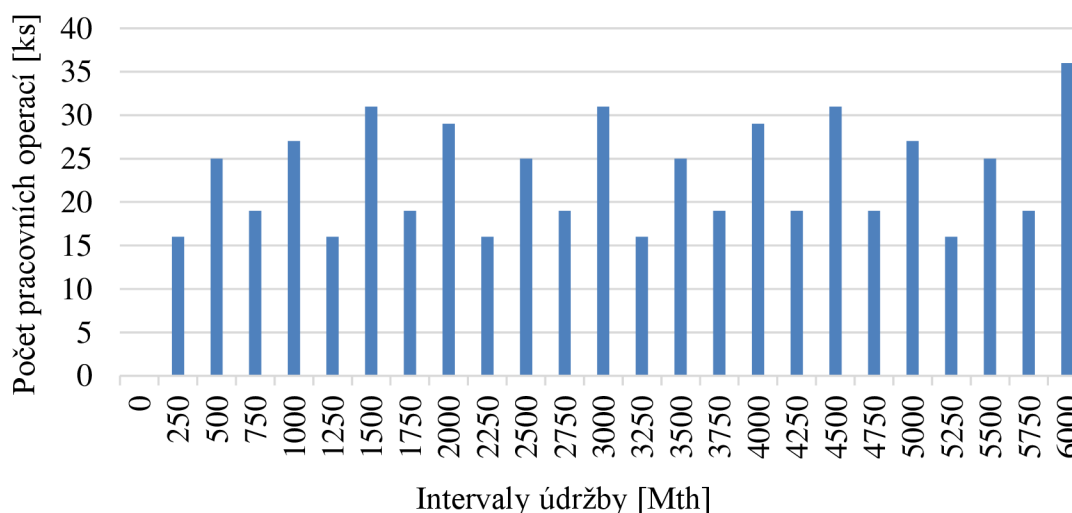
5.5 Sestavení programu preventivní údržby pro traktor JOHN DEERE 7530

Pokud je v kapitole 5.5 na základě výpočtů nákladové optimalizace zvolena pro vybrané části stroje jako vhodná politika údržby údržba preventivní, je vhodné pro stroj vytvořit program preventivní údržby. Pokud existuje program preventivní údržby předepsaný výrobcem, nabízí se možnost zařazení údržby vybraných částí stroje do jednoho ze stupňů tohoto programu. Sestavení programu údržby bude provedeno dle metodického postupu uvedeného v kapitole 4.6.

Pro traktor JOHN DEERE 7530 předepisuje program preventivní údržby výrobce. Přičemž každý stupeň údržby obsahuje pevně stanovené pracovní operace, které musejí být v rámci údržby provedeny. Základní interval preventivní údržby předepsaný výrobcem je 250 Mth. K základnímu intervalu se v periodách po 500, 750, 1 000, 1 500, 2 000 a 6 000 Mth přidružují další pracovní operace. [60] Počet pracovních operací v jednotlivých intervalech je v tabulce 5.23. Schéma základního cyklu periodických údržeb je znázorněno na obrázku 5.18.

Tabulka 5.23: Počet pracovních operací pro jednotlivé intervaly programu preventivní údržby předepsané výrobcem

Perioda	TÚ – 250 Mth	TÚ – 500 Mth	TÚ – 750 Mth	TÚ – 1 000 Mth	TÚ – 1 500 Mth	TÚ – 2 000 Mth	TÚ – 6 000 Mth
Počet operací	16	25	19	27	31	29	36



Obrázek 5.18: Schéma základního cyklu periodických údržeb předepsaných výrobcem

Pro zařazení vybraných částí stroje do programu výrobce bude provedena korekce intervalu preventivní údržby u vybraných částí stroje na nejbližší interval údržby v programu výrobce a kvantifikovány ekonomické dopady korekce, aby bylo možné určit vhodnost korekce. Do programu nebude zahrnuta část stroje RE523318 Aktuátor turba, protože optimální interval preventivní údržby této části stroje přesahuje předpokládaný technický život stroje. Korekce a kvantifikace je uvedena v tabulce 5.24.

Tabulka 5.24: Korekce intervalu preventivní údržby vybraných částí stroje podle programu preventivní údržby předepsané výrobcem

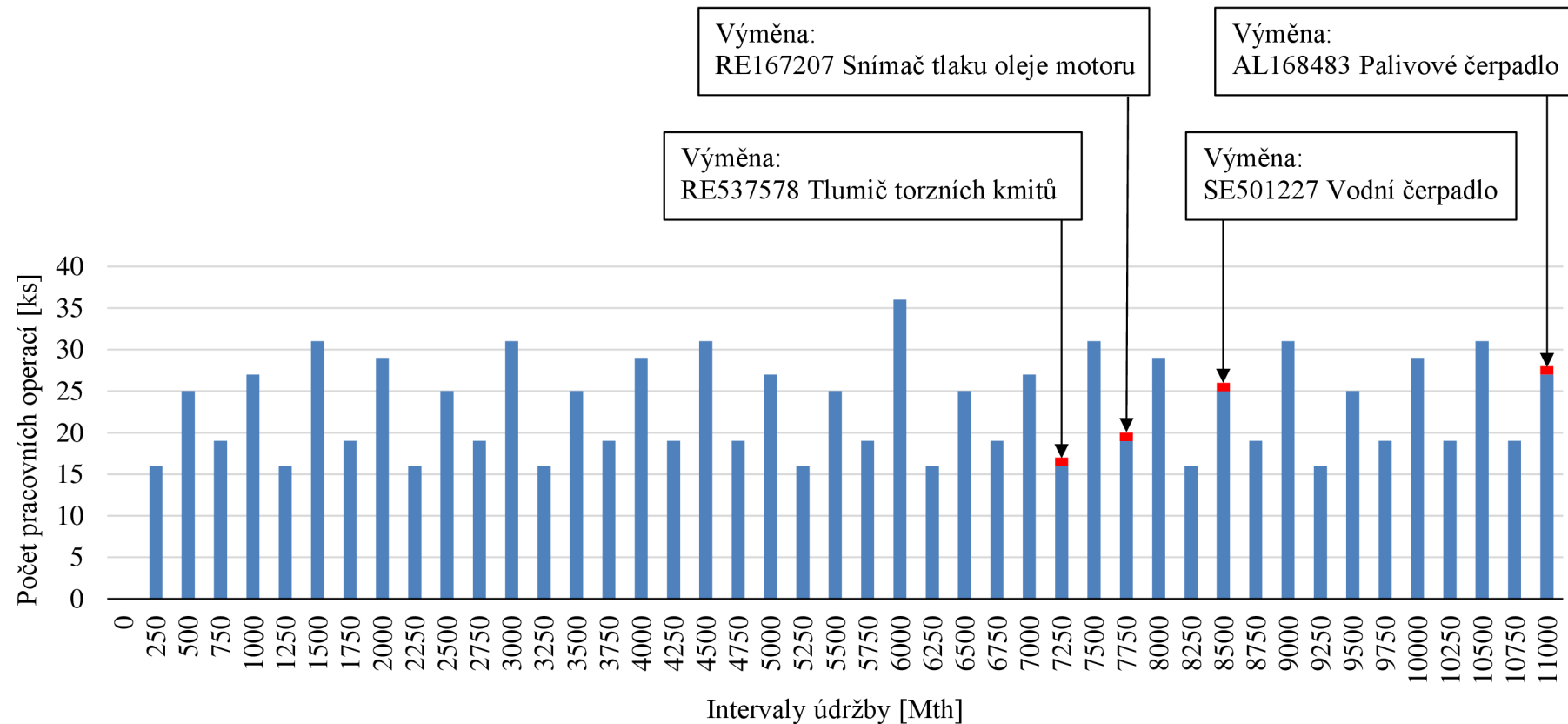
Část stroje	Režim	Interval	Jednotkové náklady na preventivní údržbu $u_{pu}(t_{pu})$
RE537578 Tlumič torzních kmitů	Optimalizace	7 200 Mth	2,257 Kč/Mth
	Korekce	7 250 Mth	2,257 Kč/Mth
SE501227 Vodní čerpadlo	Optimalizace	8 500 Mth	1,649 Kč/Mth
	Korekce	8 500 Mth	1,649 Kč/Mth
AL168483 Palivové čerpadlo	Optimalizace	11 000 Mth	0,811 Kč/Mth
	Korekce	11 000 Mth	0,811 Kč/Mth
RE167207 Snímač tlaku oleje motoru	Optimalizace	7 700 Mth	0,738 Kč/Mth
	Korekce	7 750 Mth	0,738 Kč/Mth

V tabulce 5.24 jsou jednotkové náklady na preventivní údržbu $u_{pu}(t_{pu})$ po korekci intervalů a zaokrouhlení rovny jednotkovým nákladům před korekcí. Ekonomické dopady jsou zanedbatelné. Sloučením pracovních operací do vybraných stupňů došlo ke snížení počtu plánovaných odstávek stroje což v rámci životního cyklu prodlouží užitečný život stroje.

Na základě korekce optimálních intervalů preventivní údržby a sloučením pracovních operací došlo ke vzniku nového programu preventivní údržby stroje s modifikovaným základním schématem základního cyklu periodických údržeb. Počet pracovních operací pro jednotlivé intervaly modifikovaného programu preventivní údržby jsou uvedeny v tabulce 5.25 a modifikované schéma základního cyklu je na obrázku 5.19.

Tabulka 5.25: Počet pracovních operací pro jednotlivé intervaly modifikovaného programu preventivní údržby

Perioda	TÚ – 250 Mth	TÚ – 500 Mth	TÚ – 750 Mth	TÚ – 1 000 Mth	TÚ – 1 500 Mth	TÚ – 2 000 Mth	TÚ – 6 000 Mth	TÚ – 7 250 Mth	TÚ – 7 750 Mth	TÚ – 8 500 Mth	TÚ – 11 000 Mth
Počet operací	16	25	19	27	31	29	36	17	20	26	28



Obrázek 5.19: Schéma modifikovaného základního cyklu periodických údržeb

5.6 Ekonomický efekt dosažený aplikací modifikovaného programu preventivní údržby

Ekonomický efekt bude ověřen prostřednictvím aplikace modifikovaného programu preventivní údržby na provozní data traktoru JOHN DEERE 7530 s výrobním číslem L07530K657655 a následným porovnáním celkových nákladů na údržbu N_{u1} a N_{u2} a optimálního bodu obnovy $t_{opt1}(t)$ a $t_{opt2}(t)$ před a po aplikaci programu.

5.6.1 Porovnání celkových nákladů na údržbu před a po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby

V tabulce 5.26 je uvedena struktura nákladů na údržbu vybraného traktoru získaná ze zkoumané databáze.

Tabulka 5.26: Náklady na údržbu traktoru JOHN DEERE 7530 L07530K657655

Doba provozu při odstávce [Mth]								
Náklady na údržbu								
99	100	196	334	495	750	1002	1252	1498
10 008 Kč	4 420 Kč	1 340 Kč	3 081 Kč	6 243 Kč	14 956 Kč	5 471 Kč	28 047 Kč	23 734 Kč
1600	1780	1999	2284	2509	3001	3097	3265	3508
20 670 Kč	3 148 Kč	13 207 Kč	6 632 Kč	6 775 Kč	25 303 Kč	3 658 Kč	3 598 Kč	6 147 Kč
3769	3973	4258	4536	4722	5028	5108	5251	5530
9 132 Kč	12 773 Kč	3 505 Kč	31 899 Kč	19 219 Kč	7 152 Kč	2 488 Kč	8 595 Kč	6 940 Kč
5753	6012	6369	6505	6510	6582	6746	6896	7011
5 072 Kč	28 937 Kč	20 637 Kč	94 538 Kč	4 532 Kč	1 100 Kč	7 745 Kč	83 933 Kč	9 708 Kč
7248	7505	7775	7827	7995	8120	8258	8309	8339
4 122 Kč	27 591 Kč	4 135 Kč	7 040 Kč	8 823 Kč	14 258 Kč	49 574 Kč	28 655 Kč	12 142 Kč
8529	8755	9021	9257	9517	9591	9719	9732	9992
57 508 Kč	14 645 Kč	33 856 Kč	9 308 Kč	7 297 Kč	17 148 Kč	2 819 Kč	15 079 Kč	17 962 Kč
10197	10220	10255	10501	10518	10780	10850	11214	11311
21 575 Kč	9 637 Kč	4 164 Kč	29 160 Kč	21 767 Kč	4 218 Kč	75 340 Kč	6 769 Kč	69 084 Kč
11420	15216	15486	15512	15625	15780	Celkem		
13 758 Kč	20 731 Kč	110 256 Kč	12 117 Kč	281 696 Kč	129 071 Kč	$N_u = 1\,685\,648$ Kč		

Zeleně označené jsou neplánované odstávky vyvolané poruchou strojních částí, obsažených v modifikovaném programu preventivní údržby. Pro výpočet ekonomického efektu z aplikace programu, budou do nákladů N_u na tyto odstávky počítány také náklady na zapůjčení stroje C_{zs} , a náklady na prostoj obsluhy N_{ob} . Předpokládá se odstávka trvající 3 dny z toho 1 den na prostoj obsluhy a 2 dny na zapůjčení stroje. Výpočet celkových nákladů na neplánované odstávku N_{upreal} je vyjádřen vztahem (5.3).

$$N_{upreal} = N_u + (2 \cdot C_{zs}) + N_{ob} \quad (5.3)$$

Kde:

N_{upreal}Náklady na údržbu včetně nákladů na zapůjčení stroje a prostoje obsluhy [Kč].

N_u Náklady na údržbu zaznamenané ve zkoumané databázi [Kč].

C_{zs}Náklady na zapůjčení stroje – nedodržení agrotechnické lhůty [Kč/den].

N_{ob} Náklady na prostoje obsluhy – vznikají při neplánované odstávce [Kč/den].

Výsledky výpočtu jsou v tabulce 5.27. Touto úpravou došlo také k navýšení celkových nákladů na údržbu N_{ul} . Změny jsou zaznamenány a zeleně vyznačeny v tabulce 5.28, která upravuje tabulku 5.26.

Tabulka 5.27: Navýšení nákladů na vybrané odstávky o náklady na zapůjčení stroje C_{zs} a prostoje obsluhy N_{ob}

Část stroje	Náklady na odstávky N_u	Náklady na zapůjčení stroje C_{zs} a prostoje obsluhy N_{ob}	Upravené náklady N_{upreal}
RE167207 Snímač tlaku oleje motoru	7 040 Kč	18 592 Kč	25 632 Kč
RE537578 Tlumič torzních kmitů	14 258 Kč	18 592 Kč	32 850 Kč
SE501227 Vodní čerpadlo	9 637 Kč	18 592 Kč	28 229 Kč
AL168483 Palivové čerpadlo	13 758 Kč	18 592 Kč	32 350 Kč

Tabulka 5.28: Náklady na údržbu traktoru JOHN DEERE 7530 L07530K657655 po započítání nákladů na zapůjčení stroje C_{zs} a prostoje obsluhy N_{ob}

Doba provozu při odstávce [Mth]								
Náklady na údržbu								
99	100	196	334	495	750	1002	1252	1498
10 008 Kč	4 420 Kč	1 340 Kč	3 081 Kč	6 243 Kč	14 956 Kč	5 471 Kč	28 047 Kč	23 734 Kč
1600	1780	1999	2284	2509	3001	3097	3265	3508
20 670 Kč	3 148 Kč	13 207 Kč	6 632 Kč	6 775 Kč	25 303 Kč	3 658 Kč	3 598 Kč	6 147 Kč
3769	3973	4258	4536	4722	5028	5108	5251	5530
9 132 Kč	12 773 Kč	3 505 Kč	31 899 Kč	19 219 Kč	7 152 Kč	2 488 Kč	8 595 Kč	6 940 Kč
5753	6012	6369	6505	6510	6582	6746	6896	7011
5 072 Kč	28 937 Kč	20 637 Kč	94 538 Kč	4 532 Kč	1 100 Kč	7 745 Kč	83 933 Kč	9 708 Kč
7248	7505	7775	7827	7995	8120	8258	8309	8339
4 122 Kč	27 591 Kč	4 135 Kč	25 632 Kč	8 823 Kč	32 850 Kč	49 574 Kč	28 655 Kč	12 142 Kč
8529	8755	9021	9257	9517	9591	9719	9732	9992
57 508 Kč	14 645 Kč	33 856 Kč	9 308 Kč	7 297 Kč	17 148 Kč	2 819 Kč	15 079 Kč	17 962 Kč
10197	10220	10255	10501	10518	10780	10850	11214	11311
21 575 Kč	28 229 Kč	4 164 Kč	29 160 Kč	21 767 Kč	4 218 Kč	75 340 Kč	6 769 Kč	69 084 Kč
11420	15216	15486	15512	15625	15780	Celkem		
32 350 Kč	20 731 Kč	110 256 Kč	12 117 Kč	281 696 Kč	129 071 Kč	$N_{ul} = 1\,760\,016$ Kč		

Na upravená provozní data traktoru zaznamenaná v tabulce 5.28 je aplikován modifikovaný program preventivní údržby uvedený v kapitole 5.5. Aplikací modifikovaného programu preventivní údržby byly sloučeny plánované odstávky podle programu preventivní údržby předepsané výrobcem a plánované odstávky stanovené na základě výpočtu optimálního intervalu preventivní údržby t_{puo} pro vybrané části stroje. Tyto části budou vyměněny v rámci předem předepsaných intervalů a dojde tak k eliminaci neplánovaných odstávek stroje vyvolaných jejich poruchou. Náklady na výměnu těchto částí budou odpovídat nákladům na preventivní údržbu N_{pu} vypočítaným podle vztahu (5.1) a uvedeným v tabulce 5.17.

V tabulce 5.29 je uvedeno v jaké době provozu došlo k plánovaným odstávkám podle programu preventivní údržby předepsané výrobcem a v jaké době provozu došlo k neplánovaným odstávkám, vyvolaných poruchou vybraných částí stroje. Stejnými barvami jsou označeny odstávky, které budou aplikací modifikovaného programu preventivní údržby sloučeny.

Tabulka 5.29: Odstávky traktoru JOHN DEERE 7530 L07530K657655

Plánovaná odstávka podle programu výrobce [Mth]	Údržba podle programu výrobce	Náklady na odstávku N_{pujd}
7 248	TÚ - 250 Mth	4 122 Kč
7 775	TÚ - 750 Mth	4 135 Kč
8 529	TÚ - 500 Mth	57 508 Kč
11 214	TÚ - 1 000 Mth	6 769 Kč
Neplánovaná odstávka vyvolaná poruchou částí stroje [Mth]	Měněná část stroje	Náklady na odstávku N_{pureal}
7 827	RE167207 Snímač tlaku oleje motonu	25 632 Kč
8 120	RE537578 Tlumič torzních kmitů	32 850 Kč
10 220	SE501227 Vodní čerpadlo	28 229 Kč
11 420	AL168483 Palivové čerpadlo	32 350 Kč

Výměnou těchto částí stroje před tím, než dojde k poruše, vzniknou náklady z nevyčerpání fyzického života N_{nfz} těchto částí stroje. Tyto náklady budou vypočítány pomocí vztahu (5.4). Výsledky jsou uvedeny v tabulce 5.30.

