

# SPOLEHLIVOST BOJOVÉ TECHNIKY — VÝZNAMNÝ FAKTOR BOJESCHOPNOSTI VOJSK

Zdokonalování konstrukce bojové techniky, zvyšování její bojové efektivity a zlepšování takticko-technických parametrů je neoddelitelně spojeno s intenzivními změnami provozních vlastností, mezi nimiž jednu z rozhodujících úloh stále více plní spolehlivost.

Provozní spolehlivost rozumíme takové vlastnosti bojové techniky, které zabezpečují zachování její kvality po celou dobu užívání. Ta odráží stabilitu kvality bojové techniky vzhledem ke všem možným poruchám, které mohou vzniknout při funkční činnosti, údržbě, dopravě a skladování. Provozní spolehlivost se vyjadřuje pomocí dílčích vlastností, jako jsou bezporuchovost, životnost, udržovatelnost, opravitelnost, skladovatelnost, pohotovost.

Při hodnocení provozní spolehlivosti bojové techniky nevystačíme pouze s kvalitativním vyjádřením jednotlivých vlastností, ale důležitá je především jejich kvantifikace, která nám umožní měřit spolehlivost jako každou jinou fyzikální veličinu. Kvantifikace jednotlivých dílčích vlastností, které určují spolehlivost, se ustálila na stanovení pravděpodobnosti  $R(t, \xi)$ , s níž je možné počítat, že bude zajištěna požadovaná správná funkční schopnost techniky v daných konkrétních podmínkách bojové činnosti ( $\xi$ ) po zvolenou dobu ( $t$ ) ( $0 \leq R(t) \leq 1$ ).

## Důsledky nespolehlivosti

Armáda je složitá organizace a účinky nespolehlivosti určitého druhu bojové techniky je mnohdy v boji obtížné kvantitativně vyčíslit. Následky nespolehlivosti bojové techniky však mají pro bojovou

činnost vojsk dalekosáhlý význam, neboť může přímo ovlivnit nesplnění bojového úkolu. Sovětské prameny uvádějí, že ztráty z technických příčin, tj. v důsledku nespolehlivosti mohou v přípravném období (přesun, rozvinování sestavy atd.) dosáhnout následujících hodnot:

- raketové komplety 25 %,
- děla 10–12 %,
- tanky 15–25 %,
- minomety 20–30 %,
- radiolokátory 40 %,
- počítače 25 % apod.

Náklady na údržbu bojové techniky jsou vysoké a uskutečněná šetření ukázala, že převyšují několikanásobně její pořizovací hodnotu.

Nespolehlivost bojové techniky klade vyšší požadavky na technické zabezpečení. Množství nebojujícího (zabezpečovacího) personálu je z větší části určováno právě nespolehlivostí bojové techniky. Nespolehlivost je jedním z hlavních faktorů, které ovlivňují soudobé vojenské operace.

Spolehlivost jako vlastnost (schopnost) bojové techniky věst po celou dobu bojové činnosti účinnou palbu a provádět manévry má pro bojovou efektivnost (výslednost bojové činnosti) stejný význam jako její výkonnost (dostřel, účinek v cíli, rychlost střelby, akční rádius apod.). Proto jsou v armádě kladeny nejen vysoké požadavky na výkon bojové techniky, na její takticko-technické parametry, ale stejný důraz je kladen i na spolehlivost techniky.

Výkonnost a spolehlivost jsou hlavními složkami kvality bojové techniky, která je určujícím prvkem její bojové efektivity.

## Program zajišťování spolehlivosti

Stálá bojová pohotovost vojsk a z ní vyplývající vysoké nároky na provozuschopnost bojové techniky si přímo vynucují věnovat zvýšenou pozornost otázkám zabezpečení vysoké úrovně provozní spolehlivosti. Problematika zabezpečení vysoké spolehlivosti techniky a výzbroje není vždy plně docenována těmi, kteří ji užívají, provozují a odpovídají za její řízení. Přitom vzájemná souvislost mezi nepřetržitou provozuschopností techniky a vysokou provozní spolehlivostí je zřejmá a je jedním z hlavních předpokladů zabezpečení bojeschopnosti vojsk.

Nízká provozní spolehlivost, nedostatky v organizaci a řízení provozu a ošetřování, nízká kvalita oprav znamenají vždy vysokou poruchovost a promítají se i do oblasti ekonomických nákladů na údržbu.

Zkušenosti potvrdily, že k udržení požadované úrovně provozní spolehlivosti bojové techniky nestačí řešit nekoordinovaně dílčí technické problémy, např. sběr a zpracování údajů o poruchách v provozu. Naopak je nutné postupovat systematicky podle komplexního programu zajišťování spolehlivosti (zkráceně programu spolehlivosti).

