

Kvalita železničných zabezpečovacích systémov

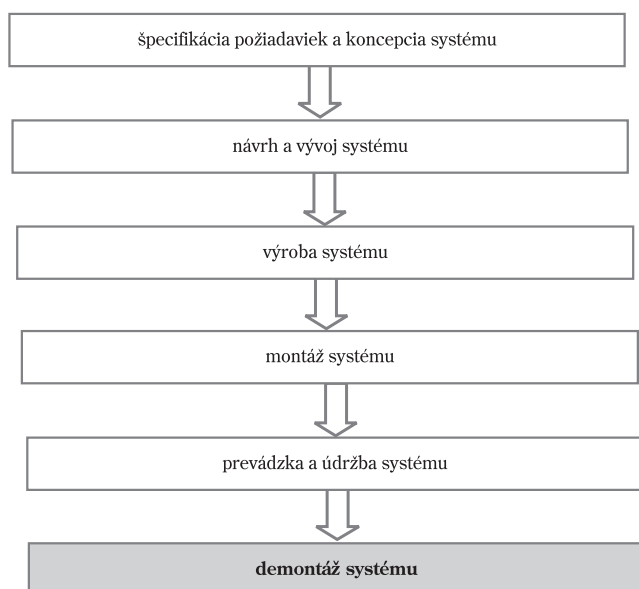
Jiří Zahradník



Úvod

Zlepšenie konkurencieschopnosti železničnej dopravy voči iným druhom dopravy je podmienené zvyšovaním kvality železničných zabezpečovacích systémov (ďalej len ŽZS). Často sa však pojem kvalita ŽZS, používaných na riadenie pohybu železničných koľajových vozidiel po železničnej koľajovej dopravnej ceste, stotožňuje len s pojmom bezpečnosť. Pritom požiadavky na kvalitu ŽZS treba zostavovať a hodnotiť z hľadiska riadeného systému – v tomto prípade z hľadiska riadenia železničnej dopravy, a to počas celého životného cyklu ŽZS. Životný cyklus ŽZS je definovaný ako postupnosť etáp zahŕňajúcich celý čas existencie ŽZS – od špecifikácie požiadaviek na systém a návrhu koncepcie systému až po vyradenie systému z prevádzky a jeho likvidáciu (obr. 1). Pre každú etapu životného cyklu sú stanovené úlohy, ktoré treba splniť, aby sa dosiahla požadovaná kvalita.

Kvalita každého produktu je všeobecne určovaná ekonomickým hľadiskom (náklady a zisk výrobcu, náklady a prínosy používateľa) a úžitkovými vlastnosťami (atribúty kvality). Ide o komplexnú vlastnosť sledovanú v priebehu celého jeho životného cyklu, ktorú možno vyjadriť súborom atribútov, ich ukazovateľov a charakteristík. Kvalitu možno charakterizovať najmä týmito atribútmi: spoľah-



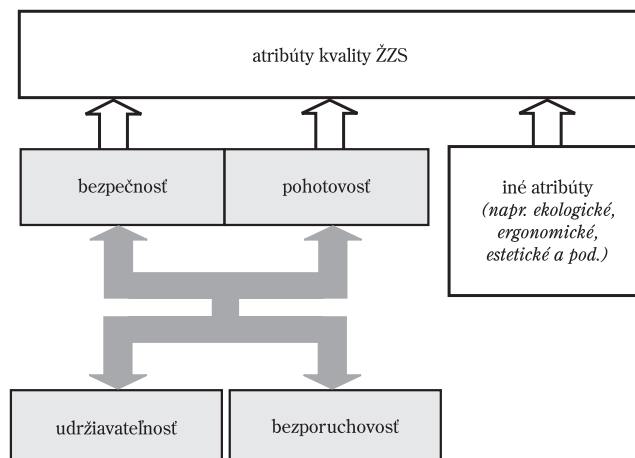
Obr.1 Základné fázy životného cyklu železničného zabezpečovacieho systému

livost, technické a funkčné vlastnosti, technologická náročnosť, materiálová a energetická náročnosť, nákladová funkcia, ergonomické a ekologické vlastnosti a pod.

Atribúty kvality železničných zabezpečovacích systémov

Kvalitu ako komplexnú vlastnosť každého produktu možno behom celého životného cyklu vyjadriť súborom atribútov, z ktorých sa pre konkrétny systém vyberá potrebná množina. Pre ŽZS patrí do sledovanej množiny atribútov kvality predovšetkým bezporuchovosť, pohotovosť, udržiavateľnosť a bezpečnosť. Vzájomný vzťah medzi nimi vyjadruje obr. 2.