Náklady na plánované odstávky N_{pureal} po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby jsou dány součtem nákladů na plánované odstávky N_{pujd} uvedené v tabulce 5.29, nákladů na preventivní údržbu vybraných částí stroje N_{pu} uvedených v tabulce 5.17 a nákladů na ztráty z nevyčerpání fyzického života částí stroje N_{nfz}

uvedených v tabulce 5.30. Výpočet nákladů na plánované odstávky po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby N_{pureal} je dán vztahem (5.5). Výsledky jsou uvedeny v tabulce 5.31.

V tabulce 5.32 je uvedená struktura nákladů na údržbu a celkové náklady na údržbu N_{u2} po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby. V tabulkách 5.33 a 5.34 jsou uvedeny kumulativní náklady N_{uk1} před a N_{uk2} po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby na obrázku 5.20 pak jejich grafické znázornění.

$$N_{nf\check{z}} = \left(\frac{c_p}{t_{f\check{z}}} \right) \cdot (t_{f\check{z}} - t_p) \quad (5.4)$$

Kde:

$N_{nf\check{z}}$ Náklady z nevyčerpání fyzického života strojní části [Kč].

C_p Pořizovací cena strojní části [Kč].

$t_{f\check{z}}$ Doba fyzického života strojní části [Mth].

t_p Doba do provedení preventivní údržby [Mth].

$$N_{pureal} = N_{pu} + N_{nf\check{z}} + N_{pujd} \quad (5.5)$$

Kde:

N_{pureal} ...Reálné náklady na údržbu včetně nákladů z nevyčerpání fyzického života [Kč].

N_{pu} Náklady na preventivní údržbu částí stroje vypočítané podle vztahu (5.1) [Kč].

$N_{nf\check{z}}$Náklady vzniklé z nevyčerpání celého fyzického života částí stroje [Kč].

N_{pujd} Náklady na odstávky podle programu preventivní údržby výrobce [Kč].

Tabulka 5.30: Ztráty z nevyčerpání fyzického života částí stroje při výměně v rámci modifikovaného programu preventivní údržby pro JOHN DEERE 7530 L07530K657655

Část stroje	Doba do poruchy $t_{\check{z}}$ [Mth]	Plánovaná odstávka t_p [Mth]	Nevyčerpaný život části [Mth]	Cena části stroje C_p	Jednotkové náklady	Ztráta z nevyčerpání života $N_{\check{z}}$
RE167207 Snímač tlaku oleje motoru	7 827	7 775	52	3 100 Kč	0,40 Kč	21 Kč
RE537578 Tlumič torzních kmitů	8 120	7 248	872	9 437 Kč	1,16 Kč	1 013 Kč
SE501227 Vodní čerpadlo	10 220	8 529	1 691	7 365 Kč	0,72 Kč	1 219 Kč
AL168483 Palivové čerpadlo	11 420	11 214	206	5 235 Kč	0,46 Kč	94 Kč

Tabulka 5.31: Náklady na plánované odstávky po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby na reálná provozní data traktoru JOHN DEERE 7530 L07530K657655

Plánovaná odstávka podle modifikovaného programu preventivní údržby [Mth]	Údržba podle modifikovaného programu preventivní údržby	Náklady na odstávku N_{pureal}
7 248	TÚ – 7 250 Mth	16 188 Kč
7 775	TÚ – 7 750 Mth	6 972 Kč
8 529	TÚ – 8 500 Mth	67 637 Kč
11 214	TÚ – 11 000 Mth	12 223 Kč

Tabulka 5.32: Struktura nákladů na údržbu a celkové náklady na údržbu N_{u2} po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby na reálná provozní data traktoru JOHN DEERE 7530 L07530K657655

Doba provozu při odstávce [Mth]								
Náklady na údržbu								
99	100	196	334	495	750	1002	1252	1498
10 008 Kč	4 420 Kč	1 340 Kč	3 081 Kč	6 243 Kč	14 956 Kč	5 471 Kč	28 047 Kč	23 734 Kč
1600	1780	1999	2284	2509	3001	3097	3265	3508
20 670 Kč	3 148 Kč	13 207 Kč	6 632 Kč	6 775 Kč	25 303 Kč	3 658 Kč	3 598 Kč	6 147 Kč
3769	3973	4258	4536	4722	5028	5108	5251	5530
9 132 Kč	12 773 Kč	3 505 Kč	31 899 Kč	19 219 Kč	7 152 Kč	2 488 Kč	8 595 Kč	6 940 Kč
5753	6012	6369	6505	6510	6582	6746	6896	7011
5 072 Kč	28 937 Kč	20 637 Kč	94 538 Kč	4 532 Kč	1 100 Kč	7 745 Kč	83 933 Kč	9 708 Kč
7248	7505	7775	827	7995	8120	8258	8309	8339
16 188 Kč	27 591 Kč	6 972 Kč	25 332 Kč	8 823 Kč	32 330 Kč	49 574 Kč	28 655 Kč	12 142 Kč
8529	8755	9021	9257	9517	9591	9719	9732	9992
67 637 Kč	14 645 Kč	33 856 Kč	9 308 Kč	7 297 Kč	17 148 Kč	2 819 Kč	15 079 Kč	17 962 Kč
10197	10220	10255	10501	10518	10780	10850	11214	11311
21 575 Kč	28 229 Kč	4 164 Kč	29 160 Kč	21 767 Kč	4 218 Kč	75 340 Kč	12 223 Kč	69 084 Kč
1420	15216	15486	15512	15625	15780	Celkem		
32 750 Kč	20 731 Kč	110 256 Kč	12 117 Kč	281 696 Kč	129 071 Kč	$N_{u2} = 1 671 179$ Kč		

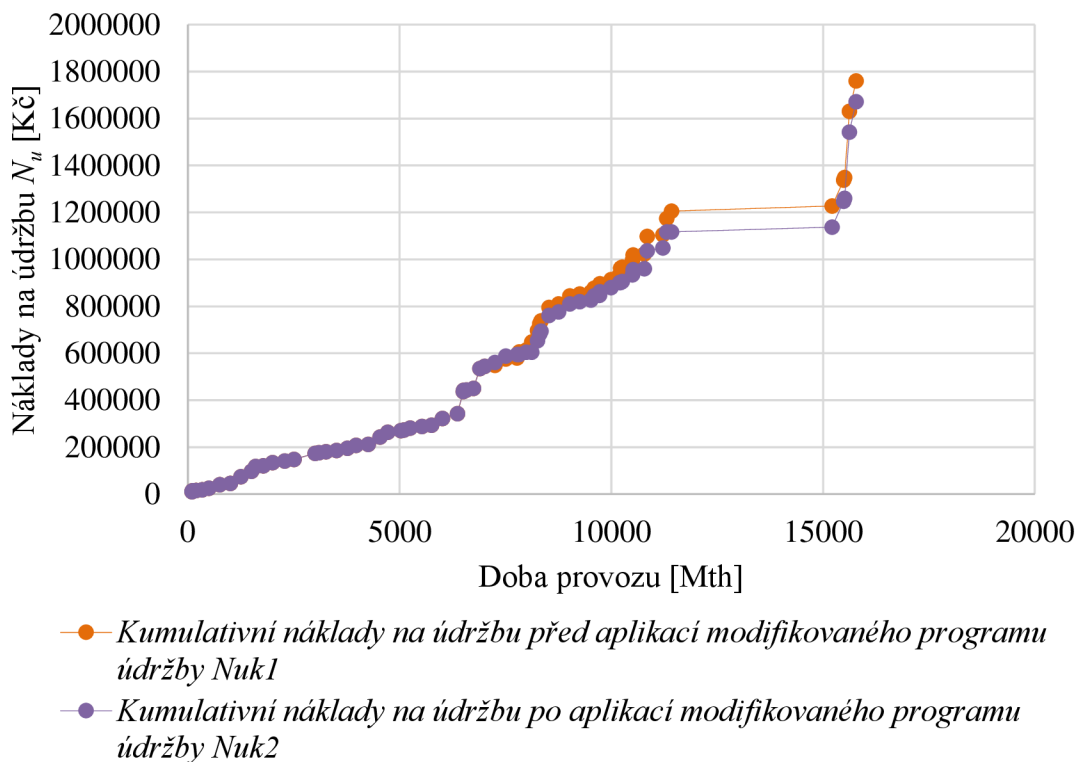
V tabulce 5.32 jsou odstávky zaniklé aplikací modifikovaného programu preventivní údržby označené křížkem. Zeleně označené jsou plánované odstávky podle modifikovaného programu preventivní údržby.

Tabulka 5.33: Kumulativní náklady na údržbu N_{uk1} před aplikací modifikovaného programu preventivní údržby

Doba provozu při odstávce [Mth]	Kumulativní náklady N_{uk1} [Kč]	Doba provozu při odstávce [Mth]	Kumulativní náklady N_{uk1} [Kč]	Doba provozu při odstávce [Mth]	Kumulativní náklady N_{uk1} [Kč]
99	10008	5108	272606	9257	853184
100	14428	5251	281201	9517	860480
196	15768	5530	288141	9591	877628
334	18849	5753	293213	9719	880447
495	25093	6012	322149	9732	895526
750	40048	6369	342787	9992	913488
1002	45519	6505	437324	9992	913488
1252	73566	6510	441856	10197	935063
1498	97300	6582	442956	10220	963292
1600	117970	6746	450701	10255	967456
1780	121117	6896	534634	10501	996616
1999	134325	7011	544342	10518	1018384
2284	140957	7248	548464	10780	1022602
2509	147732	7505	576056	10850	1097942
3001	173035	7775	580191	11214	1104711
3097	176693	7827	605823	11311	1173795
3265	180291	7995	614645	11420	1206145
3508	186438	8120	647495	15216	1226876
3769	195570	8258	697070	15486	1337132
3973	208343	8309	725725	15512	1349249
4258	211848	8339	737867	15625	1630945
4536	243747	8529	795375	15780	1760016
4722	262966	8755	810020		
5028	270118	9021	843875		

Tabulka 5.34: Kumulativní náklady na údržbu N_{uk2} po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby

Doba provozu při odstávce [Mth]	Kumulativní náklady N_{uk2} [Kč]	Doba provozu při odstávce [Mth]	Kumulativní náklady N_{uk2} [Kč]	Doba provozu při odstávce [Mth]	Kumulativní náklady N_{uk2} [Kč]
99	10008	5108	272606	9591	843907
100	14428	5251	281201	9719	846726
196	15768	5530	288141	9732	861805
334	18849	5753	293213	9992	879767
495	25093	6012	322149	10197	901342
750	40048	6369	342787	10255	905506
1002	45519	6505	437324	10255	905506
1252	73566	6510	441856	10501	934666
1498	97300	6582	442956	10518	956433
1600	117970	6746	450701	10780	960652
1780	121117	6896	534634	10850	1035992
1999	134325	7011	544342	11214	1048224
2284	140957	7248	560530	11311	1117308
2509	147732	7505	588121	15216	1138039
3001	173035	7775	595093	15486	1248295
3097	176693	7995	603916	15512	1260412
3265	180291	8258	653490	15625	1542108
3508	186438	8309	682145	15780	1671179
3769	195570	8339	694287		
3973	208343	8529	761653		
4258	211848	8755	776299		
4536	243747	9021	810154		
4722	262966	9257	819462		
5028	270118	9517	826759		



Obrázek 5.20: Kumulativní náklady na údržbu před N_{uk1} a po N_{uk2} aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby na reálná data vybraného traktoru

V 14 500 Mth provozu by měla podle modifikovaného programu preventivní údržby proběhnout výměna tlumiče torzních kmitů RE537578. Jelikož ve zkoumané databázi pro traktor JOHN DEERE 7530 L07530K657655 není zaznamenána údržba v intervalu 1 500 Mth dle programu preventivní údržby předepsané výrobcem, nebylo možné obě údržby sloučit. Z tohoto důvodu nebyla výměna zařazena do modelové aplikace na reálná data.

Důvodem neexistujícího záznamu o provedení preventivní údržby předepsané výrobcem ve zkoumané databázi je nejspíše fakt, že provozovatelé zemědělské techniky často u starších strojů upouštějí od realizace údržby prostřednictvím autorizovaného servisu a údržby si většinou v omezeném rozsahu provádějí sami kvůli úspoře provozních nákladů.

Díky aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby bylo dosaženo redukce odstávek z původních 69 na 65. A celkové náklady na údržbu byly sníženy z 1 760 016 Kč na 1 671 179 Kč tzn. došlo k poklesu celkových nákladů na údržbu o 5 %. Tento výsledek potvrzuje hypotézu H2.

5.6.2 Porovnání optimálního bodu obnovy před a po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby

Pro výpočet optimálního bodu obnovy stroje $t_{opt1}(t)$ před a $t_{opt2}(t)$ po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby je využita upravená rovnice obecné účelové funkce (vztah 5.6).

$$u(t) = \frac{N_{př} - N_{zu}(T) + N_u(t) + N_{phm}(t) + N_{om}(t) + N_{nfx}(t) - V_s(t)}{\bar{t}} = u_o(\bar{t}) + u_p(\bar{t}) \rightarrow \min \quad (5.6)$$

Kde:

$u(t)$ Střední hodnota průměrných jednotkových nákladů [Kč/Mth].

$N_{př}$ Pořizovací cena [Kč].

$N_{zu}(T)$ Tržní zůstatková cena závislá na době používání [Kč].

$N_u(t)$ Náklady na údržbu [Kč/Mth].

$N_{phm}(t)$ Náklady na pohonné hmoty [Kč/Mth].

$N_{om}(t)$ Náklady na mzdu obsluhy [Kč/Mth].

$N_{nfx}(t)$ Normativ fixních nákladů [Kč/Mth].

$V_s(t)$ Výnos z provozu stroje [Kč/Mth].

$u_o(\bar{t})$ Průměrné jednotkové náklady na obnovu [Kč/Mth].

$u_p(\bar{t})$ Průměrné jednotkové náklady na provoz [Kč/Mth].

Pro výpočet optimálního bodu obnovy stroje podle vztahu (5.6) je třeba doplnit, další nákladové položky. Základní údaje pro doplnění jsou uvedeny v tabulce 5.35.

Tabulka 5.35: Základní údaje vybraného traktoru

Stroj	Výrobní číslo	Provoz monitorován
Traktor JOHN DEERE 7530	L07530K657655	16. 11. 2010 – 5. 4. 2019
Výkon	Průměrná spotřeba	Doba provozu
136 kW	16 l/h	0 – 15 780 Mth
Pořizovací cena $N_{př}$	Náklady na údržbu N_u	Počet odstávek
2 137 000 Kč	1 685 648 Kč	69

Typ stroje, výrobní číslo, období, ve kterém je monitorován provoz stroje a doba provozu jsou uvedené ve zkoumané databázi. Výkon stroje uvádí návod k použití stroje [60]. Data o spotřebě databáze ani uživatelský návod neuvádějí, průměrná spotřeba dané výkonové třídy traktoru je převzata z normativů stanovených VÚZT (Výzkumný ústav zemědělské techniky), tabulka 5.36.

Tabulka 5.36: Investiční a provozní náklady strojů – Traktory kolové [61]

Název třídy	Pořizovací cena	Spotřeba PH	Doporučené roční nasazení	Náklady na 1 h provozu		
				Fixní	Variabilní	Celkové
	Kč	l.h ⁻¹	h.r ⁻¹	Kč.h ⁻¹	Kč.h ⁻¹	Kč.h ⁻¹
Traktory kolové 120 – 150 kW	3 750 000	16	1 600	296	807	1 103

Náklady na obnovu N_o se vypočítají jako rozdíl pořizovací ceny $N_{př}$ a zůstatkové ceny $N_{zu}(T)$. Tržní zůstatková cena byla stanovena na základě prodejních cen stejného typu traktoru s podobnou dobou provozu společnosti KOMILO s.r.o. Náklady na obnovu uvádí tabulka 5.37.

Tabulka 5.37: Náklady na obnovu N_o

Pořizovací cena $N_{př}$	Tržní zůstatková cena $N_{zu}(T)$	Náklady na obnovu N_o
2 137 000 Kč	882 083 Kč	1 254 917 Kč

Náklady na údržbu N_u jsou dány součtem nákladů na všechny odstávky stroje. Pro porovnání optimálního bodu obnovy $t_{opt1}(t)$ před a $t_{opt2}(t)$ po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby do výpočtu vstupují upravené náklady na údržbu N_{u1} a N_{u2} .

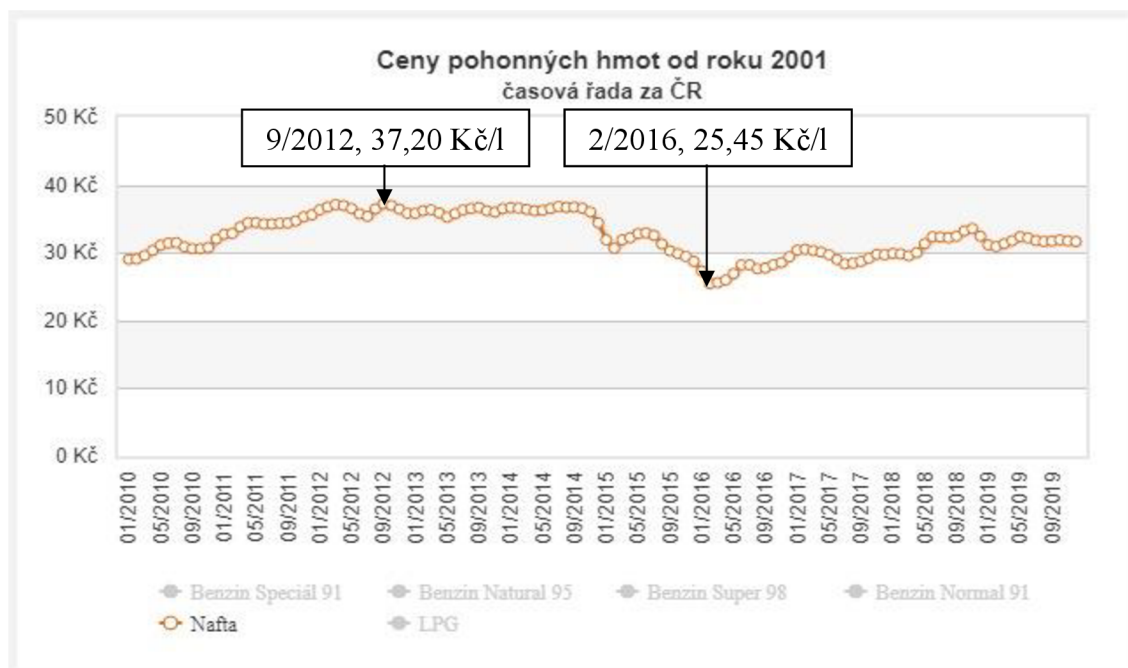
Náklady na mzdu obsluhy N_{om} jsou stanoveny na základě údajů ČSÚ pro pracovníky v zemědělství v roce 2021 na 224 Kč/h. Údaje se v rámci monitorovaného období provozu měnily, nicméně pro modelový výpočet je údaj dostatečný.

