

ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

**Analýza poruch technických
zařízení a její přínos pro zvyšování
spolehlivosti**



**Materiály z 38. setkání
odborné skupiny pro spolehlivost**

Praha, březen 2010





OBSAH:

ANALÝZA PORUCH – CENNÝ NÁSTROJ PRO ZVYŠOVÁNÍ SPOLEHLIVOSTI

5

Jaroslav Menčík, Univerzita Pardubice

SBĚR DAT Z PROVOZU VOZIDEL, JEJICH VYUŽITÍ A MOŽNOSTI ZPRACOVÁNÍ

15

Ing. Tomáš Čvančara, Pars nova, a.s., člen skupiny Škoda

ANALÝZA DAT Z PROVOZU TROLEJBUSŮ

26

Michal Jurašek, Oddělení jakosti, spolehlivosti a diagnostiky, Katedra dopravních prostředků a diagnostiky. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera

ANALÝZA PORUCHOVOSTI PRŮMYSLOVÝCH ČERPADEL

34

Ing. Jan Kamenický, Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, Ústav řízení systémů a spolehlivosti, Oddělení spolehlivosti a rizik



Analýza poruch – cenný nástroj pro zvyšování spolehlivosti

Jaroslav Menčík

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Studentská 95, 53210 Pardubice
jaroslav.mencik@upce.cz

1. ÚVOD

Jakákoliv porucha znamená ztráty: náklady na opravu, ušlý zisk a vedlejší škody (zdraví, přidružené hmotné škody, ekologické následky). Snaha tyto ztráty snížit nebo omezit vede k analýze poruch. Ta se provádí již dlouhou dobu, a to zejména u poruch závažných, nebo vyskytujících se velmi často. Díky systematickému přístupu je dnes většina technických zařízení výrazně spolehlivější než dříve. Zjednodušeně lze říci, že v pozadí všech zlepšení spolehlivosti a bezpečnosti součástí a technických objektů byla analýza poruch. Také rozvoj některých vědních oblastí byl vyvolán velkými poruchami a snahou zjistit jejich pravé příčiny. Obecně lze rozlišit dva druhy analýzy poruch: analýza jednotlivé poruchy a analýza založená na statistických údajích.

Analýza jednotlivých poruch má za cíl najít příčinu poruchy v konkrétním případě. Vychází ze vzhledu porušené součásti či objektu, z časového průběhu poruchy i celkové historie používání. Často se provádí počítačová analýza napětí i materiálových vlastností, včetně mechanických zkoušek odebraných vzorků. Tento způsob analýzy může vést k opatřením pro zabránění podobným poruchám u podobných konstrukcí v budoucnosti.

Statistická analýza pracuje s velkým počtem poruch určitého druhu (např. mostů nebo převodovek, ale i srážek vozidel). Vychází z hlášení o poruchách z provozu, ze servisních stanic nebo opraven. Poruchy mohou být tříděny podle různých hledisek, např. místa nebo doby vzniku, anebo podle příčiny. Tato analýza umožňuje rozlišit vzácné poruchy od zákonitých a pomáhá najít společné příčiny některých poruch. Následně pak může vést k systémovým opatřením pro zvýšení spolehlivosti.

V příspěvku jsou nejprve ukázány příklady některých poruch a shrnuty základní příčiny poruch, s důrazem na poruchy mechanického charakteru. Potom jsou vysvětleny hlavní kroky analýzy poruch u jednotlivých objektů a hlediska třídění u statistické analýzy. Jsou ukázány hlavní nástroje analýzy, jakož i různé přístupy k třídění poruch. Důležité je zaznamenávání všech relevantních informací. Způsob sběru a uchování dat by měl umožnit statistickou analýzu podle různých hledisek. Také jsou zmíněny metody pro zvýšení účinnosti analýzy, jako je Paretova analýza, FMEA nebo bayesovské techniky. V příspěvku bude ukázáno i několik praktických příkladů.

2. PŘÍKLADY PORUCH A JEJICH PŘÍNOS PRO ROZVOJ VĚDY A SPOLEHLIVOSTI

Závažné poruchy a potřeba pochopit jejich příčiny a mechanismus, aby bylo možno předejít podobným poruchám v budoucnosti, vedly ke vzniku nebo rozvoji několika vědních oborů. Zejména se jedná o pružnost a pevnost, nauku o únavě, lomovou mechaniku, dynamiku, kmitání, teorii vzpěrné únosnosti, ale i počet pravděpodobnosti. Dále jsou uvedeny některé příklady.

Roztržení parních kotlů, tlakových nádob a nádrží.

Tyto havárie byly velmi časté v 19. století. Parní stroje, tlakové nádoby a nádrže byly tehdy novým technickým prvkem. Poruchy vedly k odvození tzv. kotlových vzorců pro tenkostěnné tlakové nádoby, a dnes jsou podobné poruchy vzácné.

Lomy v důsledku únavy při střídavém zatěžování.

Začaly se objevovat v 19. století, zejména při zavádění železnic (např. nápravy železničních vagónů). Opět to byl nový technický prvek (vozidla), nový způsob namáhání (střídavé) a nový jev (únavy). Systematicky se začala únava zkoumat ve 2. polovině 19. století. Svými pracemi v této oblasti položil August Wöhler základy nauky o únavě. Později vznikla nauka o vrubech (H. Neuber), později teorie nízkocyklové a vysokocyklové únavy a hypotézy kumulace poškození (Palmgren, Miner a další). Mimo jiné to souviselo s rozvojem letecké techniky a haváriemi letadel (např. u letadel Comet došlo v r. 1954 k únavovým lomům v rozích „hrnatých“ okének vyvolaných střídavým zatěžováním v prostředí s měnícím se tlakem – u země a ve výšce), a dále s požadavkem na co nejnižší hmotnost. Dnes je nauka o únavě dost dobře propracována, ale přesto se občas únavové poruchy vyskytnou. Známa je havárie rychlíku ICE u Eschede v roce 1998, která měla za následek 101 mrtvých. Šlo o únavu obruče na kole na pryžové vložce, což byl opět relativně nový technický prvek. Ukázalo se také, že nebyla dostatečně dobře prováděna diagnostika, resp. kontrola kol na výskyt trhlin. Jiná závažná únavová porucha bylo ulomení nohy (kvůli špatně provedenému svaru) u vrtné plošiny Alexander Kielland v Severním moři (1980); 167 mrtvých.

Náhlé křehké lomy.

Během 2. světové války došlo k „samovolnému“ prasknutí asi 250 lodí třídy Liberty s celokovovým svařovaným trupem. Několikrát došlo k roztržení tlakových plynovodních potrubí, kde se trhliny šířily desítky metrů. Tyto a další havárie vedly k propracování teorie křehkého lomu a ke vzniku vědního odvětví lomová mechanika. Ta se zabývá podmínkami a procesy šíření trhlin. Uplatňuje se nejen u křehkého lomu, ale i u predikce doby do poruchy únavou při střídavém zatěžování. K rozvoji lomové mechaniky přispěl i vývoj materiálů (např. u keramiky byla potřeba najít ohnisko lomu a identifikovat podmínky a příčiny lomu. Díky těmto pracím se podařilo vyvinout vysocepevné a přijatelně houževnaté keramické, ale i kompozitní materiály.)

Ztráta stability při vzpěru.

Tyto poruchy se projevovaly zejména u příhradových konstrukcí. Například zlomení mostu přes řeku sv. Vavřince v Kanadě v průběhu stavby si vyžádalo více než 70 mrtvých. K havárii došlo, protože projektant si neuvědomil, že při montáži jsou síly v konstrukci rozloženy zcela jinak, než při provozu, takže došlo k vybočení prutů namáhaných tlakem. Mezi další známé poruchy způsobené ztrátou stability patří zhroucení stožárů elektrických vedení VN, střeš a hal. To vše vedlo k rozvoji teorie vzpěru a stability a jejímu postupnému zpřesňování. Často se ukázalo, že ke ztrátě stability může dojít při zatížení několikanásobně nižším, než je tzv. kritické zatížení podle Eulera. Tak byly postupně vyvinuty způsoby výpočtů dovoleného zatížení, které přihlížejí k vlivu konstrukčních nedokonalostí, označovaných jako imperfekce.

Kmitání, rezonance, dynamické jevy.

Rezonanční kmitání způsobilo mnoho havárií zejména strojů, ale někdy se projeví i u stavebních konstrukcí. Klasickým případem byla havárie mostu v Tacoma Narrows v USA v roce 1940. Velmi štíhlá mostní konstrukce se rozkmitávala účinkem větru v příčném směru tak, až se zlomila. (Opět to byl nový, resp. neznámý jev; do té doby se tak štíhlé mostní konstrukce nedělaly). Dnešní most na tomtéž místě je bezpečný, ale již ne tak elegantní. Tyto jevy vedly k rozvoji dynamiky a nauky o kmitání, a všechny možné stroje a konstrukce se navrhují a dimenzují tak, aby s předešlo rezonanci a nadměrnému kmitání.

Přesto se tyto poruchy někdy vyskytnou i dnes. Příkladem z nedávné doby je lávka pro pěší přes Temži v Londýně (tzv. Millenium Bridge). Krátce po uvedení do provozu musela být uzavřena, neboť se nepřipustně rozkmitávala pohybem chodců. Než ji postavili, dělali i testy ve vzdušném tunelu, ale na druhou možnou, a to banální příčinu, buzení pohybujičím se břemenem, nevzpomněli. Rekonstrukce, spočívající v namontování přidavných tlumičů kmitání, trvala rok a půl, a zvýšila celkové náklady z 18 na 23 miliónů liber.

Aplikovaný počet pravděpodobnosti

Nutnost analyzovat větší počty poruch, jejich příčiny a časový průběh, ale i vliv různých faktorů, přispěla k rozvoji počtu pravděpodobnosti a různých postupů jeho aplikace, jako je např. simulační technika Monte Carlo pro zkoumání náhodných veličin a jevů, nebo metoda zobecněných latinských čtverců (LHS). Dále to jsou metody výpočtu pravděpodobnosti poruchy složitých systémů, se zálohováním apod. Byly zavedeny i specifické pojmy, jako intenzita poruch a vanová křivka, u které se pak ukázalo, že platí nejen pro technické objekty, ale i pro živé bytosti.

3. ANALÝZA PORUCH

Cílem analýzy poruch je jednak zjištění příčiny konkrétní poruch a nalezení viníka, a jednak navržení opatření, aby k podobné poruše již v budoucnu nedošlo. Provádí se analýza jednotlivých poruch, ale také statistická analýza, která vychází z údajů o velkém množství poruch.

Analýza jednotlivých poruch

Tato analýza má za cíl najít přesnou příčinu poruchy v konkrétním případě. Sleduje se několik hledisek. Jednak to je vzhled porušené součásti nebo objektu. Někdy lze najít např. ohnisko lomu a upřesnit tak vnitřní příčinu poruchy (vada v materiálu apod.), a s použitím lomové mechaniky stanovit i velikost napětí (a sil) působících v okamžiku lomu. Ze vzhledu lomové plochy a z trajektorie trhliny lze také posoudit časový průběh lomu i charakteristický způsob namáhání (únava, křehký lom) a druhy přítomných napětí (např. smykových u torzní fraktury). Je proto vhodné vždy na místě poříditi fotografickou dokumentaci nebo alespoň důkladný popis havárie. Někdy se stane, že corpus delicti“ poměrně brzy zmizí.

Dále se vychází z (popisu) časového průběhu poruchy i situace před ní, z celkové historie provozu objektu a jeho používání. Analýza se může opírat o provozní záznamy (průběhy tlaků, teplot a dalších zatížení působících v objektu, stav okolního prostředí, obsluha).

Často se provádí také počítačová analýza zatížení a napětí (např. metodou konečných prvků), působících v objektu, popřípadě se provede i analýza materiálových vlastností, včetně mechanických zkoušek vzorků odebraných z kritického dílu (např. tahová zkouška pevnosti, únavové zkoušky, zkouška vrubové houževnatosti).

Celkově tento druh analýzy může vést k opatřením pro zabránění podobných poruch u podobných konstrukcí nebo objektů v budoucnosti.

Statistická analýza

Pracuje s velkým počtem poruch, které třídí a analyzuje podle různých hledisek (viz dále). Tato analýza umožňuje rozlišiti vzácné poruchy od systematických nebo poruchy závažné od méně závažných a může pomoci v nalezení společných příčin některých poruch. K tomu vyžaduje kromě velkého množství hodnot také znalost matematicko-statistických metod, resp. software schopný tříditi podle různých hledisek a prováděti statistické testy.

Na rozdíl od analýzy jednoduché poruchy se ze statistické analýzy můžeme dozvědět širší souvislosti a hlubší příčiny stojící v pozadí některých druhů poruch. Následně pak je možno zavést zásadní (systémová) opatření pro zlepšení spolehlivosti, jako je stoprocentní kontrola svarů nebo nakupovaných součástí, anebo zavedení určitých pravidel a předpisů – například požadavek jisté minimální kvalifikace pro svářečské aj. práce, protipožární předpisy, stavební předpisy a normy, zákaz stavět v inundačním území, zavedení preventivních prohlídek, apod.

4. TŘÍDĚNÍ PORUCH

Poruchy lze třídit podle různých hledisek. Volba konkrétního hlediska závisí na tom, co se chceme dozvědět, tj. na jakou otázku hledáme odpověď. Následují některé možnosti třídění:

- Podle druhu objektu, součásti nebo zařízení (např. poruchy mostů, převodovek, ventilátorů nebo čerpadel určitého typu, poruchy motorových kolejových hnacích vozidel, poruchy automobilů značky „xxx“ typu „yyy“, poruchy brzd, poruchy elektrického zařízení atd.). Výsledky mohou sloužit při plánování počtů náhradních dílů nebo při rozhodování o nákupu určité součásti nebo zařízení s přihlédnutím k poruchovosti (mj. při rozhodování mezi dvěma výrobky).
- Podle závažnosti poruchy, tj. s přihlédnutím k následkům a k četnosti. Poruchy je např. možno roztrždit do skupin jako: malá, střední, závažná apod. (viz dále). Pro posouzení celkové závažnosti určitého typu poruchy může být užitečná i klasifikace užívaná v analýze FMEA. U stavebních konstrukcí se rozlišují poruchy provozuschopnosti a poruchy únosnosti.
- Podle doby provozu do poruchy (například počet proběhlých hodin nebo kilometrů). Z velkého množství dat vynesných na časové ose lze rozlišit, jestli se jedná o časné poruchy nebo poruchy dožíváním apod. Podle toho je možno věnovat více pozornosti zlepšování v oblasti návrhu a výroby, nebo problémům provozu a údržby.
- Podle doby vzniku, např. podle denní doby (hodina), podle roční doby apod. V USA se např. kdysi používalo označení „pondělní automobil“ kvůli větší poruchovosti automobilů vyrobených právě v tento den.
- Podle místa vzniku – sledují se např. jednotlivé sklářské formy u vícesekčního stroje pro výrobu lahví, ale také různé úseky silnice v případě dopravních nehod. Sem patří i třídění četnosti výskytu poruch u jednotlivých pracovníků (operátorů). Takováto analýza, prováděná např. online v dílně s automatizovanou výrobou, umožňuje provést včasný adresný zásah.
- Podle mechanismu poruchy (lom součásti, opotřebení, zadření, plastické deformace, creep apod.).
- Podle toho, ve které etapě života objektu vznikla základní příčina poruchy (projekt, stavba, provoz).

Podrobněji budou možnosti třídění probrány v následujícím oddílu.

Je možné zvolit i jiná hlediska pro třídění. Máme-li k dispozici velké množství dat, je vhodné provést třídění a analýzu podle více kritérií. Mohou se tak odhalit souvislosti a vlivy, o kterých jsme ani nevěděli. Formát shromažďování dat by měl proto umožnit jejich třídění podle různých hledisek.

