

ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST
Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

MANAGEMENT SPOLEHLIVOSTI DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ



**Materiály z XX. setkání
odborné skupiny pro spolehlivost**

Praha, září 2005

OBSAH

NÁSTROJE PRO HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI (RAMS) DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ <i>Prof. Ing. Jaroslav Menčík, CSc.</i>	3
TECHNICKÝ STAV A SPOLEHLIVOST KOLEJOVÝCH VOZIDEL V ŽELEZNIČNÍ DOPRAVĚ <i>Ing. Jiří Kloutvor, CSc.</i>	13
POČÍTAČEM PODPOROVANÉ HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI ŽELEZNIČNÍCH KOLEJOVÝCH VOZIDEL <i>Ing. Jaromír Sojka, PhD.</i>	27

Nástroje pro hodnocení a zvyšování spolehlivosti dopravních prostředků

Prof. Ing. Jaroslav MENČÍK, CSc.

Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera

Katedra provozní spolehlivosti, diagnostiky a mechaniky v dopravě

Anotace:

Základem pro posuzování a zvyšování spolehlivosti jsou data o provozu a poruchách a jejich analýza. Příspěvek shrnuje základní veličiny, užívané pro tyto účely u dopravních prostředků, a základní spolehlivostní charakteristiky. Dále ukazuje užití statistických metod a některých dalších nástrojů (analýza průběhu intenzity poruch, Weibullovo rozdělení a Paretova analýza). V závěru stručně informuje o normě ČSN EN 50126 pro stanovení a prokázání spolehlivosti v dopravní technice.

1. Úvod

Dopravní prostředky mají poměrně dlouhou dobu života (až desítky roků), a náklady na jejich údržbu a opravy představují významnou část celkových nákladů na životní cyklus. K tomu často přistupují ztráty způsobené prostoji, penále kvůli opožděnému dopravení zboží na místo určení v důsledku poruchy apod. Proto je nezbytné usilovat o co nejvyšší provozní spolehlivost vozidel i různých podpůrných zařízení. O té se rozhoduje jednak při nákupu, jednak při provozu. Můžeme například koupit zařízení, které má již zabudovanou vyšší spolehlivost (méně poruch, delší doby mezi poruchami nebo větší životnost) než jiné, ovšem obvykle za vyšší cenu. Otázka je – vyplatí se to? Podobně při provozu chceme vědět, jestli je zařízení tak spolehlivé, jak sliboval výrobce, ale také jestli by šlo dosáhnout vyšší spolehlivosti, a tím snížení provozních nákladů.

Při komplexní analýze a optimalizaci spolehlivosti dopravních prostředků musíme řešit více úkolů. Obecně potřebujeme:

1. sledovat, zda ukazatele spolehlivosti konkrétních vozidel, podskupin a součástí jsou v předepsaných mezích,
2. zjišťovat, které poruchy jsou nejzávažnější z hlediska následků, četnosti nebo nákladů, a jaké jsou jejich příčiny,
3. určovat zdůvodněné počty náhradních dílů a údržbářské a opravárenské kapacity,
4. navrhnout opatření ke zlepšování údržby a obnovy s cílem snižovat příslušné náklady,
5. navrhnout opatření ke zvyšování spolehlivosti, a to jak u stávajících výrobků, tak i u výrobků nových nebo inovovaných.

K tomu všemu potřebujeme znát různé spolehlivostní charakteristiky (a ekonomické údaje). Protože vznik poruch závisí zčásti na náhodě, je při analýze nutno užívat statistické metody. Například o tom, jestli se jedná o závadu náhodnou nebo systematickou, lze rozhodnout pouze na základě sledování velkého množství objektů. Pokud budeme mít jenom jeden automobil, a u něj praskne nějaká součást, nevíme, jestli to byla náhoda, anebo jestli bylo příčinou špatné konstrukční řešení. Daleko snáze to zjistí provozovatel velkého množství vozidel, lokomotivní depo nebo opravna automobilů – zejména pokud provádí servis určité značky.

Jestliže se stejná porucha vyskytne u každého druhého výrobku, pak se rozhodně nejedná o poruchu náhodnou, ale soustavnou, kdy je nutné provést zásadní změnu konstrukce. Údaje o poruchách jsou proto velice důležité i pro výrobce, a právě statistická analýza může prokázat, zda se jedná o problém výroby.

Proto musí být sledovány takové provozní údaje, a uchovávány v takové podobě, aby umožňovaly statistickou analýzu.

V této přednášce se zaměříme především na veličiny pro hodnocení spolehlivosti. (Otázky sběru dat budou probrány v samostatném příspěvku tohoto semináře.) Velmi stručně si všimneme ekonomických otázek a optimální spolehlivosti technických zařízení. Rovněž se krátce zmíníme o jedné z nových norem pro hodnocení a prokazování spolehlivosti.

2. Shromažďování údajů o provozu a poruchách

Základem pro analýzu spolehlivosti jsou údaje o provozu a poruchách. Ty se primárně zapisují do provozních deníků vozidel. (Nemusí jít o doslovné zapisování na papír; palubní počítače dnes umožňují záznam na různá paměťová média.) Evidují se jízdy, ujeté kilometry a prostoje. U prostoje se také zapisují příčiny (porucha a její druh, periodická prohlídka, volno apod.). Získané záznamy lze využít k analýze spolehlivosti vozidel, ale i k analýze a zlepšování činnosti opravárenských dílen a organizace provozu. Pro všechny tyto činnosti je nesmírně důležité, aby byly evidovány všechny poruchy, ale aby byly také zaznamenávány i různé další údaje. Hodnocením velkého množství poruch a porovnáním s dalšími daty z výroby nebo provozu lze někdy vypátrat, co na ně mělo vliv. Když se například před lety v Americe řeklo „pondělní“ automobil, každý výrobce hned věděl, o co jde. Tento vliv se podařilo odstranit. Ale dodnes závisí četnosti nehod na našich silnicích na kalendářním datu. I zde se jedná o problém, který by šlo řešit nebo zmírnit nikoliv konstrukčním řešením, ale organizačními opatřeními.

Statistickou analýzou můžeme zjistit nejen rozdíly mezi jednotlivými vozidly, nebo rozdíly mezi způsobem jízdy různých řidičů či strojvůdců, ale také rozdíly mezi jakostí práce například různých lokomotivních dep. Pro ilustraci uvedeme příklad z příbuzné oblasti. U určitého typu vojenské stíhačky, dodávané do různých zemí, bylo zjištěno, že zpočátku byla intenzita poruch všude stejná. U nových výrobků totiž převažoval vliv inherentní spolehlivosti. Ale po několika letech provozu se začaly objevovat rozdíly v poruchovosti těchto stíhaček v jednotlivých zemích. Příčinou byly rozdíly ve způsobu provádění údržby a běžných oprav; roli přitom hrála i mentalita místních obyvatel.

Proto je nutné, aby se evidovaly různé podrobnosti, např. i místo provozování vozidla. Poruchovost vozů jezdících v regionu s nepříznivými klimatickými podmínkami může být i při dobré péči vyšší než v regionu, kde napadne sníh jenom jednou nebo dvakrát za rok.

Příklad návrhu jednoduchého systému pro evidenci a analýzu poruch železničních kolejových vozidel bude uveden v samostatném příspěvku tohoto kolokvia. Zde pouze shrneme základní veličiny pro určování spolehlivostních charakteristik. Patří sem **doba (okamžik) uvedení do provozu**, **doba zjištění poruchy**, **doba odstavení vozidla**, **doba začátku opravy**, **doba ukončení opravy** a **opětného uvedení do provozu**. Některé z těchto veličin lze uvádět pouze v časových jednotkách, některé je možné měřit také v kilometrech (proběh). Velmi důležitou odvozenou veličinou je **doba provozu mezi poruchami**, počítaná jako „okamžik vzniku, resp. zjištění poruchy mínus okamžik předchozího uvedení do provozu“, a vyjádřená v časových jednotkách nebo km, a **doba trvání poruchy** (okamžik uvedení do provozu mínus okamžik vzniku poruchy). Pro posuzování účinnosti provádění oprav je třeba sledovat také jejich trvání, včetně přípravných časů apod.

3. Základní charakteristiky spolehlivosti

Spolehlivost má podoblasti bezporuchovost, životnost, pohotovost, udržitelnost. Základní spolehlivostní charakteristikou technického objektu je střední doba mezi poruchami (popř. střední proběh mezi poruchami), a parametr proudu poruch. Další ukazatele, které ale závisí i na situaci u uživatele, zejména na organizaci oprav, jsou střední doba neplánované opravy (resp. prostoje), střední doba údržby nebo plánovaných oprav a součinitel pohotovosti.

Střední doba provozu mezi poruchami $MTBF$ (Mean Time Between Failures) a **střední doba poruchového prostoje $MTTR$** (Mean Time To Repair) jsou průměrné hodnoty, které se počítají jako

$$MTBF = \Sigma t_p / n \quad , \quad MTTR = \Sigma t_0 / n \quad , \quad (1)$$

kde Σt_p je součet dob provozu, Σt_0 je součet dob oprav a n je počet poruch (oprav) za sledované období. (Podobně můžeme definovat střední dobu provozu mezi všemi prostoji (včetně organizačních), a střední dobu všech prostojů.) Střední doba mezi poruchami vozidel může být vyjádřena v kilometrech; potom užíváme výraz **střední proběh mezi poruchami**.

Převrácenou hodnotou střední doby mezi poruchami je **střední počet poruch n_1 připadajících na jedno vozidlo** (resp. výrobek) **za jednotku času** (např. den)

$$n_1 = n / \Sigma t_p = 1 / MTBF \quad . \quad (2)$$

Tato veličina se také nazývá **parametr proudu poruch λ** , který odpovídá **intenzitě poruch** u neopravitelných výrobků.

Ze středních dob je možno vypočítat tzv. **součinitel pohotovosti**

$$K_p = MTBF / (MTBF + MTTR) \quad (3)$$

který udává, kolik procent z celkové doby použití je vozidlo (nebo jakýkoliv jiný objekt) v provozuschopném stavu. Součinitel pohotovosti také vyjadřuje pravděpodobnost, že objekt bude v libovolném okamžiku v provozuschopném stavu. (Vzorec (2) uvažuje pouze prostoje způsobené poruchami. Podobně může být definován i součinitel celkové pohotovosti, v němž jsou zahrnuty všechny prostoje, včetně organizačních.)

Doplňkovou veličinou je **součinitel poruchového prostoje K_0** , který vyjadřuje pravděpodobnost, že objekt nebude ve zvoleném okamžiku provozuschopný. Platí

$$K_0 = 1 - K_p \quad . \quad (4)$$

Střední doba mezi poruchami je nejjednodušší veličinou pro **porovnávání činnosti** různých vozidel téhož typu nebo různých typů vozidel, ale i různé obsluhy. Střední doba poruchového prostoje slouží také pro porovnávání vozidel, ale i pro porovnávání práce různých opraven nebo dep.

3.1 Příklady užití základních charakteristik spolehlivosti

Charakteristiky uvedené výše jsou velice jednoduché, avšak značně důležité. Zde jejich použití ukážeme na dvou praktických příkladech.

3.1.1 Stanovení potřebného počtu záložních vozidel

Známe-li střední doby $MTBF$ a $MTTR$ pro jedno vozidlo a počet linek, resp. vozidel N_p , která by měla být v provozu, můžeme vypočítat průměrný počet vozidel N_r , která budou mimo provoz každý den kvůli neplánované opravě. Jestliže za den připadá na jedno vozidlo n_1 poruch, a jestliže je v provozu N_p vozidel, potom za den dojde v průměru k poruše u $N_p \times n_1$

vozidel. Pokud by každá porucha trvala pouze jeden den, byl by průměrný počet vozidel mimo provoz v jednom dni také $N_p n_1$. Jestliže ale oprava trvá v průměru T_0 dní, dojde během jednoho dne sice k výpadku $N_p n_1$ vozidel, ale zároveň do tohoto dne přecházejí i vozidla, která jsou v opravě již od včerejška nebo předvčerejška, atd. Celkem jich tedy bude mimo provoz T_0 –krát více, tj.

$$N_0 = N_p \times n_1 \times T_0 = N_p \times T_0 / T_p \quad . \quad (5)$$

N_0 odpovídá také průměrnému **počtu záložních vozidel**, která musí dopravní organizace mít k dispozici, má-li zajistit provoz na všech N_p linkách bez výpadku, jestliže prostoje nastávají pouze kvůli opravám. Celkový potřebný průměrný počet vozidel v takovém případě je tedy

$$N = N_p (1 + T_0 / T_p) = N_p / K_{p,r} \quad . \quad (6)$$

Přesnější výpočet vychází z rozdělení pravděpodobností výskytu poruch a z rozdělení trvání oprav, a umožňuje stanovit takový počet záložních vozidel, aby pravděpodobnost, že provoz nebude zajištěn na všech trasách, nepřekročila určitou přípustnou hodnotu. Výpočet, který přesahuje rámec tohoto příspěvku, je naznačen v [1]. Přesto i jednoduchý vztah (6) je velice užitečný. Vyplývá z něj, že potřebný počet záložních vozidel je tím menší, čím kratší je doba opravy, nebo čím delší je průměrná doba mezi opravami. Pokud se podaří střední dobu opravy zkrátit například ze tří dnů na dva dny, má to z hlediska potřeby záložních vozidel stejný efekt jako kdyby se podařilo prodloužit střední dobu mezi poruchami z dvaceti na třicet dní – v každém případě by bylo možné snížit počet záložních vozů na dvě třetiny. Dopravní organizace musí zvážit, která cesta je pro ni výhodnější, resp. schůdnější, zda větší počet záložních vozidel, nebo zkracování střední doby opravy. Na jedné straně jsou náklady na odpisy za vozidla, která jsou mimo provoz, na druhé straně jsou náklady související s kapacitou opraven. V každém případě by již při nákupu vozidel měl kupující od dodavatele vyžadovat základní údaje o spolehlivosti, jako je právě střední doba mezi poruchami.

3.1.2 Volba zařízení s ohledem na náklady související se spolehlivostí

Celoživotní náklady na určité zařízení sestávají z nákladů pořizovacích, nákladů na provoz, a nákladů na likvidaci po dožití. Část provozních nákladů tvoří náklady související s poruchami (opravy, prostoje). Již při nákupu určitého zařízení rozhodujeme o těchto nákladech. Můžeme například koupit vozidlo nebo jakékoliv jiné zařízení, které má již od výrobce „zabudovanou“ vyšší spolehlivost (méně poruch, delší doby mezi poruchami nebo větší životnost) než jiné, ovšem obvykle za vyšší cenu. Otázka je: vyplatí se to? Odpověď, nebo alespoň určitou představu nám může poskytnout jednoduchý výpočet s užitím základních spolehlivostních charakteristik a provozních a ekonomických údajů. Naší snahou je, aby byly minimální náklady související se spolehlivostí a poruchami. Tyto otázky jsou podrobněji probírány v [2]; zde si všimneme pouze případu, kdy se jedná o ustálený provoz, poruchy jsou náhodné, a sledované zařízení nebo součást je nutno po poruše vyměnit.

Náklady, související s náhodnými poruchami, C_{np} , sestávají z ceny nového zařízení (součásti) N_0 , z pracovních nákladů na jeho výměnu $C_{vým}$ a ze ztrát vzniklých prostojem, C_{pr} :

$$C_{np} = C_0 + C_{vým} + C_{pr} \quad . \quad (7)$$

Ztrátu vzniklou prostojem lze vyjádřit jako součin hodinové ceny neplánovaného prostoje (C_{lpr}) a trvání tohoto prostoje (doba potřebná na identifikaci poruchy, na zajištění opravy a na samotnou opravu). Náklady na samotnou výměnu můžeme vyjádřit jako součin trvání výměny a hodinové sazby práce montérů. U opravovaných součástí místo nákladů na součást a její výměnu uvažujeme náklady na opravu.

