



Klíč k řešení

1.1.

Jakost je schopnost souboru inherentních znaků výrobku, systému nebo procesu plnit požadavky zákazníků a jejich zainteresovaných stran.

Spolehlivost je definována jako souhrnný termín, používaný pro popis pohotovosti a činitelů, které ji ovlivňují (bezporuchovost, udržovatelnost, zajištěnost údržby).

Bezporuchovost je schopnost objektu plnit nepřetržitě požadované funkce po stanovenou dobu a za stanovených podmínek.

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

Zajištěnost údržby je schopnost organizace poskytující údržbářské služby zajišťovat dle požadavků v daných podmínkách prostředky potřebné pro údržbu v souladu s koncepcí údržby.

1.2.

Spolehlivost je vyjádřena jako pravděpodobnost bezporuchového provozu, to je pravděpodobnost, že objekt může plnit požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém intervalu.

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

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

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

1.3.

Život výrobku (vozidla) lze rozdělit do šesti etap: 1. Etapa koncepce a stanovení požadavků, 2. Etapa návrhu a vývoje, 3. Etapa výroby, 4. Etapa uvedení do provozu, 5. Etapa provozu, 6. Etapa likvidace.

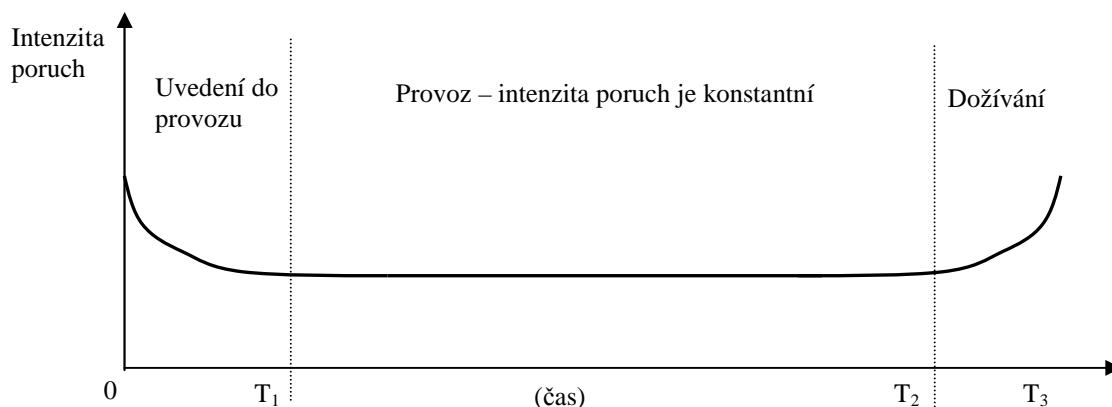
1.4.

Náklady životního cyklu tvoří pořizovací náklady vlastníka vozidla (cena vozidla) a vlastnické náklady (náklady na provoz, údržbu, opravy a likvidaci vozidla).

1.5.

K identifikaci etap životního cyklu vozidla se využívá skutečnosti, že jakostní znak tj. intenzita poruch, se mění v souvislosti s využíváním vozidla.

Nejznámějším vyjádřením průběhu života vozidla je vanová křivka. Tato křivka ukazuje dobu fyzického života vozidla, tj. záběh, provoz v ustáleném režimu a etapu dožívání.



1.6.

Rozhodnutí provedená v etapě stanovení a koncepce požadavků mají největší vliv na vozidlo, jeho spolehlivost a náklady životního cyklu.

V etapě návrhu a vývoje vozidla se provádí analýza predikce spolehlivosti vycházející z použitých konstrukčních řešení a zkoušky, které zaručují dosažení očekávané spolehlivosti vozidla.

Při výrobě vozidla je z hlediska programu spolehlivosti nejdůležitější otázka dodržení parametrů kvality v souladu s dokumentací.

V etapě uvedení do provozu je důležité provádět a organizovat proces údržby tak, aby nedošlo ke znehodnocení parametrů inherentní spolehlivosti.

Cílem etapy provozu je plně využít inherentní spolehlivost vozidla. Podmínkou využití inherentní spolehlivosti je dodržování technologie údržby a oprav, školení obslužného personálu, logistická podpora údržby a oprav.

1.7.

Etapa návrhu a vývoje vozidla: sestavení a analýza predikce spolehlivosti vycházející z použitých konstrukčních řešení, splnění stanovených cílů spolehlivosti použitých komponentů, definice podmínek ověřování a zkoušek, které zaručují dosažení očekávané spolehlivosti vozidla.

Etapa výroby: mezioperační kontrola, statistická přejímka dílů i kompletních vozidel, jejich ověřování a zkoušení, třídění výrobních vlivů na spolehlivost, zúžené pomocí diagramu příčina – následek.

Etapa uvedení do provozu: provádění přijímacích a předávacích zkoušek, prokazování bezporuchovosti a udržitelnosti, odstraňování počátečních poruch, sběr a analýza dat o spolehlivosti.

Etapa provozu: určením optimálních intervalů pro provádění preventivní údržby, tyto vycházejí z požadavků na spolehlivost vozidla, s využitím informačních systémů pro sběr a analýzu dat provést přezkoumání návrhu údržby, realizovat navržené změny, sledováním a hodnocením parametrů bezporuchovosti, udržitelnosti a zajištěnosti údržby, zapojením organizace provozu a údržby vozidel do systému řízení jakosti.

Etapa modernizace: určit stávající spolehlivostní charakteristiky celků vhodných k modernizaci, zhodnotit možné přínosy modernizace a jejich náklady, stanovit minimální hodnoty parametrů spolehlivosti pro nově dosazené celky, navrhnout změny v systému údržby a oprav, posoudit dopady do zásobování náhradními díly.

2.1.

Náhodný jev – v závislosti na náhodě, při dodržení stejného komplexu podmínek i při opakované realizaci jev může, ale i nemusí nastat. Jev tedy nastává s pravděpodobností, a to konstantní nebo proměnnou.

2.2.

Náhodná veličina má vždy rozptyl. Zkoušená vlastnost se náhodně mění ve značně širokém rozmezí.

Deterministická veličina nemá prakticky žádný rozptyl. Zkoušená vlastnost má stále stejnou hodnotu (např. bod varu vody).

2.3.

Histogram četností je často používaný prostředek pro zobrazení průběhu náhodné veličiny. Používá se ke znázornění rozdělení absolutních nebo relativních četností spojitého znaku.

Je to sloupcový graf, pro který platí: sloupce v histogramu jsou vždy vertikální, jejich výška odpovídá četnosti, stupnice na vodorovné ose grafu je vždy ve stejných jednotkách, šířka každého sloupce je úměrná šířce třídy posuzované veličiny.

2.4.

Hustota pravděpodobnosti je funkce, vyjadřující pravděpodobnost, že náhodná veličina T nabude hodnoty z nekonečně malého intervalu dt .

Distribuční funkce je pravděpodobnost, že náhodná veličina T nabude hodnoty menší nebo rovné, než je zadaná hodnota t .

Doplňek k distribuční funkci je tzv. doplňková funkce (doplňek distribuční funkce $F(t)$ do jedničky). Představuje pravděpodobnost bezporuchového stavu (bezporuchovost) v čase t .