Užitečná je Paretova analýza – tj. seřazení různých poruch, popř. poruch různých typů součástí apod.) podle četností výskytu. Někdy je vhodné pracovat s relativními počty poruch (které vlastně odpovídají pravděpodobnostem). Jestliže u jednoho milionu vozidel určitého typu dojde k 100 poruchám, je jejich poruchovost výrazně menší, než když u tisíce vozidel jiného typu dojde „jenom“ k deseti poruchám.

Závažnost poruchy lze posuzovat jednak podle následků a jednak podle toho, jak často se vyskytuje. Chceme-li posoudit celkovou závažnost, měli bychom přihlížet k oběma kritériím současně. K tomu lze užít přístup známý z analýzy FMEA. U každé poruchy se nejprve ohodnotí její následky „N“ (počtem bodů, např. mezi 1 a 10, ale také by šlo použít finanční vyjádření). Dále se ohodnotí pravděpodobnost nebo četnost jejího výskytu „P“ (také počtem bodů mezi 1 a 10, nebo přímo jako počet případů). Výsledná závažnost určitého druhu poruchy „Z“ se pak dostane jako jejich součin.

$$Z = N \times P ,$$

a to buď jako bezrozměrné číslo mezi 1 a 100, anebo přímo jako peněžní částka odpovídající celkové výši škody, způsobené určitým druhem poruchy. Tento přístup umožňuje seřadit poruchy nebo vlivy podle celkové závažnosti, a zaměřit se při další analýze nebo zákrocích na nejzávažnější případy.

5. PODROBNĚJŠÍ KRITÉRIA PRO TŘÍDĚNÍ PORUCH

Poruchy je možno třídit podle různých hledisek. Základní třídění rozlišuje například:

- porucha úplná nebo částečná,
- porucha náhlá nebo postupná,
- porucha náhodná nebo systematická,
- porucha nezávažná nebo závažná,
- porucha nezávislá nebo závislá.

Dále ukážeme možnosti podrobnějšího třídění poruch podle závažnosti, podle mechanismu, podle příčin, podle etapy vzniku.

Závažnost poruchy:

Porucha: nepodstatná – malá – větší – závažná – kritická – havarijní.

Mechanismus a projevy poruch (součástí a konstrukcí)

1. Lom - tažný (přetížením u houževnatých materiálů)
 - křehký (materiál, nízké teploty, dynamické zatížení, rázy, vruby a trhliny)
 - únavový (periodické zatěžování, kvazistatické z.)
2. Snížení pevnosti vznikem trhlin
3. Opatření (adhezní, abrazivní, erozní, únavové, kavitační)
4. Koroze (chemická, elektrochemická, oxidace, opal kontaktů)
5. Trvalé deformace (přetížením)
6. Otláčení pracovních ploch
7. Postupné změny tvaru a rozměrů creepem (u některých materiálů i za normálních teplot)
8. Změny vlastností změnami okolního prostředí (změny teploty, vlhkosti...)
9. Změny účinkem ultrafialového apod. záření a ozónu (křehnutí pryže a plastů)
10. Změny chemického složení difúzními procesy (např. karbonatice betonu účinkem CO₂)
11. Změny hmotnosti a dynamických vlastností úbytkem materiálu (koroze, abrazí) anebo naopak jeho přírůstkem (námraza, nasákání, usazování chemických zplodin)
12. Změny působením živých organismů (hlodavci, hmyz, houby, plísně, hniloba)

Obecné příčiny poruch:

1. Přírodní vlivy a katastrofy (vyšší moc, přírodní živly, kolize s jiným objektem).
2. Nepředvídatelné, nedostatečně známé či náhodné vlivy související s objektem (zatížení, působení okolí).
3. Vadný projekt (chyby v koncepci, při dimenzování, při volbě materiálů a výrobních postupů).
4. Vadný materiál, polotovary a součásti.
5. Nevhodný postup výroby nebo montáže (stavby).
6. Nedodržování předepsaných podmínek pro provoz (přetěžování apod.).
7. Nedostatečná kontrola.
8. Opatřebením, únava nebo změny materiálových vlastností, rozměrů či vlastností objektu s časem.
9. Nedostatečná údržba.
10. Lidský činitel:
 - Ignorance, nedostatečné znalosti,
 - Nedbalost, nepořádnost, lenost, lehkomyšlnost,
 - Chyby, nepozornost, roztržitost, špatný psychický stav,
 - Neodůvodněné spoléhání na druhé,
 - Přílišná šetrnost, hrabivost,
 - Zlý úmysl.

Nejnebezpečnější příčinou poruch a havárií je právě lidský činitel.

Etapy života, ve kterých může vzniknout příčina poruchy:

1. Návrh koncepce zařízení nebo objektu a zpracování projektu
2. Výroba, montáž nebo stavba
3. Provoz součástí, objektu nebo zařízení

Následuje ukázka konkrétní analýzy

Výsledky rozboru 800 příčin poruch a havárií stavebních konstrukcí ve Švýcarsku

(Matousek + Schneider, ETH Zürich, 1976).

Podíl poruch (%) způsobených lidským činitelem v různých etapách stavby:

	<u>počet</u>	<u>výše škod</u>	<u>mrtví.</u>
Návrh a projekt		37 %	40 %
Stavba		35 %	20 %
Obojí	18 %	22 %	20 %

Pokud vznikla lidská chyba v návrhu a projektu, pak jednotlivým etapám odpovídalo:

	<u>počet</u>	<u>výše škod</u>	<u>mrtví.</u>
Koncepce	34 %	18 %	15 %
Analýza konstrukce	34 %	49 %	40 %
Techn. dokumentace	19 %	9 %	8 %
Příprava stavby		9 %	5 %
			20 %

Podíly skutečných příčin poruch:

- 37 % ignorance, nedbalost
- 27 % nedostatečné znalosti
- 14 % podcenění různých vlivů
- 10 % zapomnětlivost, chyby a omyly

- 6 % neodůvodněné spoléhání na jiné
- 6 % objektivně neznámé vlivy

Ze všech chyb vedoucích k poruchám mohlo být odhaleno:

- 32 % pečlivou kontrolou dokumentů dalším pracovníkem
- 55 % dodatečnými (vhodně provedenými) kontrolami

Takto dobře podložená analýza pak může vést k zásadním opatřením organizačním nebo i legislativním. I když od tohoto průzkumu uplynulo již více než třicet roků a dnešní analýza by dala poněkud jiné výsledky, jsou uvedená čísla velmi poučná.

Samotná analýza však nestačí. Dnešní výrobky jsou obecně mnohem spolehlivější než před padesáti lety díky mnoha změnám. To lze ilustrovat skutečností, že před padesáti roky byla záruční doba na osobní automobily půl roku a dnes je to běžně pět roků. V následujícím oddílu se pokusíme o stručný výčet, co všechno přispělo k vyšší spolehlivosti.

6. PŘÍČINY VYŠŠÍ SPOLEHLIVOSTI DNEŠNÍCH VÝROBKŮ A OBJEKTŮ

1. Využívání zkušeností z poruch a havárií v minulosti.
2. Vznik a využívání nauky o spolehlivosti, využití počtu pravděpodobnosti a statistických aj. metod.
3. Lepší materiály, dokonalejší součásti (větší sortiment), lepší technologie (výrobní postupy).
4. Lepší znalosti z různých oblastí mechaniky, nauky o materiálech a dalších oborů.
5. Počítače, možnost mnoho věcí propočítat, nasimulovat a „odzkoušet“. Také možnost uchovávat informace (data).
6. Získávání spolehlivých podkladů měření a zkouškami.
7. Dokonalejší technika pro měření, sledování parametrů, vyhodnocování a řízení; využití diagnostiky. Konstrukce a použití „inteligentních“ zařízení.
8. Vytvoření a používání norem a závazných postupů pro zajištění spolehlivosti (jakosti) a bezpečnosti.
9. Organizační opatření, lepší (důsledná) kontrola, řízení procesů, výroby, montáže i provozu. Vhodný systém údržby a oprav. Snižování vlivu lidského činitele.
10. Společenský vývoj, konkurence, možnost výběru dodavatele. Právní odpovědnost za vady a poruchy.

Dále jsou jednotlivé body rozepsány podrobněji.

1.) Využití zkušeností z poruch a havárií v minulosti

Zejména velké havárie (letectví, stavby) jsou důkladně vyšetřovány. Větší pozornost se věnuje také poruchám, které se vyskytují často. Na základě analýzy příčin a průběhu (využívá se i fraktografie) došlo v řadě případů ke zlepšení konstrukce, byly definovány lepší postupy, a byly zavedeny různé předpisy pro zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti.

2.) Vznik a využívání nauky o spolehlivosti, využití počtu pravděpodobnosti a statistických metod i dalších metod pro zajištění spolehlivosti (a jakosti)

Byly definovány základní pojmy a veličiny pro měření spolehlivosti. Byly zjištěny charakteristické druhy poruch a jejich příčiny, i charakteristický vývoj četnosti poruch v průběhu života objektu (vanová křivka). Statistická analýza umožňuje lépe chápat (a předpovídat) výskyt poruch, a dělat opatření pro jejich snížení na únosnou míru (využití zálohování, optimalizace spolehlivosti složitých zařízení přidělením (alokací) spolehlivosti

jednotlivým částem...). Počet pravděpodobnosti také umožňuje dělat přijatelně spolehlivé závěry při omezeném množství informací (např. pevnost materiálu, statistická přejímka). Byly vyvinuty i nepravděpodobnostní metody pro zvýšení spolehlivosti (např. FMEA při návrhu).

3.) Lepší materiály, dokonalejší součásti (větší sortiment), lepší technologie (výrobní postupy)

Od konce druhé světové války bylo díky soustavnému materiállovému výzkumu vytvořeno mnoho zcela nových materiálů s vynikajícími vlastnostmi (plasty, mj. teflon, syntetický diamant). Také bylo vyvinuto mnoho povrchových úprav, které zvyšují odolnost vůči korozi, vysokým teplotám nebo opotřebením (TiN), ale i pevnost (např. zpevňování skla iontovou výměnou) aj. Na trhu je mnohem širší sortiment různých komponent. Jejich výrobci se snaží dotáhnout k dokonalosti svůj výrobek, který má sloužit pro určitý účel. Výrobci nejrůznějších strojů, zařízení a dalších výrobků si tak mohou vybírat „polotovary“ a komponenty šité na míru. Existují i přesnější výrobní stroje a technologie, umožňující lépe dosáhnout požadované parametry výrobku.

4.) Lepší znalosti z mechaniky, nauky o materiálech a dalších oborů

Ve srovnání s dobou před 50 lety je lépe propracována pružnost a pevnost, dynamika, nauka o kmitání, nauka o únavě, lomová mechanika, termodynamika, nauka o proudění. Mohou tak být přesnější modely odezvy konstrukcí a zařízení na provozní namáhání, ze kterých se bude vycházet při návrhu a dimenzování. Jsou také mnohem lepší znalosti o materiálech a jsou lépe známy příčiny a časový průběh jejich poškození a porušování. (Snad ještě větší přínos představují počítače.)

5.) Počítače, možnost mnoho věcí propočítat, nasimulovat a „odzkoušet“.

Zde je přínos obrovský. Počítače umožňují zpracovávat rychle velká množství informací. Dříve šlo analyzovat pouze součásti jednoduchých tvarů, s jednoduchým zatížením, a informace byly často jenom přibližné. Velkou roli hrálo testování modelů a skutečných konstrukcí. Dnešní počítačové programy umožňují analýzu a řešení mnohem složitějších úloh než dříve. Například programy založené na tzv. metodě konečných prvků umožňují zjistit s vysokou přesností namáhání v různých částech tělesa a kritická místa. Již v etapě návrhu (která je pro spolehlivost rozhodující) je možno na počítači propočítat a odzkoušet chování několika variant, pro různá, i méně pravděpodobná zatížení nebo okolnosti. Předem se vyloučí nevhodná řešení. Tak lze dojít k optimálnímu tvaru nebo uspořádání. Existují i různé metody a počítačové programy pro optimalizaci. Snižuje se tak potřebný rozsah zkoušek prototypů (které jsou ale i nadále důležité). Počítače také umožňují uchovávat a zpracovávat velká množství informací o provozu, které lze využít pro zlepšování.

6.) Získávání spolehlivých podkladů pro návrh měření a zkouškami.

Provádějí se zkoušky součástí, zkoušky částí zařízení při vývoji, ověřovací zkoušky prototypů. Před použitím nebo uvedením do provozu se někdy provádějí přetěžovací zkoušky, při kterých se odhalí vady. Příklady: zatěžovací zkouška mostu, tlaková zkouška hydraulických zařízení nebo tzv. proof-test, při kterém se „slabá“ součást s nepřijatelnou vadou (např. vnitřní trhlinou) zničí.

7.) Dokonalejší technika pro měření, sledování parametrů a jejich vyhodnocování a pro řízení; využití diagnostiky, konstrukce „inteligentních“ (samokontrolujících se) zařízení apod.

Došlo k velkému rozvoji měřicí techniky, snímačů a zařízení pro analýzu i zpracování signálů (např. vibrační diagnostika). Spolupůsobí zde výrazně i výpočetní technika. Je možno sledovat postupný vývoj, resp. zhoršování stavu zařízení, ale také zjišťovat skutečné provozní podmínky, mj. okamžité zatížení nebo přetížení. Lze tak včas zařízení odstavit nebo iniciovat opravu (dříve než dojde k závažné poruše). Vývoj směřuje k inteligentním

zařizování. Stoprocentní kontrola a sledování ve výrobním procesu (např. 100% kontrola vyráběných součástí, výroba lahví – identifikace sklářských forem a sledování vývoje parametrů lahve. Inteligentní prvky ve vozidlech a domácích spotřebičích (pračky – rozložení prádla před odstředováním...)

8.) Normy a závazné postupy pro zajištění spolehlivosti a bezpečnosti.

Zkušenosti získávané průběžně po dlouhou dobu byly vtěleny do norem a předpisů. Ty obsahují různé postupy (např. pro navrhování ocelových konstrukcí, pro výrobu, kontrolování), které zajišťují všeobecně přijatelnou úroveň spolehlivosti. Normy také představují určitý etalon při sporech vzniklých kvůli poruše nebo havárii.

9.) Organizační opatření, lepší (důsledná) kontrola, řízení procesů i provozu.

Sebelepší technické nápady, řešení a předpisy nejsou k ničemu, pokud se nezajistí jejich uplatnění. V procesech s dělbou práce to musí být zajištěno organizačně. Je rozumné usilovat o vyloučení lidského činitele. Pokud to není možné, je nutno uplatňovat osobní zodpovědnost. (Příklad: svařování, kontrola svarů prozařováním, osobní razidlo svářeče.)

10.) Společenský vývoj, konkurence, možnost výběru dodavatele. Právní odpovědnost za vady a poruchy.

V systému, kde je převaha poptávky nad nabídkou, není tak velký tlak na zvyšování spolehlivosti, jako v systému, kde je převaha nabídky nad poptávkou. Konkurenční boj nutí výrobce zlepšovat své výrobky. V době, kdy každý umí vyrobit součást určitého typu (žárovka, motor), je ve výhodě ten, kdo vyrábí výrobky spolehlivější, s menšími ztrátami vyplývajícími z poruch. Tlak na zvyšování spolehlivosti vyvolává i legislativa – právní odpovědnost za vady, poruchy a škody jimi způsobené.