V případě ustáleného režimu s konstantní intenzitou poruch lze jednu poruchu očekávat v průměru za dobu $MTBF$; průměrné trvání prostoje je $MTTR$. Různá konstrukční řešení se

mohou lišit jak cenou součástí, tak i hodnotami *MTBF* a *MTTR* a náklady na opravu. Při porovnávání různých variant je výhodné sledovat jednotkové náklady související se spolehlivostí vyšetřovaného zařízení. Pro tento účel je můžeme definovat jako celkové průměrné náklady, vztažené na jednu hodinu provozu:

$$C_{1,np} = \frac{C_0 + C_{vým} + C_{1,pr} MTTR}{MTBF} . \quad (8)$$

Jednotkové náklady $C_{1,np}$ nám potom poslouží při rozhodování, kterou z možných alternativ zvolíme.

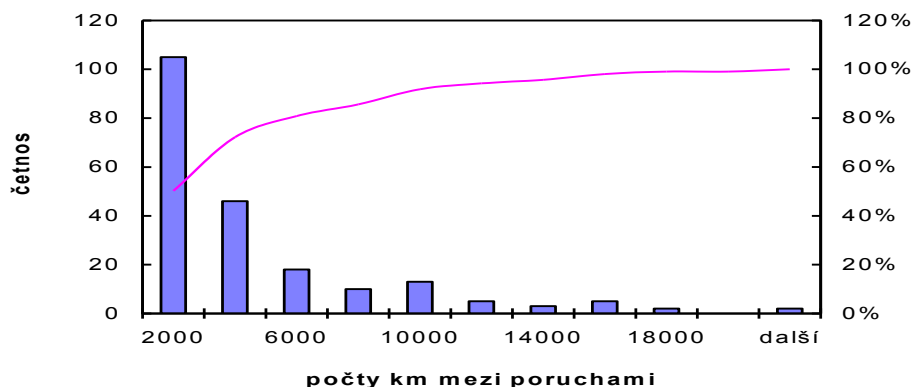
Poznámka. Celkové náklady za dobu provozu t jsou t -krát větší. Ve skutečnosti tyto náklady nenarůstají s časem plynule, ale skokem v okamžiku výměny, a pak zůstávají konstantní až do další výměny. Rozdíl mezi skutečnými náklady a přibližnými bude tím menší, čím více poruch nastane ve vyšetřovaném časovém úseku t .

4. Statistická analýza

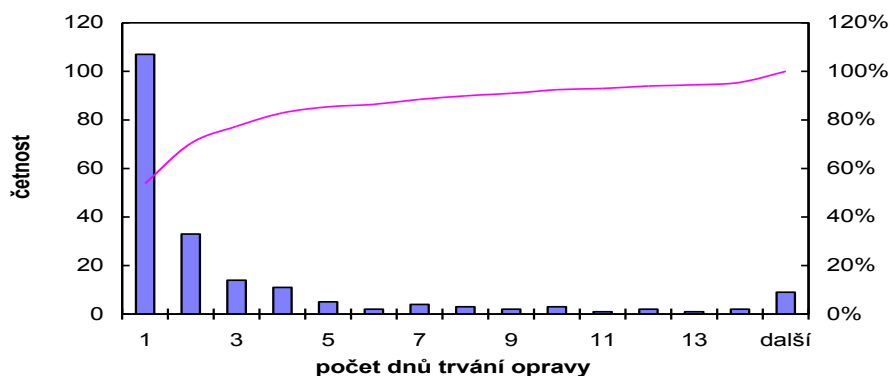
Střední hodnoty, např. střední proběh mezi poruchami, jsou velmi užitečné, ale poskytují pouze zjednodušený pohled. Přesný okamžik vzniku konkrétní poruchy závisí na náhodě. Nikdy nemůžeme totiž s jistotou říci, že příští porucha nastane po ujetí 5000 km jenom proto, že průměrná hodnota u deseti poruch v uplynulém období byla 5000 km. Danou poruchu můžeme sice s největší pravděpodobností očekávat po ujetí 5000 km, ale s určitou (menší) pravděpodobností k ní může dojít i po ujetí 10000 km, ale také po 500 km. Je nutno mít na zřeteli, že každý jev (porucha, trvání opravy apod.) má složku zákonitou, ale i náhodnou. Složka zákonitá se odhalí teprve sledováním a rozbořem velkého množství případů. Statistická analýza dlouhodobého provozu celé flotily vozidel umožňuje zjistit rozdělení pravděpodobnosti výskytu poruch nebo trvání oprav, z něhož lze určit velmi pravděpodobné, anebo naopak málo pravděpodobné hodnoty. Zde je nutné připomenout, že existuje rozdíl mezi statistickou analýzou dělanou pro účetní potřeby dopravní organizace a analýzou provozní spolehlivosti. V organizaci se rozborů provádějí v určitých kalendářních lhůtách, vázaných na finanční hospodaření (obvykle měsíc). Poruchy vozidel ale nejsou vázány na kalendář; bezporuchový provoz nebo naopak poruchové prostoje mohou přecházet z jednoho měsíce do druhého. Spolehlivostní statistická analýza tedy nemůže být vázána na kalendář.

Jestliže zjištěné hodnoty, např. doby mezi jednotlivými poruchami, seřadíme podle velikosti a zařadíme do tříd, dostaneme **histogram**, neboli **rozdělení četností**. Někdy je možné toto rozdělení popsat analytickým výrazem. Tak známe například rozdělení normální neboli Gaussovo, rozdělení exponenciální, Weibullovo a další. Jak uvidíme v kapitole 5, i tvar rozdělení může poskytnout zajímavé informace.

Na obr. 1 je rozdělení počtu kilometrů najetých mezi poruchami u vybrané skupiny vozidel. Rozdělení dní jízd mezi poruchami vypadá prakticky stejně, pouze se liší měřítko vodorovné osy. Na obr. 2 je rozdělení četností trvání poruchových prostoje stejné skupiny. V obou případech je vidět, že průměrné hodnoty jsou pro rozhodování zcela nedostatečné.



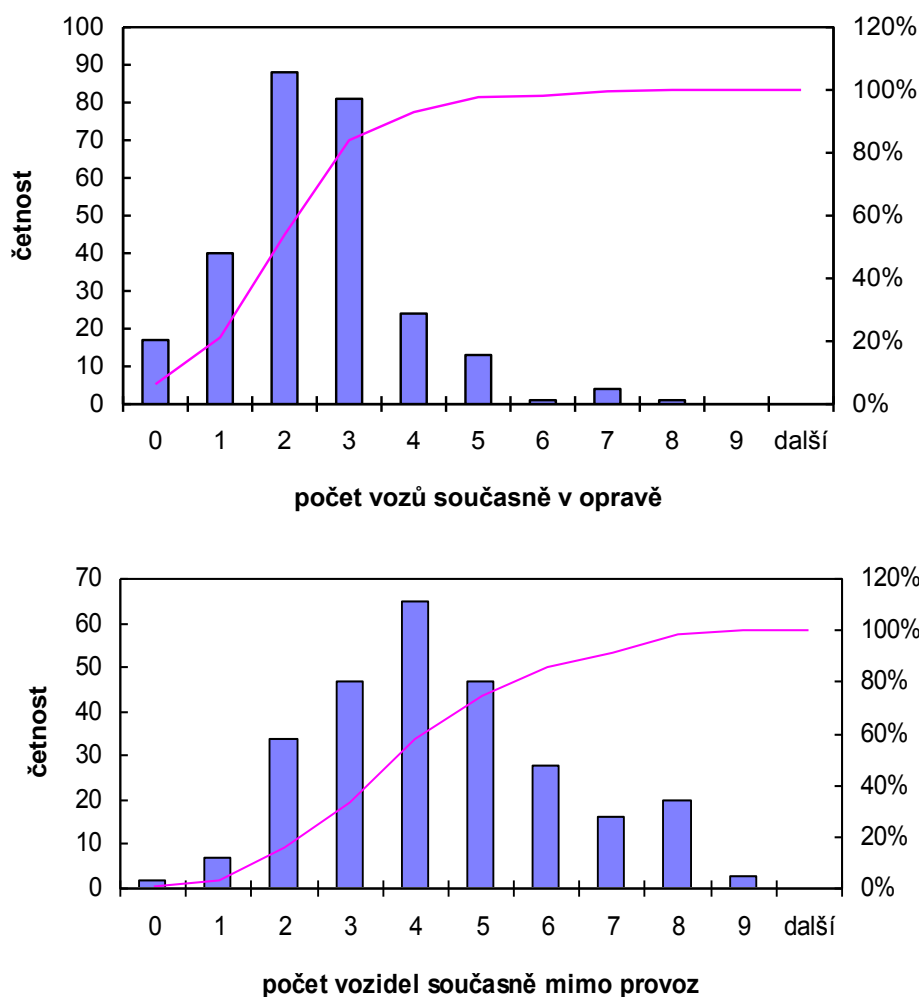
Obr. 1. Rozdělení dob jízd mezi poruchami.



Obr. 2. Rozdělení trvání oprav.

Sledování trvání prostožů a jejich příčin je také velice důležité. Obecně lze prostoje rozdělit na ty, které jsou nezbytně nutné na odstranění poruchy, a na prostoje související s organizací provozu a oprav. Na obr. 3a je počet vozidel (z předchozí skupiny), která jsou v opravě, na obr. 3b je počet vozidel, která jsou současně mimo provoz (opravy, periodické prohlídky, náhradní volno řidičů). Je vidět, že někdy je velká část všech prostožů způsobena nikoliv poruchami vozidel, ale organizačními příčinami. Vhodnou organizací provozu a oprav (např. uskutečněním periodické prohlídky a údržby v době, kdy se provádí oprava „neplánované“ poruchy) lze v některých případech vystačit i s nižším počtem rezervních vozidel a snížit tak celkové náklady.

Proti skutečně náhodným poruchám (proražení pneumatiky, střet s jiným vozidlem) nelze dělat téměř nic. Část náhodných poruch má však zcela konkrétní příčiny související s jakostí součástí a podskupin, kvalitou montáže, včasnou kontrolou a správnou údržbou. Rozdělení pravděpodobnosti výskytu poruch v čase je dáno tím, že u složitých systémů, jako je např. lokomotiva, s mnoha různými součástmi, dochází k poruchám z různých příčin. Množství poruch lze snižovat lepší konstrukcí vozidla, resp. skupin, ve kterých se poruchy vyskytují nejčastěji, kontrolou všech součástí při montáži, ale i průběžným sledováním stavu vozidla pomocí různých diagnostických metod a včasnou údržbou.



Obr. 3. Počet vozidel současně a) v opravě, b) mimo provoz.

Z rozdělení četností poruch určitého typu nebo určitých konstrukčních uzlů vozidla, dob nebo počtů kilometrů ujetých mezi vznikem poruch jistého typu apod. je možné zjistit, zda se jedná o **závadu náhodnou** nebo **systematickou**. Statistická analýza také pomáhá zjistit, jde-li o **poruchy časné** nebo naopak **poruchy dožíváním** (viz dále), o poruchy náhodné anebo o poruchy v důsledku špatného konstrukčního řešení, popř. nevhodného výrobního postupu. (Statistická analýza samozřejmě nenahrazuje stanovení konkrétních příčin poruchy v jednotlivých případech např. analýzou lomových ploch; ale může poskytnout komplexnější pohled na určitý jev.) Opravárenské dílny mohou zase na základě rozdělení výskytu poruch přesněji plánovat potřebné počty náhradních dílů, které by měly být na skladě. Zbytečně velký počet dílů znamená totiž větší odpisy, nedostatečný počet naopak znamená ztráty z prodloužení časů oprav o dobu potřebnou na sehnání těchto dílů apod.

Jednotlivé spolehlivostní charakteristiky musí být možno počítat pro libovolný zvolený časový úsek, pro různé druhy poruch (mechanické, elektrické), i pro poruchy různých součástí nebo skupin. Jednoduché veličiny, jako jsou střední doby apod., však umožňují pouze srovnání s předepsanými hodnotami nebo s hodnotami jiných vozidel, popř. sledování jejich vývoje v čase. Aby bylo možno činit racionální opatření pro zvyšování spolehlivosti a snižování nákladů, je nutno znát také:

- rozdělení dob a proběhů mezi poruchami (Weibullovo, exponenciální apod.),
- rozdělení počtu poruch v čase,
- rozdělení trvání prostojů,

- rozdělení trvání oprav neplánovaných i plánovaných,
- četnosti poruch jednotlivých celků a součástí (během zadané doby).

Z nich se potom mohou stanovit (jako kvantily nebo hodnoty distribuční funkce):

- pravděpodobnost vzniku poruchy určitého druhu během určité doby,
- pravděpodobný počet poruch během jisté doby,
- pravděpodobná doba bezporuchového provozu (vozidla nebo určité podskupiny),

definovaná jako doba, během níž lze poruchu očekávat jen s určitou zvolenou malou pravděpodobností. Z rozdělení četností poruch se mohou také stanovit počty náhradních dílů nebo potřebné opravárenské kapacity, a to bezpečněji než jen ze středních hodnot.

Návrhy na zvyšování spolehlivosti se musí opírat o zjištění, jaké poruchy se vyskytují a jaké jsou jejich příčiny. U každé poruchy je proto nutno zaznamenat typ poruchy a součásti, ale pokud možno i příčinu, okolnosti vzniku a další příznaky. Racionální opatření musí dále vycházet z toho, které poruchy jsou nejčastější, které mají nejzávažnější důsledky, a které znamenají největší náklady, resp. ztráty. Součástí analýzy spolehlivosti je proto tzv. Paretova analýza, která spočívá v seřazení jednotlivých druhů poruch podle četností, ale i podle velikosti souvisejících nákladů. Záznamy o poruchách by proto měly obsahovat též informace o nákladech na opravy (součástky, práce apod.). Při analýze příčin poruch je také třeba ověřovat, jestli některé poruchy nesouvisí s určitými událostmi (např. s kalendářní dobou) nebo s jinými poruchami (tzv. závislé poruchy nebo poruchy se společnou příčinou). Uspořádání dat o poruchách proto musí umožňovat snadnou korelační analýzu.

5. Některé další nástroje pro hodnocení spolehlivosti

5.1 Intenzita poruch

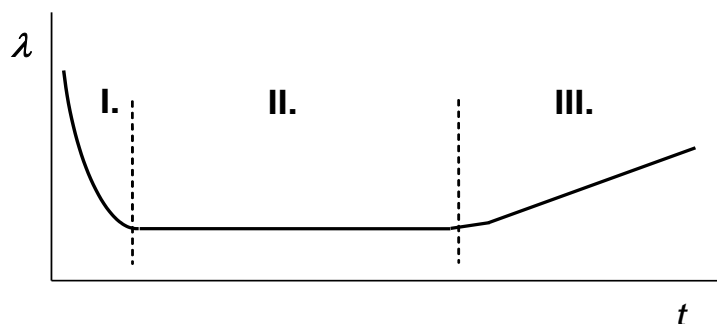
U neopravitelných výrobků, kde porucha znamená vyřazení z provozu, je intenzita poruch definována jako pravděpodobnost, s jakou může během jednotkového časového úseku dojít k poruše objektů, které byly až do příslušné doby v provozu. Konkrétně se počítá jako

$$\lambda(t) = \frac{n\langle t; t + \Delta t \rangle}{N(t) \Delta t}, \quad (6)$$

kde $n_0 < t; t + \Delta t \rangle$ je počet poruch, ke kterým došlo od doby t do doby $t + \Delta t$. U opravitelných objektů, kde počet objektů N zůstává stále stejný, $N(t) = N$, se užívá výraz **parametr proudů poruch**, zmíněný dříve. Ten označuje pravděpodobnost poruchy za jednotku času.