Intenzita náhodné veličiny je definována jako podmíněná pravděpodobnost, že jev (např. porucha), nastane za nekonečně malý okamžik dt za podmínky, že do okamžiku t jev nenastal.

2.5.

Střední hodnota (očekávaná hodnota) je označovaná také jako střední doba poruchy, je definována jako střední hodnota náhodné veličiny t . Je definována jako:

$$T_s = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

Mediánová hodnota rozděluje základní soubor na dvě poloviny. Pravděpodobnost odpovídající mediánové hodnotě je $F(t) = 0,5$.

Modus je nejčastěji se vyskytující hodnota v souboru, odpovídá největší četnosti jevů.

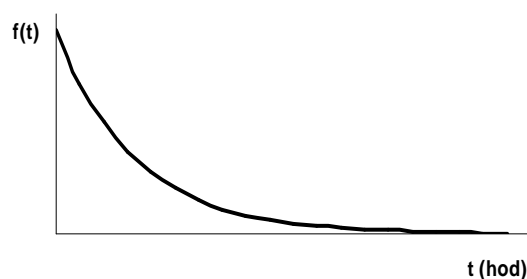
3.1.

Exponenciální rozdělení:

hustota pravděpodobnosti: $f(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$

distribuční funkce: $F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$

intenzita poruch: $\lambda = \text{konst}$



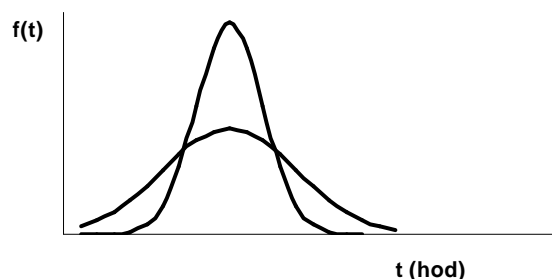
Weibullovo rozdělení:

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

distribuční funkce: $F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m\right]$

Normální rozdělení:

hustota pravděpodobnosti: $f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}$



Binomické rozdělení:

hustota pravděpodobnosti: $p(k) = \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k (1-p)^{n-k}$

Poissonovo rozdělení:

hustota pravděpodobnosti: $f(k) = \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} \exp(-\lambda \cdot t)$

3.2.

Rovnice distribuční funkce $F(t)$ se upraví a následně provede substituce rovnicí přímky, stanovení se parametry rovnice přímky proložením empirických dat metodou nejmenších čtverců, provede se odhad parametrů W2p modelu zpětnou transformací.

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m\right] \rightarrow \ln(-\ln(1 - F(t))) = m \cdot \ln t - m \cdot \ln t_0 \sim y = k \cdot x + q$$

3.3.

Metoda odhadu parametrů s maximální věrohodností je založena na tvrzení, že ze všech možných realizací náhodné veličiny (realizace – výsledek zkoušky) obdržíme hodnoty nejpravděpodobnější. Parametry normálního rozdělení náhodné veličiny jsou pak dány:

$$\bar{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{\mu})^2$$

3.4.

Bezporuchovost sériové soustavy je dána: $R(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \dots R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$

3.5.

Bezporuchovost paralelní soustavy je dána: $F(t) = F_1(t) \cdot F_2(t) \dots F_n(t) = \prod_{i=1}^n F_i(t)$

3.6.

Postup řešení kombinované soustavy: Výpočet charakteristik $F(t)$ a $R(t)$ zálohových prvků (paralelní soustava), následně řešení charakteristik $R(t)$ celé soustavy, tj. nezálohových prvků (sériová soustava).

3.7.

Stejně jako u odhadu parametrů Weibullova rozdělení W2p (viz kapitola 3.3), lze provést odhad parametru λ exponenciálního rozdělení metodou lineární regrese (pro malý počet pozorovaných poruch). Tvar přímky lze dostat úpravou vztahu pro distribuční funkci:

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

$$\ln[1 - F(t)] = -\lambda \cdot t$$

$$\underline{-\ln[1 - F(t)] = \lambda \cdot t}$$

srovnej s rovnicí přímky

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

platí:

$$\underline{k = \lambda} \quad q = 0$$

Parametr rozdělení λ (h^{-1}) a střední doba do poruchy T_S (h) pak bude:

$$\underline{\lambda = 0,000562 \quad h^{-1}}$$

$$T_S = \frac{1}{\lambda} \quad T_S = \frac{1}{0,000562} \quad (h) \quad \underline{T_S = 1779,4 \quad h}$$

Počet porouchaných výrobků v čase 900 h vychází z pravděpodobnosti poruchy v tomto čase:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad F(900) = 1 - e^{-0,000562 \cdot 900} \quad F(900) = 0,3967$$

$$F(t) = \frac{m}{n} \quad \rightarrow \quad m = n \cdot F(t) \quad m = 15 \cdot 0,3967 \quad m = 5,95 \rightarrow \underline{m = 6}$$

Po době provozu 900 hodin již bude porouchaných 6 výrobků.

3.8.

Vzhledem k vysokému počtu výrobků lze určit parametr exponenciálního rozdělení λ pomocí střední doby mezi poruchami, která je aritmetický průměr vypočtený z akumulované pracovní doby:

$$T_S = \frac{T_{aku}}{n} \quad T_S = \frac{61000}{120} \quad (h) \quad T_S = 508,3 \quad h$$

$$\lambda = \frac{1}{T_S} \quad \lambda = \frac{1}{508,3} \quad (h) \quad \underline{\lambda = 0,00197 \quad h^{-1}}$$

Medián představuje dobu, po které pravděpodobnost poruchy dosáhne 0,5:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad \rightarrow \quad t = -\frac{\ln[1 - F(t)]}{\lambda}$$

$$\text{medián: } t_{0,5} = -\frac{\ln[1 - 0,5]}{\lambda} \quad t_{0,5} = -\frac{\ln[1 - 0,5]}{0,00197} \quad (h) \quad \underline{t_{0,5} = 351,9 \quad h}$$

Počet porouchaných výrobků po uplynutí střední doby do poruchy:

$$F(t) = 1 - e^{-\frac{1}{T_S} t} \quad \rightarrow \quad F(t) = 1 - e^{-\frac{1}{T_S} T_S} \quad \rightarrow \quad F(t) = 1 - e^{-1} = 0,632$$

$$F(t) = \frac{m}{n} \quad \rightarrow \quad \begin{aligned} m &= n \cdot F(t) \\ m &= 120 \cdot 0,632 \end{aligned} \quad m = 75,8 \rightarrow \underline{m = 76}$$

Medián představuje dobu, po které je přesně polovina výrobků v poruše a činí 351,9 h. Při dosažení střední hodnoty mezi poruchami je pravděpodobnost poruchy 0,632 a porouchaných je 76 výrobků.

3.9.

Příklad vychází z návrhu intervalů údržby pro údržbový systém se zaručenou bezporuchovostí (viz kapitola 5.5). Hledá se taková doba od začátku provozu, nebo od provedené obnovy, kdy bezporuchovost dosáhne požadované minimální bezporuchovosti.

Poznámka: nezávislou proměnnou je kilometrický proběh, čemuž odpovídá označení l v uvedených vzorcích.

