

SCIENTIFIC PAPERS
OF THE UNIVERSITY OF PARDUBICE

Series B

The Jan Perner Transport Faculty

2 (1996)

**VLIV ZVYŠOVÁNÍ SPOLEHLIVOSTI NA NÁKLADY ŽIVOTNÍHO
CYKLU ELEKTRONICKÝCH ZABEZPEČOVACÍCH ZAŘÍZENÍ**

Milan KEJZLAR

Katedra dopravní infrastruktury

1. Úvod

Při vzniku potřeby nového elektronického zabezpečovacího zařízení pro dopravu by mohla být za současné ekonomické situace rozhodující cena tohoto zařízení. Zkušenosti ukazují že limitování technických a jakostních parametrů cenou zařízení by mohlo být značně zavádějící: projevilo by se nepochybně na provozních nákladech, z nichž významnou část tvoří ztráty, vznikající poruchami méně spolehlivých zařízení i značnými náklady na mimogaranční opravy zařízení s vyšší poruchovostí.

V literatuře [1] jsou uvedeny souvislosti mezi pořizovacími náklady na nové zařízení a náklady na provoz tohoto zařízení. Navíc lze ukázat [1], [2], že i náklady na celý životní cyklus nového výrobku závisí na úrovni spolehlivosti, jejíž optimální úroveň, určenou některým parametrem spolehlivosti, lze stanovit, jak bude ukázáno v tomto příspěvku.

V literatuře [2] je podrobně vysvětleno, co tvoří náklady na životní cyklus výrobku. Podle citovaného pramene lze uvést, že náklady na životní cyklus (LCC = Life Cycle Cost) výrobku představuje ekonomické krytí těchto etap:

- (1) - ideový návrh

- (2) - výchozí technicko-ekonomický soubor
- (3) - zadání
- (4) - výzkum
- (5) - vývoj
- (6) - zkoušky
- (7) - technická příprava výroby
- (8) - výroba
- (9) - prodej
- (10) - využití
- (11) - likvidace.

Je třeba připomenout, že jestliže optimální úroveň spolehlivosti má vliv na optimální úroveň nákladů na životní cyklus zařízení, musí být tato optimální spolehlivost (vyjádřená vhodným parametrem spolehlivosti) předem stanovena a zadána jako závazný technický parametr výzkumnému a vývojovému oddělení. Zkušenosti ukazují, že čím dříve (z hlediska životního cyklu zařízení) jsou požadavky na zadanou spolehlivost řešeny, tím jsou ekonomicky efektivnější.

2. Pořizovací a provozní náklady elektronických zabezpečovacích zařízení

V literatuře [1], [3] je znázorněna závislost pořizovacích a provozních nákladů na úrovni spolehlivosti elektronického zařízení. Různí autoři charakterizují úroveň spolehlivosti různými parametry. V některých pramenech je úroveň spolehlivosti charakterizována *pravděpodobností bezporuchového provozu* $R(t)$, přičemž pro elektronické výrobky lze uvažovat exponenciální zákon rozdělení doby bezporuchového provozu, při němž parametr proudu poruch Λ v období náhodných poruch má konstantní hodnotu, takže

$$R(t) = e^{-\Lambda t} . \quad (1)$$

V praxi je výhodnější charakterizovat spolehlivost parametrem *střední doba mezi poruchami (SDMP)*, přičemž

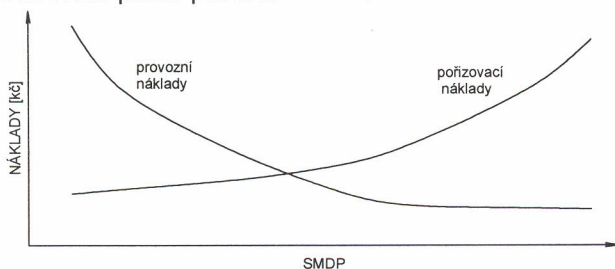
$$SDMP = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\Lambda t} dt = \frac{1}{\Lambda} [h] . \quad (2)$$

Z obr. 1 je zřejmé, že zatímco pořizovací náklady s rostoucí spolehlivostí vzrůstají, provozní náklady se vzrůstající spolehlivostí klesají.