Jestliže budeme sledovat velké množství součástí určitého druhu a zaznamenávat časový průběh intenzity poruch, dostaneme křivku, která se označuje jako **vanová křivka**, neboť v nejobecnějším případě připomíná podélný řez vanou (obr. 4). V prvním úseku (I) je intenzita poruch vyšší a postupně klesá. Následuje dlouhé období normálního provozu, kdy intenzita poruch je zhruba konstantní. Později opět narůstá.

Poruchy v prvním úseku vznikají v důsledku nedostatků v návrhu, užitím nevhodných materiálů, mimotolerančními odchylkami rozměrů nebo technologickými chybami, které nebyly odhaleny mezioperační kontrolou. Někdy vzniknou také náhodnou kombinací extrémních hodnot vstupních veličin. I když každá samostatně byla ještě v toleranci, výstupní parametr se již může dostat mimo povolené meze. Takovéto poruchy se často zjistí při kolaudaci, popřípadě se projeví v krátké době po uvedení do provozu. Daná etapa se proto označuje jako **období časných poruch** nebo dětských nemocí. Vadné výrobky jsou vyřazeny z provozu, popřípadě se opraví, takže podobné poruchy se již neobjeví.



Obr. 4. Časový průběh intenzity poruch λ : I – etapa časných poruch, II – etapa ustáleného provozu, III – etapa stárnutí a dožívání

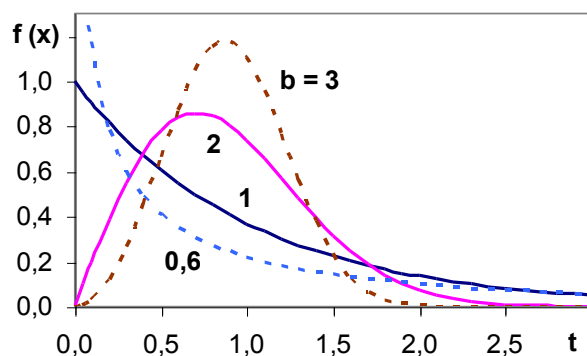
V následující **etapě ustáleného provozu** (označené jako II na obr. 4), která představuje hlavní část života objektu, dochází k poruchám pouze z náhodných příčin, a intenzita poruch je poměrně nízká a zhruba konstantní. V poslední etapě (III) se vedle poruch z náhodných příčin začnou ve stále větší míře objevovat poruchy zejména v důsledku opotřebení, koroze, únavy materiálu nebo jeho stárnutí (například u polymerů účinkem ultrafialového záření nebo ozónu). Tato etapa se označuje jako **období stárnutí** nebo **dožívání**. Poznamenejme, že obr. 4 odpovídá nejobecnějšímu případu, a že někdy některá z etap, např. I nebo III, schází.

5.2 Weibullovo rozdělení

Příčiny poruch nejlépe zjistíme analýzou konkrétních případů. O tom, v jakém stadiu života se celkově nachází vozidlo nebo jiný objekt, se ale můžeme dozvědět také nepřímo, z charakteru rozdělení dob (nebo proběhů) do poruchy (t). Pro spojité veličiny, jako je čas, je velmi výhodné **Weibullovo rozdělení**, které je velmi univerzální a dobře se přizpůsobuje různým typům histogramů. Různým tvarům rozdělení (obr. 5) odpovídají různé hodnoty tzv. parametru tvaru rozdělení b ve výrazu pro distribuční funkci

$$F = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{a}\right)^b\right] ; \quad (7)$$

t_0 je prahová (nejmenší možná) hodnota, a a je parametr měřítka. Jestliže pro konkrétní soubor dob do poruchy vychází parametr tvaru $b < 1$, jedná se o etapu časných poruch, zatímco $b > 1$ odpovídá etapě dožívání. Jsou-li hodnoty b blízké k jedné, jde o etapu ustáleného provozu (II), s poruchami především z náhodných příčin. Při $b = 1$ přechází Weibullovo rozdělení v exponenciální rozdělení, často užívané ve spolehlivosti.



Obr. 5 Weibullovo rozdělení s různými hodnotami exponentu b .

5.3 Paretova analýza

Užitečným nástrojem pro rozhodování o neúčinnějších krocích pro zlepšování spolehlivosti je tzv. **Paretova analýza**. Nejedná se o nic jiného, než o **seřazení** jednotlivých druhů **poruch podle četnosti** výskytu. Pak je možné soustředit se na nejčetnější poruchy, které mohou například svědčit o konstrukční chybě. U každé poruchy je také nutno zvažovat její důsledky, zejména nebezpečnost a odpovídající ztráty. Je proto důležité, aby u každé poruchy byly evidovány i **náklady na materiál a opravárenské práce**, ale aby nějakým způsobem byly zohledněny i **ztráty** vznikající tím, že vozidlo nejedí, popřípadě že na určité lince není zabezpečen provoz. Potom můžeme **poruchy řadit podle nákladů** a zaměřit se na ty, které způsobují největší ztráty. Zpravidla bývají nejčastější jsou poměrně nezávažné poruchy, zatímco největší ekonomické ztráty jsou způsobeny méně častými vážnými poruchami.

6. ČSN EN 50126 („RAMS“)

Příspěvkem ke standardizaci postupů pro stanovení a prokázání spolehlivosti technických zařízení, zejména v dopravní technice, je norma ČSN EN 50126 [3]. Tato norma, která se někdy zkráceně označuje RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety), byla u nás vydána v červnu 2001, a je českou verzí evropské normy EN 50126:1999.

Na normě ČSN EN 50126 je nejzajímavější, že přestože má v názvu slova „stanovení“ a „prokázání“, neuvádí na 57 stranách textové části ani jediný pokyn k provádění, rozsahu nebo vyhodnocování konkrétních zkoušek. Pouze v navazujících přílohách o rozsahu 15 stran je asi 5 jednoduchých vzorců, např. pro výpočet pohotovosti. Norma RAMS neuvádí také ani jedinou číselnou hodnotu týkající se spolehlivosti. Norma obsahuje zejména pokyny „co by se mělo dělat“ a „k čemu je nutno přihlížet“. Pokud se týče vlastního výpočtu parametrů spolehlivosti, postupu zkoušek apod., odvolává se norma RAMS nekonkrétně na jiné normy. K tomuto účelu uvádí soupis asi 50 norem, většinou IEC nebo EN, jež byly v převážné většině také převzaty jako ČSN.

Technicky nebo matematicky zaměřený pracovník bude tedy stylem normy RAMS zklamán. Přesto je tato norma důležitá tím, že obsahuje velmi podrobný soupis definic a faktorů, které mají vliv na RAMS, zejména v oblasti drážních zařízení, a soupis etap procesu formulování požadavků na RAMS a prokazování jejich splnění. (Konkrétní postupy jsou naznačeny v přílohách.) Norma ČSN EN 50126 je tedy určena především jako vodítko pro management procesu stanovení a prokázání RAMS určitého zařízení.

Jedná se o normu mezinárodní, což je důležité zejména dnes, kdy na vývoji a výrobě náročných zařízení, například určitého typu vlaku, se podílí více výrobců z několika zemí, přičemž provozovatel může být opět v jiné zemi. Norma ČSN EN 50126 a její cizojazyčné ekvivalenty tak poslouží pro nalezení společné řeči mezi dodavateli a odběrateli.

Literatura

1. Menčík, J., Pospíchalová, L.: Součinitel pohotovosti dopravních prostředků a systémů – studie. Konference *Spolehlivost 2003*. Vojenská akademie, Brno, 2003, s. 121 – 126.
2. Menčík, J.: Optimalizace návrhu technických objektů z hlediska nákladů souvisejících se spolehlivostí. Konference *Opatřebení, spolehlivost, diagnostika 2005*. Univerzita obrany, Brno.
3. ČSN EN 50126. *Drážní zařízení – Stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržitelnosti a bezpečnosti (RAMS)*. ČSN, Praha, 2001.

Technický stav a spolehlivost kolejových vozidel v železniční dopravě

Ing. Jiří KLOUTVOR, CSc.

České dráhy, akciová společnost, Praha

Anotace:

Příspěvek se zamýšlí nad provozní spolehlivostí železničních kolejových vozidel a důsledky její snížené hodnoty při jejich provozním využívání. Na praktických příkladech je poukázáno na přímé souvislosti mezi celkovou spolehlivostí železniční dopravy jako dopravního systému a technického stavu železničních kolejových vozidel. Naznačuje i cesty, kterými se České dráhy ubírají při zajišťování bezpečného a spolehlivého provozu hnacích i tažených vozidel.

Pravděpodobně každý z nás se již vícekrát ve svém životě dostal do situace, v níž se rozhodoval při koupi určitého výrobku o upřednostnění té či oné značky. Pokud vyloučíme případy výrobků podléhajících módě, kdy se ztrácí racionalita jednání a upřednostňujeme to, co je právě „in“, ve všech ostatních případech se pídíme po podrobnějších informacích. A když méně důvěřujeme těm oficiálním, ptáme se svých známých a ten dotaz obvykle zní: „jak jsi spokojen s...?, je to spolehlivé? apod. Tedy to co oceňujeme je funkčnost výrobku plnit spolehlivě a dlouhodobě svoji funkci. A týká se to nejenom výrobků, ale ve stejném rozsahu i služeb. Objednáváme-li dovolenou – poučení z neserióznosti některých cestovních kanceláří – zajímáme se, zda na ni vůbec odjedeme! Analogicky: máme-li úmysl cestovat vlakem (nebo obecně jakýmkoli dopravním prostředkem), zajímáme se nejenom o vyhledání spojení, ale také o to, zda toto spojení bude fungovat i ve skutečnosti. Můžeme konstatovat – možná s určitou mírou nadsázky – že se zajímáme o provozní spolehlivost dopravního systému.

Poměrně laickým, leč zcela lidsky pochopitelným způsobem jsme se dostali k pojmu **provozní spolehlivost**. Nehledal jsem v předcházejících větách definici tohoto slovního spojení, ale snažil se vystihnout jeho obsah či věcnou náplň z pohledu uživatele systému, tedy cestujícího v železniční osobní dopravě. Provozní spolehlivost se samozřejmě ve stejném rozsahu týká i železniční nákladní dopravy. Spolehlivost není pro železnice novou problematikou. V minulosti však bylo preferováno slovní spojení „zajištění bezpečného a bezporuchového provozu“, což můžeme chápat jako součást spolehlivosti celého dopravního systému i když bylo využíváno i ve vztahu ke konkrétnímu kolejovému vozidlu. Není však účelem tohoto textu rozebírat jazykové nuance, nebo hodnotit pojem spolehlivost jako takový. Mým záměrem je ukázat na praktických příkladech jak „provozní spolehlivost“ zajistit při provozování železničních kolejových vozidel a jak řídit udržovací proces, aby bylo dosaženo jejich požadované spolehlivosti.

Samotné železniční kolejové vozidlo je z hlediska spolehlivosti značně složitým souborem jednotlivých – různě konstrukčně i výrobně – pojatých zařízení. Ve snaze udržet jejich „spolehlivý“ provoz, musíme je podrobovat určitým kontrolám. Tento systém kontrol se nazývá **udržovací řád**. Je specificky sestaven vždy pro určité řady. Skupiny nebo druhy kolejových vozidel. V době, kdy provoz železnice začal nabývat významnějších rozměrů, narůstal počet provozovaných vozidel a došlo i k určité specializaci činností vázaných

k provozování železniční dopravy, vznikl relativně velmi moderní udržovací řád. Slovo moderní nelze v této souvislosti brát na lehkou váhu, neboť tehdy se psaly teprve první roky minulého století a varianty tohoto udržovacího systému se namnoze používají i dnes. Základem tohoto udržovacího systému, který byl mnohem později označen jako **preventivní periodická údržba**. Vycházel z poznání, že každý z rozhodujících konstrukčních celků nebo uzlu kolejového vozidla má svůj vlastní – od ostatních celků vozidla odlišný – interval, ve kterém pravděpodobně dojde ke vzniku poruchy. Na počátku periodické údržby, kdy nebyly žádné zkušenosti s provozem tak složitého systému jako byla parní lokomotiva, spočívala periodicita v každodenní vizuální prohlídce. Udržovací zásah se provedl až tehdy, jestliže byla touto prohlídkou odhalena anomálie. Za udržovací zásah ani tehdy nebylo považováno pravidelné mazání kluzných součástí. Tento systém se postupně zdokonaloval získáváním jak dlouhodobých provozních zkušeností, tak zlepšováním konstrukce kolejových vozidel. V této zdokonalené podobě se stal i základem udržovacího řádu na československé železnici.

Udržovací systém kolejových vozidel provozovaných v akciové společnosti České dráhy je založen na předcházení poruchám cestou pravidelných prohlídek, s přesně předepsaným rozsahem kontrolních i technologických činností. Periodicita tohoto cyklu je odvozena buď od dopravních výkonů kolejových vozidel nebo je funkcí času. Ostatně i zákon č. 266/1994 Sb., o dráhách, v platném znění a na něho navazující vyhláška Ministerstva dopravy č. 173/1995 Sb., kterou se vydává Dopravní řád drah zavádějí pro vybrané druhy drážních kolejových vozidel **pravidelné technické kontroly** jako metodu pro pravidelně se opakující verifikaci technického stavu vozidla. V předcházejících dvou větách (resp. v jejich označených částech) je viditelné uplatnění stejného kritéria pro dvě naprosto odlišné činnosti. Pravidelné prohlídky (k předcházení poruchám) mají za cíl upřesnění následujícího technologického udržovacího zásahu, kterým se do kolejového vozidla ve větší či menší míře skutečně fyzicky zasahuje. Pravidelné technické kontroly jsou převážně vizuálního a administrativního charakteru a ověřuje se jimi, zda je vozidlo vůbec udržováno a jeho technický stav (spíše však jeho konstrukce) se neodchyluje od schváleného typu. Popisují tento stav proto, že i do drážní legislativy se dostaly prvky, vycházející z dlouholeté historie udržování kolejových vozidel. Zásady technické údržby kolejových vozidel byly aplikovány do legislativních ustanovení, jejichž cílem je kontrola typu vozidla, nikoliv přednostně kontrola údržby kolejového vozidla.