Požadovaná doba odpovídá kvantilu:

$$R(l)_{\min} = 0,9 \quad \rightarrow \quad F(l)_{\max} = 0,1 \quad \rightarrow \quad \text{kvantil: } l_{0,1}$$

$$F(l) = 1 - e^{-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m} \quad \rightarrow \quad l_{0,1} = l_0 \cdot \sqrt[m]{-\ln[1 - F(l)]}$$

$$l_{0,1} = 3727 \cdot \sqrt[1,6]{-\ln[1 - 0,1]} \quad (km) \quad \underline{l_{0,1} = 913,1 \quad km}$$

Aby byla dodržena požadovaná minimální bezporuchovost vozidla $R(l) = 0,9$, musí být prováděna údržba po ujetí nejvýše 913,1 km.

3.10.

Uvedená přímka byla získána metodou lineární regrese pro odhad parametrů Weibullova rozdělení (W2p): m (-) a l_0 (km), postup je uveden v kapitole č. 3.3. Přímka má tedy tvar (pro kilometrické proběhy):

$$\ln[-\ln(1 - F(l))] = m \cdot \ln(l) - m \cdot \ln(l_0) \quad \text{parametry W2p lze určit:}$$

srovnáním s rovnicí přímky:

$$m = k \quad (-)$$

$$y = k \cdot x + q \quad \rightarrow \quad l_0 = e^{-\left(\frac{q}{m}\right)} \quad (km)$$

$$y = 2,182 \cdot x - 25,756 \quad \rightarrow \quad \underline{m = 2,182}$$

$$l_0 = e^{-\left(\frac{-25,756}{2,182}\right)} \quad \underline{l_0 = 133766,3 \quad km}$$

Zda navržený interval provozu mezi údržbami vyhovuje požadavku minimální bezporuchovosti zjistíme, když jej dosadíme do rovnice pro výpočet distribuční funkce s konkrétními vypočtenými parametry W2p:

$$F(l) = 1 - e^{-\left(\frac{l}{l_0}\right)^m} \quad F(l) = 1 - e^{-\left(\frac{l}{133766}\right)^{2,182}} \quad (-)$$

$$F(30000) = 1 - e^{-\left(\frac{30000}{133766}\right)^{2,182}} \quad (-) \quad \underline{F(30000) = 0,0376}$$

Nejvyšší možná pravděpodobnost poruchy se určí z požadavku bezporuchovosti:

$$F(l)_{\max} = 1 - R(l)_{\min} \quad F(l)_{\max} = 1 - 0,95 \quad \underline{F(l)_{\max} = 0,05}$$

$$F(30000) = 0,0376$$

$$F(l)_{\max} = 0,05$$

$$\underline{F(30000) < F(l)_{\max}}$$

Navržený proběh mezi údržbami 30 000 km bude vyhovovat požadavku na minimální bezporuchovosti $R(l)_{\min} = 0,95$.

3.11.

Pro výpočet se použije Poissonovo rozdělení diskrétní náhodné veličiny. Náhodnou veličinou je počet poruch klínového řemene u vozidla.

U vozidla může dojít během sledovaného období (7 dní) k 0, 1, 2, ... poruchám klínového řemene. Pravděpodobnost 1, 2, ... poruch se určí jako doplněk pravděpodobnosti, že k poruše za sledované období nedojde:

$$f(k) = \frac{(\lambda \cdot l)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda \cdot l} \quad \lambda = \frac{1}{9000} \text{ km}^{-1} \quad k = 0$$

$$l = 7 \cdot 100 = 700 \text{ km}$$

$$f(0) = \frac{\left(\frac{1}{9000} \cdot 700\right)^0}{0!} \cdot e^{-\frac{1}{9000} \cdot 700} \quad f(0) = 1 \cdot e^{-\frac{1}{9000} \cdot 700} \quad \underline{f(0) = 0,925}$$

Pravděpodobnost, že k poruše u vozidla za 7 dní nedojde, je 0,925. Doplněková funkce, představující pravděpodobnost jedné a více poruch u vozidla, bude:

$$F(x) = 1 - f(0) \quad F(x) = 1 - 0,925 \quad \underline{F(x) = 0,075}$$

Počet náhradních klínových řemenů za týden pro celou skupinu vozidel se určí z definice pravděpodobnosti:

$$F(x) = \frac{m}{n} \quad \rightarrow \quad m = n \cdot F(x)$$

$$m = 60 \cdot 0,075 \quad m = 4,5 \quad \rightarrow \quad \underline{m = 5}$$

Týdenní potřeba náhradních klínových řemenů pro skupinu 60 vozidel bude 5 kusů.

3.12.

Počáteční stav:

Pravděpodobnost, že u vozidla dojde za uvedené období k 1 a více poruchám termostatu, je dána z definice pravděpodobnosti:

$$F(x) = \frac{m}{n} \qquad F(x) = \frac{16}{85} \qquad F(x) = 0,1882 \quad (-)$$

Střední intenzitu poruch lze vypočítat s pomocí doplňkové funkce, že k poruše v období nedojde:

$$F(x) = 1 - f(0) \qquad F(x) = 1 - \frac{(\lambda \cdot t)^0}{0!} \cdot e^{-\lambda t}$$

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda t} \qquad \rightarrow \qquad \lambda = -\frac{\ln[1 - F(x)]}{t} \quad (h^{-1})$$

Uvažovaná doba provozu za 4 týdny:

$$t = 4 \cdot 7 \cdot 16 \quad (h) \qquad t = 448 \quad h$$

Původní střední intenzita poruch a střední doba mezi poruchami termostatu je:

$$\lambda = -\frac{\ln[1 - F(x)]}{t} \qquad \lambda_A = -\frac{\ln[1 - 0,1882]}{448} \quad (h^{-1}) \qquad \lambda_A = 0,000465 \quad h^{-1}$$

$$T_S = \frac{1}{\lambda} \qquad T_{S-A} = \frac{1}{0,000465} \quad (h) \qquad T_{S-A} = 2148,7 \quad h$$

Požadovaný stav:

Má-li se snížit počet poruch na polovinu, bude nejvyšší možný počet poruch termostatu za 4 týdny pro uvedená vozidla: 8 poruch. Pravděpodobnost jedné a více poruch pak bude:

$$F(x) = \frac{m}{n} \qquad F(x) = \frac{8}{85} \qquad F(x) = 0,0941 \quad (-)$$

Požadovaná střední intenzita porucha a střední doba mezi poruchami pak bude:

$$\lambda = -\frac{\ln[1 - F(x)]}{t} \qquad \lambda_B = -\frac{\ln[1 - 0,0941]}{448} \quad (h^{-1}) \qquad \lambda_B = 0,000221 \quad h^{-1}$$

$$T_S = \frac{1}{\lambda} \qquad T_{S-B} = \frac{1}{0,000221} \quad (h) \qquad T_{S-B} = 4533,2 \quad h$$

Aby se u sledovaných vozidel snížil počet poruch termostatu za 4 týdny provozu o polovinu, musela by se zvýšit střední doba mezi poruchami z 2148,7 h na 4533,2 h, tj. o 2404,5 h.

3.13.