Příčinou vzrůstu pořizovacích nákladů při zvyšování úrovně spolehlivosti jsou:

- Pracnější technicko-ekonomický rozbor se stanovením závazných technicko-ekonomických parametrů včetně parametrů spolehlivosti,
- nákladnější výzkum a vývoj s náročnějšími zkouškami,
- spolehlivější a tedy i dražší součástky a díly,

- rozsáhlejší typové, spolehlivostní a provozní zkoušky,
- větší rozsah kontrol ve výrobě (vstupní, mezioperační a výstupní kontroly),
- důsledná analýza příčin poruch na prototypch a ve zkušebním provozu a odstraňování příčin poruch.



Obr. 1 Pořizovací, provozní náklady a úroveň spolehlivosti

Naznačený průběh pořizovacích nákladů v závislosti na vzrůstající hodnotě zvoleného parametru spolehlivosti však nelze přesně vyhodnotit. Přesný průběh bylo možno stanovit jen za předpokladu, že by byly známy pořizovací náklady určitého zařízení při různých hodnotách zvoleného parametru spolehlivosti. Z mnoha studií, které byly této problematice věnovány, byly dva údaje pořizovacích nákladu zveřejněny pouze pro jedno radiokomunikační zařízení, určené pro americkou armádu. Po ukončení vývoje a výrobě prototypu musel být pro nevyhovující spolehlivost vyvinut nový výrobek, u něž byla dosažena spolehlivost lepší, než bylo původní zadání. Vyhodnocené náklady na vývoj a technickou přípravu obou těchto výrobků určily dva body průběhu pořizovacích nákladů.

Zatímco určení průběhu křivky, vyjadřující závislost pořizovacích nákladů na úrovni spolehlivosti je velmi problematické, je možno průběh závislosti provozních nákladů na spolehlivosti vyhodnotit velmi přesně.

Faktory, které mohou být v nákladech na provoz ovlivněny úrovní spolehlivosti jsou:

- ekonomické ztráty, které vyplývají z nespolehlivosti daného zabezpečovacího zařízení (tedy z poruchovosti tohoto zařízení) a které ovlivňují přesnost vlakové dopravy, zpoždění vlaků v celé době technického života zařízení,
- výška průměrných nákladů na obnovu provozuschopnosti sledovaného zabezpečovacího zařízení v celé době jeho technického života.

Průměrné náklady na jednu opravu lze vyhodnotit v průběhu typové zkoušky, zkoušky spolehlivosti a nejlépe v provozních zkouškách. V etapě technicko-ekonomického rozboru se průměrná cena obnovy stanoví kvalifikovaným odhadem na základě zkušeností s podobnými zařízeními.

Ekonomické ztráty, vznikající narušením přesnosti vlakové dopravy, vznikem zpoždění a pomalých jízd se v etapě technicko-ekonomického rozboru stanoví na základě zkušeností odborníků dráhy a upřesní se v průběhu zkušebního provozu.

Ze zkoušek spolehlivosti, případně ze zkušebního provozu se vyhodnotí *odhad SDMP* pomocí vztahu

$$S\hat{D}MP = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i, \quad (3)$$

kde n je počet zkoušených zařízení a t_i je doba do poruchy i -tého zařízení.

Je vhodné připomenout, že čím větší výběr zařízení je podroben zkoušce, tím více se odhad (SDMP) blíží hodnotě parametru SDMP.

3. Stanovení optimálních hodnot parametru spolehlivosti

Jak bylo uvedeno v předcházející části, znemožňuje nedefinovatelnost průběhu pořizovacích nákladů v závislosti na určitém parametru spolehlivosti stanovení optimální hodnoty celospolečenských nákladů a tím i optimální hodnoty parametru spolehlivosti.