Ale zpět k periodické údržbě z pohledu provozní spolehlivosti. Princip prevence požadovaného technického stavu je u všech druhů železničních kolejových vozidel zajištěn předepsanými posloupnostmi technologických udržovacích zásahů včetně demontáží některých celků. Jednotlivé stupně údržby jsou dány platnými udržovacími předpisy (především V25, V62, V66, V67, V68) Českých drah a řadou interních opatření odboru kolejových vozidel generálního ředitelství ČD a.s. Systém periodických prohlídek kolejových vozidel se odehrává přímo v depech kolejových vozidel. Na ně potom navazují jednotlivé stupně periodických oprav, které jsou prováděny částečně i na vybraných pracovištích dep kolejových vozidel. Větší rozsahy periodických oprav jsou obvykle zadávány externím opravcům s lepším technologickým zázemím. Systém periodicky se opakujících prohlídek kolejových vozidel sice umožňuje sledovat postupnou degradaci konstrukčních celků a uzlů kolejových vozidel i jejich jednotlivých prvků, ale nedokáže spolehlivě předejít možnému poruše při provozním nasazení vozidla. Při periodické preventivní údržbě zpravidla konstatujeme, že „*konkrétní konstrukční celek překročil hranici, zaručující jeho správnou funkci*“. Tím se však již dostáváme za hranici, kdy je vznik poruchy velmi pravděpodobný a preventivnost celého systému může být významně narušena. Udržovací řád si (pouze na základě empirických zkušeností) s tímto nebezpečím poradil tak, že přiměřeně krátí nebo naopak prodlužuje intervaly periodických prohlídek. Poměrně krátké intervaly, ve kterých prochází kolejové

vozidlo pravidelnou údržbou, tak dávají dostatek příležitostí k odstranění vzniklých závad a tak umožňují eliminovat provozní poruchy kolejových vozidel. Co tedy vytýkáme tomuto systému údržby. Z pohledu čistě technického je to především skutečnost, že kolejová vozidla jsou do pravidelných prohlídek odstavována v neměnných periodách po celou dobu své životnosti v kterékoliv fázi udržovacího cyklu. To se evidentně nesrovnává se skutečnou životností jednotlivých konstrukčních uzlů a kolejového vozidla jako celku. Z ekonomického hlediska vyžaduje tento systém vynaložení značný finančních nákladů na zajištění kvalifikovaných pracovníků a technologického zázemí, které však není vždy zcela produktivně využíváno. To jsou však požadavky stojící proti sobě v příkrém rozporu. Při nutnosti redukce vlastních nákladů (především z důvodů konkurenceschopnosti na dopravním trhu) vítězí ekonomika. Důsledkem je prodlužování servisních intervalů a tím zvyšování pravděpodobnosti, že dojde ke vzniku poruchy. Paradoxně tak dochází k tomu, že pouhým periodickým udržováním park kolejových vozidel postupně stárne. V situaci, kdy finanční možnosti společnosti, potažmo státu na minimum omezily nové dodávky kolejových vozidel a není vytvářen ani dostatečný prostor k modernizacím či rekonstrukcím vhodných kolejových vozidel ze současného vozidlového parku je to velmi závažná situace. Provozní spolehlivost kolejových vozidel klesá stejně tak jako spolehlivost železničního dopravního systému. Národním a výmluvným dokladem je např. pohled na přehled příčin nedodržovaného jízdního řádu, kde závady kolejových vozidel tvoří 30 – 40% celkového narušení Jízdního řádu.

Je tedy možné konstatovat, že preventivní systém periodických prohlídek vyčerpá své možnosti a nevede přes něho efektivní cesta k dosažení přiměřené spolehlivosti kolejových vozidel. To by bylo možné zajistit pouze s vynakládáním dalších finančních prostředků, což je způsob z mnoha důvodů zcela nereálný.

Jaké jsou tedy vůbec možnosti? Základním požadavkem na provoz železničního kolejového vozidla je jeho bezpečnost a předpoklad, že plánované provozní nasazení (tzv. úplný obrat) dokončí bez poruchy. Předpoklady pro bezpečnost kolejového vozidla jsou vytvářeny již při jeho konstrukci a stavbě a v provozu jsou obvykle verifikovány systémem vizuálních kontrol, případně doprovodnými údaji z monitorovacích systémů kolejových vozidel. Tato část „provozní spolehlivosti“ kolejového vozidla je tedy dostatečně ošetřena. Zajištění bezporuchovosti bude potom součástí vlastního procesu udržování železničních kolejových vozidel. V této souvislosti je obtížné se spokojovat s pouhými průměrnými údaji o provozně-technických parametrech a údajích o spolehlivosti celků např. za řadu nebo sérii železničních kolejových vozidel. Při železniční dopravě či jejím narušení se vždy jedná o konkrétní vozidlo a v rámci údržby se vždy zabýváme konkrétním kolejovým vozidlem, resp. jeho jednotlivými konstrukčními celky. Každý z nich má svoji počáteční spolehlivost, vyjádřenou obvykle dobou do první poruchy. Vyloučit vznik poruchy nelze zcela ani např. zdvojením vybraných celků, což je způsob nesmírně nákladný a mnohdy i technicky obtížně realizovatelný bez zvětšení rozměrů a hmotnosti vozidla. Ani teoreticky nelze zcela zabránit možnosti vzniku poruchy, protože se většinou jedná o stochastický děj. Proto je obtížné opustit „preventivní“ pojetí udržovacího řádu kolejových vozidel. Je však potřebné definovat jeho změněný obsah. **Cílem preventivního udržování kolejových vozidel je schopnost předejít s určitou pravděpodobností vzniku poruchy během provozu.** Přestože vzniklá porucha při provozu vozidla může mít za příčinu neschopnost celého kolejového vozidla dokončit plánované provozní nasazení, jedná se v naprosté většině případů pouze o poruchu jednoho celku nebo zařízení. V běžné praxi se vyskytují dvě rozhodující skupiny poruch. Na jedné straně jsou to poruchy, které znemožní dokončit plánovaný úplný obrat kolejového vozidla a na druhé straně poruchy, kdy je možné (byť s omezením) dokončit úplný obrat. Pro organizaci preventivní údržby vedoucí k zajištění požadované provozní spolehlivosti

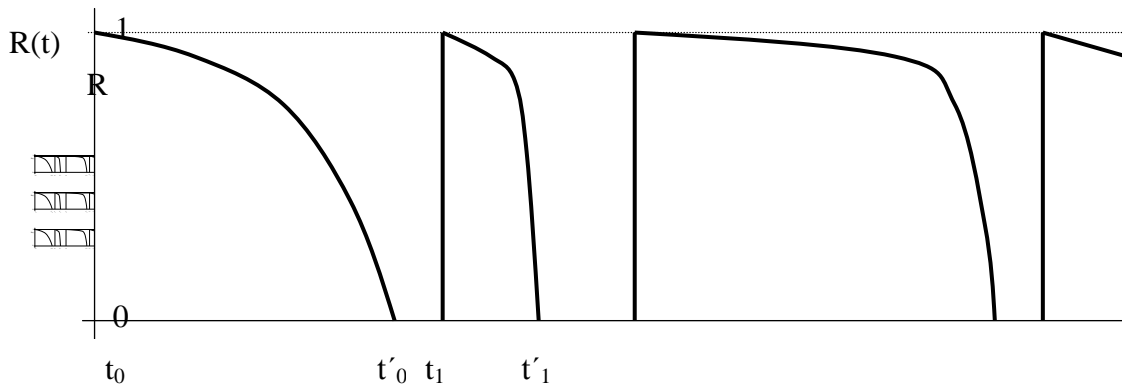
kolejových vozidel je tedy nutné **mít možnost posuzovat rizika vlivu poruchy každého jednotlivého konstrukčního celku na dokončení plánovaného dopravně-přepravního výkonu.** Při posuzování rizika bereme v úvahu nejenom závažnost a vliv každého jednotlivého konstrukčního prvku na celkovou bezpečnost a bezporuchovost železničního kolejového vozidla, ale jsme schopni kalkulovat i s přípustností určité „míry rizika“ vzhledem k charakteru provozního nasazení každého konkrétního kolejového vozidla na konkrétním dopravně-přepravním výkonu. Jestliže zároveň vycházíme i ze zjevného předpokladu, že preventivní údržba je ekonomicky výhodnější než pouhé odstraňování následků poruchy až po jejím vzniku a vytvoříme si možnost selektivního přístupu k udržovaným kolejovým vozidlům, můžeme se oprávněně domnívat, že to bude přínosem nejenom k jejich technickému stavu, ale zároveň povede i ke zefektivnění udržování kolejových vozidel. I když si musíme připustit, že v první fázi aplikace takového udržovacího řádu dojde pravděpodobně k nárůstu finančních nákladů při uvedení kolejových vozidel na potřebnou výchozí hladinu provozní spolehlivosti, jak si ukážeme dále!

Právě jsme naznačili, že udržovat kolejová vozidla tak, abychom zajistili jejich určitou provozní spolehlivost a přitom vynaložili možné minimum finančních nákladů je vlastně určitým procesem optimalizace technologických údržbových procesů. Zajištění provozní spolehlivosti tedy úzce souvisí s řízením údržby tak, aby předcházela poruchám – což jsme ostatně intuitivně konstatovali již v úvodních větách. Z předcházejícího – byť velice stručného – přehledu vyplývá značná složitost **„řízení procesu udržování železničních kolejových vozidel, zajišťujících jejich potřebnou bezporuchovost“.** Je ovšem zřejmé, že periodicky se opakující prohlídky kolejových vozidel k tomu mohou přispět pouze za cenu nárůstu finančních nákladů, což není cesta možná (vzhledem k finanční situaci nejenom Českých drah), ale ani moderní (ve vztahu k poznatkům řady vědních oborů). Při zvážení možností, které nabízí současný stav vědního oboru „dopravní prostředky“ se jeví jako vhodné použití metody **RCM - Reliability Centred Maintenance.** Nejobvyklejší překlad do českého jazyka zní **„údržba zaměřená na bezporuchovost“.** Domnívám se, že i po technické stránce obsah tohoto překladu vystihuje velmi přesně vlastní obsah údržby kolejových vozidel. Ostatně již v návrhu **normy ČSN IEC 60300-3-11 bylo v úvodu: „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 je určena k tomu, aby vedla ke zlepšení celkové bezpečnosti, pohotovosti a hospodárnosti provozu.“** Pokud snad u tohoto slovního spojení postrádáte ještě dovětek **„železničních kolejových vozidel“,** musím konstatovat, že tam nemůže být zařazen. Nejedná se totiž o metodu speciálně určenou pro dopravní prostředky nebo železniční kolejová vozidla, ale všeobecně využitelnou (a využívanou) při údržbě složitějších technických zařízení. Slovním spojením **„údržba zaměřená na bezporuchovost“** označujeme takový soubor technologických udržovacích postupů, který v čase dokáže zajistit bezpečný a spolehlivý provoz zařízení. Tyto činnosti mají svoji standardní hierarchii, výsledkem jejichž spolupůsobení je předem stanovená (požadovaná) kvalita udržovaného zařízení.

Metoda RCM bezesporu patří mezi preventivní udržovací systémy – cílem je minimalizovat počet poruch vzniklých při provozu kolejových vozidel! V čem jsou tedy odlišnosti: především nevnímáme kolejové vozidlo jako jediné celek, ale jeho jednotlivé (rozhodující) konstrukční celky hodnotíme z pohledu vzniku poruchy s přiměřeným rizikem, že vzniku poruchy nezamezíme. K posouzení toho se musíme opřít alespoň o minimum teorie a znalostí o chování určitého konkrétního zařízení.

Ukažme si na grafu vývoje poruchy, jak se chová kolejové vozidlo udržované v **systému periodické údržby:** Údržba je prováděna převážně po vzniku poruchy. Neprovádí se tedy preventivně z pohledu sledování charakteristik chování jednotlivých konstrukčních prvků

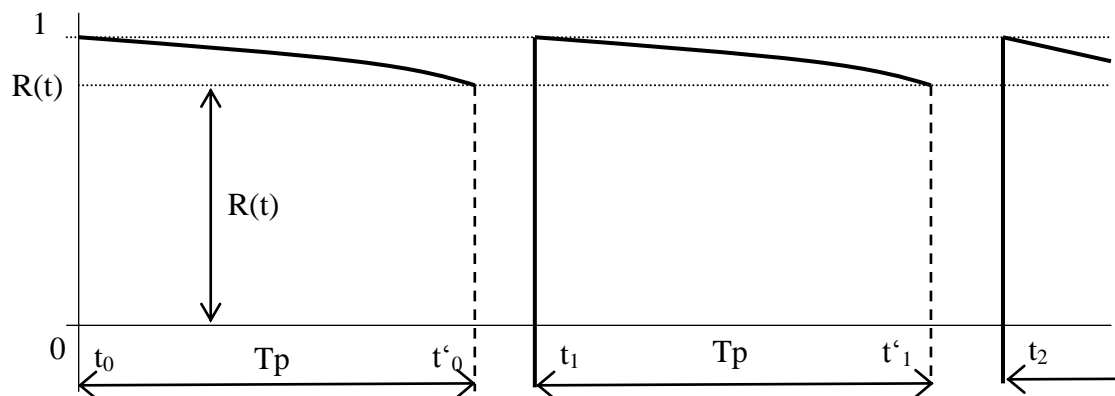
kolejového vozidla. Doba do poruchy prvku je náhodnou veličinou, která nekoresponduje s termíny periodických prohlídek kolejového vozidla. Porucha přichází neočekávaně a velmi často má za následek negativní dopad do provozního nasazení kolejového vozidla včetně nejdůležitějších případů – nedokončení úplného obratu, ohrožení životního prostředí nebo ohrožení bezpečnosti provozu. nelze vyloučit ani „řetězení poruch“, kdy porucha jednoho prvku iniciuje poškození prvků dalších.



kde: $R(t)$ je pravděpodobnost bezporuchového provozu
 t'_0, t'_1 okamžik vzniku poruchy, vzniká neprovozní stav
 t_0, t_1 okamžik ukončení opravy, vzniká provozuschopný stav
 $t_0 - t'_0$ doba provozu vozidla bez poruchy
 $t'_0 - t_1$ doba údržby vozidla (obnovy bezporuchového stavu)

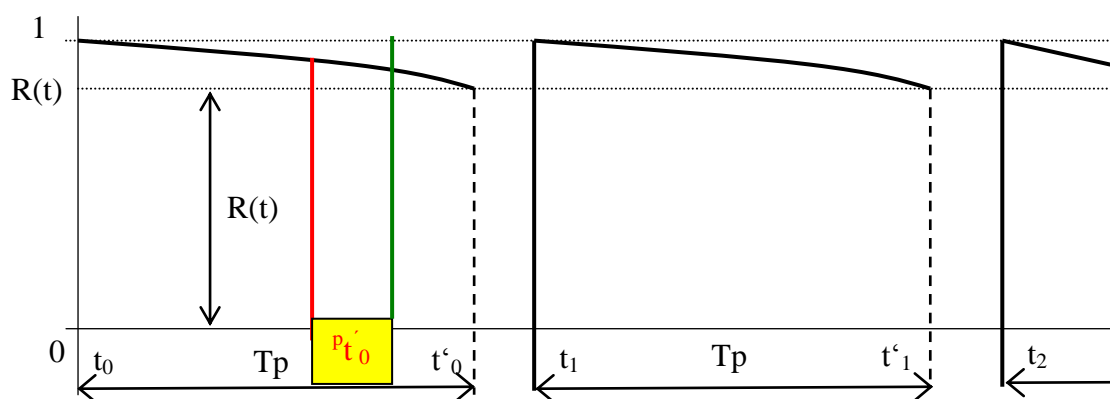
Údržba po poruše je někdy nazývána nápravná, protože pouze odstraňuje (napravuje) důsledky opotřebení a nesnaží se jím předcházet, případně je snižovat. Pokud je používána jako regulérní udržovací řád nelze mluvit ani o zajišťování bezporuchového provozu a lze vyjádřit pochybnosti, zda se vůbec jedná o udržovací systém! Je však oprávněné jej použít u prvků, kde je obtížné nebo nemožné zjistit velikost opotřebení, např. elektronické součástky. Musí být však doplněn tak, aby se minimalizovaly negativní dopady do provozuschopnosti celého kolejového vozidla (např. zálohování prvků, přepínatelné funkce apod.). Systém má velmi vysoké finanční náklady nejenom na svůj vlastní provoz, ale i na vytvoření, udržování a provoz dostatečné provozní zálohy kolejových vozidel a na likvidaci následků poruchy vzniklé při provozním nasazení kolejového vozidla.