Fixní náklady jsou stanoveny pomocí normativu fixních nákladů N_{nfx} na 296 Kč/h. Normativ fixních nákladů je uveden v tabulce 5.36. Zahrnuje náklady na odpisy, garážování a pojištění. Náklady na odpisy jsou jen velmi hrubé kvůli rozdílu v pořizovací ceně uvedené v tabulce 5.35 a 5.36, nicméně pro modelový výpočet postačí.

Výnos z provozu stroje V_s je stanoven na základě ceny zapůjčení stroje společností KOMLIO s.r.o. pro traktor kolový, výkon od 120 kW do 150 kW pro rok 2021 na 1 050 Kč/h.

Náklady na pohonné hmoty N_{phm} jsou vypočítány násobením celkové doby provozu traktoru uvedené v tabulce 5.35, průměrné spotřeby uvedené v tabulce 5.36 a průměrné ceny nafty 31,325 Kč/l za období mezi lety 2010 – 2019, ve kterém je provoz

traktoru monitorován. Údaje o cenách nafty za sledované období jsou ze stránek ČSÚ. Vývoj cen nafty od roku 2010 do roku 2019 je zaznamenán na obrázku 5.21.



Obrázek 5.21: Ceny nafty 2010 – 2019 [62]

Náklady pro výpočet optimálního bodu obnovy stroje $t_{opi}(t)$ podle vztahu (5.6) jsou shrnuty v tabulce 5.38.

Tabulka 5.38: Náklady na obnovu a provoz traktoru JOHN DEERE 7530 L07530K657655

Zvolený stroj pro modelový výpočet		
Stroj	Výrobní číslo	Provoz monitorován
Traktor JOHN DEERE 7530	L07530K657655	16. 11. 2010 – 5. 4. 2019
Výkon	Průměrná spotřeba	Doba provozu
136 kW	16 l/h	0 – 15 780 Mth
Náklady na obnovu		
Pořizovací cena N_{pf}	Tržní zůstatková cena $N_{zu}(T)$	Náklady na obnovu N_o
2 137 000 Kč	882 083 Kč	1 254 917 Kč
Náklady na provoz		
Nákladová položka	Celkové náklady	Jednotkové náklady
Náklady na údržbu N_u	1 685 648 Kč	$u_u(t) = 107$ Kč/Mth
Náklady na pohonné hmoty N_{phm}	7 902 624 Kč	$u_{phm}(t) = 501$ Kč/Mth
Náklady na mzdu obsluhy N_{om}	3 534 720 Kč	$u_{om}(t) = 224$ Kč/Mth
Normativ fixních nákladů N_{nfx}	4 670 880 Kč	$u_{nfx}(t) = 296$ Kč/Mth
Výnos z provozu stroje V_s	16 569 000 Kč	$u_{vs}(t) = 1 050$ Kč/Mth

Pro posouzení dopadu aplikace modifikovaného programu preventivní údržby na optimální bod obnovy stroje do výpočtu vstoupí upravené náklady na údržbu před N_{u1} a po N_{u2} aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby. Upravené náklady na údržbu jsou uvedeny v tabulce 5.39. Pro úplnost jsou v tabulce také jednotkové náklady na údržbu $u_{u1}(t)$ a $u_{u2}(t)$.

Tabulka 5.39: Náklady na údržbu traktoru JOHN DEERE 7530 L07530K657655 před a po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby

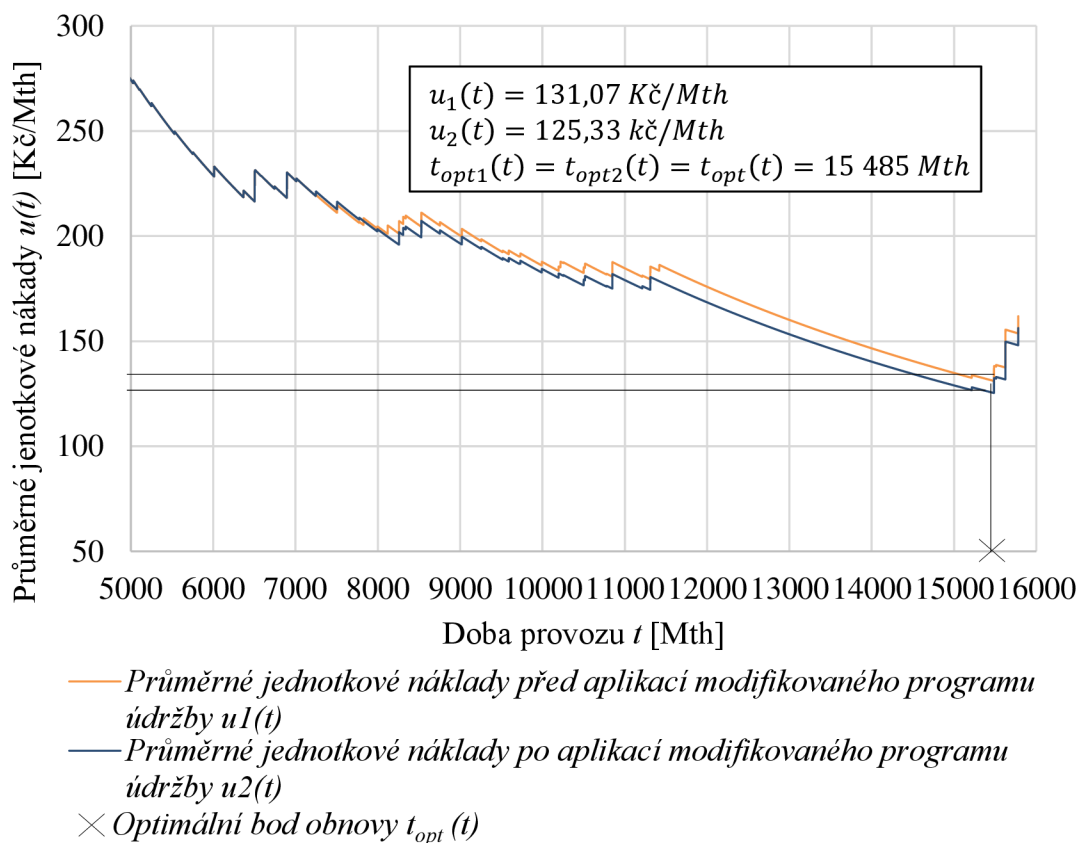
Nákladová položka	Celkové náklady	Jednotkové náklady
Náklady na údržbu N_{u1} před aplikací modifikovaného programu údržby	1 760 016 Kč	$u_{u1}(t) = 112$ Kč/Mth
Náklady na údržbu N_{u2} po aplikaci modifikovaného programu údržby	1 671 179 Kč	$u_{u2}(t) = 106$ Kč/Mth

V tabulce 5.40 jsou uvedeny vybrané části výsledků výpočtu optimálního bodu obnovy před $t_{opt1}(t)$ a po $t_{opt2}(t)$ aplikaci modifikovaného programu údržby na reálná data.

Tabulka 5.40: Výsledky výpočtu optimálního bodu obnovy před a po aplikaci modifikovaného programu údržby aplikovaného na reálná data vybraného traktoru

Mth	$u_o(t)$ [Kč/Mth]	N_{pk1} [Kč]	$u_{p1}(t)$ [Kč/Mth]	$u_1(t)$ [Kč/Mth]	N_{pk2} [Kč]	$u_{p2}(t)$ [Kč/Mth]	$u_2(t)$ [Kč/Mth]
99	12675,929	7117	71,89	12747,82	7117	71,89	12747,82
1002	1252,412	16260	16,23	1268,64	16260	16,23	1268,64
3001	418,166	85406	28,46	446,63	85406	28,46	446,63
5028	249,586	123301	24,52	274,11	123301	24,52	274,11
7011	178,993	339621	48,44	227,43	339621	48,44	227,43
9021	139,111	580462	64,35	203,46	546741	60,61	199,72
11420	109,888	872681	76,42	186,30	783844	68,64	178,53
15216	82,474	782568	51,43	133,90	693732	45,59	128,07
15485	81,041	774714	50,03	131,07	685877	44,29	125,33
15486	81,036	884940	57,14	138,18	796104	51,41	132,44
15512	80,900	896299	57,78	138,68	807462	52,05	132,95
15625	80,315	1174695	75,18	155,50	1085858	69,49	149,81
15780	79,526	1299240	82,33	161,86	1210403	76,70	156,23

Výpočty optimálního bodu obnovy byly provedeny s krokem 1 Mth. Do tabulky 5.40 byly zapsány pouze dílčí výsledky výpočtu, protože celá tabulka s výpočtem pro každou motohodinu je velice rozsáhlá. Zachycené dílčí výsledky jsou dostatečné pro představu o vývoji jednotlivých veličin v průběhu výpočtu. Na obrázku 5.22 je zobrazen graf průměrných jednotkových nákladů $u_1(t)$, $u_2(t)$ a optimální bod obnovy $t_{opt}(t)$.



Obrázek 5.22: Optimální bod obnovy před a po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby

Ve 2 sloupci tabulky 5.40 jsou zachyceny jednotkové náklady na obnovu $u_o(t)$. Ve 3 a 6 sloupci jsou uvedeny kumulativní náklady na provoz N_{pk1} a N_{pk2} do kterých jsou započítány veškeré nákladové položky uvedené v tabulce 5.38. Veličiny s dolním indexem 1 jsou veličiny pro výpočet optimálního bodu obnovy před aplikací modifikovaného programu preventivní údržby na reálná data a 2 pak po aplikaci. Do výpočtu nákladů na provoz N_{p1} a N_{p2} pak vstupují náklady na údržbu N_{u1} a N_{u2} uvedené v tabulce 5.39. Ve sloupcích 4 a 7 jsou uvedené jednotkové náklady na provoz $u_{p1}(t)$ a $u_{p2}(t)$. Ve sloupcích 5 a 8 jsou pak průměrné jednotkové náklady na obnovu a provoz $u_1(t)$ a $u_2(t)$.

Hodnoty kumulativních nákladů na provoz N_{pk1} a N_{pk2} , jednotkových nákladů na provoz $u_{p1}(t)$ a $u_{p2}(t)$ a průměrných jednotkových nákladů na obnovu a provoz $u_1(t)$ a $u_2(t)$ v průběhu výpočtu rostly a klesaly. Důvodem je, že byl do výpočtu zahrnut také výnos z provozu stroje. Rostoucích a klesajících hodnot si lze všimnout ve sloupcích 4 a 7

v tabulce 5.40. Dále je to patrné z obrázku 5.22, kde je vidět rozkmit křivek průměrných jednotkových nákladů na obnovu a provoz $u_1(t)$ a $u_2(t)$.

Optimální bod obnovy t_{opt} je v tabulce 5.40 vyznačen zeleně a na obrázku 5.22 křížkem. Před i po aplikace modifikovaného programu preventivní údržby vyšlo optimum v 15 485 Mth. Příčinou je vysoký nárůst nákladů na údržby na konci monitorovaného období provozu stroje. Tento nárůst je dobře patrný na obrázku 5.20.

Z výsledků vyplývá, že je vhodné sledovat nárůst provozních nákladů průběžně a optimální bod obnovy vypočítat před každou větší investicí. Při průběžném sledování optimálního bodu obnovy je vhodné do výpočtu začlenit požadovaný výnos na konci životního cyklu stroje jako kritérium včasné obnovy.

5.7 Návrh implementace metodického postupu pro optimalizaci údržby zemědělské techniky do ERP systému KARAT

Pro návrh implementace metodického postupu optimalizace údržby zemědělské techniky uvedeného v kapitolách 4.1 – 4.6 byl vybrán ERP systém KARAT používaný ve společnosti PEKASS a.s. Jedná se o komplexní podnikový informační systém („IS“) do, kterého lze integrovat a s jeho podporou následně řídit celou řadu firemních procesů z různých oblastí jako jsou personalistika, obchod, logistika, finance, servis atd. Systém je postavený na nástrojích od společnosti Microsoft. Jako úložiště dat slouží MS SQL Server, který využívá transakční zpracování dat. Velkou výhodou tohoto IS je otevřenost, která umožňuje úpravy vyvíjet uživatelem na firemní úrovni. Návrh implementace je rozdělen do tří částí pro které je nutné nalézt vhodné řešení.

1. Výběr vhodných částí stroje pro zařazení do programu preventivní údržby.
2. Nalezení optimálního intervalu preventivní údržby t_{puo} pro vybrané části stroje.
3. Generování požadavků na preventivní údržbu a jejich zpracování.

Návrh je zpracován do modulu Servis, jeho nadstaveb v podobě současných firemních řešení a dalších databází z dalších modulů, ze kterých je třeba pro úplnost záznamů data přenášet. Na obrázku 5.23 je struktura základní databáze, se kterou se bude v jednotlivých částech implementace pracovat. Pod obrázkem je popis jednotlivých tabulek.



Obrázek 5.23: Struktura základní databáze pro implementaci

Typy zařízení – číselník, který obsahuje seznam skupin, do kterých lze výrobní zařízení zařadit. Typy zařízení lze diferencovat podle společných znaků jako jednoho výrobce, dodavatele náhradních dílů, podle stejných intervalů údržby, délky záruky. Pro jednotlivé typy zařízení lze v IS KARAT vytvářet programy údržby.

Zařízení – číselník představuje evidenci konkrétních výrobních zařízení nebo jejich částí, které jsou přiřazeny definovaným typům zařízení.

Znalostní báze řešení případů – obsahuje definice požadavků na materiál a zdroje pro konkrétní případ údržby daného typu výrobního zařízení.

Nomenklatury – základní seznam skladovatelných i neskladovatelných položek, ze kterého se odvozují skladové karty na jednotlivé sklady. A zároveň seznam položek typu obecná (služba, poplatek), které systém používá např. pro realizaci fakturace jiných, než skladovatelných položek jako je práce servisu, recyklační příspěvek apod.

Požadavky na preventivní údržbu – seznam požadavků na údržby pro jednotlivé stroje. Požadavky na preventivní údržbu jsou součástí firemního řešení společnosti PEKASS a.s, které pomáhá manažerům údržby plánovat jednotlivé zásahy údržby na základě doby provozu strojů. Jednotkami doby provozu jsou dny [Den], motohodiny [Mth] a hektary [Ha]. Do tohoto přehledu se generují požadavky na preventivní údržbu vybraných typů zařízení na základě předepsaného programu údržby. Znalostní báze řešení případů obsahuje k jednotlivým požadavkům na údržbu řešení, která definují seznam potřebných náhradních dílů, pracovních operací a jejich časových norem. Z přehledu Požadavky na preventivní údržbu lze generovat servisní zakázku, do které se

přenesou náhradní díly a pracovní operace na základě definice ve Znalostní bázi řešení případů pro daný typ zařízení. Po potvrzení servisní zakázky se objednájí náhradní díly a do kapacitního kalendáře se zapíše datum provedení údržby.

Servisní zakázky – seznam všech realizovaných servisních případů. Základní seznamy servisních případů jsou rozděleny podle roku provedení a servisního střediska, které je realizovalo.

Realizace servisních zakázek – seznam představuje uskutečněné realizace servisních zakázek. Obsahuje všechny zrealizované servisní výdeje náhradních dílů a uskutečněné pracovní operace. Do seznamu nelze pořizovat nové záznamy jinak než prostřednictvím servisních zakázek. Slouží jako operativní nástroj nad realizacemi.

5.7.1 Výběr vhodných částí stroje pro zařazení do programu preventivní údržby v IS KARAT

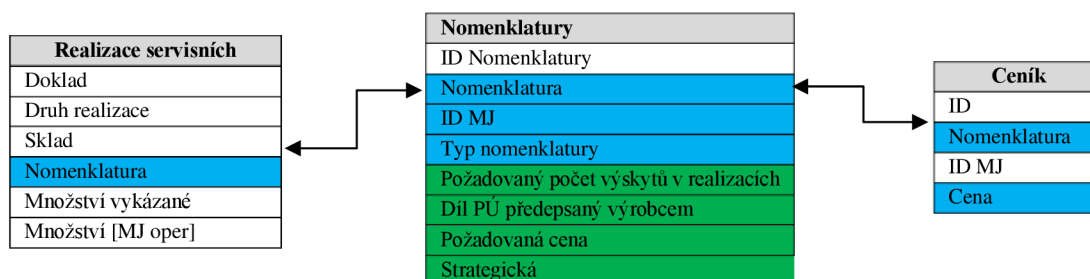
Výběr vhodných částí stroje pro zařazení do programu preventivní údržby bude probíhat pomocí filtrování nomenklatur. Nomenklatura je nejvhodnější entitou z důvodu provázanosti do dalších tabulek, které obsahují potřebné údaje pro filtrování a následné výpočty. Výběr vhodných částí stroje bude probíhat ve dvou fázích. V první fázi budou vybrány vhodné nomenklatury na základě zvolených atributů. Ve druhé fázi proběhne výpočet parametru tvaru α , měřítka β Weibullova rozdělení, koeficientu determinace r^2 a střední doby do poruchy *MOTTF*. Na základě jejich hodnot pak proběhne finální výběr vhodných částí stroje pro výpočet optimálního intervalu preventivní údržbu t_{puo} .

5.7.1.1 Výběr vhodných částí pro další zpracování z hlediska systémových parametrů a kritičnosti v IS KARAT

V první fázi je třeba vybrat vhodné části k dalšímu zpracování podle systémových parametrů a kritičnosti. Nejprve je třeba očistit vstupní data o nomenklatury, které:

- zastupují jinou položku než zboží (jako např. službu, poplatek),
- nebyly použity při realizaci servisních zakázek,
- zastupují provozní kapaliny,
- zastupují náhradní díly používané při preventivní údržbě předepsané výrobcem (provozní kapaliny, filtry, řemeny apod.),
- zastupují spojovací materiál, mazací tuky a další spotřební materiál.

Na základě výše uvedených kritérií lze připravit algoritmus pro filtrování vhodných nomenklatur. Filtr lze vytvořit na základě údajů v jednotlivých tabulkách databáze, které obsahují záznamy nomenklatur. Na obrázku 5.24 je vyobrazena část databáze, do které je řešení implementováno.