8. ZÁVĚR

Spolehlivost není nic, co by vznikalo a udržovalo se automaticky. Při jejím vytváření a zajišťování je nutno mít na paměti, že **nejnebezpečnějším zdrojem poruch a havárií je člověk**, právě svojí nevypočitatelností a současně záměrným konáním. Černobylská havárie vznikla jako následek záměrného vyřazení automatické regulace a ochrany. Jako další nehody, způsobené v minulosti selháním lidského činitele můžeme uvést srážky kolejových vozidel puštěných z obou směrů na jednu kolej (srážky vlaků u Stéblové (1960, 118 mrtvých) nebo u Spálova na trati z Tanvaldu do Železného Brodu (1960, 14 mrtvých), a v nedávné době srážky tramvají v Ostravě (2008, 3 mrtví). Toto lze dnes již technicky řešit zavedením informačního systému a rádiového spojení řidičů a dispečerů, popř. instalováním zařízení, které další jízdu nebo provoz automaticky znemožní. Té poslední srážce tramvají v Ostravě by bývalo šlo zabránit, kdyby již po předchozí srážce se vedení Dopravního podniku v Ostravě rozhodlo konat, a ne ji tajit. Tedy opět lidský činitel, a to na „vyšší“ úrovni. Jiné příklady z nedávné doby: kolize vlaků a automobilů na železničních přejezdech v důsledku neukázněnosti řidičů automobilů, kteří vjíždějí na přejezd i když svítí výstražná signalizace. Proti takovému „lidskému činiteli“ pomohou jenom závory (anebo mříže).

Aby tento příspěvek nekončil pesimisticky, uvedeme na závěr několik bodů ke kterým by se mělo přihlížet při návrhu nového zařízení tak, aby byla zajištěna jeho vysoká spolehlivost.

1. Promyšlená koncepce a pečlivě zpracovaný návrh.
2. Počítat s tím, že skutečné hodnoty vstupních veličin se mohou lišit od jmenovitých.
3. Usilovat o tzv. robustní design.
4. Předem zjistit možné příčiny poruch a jejich následky (FMEA).
5. Udělat analýzu možných odchylek.
6. Pro veličiny náhodného charakteru používat pravděpodobnostní přístup.
7. Používat v odůvodněných případech zálohování.



8. Vyzkoušet chování objektu ještě při návrhu simulací na počítači. Provéřit různé varianty řešení a vybrat nejlepší. Provádět i zkoušky prototypů apod.
9. Používat vysoce spolehlivé ověřené součásti.
10. Používat diagnostiku.
11. Používat pojistky proti přetížení, nebo opatření, která zcela znemožní pokračovat v provozu.
12. Navrhnout vhodný způsob provozu, údržby a oprav.
13. Vyloučit nebo omezit vliv lidského činitele.

Poděkování

Příspěvek zčásti vznikl v souvislosti s řešením grantového projektu GAČR 103/08/1340.

SBĚR DAT Z PROVOZU VOZIDEL, JEJICH VYUŽITÍ A MOŽNOSTI ZPRACOVÁNÍ

Ing. Tomáš Čvančara

Pars nova, a.s., člen skupiny Škoda
Žerotínova 56, 787 01 Šumperk, Česká republika
tel.: +420 583 365 425, fax: +420 583 365 410, email: tomas.cvancara@skoda.cz
web: <http://www.parsnova.cz>, <http://www.skoda.cz>

Abstrakt: V tomto příspěvku se věnuji problematice sběru dat a jejich praktickému využití. Jsou zde uvedeny možnosti využití sbíraných dat, dále cíle a přínosy sběru dat, které jsou rozděleny na hlediska výrobce a zákazníka. Je provedena ukázka sběru dat u vybraného provozovatele motorových lokomotiv a je uvedena možnost zavést sběr dat pomocí software Palstat, modul „Údržba strojů“.

Klíčová slova: Sběr dat, Palstat, údržba vozidel.

1 Úvod

Sběr dat z provozu a jejich následná analýza hraje důležitou roli při používání analýzy spolehlivosti vozidla. Tento proces by se v životním cyklu vozidla nebo jiného zařízení neměl v žádném případě podceňovat. Sběr dat a sledování provozních stavů vozidla je činnost náročná na čas, pečlivost a finanční prostředky. Ale jen na základě pečlivě zaznamenaných dat je možné činit zodpovědná rozhodnutí při plánování údržby a posuzovat celkové chování vozidla.

2 Možnosti využití sbíraných dat

Jak je uvedeno v normě ČSN EN 60300-3-2, sběr a analýza dat nám umožňují:

1. plánovat údržbu,
2. posoudit oprávněnost modifikací,
3. uvážit budoucí požadavky na zdroje a náhradní díly,
4. potvrdit splnění požadavků smlouvy,
5. posoudit, jak je pravděpodobné, že se úspěšně dosáhne splnění úkolu,
6. zavést zpětnou vazbu na návrh a výrobu,
7. odhadnout náklady na záruční a pozáruční provoz,
8. zlepšit požadavky na spolehlivost,
9. sbírat základní data pro možné případy odpovědnosti za škody,
10. sbírat data o používání pro stanovení požadavků zákazníka na provoz, která poskytují dodavateli základ pro specifikace zkoušek spolehlivosti a pro programy prokazování spolehlivosti.

Při zavádění nového vozidla do provozu se nám jedná zejména o tyto požadavky:

- a. zjišťování nedostatků návrhu nového nebo modernizovaného vozidla,
- b. přizpůsobení logistického zajištění,
- c. zjišťování problémů u zákazníka a jejich náprava,
- d. analýza základních příčin poruch, aby hlavní část poruch byla v příštím návrhu odstraněna.

Pro provádění analýzy spolehlivosti vozidla je třeba důkladně znát vozidlo, jeho provoz, prostředí a degradační procesy, které se za provozu uplatňují. Dále je třeba znát a správně aplikovat teorii spolehlivosti. Pro zvýšení účinnosti a využitelnosti systému sběru dat

je dobré zapojit do této činnosti všechny zúčastněné strany vývoje a výroby vozidla. Za výrobcem a provozovatelem to mohou být také dodavatelé, servisní a opravárenské organizace. Norma ČSN EN 60300-3-2 poskytuje návod pro sběr dat vztahujících se k bezporuchovosti, udržovatelnosti, pohotovosti a zajištěnosti údržby objektů v provozu. Norma se zabývá praktickými hledisky sběru dat a jejich prezentace a stručně probírá témata analýzy dat a prezentace výsledků.

3 Cíle sběru dat

Sběr dat, který se realizuje u provozovatele vozidla nebo jiného zařízení musí být přínosný nejen pro podporu samotné údržby, ale také pro výrobce. Proto zde navrhuji rozdělení cílů sběru dat na dvě hlediska.

Hledisko zákazníka

Cíle sběru dat musí vést k ověření hodnot, které garantuje výrobce vozidla. Pomocí sběru a analýzy dat můžeme ověřit:

1. pohotovost vozidla,
2. bezporuchovost vozidla,
3. náklady na provoz a údržbu a z toho poměr užitné hodnoty k ceně,
4. problémy se zajištěností údržby,
5. druhy poruchových stavů, příčiny a mechanismy poruch,
6. odhad životnosti prvků a systémů,
7. bezpečnost provozu.

Dále je přínosné zajímat se také o:

1. validaci splnění požadavků pořízených vozidel,
2. optimalizaci logistiky,
3. optimalizaci skladu náhradních dílů,
4. aktualizaci a optimalizaci systému údržby pomocí sbíraných dat.

Je také důležité vytvořit bázi kódů poruch a používat ji. Pomocí položky „kód dílu“ je možné sledovat opravy a poruchy jednotlivých součástek nebo podsestav. Evidence číselných kódů pro sledování poruch může sloužit k nalezení slabého článku systému nebo k ověření správnosti zavedeného systému údržby. Další využití kódů je pro sledování nákladů na údržbu u jednotlivých celků, sledování pracnosti, četnosti poruch a podporu v rozhodování o údržbě.

Evidence číselných kódů pro sledování poruch může být vedena v programu Palstat, modul „Údržba strojů“, a tedy ji bude provádět útvar údržby, který je zodpovědný za sběr a evidenci dat o údržbě. Informační výstupy z těchto dat budou přístupné také útvaru nakupování a ekonomickému útvaru. Veškerou spotřebu dílů je třeba navázat na sklad.

Hledisko výrobce

Pro udržení konkurenceschopnosti a zvýšení užitné hodnoty vozidla by se výrobce měl zajímat o všechna sesbíraná data u provozovatele a dále o poruchové a nestandardní stavy, které vznikají na vozidle, a to minimálně během záručního provozu. Pak je možné se z analýz dat srovnávat s obdobnými produkty na trhu a nadále zlepšovat další vyvíjená vozidla.

Aby informace o stavu vozidel byly objektivní, je třeba dbát na kvalitu přenášené informace mezi provozovatelem a výrobcem. Při předávání informací mezi výrobcem a provozovatelem pak může docházet ke komunikačním zkrslouváním. Další přenos informací k jednotlivým pracovníkům servisní skupiny nebo pracovníkům ve vlastní výrobě může dále ovlivnit kvalitu předávané informace. Všechny zainteresované strany musí mít k dispozici stejný popis události a podle toho pak postupovat.

Sběr dat musí být plánován a nastaven tak, aby ze záznamů bylo možné dospět ke stanoveným cílům. Zároveň je nutné si uvědomit omezení sběru dat.

4 Omezení sběru dat

U přípravy, zpracovávání a zavádění projektu systému sběru dat je důležité jasně a jednoznačně určit, definovat a dokumentovat jeho prvořadý účel. Je nutné respektovat dvě základní hlediska:

- od počátku stanovit cíle sběru dat,
- informace, které mají být ze sběru dat vyvozovány, jsou omezeny rozsahem získaných dat.

Z ekonomických důvodů bývá nutné omezit sběr dat (např. podávání výkazů o provozu) na minimum, které je nezbytné pro splnění základních požadavků. Je však vhodné tento systém projektovat tak, aby byl relativně jednoduše schopen budoucího rozšíření. Při vypracovávání systému sběru dat je velmi důležité si pamatovat, že některé informace mohou být v místě sběru nechtěně vyloučeny.

Pro dosažení maximální účinnosti systému sběru dat, tzn. naplnění cílů sběru dat pomocí jejich vypovídací hodnoty, je nezbytná koordinace a vzájemná spolupráce všech zúčastněných pracovníků, kteří poskytují data z provozu a údržby. Tato spolupráce je často rozhodující pro úspěšnou realizaci cíle, a proto je důležité, aby si jednotliví pracovníci byli vědomi významnosti svých příspěvků k projektu a byli průběžně informováni o dosahovaných výsledcích.

5 Přínosy sběru dat o spolehlivosti

Hledisko zákazníka

Pomocí analýzy dat je možné optimalizovat celkovou spolehlivost vozidla, zlepšit logistické zajištění, zvýšit pohotovost vozidla a dosáhnout celkového snížení nákladů na provoz v důsledku zvýšení výkonnosti.

Hledisko výrobce

Aby výrobce uspěl na trhu se svým výrobkem, v tomto případě vozidlem, je nutné, aby dobře znal požadavky zákazníka. To znamená, že snahou výrobce je, aby v maximální možné míře splnil požadavky zákazníka.

1. Marketing – čili koncepce podnikatelské politiky vycházející z potřeb trhu. To znamená pomocí sběru dat zjistit potřeby a očekávání zákazníka, a tak stanovit a upřesnit požadavky na nové produkty.
2. Návrh – ovlivnění návrhu pomocí poznatků o spolehlivosti a informací o mechanismech poruch získaných pomocí analýzy poruch a stanovení požadavků na používání u zákazníka.
3. Výroba – s použitím analýzy poruch získat znalosti o tom, které aspekty při návrhu a výrobě jsou důležité pro výrobu spolehlivého vozidla.

Systém sběru dat je komplexní nástroj, s jehož pomocí je řízena údržba daných objektů. Pomocí systému sběru dat se evidují všechna potřebná data o udržovaných objektech a zároveň systém poskytuje podklady pro řádné a operativní řízení údržby a analýzy objektu.

6 Systém sběru dat u vybraného provozovatele

Vybraný provozovatel provozuje přibližně 20 čtyřnápravových lokomotiv s dieselelektrickým přenosem výkonu a má vlastní depo na údržbu a opravy.

6.1 Lokomotivní směnovnice

Lokomotivní směnovnice je sešit formátu A4, ve kterém jsou uvedena všechna vozidla, která jsou v činné službě. Směnovnice postihuje časové období jednoho kalendářního měsíce. To znamená, že pro každý měsíc je zavedena nová směnovnice. Jednotlivé dny jsou rozděleny na tři směny – ranní, odpolední a noční. Každé pole, které označuje příslušnou směnu, vyjadřuje provozní stav vozidla. Číslice od 1 do 8 v příslušné barvě vyjadřují provozní stav vozidla v hodinách. Provoz vozidla se nezapisuje, ale dopočítává se s ostatních provozních stavů, jako jsou porucha, prostoj a oprava do počtu hodin v měsíci. Pole jsou vedena ve dvou řádcích, aby bylo možné zapsat změnu stavu vozidla v dané směně.

	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	D O N	D O N	D O N	D O N	D O N	D O N	D O N	D O N	D O N	D O N	D O N	D O N	D O N	D O N
724.701-8	8584			23								1885		

Obr. 6.1 Ukázka zápisu v Lokomotivní směnovnici

6.2 Časové využití lokomotiv a spotřeba nafty

Záznam je veden v elektronické formě v tabulkovém procesoru Excel. Jeden soubor zahrnuje všechna vozidla dané řady, která jsou v činné službě. Každé vozidlo má v souboru založeno svůj list. Záznam je proveden ve formě tabulky, přičemž jedna tabulka popisuje roční provoz vozidla. Dvanáct řádků v tabulce udává sumarizaci dat za každý měsíc provozu. **Symbolem R1 se označuje prováděný rozsah obnovy u provozovatele.**

Tab. 6.1 Časové využití lokomotivy a spotřeba provozních hmot za rok

Lokomotiva		2 000										
Měs.	Spotř. nafty (l)	Prům. spotř. (l/h)	Spotř. oleje (l)	% oleje v naftě (naf./ol.)	R1	Využití lokomotivy (h)					Odstav. loko.	
						Prov.	Náhr.	R1	Por.	Celk.		
1	6 500	16,17	0	0,00	2	402	35	23	284	744	0	
2	10 950	17,83	12	0,11	1	614	41	10	7	672	24	
...												
...												
11	2 301	3,44	26	1,13	3	668	5	46	1	720	456	
12	3 800	11,76	5	0,13	1	323	394	8	19	744	464	
Celk.	54 317	7,95	260	0,48	22	6 831	884	356	689	8 760	2 611	

6.3 Provozní kniha vozidla

Každé vozidlo má na stanovišti strojvedoucího svoji provozní knihu, do které jsou zapisovány provozní stavy vozidla, poruchy a hodnoty sledovaných parametrů. Do provozní knihy jsou zapisovány tyto parametry: tlak oleje motoru, teplota vody motoru, tlak vzduchu v brzdovém potrubí. Dále strojvedoucí zapisuje požadavky k odstranění poruch nemající vliv na provoz vozidla. Může také popsat celkové chování vozidla během provozu a může poukázat na případné problémy nebo neobvyklé stavy.

6.4 Plán oprav

Na každý týden je vypracován plán oprav, podle kterého se přistavují vozidla do opravy. Plán oprav je pouze list formátu A4, na kterém jsou napsána čísla vozidel. Nejdříve se do opravy přistavuje vozidlo s největším počtem provozních hodin od předešlé opravy.

6.5 Kniha poruch

Prvotní záznam o změnách stavu na vozidlech je zaznamenáván do Knihy poruch. Kniha poruch je sešit formátu A4 s pevnými deskami a jsou do ní zapisovány změny stavu, které na vozidlech proběhly. Do Knihy poruch se nezapisují jen poruchové stavy vozidel, ale i stavy, ve kterých se vozidlo nachází, jejich příčiny a odstranění. Také je možné, že se zapíše jen porucha, provedený údržbový zásah nebo opravárenský zásah. Zápisy v Knize poruch jsou seřazeny chronologicky a jednotlivé zápisy v měsíci se číslují vzestupně. Následující měsíc se zápisy číslují znovu od jedničky.