Vztah pro bezporuchovost soustavy $R(t)$ se určí následujícím postupným výpočtem:

$R_A(t)$ – zahrnuje prvky 2, 3

$$R_A(t) = 1 - F_2(t) \cdot F_3(t) \qquad R_A(t) = 1 - (1 - R_2(t)) \cdot (1 - R_3(t))$$

$R_B(t)$ – zahrnuje prvky 2, 3, 4

$$R_B(t) = R_A(t) \cdot R_4(t) \qquad R_B(t) = [1 - (1 - R_2(t)) \cdot (1 - R_3(t))] \cdot R_4(t)$$

$R_C(t)$ – zahrnuje prvky 5, 6, 7

$$R_C(t) = R_5(t) \cdot R_6(t) \cdot R_7(t)$$

$R_D(t)$ – zahrnuje prvky 2, 3, 4, 5, 6, 7

$$R_D(t) = 1 - F_B(t) \cdot F_C(t) \qquad R_D(t) = 1 - (1 - R_B(t)) \cdot (1 - R_C(t))$$

$$R_D(t) = 1 - [1 - [1 - (1 - R_2(t)) \cdot (1 - R_3(t))] \cdot R_4(t)] \cdot [1 - R_5(t) \cdot R_6(t) \cdot R_7(t)]$$

$R(t)$ – bezporuchovost soustavy, zahrnuje všechny prvky

$$R(t) = R_1(t) \cdot R_D(t) \cdot R_8(t)$$

$$R(t) = R_1(t) \cdot \{1 - [1 - [1 - (1 - R_2(t)) \cdot (1 - R_3(t))] \cdot R_4(t)] \cdot [1 - R_5(t) \cdot R_6(t) \cdot R_7(t)]\} \cdot R_8(t)$$

3.14.

Vztah pro bezporuchovost sériové soustavy složené ze dvou prvků je dán:

$$R(t) = R_1(t) \cdot R_2(t)$$

Prvky mají exponenciální rozdělení dob mezi poruchami, proto platí:

$$R(t) = (e^{-\lambda_1 t}) \cdot (e^{-\lambda_2 t}) = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}$$

Intenzita poruch soustavy jako celku pak bude:

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 \qquad \lambda = 0,0005 + 0,001 \quad (h^{-1}) \qquad \lambda = 0,0015 \quad h^{-1}$$

Doba provozu, kdy soustava dosáhne minimální požadované bezporuchovosti $R(t) = 0,9$, odpovídá kvantilu $t_{0,1}(h)$, který vychází z distribuční funkce:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \qquad \rightarrow \qquad t = -\frac{\ln[1 - F(t)]}{\lambda} \qquad \text{kvantil: } t_{0,1} = -\frac{\ln[1 - 0,1]}{\lambda}$$

$$t_{0,1} = -\frac{\ln[1 - 0,1]}{0,0015} \quad (h) \qquad \underline{t_{0,1} = 70,24 \quad h}$$

Budou-li u obou prvků prováděna údržba nejpozději po uplynutí 70,24 h, splní soustava požadavek na minimální bezporuchovost 0,9.

3.15.

Bezporuchovost soustavy lze určit:

$$R(t) = R_1(t) \cdot R_{23}(t) \qquad R(t) = R_1(t) \cdot [1 - F_2(t) \cdot F_3(t)]$$

U prvku č. 1 je známá doba provozu mezi údržbami, lze tak určit minimální bezporuchovost prvku č. 1, která nastane po uplynutí doby 200 h:

$$R_1(t) = e^{-\lambda_1 t} \qquad R_1(200) = e^{-0,00015 \cdot 200} \qquad R_1(200) = 0,9704$$

Při známé minimální bezporuchovosti prvku č. 1 a známém požadavku na bezporuchovost soustavy lze zjistit požadavek na bezporuchovost prvků č. 2, 3:

$$R_{23}(t)_{\min} = \frac{R(t)_{\min}}{R_1(200)} \quad R_{23}(t)_{\min} = \frac{0,9}{0,9704} \quad \underline{R_{23}(t)_{\min} = 0,9274}$$

Pro známou hodnotu minimální bezporuchovosti prvků 2, 3 lze s využitím rovnic pro distribuční funkci exponenciálního rozdělení vypočítat dobu provozu, po které prvky požadovanou bezporuchovost dosáhnou:

$$F_{23}(t) = 1 - R_{23}(t)$$

$$F_{23}(t) = (1 - e^{-\lambda_2 t}) \cdot (1 - e^{-\lambda_2 t}) = (1 - e^{-\lambda_2 t})^2 \quad \rightarrow \quad t = -\frac{\ln[1 - \sqrt{1 - R_{23}(t)}]}{\lambda_2}$$

$$t = -\frac{\ln[1 - \sqrt{1 - 0,9274}]}{0,00075} \quad (h) \quad \underline{t = 418,6 \quad h}$$

Údržba prvků č. 2, 3 by měla být prováděna každých 418,6 h, aby byl splněn požadavek na bezporuchovost soustavy.

Snížením této doby na 400 h (bezporuchovost se mírně zvýší) lze pak obnovu prvků č. 2 a 3 provádět společně při každé druhé obnově prvku č. 1 (každých 200 h). Sníží se tak doba prostoje soustavy v údržbě.

4.1.

Porucha je ukončení schopnosti objektu plnit požadovanou funkci.

Náhodná porucha je taková porucha, kterou nelze předpovědět podle jiných souvislostí. Závislá porucha vzniká následkem jiné poruchy, nezávislá nikoliv.

Trvalá porucha je taková porucha, kterou lze odstranit pouze obnovou prvku nebo soustavy. V dalším textu se předpokládají výhradně trvalé poruchy.

Dočasná porucha je taková porucha, která může samovolně vymizet, nebo trvá jen po dobu působení vnějšího vlivu.

Katastrofální porucha způsobí okamžitou a úplnou ztrátu schopnosti provozu.

Úplná porucha je porucha objektu, při níž dochází k úplné neschopnosti objektu plnit všechny požadované funkce.

Částečná porucha způsobující neschopnost objektu plnit některé, nikoliv však všechny požadované funkce.

Konstrukční porucha je porucha způsobená nesprávnou konstrukcí, projektem nebo návrhem objektu.

Výrobní porucha je porucha, kterou může způsobit neshoda výrobního procesu a návrhu.

Nezávislá porucha je porucha objektu, která není přímo ani nepřímo zapříčiněná poruchou jiného objektu.

Závislá porucha je porucha objektu, která je přímo nebo nepřímo zapříčiněná poruchou jiného objektu.

4.2.

Podle charakteru vzniku lze rozdělit poruchy na: postupné poruchy (vznikají jako důsledek degradačního procesu), náhlé poruchy (vznikají vlivem vnějšího působení) a kombinované poruchy (kombinace předešlých dvou typů).

4.3.

Adhezivní opotřebení je charakteristické oddělováním a přemísťováním částic kovu mezi dvěma stykovými plochami, kdy v důsledku relativního pohybu funkčních povrchů dochází k porušování povrchových vrstev materiálů.

Abrazivní opotřebení je charakteristické oddělováním částic z funkčního povrchu působením tvrdého a drsného povrchu druhého tělesa – abrazivní částice.

Erozivní opotřebení vzniká dopadem částice obsažené v proudícím médiu na povrch funkční plochy. Pokud má částice dostatečnou energii při dopadu, v závislosti na úhlu dopadu způsobí vytlačení nebo oddělení materiálu z funkční plochy.

Kavitační opotřebení je charakterizováno oddělováním částic kovu z povrchu funkční plochy v místech zániku kavitačních „bublin“, vznikajících v kapalině. Ke kavitaci dochází v proudící kapalině v místech, kde se zvyšuje rychlost proudění a důsledkem je snížení tlaku kapaliny.