Obrázek 5.24: Struktura databáze pro implementaci výběru nomenklatur pro další zpracování

Barevně označené sloupce jsou ty, s nimiž se v rámci řešení pracuje. Modře označené jsou sloupce standardní. Zeleně označené jsou sloupce firemní, které bylo třeba vytvořit. Ostatní sloupce jsou uvedeny pro názornou představu o tom, jaké údaje tabulky obsahují, ale v rámci implementace daného řešení se s nimi nepracuje. V tabulce 5.41 jsou uvedeny sloupce podle, kterých se řídí filtrování nomenklatur pro další zpracování a hodnoty, kterých sloupce nabývají.

Tabulka 5.41: Hodnoty vybraných sloupců nomenklatur vhodných pro další zpracování

Sloupec	Nabývá hodnot	Požadovaná hodnota
ID MJ	Hodnoty uvedené v tabulce Číselník – měrných jednotek	KS
Typ nomenklatury	zboží, polotovar, výrobek, materiál, nástroj, obal, obecná, související náklad	zboží
Požadovaný počet výskytů v realizacích	ANO/NE	ANO
Díl PÚ předepsaný výrobcem	ANO/NE	NE
Požadovaná cena	ANO/NE	ANO
Strategická	ANO/NE	ANO

Sloupec ID MJ nabývá hodnot uvedených v tabulce Číselník – měrných jednotek. Jsou to měrné jednotky, kterých číselník obsahuje celou řadu a lze je libovolně doplňovat. Z tohoto důvodu nejsou jednotlivé hodnoty v tabulce 5.41 vypsány. Požadovaná hodnota

je KS, tato hodnota znamená kus. Tímto parametrem je zajištěno, že jsou vyřazeny nomenklatury, které zastupují provozní kapaliny (L – litr), hadice na metráž (M – metr) apod. Pro sloupec Typ nomenklatury je v tabulce 5.41 uveden seznam typů. Typy nomenklatury jsou v IS definovány jako hodnoty vázané na sloupec. Tento sloupec není vytvořený na firemní úrovni, ale je součástí základního IS, což znamená, že nelze hodnoty, kterých sloupec nabývá doplňovat. Hodnoty jsou neměnné a lze si pouze vybrat jeden z typů. Každý typ nomenklatury přiřazuje nomenklatuře různé atributy a možnosti zápisu do vybraných tabulek, které s typem souvisejí. Požadovaná hodnota Zboží znamená, že se z nomenklatury dále generují skladové karty a že má vazbu na tabulku s ceníkovými položkami. Tímto parametrem je z pohledu filtrování v tabulce Realizace servisních zakázek zajištěno, aby se do výběru pro další zpracování nedostaly nomenklatury, které nejsou náhradní díl. Jedná se hlavně o pracovní operace vykázané k servisním zakázkám.

Sloupec Požadovaný počet výskytů v realizacích, Díl PÚ (preventivní údržba) předepsaný výrobcem, Strategická a Požadovaná cena jsou sloupce, které jsou vytvořené na firemní úrovni. Tzn. pouze za účelem implementace popisovaného řešení. Sloupec Požadovaný počet výskytů v realizacích nabývá hodnoty ANO v případě, že počet záznamů nomenklatury je v tabulce Realizace servisních zakázek > 9. To znamená, že k dalšímu zpracování se dostanou jen takové části stroje, které měly 10 a více poruch. Každý záznam nomenklatury typu zboží s měrnou jednotkou KS v tabulce Realizace servisních zakázek je výdejem náhradního dílu k dané servisní zakázce. Dá se tedy předpokládat, že každý výdej náhradního dílu do servisní zakázky byl za účelem výměny dílu, což v podstatě znamená, že došlo k poruše části stroje.

Sloupec Díl PÚ předepsané výrobcem nabývá hodnoty NE v případě, že se nejedná o náhradní díl měněný na základě programu preventivní údržby předepsané výrobcem. Sloupec Požadovaná cena nabývá hodnoty ANO v případě, že nomenklatura je vázána k položce tabulky Ceník, která má ve sloupci Cena hodnotu > 5 000. Tímto parametrem je zajištěno, že při zpracování neprojde filtrem spojovací materiál, mazací tuky, další pomocný a spotřební materiál a části stroje, které nejsou z hlediska pořizovacích nákladů kritické. Sloupec Strategická nabývá hodnot ANO, nebo NE. Je editovatelný manažerem údržby a manažer údržby ho edituje na základě vlastní úvahy. Tento sloupec byl vytvořen pro situace, kdy se manažer údržby rozhodne, že k dalšímu zpracování je vhodné uvolnit

nomenklaturu, která je v IS vázána k nižší ceně než 5 000 Kč. Manažer údržby má tedy možnost nastavit hodnotu sloupce Strategická na ANO a tím pádem se nebere v úvahu cena nomenklatury. Pro postoupení nomenklatury ke zpracování existují tři kombinace. Tyto kombinace jsou uvedeny v tabulce 5.42. Na obrázcích 5.25 a 5.26 je náhled na řešení výběru vhodných částí pro další zpracování v IS KARAT.

Tabulka 5.42: Kombinace hodnot umožňující postoupení nomenklatury k dalšímu zpracování

Sloupec	Požadovaná hodnota		
	KS	KS	KS
ID MJ	KS	KS	KS
Typ nomenklatury	zboží	zboží	zboží
Požadovaný počet výskytů v realizacích	ANO	ANO	ANO
Díl PÚ předepsaný výrobcem	NE	NE	NE
Požadovaná cena	ANO	ANO	NE
Strategická	NE	ANO	ANO

Nomenklatura	Název	ID MJ	Typ nomenklatury	Požadovaný počet výskytů v realizacích	Díl PÚ předepsaný výrobcem	Požadovaná cena	Strategická
1JCB20/925471	Čerpadlo řízení/pružení	KS	zboží	Ano	Ne	Ano	Ne
1JCB25/407900	Hydraulický rozvaděč 4 dliný	KS	zboží	Ano	Ne	Ano	Ne
1JCB320/04510	Těsnění vodní pumpy	KS	zboží	Ano	Ne	Ne	Ano
1JCB332/L5454	Převodovka předního PTO	KS	zboží	Ano	Ne	Ano	Ne
1JCB334/U4705	Duální řízení Orbitrol	KS	zboží	Ano	Ne	Ano	Ne
1JCB335/C7120	Hydraulické čerpadlo 71cc-DA WOUND OUT	KS	zboží	Ano	Ne	Ano	Ne
1JCB401/N8756	Torzní tlumič	KS	zboží	Ano	Ne	Ano	Ne
1JCB458/M9081	Diferenciál zadní nápravy s přírubou	KS	zboží	Ano	Ne	Ano	Ne

Obrázek 5.25: Vybrané nomenklatury pro další zpracování v IS KARAT

The screenshot shows the configuration page for a part in the IS KARAT system. The 'Identifikace nomenklatury' section includes fields for 'Skupina nomenklatur' (JCBOST), 'Výrobce' (JCB), 'Číslo výrobce' (20/925471), 'Nomenklatura' (1JCB20/925471), 'Název' (Čerpadlo řízení/pružení), and 'Cizojazyčný název' (Pump steering/susp). The 'Typ nomenklatury' is set to 'zboží' and 'Platnost' is 'Ano'. The 'Vlastnosti' section shows 'Automaticky generovat karty' set to 'Ano' and 'Měrná jednotka' set to 'Kus'. The 'Konfigurace nomenklatury' section has 'Typ konfigurace' and 'Rozlišení konfigurace' set to 'Nezadáno'. The 'Parametry nomenklatury' section has 'Typ parametrů' and 'Rozlišení parametrů' set to 'Nezadáno'. The 'Parametry pro vstup nomenklatury do tabulky částí strojů pro preventivní údržbu' section is highlighted with a red box and shows: 'Požadovaný počet výskytů v realizacích' set to 'Ano', 'Díl PÚ předepsaný výrobcem' set to 'Ne', 'Požadovaná cena' set to 'Ano', and 'Strategická' set to 'Ne'.

Obrázek 5.26: Detail nomenklatury v IS KARAT s vyznačenými sloupci použitými pro filtrování

Způsob výběru vhodných částí stroje pro další zpracování je odlišný od řešení použitého v kapitole 5.1, kde byla na základě vztahu (4.1) stanovena míra kritičnosti a následně proveden výběr vhodných částí stroje pro další zpracování. Zvolený postup umožňuje zachytit větší množství částí stroje, které mohou být svou povahou kritické. Práce s databázovým systémem dává větší možnosti a výpočetní kapacitu při práci s daty než zpracování ruční.

Pokud by výše uvedené filtrování nomenklatur bylo vynecháno, zatížilo by to enormně výpočetní kapacitu serveru a výrazně by to znepráhlednilo výsledky, protože by k dalšímu zpracování propadly všechny nomenklatury, která by byly zaznamenány v tabulce Realizace servisních zakázek.

5.7.1.2 Výběr vhodných částí stroje pro nákladovou optimalizaci programu údržby v IS KARAT

Při výpočtu parametrů Weibullova rozdělení bude postupováno dle metodického postupu uvedeného v kapitole 4.2. Výběr vhodných částí stroje pro nákladovou optimalizaci bude probíhat na základě hodnot parametru α , střední doby do poruchy *MOTTF* a koeficient determinace r^2 uvedených v tabulce 5.43.

Tabulka 5.43: Vstupní parametry pro nákladovou optimalizaci

Parametr	Hodnota
Parametr tvaru α	> 1
Střední doba do poruchy <i>MOTTF</i>	< 30 000 Mth
Koeficient determinace r^2	> 0,7

Na úrovni IS KARAT je třeba vytvořit tabulku, do které budou zaznamenány údaje o poruchách částí stroje, které se dostaly k dalšímu zpracování prostřednictvím filtru uvedeném v předchozí kapitole. V této tabulce budou nad vybranými sloupci algoritmizované výpočty uvedené v kapitole 4.2.

Tabulka bude v rámci IS nazvána Parametry Weibullova rozdělení. Data pro výpočet parametrů Weibullova rozdělení do této tabulky budou přenášena z tabulky Realizace servisních zakázek. Pro každou nomenklaturu budou v tabulce zaznamenány všechny její výskyty v tabulce Realizace servisních zakázek s přiřazeným pořadovým číslem výskytu a dobou provozu, při které výskyt nastal (výskyt znamená, že došlo k poruše).

Pro zaznamenání aktuální doby provozu stroje při vzniku záznamu do tabulky Realizace servisních zakázek byly v tabulce Realizace servisních zakázek vytvořeny firemní sloupce s názvem Akt. opotřebení a MJ opotřebení.

Do těchto sloupců se přenášejí hodnoty z tabulky Servisní zakázka, kde je doba provozu zaznamenána obsluhou IS při přijetí stroje na servis, nebo přenesena z tabulky Zařízení, kde je pro každý stroj průběžně aktualizována prostřednictvím API komunikace ze serveru výrobce. Ke každému záznamu v tabulce Realizace servisních zakázek je tak uvedena doba provozu, jak je vidět na obrázku 5.27.

Doklad	Druh realizace	Sklad	Nomenklatura	Název	Akt. opotřebení	MJ opotřebení
2310010100000006	Výdej materiálu	101	1JCB716/E0156	Relé 35/20A 12V (balení po 2ks)	7 500	MTH
2310010100000006	Výdej materiálu	101	1JCB32/925755	Naftový filtr	7 500	MTH
2310010100000006	Výdej materiálu	101	1JCB32/925568	Miska paliv. filtru	7 500	MTH
2310010100000006	Výdej materiálu	101	1JCB32/925671	Sada těsnění paliv. filtru	7 500	MTH
2310010100000006	Výdej materiálu	101	1JCB716/30174	Cívka žhavení	7 500	MTH
2310010100000006	Výdej materiálu	101	1JCB332/V0398	Trubka výfuku - vlnovec	7 500	MTH
2310010100000008	Výdej materiálu	101	1JCB333/S9653R	Motor Cummins komplet	13 157	MTH
2310010100000008	Výdej materiálu	101	1JCB331/42498	Unašeč	13 157	MTH
2310010100000008	Výdej materiálu	101	1JCB02/912539	Řemen klínový klimatizace	13 157	MTH
2310010100000008	Výdej materiálu	101	1JCB831/10423	Pouzdro	13 157	MTH
2310010100000008	Výdej materiálu	101	1JCB331/39214	Silentblok motoru	13 157	MTH
2310010100000008	Výdej materiálu	101	1JCB331/39194	Silentblok motoru	13 157	MTH
2310010100000008	Výdej materiálu	101	1JCB04/600546	Unašeč	13 157	MTH
2310010100000008	Výdej materiálu	101	1JCB335/G8750	Zátka výpustě	13 157	MTH
2310010100000009	Výdej materiálu	101	1JCB32/925683	Vzduchový filtr (jemný)	3 000	MTH
2310010100000009	Výdej materiálu	101	1JCB333/D2696	Vzduchový filtr motor (hrubý)	3 000	MTH
2310010100000009	Výdej materiálu	101	1JCB320/A7351	Palivový filtr (jemný)	3 000	MTH

Obrázek 5.27: Realizace servisních zakázek – záznam opotřebení

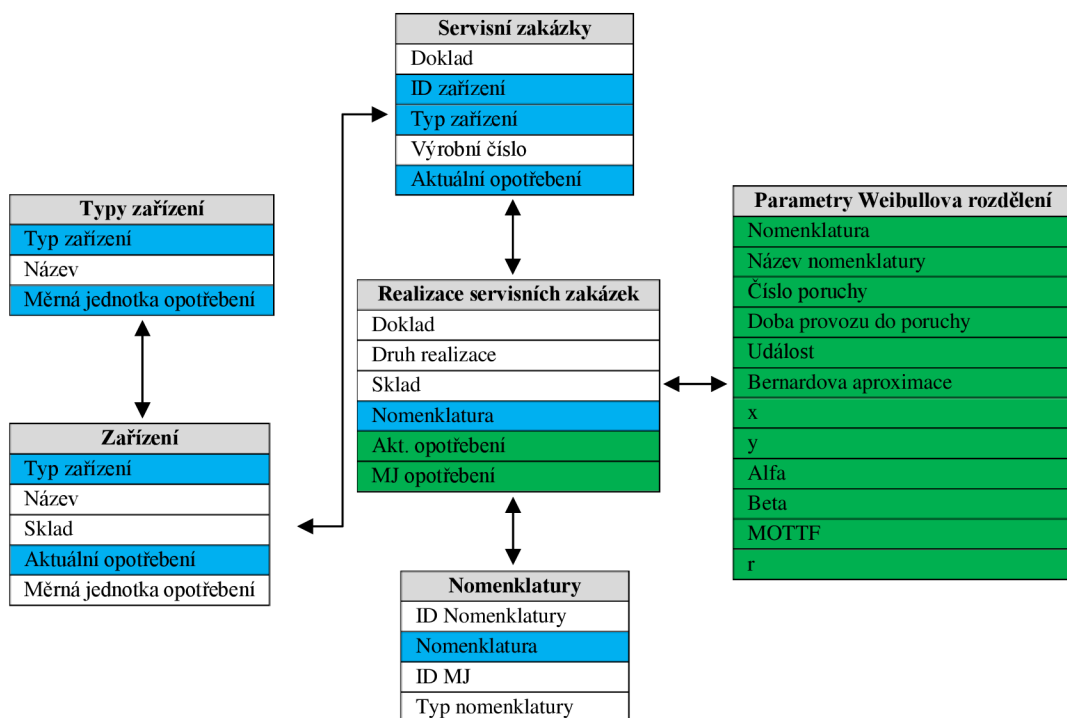
Dále je třeba zajistit, aby se do tabulky Parametry Weibullova rozdělení plnily záznamy neúplných pozorování. To je zajištěno prostřednictvím záznamů v tabulce Typy zařízení.

Záznamy v tabulce Typy zařízení slučují stroje uvedené v tabulce Zařízení do skupin podle určitých znaků. Takovou skupinou je např. skupina s názvem Manipulátory JCB 531 – 541T4F. Každé zařízení v tabulce Zařízení je začleněno pod určitý typ zařízení. Jinými slovy je zahrnuto do určité skupiny. Záznam o neúplném pozorování vznikne tak, že si IS ověří, zda pro danou servisní zakázku existuje záznam nomenklatury

v tabulce Realizace servisních zakázek, která odpovídá parametrům filtru uvedeného v minulé kapitole a záznam nomenklatury se již objevil v jiné servisní zakázce, která byla založena na zařízení, které patří pod stejný typ zařízení. Pokud pro založenou servisní zakázku neexistuje záznam takové nomenklatury v tabulce Realizace servisních zakázek, vznikne záznam o neúplném pozorování pro danou část stroje do tabulky Parametry Weibullova rozdělení s příslušným pořadovým číslem a dobou provozu uvedené v servisní zakázce. Na obrázku 5.28 je pohled na tabulku Parametry Weibullova rozdělení v IS KARAT. Na obrázku 5.29 je graficky znázorněna část databáze, do které je řešení implementováno.

	Nomenklatura	Název nomenklatury	Číslo události	Číslo poruchy	Doba provozu do poruchy	Událost	Bernardova aproximace	x	y	Alfa	Beta	MOTTF	r
	1JCB20/925471	Čerpadlo řízení/pružení	1	1		7 Porucha	0,0036	1,9459	-5,6144	0,6284	1 335,8700	1897	0,85
	1JCB20/925471	Čerpadlo řízení/pružení	2	2		90 Porucha	0,0088	4,4998	-4,7245	0,6284	1 335,8700	1897	0,85
	1JCB20/925471	Čerpadlo řízení/pružení	3	0		187 Vyloučení	0,0000	0,0000	0,0000	0,6284	1 335,8700	1897	0,85
	1JCB20/925471	Čerpadlo řízení/pružení	4	0		354 Vyloučení	0,0000	0,0000	0,0000	0,6284	1 335,8700	1897	0,85
	1JCB20/925471	Čerpadlo řízení/pružení	5	3		542 Porucha	0,0141	6,2953	-4,2553	0,6284	1 335,8700	1897	0,85
	1JCB20/925471	Čerpadlo řízení/pružení	6	0		780 Vyloučení	0,0000	0,0000	0,0000	0,6284	1 335,8700	1897	0,85
	1JCB20/925471	Čerpadlo řízení/pružení	7	0		780 Vyloučení	0,0000	0,0000	0,0000	0,6284	1 335,8700	1897	0,85
	1JCB20/925471	Čerpadlo řízení/pružení	8	4		860 Porucha	0,0194	6,7569	-3,9328	0,6284	1 335,8700	1897	0,85
	1JCB20/925471	Čerpadlo řízení/pružení	9	5		991 Porucha	0,0247	6,8987	-3,6882	0,6284	1 335,8700	1897	0,85
	1JCB20/925471	Čerpadlo řízení/pružení	10	0		1057 Vyloučení	0,0000	0,0000	0,0000	0,6284	1 335,8700	1897	0,85
	1JCB20/925471	Čerpadlo řízení/pružení	11	6		1120 Porucha	0,0300	7,0211	-3,4899	0,6284	1 335,8700	1897	0,85

Obrázek 5.28: Parametry Weibullova rozdělení v IS KARAT



Obrázek 5.29: Struktura databáze pro implementaci řešení výpočtů parametrů Weibullova rozdělení

Barevně označené sloupce jsou sloupce, se kterými se v rámci řešení pracuje. Modře označené jsou sloupce obsažené v základní verzi IS KARAT. Zeleně označené jsou sloupce firemní, které byly vytvořeny za účelem implementace daného řešení. V tabulce Parametry Weibullova rozdělení jsou všechny sloupce označeny zeleně. Tato tabulka byla vytvořena za účelem implementace daného řešení na firemní úrovni.