Poř. Číslo	Datum	Řada číslo lok.	St	čas příjezdu, odjezdu				náhradní lok.		Jméno strojved.	Popis závady a způsob odstranění	Jméno opraváře	
				od	do	cel.	N hod	cel. N hod	řada, číslo v hod.				
24	28.7.06	448 0756	21	18.30	ponechána do R1				458 1540	18.45	Heczko	Velký úbytek vzduchu na panelu BSE	
25	30.7.06	458 1542	21	6.30	6.50	0,20	0,20	10,55			Heczko	Výměna spojového kohoutu s brzdovou spojkou přední levý	
SRPEN 2006													
1	1.8.06	724 801-6	15	10.40	11.00	0,20	0,20	0,20	-	-		Očištění kontaktu stykačů	
2	2.8.06	448 0867	34	5.30	6.50	1,20	1,20	1,40	448 0702	-		Vyfoukání generátoru	
3	3.8.06	212 0519	VS	8.10	8.30	0,20	0,20	2,00	-	-		Vyčištění filtrů průběžné brzdy	

Obr. 6.2 Ukázka zápisu dat do knihy poruch

6.6 Postupový list

V Postupovém listu jsou zaznamenávány všechny údržbářské zásahy, které musí být provedeny při pravidelné preventivní údržbě R1. Údržbový zásah R1 je pevně stanoven po 340 hodinách provozu vozidla. Postupový list je uložen v programu „LOKO“, který provozovatel už téměř nevyužívá (je morálně i technicky zastaralý). Postupový list je k dispozici údržbářům, kteří provádí údržbu. Každý provedený údržbový zásah, definovaný v Postupovém listu, musí být potvrzen podpisem. Postupový list tvoří jeden list formátu A4, na kterém jsou uvedeny všechny údržbové zásahy pro daný typ lokomotivy. Dále je uvedeno datum provedení údržby a číslo lokomotivy.

LIST LOKO 7248024 ZE DNE : 29.03.2007 str. 1

MOTOR		
STAV POCITADLA MOTOHODIN	6947 mh	
KONTROLA CHODU MOTORU	600 m	
VOLNOBEZNE OTACKY		
KONTROLA CHODU TSD POSLECHEM		
KONTR. ULOZENI MOTOALTERNATORU	340 kp	
TLAK PALIVA		
KON.ODKALENI HRUB.CIST.PALIVA		
KONTROLA RUC.CERPADLA PALIVA		
KONTR. TESNOSTI PALIV. OKRUHU		
KONTR.ODLUCOVACE OLEJE MOTORU		
KON.A VYM.VLOZ.ODLUC.DLE UKAZ.		
KONTROLA TESNOSTI CHLAD.OKRUHU		
KONTROLA VODNIHO CERPADLA		
PROM.LOZISEK VENTIL.CHLAD.VODY		
KONTROLA JAKOSTI CHL.KAPALINY	$\frac{1}{100}$ %	
DOPLNENI CHLADICI KAPALINY	$\frac{1}{100}$ %	

Obr. 6.3 Ukázka zápisu dat v Postupovém listu

6.7 Zakázkový list

Nákladovost provozu vozidla se sleduje pomocí zakázkového listu. Zakázkový list je vydán pro každé provozované vozidlo a zaznamenává časové období jednoho roku. Do zakázkového listu se zaznamenává spotřebovaný materiál, provozní hmoty, vykonaná vlastní práce, náklady externích dodavatelů a počet odpracovaných hodin. V zakázkovém listu je veden i počet provedených oprav R1.

7 Požadavky na nový systém sběru dat

- záznam dat v elektronické formě,
- sledování údržbových intervalů pomocí počítače se stanovením typu a rozsahu prací při údržbovém zásahu,
- snadné vyhledávání dat,
- možnost vyhledávání určitého typu dat,
- možnost třídění dat,
- sledování finanční náročnosti vybraných funkčních celků,
- snadná prezentace dat,
- možnost tvorby grafů a histogramů,
- využitelnost pro zpracování pomocí nástrojů matematické statistiky,
- možnost snadného srovnávání dat mezi stejnou řadou nebo různými řadami vozidel.

Předpokládané přínosy zavedení nového systému sběru dat:

- snadné sestavování plánů preventivní údržby,
- snadná dostupnost dat a snadný přenos pro zainteresované osoby,
- zvýšení využitelnosti sbíraných dat,
- využití dat pro LCC, a to jak pro celé vozidlo, tak pro vybrané celky,
- přehledná prezentace dat vrcholovému vedení.

Norma ČSN EN 60300-3-2 uvádí cíle sběru dat, co jimi lze dosáhnout, ale neuvádí, jak má být uspořádán samotný systém sběru dat a jejich správa. V řadě případů se stává, že data jsou sbírána, ale jejich samotné praktické využití je obtížné nebo nemožné. Proto je v novém systému sběru dat nutné zajistit, aby sbíraná data byla jednoduše a prakticky použitelná pro další zpracování a statistické výpočty.

Pro snadnější přístup ke sbíraným datům a jejich lepšímu využití je vhodné zavést u provozovatele nový systém sběru dat. K tomu je možné využít nástroje sady Microsoft Office Excel. Zápis dat se pak bude provádět do vytvořené tabulky, která může mít stejné nebo podobné uspořádání jako je zavedeno v Knize poruch. Zápis bude prováděn opět chronologicky a všechna vozidla mohou být vedena v jedné tabulce.

Pro snadné vyhledávání a třídění bude mít každá porucha přiřazeno své kódové číslo, tedy definice kódů poruch, a informace tak budou snadno dostupné pro jakoukoliv lokomotivu a pro jakoukoliv poruchu. Nebo zavést software, který je přímo určen pro sběr dat, a tak využít jeho vložených nástrojů pro evidenci a zpracování sbíraných dat. Například je možné využít nabídku firmy PALSTAT s.r.o., která obsahuje kompletní systém počítačového řízení jakosti pomocí informačně-řídícího systému PALSTAT CAQ včetně služeb a servisu. Systém PALSTAT pro sběr dat umožňuje správu dat, jejich archivaci, sledování vynaložených nákladů na údržbu a efektivní zpracování pomocí statistických metod. Může třídít záznamy i podle zadaných kódů. Navíc modul na sběr dat je možné provázat s dalšími aplikacemi softwaru PALSTAT, jako např. Plánování jakosti, Monitorování jakosti, Management neshody, Management úkolů a událostí atd.

Pro zkvalitnění systému údržby a sběru dat je třeba zavést evidenci pomocí výpočetní techniky, aby byly informace využitelné a snadno dostupné. Je třeba také zavést systém řízení jakosti údržby.

8 Modul PALSTAT Údržba strojů

Programový modul PALSTAT „Údržba strojů“ slouží pro evidenci strojů, analýzu potřeb údržby, plánování preventivní údržby, řeší zdroje údržby a napomáhá vybudovat účinný systém plánované preventivní údržby. Modul je schopný vybudovat i účinný systém Komplexní produktivní údržby – TPM.

8.1 Popis modulu PALSTAT Údržba strojů

Modul PALSTAT „Údržba strojů“ je rozdělen na 6 základních částí:

- **evidenční list** – zde je uveden základní popis stroje nebo zařízení, jako např. evidenční číslo, název, datum výroby, umístění v podniku, apod.,
- **postupy preventivní údržby nebo kontroly** – tato záložka obsahuje tyto informace: specifikace preventivní údržby, popis preventivní údržby, použité nářadí, postup při zjištěné poruše či neshodě, záznam o provedené údržbě, informace o četnosti a intervalu preventivní údržby, informace o kontrolních parametrech a způsobu měření, datum provedení údržby a datum následné údržby,
- **záznam o provedené preventivní údržbě nebo kontrole** – záložka obsahuje tyto informace: datum provedené údržby, čas a dobu trvání preventivní údržby, čas odstávky stroje, náklady na preventivní údržbu, bodové hodnocení preventivní údržby, popis provedené preventivní údržby, možnost načítání provedených kroků, celkové hodnocení údržby,
- **záznam provedených oprav při poruše na stroji** – druh poruchy, kdo odstranění poruchy požaduje, čas poruchy a termín odstranění, popis zadání opravy, datum a čas opravy, náklady na opravu, popis provedené opravy, zápis použitých náhradních dílů při opravě stroje, evidence dle kódů dílu,
- **databáze náhradních dílů,**
- **dokumentování, hodnocení a zlepšování cílů údržby.**

Součástí je i možný přenos dat do programu Microsoft Excel pro další zpracování informací o strojích nebo zařízeních.

8.2 Přínosy zavedení modulu PALSTAT „Údržba strojů“

- Naplnění požadavků na řízení procesních postupů dle norem ČSN EN ISO 9001 a ISO/TS 16949.
- Vzájemné provázání a předávání informací při řízení údržby.
- Možnost zpracování elektronických dokumentů jednotlivých procesních postupů a jejich distribuce.
- Zrychlení a zjednodušení činností při vedení změnování řízené dokumentace.
- Snadné řízení a udržování externích dokumentů.
- Efektivní řízení a udržování záznamů o jakosti.
- Účinné řízení informací v oblasti plánování údržby a jejich snadná dostupnost.
- Snadné a efektivní vedení vnitřních prověrek - auditů a řízení nápravných opatření.
- Sběr dat z měřidel s digitálním výstupem a jejich snadné a efektivní zpracování pomocí statistických metod.
- Evidence a řízení neshod, snadné provádění rozborů pomocí Paretovy analýzy.
- Efektivní řízení nápravných a preventivních opatření pomocí metody 8-krokový plán nápravy poruchy.
- Elektronické řízení úkolů vyplývajících z řízení neshod.
- Vedení síťového databázového prostředí - snadné zálohování dat a jejich správa.

Modul „Údržba strojů“ je univerzální nástroj, který je použitelný v mnoha odvětvích. Pojmenování jednotlivých položek nerespektuje odbornou terminologii v souladu s normou ČSN IEC 50(191).

8.3 Palstat – modul Údržba strojů

Evid. číslo stroje	Nadřazený	Typ stroje	Název stroje	Vyrob...
724-801		724-8	LOKO 724-801	
724-801 I	724-801	PODVOZEK HNACÍ	PODVOZEK	
M 111 D		M 111 D	kompresor	
VCHTM 1		ventilátor	Ventilátor chlazení trakčního m...	

Obr. 8.1 Seznam zavedených strojů a zařízení v modulu Údržba strojů

Na záložce „Seznam“, viz obr. 8.1, je uveden základní přehled strojů a zařízení zavedených v systému údržby a jejich identifikační údaje. Zobrazuje se zde vzájemná hierarchie ve stromové struktuře, podřazený – nadřazený celek.

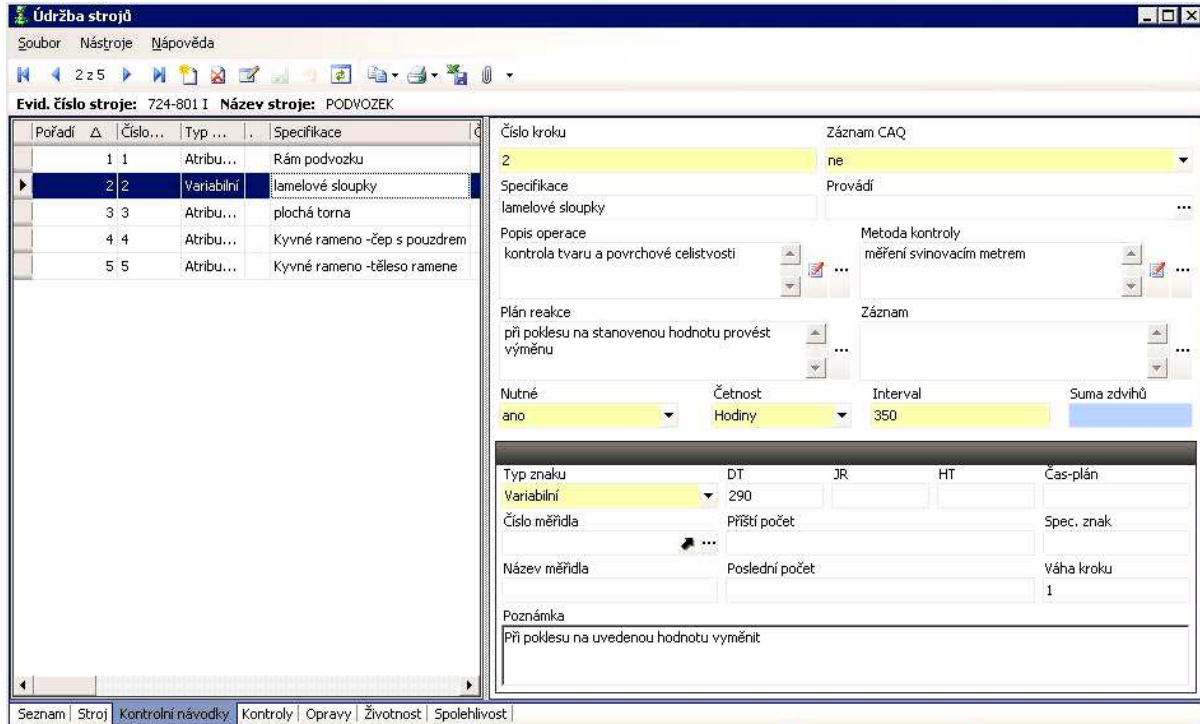
Evid. číslo stroje: 724-801 I Název stroje: PODVOZEK

Evid. číslo stroje	724-801 I	Typ stroje	PODVOZEK HNACÍ	Životnost	...
Název stroje	PODVOZEK	Vyrobena		Suma zdvihů	0
Výrobní číslo stroje		Volné textové pole 2		Suma obnovy	0
Název střediska	111 DEPO	Volné textové pole 3		Zůstatek	0
Dodavatel		Volné textové pole 4		<input type="checkbox"/> Odstaveno	
Volné textové pole 1		Volné textové pole 5		Od data	Do data
Volné textové pole 6		Volné textové pole 7		Cena stroje	
Volné textové pole 8		Volné textové pole 9		Stav	
Nadřazený stroj	724-801			Stav stroje	
Poznámka				Poznámka ke stavu stroje	

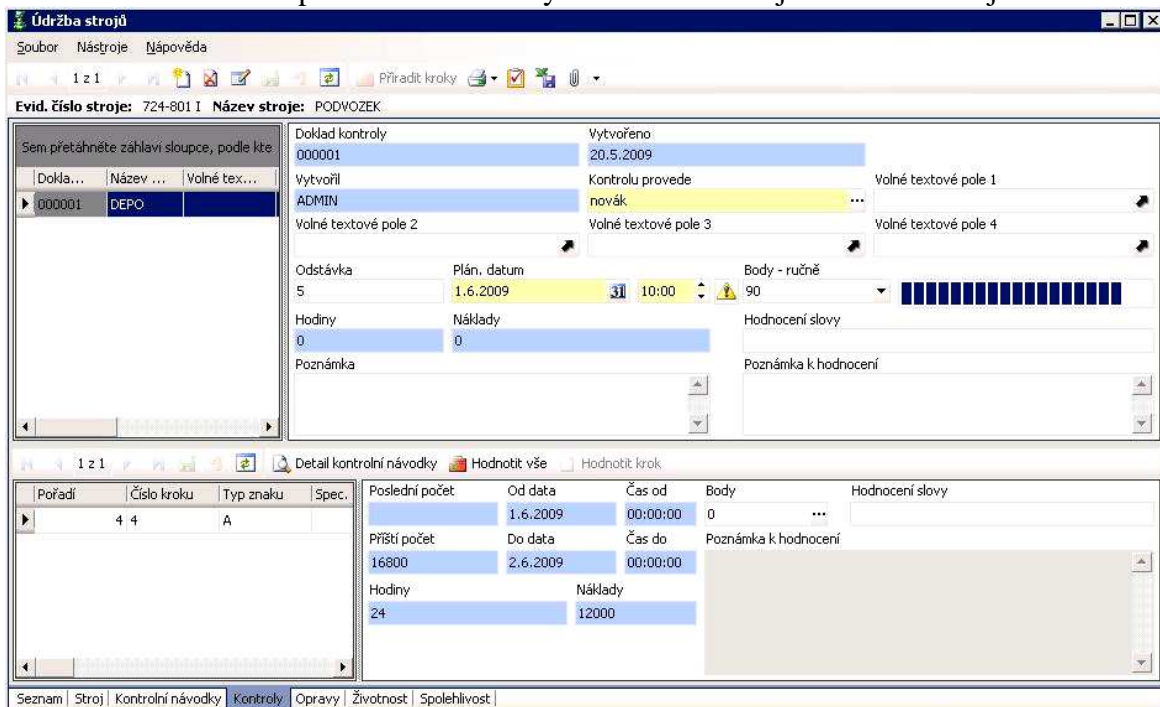
Seznam | **Stroj** | Kontrolní návody | Kontroly | Opravy | Životnost | Spolehlivost

Obr. 8.2 Přehled základních údajů na záložce „Stroj“

Záložka „Stroj“, viz obr. 8.2, přímo navazuje na záložku „Seznam“ a detailně zobrazuje základní údaje o stroji. Na této záložce se provádí zápis stroje do databáze. Obsahuje žlutě podbarvená pole, které jsou povinně vyplnitelná, bílá pole, která se vyplňovat nemusí a modrá pole, která software počítá automaticky.