Únavové opotřebení vzniká postupnou kumulací poruch v povrchové vrstvě funkčních ploch. Vznikají postupně se rozšiřující oblasti mikrotrhlin, po jistém čase dochází k jejich „spojování“ a postupně vznikají rozsáhlejší oblasti únavového poškození.

Vibrační opotřebení vzniká vzájemnými kmitavými tangenciálními posuny funkčních ploch při spolupůsobení normálového zatížení.

4.4.

Zabránění adhezivnímu opotřebení - vhodné mazání funkčních povrchů (např. mazání okolků hnacích vozidel).

Zabránění abrazivnímu opotřebení – s tvrdostí rostoucí tvrdostí abraziva se musí zvyšovat měkkost povrchu funkční plochy a naopak (např. použití měkčených plastů jako ochranného povlaku potrubí pro dopravu písku).

Zabránění erozivnímu opotřebení - konstrukčním řešením vedoucím na rovnoměrně rozložené rychlostní pole proudícího média.

Zabránění kavitačnímu opotřebení – části ve spalovacího motoru (hlavy válců, oběhové čerpadlo, pouzdra válců) zvýšením tlaku v chladícím okruhu, úprava chladicí kapaliny chemickými prostředky.

Zabránění únavovému opotřebení - včasná detekce vznikajících trhlin s použitím nedestruktivních metod, např. defektoskopie dvojkolí pomocí ultrazvuku.

Zabránění vibračnímu opotřebení – přeprava valivých ložisek - zabránění použitím tenkostěnných pouzder, vsunutých do prostoru valivého ložiska s cílem vymezení ložiskové vůle na nulu.

5.1.

Údržba je kombinace všech technických a administrativních činností, včetně činností dozoru, zaměřených na udržení ve stavu nebo navrácení objektu do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci.

Údržbový zásah je posloupnost základních údržbářských úkonů prováděných pro daný účel. Příkladem je mazání, diagnostika stavu, lokalizace porouchané součásti, apod.

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

Základní cyklus preventivní údržby je nejmenší opakující se interval nebo doba provozu objektu, během které se provádějí určité posloupnosti prací, v souladu s požadavky normativně-technické dokumentace, předepsané druhy preventivní údržby.

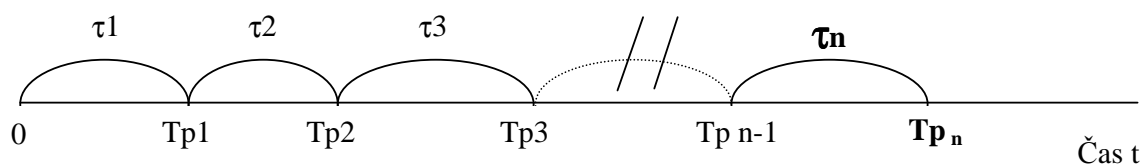
Údržba po poruše je údržba prováděná po zjištění poruchového stavu a zaměřená na uvedení objektu do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci.

Údržbová soustava představuje soubor prostředků, dokumentace pro údržbu a pracovníků, nezbytných pro údržbu a obnovu provozuschopnosti objektů patřících do této soustavy. Soustavou je myšleno materiálně-technické zabezpečení, které zabezpečuje schopnost údržbové organizace poskytovat nutné zdroje pro provádění údržby při daném systému údržby a za daných podmínek.

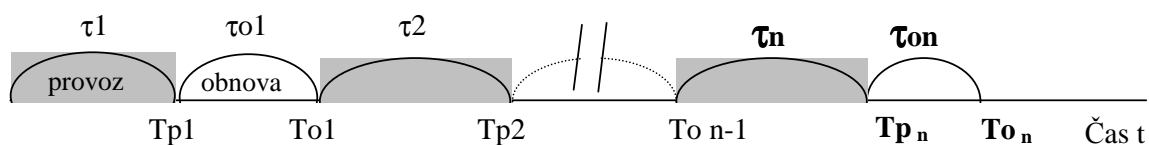
Oprava je část údržby, při níž se na objektu provádějí ruční operace.

5.2.

Proces s okamžitou obnovou:



Proces s konečnou dobou obnovy:



Součinitel pohotovosti: $A(t) = \sum_{n=0}^{\infty} P(\eta_{on} < t < \eta_{n+1})$ a také $A(t) = \frac{T_p(t)}{T_p(t) + T_o(t)}$

Ustálený součinitel pohotovosti: $A = \frac{T_{sp}}{T_{sp} + T_{so}}$

5.3.

Údržbový systém navržený pro vozidla musí respektovat průběh opotřebení součástí vozidla i vozidla jako celku. Cykličnost údržbových zásahů je pro vozidla volena v závislosti na

výkonovém parametru, který charakterizuje průběh opotřebení součástí, jako např. doba provozu, kilometrický proběh, stáří vozidla, doba práce spalovacího motoru, množství spotřebovaného paliva, počet cyklů apod.

Průběh pravděpodobnosti bezporuchového provozu $R(t)$ znázorňuje „rezervu“ spolehlivosti, která klesá s narůstajícím opotřebením. Po uplynutí jisté doby provozu je dosaženo proběhu, kdy vozidlo či jeho díl je opraven a uveden, tak opět do výkresových nebo opravárenských rozměrů, jsou odstraněny následky opotřebení.

5.4.

Individuální údržbový systém - prvek je udržován tehdy, kdy je to z hlediska spolehlivosti prvku nejvýhodnější, používá se pro prvky velmi drahé, z hlediska logistiky obtížně dostupné.

Skupinový systém údržby - skupinová údržba umožňuje účelně seskupit plánované práce, tyto probíhají na více prvcích současně, používá se v případech hodnocení opotřebení prvků použitím vizuální prohlídky.

Komplexní systém údržby - údržba se provádí na všech prvcích současně, systém je vhodný pro rozsáhlé výrobní technologie.

5.5.

Údržbový systém po poruše - údržba je prováděna až v okamžiku poruchy prvku, neprovádí se preventivně. Porucha prvku nesmí ohrozit bezpečnost, životní prostředí, nemá způsobit okamžitou neprovozuschopnost.

5.6.

Údržbový systém se zaručenou bezporuchovostí - poskytuje velmi vysokou, předem určenou bezporuchovost prvků nebo celých systémů. Používá se u součástí nebo systémů kritických z hlediska bezpečnosti nebo ohrožení životního prostředí. Údržba nebo obnova se provádí v předem stanovených intervalech.

5.7.

Údržbový systém po prohlídce - využívá pravidelných prohlídek často spojených s diagnostickým testem ke zjištění technického stavu objektů. Po získání údajů o skutečném technickém stavu) je stanovena další doba provozu objektu, nutný rozsah údržby a doba jejího trvání.

5.8.

Určí se doba provozu odpovídající požadované bezporuchovosti celků (kvantil). Stanoví se základní cyklus údržby, tj. nejmenší hodnota doby provozu. Doba provozu dalších skupin do údržby se upraví tak, aby odpovídal celočíselnému násobku základního cyklu údržby. Stanoví se stupně údržby, cykličnost těchto stupňů a celky, které se v daném stupni udržují.

5.9.

