PŘÍSPĚVEK K PLÁNOVÁNÍ ÚDRŽBY ŽELEZNIČNÍCH VOZIDEL

CONTRIBUTION TO THE MAINTENANCE PLANNING OF RAIL VEHICLES

Jan Famfulík[1]

Anotace: Při plánování údržby železničních vozidel máme k dispozici určité (omezené) prostředky údržby. Často se omezení týká doby vyčleněné na údržbu a výše nákladů na údržbu. Nesprávné nastavení obou parametrů při plánování údržby má vždy za následek nesplnění cílů údržby. Vzájemný vztah obou omezujících veličin popisuje stochastický model údržby, který umožňuje stanovit pravděpodobnost splnění cíle údržby.

Klíčová slova: Udržovatelnost, náklady na údržbu, železniční vozidla

Summary: Defined (limited) maintenance resources are available while maintenance planning of rail vehicles. Often the limitation affects determinate time for maintenance and maintenance costs value. Incorrect setting of both parameters while maintenance planning results in non-completion of maintenance objectives. The interrelationship of both limitative quantities is described by the stochastic maintenance model, which enables to determine the probability of maintenance objective completion.

Key words: maintainability, maintenance costs, rail vehicles

1. ÚVOD

Do procesu údržby (obnovy) parku vozidel může razantně zasáhnout problém nedostatku finančních prostředků určených k realizaci údržby, protože byla chybně plánována hladina nákladů na realizaci údržby. Důsledkem může být logistické zpoždění dodávek náhradních dílů a materiálu, protože ne vždy jsou zajištěny finanční prostředky potřebné k jejich nákupu či výrobě [1]. Nesprávné plánování doby vyčleněné na údržbu má podobné důsledky, lze očekávat vznik front tvořených vozidly čekající na údržbu při častém překročování plánované doby údržby. V obou případech je nepříznivě ovlivněn součinitel pohotovosti, vzniká riziko zvýšených ztrát, protože chybí vozidla v bezporuchovém stavu schopná provozního nasazení.

2. MODEL ÚDRŽBY

Uvažujme situaci, kdy je nutné zajistit údržbu vozidel tak, že je realizována (úspěšně ukončena) údržba nejdéle do uplynutí plánované doby t, a to při vynaložení plánovaných

[1] Ing. Jan Famfulík, Ph.D., Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 17. listopadu 15, 708 00, Ostrava – Poruba, tel.: +420 596 99 4553, e-mail: jan.famfulik@vsb.cz

nákladů do výše n. Pokud vznikne na vozidle porucha, obecně potřeba údržby, kterou se nepodaří odstranit v rámci plánované doby t, nebo jsou překročeny náklady na údržbu n, není splněn úkol údržby.

Doba údržby vozidel je náhodná veličina (udržovatelnost) a podobně i výši nákladů vynaložených na realizaci údržby uvažujeme jako náhodnou veličinu. Proces lze popsat pomocí simultánní pravděpodobnosti dvou náhodných veličin, v tomto případě dobou údržby a náklady na údržbu. Známe-li analytické vyjádření této stochastické funkce, můžeme pomocí matematických operací s touto funkcí vyjádřit pravděpodobnost splnění úkolu údržby.

2.1 Definice úkolu údržby

Úkol údržby je definován jako typ úkolu, jehož plnění v přesně definovaném okamžiku začíná a v jiném, přesně definovaném okamžiku končí. Jeho splnění se požaduje za předem stanovených podmínek, s omezením doby trvání údržby a velikostí nákladů na realizaci údržby.

Pravděpodobnost splnění úkolu údržby je pravděpodobnost, s jakou v průběhu specifikovaného úkolu údržby bude ukončena údržba vozidla .

2.2 Sestavení modelu údržby

Model je sestaven za těchto podmínek:

- jednotlivé doby údržby vozidel jsou náhodné jevy, na sobě nezávislé,
- jednotlivé náklady na realizaci údržby vozidel jsou náhodné jevy, na sobě nezávislé,
- každý údržbový zásah vyřadí vozidlo na určitou dobu z provozu, tato doba je rovna době údržby,
- doby údržby a výše čerpání nákladů na realizaci údržby se u každého vozidla v rámci parku náhodně opakuje.

Za těchto předpokladů mohou nastat čtyři disjunktní jevy:

Jev A:

Během plnění úkolu údržby se podaří úspěšně realizovat (ukončit) údržbu v rámci plánované doby údržby t, při vynaložení plánovaných nákladů do výše n. V tomto případě je úkol údržby splněn, a pravděpodobnost tohoto jevu je možné vyjádřit pomocí dvourozměrné stochastické funkce:

$$P(A) = \int_0^t \int_0^n f(t,n)dt\,dn \tag{1 }$$

Jev B:

Během plnění úkolu údržby se podaří úspěšně realizovat (ukončit) údržbu vozidel v rámci plánované doby údržby t, ale při vynaložení větších než plánovaných nákladů ve výši n. V tomto případě úkol údržby není splněn, a pravděpodobnost tohoto jevu je možné vyjádřit:

$$P(B)=\int_0^t\int_n^\infty f(t,n)dt\,dn \tag{2 }$$

Jev C:

Během plnění úkolu údržby se nepodaří úspěšně realizovat (ukončit) údržbu vozidel v rámci plánované doby údržby t, a to při splnění požadavků na výši plánovaných nákladů. V tomto případě úkol údržby není splněn, a pravděpodobnost vzniku jevu je možné vyjádřit:

$$P(C)=\int_t^\infty\int_0^n f(t,n)dt\,dn \tag{3}$$

Jev D:

Během plnění úkolu údržby se nepodaří úspěšně realizovat (ukončit) údržbu vozidel v rámci plánované doby údržby t, a to při nesplnění požadavků na výši plánovaných nákladů. V tomto případě úkol údržby není splněn, a pravděpodobnost jevu je možné vyjádřit:

$$P(D)=\int_t^\infty\int_n^\infty f(t,n)dt\,dn \tag{4}$$

Jevy A, B, C a D vyjadřují podmínku úplné množiny všech možných jevů, součet pravděpodobností nastoupení jevů A, B, C, D je proto:

$$P(A)+P(B)+P(C)+P(D)=1 \tag{5}$$

Z postupu sestavení modelu je zřejmé, že podmínku splnění úkolu údržby splňuje pouze jev A, popsaný vztahem (1). Je proto možné, za předpokladu statistické nezávislosti obou marginálních rozdělení, vyjádřit hledanou pravděpodobnost splnění úkolu údržby P(t,n).

$$P(t,n)=\int_0^t\int_0^n f(t,n)dt\,dn=\int_0^t f(t)\,dt\cdot\int_0^n f(n)\,dn=F(t)\cdot F(n) \tag{6}$$

Kde:

P(t,n) je pravděpodobnost splnění úkolu údržby [-].

F(t) - distribuční funkce rozdělení doby údržby [-].

F(n) - distribuční funkce rozdělení nákladů na údržbu [-].

Rovnice (6) vyjadřuje obecný vztah splnění pravděpodobnosti P(t,n), do které je nutné dosadit kombinaci konkrétních rozdělení náhodné veličiny. Uvažujme např. kombinaci exponenciálního rozdělení doby údržby a normálního rozdělení nákladů na údržbu [2]. S uvážením těchto rozdělení a dosazením do (6) získáme vztah:

$$P(t,n)=\left(1-\exp(-\frac{t}{Ts})\right)\cdot\Phi\left(\frac{n-\mu}{\sigma}\right) \tag{7}$$

Kde:

P(t,n) je pravděpodobnost splnění úkolu údržby [-].

T_s - střední doba údržby vozidla [h].

t - plánovaná doba údržby [h].

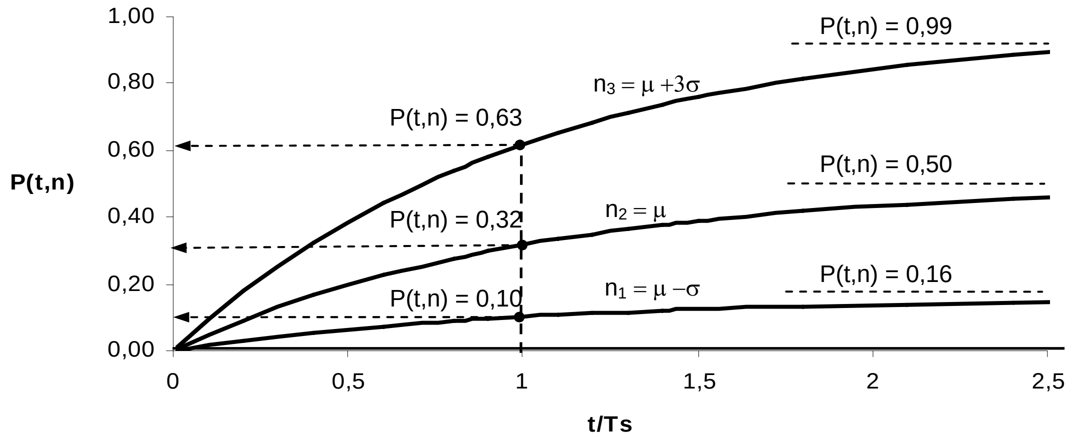
n - plánované náklady na údržbu [Kč].

μ - střední hodnota nákladů na údržbu [Kč].

σ - směrodatná odchylka nákladů na údržbu [Kč].

2.3 Některé vlastnosti modelu údržby

Výchozí stav popisující pravděpodobnost splnění úkolu údržby předpokládá kombinaci exponenciálního rozdělení doby údržby a normální rozdělení nákladů na údržbu. U exponenciálního rozdělení jsme udržovatelnost vyjádřili pomocí střední doby údržby vozidla Ts a předpokládáme, že tuto hodnotu nelze měnit bez zásahu do konstrukce vozidla. Lze však měnit plánovanou dobu údržby t. Plánované náklady na údržbu n vyjádříme jako interval s hranicemi směrodatné odchylky σ, využijeme tak známé pravidlo sigma platné pro normální rozdělení. Závislost pravděpodobnosti splnění úkolu údržby P(t,n) na obou vstupních veličinách je na Obr. 1.