Pod pojmem spolehlivost rozumíme souhrn požadavků, úkolů, činností, opatření, příkazů, metod, prostředků, postupů a pravidel, které musí realizovat armáda u jednotlivých orgánů své struktury, s cílem dosáhnout u výrobce a u vojsk optimální úrovně spolehlivosti bojové techniky a tím i bojeschopnosti vojsk při vynaložení co nejnižších společenských nákladů (zdrojů).

### Formulace požadavků na spolehlivost

Spolehlivost bojové techniky je vlastnost měřitelná, lze proto stanovit nároky na jednotlivé díle vlastnosti již v technickém zadání a podmínkách. Při formulaci těchto nároků se musí respektovat prioritní požadavků na bojovou pohotovost a optimum společenských nákladů.

Pro vyjádření stupně spolehlivosti a k formulaci požadavků na spolehlivost bojové techniky je nutné použít těchto ukazatelů:

1. Procento nesplnění bojových úkolů v důsledku technických závad a poruch. Tento ukazatel postihuje stupeň bojové pohotovosti techniky (schopnost být v požadovaném okamžiku zasazena do boje) i její provozní spolehlivost (např. vyhledat, zjistit a sledovat cíl, zabezpečit zamíření, odpálení apod.). Prakticky je tento ukazatel vyjadřován hodnotou koeficientu operační pohotovosti  $K_{op}$ :

$$K_{op} = K_p \cdot R(t_{BC}) = \frac{\bar{t}}{\bar{t} + \tau} \cdot e^{-\int_0^{t_{BC}} \lambda(t) dt}$$

kde:

$K_p$  — koeficient pohotovosti bojové

techniky ( $K_p = \frac{\bar{t}}{\bar{t} + \tau}$ )

$R(t_{BC})$  — pravděpodobnost bezporuchového provozu po dobu bojové činnosti,

$\bar{t}$  — střední doba opravy,

$\tau$  — intenzita poruch,

$\lambda(t)$  — střední doba mezi poruchami,

$t_{BC}$  — doba trvání bojové činnosti.

Koeficient pohotovosti ( $K_p$ ) zahrnuje dvě základní spolehlivostní vlastnosti bojové techniky: bezporuchovost a opravitelnost. Na obr. 2 je vidět, že např. hodnota koeficientu pohotovosti ( $K_p = 0,97$ ) může být dosažena dvěma vhodně volenými kombinacemi hodnot střední doby mezi poruchami ( $\tau$ ) a střední doby opravy ( $\bar{t}$ ).

Obr. 1 dále ukazuje, že z hlediska taktického použití bojové techniky je potřebné jak střední dobu mezi poruchami, tak i střední dobu opravy omezit minimálními respektive maximálními hodnotami.

Např. stanovíme-li požadavek, že za 40 hodin bojové činnosti (2 dny boje) nám z bojové sestavy nesmí odejít v důsledku technických závad více než 6 % bojové techniky daného druhu, musí střední doba mezi poruchami dosahovat hodnoty minimálně 646 hodin (za předpokladu konstantní intenzity poruch  $\lambda(t)$ , kdy platí  $\bar{t} = 1/\lambda$ ).

Zvolený příklad ukazuje na významnou skutečnost: Chceme-li, aby bojová technika pracovala bez poruchy po určitou dobu bojové činnosti, musíme ve vývoji, výrobě i v provozu dosáhnout střední doby mezi poruchami minimálně o řád vyšší než je tato doba!

Jestliže bychom použili techniku, u které střední doba mezi poruchami je rovna požadované době vedení bojové činnosti např. uvedených 40 hodin ( $\bar{t} = 40$  h), musíme počítat s tím, že jen z technických příčin (tj. v důsledku nespolehlivosti) bude za 2 dny minimálně 50 % (a u exponenciálního rozdělení doby mezi poruchami až 63 %) bojové techniky nebojeschopné!

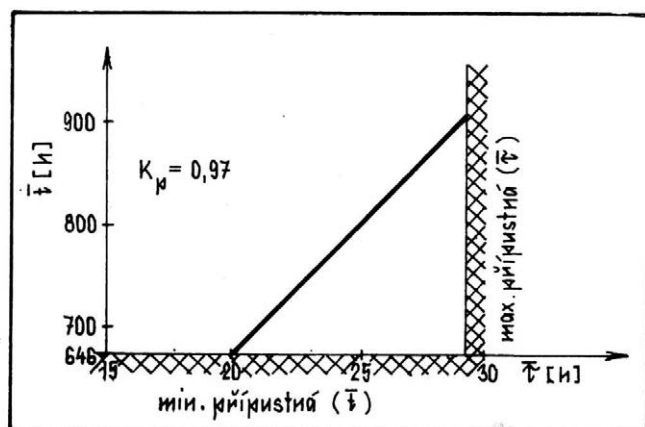
Pro zabezpečení soudobých operací je potřebné, aby u bojové techniky (u pozemního vojska) se hodnoty středních dob mezi poruchami ( $\tau$ ) pohybovaly v rozmezí:

— mechanické konstrukce:

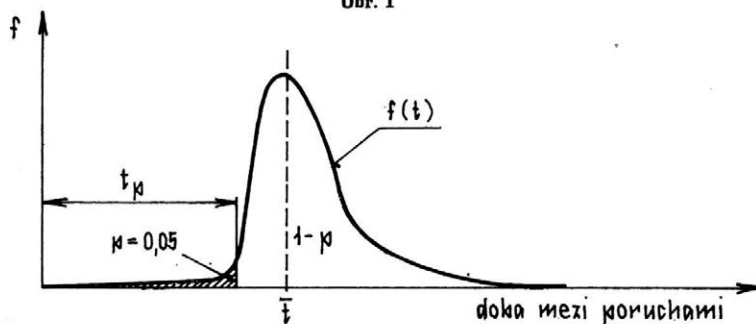
600–1200 výstřelů pro děla,

1000–2500 kilometrů pro podvozky,

1000–2000 hodin pro ostatní zařízení



Obr. 1



Obr. 2

- elektronická zařízení — 500÷1500 hodin,
- rakety (podle druhu) — 1÷200 hodin.

2. Druhým ukazatelem stupně spolehlivosti bojové techniky je procento poruch, které lze opravit ve stanovené (kritické) době. V praxi je důležité znát, po jak dlouho po vyskytnutí se poruchy zůstane bojová technika nebojeschopná. Tuto dobu nelze vyjádřit konkrétně pro každý jednotlivý případ, ale pouze ve formě statistické pravděpodobnosti. Doplníme ukazatel střední doby opravy ( $\bar{\tau}$ ) z předcházejícího bodu dalším ukazatelem, jenž zpřesní představu o skutečné době nebojeschopnosti bojové techniky po vyskytnutí se poruchy, kterým je gama procentní doba

opravy ( $\tau_8$ ). Tato udává např., že 90 % všech vzniklých poruch na technice bude odstraněno v době kratší než 15 hodin ( $\tau_{90\%} \leq 15$  h).

3. Třetím ukazatelem pro formulaci požadavku na spolehlivost bojové techniky jsou závazné termíny plánované údržby. Soubor ukazatelů závazných termínů plánované údržby je důležitý podklad, který umožňuje stanovit po jakou dobu bude bojová technika z technických důvodů nebojeschopná. Tento soubor ukazatelů musí pokrývat všechny činnosti v oblasti prohlídek, ošetřování a oprav bojové techniky, které je nutné pravidelně dělat. Ukazatele můžeme stanovit buď v závislosti na době provozu (vždy po určitém počtu hodin, ujetých kilometrech, výstřelů apod.), nebo v závislosti na bojovém úkolu (před za-

hájením úkolů, v průběhu plnění a po splnění. Do termínu a doby trvání údržby zahrnujeme nejen kontrolu správnosti funkce, ošetření nebo oprav jednotlivých konstrukčních celků a součástí, ale i všechny ostatní činnosti nutné pro zajištění pohotovosti k plnění úkolu (např. doplnění munice, pohonných hmot apod.).

Soubor ukazatelů může být např. pro hlavní zbraňový systém definován takto:

Technické ošetření musí být splněno za dobu provozu ne kratší než 1000 provozních hodin (TO-1) a 3000 provozních hodin (TO-2) s celkovou kapacitou 25 Nh pro TO-1 a 60 Nh pro TO-2. Kontrolní prohlídka před střelbou vykonávají 2 členové obsluhy do 15 minut; údržba po střelbě nepřesáhne 1 hodinu; životnost součástí do generální opravy dosáhne minimálně 4500 výstřelů a 50 000 km.

To, jak bojová technika splňuje vytyčené cíle a jaké nároky bude klást na systém údržby a oprav u vojsk, musí být prokázáno zkouškami spolehlivosti, a to nejen v průběhu vývoje, ale i v sériové výrobě. Dobře připravený a zdokumentovaný testovací program může již v počátku vyloučit mnohé nedostatky, které se velmi těžce řeší v provozu u vojsk, jako např. vysoká poruchovost, neočekávaná poškození, nedostatek údržbářských kapacit apod. Výstižně tuto skutečnost vyjádřil sovětský konstruktér A. N. Tupolev: „Čím dále od výkresové desky konstruktéra je zjištěna nespolehlivost, tím více nás to stojí.“

Zkoušky spolehlivosti definujeme jako podrobení se podmínkám, které ukáží na skutečný průběh ukazatelů a charakteristik spolehlivosti bojové techniky. Výskyt poruch během provozu u posuzovaného (testovaného) druhu bojové techniky je náhodný a tudíž náhodná je i testovaná doba trvání bezporuchového provozu (doba trvání opravy, údržby apod.). Požadovaná úroveň spolehlivosti bojové techniky vyjádřená např. střední dobou mezi poruchami se musí testovat jako náhodná veličina, tzn. statistickou přejímkou.