Údržba zaměřená na bezporuchovost (RCM) je metoda pro zavedení programu preventivní údržby, který umožní účelně a účinně dosáhnout požadované úrovně bezpečnosti a pohotovosti zařízení a konstrukcí, a určena k tomu, aby vedla ke zlepšení celkové bezpečnosti, pohotovosti a hospodárnosti provozu.

Na počáteční program preventivní údržby navazuje neustále se měnící (dynamický) provozní program preventivní údržby. Sestavení programu preventivní údržby probíhá v těchto krocích: 1. dekompozice vozidla a stanovení cílů údržby, 2. stanovení prostředků a obsahu údržby, 3. určení intervalů údržby, 4. vypracování počátečního a následně provozního programu údržby.

5.10.

Údržba hnacích vozidel vychází ze zásad periodické preventivní údržby, tvoří ji dvě základní skupiny: technické prohlídky (inspekce) - ověřují skutečný technický stav hnacích vozidel, a skupina údržbových zásahů k obnově technického stavu hnacích vozidel (periodické opravy).

Koncepci udržovacího systému definuje předpis ČD V 25 – „Předpis pro organizaci údržby elektrických a motorových hnacích vozidel, vložených, přípojných a řídicích vozů“.

Bezpečnost provozu vozidel je zajištěna Vyhláškou Ministerstva dopravy, kterou se vydává Dopravní řád, č. 173/1995 Sb., o provádění pravidelné technické kontroly ŽKV, a základní kritéria provozuschopnosti HKV.

5.11.

Ve vztahu pro ustálený součinitel pohotovosti A figurují následující střední hodnoty:

$$A = \frac{T_{SP}}{T_{SP} + T_{SO}} \quad (-) \quad \begin{array}{l} T_{SP} (h) - \text{střední doba bezporuchového provozu,} \\ T_{SO} (h) - \text{střední doba obnovy} \end{array}$$

Ze zadaných údajů lze tyto střední doby určit následovně:

Bezporuchovost – Weibullovo rozdělení:

$$T_{SP} = t_0 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad T_{SP} = 1210 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{2,1}\right) (h) \quad T_{SP} = 1071,7 \quad h$$

Udržovatelnost – normální rozdělení:

$$T_{SO} = \mu \quad T_{SO} = 95 \quad h$$

Ustálený součinitel pohotovosti pak bude:

$$A = \frac{T_{SP}}{T_{SP} + T_{SO}} \quad (-) \quad A = \frac{1071,7}{1071,7 + 95} \quad (-) \quad \underline{A = 0,9186}$$

Ustálený součinitel pohotovosti lze vypočítat kromě využití střední doby bezporuchového provozu a střední doby obnovy také pomocí počtu provozovaných a záložních vozidel, viz vztah:

$$A = \frac{N_P}{N_P + N_Z} \quad (-)$$

$N_P (-)$ – provozní (turnusová) potřeba vozidel
 $N_Z (-)$ – počet záložních vozidel, která zastupují vozidla provozní potřeby, která jsou v poruše

Potřebný počet záložních vozidel pak lze určit:

$$A = \frac{N_P}{N_P + N_Z} \quad \rightarrow \quad N_Z = \frac{N_P \cdot (1 - A)}{A}$$

$$N_Z = \frac{25 \cdot (1 - 0,9186)}{0,9186} \quad (A) \quad N_Z = 2,215 \quad \rightarrow \quad \underline{N_Z = 3}$$

Pro 25 provozních vozidel bude nutné mít k dispozici 3 záložní vozidla (počet 2,215 je nutné zaokrouhlit na 3, protože 2 vozidla při daném součiniteli pohotovosti nebudou stačit).

5.12.

Střední dobu obnovy určíme ze vztahu pro ustálený součinitel pohotovosti:

$$A = \frac{T_{SP}}{T_{SP} + T_{SO}} \quad \rightarrow \quad T_{SO} = T_{SP} \cdot \frac{1 - A}{A}$$

$$T_{SO} = 705 \cdot \frac{1 - 0,85}{0,85} \quad (h) \quad \underline{T_{SO} = 124,4 \quad h}$$

Celkový počet vozidel N_C , tj. vozidla pro provozní (turnusovou) potřebu a vozidla záložní určíme ze vztahu:

$$A = \frac{N_P}{N_P + N_Z} \quad \rightarrow \quad N_C = N_P + N_Z = \frac{N_P}{A}$$

$$N_C = \frac{30}{0,85} \quad (-) \quad N_C = 35,3 \quad \rightarrow \quad \underline{N_C = 36}$$

Celková potřeba pro uvedený požadavek na ustálený součinitel pohotovosti bude 36 vozidel. Provozní potřeba činí 30 vozidel, a tedy 6 vozidel bude záložních pro případ, že vozidla provozní potřeby budou v poruše.

5.13.

Interval odpovídající dosažení minimální požadované bezporuchovosti pro nově dosazený prvek č. 1 se určí s využitím funkce pro bezporuchovost Weibullova rozdělení W2p:

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

$$t = 1385 \cdot \sqrt[1,5]{-\ln(0,9)} \quad (h) \quad \underline{t = 308,96 \quad h}$$

Dobu mezi údržbami prvku č. 1 zaokrouhlíme na 300 h. Protože se dosazením nového prvku č. 1 zvýšila tato doba z 50 h na 300 h, je nutné vypracovat nový systém údržby.

Prvek	Interval (h)	Proběh (h)	100	200	300	400	500	600
1	300				x			x
2	100		x	x	x	x	x	x
3	200			x		x		x
Stupeň údržby			I.	II.	III.	II.	I.	IV.

Stupeň údržby	Název údržby	Prvky	Cykličnost (h)
I.	Malá prohlídka	2	100
II.	Střední prohlídka I.	2+3	200
III.	Střední prohlídka II.	1+3	300
IV.	Velká prohlídka	1+2+3	600

6.1.

Metoda FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), tedy Analýza způsobů a důsledků poruch, je strukturovaná, kvalitativní analýza sloužící k identifikaci způsobů poruch systémů, jejich příčin a důsledků.

Metoda FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) představuje analýzu způsobů, důsledků a kritičnosti poruch, zahrnuje i odhad kritičnosti důsledků poruch a pravděpodobnosti jejich nastoupení.

Využití metody je především v etapě návrhu a vývoje, kde slouží jako součást přezkoumání návrhu jako tzv. metoda předběžného varování, která má zabránit pozdějším problémům vyplývajícím z nespolehlivosti systému.

6.2.

K cílům a účelům analýzy patří: prokázání, že výrobek splňuje požadavky na bezpečnost, specifikace kritických prvků systému z hlediska nepříznivých vlivů důsledků jejich poruchy, prokázání splnění požadavků na spolehlivost před provedením komplexní zkoušek spolehlivosti, poskytnutí vstupní informace pro návrh optimálního systému údržby nebo systému technické diagnostiky.

6.3.

Postup provádění analýzy FMEA/FMECA: 1. přípravná fáze (požadavky na spolehlivost a bezpečnost systému, struktura a funkce systému, provozní podmínky a systém údržby, podmínky prostředí); 2. vlastní analýza jednotlivých prvků systému (způsoby poruch, jejich příčiny a důsledky, opatření k detekci a izolaci poruch, významnost poruch); 3. vyhodnocení analýzy (nápravná opatření k odstranění nebo omezení příčin nejzávažnějších typů poruch).

6.4.