Pravým opakem tohoto systému je **údržbový systém se zaručenou bezporuchovostí**. Zaručuje velmi vysokou, předem určenou bezporuchovost prvků nebo celých systémů. Používá se proto u součástí nebo systémů kritických z hlediska bezpečnosti provozu nebo ohrožení životního prostředí, kde prakticky není možné použít zálohování (např. dvojkolí u železničního vozidla).



kde: $R(t)$ je pravděpodobnost bezporuchového provozu
 $t_0 - t'_0$ interval preventivní údržby T_p
 $t'_0 - t_1$ doba preventivní údržby (obnovy) prvku
nebo soustavy

Jak je vidět, údržba (obnova stavu) se provádí v předem stanovených intervalech. Proto je nutné zajistit sledování a evidenci příslušného výkonového parametru, např. kilometrického proběhu vozidla, který je kritériem pro stanovení intervalu preventivní údržby. Ta probíhá zásadně podle předepsaných technologických postupů, prvek je zpravidla po jistém proběhu vyřazen a nahrazen novým či opraveným se zárukou. Variantním řešením je provedení velmi důkladná kontrola s využitím nedestruktivních metod, např. defektoskopie. Zavedení systému vyžaduje velmi dobrou znalost parametrů spolehlivosti jednotlivých konstrukčních prvků, musí být vypracovány podrobné technologické postupy, normy spotřeby práce a materiálu, fungující logistickou podporu. Interval T_p je možné určit, pokud jsou známy parametry rozdělení dob do poruchy. Systém má sice vysoké finanční náklady na svůj provoz, ale tyto jsou většinou násobně nižší, než ztráty vzniklé následkem poruchy kolejového vozidla během jeho provozního nasazení. Tento údržbový systém popisuje „ideální „stav periodické preventivní údržby – kolejové vozidlo je do periodických prohlídek odstavováno v pravidelných intervalech a konstrukční prvky, které jsou s ohledem na naplnění zadaného kritéria (např. uvedeného km proběhu) v kritické hodnotě jsou vyměňovány. Skutečnost je však zcela jiná: periodicita prohlídek je vcelku dodržována, ale zcela abstrahuje potřebná výměna konstrukčních celků. Uvedený graf je potom značně deformován

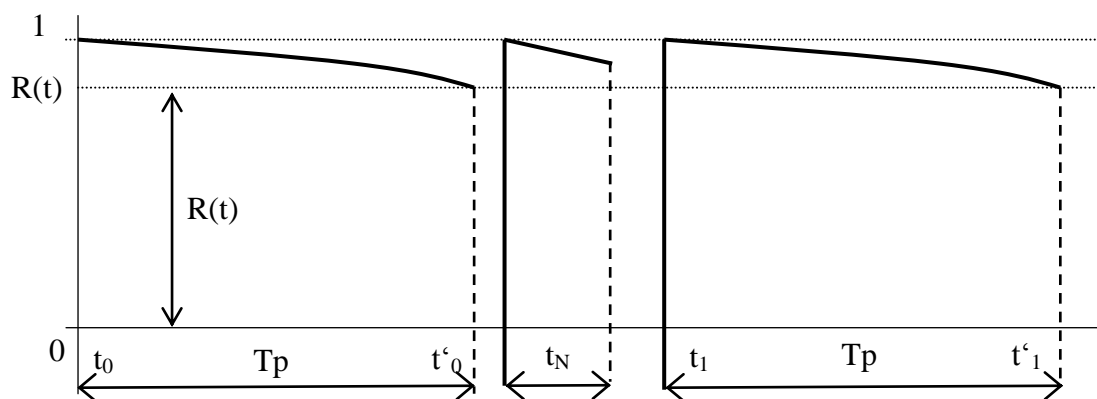


kde: $R(t)$ je pravděpodobnost bezporuchového provozu
 $t_0 - t'_0$ interval preventivní údržby T_p
 $t'_0 - t_1$ doba preventivní údržby (obnovy) prvku

t'_0 okamžik vzniku náhodné poruchy a doba jejího odstranění
 $t_0 - t'_0$ doba do náhodné poruchy prvku

Kolejové vozidlo je do nutné údržby po poruše odstavováno v mezidobí intervalu periodické údržby T_p . Protože dochází k opravě / výměně prvku se kterou nebylo uvažováno, obvykle dojde i k prodloužení doby odstranění příčiny poruchy t'_0 . Vzhledem k tomu, že touto opravou po poruše se provádí udržovací zásah pouze na nefunkčním konstrukčním celku, není nikterak dotčen interval T_p , ve kterém je kolejové vozidlo přistavena k preventivní prohlídce jako celek. Nejenom nutností použít neplánovaně konstrukční prvek k odstranění neočekávaně vzniklé poruchy, ale i nutností mít po dobu opravy k dispozici záložní provozní vozidlo dále nekontrolovatelné narůstají finanční náklady takto deformovaného udržovacího systému. Dochází tak k paradoxnímu jevu: snaha o snížení finančních nákladů při udržování kolejových vozidel v systému periodických preventivních prohlídek vede v poměrně krátkém čase k jejich nárůstu!

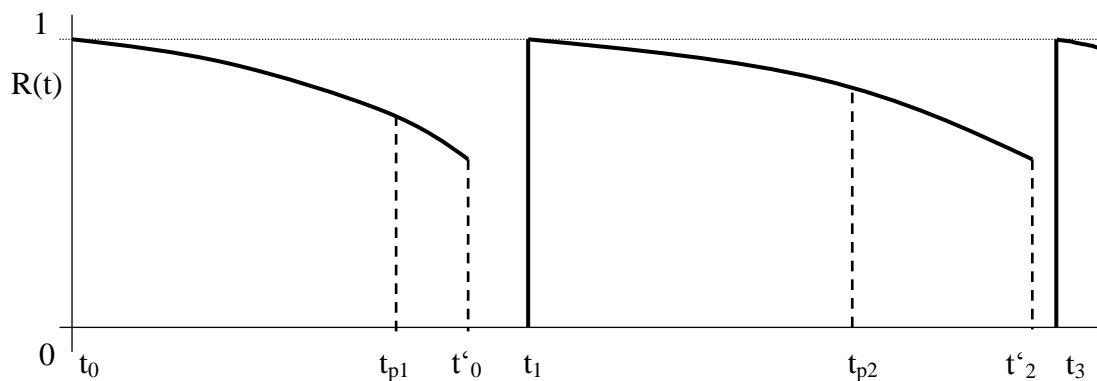
Nevýhodu náhodně vzniklých a nepředvídatelných poruch v systému se zaručenou bezporuchovostí je možné v určitém rozsahu eliminovat změnou organizace udržovacích prací. Ta spočívá ve sloučení preventivní údržby s okamžikem, kdy je nutné odstranit náhle vzniklou poruchu. I pro to však platí určitá omezení! Obvykle takto postupujeme tehdy, jestliže byly naplněny alespoň $\frac{2}{3}$ doby do preventivní údržby T_p . Lze konstatovat, že tak provádíme údržbu s ohledem na věk prvků. Platí to samozřejmě za předpokladu, že se jedná o nepředvídatelné poruchy a nikoliv o poruchy, zapříčiněné zanedbáním periodické údržby. Po odstranění náhle poruchy v době t_N potom začíná nový interval T_p preventivní údržby.



kde: $R(t)$ je pravděpodobnost bezporuchového provozu
 t_0, t'_0 interval preventivní údržby T_p
 t_N, t'_0 okamžik vzniku náhle poruchy
 $t_1, t'_1,$ začíná nový interval preventivní údržby T_p

Již v úvodu jsme poukázali na skutečnost, že jedním z důvodů proč v údržbě kolejových vozidel Českých drah selhává systém preventivních periodických prohlídek je menší množství finančních prostředků dlouhodobě do udržování kolejových vozidel uvolňovaných, než tento systém potřebuje. Jestliže významným zdrojem této finanční náročnosti je právě četnost prohlídek, je hledaným řešením řízené prodloužení intervalu údržby T_{PR} . Mimořádný důraz je kladem na řízené prodloužení údržbového intervalu. To ovšem není možné bez objektivní znalosti technického stavu rozhodujících konstrukčních celků kolejového vozidla. Využívá se

k tomu (v ideálním případě) diagnostických testů nebo zobrazení dlouhodobých statistických údajů.



kde: $R(t)$ je pravděpodobnost bezporuchového provozu
 $t_0 - t'_{0}$ předpokládaná doba bezporuchového provozu
 t_{p1} okamžik provedení inspekční prohlídky diagnostického testu
 $t_{p1} - t'_{0}$ doba prodloužení bezporuchového provozu při přijetí určitého rizika vzniku poruchy
 t'_{0}, t_1 doba údržby (obnovy), neprovozní stav.

Z grafu je patrné, že vlastní technologický údržovací zásah provádíme až v okamžiku, kdy se blížíme k hodnotě přípustného rizika vzniku poruchy. Oprávněně tedy mluvíme o údržbovém systému po prohlídce. Po získání nebo ověření údajů o velikosti opotřebení (přesněji: skutečného technického stavu) je stanovena další doba provozu kolejového vozidla, nutný rozsah budoucí údržby, okamžik jejího zahájení a doba jejího trvání. Tak může být sestaven **operativní plán údržby**, který vedle uvedeného zahrnuje i spotřebu materiálu a živé práce. Při organizaci údržovacích prací se pamatuje i na dostatečný čas na odstranění dodatečně zjištěných závad. Systém je pružný, umožňuje dobrou organizaci práce, efektivní využívání odborného personálního potenciálu i technologického vybavení pracoviště. Je schopen reagovat i na změnu provozních podmínek. Aby nepřinášel snížení bezpečnosti a spolehlivosti kolejového vozidla je bezpodmínečně nutné správně nastavit parametry životnosti a bezporuchového stavu všech rozhodujících konstrukčních prvků a uzlů kolejového vozidla. Časový odstup mezi ověřením technického stavu a vlastní údržbovým zásahem je výhodný i z hlediska logistické podpory. Sestavením operativního plánu údržby je zřejmé, jaké prvky (součásti) je nutné vyměnit, jaký bude potřeba materiálu na provedení údržby a oprav. Vzniká jistý předstih mezi okamžikem spotřeby před okamžikem vzniku požadavku na materiál, což vede ke snížení nároků na rychlost dodávek a rozsah skladových zásob.

Tento způsob údržby kolejových vozidel je principem údržovacího systému **RCM** - údržby zaměřené a bezporuchovost. Z uvedeného údržba představuje údržbu vybraných konstrukčních celků a uzlů železničních kolejových vozidel v závislosti na jejich skutečném technickém stavu, známých parametrech bezporuchovosti a posouzení míry rizika vzniku poruchy. Cílem této údržby je dodržení stanovených parametrů provozní spolehlivosti a bezpečnosti každého jednotlivého železničního kolejového vozidla a jeho celků při optimálně určené době údržbového zásahu. Provozní spolehlivosti je tedy dosahováno pravidelným

sledováním technického stavu železničního kolejového vozidla a provedením udržovacího zásahu v optimálně stanoveném okamžiku.

Zavádění metody RCM u Českých drah, a. s. představuje zcela novou filosofii přístupu k udržování železničních kolejových vozidel. Tuto změnu můžeme označit jako přechod od periodické preventivní údržby na údržbu preventivně spolehlivostní. Ve stručnosti je možné rozdíl mezi nimi popsat následovně: *Základem periodické preventivní údržby je opakující se cyklus předepsaných a omezeně se měnících technologických operací, kterými se ověřuje technická způsobilost kolejového vozidla. Přitom se udržovacími zásahy podrobují i ty celky a uzly kolejového vozidla, které nevykazují žádné viditelné odchylky od předepsaného stavu. Tímto postupem je údržba kolejových vozidel nejenom finančně a časově náročnější, ale vzniká poměrně vysoké riziko vnesení sekundárních poruch při zpětné montáži celků na kolejové vozidlo. Preventivně spolehlivostní údržba představuje přechod na cílenou údržbu vybraných konstrukčních celků a uzlů železničních kolejových vozidel v závislosti na jejich skutečném technickém stavu, známých parametrech bezporuchovosti a posouzení míry rizika vzniku a důsledku poruchy. Cílem této údržby je dodržení stanovených parametrů provozní spolehlivosti a bezpečnosti každého jednotlivého železničního kolejového vozidla a jeho celků při optimálně určené době a termínu udržovacího výkonu.*

O teoretických základech RCM - údržby zaměřené na spolehlivost jsme toho pověděli dost, ale jedna záležitost nebyla ještě zmíněna: několikrát byla vyslovena podmínka dobrých a objektivních poznatků o technickém stavu jednotlivých konstrukčních celků kolejového vozidla, abychom mohli stanovit optimální okamžik pro vykonání udržbového zásahu. To samozřejmě vyvolá okamžitě dva až tři návazné problémy.

Jedním z nich je odpověď na otázku, které konstrukční celky budeme považovat za natolik důležité, že nemohou ujít naší pozornosti při sledování technického stavu kolejového vozidla. Zdánlivě jednoduchá odpověď však obsahuje řadu úskalí. Mezi neopominutelné celky určitě bude patřit např. podvozek hnacího vozidla. Ten je však sestavou řady složitých zařízení. Určitě budeme sledovat nápravu, trakční motor, trakční převodovku, systém přenosu tažných, příčných i svislých sil apod. Ovšem i trakční motor je sám o sobě složitým zařízením, v němž budeme určitě sledovat technický stav kotvy i statoru. Ale komutátor kotvy stejnosměrného trakčního motoru a na něm umístěné sběrné zařízení je tak častým zdrojem závad, že je bude nutné sledovat samostatně. Už z tohoto náhodně zvoleného příkladu jedné části hnacího vozidla je patrné, že jeho „rozkládání“ na sledovatelné celky může být bezbřehé! Majíce na paměti, že nejdražší je ta informace, na jejíž získání vynaložíme úsilí, ale k ničemu ji nevyužijeme, musíme do „rozkládání (dekompozice)“ kolejových vozidel zavést nějaký systém. Proces dekompozice vozidla na funkční celky musí postupovat směrem shora dolů. Postup začíná identifikací celků, dále podskupin celků případně až na úroveň součástek, s cílem identifikovat funkčně významné a ostatní celky. Funkčně významné celky (FSI) jsou takové celky, jejichž předvídatelné důsledky poruch funkce nebo funkcí mohou způsobit:

- Poruchy ovlivňující bezpečnost, životní prostředí
(konstrukčně významný prvek)

Porucha takového prvku ovlivní bezpečnost nebo životní prostředí, a to i skrytě. Následkem vzniku takové poruchy je kolejové vozidlo vyřazeno ze svého provozního využívání až do okamžiku provedení opravy. K takovýmto prvkům počítáme jakýkoliv detail, součást, sestava nebo celek, který významně přispívá k zachycení provozního, gravitačního, tlakového, řídicího zatížení, jehož porucha by mohla ovlivnit bezpečnostně kritickou konstrukci vozidla. Typickým příkladem je dvojkolí, systém vedení dvojkolí a vypružení, rám podvozku, rám vozidla, spřáhlové a narážecí ústrojí, mechanická i pneumatická část brzdy vozidla, tlakové nádoby, nádrže pohonných hmot. Plánovaná

údržba celků SSI tvoří základ programů údržby. Celky s přípustným poškozením mají většinou prakticky použitelné a efektivní strategie plánované údržby, např. vizuální prohlídka, nedestruktivní zkoušky zjišťování trhlin apod. Důležitou otázkou je stanovení intervalů plánované údržby, využívá se metod teorie spolehlivosti s bezpodmínečně nutnou podporou sběru dat. Při údržbě celků s bezpečnou dobou života se spoléhá na kombinaci bezpečné doby života, zajištěné sledováním doby provozního nasazení celku (evidencí proběhu) a systému plánované údržby. Po dosažení doby života jsou celky vyřazeny. Pokud není možné zajistit dosažení tohoto cíle údržby, je nutné celek přepracovat (navrhnout jeho konstrukci znovu), protože neexistuje způsob zajištění bezpečnosti provozu.