Bezporuchovosť, pohotovosť, udržiavateľnosť a bezpečnosť ŽZS sú ovplyvňované poruchami, ktoré môžu vzniknúť vo vnútri systému v ktorejkoľvek etape jeho životného cyklu. Môže ísť o poruchy pôsobiace v priebehu prevádzky a poruchy pôsobiace na ŽZS v priebehu údržby. Z tohto dôvodu je požadovaná kvalita ŽZS dosiahnuteľná len splnením vyššie uvádzaných atribútov kvality a riadením prevádzkových a údržbových činností. Pritom bezporuchovosť, pohotovosť, udržiavateľnosť a bezpečnosť ŽZS majú priamy vplyv na kvalitu služieb poskytovaných zákazníčkovi. Proces, ktorý umožňuje zavedenie dôsledného prístupu k manažmentu bezporuchovosti, pohotovosti, udržiavateľnosti a bezpečnosti, označovaného skratkou RAMS (reliability, availability, maintainability and safety), je definovaný v [1] a je v súlade s relevantnými normami ISO 9000.



Obr.2 Vzájomný vzťah medzi hlavnými atribútmi kvality služieb ŽZS

| kompletné zariadenie | $t_{0,05}$ | porovnateľná jednotka |
|--------------------------------------|------------|--------------------------|
| staničné zabezpečovacie zariadenie | 1400 hod. | jedna výhybková jednotka |
| traťové zabezpečovacie zariadenie | 3700 hod. | jeden priestorový oddiel |
| priestorné zabezpečovacie zariadenie | 1500 hod. | jedno priecestie |
| vlakové zabezpečovacie zariadenie | 1100 hod. | jedno hnacie vozidlo |

Tab.1 Požadované hodnoty t_p kompletných zariadení

Bezporuchovosť

Bezporuchovosť (reliability) je všeobecne definovaná ako schopnosť objektu (systému) plniť požadovanú funkciu v daných podmienkach a v určenom časovom intervale. V [1] sa ako ukazovatele bezporuchovosti uvádzajú napr.: intenzita porúch t_p , stredný čas použiteľného stavu MDT , pravdepodobnosť bezporuchovej prevádzky $R(t)$, pravdepodobnosť poruchy $F(t)$, stredný čas prevádzky medzi poruchami $MTBF$. Táto norma sa však nezaoberá spôsobom ich výpočtu.

V literatúre [2] sa ako ukazovatele bezporuchovosti uvádzajú pravdepodobnosť bezporuchovej prevádzky $R(t)$ a gama – percentuálne vyjadrenie času medzi poruchami t_p . Pre kompletné staničné, traťové, vlakové a priestorné zabezpečovacie zariadenia sa uvažuje t_p pri $\gamma = 95 \%$, ktorý označujeme $t_{0,05}$. Nové ŽZS musia dosahovať minimálne požadované hod t_p uvedené v tab. 1. Hodnoty sú vzťahnuté na porovnateľnú jednotku a t_p je čas skutočnej prevádzky systému.

Bezporuchovosť sa vzťahuje k pravdepodobnosti výskytu poruchy vo všetkých etapách životného cyklu ŽZS. Preto sa v praxi ako jeden zo základných ukazovateľov bezporuchovosti používa intenzita porúch λ . Na intenzitu porúch má vplyv: zaťaženie, teplota, mechanické namáhanie, pracovné prostredie, úroveň technológie, kvalita materiálových surovín, úroveň vstupných, medzioperačných a výstupných kontrol atď.

Pri elektronických ŽZS sa na obdobie normálnej prevádzky predpokladá konštantná hodnota intenzity porúch λ . Za tohto predpokladu platí, že pravdepodobnosť bezporuchovej prevádzky $R(t) = e^{-\lambda t}$. Vzťah medzi intenzitou porúch λ a stredným časom prevádzky medzi poruchami $MTBF$ možno zapísať v tvare

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

Pri komerčne používaných elektronických stavebných prvkoch sa intenzita porúch λ pohybuje spravidla rádovo v hodnotách 10^{-4} až 10^{-5} .