Kvalitativní metoda FMEA posuzuje poruchy podle relativní významnosti poruch (z hlediska závažnosti jejich důsledků).

Kvantitativní metoda FMECA posuzuje poruchy s využitím kritičnosti poruchy (hodnotí závažnost poruchy v souvislosti s pravděpodobností vzniku této poruchy).

6.5.

Výstup z kvalitativní metody FMEA lze znázornit např. s využitím histogramu relativní četnosti poruchy (RPN) pro počáteční stav (bez uvažovaných preventivních opatření) a revidovaný stav (s uvažovanými preventivními opatřeními).

Výstup z kvantitativní metody FMECA lze znázornit např. s využitím matice kritičnosti, která znázorňuje jednotlivé příčiny poruchy v závislosti na jejich kritičnosti a závažnosti výskytu poruchy.

7.1.

V logistice jsou zkoumány tyto toky: materiálové, informační, energií, obalové, odpadů.

Logistický řetězec je tvořen materiálovým tokem, informačním tokem (oblast logistiky) a finančním tokem (oblast ekonomiky) od zdroje surovin k zákazníkovi a naopak.

7.2.

Základní typy uspořádání zásobovacích řetězců: 1. tradiční uspořádání (výrobci zásobují regionální sklady dodavatelů, ty zásobují centrální sklad provozovatele kolejových vozidel, odtud probíhá zásobování operativních skladů v místech údržby.); 2. emancipační uspořádání (skupina výrobců zásobuje regionální sklady dodavatelů, regionální sklady zásobují operativní sklady v místě údržby u provozovatele kolejových vozidel); 3. synchronizační uspořádání (výměnný systém, externí opravce (výrobce) dodává opravené součásti operativnímu skladu v místě údržby).

7.3.

Hlavní cíle logistického zabezpečení lze považovat: snižování nákladů souvisejících s opatřováním předmětu zásobování, zlepšování výkonů útvaru zásobování, snižování vázanosti kapitálu v zásobách, to znamená snižování zásob, zachování autonomie, zajistit možnost zásobování z více zdrojů.

7.4.

Rozhodující faktory ovlivňující logistický systém zajištění údržby, jsou: 1. požadavky trhu (požadavky místa údržby, zdroje – dodavatelé), 2. údržbový systém (výrobní program), 3. ekonomické podmínky (složitost údržby, rozmístění a uspořádání), 4. způsob přepravy (vlastní a cizí přeprava, rychlost), 5. kapitálová náročnost (zásoby náhradních dílů a materiálu), 6. právní rámcové podmínky (právní předpisy pro údržbu, přepravu a kvalitu).

7.5.

Krátkodobá strategie řízení zásob (založená na vícezdrojovém nákupu), dlouhodobá strategie řízení zásob (jistota, příznivý vývoj cen, velké objednávkové série).

7.6.

Dlouhodobou strategii lze realizovat pomocí: synchronní zásobování s údržbou (zásoby jsou nežádoucí, dodávky „právě včas“, tj. metoda přímé odvolávky, společného řízení zásob, umístění dodavatelů v blízkosti odběratele); individuální zásobování (požadavkový systém řízení údržby), pořizování zásob na sklad (vědomé udržování zásob na skladě).

7.7.

Schémata v procesu doplňování a úbytku zásob: postupné doplňování a plynulý úbytek zásob, plynulé doplňování a postupný úbytek zásob, postupné doplňování a postupný úbytek zásob, plynulé doplňování a plynulý úbytek zásob.

7.8.

Strategie zásobování z hlediska časových cyklů: v pevných termínech (t), v případě snížení zásoby pod minimální stanovenou hladinu (s).

Strategie zásobování z hlediska velikosti objednávaného množství: objednané množství je předem stanovené (q), velikost objednaného množství je taková, že po realizaci dodávky, zásoby na určité období dosáhnou maximální hladinu (s).

7.9.

Rozhodovací diagram volby modelů a strategií zásobování.

Rozhodovací diagram volby dodavatele, pro prvky SSI+MSI, resp. pro prvky ESI (přezkoumání stávajících dodavatelů, případně volba nových dodavatelů je prováděna s cílem vybrat ty dodavatele, kteří zajistí výhodnější podmínky než je výchozí stav).

7.10.

Signální hladinou zásob uvedenou v diagramu se rozumí stanovená hladina minimální zásoby, která musí pokrýt požadovanou spotřebu s danou pravděpodobností po dobu t_p .

Stanovuje se pro stochastický charakter spotřeby materiálů a náhradních dílů (s využitím Poissonova rozdělení náhodné veličiny) a pro deterministický charakter spotřeby materiálů a náhradních dílů (spotřeba je dopředu známa, např. při preventivní údržbě).



Další zdroje

- [Antonický S, 1984] Antonický S., Herzáň F., Janotka P.: Provoz železničních hnacích vozidel, Nadas Praha, 1984
- [Barlow, 1996] Barlow, R.E., Proschan, F.: Mathematical Theory of Reliability. Golub, G.H., Stanford University. United States of America 1996. ISBN 0-89871-369-2.
- [ČSN IEC 50(161)] ČSN IEC 50(161): Mezinárodní elektrotechnický slovník, Český normalizační institut Praha, 1990
- [ČSN IEC 60300-3-11] ČSN IEC 60300-3-11: Management spolehlivosti - Část 3-11: Návod k použití – Údržba zaměřená na bezporuchovost.
- [ČSN IEC 812] ČSN IEC 812 Metody analýzy spolehlivosti systémů – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA).
- [ČSN ISO 9000:2000] ČSN ISO 9000:2000: Systémy managementu jakosti - Základy, zásady a slovník, Český normalizační institut Praha, 2000
- [Daněk, 1999] Daněk, A. - Široký, J. - Famfulík, J.: Matematické metody obnovy dopravních prostředků, Repronis Ostrava 1999, ISBN 80-86122-41-7
- [Daněk, 2004] Daněk, J.: Logistika, VŠB – TU Ostrava 2004, ISBN 80-248-0705-X, [skriptum].
- [Famfulík, 2002] Famfulík, J.: Údržba hnacích vozidel zaměřená na bezporuchovost, disertační práce, VŠB – TU Ostrava 2002, ISBN 80-248-0259-7
- [Famfulík, 2001] Famfulík, J.: Simulace nákladů na obnovu vozidel. Konference „Věda o dopravě“. Praha: ČVUT Praha, Fakulta dopravní, 2001. str. 126-132, ISBN 80-01-02437-7
- [Helebrant a kol, 2001] Helebrant, F., Ziegler, J., Marasová, D.: Technická diagnostika a spolehlivost I., VŠB TU Ostrava, 2001
- [Holub, 1992] Holub, R.: Základy spolehlivosti technických systémů, Brno, Vojenská akademie, 1992
- [Holub, 2001] Holub, R.; Vintr, Z.: Spolehlivost letadlové techniky (elektronická učebnice). Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2001.
- [Krzyžanek, 2004] Krzyžanek, R.: Využití programu RCM při údržbě tramvají, bakalářská práce, Ostrava 2004, VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní
- [Lánský, 1998] Lánský, M., Mazánek, J.: Diagnostika a informační diagnostické systémy I., 1.