Nyní lze přistoupit k výpočtu optimálního intervalu preventivní údržby t_{puo} pro vybraná částí stroje.

5.7.2 Výpočet optimálního intervalu preventivní údržby v IS KARAT

Optimální interval preventivní údržby t_{puo} bude vypočítán podle metodických postupů uvedených v kapitole 4.4 a 4.5. Pro účely implementace do IS KARAT budou vytvořeny tabulky.

1. Tabulka, která obsahuje vstupní data pro výpočet optimálního intervalu preventivní údržby t_{puo} pro vybrané nomenklatury.
2. Tabulka, ve které budou probíhat výpočty optimálního intervalu preventivní údržby t_{puo} pro vybrané nomenklatury prostřednictvím algoritmizace vztahu (4.24).

5.7.2.1 Vstupní hodnoty pro výpočet optimálního intervalu preventivní údržby

Tabulka, která bude obsahovat vstupní data, se bude nazývat Vstupní data pro výpočet t_{puo} . Jednotlivé sloupce budou obsahovat údaje.

1. Parametr tvaru α .
2. Parametr měřítka β .
3. Náklady na údržbu po poruše N_{up} .
4. Náklad na preventivní údržbu N_{pu} .
5. Výrobní ztráty v důsledku poruchy Z_{up} .

Parametr tvaru α a parametr měřítka β se do tabulky budou přenášet z tabulky Parametry Weibullova rozdělení. Náklady na preventivní údržbu N_{pu} IS vypočítá pomocí vztahu (5.1) a náklady na údržbu po poruše N_{up} pomocí vztahu (5.2). Pro výpočty pomocí vztahů (5.1) a (5.2) je třeba na úrovni IS KARAT zajistit další údaje.

Doba výměny části stroje M_{dv} . V kapitole 5.3 je doba výměny M_{dv} pro vybrané části stroje vypočítána jako medián dob výměn zaznamenaných ve zkoumané databázi.

Proto, aby bylo možné zajistit přesná data pro výpočet M_{dv} , bylo nutné projít jednotlivé servisní případy a vybrat pouze takové doby výměn, u kterých bylo zřejmé, že v rámci uvedené doby byla měněná pouze daná část stroje. Běžná praxe je taková, že se v rámci větších oprav provádějí další zásahy, které byly odkládány. Z tohoto důvodu by automatizace výpočtu M_{dv} byla v IS KARAT velmi obtížně realizovatelná.

Pro zaznamenání hodnoty M_{dv} byl v tabulce Nomenklatury vytvořen firemní sloupec s názvem Čas montáže. Do tohoto sloupce manažer údržby na základě zkušenosti nebo normativu výrobce zapíše počet hodin potřebný pro výměnu části stroje, kterou nomenklatura v IS zastupuje a tato hodnota pak bude přenášena do výpočtu. Umístění sloupce Čas montáže na detailu nomenklatury v IS KARAT je vyobrazeno na obrázku 5.30.

Firemní sloupce	
Kontrolovat prodejní cenu?	Ne
Tisknout etiketu neoznačené položky	Ano
Dopravní náklady	0,0000
Čas montáže	6,0000
Čas přípravy	0,0000
Importní koeficient (%)	0,0000
Procento garančního paušálu	0,0000
Rabat	0,0000
Hodiny servisního úkonu	0

Obrázek 5.30: Sloupec Čas montáže na detailu nomenklatury v IS KARAT

Cena zapůjčení náhradního stroje C_{zs} bude do výpočtu přenášena z IS KARAT společnosti KOMILO s.r.o. Společnost KOMILO s.r.o. je dceřiná společnost společnosti PEKASS a.s. a pracuje se stejným informačním systémem. Společnost KOMILO s.r.o. má vlastní licenci IS KARAT a obě databáze běží odděleně.

Pro požadované datové přenosy lze mezi oběma informačními systémy vytvořit relace. V IS KARAT půjčovny je vazba ceny zapůjčení k jednotlivým strojům zajištěna prostřednictvím záznamů v tabulce Typy půjčovaného sortimentu. K jednotlivým typům půjčovaného sortimentu jsou přiřazeny nomenklatury a ty jsou vázány na záznamy v tabulce Ceník, které oceňují zapůjčení stroje v dokladech zápůjček.

Záznamy v tabulce Typy půjčovaného sortimentu slučují půjčované stroje do skupin podle určitých znaků stejně jako záznamy v tabulce Typy zařízení v IS KARAT společnosti PEKASS a.s. Pod jednotlivými typy půjčovaného sortimentu jsou obecněji definované skupiny strojů než skupiny strojů pod jednotlivými typy zařízení. Cena zapůjčení stroje C_{zs} bude do výpočtu přenášena prostřednictvím relace mezi tabulkou Typy půjčovaného sortimentu a Typy zařízení. Přiřazení správné ceny zapůjčení stroje C_{zs} k nomenklatuře, která zastupuje určitou část stroje bude zajištěno pomocí definice typů zařízení pro určitý typ půjčovaného sortimentu.

Pro zadávání definice bude vytvořen nový firemní sloupec Typy půjčovaného sortimentu v tabulce Typy zařízení, do kterého budou přenášeny záznamy z tabulky Typy půjčovaného sortimentu v IS KARAT půjčovny. Pro jednotlivé typy zařízení bude pak možno definovat příslušné typy půjčovaného sortimentu a přenášet ceny zapůjčení pro účely výpočtu. V tabulce 5.44 je uveden příklad definice typu půjčovaného sortimentu na typ zařízení.

Tabulka 5.44: Příklad definice vazby mezi typy půjčovaného sortimentu a typy zařízení

Typ půjčovaného sortimentu	Typ zařízení
Manipulátor střední	Manipulátory JCB 531 – 541T4F
	Manipulátory JCB 531 – 541T4I
	Manipulátory JCB AgriPro T4F

Mzdové náklady obsluhy stroje N_{ob} . Pro zajištění tohoto údaje bude vytvořena v tabulce Nomenklatury nová nomenklatura s názvem Mzdové náklady obsluhy stroje, která bude navázána na záznam v tabulce Ceník. Z tohoto záznamu pak bude cena přenášena do výpočtu. Detail záznamu je vidět na obrázku 5.31.

Vzdálenost servisního střediska od místa poruchy V_{ss} . Pro zajištění tohoto údaje bude vytvořen nový sloupec v tabulce Zařízení s názvem Vzđálenost servisního střediska. Do tohoto sloupce pak bude moci uživatel IS zadávat údaj o vzdálenosti, který se bude přenášet do výpočtu. Společnost PEKASS a.s. má 10 servisních středisek. Ke každému zařízení v tabulce Zařízení je ve sloupci Středisko servisu stroje uvedeno, které středisko daný stroj servisuje. Údaj o vzdálenosti pak bude odpovídat vzdálenosti mezi uvedeným servisním střediskem a umístěním stroje. Umístění sloupce na detailu zařízení je na obrázku 5.32.

Ceníky - položky

▼ **Identifikace položky**

Nomenklatura / MJ ceníku: 3SRV00224 KS

Název: Mzdové náklady obsluhy stroje

Režim obalů: Nežadáno

Charakter: Nežadáno

▼ **Cenové údaje**

Referenční cena: 500,0000 CZK KS

Kurz/množství ref. ceníku: 1,0000 1

Kurz/množství: 1,0000 1

Ref. cena v měně a MJ ceníku: 500,0000 CZK KS

Sleva % / Absolutní sleva: -258,40 -1 292,0000

Poplatky celkem: 0,0000 CZK

Cena vypočtená: 500,0000 CZK KS

Cena: 1 792,0000 CZK KS

Položka je zlevnitelná: Ano

MJ Množstevní slevy: Bez vazby na MJ

Minimální cena: 0,0000

Obrázek 5.31: Detail záznamu Mzdové náklady obsluhy stroje v tabulce Ceník v IS KARAT

▼ **Zařízení**

ID zařízení: 10060

Karta: ...

Typ zařízení: MA/JCB560T4F Manipulátory JCB 560-80T4F

Výrobce stroje: JCB

Název: JCB 560-80 Agri Super

Výrobní číslo: JCBSYY4JKJ2573878

Platnost: Ano

▼ **Aktuální opotřebení**

Aktuální opotřebení: 1 MTH

Aktuální opotřebení 2: 0 Nežadáno

Datum aktualizace: 16.04.2021

Opotřebení na den: 0 MTH

Automaticky aktualizovat: Ano

▼ **Vlastnosti**

Vlastní zařízení: Ne

Generovat pravidelný servis: Nabídka

Servisní interval: 0

Datum hlášení pravidelného servisu: 01.01.1901

Středisko servisu stroje: 103

Vzdálenost servisního střediska: 38 KM

Definice pravidelného servisu: Na typu zařízení

▼ **Zákazník**

Provozovatel/Zkrácený název: 01012653 ZD Krč

IČ/Kód provozovatele: 48244767

ID adresy: 1 Krč 22 398 11 Protivín CZ

ID odpovědné osoby provozovatel: 1 Jaromír Kučera 723 418 948 zdkrc@cbox.cz

Provozovatel od data: 01.01.1901

Smlouva: Nežadáno

Smlouva pro operativní leasing: Nežadáno

ID majitele: 01012653 ZD Krč

▼ **Prodejce**

ID prodejce: Nežadáno

ID adresy prodejce: 0 Nežadáno

Dealer/Referent: Nežadáno

Předávající: ...

MPH při předání: 0

▼ **Výroba a provoz**

Zařízení předáno: Ne

Datum předání: 01.01.1901

Datum uvedení do provozu: 01.01.1901

Vyrobeno/Uvedeno do provozu: / /

Obrázek 5.32: Umístění sloupců pro určení vzdálenosti stroje od servisního střediska na detailu záznamu v tabulce Zařízení v IS KARAT

Další údaje pro výpočet nákladů na údržbu uvedené v tabulce 5.16 budou do výpočtu přenášeny ze záznamů v tabulce Ceník. Jedná se o C_{p1t} – cena při dodání do dvou dnů (expresní doprava), C_{pb} – cena při dodání do jednoho týdne, C_{pd} – cena práce v dílně, C_{pt} – cena práce v terénu, C_{di} – cena provedení diagnostiky a C_{do} – doprava. Na obrázku 5.33 jsou záznamy v tabulce Vstupní data pro výpočet t_{puo} .

Nomenklatura	Název nomenklatury	Alfa	Beta	Náklady na údržbu po poruše	Náklad na preventivní údržbu	Výrobní ztráty v důsledku poruchy
1JCB401/N8756	Torzní tlumič	3,2790	11 683,460	35194	11052	24142
1JCB20/925471	Čerpadlo řízení/pružení	2,8621	14 739,444	18294	31250	12956

Obrázek 5.33: Záznamy tabulky Vstupní data pro výpočet t_{puo} v IS KARAT

5.7.2.2 Výpočet optimálního intervalu preventivní údržby t_{puo}

Pro výpočet optimálního intervalu preventivní údržby t_{puo} bude vytvořena tabulka s názvem Výpočet t_{puo} . Do této tabulky budou vstupovat nomenklatury, které odpovídají parametrům uvedeným v tabulce 5.43. Při výpočtu bude postupováno dle metodického postupu uvedeného v kapitole 4.5. Jednotlivé sloupce budou obsahovat algoritimizované části vztahu (4.24).

1. Pravděpodobnost poruchy $F(t_{pu})$.
2. Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t_{pu})$.
3. Střední doba provozu do provedení preventivní údržby $\bar{t}(t_{pu})$.
4. Jednotkové náklady na údržbu $u_o(t_{pu})$.
5. Jednotkové náklady na provoz $u_p(t_{pu})$.
6. Celkové jednotkové náklady na preventivní údržbu $u_{pu}(t_{pu})$.

Interval t_{pu} bude 100 Mth. Minimální hodnota t_{pu} , pro kterou bude výpočet realizován, bude 100 Mth, maximální 30 100 Mth. Pokud bude minimum celkových jednotkových nákladů $u_{pu}(t_{pu})$ za hranicí 30 000 Mth provozu, nebude IS generovat záznamy do přehledu Požadavky na preventivní údržbu. Integrál ve jmenovateli vztahu (4.24) bude řešen numerickou integrací, krok integrace je zvolen $\Delta t = 0,1$ Mth. Tabulka Výpočet t_{puo} v IS KARAT je na obrázku 5.34. Na obrázku 5.35 je pak struktura části databáze IS KARAT modulu Servis se zapracovaným návrhem řešení pro výpočet optimálního intervalu preventivní údržby t_{puo} .

Barevně označené sloupce jsou sloupce, s nimiž se v rámci řešení pracuje. Modře označené jsou sloupce obsažené v základní verzi IS KARAT. Zeleně označené sloupce jsou sloupce vytvořené na firemní úrovni za účelem implementace uvedeného řešení. Tabulky, které obsahují pouze zelené sloupce, jsou tabulky vytvořené na firemní úrovni za účelem implementace uvedeného řešení.

5.7.3 Generování požadavků na preventivní údržbu a jejich zpracování v IS KARAT

Nyní jsou připraveny potřebné údaje pro vytvoření požadavků na preventivní údržbu. V tabulce Výpočet t_{puo} jsou pouze nomenklatury, které odpovídají parametrům filtru pro výběr nomenklatur na základě kritičnosti, dále parametrům filtru pro výběr na základě parametru α , střední doby do poruchy *MOTTF* a koeficientu determinace r^2 . Poslední filtr uvedený v předchozí kapitole v tabulce Výpočet t_{puo} zajistí, že do programu preventivní údržby nebudou vstupovat nomenklatury s optimálním intervalem preventivní údržby t_{puo} za hranicí 30 000 Mth.

Ze seznamu nomenklatur vytvořeného na základě požadovaných parametrů budou v IS KARAT generovány požadavky na preventivní údržbu do přehledu Požadavky na preventivní údržbu. Pro generování požadavků bude využito firemní řešení, které je již implementováno a používá se pro generování požadavků na preventivní údržbu podle programu předepsaného výrobcem. Systém v rámci tohoto řešení pracuje se třemi tabulkami.

1. Typy zařízení – slučují zařízení do jednotlivých skupin podle určitých znaků. Pro účely implementovaného řešení jsou to tyto znaky.

- a. Stejný interval provedení preventivní údržby.
- b. Stejně požadavky na použité náhradní díly pro jednotlivé intervaly preventivní údržby.
- c. Stejně požadavky na vykonané pracovní operace, jejich úkony, body kontroly a dobu za, kterou mají být provedeny pro jednotlivé intervaly preventivní údržby.

Ke každému typu zařízení pak v IS KARAT existuje definice programu preventivní údržby.

2. Znalostní báze řešení případů – obsahuje pro jednotlivé položky programu preventivní údržby každého typu zařízení definice požadovaných pracovních operací a náhradních dílů.

3. Zařízení – tabulka obsahuje karty strojů, které jsou sloučeny pod určité typy zařízení. Pro jednotlivá zařízení se pak generují požadavky na preventivní údržbu do přehledu Požadavky na preventivní údržbu na základě definice na typu zařízení.

Prostřednictvím popsaného řešení budou programy preventivní údržby pro jednotlivá zařízení rozšiřovány o požadavky na provedení diagnostiky stavu částí stroje, které zastupují v IS KARAT nomenklatury v tabulce Výpočet t_{puo} . To bude provedeno následovně.

1. Systém podle čísla nomenklatury a pomocí vazby mezi tabulkami Realizace servisních zakázek, Servisní zakázky, Zařízení a Typy zařízení určí, pro které typy zařízení bude program preventivní údržby rozšířen. V IS KARAT vznikne tabulka Typy zařízení nomenklatury, která bude navázána na nomenklatury. Do této tabulky se zaznamenají typy zařízení pro rozšíření programu.

2. Na základě nomenklatury v tabulce Výpočet t_{puo} se vygeneruje do tabulky Operace, pracovní operace, která bude mít formát:

Diagnostika XXXX XXXX

<u>Číslo nomenklatury</u>
<u>Název nomenklatury</u>

3. Manažer údržby založí definici do tabulky Znalostní báze řešení případů pro vybrané typy zařízení. Definice bude obsahovat pracovní operaci vytvořenou v bodě 2.

4. Manažer údržby rozšíří definici programu preventivní údržby pro jednotlivé typy zařízení. Položka o, kterou bude program preventivní údržby rozšířen bude mít stejnou strukturu názvu jako pracovní operace v bodě 2. Zadaný interval preventivní údržby bude optimální interval preventivní údržby t_{puo} vypočítaný v tabulce Výpočet t_{puo} .

5. IS KARAT prostřednictvím plánované úlohy vygeneruje požadavky na preventivní údržbu pro jednotlivá zařízení do přehledu Požadavky na preventivní údržbu.

V bodě 2 je uvedena struktura názvu pracovní operace a stejná struktura názvu je zvolena pro položku programu preventivní údržby. Na základě položky programu preventivní údržby bude nejprve provedena diagnostika části stroje. Teprve poté bude

případně část stroje vyměněna. Predikce výměny části stroje vypočítaná na základě historických dat o poruchách není při malém počtu záznamů tak spolehlivá jako např. predikce vypočítaná na základě diagnostických signálů. Pokud by byly části stroje na základě takového výpočtu měněny bez dalšího ověření, existuje riziko, že by výměna části stroje v rámci preventivní údržby mohla být méně rentabilní než v rámci údržby po poruše.

Dalším důvodem je, že společnost PEKASS a.s. je z hlediska poskytování údržby outsourcer. Výměna funkční části stroje by se provozovateli složitě obhajovala. Proto je vhodné pro části stroje, u kterých výpočet ukázal jako vhodnou politiku údržby údržbu preventivní stanovit diagnostický postup, který prokáže, že výměna části stroje je na místě.