Proto byly hledány jiné postupy, které umožňují stanovení optimální hodnoty zvoleného parametru spolehlivosti. Takový postup publikoval Sitting [5] a Žaludová [6]. Tito autoři uvádějí, že za optimální hodnotu zvoleného parametru spolehlivosti (v našem případě SDMP) je možno pokládat takovou hodnotu, při níž je dosaženo maximálního rozdílu *přínosů* z vyšší spolehlivosti a *ceny* zařízení. Přitom předpokládáme, že do ceny zařízení jsou promítnuty náklady na vyšší spolehlivost.

Maximum tedy musí dosáhnout rozdíl

$$P / SDMP / - C / SDMP /, \quad (4)$$

kde P jsou přínosy a C je cena (nebo pořizovací náklady).

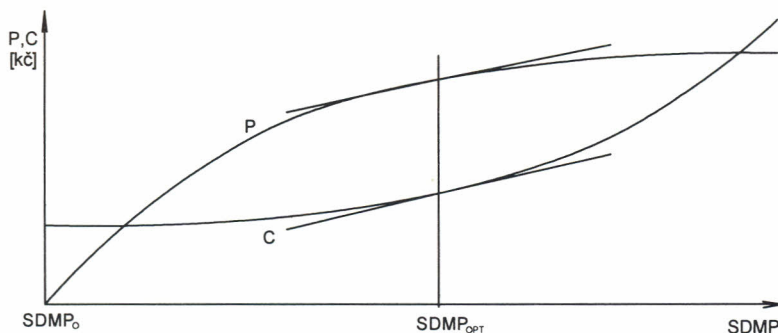
Pro stanovení maxima (extrému) tohoto rozdílu, musí být

$$\frac{dP / SDMP /}{d / SDMP /} - \frac{dC / SDMP /}{d / SDMP /} = 0, \quad (5)$$

takže

$$\frac{dP / SDMP /}{d / SDMP /} = \frac{dC / SDMP /}{d / SDMP /}. \quad (6)$$

Optimální hodnotou uvedeného parametru spolehlivosti je pro budoucího uživatele taková hodnota SDMP, při níž bude první derivace průběhu přínosů rovna první derivaci průběhu pořizovacích nákladu (ceny) zařízení. Tato situace je znázorněna na obr. 2.



Obr. 2 Závislosti přínosu P a ceny C na $SDMP$

Jestliže vyhodnotíme vícenáklady na pomalou jízdu, zpoždění a náklady na opravy sledovaného typu zabezpečovacího zařízení za celý jeho životný cyklus zjistíme, že celkové náklady vzniklé v důsledku poruchovosti tohoto zařízení jsou nepřímo úměrné hodnotě $SDMP$. Na základě poměrně přesných hodnot ekonomických ztrát, můžeme vypočítat přínosy P pomocí vztahu

$$P = P_{MAX} \frac{SDMP - SDMP_0}{SDMP}, \quad (7)$$

kde - P_{MAX} představuje přínosy ideálního zařízení bez poruch v průběhu celého životního cyklu,

- $SDMP_0$ je hodnota $SDMP$ prototypu před zavedením úprav pro zvýšení spolehlivosti.

Pro případ, že je vzrůst ceny C v procesu zvyšování spolehlivosti lineární (což lze předpokládat aspoň v relevantním intervalu), lze cenu vypočítat pomocí vztahu

$$C = C_p + |SDMP - SDMP_0| \cdot tg\alpha, \quad (8)$$

kde - C_p je počáteční cena před procesem úprav pro $|SDMP - SDMP_0|$,

- $tg\alpha$ je tangenta úhlu, který svírá průběh zvyšující se ceny C s osou $SDMP$, což lze vyjádřit

$$tg\alpha = \frac{\Delta C}{\Delta SDMP}. \quad (9)$$

Optimální hodnota $SDMP$ je pak stanovena vztahem

$$P' = C'.$$

Derivací vztahu (7) a (8) dostaneme

$$P_{MAX} = \frac{SDMP_0}{SDMP^2} = tg\alpha, \quad (10)$$

a odtud

$$SDMP_{OPT} = \sqrt{\frac{P_{MAX} \cdot SDMP_0}{\operatorname{tg} \alpha}} \quad (11)$$

Tento postup byl uplatněn při stanovení optimální hodnoty SDMP elektronického kodéru, jehož původní SDMP₀ byla při náběhu výroby 11 400 hod. Vzrůst cen na zvýšení SDMP o 1 hodinu byl 0,03 Kč a cenový vzestup jsme pokládali za lineární.