Analýza bezporuchovosti ŽZS sa uskutočňuje v etape voľby koncepcie, návrhu, vývoja i prevádzky a umožňuje získať konkrétnejšie údaje o poruchovosti systému. V prípade potreby umožňuje realizovať vhodné opatrenia s minimálnymi stratami už v predvýrobných etapách životného cyklu.

Pohotovosť

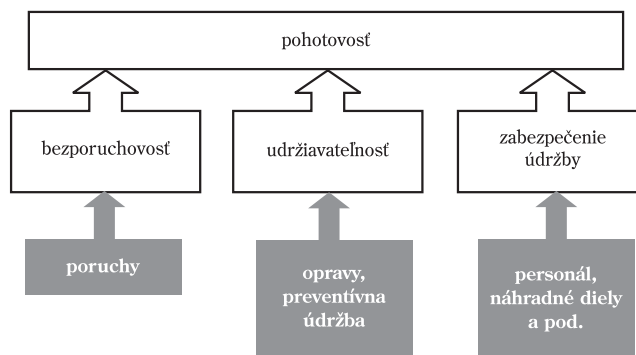
Pohotovosť (availability) je všeobecne definovaná ako schopnosť objektu byť v stave, schopnom vykonávať požadovanú funkciu pri daných podmienkach a v určenom časovom okamihu alebo v danom časovom intervale za predpokladu, že sú k dispozícii požadované prostriedky údržby.

Ukazovateľ pohotovosti A je v [1] definovaná pre ŽZS vzťahom

$$A = \frac{MTBSF}{MTBSF + MTTR}$$

kde $MTBSF$ je stredný čas medzi poruchami ŽZS, $MTTR$ – stredný čas do obnovy ŽZS.

Medzi hlavné faktory (obr. 3), ktoré ovplyvňujú ukazovateľ pohotovosti patrí: bezporuchovosť (vplyv chýb a porúch), udržiavateľnosť



Obr.3 Faktory ovplyvňujúce pohotovosť

| kompletné zariadenie | K_{tv} | porovnateľná jednotka |
|--------------------------------------|----------|--------------------------|
| staničné zabezpečovacie zariadenie | 0,980 | jedna výhybková jednotka |
| traťové zabezpečovacie zariadenie | 0,990 | jeden priestorový oddiel |
| priestorné zabezpečovacie zariadenie | 0,900 | jedno priecestie |
| vlakové zabezpečovacie zariadenie | 0,990 | jedno hnacie vozidlo |

Tab.2 Požadované hodnoty K_{tv} kompletných zariadení

nosť (preventívna údržba a oprava) spôsoby prevádzky (normálna, núdzová) a údržby (vplyv ľudského činiteľa na účinnú údržbu, náhradné diely, postupy pri údržbe, vybavenie údržby a pod.).

Norma [2] ako ukazovateľ pohotovosti uvádza súčiniteľ technického využitia K_{tv} . Pre výpočet súčiniteľa technického využitia K_{tv} a pre jednu porovnateľnú jednotku platí vzťah

$$K_{tv} = \frac{t}{t + t_{oo} + t_{ou}}$$

kde t je kumulovaný čas bezporuchovej prevádzky kompletného zariadenia za sledované obdobie,
 t_{oo} – kumulovaný čas aktívnej opravy kompletného zariadenia za sledované obdobie,
 t_{ou} – kumulovaný čas preventívnej údržby kompletného zariadenia za sledované obdobie.

Moderné ŽZS musia minimálne dosahovať hodnoty K_{tv} uvedené v tab. 2.

Požiadavka na vysokú pohotovosť ŽZS vzhľadom na režim nepretržitej prevádzky tohto systému a na reálne hodnoty intenzity porúch používaných elektronických stavebných prvkov (λ sa rádovo pohybuje v hodnotách $10^{-4} - 10^{-5} \text{ hod}^{-1}$) si vyžaduje vhodnú štruktúru systému. Preto sa spravidla používajú ŽZS s rezervovaním (napr. systém 2 z 3).

Udržiavateľnosť

Udržiavateľnosť (maintainability) je všeobecne definovaná ako schopnosť objektu v daných podmienkach používania zostať v stave alebo sa vrátiť do stavu, v ktorom môže plniť požadovanú funkciu, ak sa vykonáva predpísaná údržba a používajú sa stanovené postupy a prostriedky.