Zdroj: Autor

Obr. 1 - Průběh pravděpodobnosti splnění P(t,n)

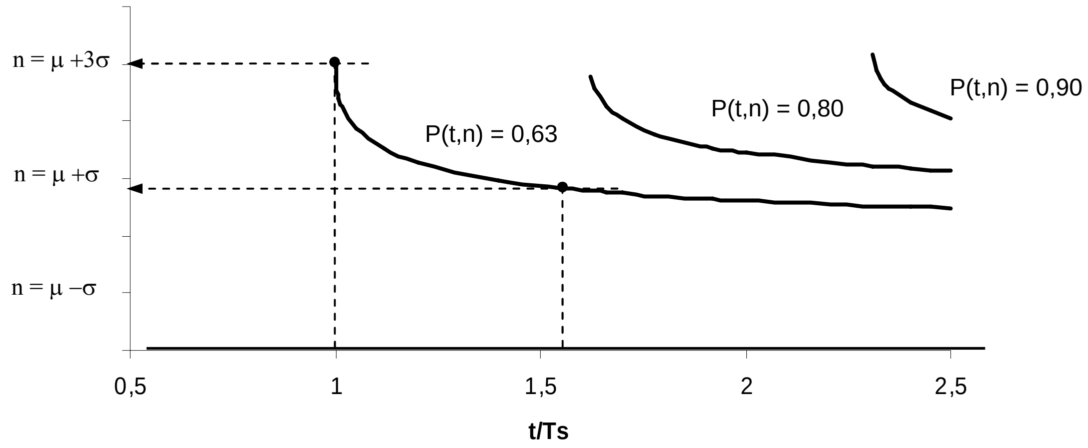
Komentář k Obr. 1

- Při pevně stanovené hladině nákladů n se s prodlužováním doby údržby t pravdě-podobnost P(t,n) postupně zvyšuje, až po dosažení jisté limitní hodnoty. Další zvýšení pravděpodobnosti P(t,n) je možné dosáhnot výhradně navýšením nákladů.
- Model je velmi citlivý na pokles stanovené hladiny nákladů n pod úroveň střední střední hodnoty rozdělení μ. I při značném prodloužení doby údržby je pravděpodobnost splnění úkolu údržby P(t,n)=0,16, co prakticky znamená kolaps údržby.

Další vlastnosti modelu údržby lze ukázat na následující situaci. Předpokládejme, že požadujeme předem stanovenou, konstantní pravděpodobnost splnění úkolu údržby P(t,n). Cílem je stanovit závislost výše nákladů na realizaci údržby a doby údržby vozidla. Vztah (7) po úpravách přejde do tvaru:

$$\Phi\left(\frac{n-\mu}{\sigma}\right) = \frac{P(t,n)}{1-\exp\left(-\frac{t}{Ts}\right)} = konst \tag{8}$$

Přímé vyjádření nákladů n na levé straně rovnice není možné, je nutné použít postup spočívající ve využití inverzní distribuční funkce, resp. její aproximace v případě normálního rozdělení. Graf průběhu funkce popsané vztahem (8) je na Obr 2.



Zdroj: Autor

Obr. 2 - Diagram modelu údržby

Komentář k Obr. 2

- Prodlužováním doby údržby t zpočátku rychle klesají náklady na realizaci údržby, rychlost poklesu se však postupně snižuje, až k limitní hodnotě nákladů. To znamená, že i při velmi dlouhé době údržby nelze snížit náklady pod jistou limitní velikost.
- Při vynaložení nákladů na hladině $n = \mu+3\sigma$ lze zvýšení pravděpodobnosti P(t,n) dosáhnout pouze prodlužováním doby údržby. Prakticky to znamená, že se pohybujeme na technických hranicích systému, daných jeho udržovatelností.

3. ZÁVĚR

Uvedený stochastický model údržby umožňuje stanovit vzájemný vztah mezi plánovanou dobou údržby a udržovatelností vozidla, plánovanými náklady na údržbu a pravděpodobností splnění úkolu údržby. Prokazuje, že v jisté míře lze prodloužením plánované doby údržby snížit náklady na údržbu, ale pouze do jisté limitní hodnoty.

POUŽITÁ LITERATURA

[1] MÍKOVÁ, J. *Logistická podpora údržby kolejových vozidel*. In disertační práce VŠB - TU Ostrava, Fakulta strojní, 2006. ISBN80-248-1065-4

[2] ŠIROKÝ, J., NEUGEBAUER, J. *Podklady pro ověřování LCC v provozu vozidel*. In sborník „DIAGON 2005", Univerzita Tomáše Bati, Zlín 2005, ISBN 80-7318-293-9

Recenzenti: doc. Ing. Petr Škapa, CSc.
VŠB – TU Ostrava, FS, Institut dopravy
prof. Ing. Milan Lánský, DrSc.
Univerzita Pardubice, DFJP, Katedra dopravních prostředků a diagnostiky