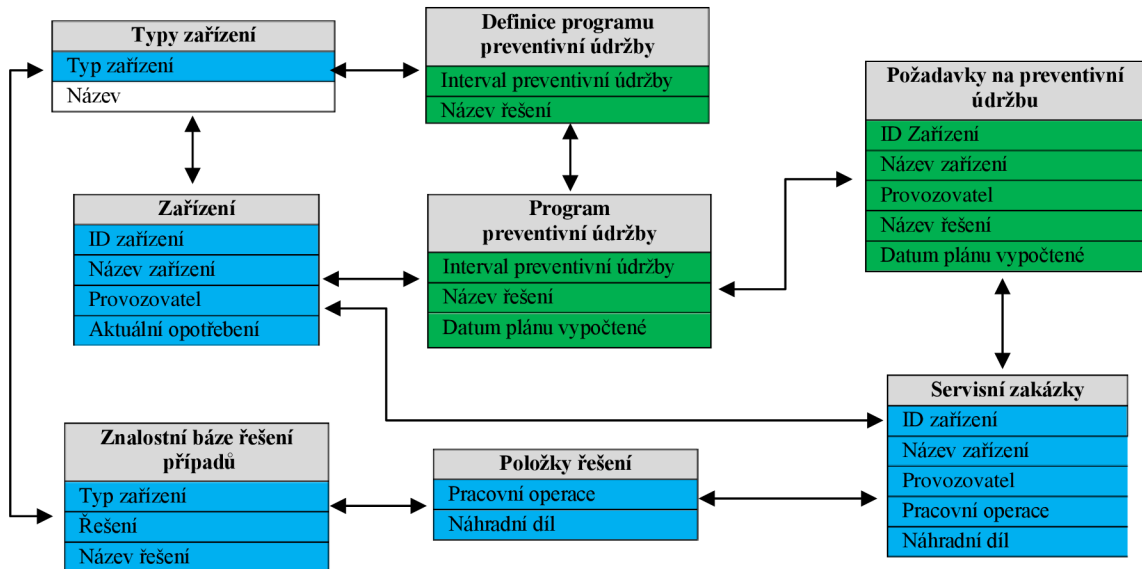
Na obrázku 5.36 je v přehledu Požadavky na preventivní údržbu v prostředí IS KARAT uvedena část programu preventivní údržby pro zařízení ID 6039, která obsahuje položky předepsané výrobcem a položku vygenerovanou na základě implementovaného řešení.

ID zařízení	Název zařízení	Provozovatel	Název řešení	▲1 Datum plánu vypočtené
6039	Manipulátor JCB 536-60	Neuwirth Josef	Diagnostika Torzní tlumič 1JCB401/N8456	02.01.2024
6039	Manipulátor JCB 536-60	Neuwirth Josef	Preventivní údržba po 1000 mth	20.07.2024
6039	Manipulátor JCB 536-60	Neuwirth Josef	Preventivní údržba po 500 mth	27.03.2025
6039	Manipulátor JCB 536-60	Neuwirth Josef	Preventivní údržba po 2000 mth	02.12.2025
6039	Manipulátor JCB 536-60	Neuwirth Josef	Preventivní údržba po 500 mth	09.08.2026
6039	Manipulátor JCB 536-60	Neuwirth Josef	Preventivní údržba po 1000 mth	16.04.2027
6039	Manipulátor JCB 536-60	Neuwirth Josef	Preventivní údržba po 500 mth	22.12.2027

Obrázek 5.36: Přehled Požadavky na preventivní údržbu v IS KARAT

Z položek přehledu je možné generovat servisní zakázky, do kterých se na základě definic pro jednotlivá řešení v tabulce Znalostní báze řešení případů přenesou pracovní operace a náhradní díly. V přehledu je možné označit několik požadavků a vygenerovat z nich jednu servisní zakázku. Tímto způsobem může manažer údržby slučovat více úkolů údržby do širších celků a rozhodovat tak o počtu plánovaných odstávek stroje. Servisní technik pak obdrží servisní zakázku, která obsahuje seznam pracovních operací a náhradních dílů pro provedení např. preventivní údržbu po 500 Mth podle programu preventivní údržby předepsané výrobcem a diagnostického postupu pro

určení vhodnosti výměny části stroje stanovené výpočtem v tabulce Výpočet t_{puo} . Na obrázku 5.37 je struktura databáze pro implementaci řešení generování požadavků na preventivní údržbu a následné generování servisních zakázek.



Obrázek 5.37: Struktura databáze pro implementaci řešení generování požadavků na preventivní údržbu a generování servisních zakázek

Barevně označené sloupce jsou sloupce, se kterými se v rámci řešení pracuje. Modře označené jsou sloupce standardní. Zeleně označené jsou sloupce firemní, které bylo třeba vytvořit. Tabulky, které obsahují pouze zelené sloupce, jsou tabulky vytvořené na firemní úrovni pro účely implementace uvedeného řešení. Pro doplnění je třeba uvést, že do tabulky Položky řešení se pracovní operace přenášejí z tabulky Operace, která představuje seznam všech pracovních operací, které slouží v IS KARAT pro vykazování práce a náhradní díly z tabulky Nomenklatury v podobě nomenklatur typu zboží. Operace a nomenklatury jsou při generování servisní zakázky přeneseny do tabulky Požadavky servisních zakázek a prostřednictvím vazby na příslušný ceník jsou do servisní zakázky přeneseny ceny náhradních dílů a operací.

Návrh implementace uvedený v této kapitole slouží také jako pohled na fungování ERP systémů používaných ve společnostech zabývajících se servisem zemědělské techniky v ČR a možnostech jejich využití jako podpory pro řízení údržby. Servisní moduly ERP systémů jako je HELIOS, ALTUS VARIO a KARAT jsou si velmi podobné.

6 Diskuse

Ze zkoumané databáze byly dle postupu uvedeného v kapitole 4.1 vybrány kritické části stroje vhodné pro další výzkum. Zatímco v této práci je míra kritičnosti vypočítána vynásobením počtu poruch n_p a ceny části stroje C , autoři [64] použili pro výpočet mzdové náklady servisního technika na odstranění poruchy a náklady na odstranění následků poruchy na 1 000 Mth. Obě práce shodně využívají Paretovu analýzu pro konečný výběr kritických částí. V této práci bylo vybráno 10 kritických částí traktoru JOHN DEERE 7530. Nejvyšší kritičnost byla stanovena pro části RE535729 Chladič zpětného vedení spalin 1 813 696 a SE502330 Turbodmychadlo 1 543 399. Autoři [64] uvádějí pro traktor KIROVETS 22 části podvozku, které představují 86 % nákladů na opravy podvozku, 16 – 32 částí motoru, které představují 83 – 92 % nákladů na opravy motoru. Zatímco tato práce se zabývá zkoumáním jednotlivých částí, autoři [64] zkoumají spolehlivost traktoru KIROVETS z pohledu spolehlivosti větších strojních celků a stanovují intervaly preventivní údržby na základě spolehlivosti těchto celků.

Autoři [50] provedli analýzu spolehlivosti kuželových čepů diskových podmítačů. Pro modelování charakteristik spolehlivosti použili stejný postup, jaký je uveden v této práci. Stanovili stejným způsobem bodový odhad parametru tvaru α a parametru měřítka β Weibullova rozdělení. Po výpočtu hodnot obou parametrů tyto parametry použili pro výpočet charakteristik spolehlivosti. Autoři [50] pracují s cenzurovanými daty tzn. neexistují přesné hodnoty doby provozu do poruchy. Provozní doba do poruchy t byla stanovena pouze v intervalech, protože jednotkou opotřebení bylo množství zpracovaných hektarů. Za poruchu bylo považováno nadměrné poškození nebo zlomení kuželových čepů diskových podmítačů. V této práci se pracuje s kombinací dat úplných i neúplných pozorování. Jednotkou opotřebení jsou motohodiny. Charakteristiky spolehlivosti by tak měly více korespondovat s realitou.

Důležité je také ověřit míru statistické významnosti vypočítané regresní rovnice. V této práci byl pro ověření míry statistické významnosti použit koeficient determinace r^2 . Koeficient determinace pro tyto účely používají ve své práci také autoři [50] a autoři [65]. Autoři [50] uvádějí ve své práci výsledný koeficient determinace $r^2 = 0,678$, což znamená, že matematický model se shoduje z 68 % s reálnými daty. V této práci je požadováno, aby $r^2 > 0,7$ pro vstup zkoumané části do programu preventivní údržby.

Koeficient determinace r^2 nabývá např. u části RE535729 Chladič zpětného vedení spalín hodnoty 0,6710 a u části AL168483 Palivové čerpadlo 0,9456. Autoři [65] zkoumají ve své práci životnost frézky při specifikaci několika parametrů obrábění, pro modelování charakteristik spolehlivosti používají také Weibullovo dvouparametrické rozdělení. Míra statistické významnosti matematického modelu v jejich práci je $r^2 = 0,984$. Koeficient determinace je jednoduchý a spolehlivý nástroj pro určení míry statistické významnosti matematického modelu.

Autoři [50] analyzovali 92 strojů a 35 strojů selhalo. V této práci je analyzováno 10 částí stroje a u všech zkoumaných částí bylo zaznamenáno 10 a více selhání. Počet selhání je jeden ze vstupních parametrů pro provedení analýzy spolehlivosti. Např. u části RE535729 Chladič zpětného vedení spalín bylo zaznamenáno 82 selhání a 160 neúplných pozorování.

Autoři [50] uvádějí, že Weibullova analýza představuje vhodný nástroj pro stanovení rozdělení funkce hustoty pravděpodobnosti poruchy $f(t)$, respektive distribuční funkce pravděpodobnosti poruchy $F(t)$ při zpracovávání dat spolehlivosti zemědělské techniky. Toto potvrzují také výsledky této práce. Postup pro výpočet charakteristik spolehlivosti je vhodný také pro algoritmizaci což potvrzují také autoři [50], kteří popsané metodiky výpočtu naprogramovali pomocí programovacího jazyka Visual Basic for Applications.

Na základě hodnot parametru tvaru α , koeficientu determinace r^2 a střední doby do poruchy $MOTTF$ jsou v této práci voleny vhodné části stroje pro aplikaci matematického modelu pro optimalizaci intervalu preventivní údržby t_{puo} . Autoři [66] o aplikaci vhodné politiky údržby rozhodují na základě parametru tvaru α a následcích selhání. O parametru tvaru α píší jako o významném parametru pro volbu vhodné politiky údržby. Parametr tvaru α dělí do tří kategorií Large, Small a Medium v ukázkovém příkladu aplikace uvádějí autoři, že v kategorii Large je $\alpha \geq 6,3$, v kategorii small je $\alpha \leq 2,22$ a v kategorii Medium je $3,6 \leq \alpha < 6,3$. Následky selhání pak dělí na kategorie 1 – následky mají dopad na bezpečnost osob, nebo životní prostředí, 2 – následky mají dopad na plnění požadovaných funkcí VZ, 3 – následky nemají dopad na plnění požadovaných funkcí VZ. Kombinace kritérií pak rozhodne o politice údržby. V této práci je rozhodnuto o aplikaci matematického modelu pro optimalizaci intervalu preventivní údržby t_{puo} v případě, že parametr tvaru $\alpha > 1$, koeficient determinace $r^2 > 0,7$ a střední doba provozu do poruchy

$MOTTF < 30\ 000$ Mth. Kritéria pro výběr částí pro aplikaci matematického modelu pro optimalizaci intervalu preventivní údržby t_{puo} jsou v této práci volena v závislosti na zkoumaných strojích, což jsou zemědělské traktory a tak, aby byla snadná algoritmizace při implementaci do ISÚ. Např. pro RE537578 Tlumič torzních kmitů byla jako vhodná zvolena politika údržby preventivní na základě kritérií $\alpha = 3,2791$, $r^2 = 0,9349$ a $MOTTF = 10\ 477$.

Pro výpočet optimálního intervalu preventivní údržby t_{puo} používají autoři [67] stejný matematický model, jaký je použitý v této práci. V této práci je matematický model aplikován na charakteristiky spolehlivosti vypočítané na základě doby provozu do selhání vybraných částí stroje. Autoři [67] aplikují matematický model na charakteristiky spolehlivosti vypočítané na základě hodnot diagnostického signálu. Autoři [67] výpočet provádějí na základě simulovaných dat virtuálního stroje a potvrzují, že použitím tohoto modelu dosáhli požadovaných výsledků. V této práci je matematický model aplikován na reálná provozní data částí stroje traktoru JOHN DEERE 7530. Autoři [67] uvádějí, že na základě výpočtu optimálního intervalu preventivní údržby t_{puo} došlo k poklesu jednotkových nákladů na údržbu z jednotkových nákladů na údržbu po poruše $u_{up}(MOTTF) = 385$ Kč/h na jednotkové náklady na preventivní údržbu v hodnotě $u_{pu}(t_{puo}) = 335$ Kč/h. V této práci je pokles jednotkových nákladů např. u části SE501227 Vodní čerpadlo z $u_{up}(MOTTF) = 2,469$ Kč/Mth na $u_{pu}(t_{puo}) = 1,649$ Kč/Mth. Použití modelu v této práci potvrzuje jeho vhodnost pro obdobné aplikace. Další výhodou je jednoduchá algoritmizace.

Metodika pro provedení nákladové analýzy provozu zemědělského traktoru je uvedena v [68]. Autoři v této práci popisují metody výpočtů fixních a variabilních nákladů traktoru, přípojných pracovních strojů a nářadí. Práce se týká vývoje webové aplikace, která zobrazí vypočítané hodnoty nákladů na základě vložených vstupů. Nákladová analýza poskytuje uživateli aplikace informace pro rozhodování o nákupu nového traktoru, nebo nářadí, použití vlastního stroje, nebo pronajatého na určitou pracovní operaci, nebo také např. jaký způsob zpracování půdy má uživatel zvolit. V této práci je nákladová analýza provedena především za účelem porovnání provozních nákladů a optimálního bodu obnovy traktoru před a po aplikaci modifikovaného programu údržby. Struktura fixních a variabilních nákladů je v [68] a této práci velmi obdobná, za zmínku stojí, že v [68] jsou náklady na údržby odhadovány prostřednictvím

výkonnostní třídy traktoru a počtu provozních hodin za zkoumané období a nepočítá se s položkou reprezentující výnos. Pro porovnání výsledků lze uvést, že autoři [68] stanovili jednotkové náklady traktoru s dobou provozu 500 h/rok, výkonem 85 kW, pořizovací cenou $N_{pr} = 2\,037\,500$ Kč na $u(t) = 231,50$ Kč/h a náklady na údržbu a opravy $N_u = 97,75$ Kč/h. Tato práce uvádí pro Traktor JOHN DEERE 7530 s celkovou dobou provozu 15 780 Mth s výkonem 136 kW a pořizovací cenou $N_{pr} = 2\,137\,000$ Kč jednotkové náklady $u(t) = 125,33$ Kč/Mth a náklady na údržbu a opravy $N_u = 107$ Kč/Mth. Obě metody analýzy jsou vytvořeny pro aplikaci na provozní data zemědělské techniky. Jejich odlišnosti jsou dány různými cíli jejich využití.

Autoři [69] zkoumají prostřednictvím rozhovorů s 10 odborníky na problematiku údržby ze společností zpracovatelského průmyslu a poskytovatelů služeb v oblastech, jako je plánování údržby, řízení údržby a role informací v činnostech a procesech údržby. Jedním z hlavních problémů, na který dotazovaní upozornili, byl nedostatek informací o stavu výrobního zařízení, nebo jejich nedostatečné využívání. Současné metody pro vytvoření spolehlivé prognózy trendu četnosti poruch nebo zbývajících technického života aktiva jsou nedostatečné. Nedostatek znalostí o stavu výrobního zařízení vytváří problémy při výběru a upřednostňování úkolů údržby jak při plánování údržby, tak při odstávkách. Spolehlivá data o stavu výrobního zařízení a historii údržby by pomohla při stanovení priorit úkolů údržby. Lepší informace o stavu výrobního zařízení by pomohly při výběru výrobního zařízení, které by mělo být při příští odstávce opraveno. Autoři [70] uvádějí, že díky nárůstu množství dostupných informací souvisejících s činnostmi údržby rostou požadavky na jejich rychlou dostupnost a zpracování. Roste potřeba rozhodovat se v reálném čase a zvládnout efektivně údržbu bez CMMS je prakticky nemožné. Autoři [71] stanovili 11 výkonnostních parametrů pro CMMS a analyzovali roli CMMS při zlepšování výkonnosti výrobního průmyslu prostřednictvím strukturovaného dotazníku. Výzkumu se účastnilo celkem 125 respondentů z různých odvětví průmyslu. Výsledky výzkumu ukázaly, že aplikací CMMS na podporu řízení údržby došlo u vybraných společností ke zlepšení produktivity, zlepšení úrovně organizace činností v údržbě, zvýšení úrovně bezpečnosti, zlepšení úrovně ochrany životního prostředí a k optimalizaci nákladů.

Tato práce popisuje vlastní softwarové řešení, které je implementováno do informačního systému KARAT a rozšiřuje funkce jeho modulu na podporu řízení údržby.

Sběr dat o údržbě je zajištěn prostřednictvím záznamů do IS KARAT. V IS KARAT je zaznamenáno, kdy došlo k poruše stroje, která část byla příčinou poruchy a o který stroj se jedná. Prostřednictvím API je IS KARAT napojen na portál výrobce stroje, z kterého jsou v pravidelných intervalech stahována data o době provozu strojů. Na základě doby provozu strojů, historických dat o údržbě a nákladů na údržbu jsou počítány optimální intervaly preventivní údržby t_{puo} kritických částí. Pro výpočty charakteristik spolehlivosti je použito Weibullovo rozdělení které je pro stejné účely použito např. v [72]. Pro nákladovou optimalizaci intervalu preventivní údržby t_{puo} je použita upravená účelová funkce. Autoři v [72] používají pro slučování jednotlivých zásahů údržby algoritmus. V této práci jsou jednotlivé požadavky na preventivní údržby uvedeny v přehledu v IS KARAT, který byl pro tyto účely vytvořen. Z tohoto přehledu může manažer údržby generovat jednotlivé úkoly pro údržbu, přehled umožňuje sloučit více požadavků do jednoho úkolu pro údržbu.

7 Závěr

Za účelem naplnění cílů disertační práce byla provedena analýza rozsáhlé databáze, která obsahuje data o údržbě 166 traktorů JOHN DEERE 7530 za období od 4. 1. 2010 do 28. 5. 2019. Analýza databáze poskytla pro výzkum důležité informace ekonomicko-technického charakteru. Na základě počtu poruch a průměrné ceny částí stroje byla vypočítána kritičnost jednotlivých částí stroje K . Na základě hodnoty kritičnosti bylo vybráno 10 částí stroje pro další výzkum (dílčí cíl 1).