V [1] sa ako ukazovatele udržiavateľnosti uvádzajú napr.: stredný čas nepoužiteľného stavu MDT , stredný čas medzi údržbami $MTBM$, stredný čas údržby $MTTM$, stredný čas obnovy $MTTR$. Tieto ukazovatele treba určiť pre každý typ železničného zabezpečovacieho zariadenia osobitne, a to podľa činností, ktoré sa započítavajú do procesu údržby alebo obnovy.

Na rozdiel od [1] sa v [3] ako ukazovatele udržiavateľnosti uvádzajú stredný čas údržby t_{ou} a stredný čas opravy t_{oo} . Ukazovateľ t_{oo} vyjadruje stredný čas potrebný na odstránenie akýchkoľvek porúch (čl. 25 normy [3]) pri obnovovanom objekte a ukazovateľ t_{ou} vyjadruje stredný čas potrebný na vykonanie všetkých úkonov sú-

visiacich s údržbou. Ukazovateľ t_{oi} , resp. t_{oo} sa určuje výpočtom aritmetického priemeru z n zistených hodnôt podľa vzťahu

$$\bar{t}_{oi} = \frac{1}{n} \sum_i^n t_{oi}$$

a

$$\bar{t}_{oo} = \frac{1}{n} \sum_i^n t_{oi}$$

- kde t_{oi} je čas potrebný na realizáciu úkonov súvisiacich s údržbou i -teho objektu,
 t_{oo} – čas potrebný na realizáciu úkonov súvisiacich s opravou i -teho objektu,
 n – počet udržiavaných, resp. opravovaných objektov rovnakého typu.

Pre kompletne staničné, traťové, vlakové a priecestné zabezpečovacie zariadenia sa ukazovateľ t_{oi} , resp. t_{oo} pohybuje v rozpätí jednotiek hodín (spravidla 1 až 6 hodín). Všeobecne možno tieto ukazovatele zlepšiť technickými (napr. použitím prvkov vysokej spoľahlivosti pri konštrukcii ŽZS, nasadením takých diagnostických zariadení, ktoré budú minimalizovať časy potrebné na identifikáciu porúch) i organizačnými (napr. optimálnym rozmiestnením servisných pracovísk, zvyšovaním kvalifikácie pracovníkov údržby, vhodnými technickými príručkami) opatreniami.

Bezpečnosť

Všeobecne je bezpečnosť (safety) definovaná v [1] ako neexistencia neprípustného rizika vzniku škody. Určité riziko vždy existuje a prakticky sa ani nedá úplne vylúčiť v dôsledku obmedzených technických a ekonomických možností. Preto treba aj pojem bezpečnosti chápať relatívne. Ak sa hovorí, že systém je bezpečný, neznamená to jeho absolútnu bezpečnosť, ale takú úroveň bezpečnosti, ktorá zodpovedá stanoveným požiadavkám bezpečnosti. Relatívnosť v ponímaní bezpečnosti znamená posun od kvalitatívneho ku kvantitatívnemu chápaniu bezpečnosti. Kvalitatívne je bezpečnosť chápaná ako schopnosť systému zaistiť obmedzenie dôsledkov porúch systému v daných podmienkach a v danom časovom intervale. Kvantitatívne je bezpečnosť systému chápaná ako pravdepodobnosť neprítomnosti akéhokoľvek nebezpečného stavu v systéme v daných podmienkach a v danom časovom intervale.

V [1] sa ako kvantitatívne ukazovatele bezpečnosti uvádzajú napr.: intenzita nebezpečenstva $H(t)$, pravdepodobnosť poruchy vzťahujúcej sa k bezpečnosti $F_s(t)$, stredný čas medzi nebezpečnými poruchami $MTBF(H)$. Tieto ukazovatele bezpečnosti závisia predovšetkým od charakteru práce systému, jeho štruktúry a od toho, či ide o systém obnovovaný alebo neobnovovaný. Norma [1] ani iné európske bezpečnostné štandardy, relevantné pre železničnú dopravu vrátane noriem, ktoré platia v súčasnej dobe na Slovensku, sa však nezaoberajú spôsobom ich výpočtu. Dôvodom je, že predmetné európske bezpečnostné štandardy vychádzajú z toho, že bezpečnosť ŽZS je založená na aplikovaní primeraných opatrení v záujme prevencie pred systematickými chybami i náhodnými poruchami (vrátane zvládnutia náhodných výpadkov). Opatrenia proti systematickým chybám i náhodným poruchám (vrátane zvládnutia náhodných výpadkov) musia byť vyvážené, aby zabezpečili optimálny výkon ŽZS. Z tohto dôvodu boli v [4] definované štyri úrovne integrity bezpečnosti (SIL 1 až 4), ktoré sa vzťahujú na pravdepodobnosť, s akou systém dosahuje svoje bezpečnostne relevantné funkcie. Požiadavky na integritu bezpečnosti možno odvodíť na základe výsledkov posudzovania rizika. Treba si uvedomiť, že prísne požiadavky na ŽZS (napr. intenzita nebezpečnej poruchy na hodinu a prvok sa pohybuje v hodnotách rádovo 10^{-7} až 10^{-9} hod.⁻¹). Znamená to, že úrovne bezpečnosti SIL 3 alebo SIL 4 sú veľmi ťažko preukázateľné skúškami alebo výsledkami z prevádzky. Vzhľadom na to výrobcovia nových ŽZS musia predpísaným spôsobom preukázať (podrobnosti sú uvedené v [4]), že požadovaná úroveň integrity bezpečnosti je zaistená. Prítom si treba