Údaje bývalé Střední dráhy v Olomouci ukázaly, že pro 15-ti letý životní cyklus kodéru je P_{MAX} = 8 705,- Kč, takže SDMP_{OPT} byla vypočtena na 57 484 hodin. Při celosíťovém vyhodnocení na bývalé ČSD v roce 1988 byla zjištěná hodnota 58 080 hod. jako výsledek úspěšného programu spolehlivosti SZD Hradec Králové, který tato zařízení vyráběl. Třeba poznamenat, že ke zvýšení spolehlivosti nepochybně přispělo i překonání období časných poruch u nasazených kodérů.

Lektoroval: Doc. Ing. Jiří Zahradník, CSc.

Předloženo v listopadu 1996.

Literatura

- [1] O' Connor, P. D. T.: Practical Reliability Engineering. HEYDEN London 1981, str. 249 a dále.
- [2] Bednařík, J. a kol.: Technika spolehlivosti v elektronické praxi. SNTL Praha 1990, str. 240 a dále.
- [3] Kejzlar, M.: Otázky kvality v malých a středních podnicích. Sborník „Nové směry v diagnostice a opravách elektrotechnických strojů a zařízení“, I. vědecká konference VTS při VŠDS Žilina, 1996, str. 197 a dále.
- [4] Kejzlar, M.: Príspevok k stanoveniu parametrov spoľahlivosti elektronických zabezpečovacích zariadení. Sborník ELEKTROTECHNIKA '90, EF SVŠT, 1990, str. 117 a d'alší.
- [5] Sitting, J.: Defining Quality Costs. EOQC Conf. Copenhagen, 1963.
- [6] Žaludová, A.: Optimalizace jakosti pomocí celospolečenských nákladů na jakost. Čs. Standardizace, 3/84, str. 107-113.

Resumé

VLIV ZVYŠOVÁNÍ SPOLEHLIVOSTI NA NÁKLADY ŽIVOTNÍHO CYKLU ELEKTRONICKÝCH ZABEZPEČOVACÍCH ZAŘÍZENÍ

Milan KEJZLAR

Po vysvětlení pojmu „náklady na životní cyklus“ (LCC) je věnována pozornost souvislosti mezi pořizovacími, provozními náklady a úrovní spolehlivosti.

Na konkrétním příkladu je uvedeno stanovení optimální hodnoty střední doby mezi poruchami pomocí maximálního rozdílu mezi ekonomickými přínosy a cenou jednoho typu zabezpečovacího zařízení.

Summary

EFFECT OF HIGHER RELIABILITY ON LIFE CYCLE COST UPON ELECTRONIC SIGNALLING SYSTEMS

Milan KEJZLAR

In this paper there is explained the conception of life cycle cost (LCC) and the relation between purchase costs and operational costs of a signaling system during its life cycle as a function of the reliability level.

In concrete type of one signaling system will be shown the effect of the maximal value of difference between economical contribution (as the effect of higher reliability) and the cost of the system for determination of optimal value of MTBF.

Zusammenfassung

EINFLUSS DER HÖHEREN ZUVERLÄSSIGKEIT AN l_{cc} DER ELEKTRONISCHEN SICHERUNGSSYSTEME

Milan KEJZLAR

In dem Beitrag ist nach der Erklärung des Begriffes „Life-Cycle-Cost“ die Relation zwischen Anschaffenswert und Betriebsaufwänden in Zusammenhang mit dem Niveau der Zuverlässigkeit die Aufmerksamkeit gewidmet.

Auf einem konkreten Beispiel wird dargestellt, wie man den optimalen Wert von MTBF beurteilen kann.