Pro vybrané části stroje byly vypočítány ukazatele spolehlivosti (dílčí cíl 2). Pro výpočet ukazatelů spolehlivosti byl na základě dat o poruchovosti vybraných částí stroje nejprve vypočítán parametr tvaru α a parametr měřítka β Weibullova rozdělení. Pro výpočet těchto parametrů byla na základě charakteru získaných provozních dat vybrána Metoda pořadové regrese. Pro ověření statistické významnosti vytvořeného modelu byl použit koeficient determinace r^2 . Dále byly vypočítány charakteristiky spolehlivosti. Rozdělení hustoty pravděpodobnosti poruchy $f(t)$, pravděpodobnost poruchy $F(t)$, pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$ a okamžitá intenzita poruch $\lambda(t)$. Dále byla vypočítána střední doba do poruchy $MOTTF$.

Na základě hodnot parametru tvaru α , koeficientu determinace r^2 a střední doby do poruchy $MOTTF$ bylo vybráno 5 částí stroje pro nákladovou optimalizaci programu údržby (dílčí cíl 3). U 60 % zkoumaných částí stroje bylo zjištěno, že výskyt poruch není náhodného charakteru. Pro vybrané části stroje byly vypočítány náklady na údržbu v případě, že je údržba provedena v režimu po poruše N_{up} , v případě, že je provedena v režimu preventivní údržby N_{pu} (dílčí cíl 4), výrobní ztráty vzniklé v důsledku poruchy Z_{up} a byl vypočítán optimální interval preventivní údržby t_{puo} (dílčí cíl 5).

Uvedené výsledky potvrzují hypotézu: H1 Minimálně u 50 % zkoumaných částí stroje není výskyt poruch náhodného charakteru.

Poté byl sestaven program preventivní údržby pro traktor JOHN DEERE 7530 (dílčí cíl 6). Základem programu je program preventivní údržby předepsaný výrobcem, který je rozšířen o údržbu částí, pro které byl vypočítán optimální interval preventivní údržby t_{puo} . Modifikovaný program preventivní údržby obsahuje 11 základních cyklů oproti původním 7.

Pro ověření ekonomického efektu aplikace modifikovaného programu preventivní údržby na celkové provozní náklady traktoru byl ze zkoumané databáze vybrán traktor JOHN DEERE 7530 s výrobním číslem L07530K657655. Na jeho provozní data byl modifikovaný program preventivní údržby aplikován (dílčí cíl 7). Po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby došlo k redukci odstávek z 69 na 65 a redukci celkových nákladů N_u z 1 760 016 Kč na 1 671 179 Kč tzn. došlo k poklesu celkových nákladů na údržbu o 5 %. Dále byl zkoumán dopad aplikace modifikovaného programu preventivní údržby na posun bodu obnovy traktoru. Průměrné jednotkové náklady na provoz před aplikací modifikovaného programu preventivní údržby jsou $u(t) = 131,07$ Kč/Mth a průměrné jednotkové náklady na provoz po aplikaci modifikovaného programu preventivní údržby jsou $u_I(t) = 125,33$ Kč/Mth. Optimální bod obnovy zůstal na stejné hodnotě jako před aplikací modifikovaného programu preventivní údržby $t_{opt} = 15 485$ Mth. Příčinou je vysoký nárůst nákladů na údržby na konci monitorovaného období provozu stroje.

Uvedené výsledky potvrzují hypotézu: H2 Optimalizací programu údržby vybrané zemědělské techniky dojde k minimálnímu poklesu celkových nákladů na údržbu o 5 %.

V poslední části práce je na základě popsané metodiky optimalizace údržby zemědělské techniky vypracován návrh softwarového řešení, které celý proces automatizuje (dílčí cíl 8). Ukázková implementace je realizována na platformě ERP systému KARAT, který v současné době používá pro řízení systému údržby společnost PEKASS a.s.

Trendy v oblasti údržby zemědělské techniky zpravidla udávají její výrobci, kteří do rukou dovozců a zároveň outsourcerů údržby vkládají nástroje pro její řízení. Tyto nástroje nebývají plně využívány a jen zřídka dále rozvíjeny samotnými outsourcery. V této práci jsou tyto nástroje pro řízení údržby kombinovány s vědeckými poznatky z oboru provozní spolehlivosti strojů a zařízení a implementovány do ERP systému za účelem dosažení vyšší efektivity řízení systému údržby ve zvolené organizaci. Vzhledem k rostoucí složitosti zemědělských strojů, drahým technologiím, kterými jsou stroje vybaveny a celkové ceně současných zemědělských strojů je třeba vyvíjet obdobné nástroje za účelem zvyšování úrovně provozuschopnosti, ekonomičnosti, ekologičnosti a bezpečnosti jejich provozu a zcela účelně tak pomáhat zemědělcům zajistit udržitelný růst efektivity výroby, který je pro budoucnost celého odvětví klíčový.

8 Seznam použité literatury

- [1] LEGÁT, Václav. *Management a inženýrství údržby*. Praha: Professional Publishing, 2013. ISBN 978-80-7431-119-2.
- [2] LEGÁT, Václav; JURČA, Vladimír a HORÁKOVÁ, Adéla. *Jakost, spolehlivost a obnova strojů*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, 2006. ISBN 80-213-1514-8.
- [3] WANG, Wenbin. An overview of the recent advances in delay-time-based maintenance modelling. *Reliability Engineering & System Safety*. 2012, roč. 106, s. 165-178. ISSN 09518320.
- [4] GAUDRY, Marc; LAPEYRE, Bernard a QUINET, Émile. Infrastructure maintenance, regeneration and service quality economics: A rail example. Online. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2016, roč. 86, s. 181-210. ISSN 01912615.
- [5] DOMINIK, Vlastimil a VOTAVA, Zdeněk. *Výkonnost údržby je zdrojem konkurenční výhody*. Online. 2016. Dostupné z: <http://www.management-consulting.cz/userFiles/vykonodr.pdf>. [cit. 2018-11-03].
- [6] LEGÁT, Václav. *Asset management - moderní cesta k lepší údržbě a využití majetku*. Online. 2009. Dostupné z: <http://udrzbaopodniku.cz/hlavnimenu/artykuly/artikul/article/asset-management-moderni-cesta-k-lepsi-udrzbe-a-vyuziti-majetku/>. [cit. 2018-11-03].
- [7] LOGANATHAN, Madhav a GANDHI, Omal. Maintenance cost minimization of manufacturing systems using PSO under reliability constraint. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. 2016, roč. 7, č. 1, s. 47-61. ISSN 0975-6809.
- [8] SULLIVAN, Gregory; MELENDEZ, Aldo a PUGH, Ray. FEMP'S O&M Best Practices Guide A Guide to Achieving Operational Efficiency. *Strategic Planning for Energy and the Environment*. 2004, roč. 23, č. 4, s. 40-52. ISSN 1048-5236.
- [9] SHIRMOHAMMADI, Ali; LOVE, Charles a ZHANG, Zhe. An optimal maintenance policy for skipping imminent preventive maintenance for systems experiencing random failures. *Journal of the Operational Research Society*. 2017, roč. 54, č. 1, s. 40-47. ISSN 0160-5682.
- [10] BULGAKOV, Volodymyr; ADAMCHUK, Valerii; ARAK, Margus a OLT, Jüri. Mathematical Modelling of the Process of Renewal of the Fleet of Combine Harvesters. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2015, roč. 7, s. 35-39. ISSN 22107843.
- [11] SHAFIEE, Mahmood; FINKELSTEIN, Maxim a BÉRENGUER, Christophe. An opportunistic condition-based maintenance policy for offshore wind turbine blades subjected to degradation and environmental shocks. *Reliability*

- Engineering & System Safety*. 2015, roč. 142, s. 463-471. ISSN 09518320.
- [12] BERRADE, Maria; SCARF, Philip; CAVALCANTE, Cristiano a DWIGHT, Lee. Imperfect inspection and replacement of a system with a defective state: A cost and reliability analysis. *Reliability Engineering & System Safety*. 2013, roč. 120, s. 80-87. ISSN 09518320.
- [13] JURČA, Vladimír. Zavádění a hodnocení počítačového systému řízení údržby. In: *Údržba v systémech jakosti*. Praha: ČSJ, 2001, s. 24-28. ISBN 80-02-01450-2.
- [14] MOUBRAY, John. *Reliability-centered maintenance*. New York: Industrial Press Inc, 1997. ISBN 0-8311-3078-4.
- [15] ZHANG, Nailong a YANG, Qingyu. Optimal maintenance planning for repairable multi-component systems subject to dependent competing risks. *IIE Transactions*. 2015, roč. 47, č. 5, s. 521-532. ISSN 0740-817X.
- [16] MURTHY, Prabhakar a BLISCHKE, Wallace. *Warranty Management and Product Manufacture*. Springer Series in Reliability Engineering. London: Springer-Verlag, 2006. ISBN 1-85233-933-0.
- [17] FLEISCHER, Jürgen; WAWERLA, Marc a NIGGESCHMIDT, Stephan. Machine Life Cycle Cost Estimation via Monte-Carlo Simulation. Online. In: TAKATA, Shozo a UMEDA, Yasushi (ed.). *Advances in Life Cycle Engineering for Sustainable Manufacturing Businesses*. London: Springer London, 2007, s. 449-453. ISBN 978-1-84628-934-7.
- [18] EVERSHEIM, Walter; NEUHAUSEN, Joern a SESTERHENN, Marc. Design-to-Cost for Production Systems. *CIRP Annals*. 1998, roč. 47, č. 1, s. 357-360. ISSN 00078506.
- [19] KRUPA, Miroslav. Prediktivní údržba a metody technické prognostiky: seznámení se s problematikou. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti*. 2011, roč. 4, č. 4. ISSN 1803-3687.
- [20] RAKYTA, Miroslav. *Údržba ako zdroj produktivity*. Žilina: Slovenské centrum produktivity, 2002. ISBN 80-968324-3-3.
- [21] SHERIF, Yosef. Optimal maintenance schedules of systems subject to stochastic failure. *Microelectronics Reliability*. 1982, roč. 22, č. 1, s. 15-29. ISSN 00262714.
- [22] BARLOW, Richard; PROSCHAN, Frank a HUNTER, Larry. *Mathematical theory of reliability*. New York: SIAM, 1996. ISBN 0-89871-369-2.
- [23] BURDUK, Anna. Evaluation of the Risk in Production Systems with a Parallel Reliability Structure Taking into Account Its Acceptance Level. In: CORCHADO, Emilio; KURZYŃSKI, Marek a WOŹNIAK, Michał (ed.). *Hybrid Artificial Intelligent Systems*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2011, s. 389-396. ISBN 978-3-642-21221-5.
- [24] JURČA, Vladimír; ALEŠ, Zdeněk a HLADÍK, Tomáš. Optimization of

- preventive maintenance intervals. *Eksploatacja i niezawodność, Maintenance and Reliability*, 2008, roč. 39, č. 3, s. 41-44. ISSN 1507-2711.
- [25] LEGÁT, Václav; MOŠNA, František; ČERVENKA, Vratislav a JURČA, Vladimír. Optimization of preventive maintenance and information system. *Eksploatacja i Niezawodność, Maintenance and Reliability*, 2002, č. 4, s. 24-29.
- [26] LEGÁT, Václav; ŽALUDOVÁ, Adéla; ČERVENKA, Vratislav a JURČA, Vladimír. Contribution to optimization of preventive replacement. *Reliability Engineering & System Safety*. 1996, roč. 51, č. 3, s. 259-266. ISSN 09518320.
- [27] GREŇČÍK, Jan a SUCHÝ, Václav. *Organizácia údržby a údržbové systémy*. Žilina: Žilinská univerzita, 2012. ISBN 978-80-554-0607-7.
- [28] ČSN EN 13306:2018. *Údržba - Terminologie údržby, v platném znění*.
- [29] FAMFULÍK, Jan a MÍKOVÁ, Jana. *Teorie údržby*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-248-1509-1.
- [30] HELEBRANT, František. *Technická diagnostika a spolehlivost – IV. Provoz a údržba strojů*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-248-1690-0.
- [31] JUROVÁ, Marie. *Řízení výroby I*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 8021430664.
- [32] MAŠÍN, Ivan a VYTLAČIL, Milan. *Nové cesty k vyšší produktivitě: metody průmyslového inženýrství*. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 2000. ISBN 80-902235-6-7.
- [33] KISLINGEROVÁ, Eva a HNILICA, Jiří. *Finanční analýza: krok za krokem*. Praha: C.H. Beck pro praxi, 2005. ISBN 80-7179-321-3.
- [34] BOCHTIS, Dionysis; SØRENSEN, Claus a BUSATO, Patrizia. Advances in agricultural machinery management: A review. *Biosystems Engineering*. 2014, roč. 126, s. 69-81. ISSN 15375110.
- [35] BUSATO, Patrizia a BERRUTO, Remigio. A web-based tool for biomass production systems. *Biosystems Engineering*. 2014, roč. 120, s. 102-116. ISSN 15375110.
- [36] ANDERSON, Andrew. Factors affecting machinery costs in grain production. In: *American Society of Agricultural Engineers*. 1988. s. 88-1057.
- [37] ABRHAM, Zdeněk. *Ekonomika technologických systémů ve vinohradnictví*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2006. ISBN 80-86884-17-1.
- [38] KAVKA, Miroslav a MIMRA, Miroslav. *Řízení a organizace výrobních procesů*. Praha: ČZU Technická fakulta, 2018. ISBN není
- [39] ČSN EN 15341+A1. *Údržba - Klíčové indikátory výkonnosti údržby*.

- [40] LEGÁT, Václav a ALEŠ, Zdeněk. Stanovení parametrů Weibullova rozdělení hustoty pravděpodobnosti poruch v MS Excel. In: *Weibullovo rozdělení náhodných veličin*. Praha: ČSJ, 2016, s. 12-23. ISBN 978-80-02-02696-9.
- [41] MYKISKA, Antonín. *Bezpečnost a spolehlivost technických systémů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02868-2.
- [42] VROŽINA, Milan a DAVID, Jiří. *Spolehlivost a diagnostika*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 9788024825953.
- [43] KÁBA, Bohumil a SVATOŠOVÁ, Libuše. *Statistika*. Praha: ČZU, Ekonomická fakulta, 2008. ISBN 978-80-213-1736-9
- [44] ČSN 01 0103. *Výpočet ukazatelů spolehlivosti dvoustavových soustav*.
- [45] KAPLAN, Edward a MEIER, Paul. Nonparametric Estimation from Incomplete Observations. In: KOTZ, Samuel a JOHNSON, Norman (ed.). *Breakthroughs in Statistics*. New York: Springer New York, 1992, s. 319-337. ISBN 978-0-387-94039-7.
- [46] NOVOTNÝ, Radovan. Weibullovo rozdělení při analýzách bezporuchovosti. *International Science and Engineering Society*. 2002. ISSN 1213-1539.
- [47] NAJAFI, Payam; ASOODAR, Mohammad a HORMOZI, Mohammad. Reliability analysis of agricultural machinery: A case study of sugarcane chopper harvester. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2015, (17), 158-165. ISSN 16821130.
- [48] BILLINTON, Roy a ALLAN, Ronald. *Reliability Evaluation of Engineering Systems*. Boston, MA: Springer US, 1992. ISBN 978-1-4899-0687-8.
- [49] ČSN EN 61649. *Weibullova analýza*.
- [50] ALEŠ, Zdeněk; PAVLŮ, Jindřich; KUČERA, Marian a LEGÁT, Václav. Reliability characteristics of mechanical objects of agricultural machines. In: *TAE 2019 - Proceeding of 7th International Conference on Trends in Agricultural Engineering 2019* [online]. 2019. s. 26-31. Dostupné z: <https://2019.tae-conference.cz/proceeding/TAE2019-005-Zdenek-Ales.pdf>. [cit. 2021-05-30].
- [51] LEGÁT, Václav, JURČA, Vladimír a ČERVENKA, Vratislav. Stanovení normativu diagnostického signálu pro obnovu. In: *Sborník - z mezinárodní konference Národní fórum údržby 2003*. Žilinská univerzita, 2003, s. 192-207.
- [52] LEGÁT, Václav a ALEŠ, Zdeněk. Udržovatelnost, zajištěnost a politika údržby. In: *Udržovatelnost a zajištěnost údržby*. Praha: ČSJ, 2014. ISBN 978-80-02-02558-0.
- [53] OZOR, Paul; NWOBODO-ANYADIEGWU, Eveth a MBOHWA, Ceed. Computerised software systems in replacement maintenance information management: a south african case study. *South African Journal of Industrial Engineering*. 2020, roč. 31, č. 3. ISSN 22247890.

- [54] CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo; GONZÁLEZ-PRIDA DÍAZ, Vicente a GÓMEZ FERNÁNDEZ, Juan. *Advanced Maintenance Modelling for Asset Management*. Cham: Springer International Publishing, 2018. ISBN 978-3-319-58044-9.
- [55] DING, Siew-Hong a KAMARUDDIN, Shahrul. Maintenance policy optimization—literature review and directions. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2015, roč. 76, č. 5-8, s. 1263-1283. ISSN 0268-3768.
- [56] JURČA, Vladimír. *Informáční systémy v údržbě*. [prezentace]. 2021 [cit. 2021-11-05].
- [57] JURČA, Vladimír. Počítačová podpora systému řízení jakosti v údržbě. In: *Udržovatelnost a zajištěnost údržby* [online]. Praha: ČSJ, 2002, s. 15-19. Dostupné z: https://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Clenstvi/Centra/Sborniky_spolehlivost/08_Udrzovatelnost.pdf. [cit. 2021-11-06].
- [58] MÖHRING, Michael; SCHMIDT, Rainer; KELLER, Barbara; SANDKUHL, Kurt a ZIMMERMANN, Alfred. Predictive Maintenance Information Systems. *International Journal of Enterprise Information Systems*. 2020, roč. 16, č. 2, s. 22-37. ISSN 1548-1115.
- [59] BERREHAL, Ryma a BENISSAAD, Saya. Determining the optimal periodicity for preventive replacement of mechanical spare parts. *Mechanics*. 2016, roč. 22, č. 2, s. 156 - 161. ISSN 2029-6983.
- [60] *NÁVOD K POUŽITÍ Traktory Premium 7430 a 7530*. A2. Deere & Company, 2008.
- [61] Investiční a provozní náklady strojů - Traktory kolové. In: *Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i.* [online]. 2020. Dostupné z: <http://vuzt.cesnet.cz/strojePHP/strojenormtisk.php?citac=5>. [cit. 2023-02-10].
- [62] Ceny pohonných hmot od roku 2001. In: *Český statistický úřad* [online]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/ceny-pohonnych-hmot-od-roku>. [cit. 2023-02-11].
- [63] BLAHUŠ, Petr. Statistická versus věcná významnost výzkumných dat a velikost experimentálního účinku. *Sborník příspěvků konference*. 2000, s. 23-32. ISBN 80-7083-417-X.
- [64] BABCHENKO, Leonid a GULYARENKO, Alexandr. Data Control for Reliability of Agricultural Tractors. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2020, roč. 49, č. 10, s. 900-906. ISSN 1052-6188.
- [65] ZARETALAB, Arash; HAGHIGHI, Seyedhamidreza; MANSOUR, Saeed a SAJADIEH, Mohsen. An integrated stochastic model to optimize the machining condition and tool maintenance policy in the multi-pass and multi-stage machining. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2020, roč. 33, č. 3, s. 211-228. ISSN 0951-192X.