Obr. 8.3 Specifikace údržbových zásahů ke stroji nebo části stroje



Obr. 8.4 Přehled vykonaných údržbových zásahů ke stroji nebo části stroje

The screenshot shows the 'Údržba strojů' (Machine Maintenance) software interface. At the top, there is a menu bar with 'Soubor', 'Nástroje', and 'Nápověda'. Below it is a toolbar with various icons. The main area is divided into several sections:

- Header:** 'Evid. číslo stroje: 724-801 I' and 'Název stroje: PODVOZEK'.
- Table:** A table with columns 'Doklad op...', 'Datum', 'Název stř...', and 'Typ opravy'. It contains one entry: '000001', '20.5.2009', '111 | DEPO', and 'mazání'.
- Form Fields:**
 - 'Doklad opravy: 000001', 'Datum: 20.5.2009', and a checked box 'Přidat do spolehlivosti'.
 - 'Typ opravy: mazání'.
 - 'Název střediska: 111 | DEPO' and 'Interní doklad'.
 - 'Zadal: mistr podvozků', 'Datum zadání: 29.5.2009', and '+ čas: 0:00:00'.
 - 'Převzal' and 'Datum ukončení'.
 - 'Volné textové pole 1' with an 'Odstávka' button.
 - 'Zadání' section with a scrollable area.
 - Summary table:

Od data	Kč hodiny	Poznámka
Do data	Kč materiál	
Hodin	Kč celkem	
- Footer:** 'Rozvržení opravy' and a navigation bar with 'Seznam | Stroj | Kontrolní návody | Kontroly | Opravy | Životnost | Spolehlivost'.

Obr. 8.5 Plánování a vyhodnocování oprav ke stroji nebo části stroje

Záložka „Kontrolní návody“, viz obr. 8.3 specifikuje jednotlivé údržbové zásahy k danému stroji nebo celku. Zobrazuje pojmenování údržbového zásahu, popis činnosti, metodu kontroly a popis jak zareagovat v případě zjištění poruchy.

Záložka „Kontroly“, viz obr. 8.4 přímo navazuje na záložky „Stroj“ a „Kontrolní návody“. Pomocí této záložky se provádí plánování a vyhodnocení údržbových zásahů preventivní údržby. Ve spodní části v modře probarvených polích jsou, mimo jiné, informace o době trvání údržby a o nákladech na práci údržbáře.

Pomocí záložky „Opravy“, viz obr. 8.5 jsou sledovány opravy stroje. Záložka zobrazuje náklady na pracovní sílu, náhradní díly, materiál a dobu odstavení stroje.

Modul údržba obsahuje ještě záložku „Životnost“ s jejíž pomocí je možné sledovat u součástí nebo strojů počet cyklů nebo počet provozních hodin. Na záložce „Stroje“ se zadává počáteční údaj o počtu cyklů a potom se sleduje zbývající životnost.

Poslední záložka s názvem „Spolehlivost“ umožňuje sledovat prostoje způsobené obnovou a jiné prostoje je možné zadávat přímo na této záložce.

9 Závěr

Sběr a analýza dat je neodmyslitelnou součástí provozu vozidla. Je jen na provozovateli jak k tomuto přistupuje, zda se snaží, aby jeho sbíraná data byla použitelná pro další analýzy. Jak je v příspěvku uvedeno možnosti využití pečlivě zaznamenávaných dat jsou široké a pomocí nich je možné činit zodpovědná rozhodnutí při plánování údržby a posuzovat celkové chování vozidla. V praxi se stává, že výrobce je ochoten zaplatit za pečlivě vedená data o provozu a údržbě svých vozidel. To znamená, že i výrobci si uvědomují, že informace ze sbíraných dat pro ně mohou být velmi cenné a mohou s jejich pomocí zlepšit další vyráběná vozidla. Zvláštní pozornost je pak věnována sběru dat při provozních problémech a poruchách, zvláště je-li vozidlo v záručním provozu. Výrobce si pečlivě sleduje dodatečné náklady, které musí vynaložit v souvislosti se záručním provozem.



Literatura

- [1] ČSN EN 60300-3-2. *Management spolehlivosti – Část 3-2: Pokyn k použití – Sběr dat o spolehlivosti z provozu*. 2005.
- [2] JURČA, V. – HLADÍK, T. – ALEŠ, Z. *Možnosti zpracování a využití dat z řízení údržby*. vyd. 1. Praha: Česká společnost pro jakost, 2004. 74 s. ISBN 80-02-01595-9.
- [3] ČVANČARA, T. Rozdělení malých prohlídek vozidel MVTV-2. *Perner's contacts* [elektronický časopis, online]. 2008, roč. 3, č. 2 [cit. 2008-05-07]. Dostupné z: <<http://pernerscontacts.upce.cz>>. ISSN 1801-674X.
- [4] ČVANČARA, T. *Zavedení údržby zaměřené na bezporuchovost u vybrané čtyřnápravové motorové lokomotivy*. Ostrava, 2009. 196 s. Disertační práce na Strojní fakultě VŠB – TU na Institutu dopravy. Školitel Petr Škapa. ISBN 978-80-248-1847-4.

ANALÝZA DAT Z PROVOZU TROLEJBUSŮ

Michal Jurašek¹

ABSTRAKT

Překládaný článek analyzuje záznamy z provozu trolejbusů 22Tr. Uvedené záznamy byly evidovány pro potřeby vozovny městského dopravního podniku. Pro analýzu dat z provozních deníků se autor rozhodl aplikovat z teorie informace informační entropii. Účelem bylo zjistit, zda je možné eliminovat kódování poruch tj. používání alfabetských, alfanumerických a/nebo numerických kódů konstrukční entitou, která byla zaznamenána jako příčina poruchy, pro kterou dopravní prostředek neplnil svoji funkci - přepravu osob.

Klíčová slova: hromadná doprava osob, entropie, konstrukční entita, teorie informací trolejbus.

ÚVOD

Spolehlivost složitých systémů dopravních prostředků se sleduje velmi obtížně neb není jednotná metodika sběru dat z provozu trolejbusů pro Městské dopravní podniky.

Žádná konstrukce nezaručí bezporuchovost zařízení v provozních podmínkách, nevyjímaje konstrukci trolejbusů. Vždy jen predikujeme za jakých podmínek a s jakou pravděpodobností bude plnit požadovanou funkci v daném časovém intervalu.

Počátky trolejbusové dopravy na území České republiky sahají až do roku 1907, kdy byla zřízena první trolejbusová trať na území Rakousko-Uherska v dnešních Českých Velenicích V současnosti mají trolejbusovou dopravu velká a středně velká města jako jsou Brno, České Budějovice, Děčín, Hradec Králové, Chomutov, Jihlava, Mariánské Lázně, Opava, Ostrava, Pardubice, Plzeň, Teplice Ústí nad Labem a Zlín. V některých městech se trolejbusová doprava stala náhradou za zrušené tramvajové linky (Jihlava, Mariánské Lázně, Opava), některá města trolejbusovou dopravu naopak zrušila (např. hlavní město Praha).

Návrat trolejbusů do měst je celosvětový trend, vzhledem na snížení závislosti např. na ropě a snížení lokálního znečištění ovzduší oxidy vznikajícími spalováním fosilních pohonných hmot. Při průjezdu městem neprodukuje žádné spaliny. Podle materiálů UITP (Union Internationale des Transports Publics) z roku 2008 je na světě v provozu cca 40000 trolejbusů v 370 městech 47 zemích. Trolejbus je provozován v rozmanitých provozních podmínkách a je vystaven působení lidského činitele tj. posádky, pracovníků depa a cestujících užívajících přepravní služby.

Na přání zákazníka výrobce montuje i výsuvnou nájezdovou plošinu pro imobilní občany. Ke komfortu jízdy cestujících patří informační systém o trase a pohodlné placení jízdného pomocí městských platebních karet. Rozporupné jsou názory na nadzemní vedení. Jedni jej považují za městotvorný prvek. Druzí zastávají názor, že nadzemní vedení poškozují městskou zástavbu.

Charakteristika trolejbusu

Dvě definice trolejbusu

Trolejbus, je vozidlo městské hromadné dopravy² elektricky napájené z trolejového trakčního nadzemního vedení nad vozidlem pomocí dvou botkových sběračů umístěných na

¹ Ing. Michal Jurašek oddělení jakosti, spolehlivosti a diagnostiky, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra dopravních prostředků a diagnostiky, Studentská 95; 532 10 Pardubice, www.uni-pardubice.cz, michal.jurasek@upce.cz Tel. +420 466 036 189, Fax +420 466 036 191

² První trolejbus zkonstruoval roku 1882 německý inženýr Werner von Siemens

koncích tyčí. Sběrací tyče proudu jsou umístěny na střeše vozidla. Vozidlo má pneumatiková kola. Jeho výhodou je tichý a ekologický provoz [33]

Trolejbus: elektrické nekolejové hnací drážní vozidlo s řídicím stanovištěm, napájené proudem z trolejového vedení, určené pro provoz na trolejbusové dráze; trolejbus může být vybaven nezávislým pomocným pohonem (např., akumulátorem, spalovacím motorem apod.)

Standardní provedení napájení pro stejnosměrnou trakci je 600V a 750V. Skloněním pravé stany vozidla na zastávce (tzv. kneelingem) se sníží nástupní hrana podlahy cca o 70 mm, což je vstřícné k cestujícím se sníženou pohyblivostí. Pro provozování musí mít silnice zpevněný povrch. Trolejbus³ je drážní vozidlo, proto není opatřeno SPZ. Trolejbus musí být provozován na komunikacích se zpevněným povrchem s únosností dle ČSN 736 110/86 S nerovnostmi povrchu komunikací dle ČSN 739175/95 [2].

Provozní záznam

Sběr provozních dat a jejich záznam v provozních záznamech musí být co nejjednodušší a jednotný pro všechny provozovatele trolejbusů. Seznam konstrukčních objektů (entit, uzlů) je vhodné rozdělit na neopravované objekty (objekt se po poruše neopravuje) a opravované objekty s nulovou dobou do obnovy (objekt se po poruše opravuje), aby se mohli použít matematické výrazy pro ukazatele bezporuchovosti, udržitelnosti a zajištěnosti údržby [4]. Provozní záznamy, které by se daly zpracovat podle doporučení české technické normy [4] nejsou z provozu trolejbusů k dispozici.

Trolejbus, který souhrnem mechanických, elektrotechnických, elektronických, hardtwérových, softwérových a pneumatických systémů byl již podle provozních záznamů (provozních deníků) analyzován autorem jako dvoustavová soustava[1,4].

Provozní záznamy použité v tomto příspěvku byly pořizovány pro interní potřeby pracovníků vozovny trolejbusů [5]. Flotila osmi trolejbusů 22Tr byla sledována po dobu cca 24 měsíců bez 13 dnů. V uvedené době bylo provedeno 72 záznamů poruch. K poruchám byl přiřazen alfabetický kód. Údaje byly zpracovány v programu EXCEL. Vyhodnocení a výpočty byly prováděné Excelu z důvodu jeho dostupnosti. Ukázka dílčích záznamů je uvedena v Tab. 1 a na Obr. 1. V provozních záznamech není vedena doba skutečného provozu trolejbusů během 24 měsíčního provozu.

Zjištěné poruchy jsou popsány dvěma způsoby – jednak prostřednictvím alfabetických kódů (v původním provozním záznamu), jednak prostřednictvím názvu konstrukční entity, na které se porucha vyskytla (konstrukční entita byla zavedena autorem článku využitím funkce filtr programu Excel). Data jsou uvedené v Tab. 2. Cílem bylo posoudit vhodnost jednotlivých způsobů pro získání vlastní informace z provozních záznamů.

K tomu bylo využito veličiny, která se nazývá informační entropie. Informační entropie byla zvolena pro porovnání, který z obou zápisů poskytne lepší informaci z provozního záznamu. Další důležitým údajem je doba, kdy je trolejbus mimo provoz. Řešením by mohlo být měření času provozu trolejbusů.

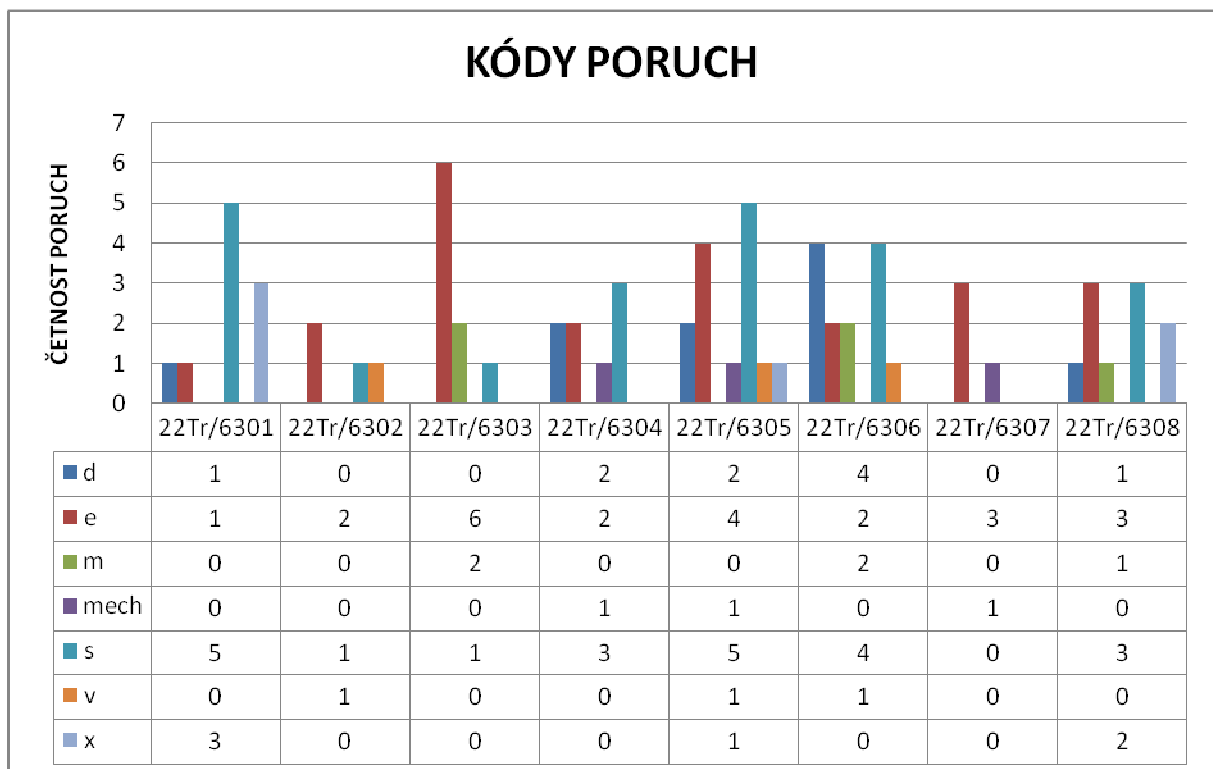
³ http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0koda_22Tr 4/15/2010 9:56 AM