uvedomiť, že pri zaistovaní požadovanej úrovne bezpečnosti ŽZS sú dominantné predvýrobné etapy jeho životného cyklu, t.j. špecifikácia požiadaviek, voľba vhodnej koncepcie, návrh a vývoj. Keď v týchto etapách požadovaná úroveň bezpečnosti nie je správne „naprojektovaná“, spravidla sa to už nedá bez strát úplne napraviť. Preto treba metódam a postupom, ktoré sú uplatňované v týchto etapách životného cyklu, venovať zvýšenú pozornosť.

Nedostatkom dnešných relevantných európskych noriem je to, že nedefinujú presne postupy a pravidlá na priradenie SIL k jednotlivým zariadeniam v závislosti od akceptovateľného rizika.

Záver

Kvalitatívne atribúty ako bezpečnosť a pohotovosť sú medzi sebou vzájomne previazané, čo znamená, že nezaistenie požadovanej úrovne jedného alebo druhého atribútu môže zabrániť vytvoreniu ŽZS s požadovanou kvalitou. Splnenie požiadaviek na bezpečnosť a pohotovosť možno preto dosiahnuť len vtedy, keď budú splnené požiadavky na bezporuchovosť (vplyv chýb a porúch na funkčnosť systému), udržiavateľnosť (plánovaná údržba, identifikácia a lokalizácia poruchových stavov, obnova systému po poruche), prevádzku (spôsoby prevádzky) a údržbu (vplyv ľudského činiteľa na účinnú údržbu, postupy pri údržbe, vybavenie údržby a pod.).

Pre každý novozavádzaný ŽZS treba pomocou vhodných metód a postupov preukázať, že sú splnené predpísané požiadavky na bezporuchovosť, pohotovosť, udržiavateľnosť a bezpečnosť (RAMS) počas jeho celého životného cyklu. Návod, ako postupovať v procese preukazovania týchto atribútov kvality, je uvedený v [1].

Článok bol spracovaný za podpory grantovej úlohy VEGA 1/8182/01: Teoretické podklady pre výpočet akceptovateľného rizika v riadení dopravného procesu, najmä železničného.

Literatúra

- [1] ČSN EN 50 126: Drážni zařízení – stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti (RAMS). 2001.
- [2] STN 34 2617: Určovanie a overovanie ukazovateľov spoľahlivosti železničných zabezpečovacích zariadení. 1992.
- [3] ON 34 2616: Výber ukazovateľov spoľahlivosti železničných zabezpečovacích zariadení. 1988.
- [4] STN P ENV 50 129: Elektronické signalizačné systémy súvisiace s bezpečnosťou. 2001.
- [5] TOMAŠOV, P., ZAHRADNÍK, J.: Pohľad na kvalitu informačných a zabezpečovacích systémov. Pardubice 1996.
- [6] STN IEC 50 (191): Medzinárodný elektrotechnický slovník. Kap. 191: Spoľahlivosť a akosť služieb. 1993.
- [7] RÁSTOČNÝ, K., TOMOVIČ, M.: Bezpečnosť a životný cyklus zabezpečovacieho zariadenia. Žilina 2002.

doc. Ing. Jiří Zahradník, PhD.

Katedra riadiacích a informačných systémov
 Elektrotechnická fakulta Žilinskej univerzity v Žiline
 Veľký diel, 010 26 Žilina
 Tel.: 041/513 33 00
 e-mail: jiri.zahradnik@fel.utc.sk