- [66] JIANG, Renyan a MURTHY, Prabhakar. A study of Weibull shape parameter: Properties and significance. *Reliability Engineering & System Safety*. 2011, roč. 96, č. 12, s. 1619-1626. ISSN 09518320.
- [67] LEGÁT, Václav; MOŠNA, František; ALEŠ, Zdeněk a JURČA, Vladimír. Preventive maintenance models – higher operational reliability. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability*. 2016, roč. 19, č. 1, s. 134-141. ISSN 15072711.
- [68] SOPEGNO, Alessandro; CALVO, Angela; BERRUTO, Remigio; BUSATO, Patrizia a BOCTHIS, Dionysis. A web mobile application for agricultural machinery cost analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2016, roč. 130, s. 158-168. ISSN 01681699.
- [69] VALKOKARI, Pasi; AHONEN, Toni; KORTELAJINEN, Helena a TERVO, Jesse. The framework for data-driven maintenance planning and problem solving in maintenance communities. *IFAC-PapersOnLine*. 2022, roč. 55, č. 19, s. 175-180. ISSN 24058963.
- [70] WIENKER, Michael; HENDERSON, Ken a VOLKERTS, Jacques. The Computerized Maintenance Management System an Essential Tool for World Class Maintenance. *Procedia Engineering*. 2016, roč. 138, s. 413-420. ISSN 18777058.
- [71] SHANKAR, Lakshmi; SINGH, Chandan Deep a SINGH, Ranjit. Impact of implementation of CMMS for enhancing the performance of manufacturing industries. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. 2023, roč. 14, č. 5, s. 1599-1620. ISSN 0975-6809.
- [72] NÉMETH, István; KOCSIS, Ádám; TAKÁCS, Donát et al. Maintenance schedule optimisation for manufacturing systems. *IFAC-PapersOnLine*. 2020, roč. 53, č. 3, s. 319-324. ISSN 24058963.

Přílohy

Příloha A – Vstupní data pro výpočet charakteristik spolehlivosti části stroje SE502330 Turbodmychadlo

Číslo poruchy											
Doba provozu do poruchy [Mth]											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
206	2649	2914	4288	4471	4982	5723	5926	6466	6498	6500	6600
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
6606	6667	6670	6954	7566	7945	8553	8937	8953	8993	9621	10504
25	26	27									
11613	12735	19006									
Doba provozu bez poruchy [Mth]											
679	925	1004	1023	1091	1428	1442	1647	1703	1822	1884	1933
1940	1961	2119	2353	2646	3033	3051	3067	3088	3092	3142	3145
3213	3255	3271	3272	3311	3317	3503	3655	3719	3757	3782	3844
3936	3985	4041	4057	4095	4333	4345	4425	4435	4498	4511	4601
4620	4728	4789	4809	4820	4833	4946	4980	5094	5300	5335	5337
5380	5474	5523	5588	5726	5854	5918	5927	5928	5945	5962	6007
6112	6196	6247	6262	6395	6429	6497	6499	6529	6604	6884	6965
7060	7125	7161	7230	7335	7435	7674	7688	7836	7846	7932	7962
7988	8055	8219	8338	8413	8431	8549	8554	8570	8625	8721	8798
8901	9055	9061	9200	9369	9380	9386	9444	9495	9540	9752	9800
9956	9990	10022	10097	10102	10141	10300	10429	10500	10520	10680	10733
10780	10848	10904	11096	11260	11293	11300	11566	11781	11858	12095	12300
12326	13003	13368	13388	13427	13530	13713	14097	14160	14212	14843	14844
14974	15170	15770	15790	16035							

**Příloha B – Vstupní data pro výpočet charakteristik spolehlivosti části
stroje RE537578 Tlumič torzních kmitů**

Číslo poruchy											
Doba provozu do poruchy [Mth]											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2126	3150	3614	4346	4380	4500	4500	4506	4529	4566	4660	4711
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
4780	5136	5161	5368	5439	5896	5908	6109	6332	6350	6896	7290
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
7395	7841	7994	8232	8388	8438	8854	8912	9006	9075	9240	10646
Doba provozu bez poruchy [Mth]											
8232	8388	8438	8854	8912	9006	9075	9240	10646	2181	2491	2615
2646	3033	3051	3066	3088	3140	3142	3213	3254	3255	3271	3311
3317	3459	3469	3503	3655	3719	3757	3780	3782	3832	3855	3884
3985	3989	4041	4057	4059	4095	4150	4208	4320	4328	4333	4345
4425	4435	4491	4498	4511	4601	4620	4710	4728	4784	4789	4809
4833	4880	4920	4946	4980	5094	5300	5335	5337	5474	5523	5588
5723	5824	5842	5854	5918	5928	5945	5962	6007	6112	6196	6247
6262	6395	6424	6429	6497	6499	6500	6600	6604	6850	6884	6965
7060	7125	7164	7230	7335	7346	7435	7622	7688	7803	7836	7932
7962	8055	8132	8219	8274	8431	8549	8554	8570	8721	8798	8901
9055	9061	9380	9386	9444	9450	9495	9698	9752	9800	9853	9956
9990	9997	10097	10102	10141	10300	10520	10733	10746	10759	10848	10904
10906	11012	11293	11300	11858	12095	12145	12225	12326	13368	13388	13427
14097	14843	14844	14974	15170	15770	15790	19006				

**Příloha C – Vstupní data pro výpočet charakteristik spolehlivosti části
stroje RE43738 Senzor tahové síly TBZ**

Číslo poruchy											
Doba provozu do poruchy [Mth]											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15	30	34	636	807	1289	1302	1644	1720	1874	1889	1913
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2250	2254	2268	2451	2565	2930	3271	3979	3985	4406	4419	4761
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
4812	4924	4959	5046	5439	5717	5731	5797	6218	6262	6600	6715
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
6850	7814	7947	7965	8180	8556	8564	9425	9500	9698	9800	10235
49	50	51	52								
12044	12332	13676	14517								
Doba provozu bez poruchy [Mth]											
28	135	222	252	484	597	598	641	727	843	878	886
929	1025	1056	1163	1253	1422	1428	1647	1720	1738	1933	1940
1986	2119	2553	2646	3033	3033	3051	3088	3142	3213	3255	3271
3311	3317	3503	3655	3675	3719	3742	3757	3780	3782	3985	4041
4057	4095	4295	4333	4345	4425	4435	4498	4511	4601	4620	4717
4728	4809	4833	4946	4980	5094	5300	5337	5474	5523	5588	5854
5918	5927	5928	5945	5962	6053	6112	6196	6247	6424	6429	6499
6500	6604	6884	6965	7060	7125	7230	7335	7346	7435	7576	7610
7688	7846	7932	7962	8055	8132	8189	8201	8219	8338	8413	8431
8549	8554	8625	8901	9055	9061	9200	9380	9386	9444	9495	9540
9752	9926	9990	9997	10300	10429	10500	10520	10680	10733	10746	10759
10780	10848	10904	10906	11096	11293	11300	11527	11781	12095	12145	12225
12300	12326	12704	12766	12995	13003	13368	13427	14097	14115	14212	14696
14844	15170	16035	19006								

**Příloha D – Vstupní data pro výpočet charakteristik spolehlivosti části
stroje SE501227 Vodní čerpadlo**

Číslo poruchy											
Doba provozu do poruchy [Mth]											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1488	1734	4764	4860	4993	5161	5735	6246	6418	6767	7141	7315
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
7331	7482	7925	7948	7991	8066	8120	8182	8305	8309	8570	9055
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
9478	9656	9781	10755	10759	11192	11373	11380	12064	12145	12177	12356
37	38	39									
12390	12766	15170									
Doba provozu bez poruchy [Mth]											
1647	1651	1707	1742	1759	1766	1933	1940	2049	2096	2119	2176
2333	2471	2646	2797	3033	3033	3051	3088	3140	3142	3213	3255
3271	3311	3317	3503	3539	3655	3697	3719	3757	3780	3782	3867
3985	4011	4041	4057	4095	4208	4333	4345	4397	4425	4435	4498
4511	4601	4620	4728	4789	4809	4833	4946	4980	5094	5171	5300
5335	5337	5380	5474	5523	5588	5726	5854	5918	5927	5928	5945
5962	6007	6112	6247	6262	6395	6424	6429	6497	6499	6500	6600
6604	6661	6850	6884	6965	7060	7125	7230	7335	7346	7435	7688
7836	7846	7932	7962	8055	8132	8201	8219	8413	8431	8549	8554
8625	8721	8798	8901	9200	9380	9386	9444	9495	9540	9752	9990
10022	10097	10141	10300	10500	10520	10733	10746	10848	10904	10930	11293
11300	11527	11781	12095	12300	12326	12704	12995	13003	13388	13427	13530
14212	14696	14844	16035	19006							

**Příloha E – Vstupní data pro výpočet charakteristik spolehlivosti části
stroje AL160250 Trojcestný ventil brzd**

Číslo poruchy											
Doba provozu do poruchy [Mth]											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	90	542	860	991	1120	1857	2316	2769	2997	3000	3324
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
3468	3599	4150	4269	4348	4853	5136	5150	5474	5500	5827	7279
25	26	27	28	29							
7918	8500	10172	11732	13388							
Doba provozu bez poruchy [Mth]											
187	354	780	780	1057	1428	1647	1933	1940	2056	2061	2119
2646	2841	3033	3051	3051	3088	3111	3142	3213	3255	3271	3311
3317	3358	3358	3503	3719	3757	3782	3985	4057	4095	4150	4221
4333	4345	4425	4435	4498	4511	4601	4620	4728	4789	4809	4833
4946	4980	5094	5199	5300	5335	5337	5487	5523	5588	5723	5726
5918	5927	5928	5945	6112	6196	6247	6262	6395	6407	6424	6429
6497	6499	6500	6600	6604	6850	6965	7060	7125	7164	7230	7297
7335	7346	7435	7688	7836	7846	7932	7962	7988	8055	8132	8219
8296	8338	8413	8431	8549	8554	8570	8625	8721	8901	9055	9061
9200	9369	9380	9386	9444	9450	9495	9540	9698	9752	9800	9956
9990	9997	10022	10097	10141	10300	10429	10500	10520	10680	10733	10746
10780	10848	10904	10906	11012	11096	11300	11527	11781	11885	12095	12145
12225	12326	12704	12995	13003	13368	13427	13713	14097	14115	14160	14212
14696	14844	14974	15170	15770	15790	19006					

**Příloha F – Vstupní data pro výpočet charakteristik spolehlivosti části
stroje AL168483 Palivové čerpadlo**

Číslo poruchy											
Doba provozu do poruchy [Mth]											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2181	3935	4385	7473	7825	8120	8426	8778	9537	10166	12340	12563
13	14										
13623	15497										
Doba provozu bez poruchy [Mth]											
2646	3033	3051	3088	3142	3213	3255	3271	3311	3317	3503	3655
3719	3738	3757	3780	3782	3799	3985	4041	4057	4095	4333	4345
4425	4435	4498	4511	4601	4620	4728	4789	4833	4946	4980	5094
5300	5335	5337	5380	5474	5523	5530	5588	5723	5726	5784	5854
5918	5927	5928	5945	5962	6007	6112	6196	6247	6262	6395	6424
6429	6497	6499	6500	6600	6604	6850	6884	6965	7060	7125	7230
7335	7346	7435	7631	7688	7836	7846	7932	7962	7988	8055	8132
8201	8219	8338	8413	8431	8549	8554	8570	8625	8721	8798	8901
9055	9061	9200	9369	9380	9386	9444	9450	9495	9540	9698	9752
9800	9956	9990	9997	10022	10097	10102	10141	10300	10429	10500	10680
10733	10746	10759	10780	10848	10904	10906	11012	11293	11300	11527	11781
12095	12145	12300	12326	12704	12766	12995	13368	13388	13427	13713	14097
14115	14212	14696	14844	14974	15170	16035	19006				

**Příloha G – Vstupní data pro výpočet charakteristik spolehlivosti části
stroje RE543308 Ventil EGR**

Číslo poruchy											
Doba provozu do poruchy [Mth]											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	90	542	860	991	1120	1857	2316	2769	2997	3000	3324
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
3468	3599	4150	4269	4348	4853	5136	5150	5474	5500	5827	7279
25	26	27	28	29							
7918	8500	10172	11732	13388							
Doba provozu bez poruchy [Mth]											
187	354	780	780	1057	1428	1647	1933	1940	2056	2061	2119
2646	2841	3033	3051	3051	3088	3111	3142	3213	3255	3271	3311
3317	3358	3358	3503	3719	3757	3782	3985	4057	4095	4150	4221
4333	4345	4425	4435	4498	4511	4601	4620	4728	4789	4809	4833
4946	4980	5094	5199	5300	5335	5337	5487	5523	5588	5723	5726
5918	5927	5928	5945	6112	6196	6247	6262	6395	6407	6424	6429
6497	6499	6500	6600	6604	6850	6965	7060	7125	7164	7230	7297
7335	7346	7435	7688	7836	7846	7932	7962	7988	8055	8132	8219
8296	8338	8413	8431	8549	8554	8570	8625	8721	8901	9055	9061
9200	9369	9380	9386	9444	9450	9495	9540	9698	9752	9800	9956
9990	9997	10022	10097	10141	10300	10429	10500	10520	10680	10733	10746
10780	10848	10904	10906	11012	11096	11300	11527	11781	11885	12095	12145
12225	12326	12704	12995	13003	13368	13427	13713	14097	14115	14160	14212
14696	14844	14974	15170	15770	15790	19006					

**Příloha H – Vstupní data pro výpočet charakteristik spolehlivosti části
stroje RE523318 Aktuátor turba**

Číslo poruchy											
Doba provozu do poruchy [Mth]											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1820	1831	3350	3724	3944	4013	4965	5896	6372	6915		
Doba provozu bez poruchy [Mth]											
1933	1940	2119	2646	3033	3051	3088	3213	3255	3271	3311	3317
3503	3655	3719	3757	3780	3782	3985	4041	4057	4095	4333	4345
4425	4435	4498	4511	4601	4620	4728	4789	4809	4833	4946	4980
5094	5300	5335	5337	5380	5474	5523	5588	5723	5726	5854	5918
5927	5928	5945	5962	6007	6112	6196	6247	6262	6395	6424	6429
6497	6499	6500	6600	6604	6850	6884	6965	7060	7125	7230	7335
7346	7435	7688	7836	7846	7932	7962	7988	8055	8132	8201	8219
8413	8431	8549	8554	8570	8625	8721	8798	8901	9055	9061	9200
9369	9380	9386	9444	9450	9495	9540	9698	9752	9956	9990	9997
10022	10097	10102	10141	10300	10429	10500	10520	10733	10746	10759	10780
10848	10904	10906	11012	11096	11260	11293	11300	11527	11566	11781	12095
12145	12225	12326	12995	13003	13368	13388	13427	13530	13713	14115	14160
14212	14696	14843	14844	15170	15770	15790	16035	19006			

**Příloha CH – Vstupní data pro výpočet charakteristik spolehlivosti
části stroje RE167207 Snímač tlaku oleje motoru**

Číslo poruchy											
Doba provozu do poruchy [Mth]											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
501	1542	3604	4959	5725	5904	7042	7165	7263	7579	7688	7834
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
8186	8219	8246	9031	9485	9988	10138	10755	10995	11735	11747	11892
25	26	27	28								
13206	13530	14125	15509								
Doba provozu bez poruchy [Mth]											
526	667	692	715	718	969	1019	1103	1123	1248	1296	1305
1428	1470	1490	1647	1792	1933	1940	2119	1762	2324	2646	2937
3033	3051	3088	3142	3213	3255	3271	3311	3317	3503	3655	3719
3757	3780	3782	3981	3985	4041	4057	4095	4272	4333	4345	4425
4435	4498	4511	4601	4620	4728	4789	4809	4833	4946	4980	5094
5300	5335	5337	5380	5474	5588	5632	5723	5726	5854	5918	5927
5945	5962	6007	6053	6112	6196	6247	6262	6424	6429	6497	6499
6500	6536	6600	6604	6850	6884	6965	7060	7125	7230	7335	7346
7435	7836	7846	7932	7962	7988	8055	8132	8201	8413	8431	8549
8554	8570	8625	8721	8798	9061	9200	9380	9386	9444	9450	9495
9540	9752	9800	9956	9990	10022	10141	10300	10429	10500	10520	10746
10759	10780	10848	10904	10906	11096	11260	11293	11300	11527	11566	11781
11858	12095	12145	12326	13003	13368	13388	13427	13713	14097	14160	14212
14844	14974	15170	15790	19006							

Příloha I – Doby výměn vybraných částí stroje

Část stroje		Doba výměny [h]																														Medián dob výměny [h]									
RE535729	Chladič zpětného vedení spalín	5	1	3	6	7	9	6	4	6	3	7	5	3	4	2	4	7	6	5	3	7	6	5	4	8	4	6	4	8	7	6	6	8	7	3	10	5	10	5,75	
SE502330	Turbodmychadlo	6	26	4	4	4	3	5	3	4	4	5	3	3	3	4	4	4	8	8	4	3	5	4	5	3														4	
RE537578	Tlumič torzních kmitů	4	4	4	1	3	8	3	3	7																															4
RE43738	Senzor tahové síly TBZ	2	2	5	5	1	2	1	4	2	1	4	2	1	1	1	6	7	2	3	5	5	1	9	1	1	1	4	3	2	3	5	3	3	3	7	2	1	1	2	
SE501227	Vodní čerpadlo	5	4	3	4	2	4	2	3	3	3	4	5	2	2	5	3	2	10	1	2	3	2	2	3	4	4	2	8	4	2	3	3							2,5	
AL160250	Trojcestný ventil brzd	3	1	2	2	1	2	4	2	3	1	3	1	4	4	6	8	1																							2
AL168483	Palivové čerpadlo	2	1	1	2	3	2	5	2	2	1	2	1	1	1																										1,75
RE543308	Ventil EGR	1	3	1	1	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1																										1
RE523318	Aktuátor turba	2	1	1	2	5	2	3	3																																2
RE167207	Snímač tlaku oleje motoru	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1																											1