-
- vydání, Univerzita Pardubice, 1998. ISBN 80-7194-155-7
- [Legát, 1994] Legát, V.: Zabezpečování spolehlivosti strojů v provozu, Praha 1994, Česká společnost pro jakost
- [Míková, 2000] Míková, J.: Ekonomické aspekty spolehlivosti dopravních prostředků v oblasti poskytování služeb, Nová železniční technika, ISSN 1210-3942, číslo 4, 2000
- [Míková, 2006] Míková, J.: Logistická podpora údržby kolejových vozidel, disertační práce, VŠB-TU Ostrava 2006, ISBN 80-248-1065-4.
- [Moubray, 1997] Moubray J.: RCM: Reliability Centred Maintenance , Butterworth Heinemann, Oxford 1997, ISBN 0 – 7506 335881
- [Mykiska, 2004] Mykiska, A.: Bezpečnost a spolehlivost technických systémů, skripta, skripta, Vydavatelství ČVUT, Praha 2004
- [Pošta, 2002] Pošta, J. - Veselý, P. - Dvořák, M.: Degradace strojních součástí. Monografie Praha, ČZU, 2002, ISBN 80-213-0967-9
- [Starý, 1982] Starý, I. : Teorie spolehlivosti, Praha, ČVUT Praha, 1982
- [Stodola, 2002] Stodola, J.: Provozní spolehlivost a diagnostika, VA Brno 2002, ISBN 80–85960-43-5
- [Stuchlý, 1993] Stuchlý, V.: Teória údržby, VŠDS Žilina, Žilina 1993, ISBN 80-7100-056-6
- [Široký, 2005] Široký, J.: Aplikace počítačů v provozu vozidel. Ostrava: VŠB – TU Ostrava. 2005. ss. 128. ISBN 80-248-0768-8 [skriptum].
- [Vintr, 1998] Vintr, Z.: Specifikace požadavků na bezporuchovost technických objektů, disertační práce, Brno: Vojenská akademie 1998
- [Vintr, 2005] Vintr, Z: Co lze najít na Internetu o spolehlivosti, Brno 2005, Univerzita obrany Brno
- [Matějčíček, 2005] http://www.csq.cz/cz/download/normy_sp_7.doc, [cit. 2005-10-10]
- [Reliasoft, 2005] Reliasoft Corporation: ReliaSoft's Xfmea Version 4. Software Training Guide. Tucson: Reliasoft Corporation, 2005; www.reliasoft.com, [cit. 2007-01-22]

Rejstřík

A		J	
abrazivní opotřebení	77, 79	jakost	8
adhezivní opotřebení	78	jednoduchý proces obnovy	90
analýza způsobů a důsledků poruch	131, 136, 146	K	
analýzu způsobů, důsledků a kritičnosti poruch	131, 136, 146	kavitační opotřebení	77, 81
B		kombinovaná porucha	75, 76
bezpečnost	9, 123	kombinovaná soustava	65
bezporuchovost	9, 36	komplexní údržbový systém	96
binomické rozdělení	53	konstrukční porucha	73
C		kritičnost poruchy	145
centrální sklad	160, 166	kvantil	46, 100
D		L	
degradace vlivem prostředí	111	LCC	11, 12
diagnostika	110	logistické zpoždění	89
distribuční funkce pravděpodobnosti náhodné veličiny	26, 35, 44, 49, 64	logistický řetězec	156, 157
doba aktivní údržby	89	M	
doba údržby	89	mazání (čištění)	110
doplňěk k distribuční funkci	36	mediánová hodnota	39
důsledek poruchy	143	mediánové pořadí	58
E		metoda nejmenších čtverců	57
emancipační uspořádání logistického řetězce	162	mezní stav	74
erozivní opotřebení	77, 80	modernizace vozidla	16
ESI	106, 173, 185	modus	39
exponenciální rozdělení	43	MSI	105, 109, 173, 183
F		N	
FMEA	131, 136, 146	náhlá porucha	75, 76
FMECA	131, 136, 146	náhodná porucha	72
G		náhodná veličina	24
Gaussovo rozdělení	50	náhodný jev	24
H		náklady životního cyklu	11, 12
histogram četnosti	29, 30	normální rozdělení	50, 61
hustota obnovy	117	O	
Hustota pravděpodobnosti poruchy	10, 26, 34, 44, 48, 50, 53, 54	obecný proces obnovy	90
I		obnova	89, 110
IEC 50(191)	10	operativní sklad	161, 163, 164, 168
individuální údržbový systém	95	opotřebení	77, 92
Individuální zásobování	175	oprava	11, 88, 121
Intenzita poruch	10, 15, 45, 49	P	
interval údržby	101, 115	paralelní soustava	64
ISO 9000	8	parametr měřítka (t0)	48
		parametr polohy (c)	48
		parametr tvaru (m)	48
		plynulé doplňování zásob	176, 177

plynulý úbytek zásob	176, 177	tradiční uspořádání logistického řetězce	159
počáteční program údržby	103, 118		
pohotovost	9		
Poissonovo rozdělení	54	U	
porucha	10, 72	údržba	10, 88
pořizovací náklady	12	údržba po poruše	11, 88
pořizování zásob na sklad	175	údržba zaměřená na bezporuchovost	103
postupná porucha	74, 76	údržbová soustava	88
postupné doplňování zásob	176, 177	údržbový systém	95
postupný úbytek zásob	176, 177	údržbový systém po poruše	96
poškození nehodou	111	údržbový systém po prohlídce	98
pravděpodobnost bezporuchového provozu	10, 36, 44, 49, 64, 93, 100	údržbový systém se zaručenou bezporuchovostí	97, 100
pravděpodobnost nastoupení jevu	26, 32	údržbový zásah	88, 101
pravděpodobnost poruchy	10, 93, 144	udržovatelnost	9
pravidlo sigma	52	únnavové opotřebenění	77, 82
preventivní údržba	10, 88	únnavové poškození	111
program spolehlivosti	17	úplná porucha	73
prohlídka	110, 121	ustálený součinitel pohotovosti	91
provozní kontrola	110		
provozní program údržby	103	V	
přepravní řetězec	156, 158	vanová křivka	15
		vibrační opotřebenění	77, 82
R		virtuální sklad	163
RCM	103	vlastnické náklady	12
regionální sklad	166	Výrobní porucha	73
relativní významnost poruchy	143		
Reliability Centred Maintenance	103	W	
rozdělení diskretní náhodné proměnné	53	Weibullovo rozdělení	48, 57
rozdělení spojité náhodné veličiny	43		
rozhodovací diagram volby dodavatele	183, 185	Z	
rozhodovací diagram volby modelů a strategií zásobování	181	záběh vozidla	16
rozptyl náhodné veličiny	26, 39, 54, 62	zajištěnost údržby	9
rychlost opotřebenění	74	základní cyklus preventivní údržby	88, 101
		zásobovací řetězec	156
Ř		zásobování synchronní s údržbou	174
řízení zásob	174	závada	73
		zdroje poškození	111
S		způsob poruchy	141
sériová soustava	63		
signální hladina zásob	187, 188, 189	Ž	
skupinový údržbový systém	95	životnost	9
směrodatná odchylka	39, 50		
součinitel pohotovosti	91		
spolehlivost	8, 9, 63, 130		
SSI	105, 108, 173, 183		
střední hodnota náhodné veličiny	26, 27, 38, 50, 53, 54, 62		
synchronizační uspořádání logistického řetězce	164		
T			
technické zpoždění	89		
tok materiálu	156, 158		