Typ/č. vozidla	Kód poruchy							Σ
	d	e	m	mech	s	v	x	
22Tr/6301	1	1	0	0	5	0	3	10
22Tr/6302	0	2	0	0	1	1	0	4
22Tr/6303	0	6	2	0	1	0	0	9
22Tr/6304	2	2	0	1	3	0	0	8
22Tr/6305	2	4	0	1	5	1	1	14
22Tr/6306	4	2	2	0	4	1	0	13
22Tr/6307	0	3	0	1	0	0	0	4
22Tr/6308	1	3	1	0	3	0	2	10
Σ	10	23	5	3	22	3	6	72

Tab. 1. Četnosti poruch podle kódů závad

Legenda:

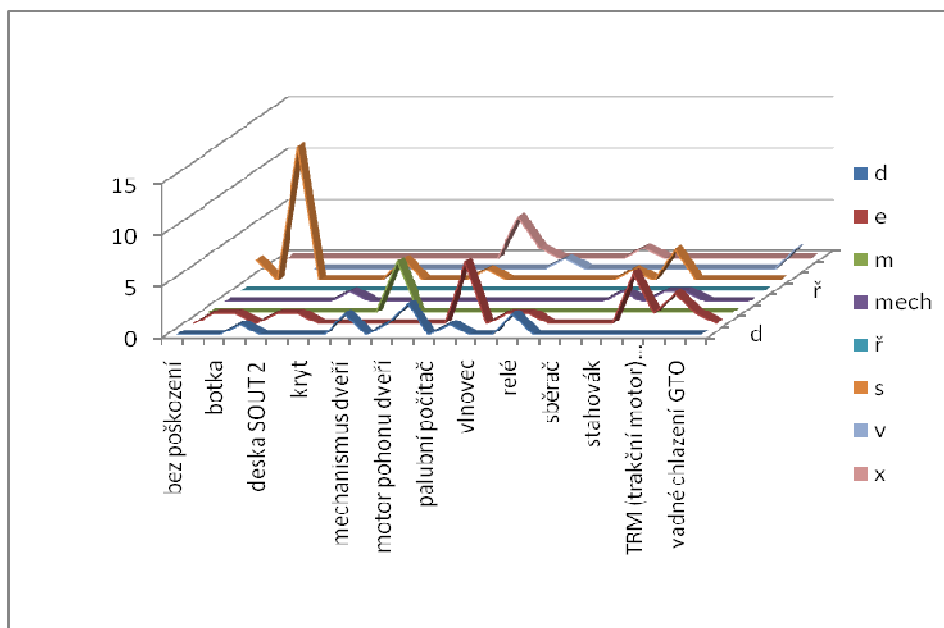
- d – závady dveří
- e – závady obecně elektrických zařízení
- m - závady statického měniče
- mech – závady obecně mechanických zařízení
- ř – chyba či vina obsluhy, řidiče
- s – závady sběrací soustavy
- v – závady na pneumatické soustavě
- x - závady nezaznamenané



Obr. 1 Graf četností poruch podle kódu závad

Konstrukční entita	Kód poruchy									Pravděpodobnost
	d	e	m	mech	ř	s	v	x	Σ	P _{ke} konst. entita
bez poškození	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0,028
blok SU	0	1	0	0	0	0		0	1	0,014
botka	0	1	0	0	0	13	0	0	14	0,194
čidlo plošiny pro nástup TP	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0,014
deska SOUT 2	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0,014
chyba 38	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0,014
kryt	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,014
lano	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0,028
mechanismus dveří	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0,028
měníč SMTK	0	0	5	0	0	0	0	0	5	0,069
motor pohonu dveří	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0,014
nezjištěno	3	0	0	0	0	1	0	4	8	0,111
palubní počítač	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0,014
pojistka	1	6	0	0	0	0	0	0	7	0,097
vlnovec	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0,014
regulátor pohonu	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0,014
relé	2	1	0	0	0	0	0	0	3	0,042
chyba LČ	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0,014
sběrač	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0,014
sklo bočního okna - vypadlo	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,014
stahovák	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0,042
stykač	0	5	0	1	0	0	0	0	6	0,083
TRM (trakční motor) uvolněn ze závěsu	0	1	0	1	0	0	0	0	2	0,028
tyristor	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0,042
vadné chlazení GTO	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0,014
zpětný ventil	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0,028
Σ	10	22	5	4	0	22	3	6	72	1,000
Pravděpodobnost P _{kód} kód	0,14	0,31	0,07	0,06	0,00	0,31	0,04	0,08		1,00

Tab. 2. Četnosti poruch a pravděpodobností podle kódů závad a konstrukčních entit



Obr. 2. Graf četnosti poruch a pravděpodobností podle kódů závady a konstrukčních entit

Datum	Den	Vůz	Čas	Závada hášená	Závada zjištěná	Konstrukční entita	kód závady	jednotka
15. 09. 06	pá	3606	4:54	vytržená botka	vytržená P botka	botka P	s	1
27. 12. 06	st	3606	13:56	vytržená botka	vytržená botka	botka	s	S
19. 01. 07	pá	3605	12:06	uvolněná botka sběrače	vytržená P botka	botka P	s	1
06. 02. 07	út	3605	19:03	ulomená botka P sběrače	rozlomená botka	botka	s	1
16. 04. 07	po	3601	16:21	utržená botka	vytržená L botka	botka L	s	1
17. 05. 07	čt	3606	6:35	poškozený sběrač	oprava L botky, povytažená	botka L, povytažená	s	1
06. 06. 07	st	3602	10:19	poškozený sběrač	vadná botka	botka	s	1
02. 08. 07	čt	3604	7:37	vytržená botka	vytržená P botka	botka P	s	1
15. 09. 07	so	3601	19:29	vytažená botka	vytažená botka	botka	s	1
19. 09. 07	st	3608	13:26	sběrač v troleji	utržená botka	botka	s	1
13. 10. 07	so	3606	21:25	vytržená P botka	vytržená botka	botka	s	1
15. 10. 07	po	3605	18:24	upálené oko napájecího kabelu L sběrače	upálené oko napájecího kabelu botky	botka	e	1
22. 10. 07	po	3604	5:11	utržená botka	vytržená L botka	botka L	s	1
24. 12. 07	po	3601	15:13	vytržená botka	vytržená botka	botka	s	1

Tab. 3. Četnosti poruch konstrukční botka podle kódů závady

Poznámka: v tab. 3 je uveden záznam nejčtenější poruchy konstrukční entity botky. Botka je umístěna na sběrači a buď stavem vyhybek nadzemního vedení, nebo nerovnostmi povrchu komunikací dochází uvolnění sběrače z vedení. Uvolněním sběrače z trolejového vedení je botka vystavena dynamickému rázu, který je pravděpodobně příčinou četností poruchy botky. Jediný záznam upálené oko kakelu má příčinu v mechanickém uvolnění šroubového (svorníkového) spoje. Uvolněný spoj způsobil zvýšení přechodového odporu a tím došlo k poruše – upálení oka napájecího kabelu botky.

Aplikace informační entropie pro provozní záznam trolejbusu typu 22Tr

Podle uvedených vzorců a definic je proveden pomocný výpočet pomocí programu Excel. Výsledky jsou upořádané do tabulek. Článek bude doplněn power pointovou prezentací „Analýza dat z provozu trolejbusů“.

Informační entropie - míra neurčitosti náhodného procesu; míra neuspořádanosti mikroskopických stavů při daném makroskopickém stavu. Míra nejistoty obsažené v nějakém náhodném ději, důležitá charakteristika zdroje informace [7].

Shannonova definice: Nehmotný fenomén, který odstraňuje neurčitost znalostí o určitém jevu nebo předmětu[6]. Označení (Sh).

Obecně pro systém s konečným počtem možných stavů $X \in \{x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n\}$ $n \leq \infty$ a pravděpodobnostní distribucí $P(x_i)$ je informační entropie definována jako střední hodnota:

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i)$$

formálně definujeme, že
 $0 \cdot \log_2 0 = 0$

Entropie je *maximální* pro rovnoměrné rozložení

$$P(X) = \frac{1}{n} \text{ pro } \forall i$$

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \log_2 \frac{1}{n} = -\log_2 \frac{1}{n} = \log_2 n$$

a *minimální* pro zcela deterministický systém

$$\exists P(x_k) = 1 \text{ a } P(x_i) = 0$$

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log P(x_i) = -\log_2 1 = 0.$$

Informační entropie je střední hodnota informace jednoho kódovaného znaku [6].

Podmíněná informační entropie

Podmíněná entropie – $H(X|Y)$ představuje průměrnou neurčitost (míru nejistoty) znalostí o stavu souboru X (příčina) známe-li, stav souboru Y (Y_1 konstrukční entita a Y_2 alfabetický kód).

V tabulce [Tab. 2] a v pomocných výpočtech jsou uvedeny podmíněné pravděpodobnosti $P(x|y)$ ($x \in X, y \in Y$), je podmíněná entropie vypočtena podle vzorce:

$$H(X|Y) = - \sum_{x \in X} \sum_{y \in Y} P(x, y) \log_2 P(x|y)$$

Vypočtené hodnoty informačních entropií jsou pro prvek (konstrukční entitu KE) $H(X|Y_1) = 0,29$ Sh a pro alfabetický kód $H(X|Y_2) = 2,09$ Sh

Z porovnání hodnot $H(X|Y_1) < H(X|Y_2)$ je zřejmé, že neurčitost sdělení o příčině poruchy je větší v případě použití alfabetického kódu. Jednoznačnější informaci o příčině poruchy dává kódování prostřednictvím názvu konstrukční entity.

Doporučení

- Sjednotit sběr technickoekonomických dat z provozu trolejbusů. Informace výrobce použije pro vývoj nových typových řad trolejbusů.
- Zavést měření času provozu trolejbusů.
- Pro teorii obnovy evidovat i finanční náklady na údržbu.
Zachování provozu trolejbusu:
 - pro jejich bezpečnost (nejsou vedené ve statistice dopravních nehod).
 - jízdní vlastnosti (dynamika jízdy) je lepší než u autobusu,
 - není lokálním zdrojem emisí a hluku.

Závěr

Pro konstrukční entitu byla vypočítána celková informační entropie 0,29 Sh tím byla získána větší informace o provozu osmi trolejbusů typu 22Tr, než při použití alfabetického kódu. Pro alfabetický kód byla vypočítána celková informační entropie 2,09 Sh. Zpracovaná analýza dat je z 24 měsíčního provozu osmi trolejbusů typu 22Tr.

Vysoká četnost poruch botky 14 s pravděpodobností poruchy 0,194 může být zapříčiněna nerovnostmi městských komunikací, nebo v technickém stavu vyhybek napájecího vedení.

Pro zrušení kódu poruch a jejich nahrazení KE bude potřeba provést další srovnávací analýzy.

Bibliografie

- [1] JURAŠEK, M.: *Analýza výskytu poruch u trolejbusů*. Sborník příspěvků třetí vědecké konference "Nové trendy v dopravě a spojích" pořádaná Dopravní fakultou Jana Pernera v Pardubicích. Pardubice: Univerzita Pardubice. Dopravní fakulta Jana Pernera Pardubice, 2003. Sekce 7. Provozní spolehlivost dopravních prostředků a infrastruktury, soubor 7_08_Jurasek_Cz.pdf.
- [2] MRÁZ F. et. al.: *Trolejbusové vozidlo 21Tr*, technické podmínky, Škoda Ostrov s.r.o., Tb40597F, 29 s.
- [3] ZÁHOROVÁ V. Využití metod „expertního řízení“ a „hledání podstatných stimulů“ při řešení problémů životnosti železničních kol. Statistické dny, září 2004, Hradec Králové, ISBN 80 – 7041 – 870 - 2
- [4] ČSN EN 61703 (EN 61703:2002) *Matematické výrazy pro ukazatele bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a zajištěnosti údržby* Vydal a vytiskl ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, Praha Rok vydání 2002, s. 52



- [5] ČSN 01 0631 *Spolehlivost v technice systém sběru provozní informací*. Základní ustanovení, Vydavatelství ÚNM, Praha 10 – Hostivař , 1981, s.12 **Tato norma již neplatí (a byla zrušená bez náhrady)**.
- [6] Informační entropie, <http://cs.wikipedia.org/wiki/Entropie> 18.2.2010 16:22
- [7] NEČAS J. et. al.: *Oborová encyklopedie SNTL Aplikovaná matematika I A až L* Vydalo SNTL – Nakladatelství technické literatury n. p., Praha 1, 1977, s.1124, s.411-412, Vydání první 04-004-77

ANALÝZA PORUCHOVOSTI PRŮMYSLOVÝCH ČERPADEL

Ing. Jan Kamenický

Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
Ústav řízení systémů a spolehlivosti, Oddělení spolehlivosti a rizik

Motivace

Elektrická energie je nezbytným předpokladem fungování a dalšího rozvoje moderní společnosti. Do široké problematiky energetického průmyslu patří velké množství dílčích úloh. Jednou z nich je také vývoj a výroba kvalitních čerpadel. Při této činnosti je vhodné se poučit z chyb a nedostatků již provozovaných strojů a zařízení. Databáze údajů jsou většinou dostupné, ovšem jejich zpracování není provedeno, protože nepřináší okamžitý efekt a je ekonomicky výhodné až z dlouhodobého hlediska. Slovo „dlouhodobé“ je zde potřeba chápat jako označení období, které přesahuje funkční období manažerů, což je také důvod, proč velké množství ekonomických optimalizací neuvažuje dlouhodobý horizont technického života investičního majetku. Příklady sběru dat a vyhodnocení příčin, které vedly k zajímavým výsledkům, jsou použity z několikaleté praxe autora v analýzách poruchovosti velkých průmyslových čerpadel, používaných v energetickém průmyslu v ČR.

Datová část

Sběr dat

Pro zjištění provozní spolehlivosti jednotlivých technologických zařízení je zapotřebí získat data o jejich provozních podmínkách, politice údržby a samozřejmě o poruchách a následných opravách. Energetika v ČR je rozdělena do několika odvětví. Samostatnou kapitolou je jaderná oblast, která je mimo jiné pod značným mediálním tlakem. Z tohoto důvodu je tato část energetiky o krok napřed. Jaderné elektrárny mají vlastní systém pro zaznamenávání poruch a oprav zařízení, ovšem i tato data bylo nutné pro účely analýzy upravit. Druhou zkoumanou oblastí jsou tzv. klasické elektrárny. Zaznamenaná data však nejsou dostatečně zpracována ani v jedné z uvedených oblastí.

Teorie spolehlivosti je značně propracovaná vědní disciplína, ovšem pro účely průmyslového použití, kdy analytik začíná od nuly, není možné v rozumném časovém horizontu sebrat a zpracovat data na detailní úrovni výpočtu. Pro statistické vyhodnocení poruchovosti zařízení je spíše přínosné, pokud analytik získá co největší reprezentativní vzorek dat o provozu, údržbě a poruchách zařízení. Toho lze často dosáhnout pouze velmi nesnadno a to trpělivou mravenčí prací a s podporou provozovatele daného zařízení. Získávání informací je klíčovou otázkou spolehlivostních analýz. V nejlepším případě existuje softwarová databáze údržby, ze které je možné jednoduchým exportem potřebná data získat. Pokud ne, je třeba pátrat v listinných záznamech údržby a tyto následně převést do podoby elektronické. Nejhorším řešitelným případem je situace, kdy je historie údržby uložena pouze formou zkušeností zaměstnanců údržby zařízení. Potom je nezbytné zapsat údaje do přehledné tabulky za účelem opakovatelnosti a auditovatelnosti analýzy.