- Poruchy s významným dopadem na provoz a údržbu (MSI)
(prvek významný z hlediska údržby)

Porucha takového prvku ovlivní nepříznivě provoz kolejového vozidla, ale jeho provoz nepřerušuje. V důsledku poruchy je nutné zavedení provozních omezení nebo obsluhující personál musí použít postupy pro mimořádné případy. Důsledkem je přímý vliv na provozní nasazení vozidla (např. prodloužení jízdní doby vlaku). Prostoje vozidla vynucené opravou celku MSI má vliv na významné snížení součinitele pohotovosti. Je nutné mít takovou strategii údržby, která snižuje pravděpodobnost poruchy na přijatelnou úroveň. Pokud není možné navrhnout tuto strategii, použije se systém údržby po poruše. V případě příliš velkých provozních sankcí je potřebné přepracovat konstrukci celku.

- Poruchy s významným ekonomickým dopadem (ESI)
(prvek významný z hlediska nákladů)

Porucha prvku nebrání provozu vozidla, ale nese sebou ekonomické ztráty v důsledku dodatečných nároků na pracovní sílu a nákladů na materiál. Strategie údržby proto vychází z hodnocení nákladů a přínosů. Program plánované údržby musí mít nižší náklady než odstranění důsledků vzniklé poruchou. Pokud není možné navrhnout vhodnou strategii údržby, použije se systém po poruše, v případě velkých ekonomických ztrát je možné požadovat přepracování – změnu konstrukce prvku.

To vše je možné vyjádřit jednoduchým přehledem

Typ celku	Cíl údržby
SSI	Zabránit vzniku první poruchy
MSI	Omezit pravděpodobnost poruchy na přijatelnou úroveň
ESI	Plánovaná údržba musí mít nižší náklady než odstranění důsledků vzniklé poruchou

Druhou otázkou jsou dostupné a objektivní informace. Použitelné systémy diagnostik jsou u kolejových vozidel v provozu Českých drah světlou výjimkou, a proto se musíme obrátit k jediné možné náhradě, kterou je statistické zpracování dat. V tomto směru mají minulá léta velký dluh. Ve služebním odvětví kolejových vozidel bylo v posledních dvaceti letech uskutečněno několik pokusů o integrovaný sběr dat z oblasti provozování a udržování kolejových vozidel. Žádný z nich nevedl k úspěchu buď pro svoji izolovanost, nebo nedostatek výpočetní techniky. Teprve v posledních dvou, třech letech se rozeběhli práce na modulu údržby PM. Modul PM informačního systému SAP R/3 je dalším z modulů, jejichž implementace má za cíl zpřístupnit vybrané údaje o železničních kolejových vozidlech a začlenit řízení údržby a obnovy do jednotného informačního systému používaného u ČD a.s.

Celý informační systém SAM R/3 je koncipován jako univerzální multifunkční systém pro řízení podniku a tomuto účelu odpovídají i struktura a funkce jednotlivých modulů. Jinak tomu není ani u modulu PM, který má sloužit pro řízení údržby kolejových vozidel a pro propojení tohoto řízení s ostatními strukturami informačního systému. Je pro něho tedy dominantní role ekonomického a controllingového nástroje pro TOP management akciové společnosti.

Z hlediska jeho přímé využitelnosti pro vlastní řízení údržby kolejových vozidel jsou však patrné některé odlišnosti

Hierarchická struktura systému.

Hierarchická struktura objektů zájmu v informačním systému musí být řešena tak, aby základním objektem systému byl objekt nejstabilnější a z hlediska sběru a využívání dat pro potřeby řízení údržby kolejových vozidel takový, že jeho identifikace se stává rozlišovacím klíčem pro všechny připojené informace. Základním objektem zájmu pro údržbu je konkrétní kolejové vozidlo. Z hlediska struktury se toto dělí na funkční skupiny a celky. Ve vyšších stupních struktury je vozidla agregují do vozidlových řad (podřad daných konstrukčními úpravami viz např. řada 162/3). Řady se pak sdružují do skupin podle trakce atd. Jednoznačným identifikátorem tohoto objektu je inventární číslo vozidla, které je jedinečné, a k duplicitě nemůže dojít ani po fyzickém vyřazení vozidla z provozu.

Z hlediska provozu jsou jednotlivá vozidla přidělena organizačně k jednotlivým provozním jednotkám, které mají odpovědnost za jejich provoz a údržby (mimo nákladních vozů). Pro modul PM je pro potřebu controllingu základním objektem „Technické místo“, které v implementaci představuje „provozní jednotku“.

Ze zkušeností je zřejmé, že požadavky na informace při řízení údržby na provozní úrovni vztažené na jednotlivá vozidla jsou řádově častější než požadavky na informace vztažené na provozní jednotku. Aplikovatelné řešení je hledáno ve vytvoření určitých podprogramů, kterými se zpracovávají dávkové informace z „provozní jednotky“ pro přenos do systému SAP. Jejich zpracování tak velice snadno vzniknou informace o jednotlivých kolejových vozidlech. Nutnou podmínku pro využitelnost těchto údajů je správná dekompozice kolejových vozidel na prvky SSI, MSi a ESI.

Údaje vstupující a vystupující v systému

Vstup a výstup údajů realizovaných modulem PM je nutno rozdělit do dvou základních úrovní, odlišných podle počtu přístupů a množství dat realizovaných při jednotlivých přístupech. První úroveň tvoří oblast operativního řízení údržby kolejových vozidel, která pro svou realizaci potřebuje množství detailních údajů o základním objektu řízení, tj. o konkrétním kolejovém vozidle. Druhou úroveň tvoří oblast daná vyššími stupni řízení (na úrovni vedení DKV, DPOV, GR). Požadované informace pro druhou oblast jsou především tzv. „průřezové a sumarizační“, vznikající agregací dat pořízených v oblasti operativního řízení. Tomu zcela vyhovuje zpracování dat systémem výše popsaným.

Řízení údržby kolejových vozidel metodou RCM, vyhodnocování spolehlivostních parametrů a podpora automatizace rozhodovacích procesů, vyžadují velké množství informací o řízených objektech. Tento požadavek se projeví v informačním systému velkým objemem dat vstupujícím do systému SAP. V případě online komunikace představuje jejich vstup a zobrazování vysokou zátěž pro samotný informační systém včetně přenosových cest. Proto nebudou všechny informace potřebné pro řízení údržby nutně realizovány v PM SAP R/3, ale budou se předávat data v agregované podobě, která systém zatíží úměrně jeho možnostem a jeho posláním.

Vznik požadavku na údržbový zásah a jeho realizace

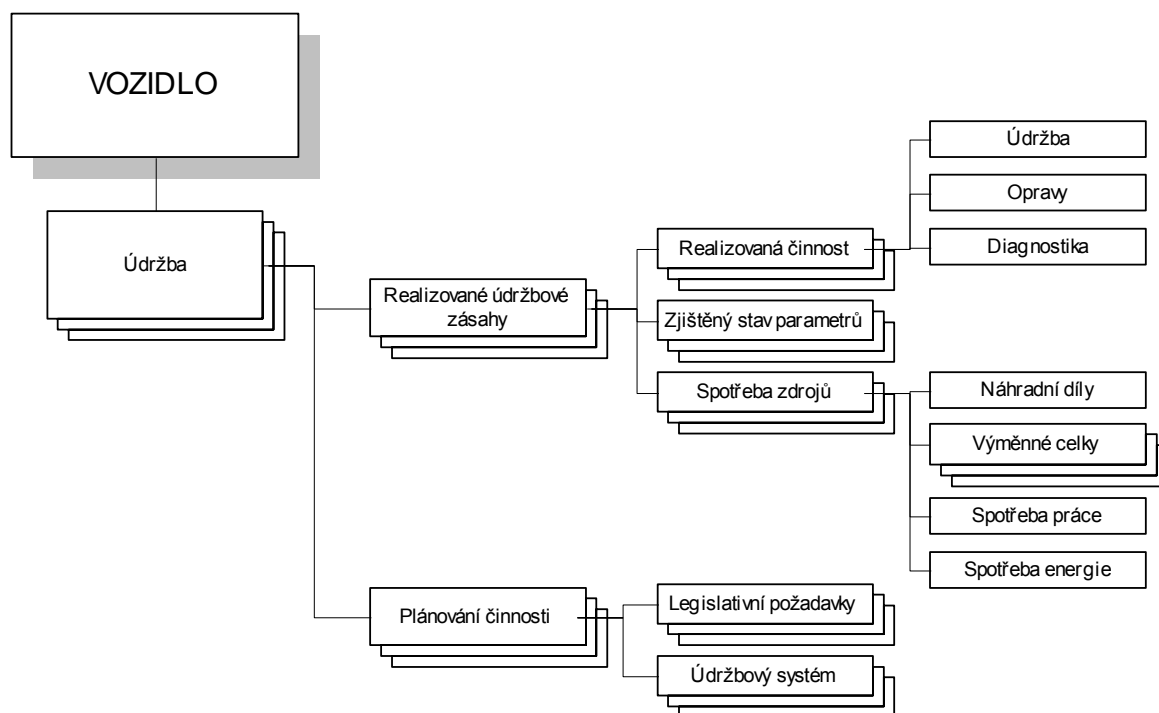
V běžné praxi vychází požadavek na údržbový zásah ze dvou zdrojů: jako porucha zjištěná při provozu kolejového vozidla nebo jako porucha zjištěná v rámci technické kontroly vozidla.

V obou případech se musí jednat o autorizované pracoviště. Vznik příslušné zakázky musí být zachycen (z důvodů controllingu) bezpodmínečně v modulu PM. Po ukončení údržbového zásahu budou pracovníkem údržby do formuláře zakázky doplněny i o další předepsané údaje (materiál, pracnost, údaje nutné pro sledování spolehlivosti apod.). Vozidlo je fyzicky předáno k provoznímu využití a určený provozní pracovník doplní další předepsané údaje. Tím se uzavře cyklus vzniku údajů o realizovaném údržbovém zásahu. Takto vzniklá data po základní funkční kontrole se předají do PM modulu.

Aniž by byla následujícími řádky zpochybňována role modulu PM SAP R/3 pro strategické řízení ČD, a.s., soustředím se v dalších řádcích na základní podmínky „Informačního systému pro řízení údržby železničních kolejových vozidel“. Třebaže mluvíme o informačním systému, nejedná se o systém, který by měl fungovat souběžně s modulem údržby PM. Bude přísně vycházet z prvotních dat pořizovaných pro potřeby SAP, ale tyto informace bude třídit postup využitelným pro techniky, řídicí jak vlastní údržbu kolejových vozidel, tak ty, kteří jsou zodpovědní za rozvoj parku kolejových vozidel Českých drah a jeho technickou úroveň. Základní požadavky na tento informační systém lze shrnout do následujících bodů:

- Uživatelská přívětivost
zadávání dat a obsluha informačního systému na pracovištích údržby a dalších pracovištích dodávajících údaje do systému musí být nesmí klást vysoké nároky na znalost obsluhy výpočetní techniky.
- Zadávání dat nesmí časově zatěžovat obsluhující pracovníky
předpokládá se maximální standardizace obsluhy v porovnání s ostatními systémy používanými na pracovišti za maximální použití rozbalovacích nabídek, funkčních a horkých kláves.
- Jednoduchá spolupráce s okolními informačními systémy
včetně jednoduchého export a import dat dodávaných z jiných zdrojů. Jedná se především o spolupráci s již existujícími nebo postupně a implementovanými moduly centrálního informačního systému SAP R/3 (především PM, MM, CO), ale i s jinými IS, které jsou používány na pracovištích řízení provozu vozidel.
- Informační systém musí umožňovat import dat z jiných zdrojů
jež jsou nutná pro řízení údržby. Jedná se především o údaje od výrobců a opravců kolejových vozidel, požadavky na sledování nákladů životního cyklu (LCC), provozní i údržbové parametry, centrálně řízené číselníky apod.
- Podpora rozhodování při řízení údržby
Informační systém musí maximálním způsobem podporovat rozhodovací procesy při řízení údržby od úrovně nejnižší (mistr řídicí údržbu), přes řízení údržby na úrovni výkonné jednotky až po úroveň odboru kolejových vozidel. Základním požadavkem je stav, kdy pracovníci odpovídající za vložení údajů do systému z nich mají bezprostřední užitek, tzn. mají přístup k výstupům informačního systému.
- Vazba na předem definované pracovní postupy pro jednotlivé udržovací zásahy
V návaznosti na navržené udržovací systémy musí systém obsahovat pracovní postupy pro činnosti v jednotlivých udržovacích stupních definované pro jednotlivé řady či skupiny vozidel. Vystavené pracovní postupy současně mohou sloužit jako výkaz práce a záznam zjišťovaných při údržbových zásazích. Jejich hodnoty se přenášejí do formuláře zakázky při jejím uzavírání po ukončení údržbového zásahu.
Tvorba a aktualizace pracovních postupů pro předepsané údržbové zásahy bude řízena centrálně. Jednotlivá místa údržby mají možnost definovat si vlastní pracovní postupy pro opakující se činnosti s přihlédnutím na místní možnosti a podmínky. Tyto postupy jsou řízeny lokálně.

Údržba kolejových vozidel je technicky i finančně náročná činnost. Bez znalosti dat, jejich dlouhodobého statistického zpracovávání a následné prognostické využívání je základní kamenem tohoto systému. Přitom musíme mít na paměti, že pohyb dat je obousměrný a proto musí být zaručena jejich rychlá dostupnost a jednoduchá využitelnost. Zdroje a provázanost dat přehledně ukazuje následující schéma:



Nemůže existovat jiný závěr, než stručná informace o současném stavu. Koncepce udržování železničních kolejových vycházející z metody RCM představuje zcela odlišný přístup k udržování železničních kolejových vozidel Českých drah, než je dosavadní praxe. Pro služební odvětví kolejových vozidel to znamená vynaložení určitého úsilí. Je to však přirozené pokračování dlouhodobé práce na implementaci modulu PM SAP R/3. Ten v této době přechází z pilotního ověřování v DKV a DPOV do fáze zahájení rutinního provozu ve všech výkonných jednotkách služební odvětví kolejových vozidel od 1.1.2006. V souvislosti s tím se intenzivně pracuje na principu zpracování pořizovaných údajů pro SAP v informačním systému pro řízení údržby kolejových vozidel a vlastního SW řešení.

Koncepce RCM údržby kolejových vozidel předpokládá existenci základního předpisu pro údržbu kolejových vozidel a na něj navazující směrnice pro údržbu jednotlivých řad vozidel. Vlastní předpis byl připraven v prvním návrhu jako velmi stručný návrh zásad a principů udržování kolejových vozidel a organizace jejich údržby. Pro vlastní řízení údržby kolejových vozidel budou rozhodující „směrnice pro údržbu“. na jejich návrhu se v současné době začíná pracovat. Předpokládá se moderní koncepcí směrnice, umožňující základní podmínku efektivního fungování údržby, tj. dynamicky se vyvíjející program údržby, měnící se v závislosti na provozních, technických a ekonomických podmínkách provozovatele. Proto se předpokládá se, že konstrukční části vozidel kritické z hlediska bezpečnosti budou i nadále řízeny „z centra“, ostatní části vozidel „z míst údržby“, kde jsou známy provozní, technické a ekonomické podmínky nutné pro efektivní fungování údržby. Důsledkem tohoto přístupu je potřeba změna chápání takovéto směrnice. Stejná řada kolejových vozidel, dislokovaná v různých DKV (tedy místech údržby) může mít jiný obsah i cykličnost údržbových zásahů.