Výpočet doby provozu

Základním údajem pro výpočty spolehlivostních ukazatelů je celková kumulovaná doba provozu zkoumaného zařízení. Tu získáme jako prostý součet všech dob provozu zařízení. Zde může opět nastat několik variant záznamů. V ideálním případě jsou provozovatelem sledovány motohodiny stroje. Poměrně častým případem je také znalost kalendářní doby, po kterou je zařízení nainstalováno na pracovní pozici a následně odborný odhad procentuální využití stroje. Pokud není dostupný údaj o datu uvedení do provozu, lze za počátek provozování považovat okamžik první poruchy.

Celková kumulovaná doba provozu je prostým součtem dob, po které byla zařízení na svých pozicích skutečně provozována (tedy bez doby, po kterou byly stroje na pozicích pouze jako záložní).

Výpočet spolehlivostních parametrů

Jak jsem již zmínil v úvodu příspěvku, pro potřeby průmyslových subjektů není nutné (a ani možné) vypočítávat všechny známé parametry spolehlivosti. Jako zcela dostačující se ukázal výpočet střední doby provozu mezi poruchami *MTBF*, střední doby do obnovy *MTTR* a nepohotovosti *U*. Bohužel ani tyto základní údaje nebylo možné v praxi vždy vypočítat/odhadnout, protože prostě nebyla dostupná data o údržbě zařízení.

Zařízení bývají provozována ve stále stejných provozních podmínkách po dlouhou dobu, proto by jejich intenzita poruch měla být konstantní. Tomuto předpokladu odpovídá exponenciální rozdělení střední doby provozu do poruchy. Při analýzách byly prováděny testy oprávněnosti nasazení exponenciálního rozdělení střední doby provozu mezi poruchami. Na jejich základě byla/nebyla následně vyvrácena hypotéza, že *MTBF* splňuje podmínky exponenciálního rozdělení.

Není náplní tohoto textu ukazovat postup testu dobré shody (chí-kvadrát) pro vyvrácení/nevyvrácení oprávněnosti použití exponenciálního rozdělení pro popis doby do poruchy. Článek si klade za cíl ukázat, jaké faktory ovlivňují sběr dat a jejich věrohodnost a přesnost v praxi.

Praktické postřehy ze sběru dat a analýz poruchovosti

Zkušenosti se sběrem dat

Prvním krokem analýzy je sběr dostupných dat. Nejprve byla zkoumána myšlenka, že data jsou sbírána centrálně. Bylo kontaktováno několik firem, zabývajících se údržbou čerpadel. Výsledkem bylo získání rozsáhlých tabulek, jejichž velmi zkrácená ukázka je uvedena v tab. 1.

Tab. 1: Výpis z centrální databáze poruchovosti čerpadel

BEZNE_CP	ELNA	HTC	DZ	DUSLEDEK	PRICINA	KOD_SKR	DOBA
290	ECH	B3	1.7.1982 9:27	RS20	90	312	0
317	ECH	B3	9.7.1982 17:16	RE10	61	314	0,6
322	ECH	B4	15.7.1982 15:31	RH10	61	311	0,9
339	ECH	B2	23.7.1982 10:25	RS20	64	312	0
357	ECH	B4	30.7.1982 22:35	RE11	64	311	1,3
360	ECH	B2	31.7.1982 11:24	RE11	61	314	3

Data v této tabulce bylo možné filtrovat podle umístění čerpadel na elektrárnách, viz sloupec ELNA (zde elektrárna Chvaletice - ECH), podle ZAKL_KOD_ZAR je možné určit, zda se jedná o čerpadlo napájecí, kondenzátní nebo chladící, podle sloupce DZ lze dohledat datum nastoupení poruchy a je možné určit dobu trvání poruchy ze sloupce DOBA. Bohužel nelze zjistit, o který konkrétní stroj se jedná, navíc pokud je na elektrárně provozováno např. více typů kondenzátních čerpadel, není možné zjistit, kterého typu se porucha týká. Z těchto důvodů musí být data získávána náročnějším, ovšem přesnějším způsobem a to přímo od provozovatelů zařízení. Příklad takových dat je uveden v tab. 2. Některé sloupce jsou opět z důvodu omezené velikosti stránky vynechány.

Tab. 2: Seznam údržbových zásahů získaných od provozovatele

Popis	Zařízení	Datum	Hodiny
1VC01D001-VÝMĚNA VADNÉHO RELÉ EZH-112V-T 1VC01L051	1VC01D001	17. 4. 2000	200
1VC01D001- VYČISTIT TĚLESO ČERPADLA OD OLEJE	1VC01D001	4. 10. 2000	12
1VC01D001 - ODBRÁNĚNÍ NETĚSNOSTI LOŽISKA ČERPADLA	1VC01D001	16. 10. 2000	24
1VC01D001, GDZ/485/00 -PROVEĎTE ZMĚŘENÍ ROZBĚHU MOTORU	1VC01D001	23. 11. 2000	20

Na elektrárnách v ČR neexistuje jednotný formát uchování dat o provozu zařízení. Z tohoto důvodu je nutné získaná data převést do standardizované podoby. Pro průmyslové účely analýzy je dostačující, aby tabulka obsahovala údaje o jednoznačné identifikaci stroje (výrobní číslo, číslo pozice), popis poruchy a datum poruchy. Pro výpočet nepohotovosti čerpadla je nutná informace o počtu hodin opravy, ovšem ta je často nedostupná. Následující tabulka předkládá vzor takto upravených dat.

Tab. 3: Upravená, chronologicky seřazená data o poruchách

Výrobní číslo	Datum opravy	Popis opravy	Počet hodin opravy
1VC01D001	17. 04. 00	Výměna vadného relé EZH-112VT 1VC01L051	200
1VC01D001	04. 10. 00	Vyčistit těleso čerpadla od oleje	12
1VC01D001	16. 10. 00	Odbránění netěsnosti ložiska čerpadla	24
1VC01D001	23. 11. 00	Proveďte změřením rozběhu motoru	20
1VC01D001	19. 03. 01	Kontrola olejového relé	8
1VC01D001	30. 04. 01	Přetěsnění děl. roviny rad. ložiska čerpadla	108
1VC01D001	30. 04. 01	Odpojení měřidel čerpadla	6

Z takto upravených dat již je možné přistoupit k vlastní analýze, která je popsána v následujících odstavcích.

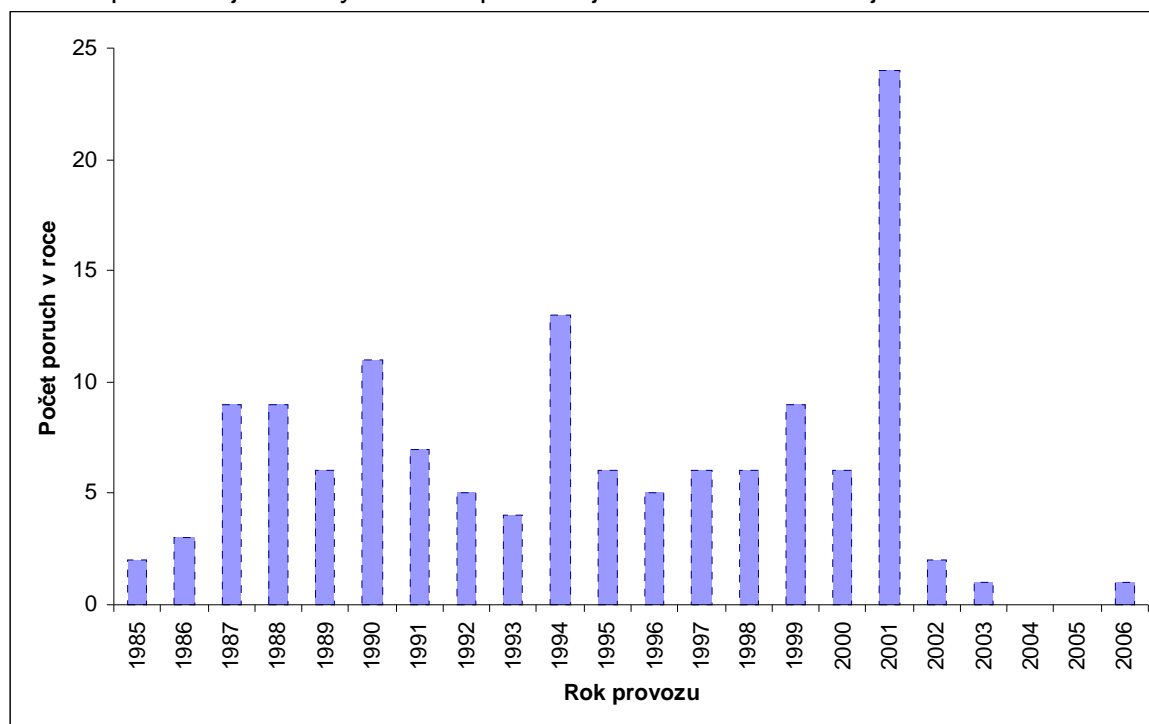
Výpočet spolehlivostních parametrů v praxi

Následující tabulka obsahuje základní přehled o provozu čerpadel. Protože nejsou dostupné údaje o datu uvedení zařízení do provozu, bylo za počátek provozování zvoleno datum prvního údržbového zásahu. Kumulovaná doba provozu je vypočtena jako prostý součet dob provozu jednotlivých čerpadel a je uvedena v následující tabulce. Jedná se o základní údaj, nezbytný pro následující výpočty. V zobrazené tabulce je identifikace strojů provedena anonymním způsobem, protože výrobce čerpadel považuje údaje o provozu, údržbě a zejména o poruchách za důvěrná data.

Tab. 4: Doby provozu jednotlivých kusů strojů

Identifikační číslo	Datum uvedení do provozu	Odhadovaná doba provozu [h]
elna1_blok1_stroj1	3. 8. 1985	184 248
elna1_blok1_stroj2	18. 12. 1986	172 368
elna1_blok1_stroj3	15. 2. 1990	145 080
elna1_blok1_stroj4	25. 4. 1986	177 960
elna1_blok2_stroj1	18. 9. 1987	165 888
elna1_blok2_stroj2	6. 4. 1988	161 136
elna1_blok2_stroj3	25. 9. 1987	165 720
elna1_blok2_stroj4	17. 8. 1987	166 632
Celková kumulovaná doba provozu		1 339 032
Celkový počet poruch		135

Počet poruch v jednotlivých letech je možné zapisovat v tabulkové podobě, ovšem přehlednější je forma grafu, ze které jsou ihned vidět trendy poruchovosti. Příklad histogramu četnosti poruch v jednotlivých letech provozu je uveden na následujícím obrázku.



Obr. 1: Počet poruch v jednotlivých letech provozu zařízení

Z uvedeného obrázku je zřejmé, že proud poruch (resp. údržbových zásahů) byl relativně stejný po celou dobu testu, pouze v roce 2001 došlo k jeho výraznému vzrůstu. Při hledání příčin poruch tedy zaměříme pozornost na tento rok. V uvedeném případě se jednalo o pokus změnit stávající systém ucpávky, což se projevilo jako zvýšený počet údržbových zásahů. V letech následujících po této modifikaci již docházelo k nápadně nižšímu počtu poruch, tedy je zřejmé, že úprava ucpávkového systému dosáhla snížení poruchovosti čerpadel.

Vzhledem k tomu, že v roce 2001 bylo 24 poruch, zatímco v letech následujících jejich počet prudce klesl, budeme předpoklad exponenciálního rozdělení pro popis střední doby do poruchy čerpadla testovat pouze na prvním časovém období. Doba testu tedy byla 16 let, celkem se za tuto dobu stalo 107 poruch a délka intervalu byla stanovena na 2 roky. Očekávaný počet poruch v každém intervalu podle je:

$$A = 2 \cdot \frac{107}{16} = 13$$

Hodnota testového kritéria podle:

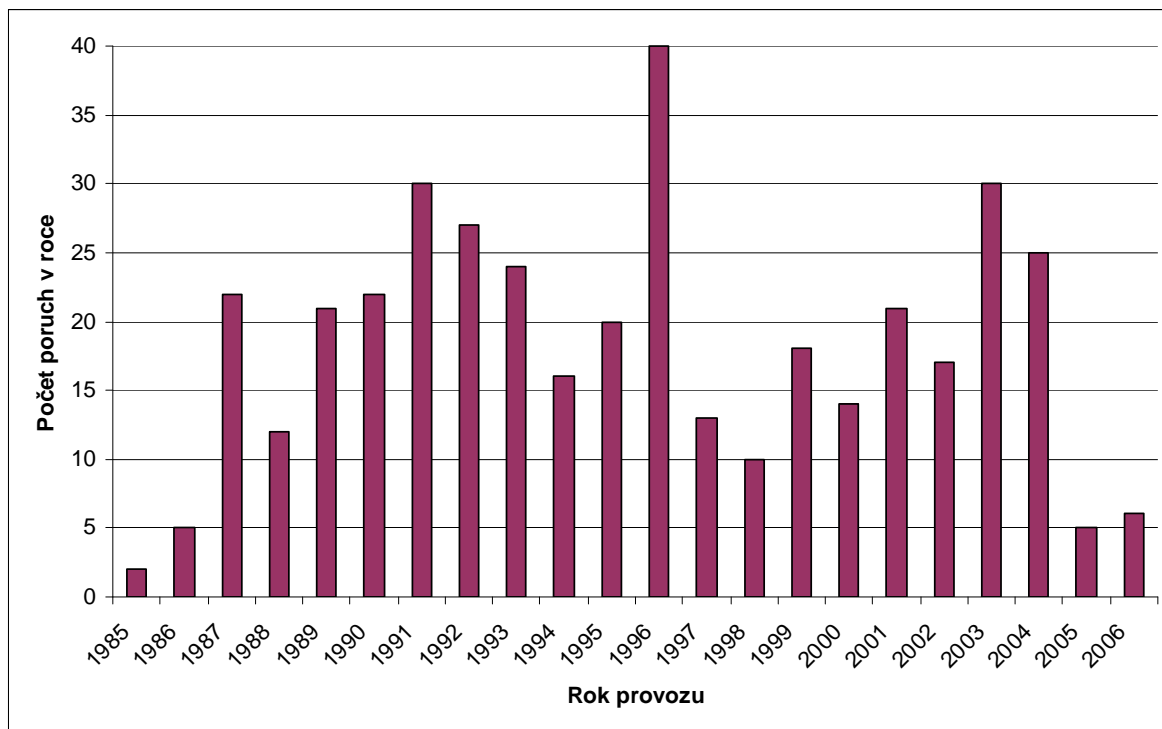
$$\chi^2 = 9,71$$

Hodnota χ^2 je 9,71, teoretická hodnota $\chi^2_{0,9}(7)$ je rovna 12,02. Hypotéza předpokladu exponenciálního rozdělení pro popis střední doby do poruchy čerpadla nebyla na hladině významnosti 10% vyvrácena pro období 1985-2000. V roce 2001 bylo provedeno větší množství údržbových zásahů, které snížily poruchovost strojů v následujících letech. Spíše by se však slušelo říct, že politika údržby v letech 1985-2000 odpovídá hypotéze exponenciálního rozdělení střední doby do údržby. V tomto období totiž bylo požadováno vykazovat činnost oddělení údržby, což se projevilo v relativně stejném proudu údržbových zásahů ve zkoumaném období. Podobné zkušenosti bylo dosaženo u více analyzovaných objektů a tyto zkušenosti jsou obsahem následující kapitoly.