Nelze proto sestavit jednu univerzální, neměnnou a pro všechny stejnou směrnici pro údržbu kolejových vozidel. Bude v ní i dostatek prostoru pro lokální úpravy, vycházející ze skutečnosti, že „místo údržby“ bude plně zodpovědné za technický stav kolejového vozidla.

Rozhodujícím kritériem pro stanovení použitých prostředků údržby je kategorizace celků vozidla do třech základních skupin, označovaných jako SSI, MSI, ESI. To představuje aktuální úkol. Dlouhá délka etapy provozního nasazení kolejových vozidel – jedna z fází životního cyklu a nestejná rychlost průběhu fyzického i morálního opotřebením různých konstrukčních skupin si vyžádá základní rozvahu – která kolejová vozidla přejdou na systém RCM údržby. Počítá se zařazením nově dodávaných a modernizovaných vozidel jako první etapou. Po nich budou následovat kolejová vozidla, u kterých je předpoklad dlouhodobějšího provozního využívání. Pro první přiblížení to rozhodně budou kolejová vozidla, u nichž lze předpokládat 12 a více let provozního využívání. Změna a vývoj údržbového systému však nemůže být živelný, musí být respektována jistá pravidla a podmínky pro zavádění změn. Součástí procesu zavádění údržby zaměřené na bezporuchovost (RCM) je provedení RCM analýzy. Analýza bude nutnou podmínkou při zařazení kolejového vozidla do systému RCM údržby. Jejím výsledkem bude počáteční program údržby. To představuje značný objem prací, které budou provedeny v rámci zpracování směrnice pro údržbu určité řady kolejových vozidel. Vhodným uspořádáním směrnic údržby je možné značně zjednodušit zpracování změn v údržbě celků vozidla. Na druhou stranu přílišné zjednodušení podoby směrnic by mělo za následek ztrátu důležitých informací nutných pro efektivní řízení a plánování údržby. Bude proto nutné najít kompromis mezi množstvím informací uvedených ve směrnici údržby, mírou jejich využívání a objemem prací nutných k jejich vytvoření a udržování v aktuální podobě. V současné době se hledá takovýto kompromis v podobě definování vhodné formy, obsahu a prostředků pro realizaci směrnice údržby.

V posledních letech se výrazně změnila technická úroveň a konstrukce železničních kolejových vozidel všech druhů a řad. Změna v konstrukci železničních kolejových vozidel se odráží i v požadavcích na vyšší odbornou kvalifikaci i specializaci zaměstnanců, podílejících se na jejich provozování a udržování. Obdobným způsobem vzrůstají i nároky na technologické vybavení těchto pracovišť v DKV. Je zřejmé, že tento finančně náročný krok by nebylo možné realizovat ve všech výkonných jednotkách. V tomto směru bylo již v minulém roce dosaženo významné změny a to vytvořením specializovaných pracovišť DPOV, prioritně určených k provádění údržby větších rozsahů. Chápaní vzrůstajících nároků na kvalifikaci a technologie nelze zužovat pouze na schopnost provést údržbové zásah, je nutná masivní informační podpora celého procesu údržby, dobře zvládnutá mimo jiné i pracovníky údržby vozidel.

Úzké vazby na modul PM SAP R/3 jsou sledovány již při počátečním návrhu formy a obsahu směrnic údržby jednotlivých řad kolejových vozidel. Totéž se týká i ostatních modulů, zvláště pak modulu MM SAP R/3. Nerespektování těchto vazeb by vedlo k technicko-organizačním problémům a v konečném důsledku finanční neefektivnosti jak ve vlastní údržbě, tak ve vytváření převodních můstků v případě technické neslučitelnosti s jednotlivými moduly SAP R/3. Proto budou směrnice údržby zpracovávány a programovou i s elektronickou podporou implementačního týmu modulu PM SAP R/3 a důsledně v elektronické podobě. Nedořešen je v této etapě způsob přenosu a dostupnosti technicko-ekonomických informací. Do nedávné doby se budovaly informační systémy pracovišť takovým způsobem, že každá řešená oblast byla aplikována na navzájem nesourodých prostředcích a protokolech. To s sebou přinášelo zvýšené náklady na údržbu, zaškolování personálu a potíže při vzájemné kooperaci a rozšiřování informačních systémů. Využití nových IT však rozhodování značně zjednoduší.

Počítačem podporované hodnocení spolehlivosti železničních kolejových vozidel

Ing. Jaromír SOJKA, PhD.

*České dráhy, a.s., Generální ředitelství, Praha
Odbor kolejových vozidel*

Anotace:

Příspěvek se zabývá využitím výpočetní techniky v oblasti hodnocení provozní spolehlivosti železničních kolejových vozidel (ŽKV). Za tímto účelem navrhl autor metodu pro identifikaci celků a klasifikaci poruch ŽKV a vytvořil počítačovou aplikaci „FAST“, která umožňuje statistické zpracování údajů o poruchách s následnou analýzou poruchovosti ŽKV.

Důsledná analýza poruchovosti vede k získání a upřesnění poznatků o příčinách a mechanismech nejčastějších poruch a poskytuje přehled o stavu ŽKV a jeho konstrukčních celků v období technického života. Využití informačních technologií v této oblasti s sebou přináší mnoho předností, z nichž nejvýznamnější je rychlé zpracování údajů, objektivizace výsledků a racionalizace práce.

1. Úvod

V současné době není k dispozici jednotná a ucelená metodika sběru dat o poruchách železničních kolejových vozidel (dále ŽKV), která by poskytovala přehled o stavu vozidla a jeho konstrukčních celků v období technického života a sloužila jako podklad k hodnocení provozní spolehlivosti. Největším problémem se jeví skutečnost, že v oblasti údržby a oprav ŽKV ČD a.s. neexistuje v současné době jednotný informační systém. Ve výkonných jednotkách zabezpečujících opravárenství a údržbu je řada informačních systémů s různým stupněm automatizace a rozdílnou softwarovou základnou. Jejich nevýhodou však je vzájemná nekompatibilita a tím i nemožnost výměny informací. Odstranění tohoto problému si vyžádá poměrně značné investice, jejichž realizace je v současné nepříznivé ekonomické situaci ČD a.s. velmi obtížná.

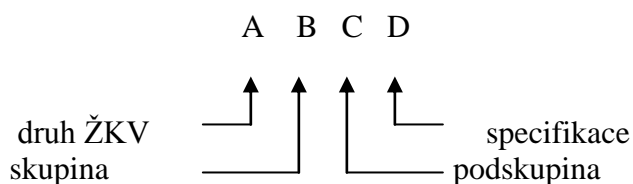
Jelikož stále schází jednoduchá a účinná metoda pro identifikaci celků a klasifikaci poruch ŽKV, použitelná pro analýzu poruchovosti všech typů vozidel Českých drah a případně i soukromých dopravců, byla tato problematika řešena v rámci disertační práce [1].

2. Návrh metody pro identifikaci celků a klasifikaci poruch

Za účelem identifikace jsou ŽKV rozdělena na jednotlivé celky, které představují ucelenou konstrukční skupinu bez ohledu na řadu vozidla (elektrická lokomotiva, motorový vůz atd.). Každá tato skupina pak obsahuje podskupinu pro bližší specifikaci celků, ve které jsou zohledněny charakteristické rysy jednotlivých řad vozidel. Význam tohoto členění spočívá ve vytvoření jednotného identifikačního systému použitelného pro všechny řady ŽKV, bez

ohledu na jejich konstrukci a z ní vyplývající použitelnost v železničním provozu. Uvedený systém tvoří základ pro číselnou klasifikaci poruch.

K jednoznačné identifikaci celků a klasifikaci poruch ŽKV je používán číselný kód skládající se ze čtyř arabských číslic ve tvaru :



A. Druhy ŽKV :

Předpis ČD D 2/1 čl. 5 definuje podle účelu a použití 10 druhů ŽKV :

- 1 - elektrické lokomotivy stejnosměrné
- 2 - elektrické lokomotivy střídavé
- 3 - elektrické lokomotivy dvou a vícesoustavové
- 4 - elektrické vozy a jednotky stejnosměrné
- 5 - elektrické vozy a jednotky střídavé
- 6 - elektrické vozy a jednotky dvou a vícesoustavové
- 7 - motorové lokomotivy
- 8 - motorové vozy a jednotky
- 9 - řídicí vozy elektrické a motorové trakce
- 0 - vložené a přívěsné vozy elektrické a motorové trakce

Použití tohoto systému se jeví jako velice výhodné jak v oblasti evidence, tak i při analýze poruch ŽKV.

B. Skupiny konstrukčních celků ŽKV :

Základem pro vyhodnocení poruch je rozdělení ŽKV na jednotlivé konstrukční celky a jejich začlenění do 9 skupin :

- 1 - pojezd
- 2 - skříň
- 3 - mechanická výzbroj
- 4 - hydraulická výzbroj
- 5 - pneumatická výzbroj
- 6 - elektrická výzbroj
- 7 - kombinovaná výzbroj
- 8 - nátěry, popisy, označení
- 9 - výškové ustavení a rozložení kolových hmotností

C. Podskupiny pro bližší specifikaci celků :

V této části jsou zohledněny specifické vlastnosti jednotlivých celků, které jsou typické pro určitý druh ŽKV z hlediska jeho účelu a použití (napájení, přenos výkonu, traťová služba, posun atd). Počet podskupin v jednotlivých skupinách je různý, maximálně však roven devíti.

D. Specifikace poruchy :

Tento údaj specifikuje poruchu z hlediska jejího odstranění :

- 0 – součást bez poruchy
- 1 – oprava vadné součásti

2 – výměna vadné součásti

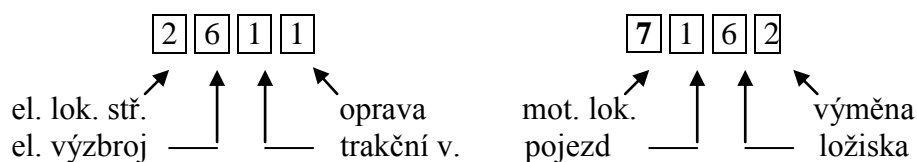
Číselné kódy, které charakterizují jednotlivé skupiny konstrukčních celků ŽKV a podskupiny pro jejich bližší specifikaci jsou uvedeny v **Tab.1**.

Tab.1: Číselné kódy konstrukčních celků

1. Pojezd vozidla	5. Pneumatická výzbroj
11 Rám podvozku	51 Brzdová
12 Vypružení, tlumiče	52 Pomocná
13 Přenos tažných sil	53 Ostatní
14 Dvojkolí	6. Elektrická výzbroj
15 Vedení dvojkolí	61 Trakční
16 Ložiskové skříně a ložiska	62 Brzdová
2. Skříň vozidla	63 Pomocná
21 Rám skříně	64 Ostatní
22 Tažné a narážecí ústrojí	65 Elektronická
23 Bočnice	7. Kombinovaná výzbroj
24 Čela	71 Trakční
25 Střecha	72 Brzdová
26 Stanoviště strojvedoucího	73 Pomocná
27 Strojovna	74 Ostatní
28 Zavazadlový prostor	8. Nátěry, popisy, označení
29 Prostory pro cestující	81 Skříň vozidla
3. Mechanická výzbroj	82 Podvozky
31 Trakční	83 Stanoviště strojvedoucího
32 Brzdová	84 Strojovna
33 Pomocná	85 Agregáty
34 Ostatní	9. Rozměry, hmotnost
4. Hydraulická výzbroj	91 Rozměry dvojkolí
41 Trakční	92 Rozměry skříně
42 Brzdová	93 Rozměry podvozků
43 Pomocná	94 Vůle v uložení
44 Ostatní	95 Výškové ustavení
	96 Rozložení hmotnosti

Přiřazením kódu pro druh ŽKV na první pozici a údaje pro specifikaci poruchy na pozici čtvrtou dostaneme „klasifikační kód poruchy ŽKV“ (viz **Tab.2**), s jehož pomocí lze provést analýzu poruchovosti s využitím výpočetní techniky.

Tab.2: Příklady klasifikačních kódů poruchy ŽKV



3. Program „FAST“ pro evidenci a statistickou analýzu poruch ŽKV

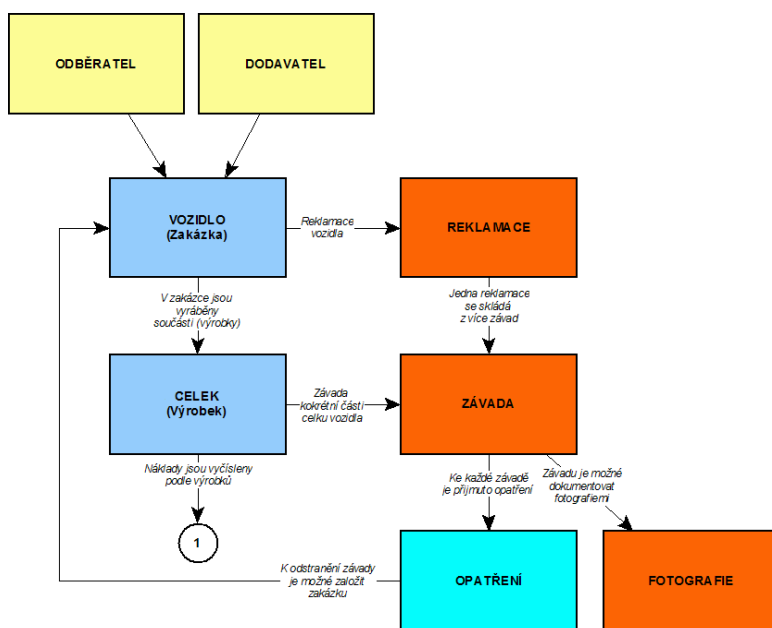
Ve snaze o využití informační technologie pro evidenci a analýzu poruch ŽKV navrhuje autor metodu, která ve formě počítačové aplikace poskytuje přehled o stavu ŽKV a jejich konstrukčních celků v období technického života a zároveň slouží jako podklad k hodnocení provozní spolehlivosti.

Navržená aplikace byla pojmenována „FAST“ (Failure Analysis and STatistics) a již ze samotného názvu je patrné, že se jedná o „rychlou a pohotovou“ metodu pro „statistiku a analýzu poruch“, která využívá „klasifikační kód poruch ŽKV“.

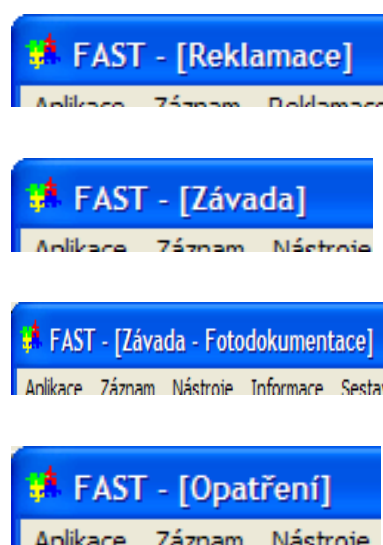
Aplikace „FAST“ pracuje v prostředí operačního systému Microsoft Windows a přibližně z osmdesáti procent slouží k pořizování záznamů o poruchách a o způsobech jejich odstranění. Zbývajících dvacet procent je využito k vyhodnocování poruch a k jejich analýzám. Samotná aplikace „FAST“ neobsahuje žádné analytické funkce. Jejím úkolem je především příprava dat. K analýzám a analytickým výpočtům je využíván tabulkový procesor Microsoft Excel, do kterého jsou připravená data exportována.