Co lze vyčíst z výsledků

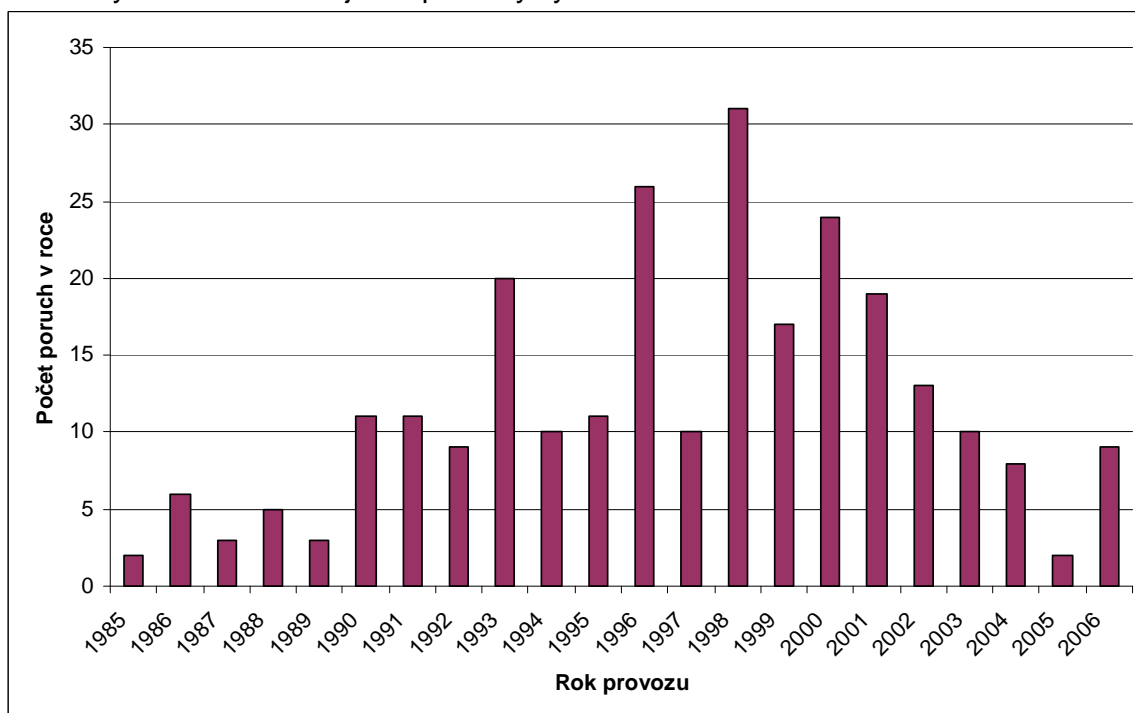
Na následujících řádcích bude uvedeno několik příkladů dosažených výsledků, vždy s doprovodným komentářem. Tak např. obr. 3 ukazuje histogram četnosti poruch v jednotlivých letech provozu zařízení. Nápadný je počet poruch v roce 1996, je totiž o 10 poruch vyšší, než druhá nejvyšší hodnota. Nejprve je třeba překontrolovat vstupní data. Sledujeme, zda je na poruchy pohlíženo se stejnou přísností, tedy zda to, co v jiných letech nebylo za poruchu považováno, není náhodou v "podezřelém" roce do statistiky započítáno. To by mohlo být vysvětleno např. změnou politiky managementu nebo změnou pracovníka, který provádí záznam poruch do systému. Bohužel (bohudík?) v tomto případě k takovéto změně nedošlo. Bylo tedy přistoupeno k hledání odpovědi za pomoci operátora údržby, který si vzpomněl, že skutečně v roce 1996 došlo k několikanásobné výměně oleje, způsobené jeho nadměrným černaláním. Pikantní na této skutečnosti je to, že nikdy nebyla zjištěna příčina tohoto černalání, ovšem nepříznivý jev byl odstraněn změnou výrobce oleje.

Další nesrovnalostí v jinak konstantním průběhu počtu poruch jsou poslední roky provozování čerpadla - 2005 a 2006. Nepředchází jim zvýšený počet údržbových zásahů, tedy zřejmě neproběhla rozsáhlejší rekonstrukce čerpadla, přesto roční počet poruch rapidně klesl. Důvod byl opět nalezen po konzultaci se zaměstnancem údržby čerpadla a byla jím změna politiky údržby. Doposud byl totiž stroj udržován tak, aby všechny peníze, vyčleněné na údržbu na kalendářní rok, byly spotřebovány. Ovšem v roce 2005 již bylo čerpadlo udržováno na základě svého skutečného stavu a výsledek se dostavil, klesl počet poruch a tím i náklady na jejich opravu. Nezbyvá než doufat, že tento trend vydrží dlouhodobě a nebude mít za následek totální destrukci stroje v důsledku zanedbané údržby.



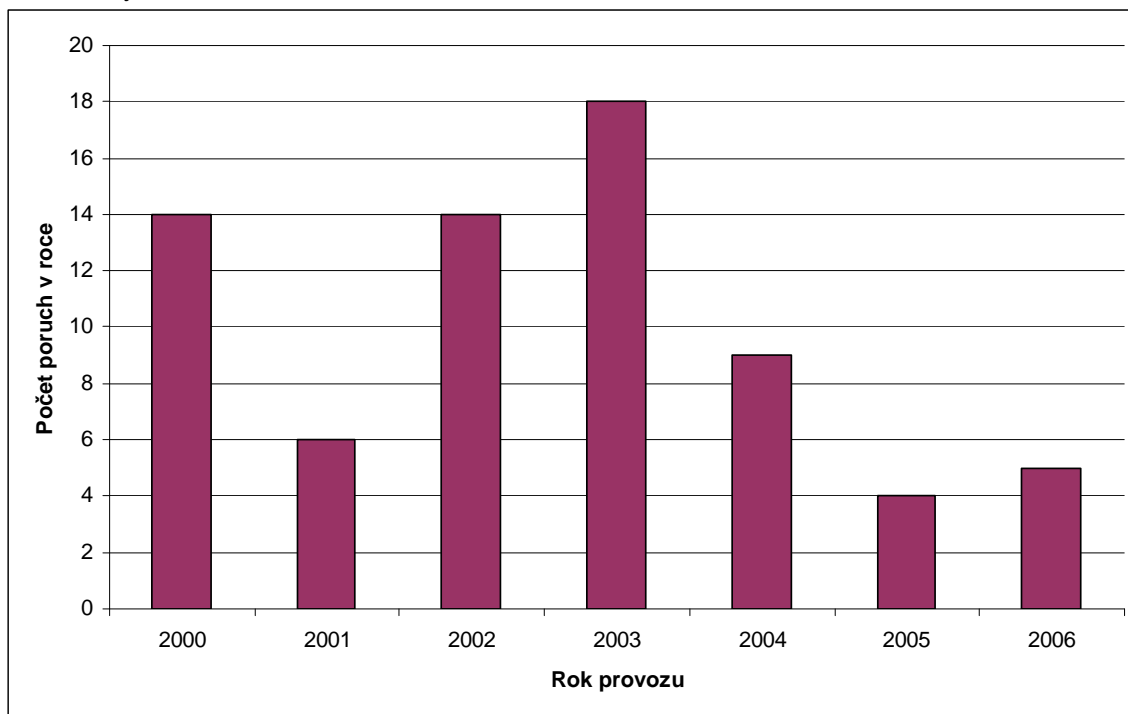
Obr. 2: Počet poruch v jednotlivých letech provozování - příklad 1

Dalším příkladem, kdy správná interpretace výsledku usnadní hledání kritických míst zkoumaného zařízení, je obr. 3, resp. analýza, jejíž je součástí. Na tomto obrázku je zřetelně vidět nárůst počtu poruch do roku 1998. Je způsoben opakovaně se objevující poruchou ucpávky, která byla výrobcem dodána jako měkká. V roce 1998 proběhl pokus o její modernizaci, ovšem ukázalo se, že konfigurace stroje není vhodná pro změnu ucpávky a i nadále byl zachován stávající ucpávkový systém.



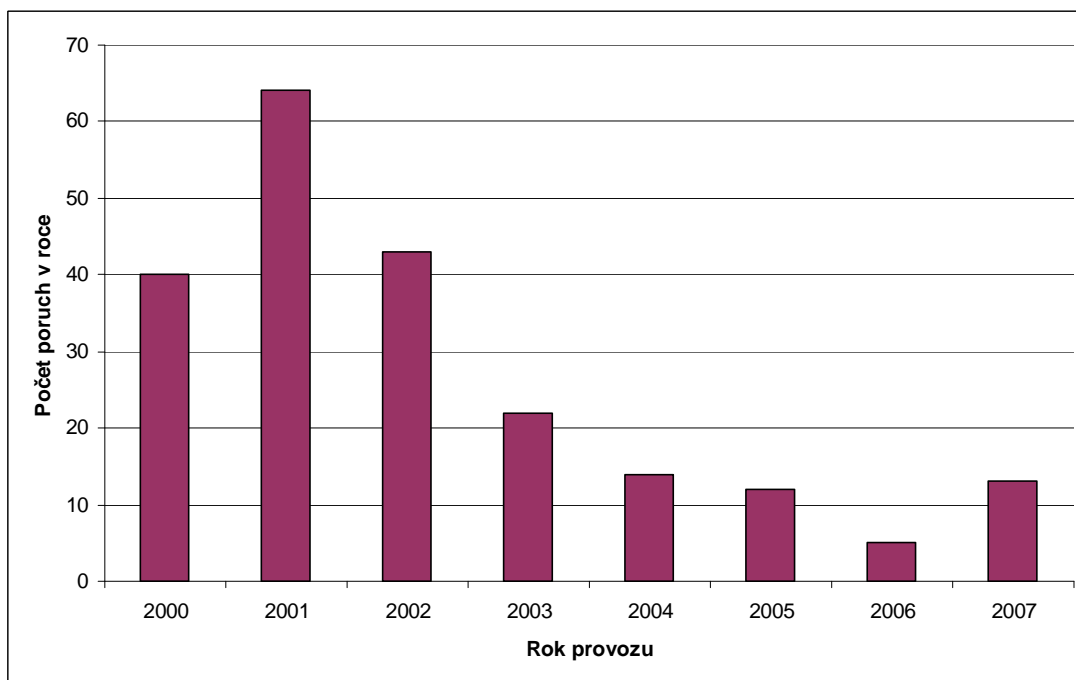
Obr. 3: Počet poruch v jednotlivých letech provozování - příklad 2

Jako další příklad je uveden problém tvrdnoucích ucpávek. Na obr. 5 je vidět, že počet poruch se cyklicky mění ve tříleté periodě, což je dáno právě životností ucpávek. V letech 2000 a 2003 proběhla jejich výměna, což mělo za následek snížení počtu poruch v následujících letech.



Obr. 4: Počet poruch v jednotlivých letech provozování - příklad 3

Jako poslední příklad je uveden histogram na obr. 6. Po prvotní velmi vysoké poruchovosti ucpávkového systému došlo ke změně politiky údržby z pevně časově plánované na údržbu na základě stavu. Tato změna probíhala "opatrně", takže její dopad je rozložen do více let, ovšem je zřejmé, že úspěch v podobě snížení počtu údržbových zásahů se dostavil.



Obr. 5: Počet poruch v jednotlivých letech provozování - příklad 4

Na závěr tohoto příspěvku bude uvedena souhrnná tabulka výsledků výpočtů parametrů spolehlivosti průmyslových čerpadel, používaných v energetickém průmyslu v České republice. Data jsou uvedena strukturovaně, vždy je nejprve uvedena lokalita, kde je čerpadlo provozováno, jeho celková kumulovaná doba provozu, počet údržbových zásahů/počet poruch, vedoucích k odstavení čerpadla a s tím související střední doba mezi údržbovými zásahy (zde označena jako *MTBF*), střední doba mezi poruchami (*MTBCF*), střední doba údržby a střední doba do obnovy po poruše (*MTTR* a *MTTRC*) a konečně nepohotovost, vypočtená na základě počtu údržbových zásahů (*U*) a nepohotovost, jak ji známe z teorie spolehlivosti, tedy vypočtená na základě počtu poruch zařízení (*U_c*). Z uvedených výsledků je možné vyvodit obecné závěry, platné pro libovolná zařízení z určité oblasti. Například počet údržbových zásahů je v průměru 10x vyšší, než je počet poruch, vedoucích k přerušení funkce čerpadla. Střední doba do obnovy po kritické poruše je vyšší, než střední doba průměrného údržbového zásahu. Vzhledem k tomu, že data (a tím pádem i výsledky) jsou seříděna podle lokality, odkud pochází, můžeme vysledovat i určité trendy podle oblastí. Bohužel nebyla dostupná data o dobách do obnovy, resp. dobách trvání údržbového zásahu u všech zkoumaných zařízení, není tedy možné porovnat nepohotovosti v jaderné a klasické oblasti. Přesto je možné porovnat např. střední doby provozu mezi poruchami u jaderné a klasické oblasti české energetiky. Dojdeme k výsledku, že u klasických elektráren je *MTBF* cca o 30% vyšší, než v jaderné oblasti. Stejná situace je i v případě kritických poruch, kde *MTBCF* je dokonce o cca 50% vyšší v případě uhelných tepelných elektráren. Tato skutečnost se dá vysvětlit vyšší úrovní bezpečnosti a tlaku společnosti na spolehlivost u jaderných zařízení. Laicky řečeno porucha na zařízení v jaderné elektrárně by ještě nemusela být nutně považována za poruchu u klasiky.

Tab. 5: Výsledky analýz poruchovosti čerpadel, používaných v energetice v ČR

Elektrárna	Čerpadlo	Kumulovaná doba	Počet	MTBF	MTTR	U
			Počet	MTBCF	MTTRC	U _c
EDU	1	200 264	48	4 172	51	1,2E-02
			5	40 053	33	8,1E-04
	2	1 050 732	260	4 041	17	4,2E-03
			10	105 073	23	2,2E-04
	3	1 339 032	135	9 919	24	2,4E-03
			7	191 290	283	1,5E-03
	4	2 285 376	400	5 713	15	2,6E-03
			108	21 161	50	2,4E-03
	5	2 593 344	479	5 414	24	4,4E-03
			51	50 850	46	9,0E-04
EME	1	18 762	N			
			0			
	2	477 984	18	26 555		
			0			
	3	1 641 076	413	3 974		
			35	46 888		
	4	227 472	70	3 250		
			6	37 912		

ETE	1	191 280	212	902	101	1,0E-01
			0			
	2	562 320	183	3 073		
			0			
3	298 080		60	4 968		
			3	99 360		
4	630 720		161	3 918		
			3	210 240		
ETU	1	112 296	N			
			0			
	2	90 000	N			
			0			
3	1 004 088		64	15 689		
			6	167 348		
4	263 136		70	3 759	13	3,4E-03
			6	43 856	14	3,2E-04
TCM	1	129 949	N			
			0			
TKA	1	200 149	N			
			0			
suma		13 316 060	2 573	5 175		
			240	55 484		

Závěr a snad i přínos tohoto příspěvku je v doporučení používat při analýzách spolehlivosti zdravý rozum a kriticky hodnotit dosažené výsledky, udržovat si nadhled nad získanými daty, posuzovat všechna zkoumaná zařízení jedněma očima a hledat na první pohled nezjevné souvislosti. To se pochopitelně nemusí podařit vždy. Mnohem lépe se však provádějí výpočty, máme-li k dispozici přehlednou a uspořádanou databázi údajů o provozu a poruchách zařízení. Z dlouhodobého hlediska je totiž výhodnější věnovat čas a úsilí kvalitní údržbě (kam patří i zaznamenávání údržbových zásahů do databáze), než následně „hasit“ katastrofální poruchy.

Poděkování

Tato práce byla vytvořena s finanční podporou Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky, projekt číslo 1M06059 - Progresivní technologie a systémy pro energetiku.

[8]

[9] Literatura

ČSN IEC 50(191) (010102) Mezinárodní elektrotechnický slovník - kapitola 191: Spolehlivost a jakost služeb.

ČSN IEC 60605-4 (01 0644-4) Zkoušení bezporuchovosti zařízení – Část 4: Statistické postupy pro exponenciální rozdělení – Bodové odhady, konfidenční intervaly, předpovědní intervaly a toleranční intervaly.



Analýza poruch technických zařízení a její přínos pro zvyšování spolehlivosti

(sborník přednášek),

kolektiv autorů

počet stran: 44

1. vydání,

rok vydání: 2010

druh vazby: brožovaná

ISBN 978-80-02-02217-6