Konstrukce, funkce a logika ovládání programu „FAST“

Aplikace „FAST“ sestává ze čtyř základních modulů : „REKLAMACE“, „ZÁVADA“, „VOZIDLO“ a „CELEK“, se kterými je svázána tzv. relační databází a řídí se jednoduchými pravidly z této vazby vycházejícími. Základní záznamy o poruchách jsou soustředěny v modulech „REKLAMACE“ a „ZÁVADA“. Mezi těmito moduly existuje relační vazba, která znemožňuje založit záznam o závadě bez záznamu o reklamaci. Reklamační informace obsahují obecné informace vztahující se k závadám. Závada popisuje danou poruchu. Modul „VOZIDLO“ představuje v případě výskytu poruchy zakázku pro dodavatele opravy a zároveň vstupuje do relační vazby s modulem „REKLAMACE“. Každá zakázka se skládá z výrobků, což jsou jednotlivé dílčí části „VOZIDLA“ zvané „CELKY“. Dojde-li u nich k poruše, vstupují tyto „CELKY“ do relační vazby s modulem „ZÁVADA“ a vyplývá nutnost přijetí příslušných „OPATŘENÍ“. K záznamu, archivaci a pozdějšímu využití je možno pořídit „FOTODOKUMENTACI“ porouchaného výrobku. Konstrukce programu „FAST“ je patrná z Obr.1. Základní funkce aplikace jsou uvedeny na Obr.2.



Obr.1: Konstrukce programu „FAST“



Obr.2: Základní funkce aplikace „FAST“

4. Evidence poruch pomocí programu „FAST“

Evidence poruch pomocí programu „FAST“ sestává ze dvou kroků. Prvním z nich je „Záznam o poruše ŽKV“, druhým pak „Klasifikace poruchy ŽKV“.

Záznam o poruše ŽKV

Základ tvoří formulář „Reklamacce“, který obsahuje všechny potřebné údaje k evidenci, statistice a analýze poruch ŽKV. Ke statistickým účelům a k následnému provedení analýzy poruch slouží tři základní záznamy : „Datum ohlášení“, „Datum ukončení“ a „Doba provozu“ (ujeté kilometry). Formulář „Reklamacce“ aplikace „FAST“ je patrný z **Obr.3**.

Ve formuláři „Závada“ (**Obr.4**) jsou podchyceny informace vztahující se k jednotlivým poruchám. Pro účely pozdější analýzy vytvořil autor metodu pro identifikaci celků a klasifikaci poruch ŽKV, která byla popsána v kapitole 2. Způsob zápisu poruchy je uveden v odstavci Klasifikace poruchy ŽKV. Ke každé poruše je možno pořídit fotodokumentaci, která je zaznamenána a archivována pro pozdější využití.

Obr.3: „FAST“ - formulář „Reklamacce“

Obr.4: „FAST“ - formulář „Závada“

Klasifikace poruchy ŽKV

Porucha se klasifikuje čtyřmi parametry A, B, C, D. Každému parametru odpovídá vlastní číselník poruch. Způsob zápisu poruchy je patrný z **Obr.5,6,7,8**.

Parametr „A“ - druh ŽKV:

ZÁVADA A	Popis
0	Vložené a přívěsné vozy elektrické a motorové trakce
1	Elektrické lokomotivy stejnosměrné
2	Elektrické lokomotivy střídavé
3	Elektrické lokomotivy dvou a vícenosustavové
4	Elektrické vozy a jednotky stejnosměrné
5	Elektrické vozy a jednotky střídavé
6	Elektrické vozy a jednotky dvou a vícenosustavové
7	Motorové lokomotivy
8	Motorové vozy a jednotky
9	Řídicí vozy elektrické a motorové trakce

Obr.5: „FAST“ – formulář parametru „A“

Parametr „B“ - skupina konstrukčního celku:

ZÁVADA B	Popis
1	Pojezd vozidla
2	SKŘÍŇ VOZIDLA
3	Mechanická výzbroj
4	Hydraulická výzbroj
5	Pneumatická výzbroj
6	Elektrická výzbroj
7	Kombinovaná výzbroj
8	Nátěhy, popisy, označení
9	Rozměry, hmotnost

Obr.6: „FAST“ - formulář parametru „B“

Parametr „C“ - podskupina specifikace celku:

Parametr „D“ – způsob odstranění poruchy:

Obr.7: „FAST“ – formulář parametru „C“

Obr.8: „FAST“ - formulář parametru „D“

5. Analýza poruch pomocí programu „FAST“

Analýza poruch pomocí programu „FAST“ sestává ze dvou kroků. Prvním z nich je „Filtrování dat podle zvolených kritérií“, druhým pak „Použití příslušné statistické metody“. Samotná analýza je prováděna pomocí příslušných statistických metod a nástrojů aplikace Microsoft Excel.

Filtrování dat podle zvolených kritérií

Data je možno filtrovat podle kritérií uvedených ve formuláři na Obr.9. Pro analýzu poruchovosti ŽKV pomocí programu „FAST“ bude v této práci použito záznamů o reklamačních závadách ŽKV v záruční době po hlavní periodické opravě. Zkoumaný vzorek zahrnuje období sedmi let (1995 - 2001) a obsahuje 2120 záznamů, čímž je dosaženo potřebné vypovídací schopnosti výsledků analýzy.

Nastavením filtru pro období 1. 1. 1996 – 31. 12. 2000 s omezením pro motorové vozy, jak je patrné z Obr.9, bylo získáno celkem 1694 záznamů. U každého záznamu je k číslu vozidla přiřazena položka „Počet km do poruchy“ a stanoven „Klasifikační kód poruchy“ podle kritérií uvedených v části 2. Výstup filtrovaných dat zobrazuje formulář na Obr.10.

Obr.9: „FAST“ – Nastavení kritérií filtru

Obr.10: „FAST“ - Výstup filtrovaných dat

Takto získaná data je možno prostřednictvím tiskových výstupů exportovat do tabulkového procesoru Excel a provést analýzu dat prostřednictvím příslušné statistické metody.

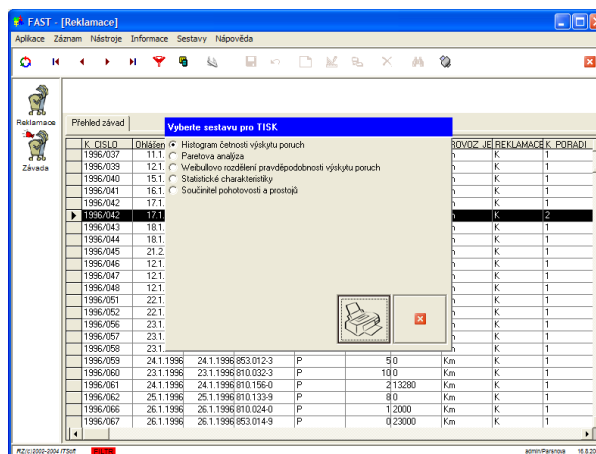
Použití statistických metod

Aplikace „FAST“ používá k analýze dat následující statistické metody:

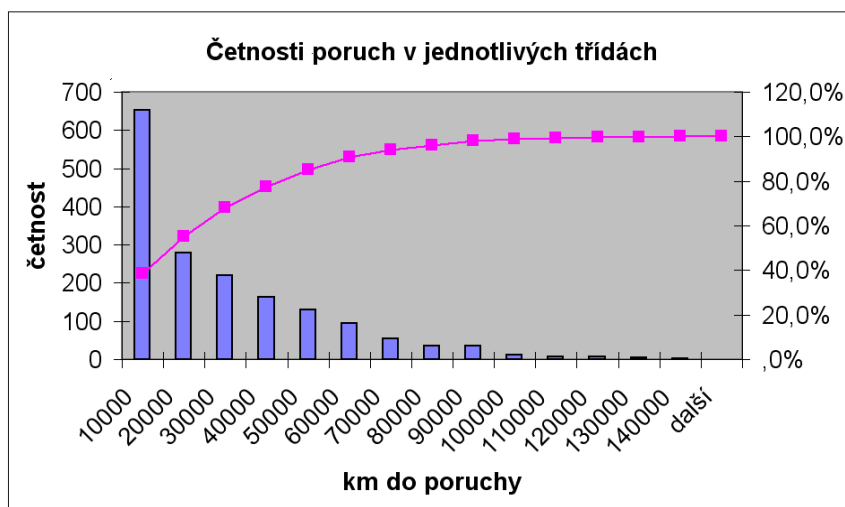
- Histogram četnosti výskytu poruch
- Paretova analýza
- Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti výskytu poruch
- Statistické charakteristiky
- Součinitel pohotovosti a poruchových prostoju

Při vlastním zpracování dat aplikace s výhodou využívá vestavěné excelovské funkce, jako například výpočty statistických charakteristik, řazení podle velikosti nebo funkci Řešitel. Za účelem provedení analýzy zkoumaného vzorku ŽKV pomocí aplikace „FAST“ vybral autor „Histogramy absolutní a relativní četnosti výskytu poruch“ a „Paretovu analýzu“. Metodika zpracování poruchových dat a výstupní formuláře aplikace „FAST“ jsou uvedeny v následující části.

Zadání pro tiskový výstup zvolené statistické metody znázorňuje **Obr.11**.



Obr.11: „FAST“ - Zadání statistické metody



Obr.12: „FAST“ - formulář „Histogram četnosti výskytu poruch“

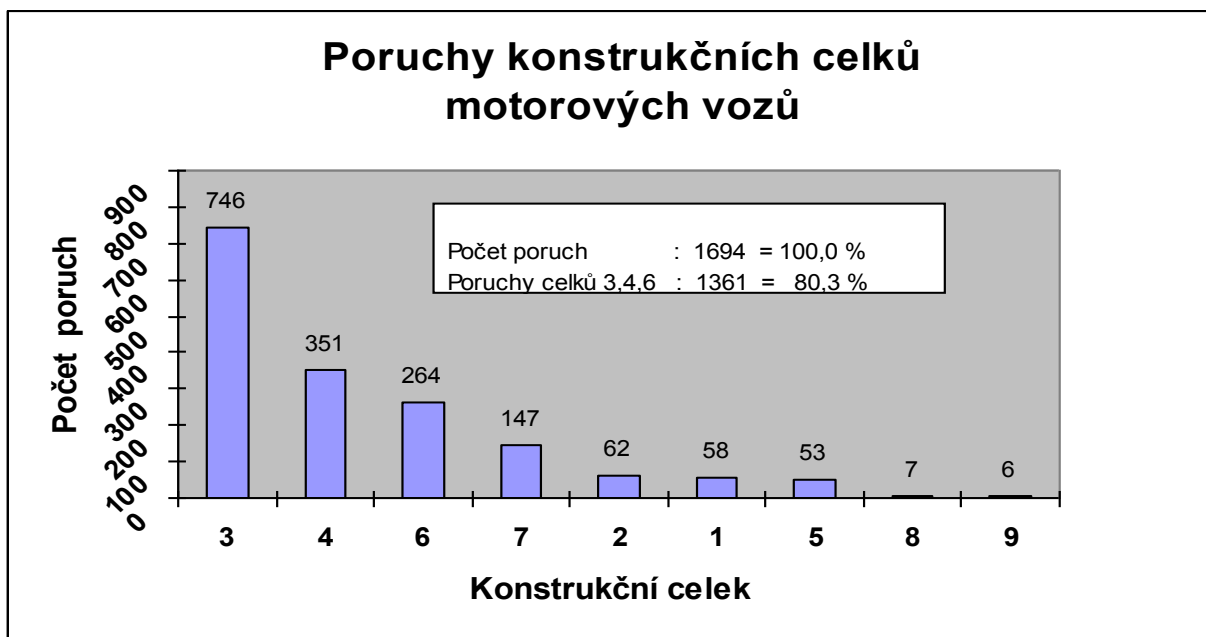
Doporučení pro praxi:

Zvýšená pozornost technickému stavu ŽKV bezprostředně po převzetí z opravy a uvedení do provozu.

Hodnocení:

Z histogramu četnosti výskytu všech poruch zkoumaného vzorku motorových vozů lze vyvodit následující závěr:

- maximální výskyt poruch nastává do ujetí 10 000 km po opravě (absolutní četnost);
- maximální nárůst poruch nastává do ujetí 50 000 km po opravě (relativní četnost).



Obr.13: „FAST“ - formulář „Paretova analýza“

Hodnocení:

Dosažené výsledky potvrzují základní princip Paretovy analýzy, z něhož vyplývá následující skutečnost :

- 20 % nejpodstatnějších činitelů (celky 3, 4, 6) => ovlivňuje následek z 80 %;
- 80 % málo podstatných činitelů (celky 7, 2, 1, 5, 8, 9) => ovlivňuje následek z 20 %.

Doporučení pro praxi:

Největší počet (80%) poruch motorových vozů způsobuje mechanická, hydraulická a elektrická výzbroj. Těmto částem vozidel je nutno věnovat zvýšenou pozornost jak v průběhu oprav, tak i bezprostředně po uvedení do provozu. Vliv ostatních konstrukčních celků je z hlediska výskytu poruch málo významný.

6. Závěr

V rámci disertační práce [1] byla vytvořena jednoduchá, rychlá a pohotová metodika pořizování dat o poruchách ŽKV, která poskytuje přehled o stavu vozidla a jeho konstrukčních celků v období technického života, a zároveň slouží jako podklad k hodnocení provozní spolehlivosti.

Práce podává ucelený pohled na problematiku využití výpočetní techniky k následujícím činnostem :

- identifikaci celků a klasifikaci poruch ŽKV,
- sběru, třídění a evidenci údajů (dat) o poruchách ŽKV,
- provedení analýzy poruchovosti vybraných typů ŽKV na základě dlouhodobého sledování poruch jednotlivých konstrukčních celků a komponentů.

Literatura

- [1] Sojka, J.: *Provozní spolehlivost železničních kolejových vozidel*. Doktorská disertační práce (PhD). Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Pardubice, 2004.
- [2] Bednařík, J.: *Technika spolehlivosti v elektronické praxi*, SNTL Praha, 1990.
- [3] ČSN 01 0102: *Názvosloví spolehlivosti v technice*, 1981.
- [4] Horčíčka, L.: *Vnitřní struktura a ovládání programu „FAST“*, Uživatelská příručka, ITSoft, Šumperk, 2004.
- [5] Menčík, J., Záhorová, V.: *Programy Excel pro výuku a hodnocení provozní spolehlivosti. Konference Spolehlivost a diagnostika v dopravní technice 2001 (Dopravní prostředky)*,. Univerzita Pardubice, 2001, str. 89 – 96.
- [6] Předpis ČD D 2/1: *Doplňk s technickými údaji k Dopravním předpisům*, METIS Olomouc, 1994.
- [7] Sojka, J.: *Analýza poruchovosti a optimalizace obnovy ŽKV*, Sborník příspěvků Perner's Contact 2001, Pardubice, únor 2001.
- [8] Sojka, J.: *Provozní spolehlivost ŽKV*, Projekt disertační práce, Pardubice, duben 2001.
- [9] Sojka, J., Menčík, J.: *Analýza reklamačních poruch ŽKV – nástroj zlepšování jakosti opravárenských služeb*. Konference „Kvalita dopravních a přepravních procesů a služeb“, Dopravní fakulta Jana Pernera, Pardubice, květen 2001.
- [10] Sojka, J., Menčík, J.: *Analysis of Failures in Railway Driving Vehicles*, Proceedings of the first international conference „Reliability and Diagnostics of Transport Structures and Means“, Univerzita Pardubice, září 2002, str. 318 – 322.