Při zkouškách spolehlivosti bojové techniky je důležité, aby přejímací (ověřovací) zkoušky probíhaly za stejných nebo simulovaných podmínek jako v reálném provozu. Jestliže tyto podmínky nejsou splněny, je nutné zkoumat vztahy mezi ukazateli spolehlivosti v laboratorních podmínkách a v provozu a podle těchto vztahů kritéria upravit.

Jedním ze základních ukazatelů spolehlivosti, se kterým se setkáváme při ověřování dosažené stupně spolehlivosti, je střední doba mezi poruchami ( $\bar{t}$ ). Je udá-

vána intervalem, ve kterém se může nacházet, tj. horní a dolní mez ( $\bar{t}_H, \bar{t}_D$ ). Horní mez střední doby mezi poruchami ( $\bar{t}_H$ ) nazýváme přípustnou a je vázána na riziko dodavatele (výrobce). Spodní mez ( $\bar{t}_D$ ) nazýváme nepřipustnou a je vázána na riziko odběratele (Správu vojenské přejímky). Znamená to, že dodavatel (výrobce) chce mít zaručeno, že bojová technika, která bude mít střední dobu do poruchy vyšší nebo rovnou přípustné hodnotě ( $\bar{t}_H$ ), bude při přejímce zamítna s nízkou pravděpodobností (obvykle  $\alpha = 0,05$ ).

Naopak vojenská správa požaduje, aby bojová technika, jejíž střední doba mezi poruchami je nižší než nepřipustná hodnota střední doby mezi poruchami ( $\bar{t}_D$ ), byla zamítna s vysokou pravděpodobností ( $1-\beta$ ), kde  $\beta$  volíme obvykle  $0,05+0,1$ . Např. má-li být prokázána úroveň spolehlivosti bojové techniky, stanovená nepřipustnou hodnotou střední doby mezi poruchami  $\bar{t}_D = 100$  hodin při zamítnutí těch kusů, které tuto hodnotu nedosáhly s pravděpodobností 95 % (tj.  $\beta = 0,05$ ), je potřebné provést při existenci exponenciálního rozdělení provozní zkoušky, např. 15 kusů bojové techniky daného typu po dobu 260 hodin.

Po zkouškách se vyhodnotí celkový dosažený počet poruch u všech 15 testovaných kusů. Jestliže počet poruch je menší než 30, zkoušky prokázaly, že bojová technika má požadovanou střední dobu mezi poruchami 100 h a vyšší a přejímá se.

Jestliže počet poruch u všech 15 kusů dosáhl počtu 30 a více, bojová technika se nepřejímá, protože nesplňuje požadovanou úroveň spolehlivosti.

### Rozbory dosažené úrovně spolehlivosti bojové techniky u vojsk

Systémový přístup k chápání pojmu spolehlivosti bojové techniky vyžaduje chápat jej jako systém, jehož základní a zároveň nezastupitelné články tvoří:

1. Organizovaný sběr a uchování informací o provozu, poruchách, údržbě a opravách bojové techniky u vojsk v návaznosti na sběr u výrobce.

2. Vyhodnocování těchto informací, tj. rozborů dosažené úrovně spolehlivosti bojové techniky jako celku, tak i jejich jednotlivých prvků.

3. Provedení následné technické analýzy a přijetí nápravných opatření ve výrobě, provozu a opravách bojové techniky.

Informační systémy pro sběr údajů o poruchách, údržbě a opravách bojové techniky jsou výchozími články celého systému zajišťování spolehlivosti techniky v ČSLA a začaly vznikat v druhé polovině šede-

sátých let, především pro leteckou a raketovou techniku, dělostřelecké zbraně, tankovou a automobilní techniku aj.

K významnému rozvoji v této oblasti dochází od počátku sedmdesátých let. Tento rozvoj probíhal více méně po linii jednotlivých druhů vojsk a služeb. Umožnil shromáždit velké informační soubory o provozu, údržbě a opravách vojenské techniky. Stanovil první objektivní kvantifikované charakteristiky spolehlivosti a vyvolal řadu zásahů do organizace a řízení provozu, technologie oprav i zásobování náhradními díly a materiálem.

I přes tyto pozitivní rysy existují doposud značné rozdíly ve výstavbě informačních systémů mezi jednotlivými druhy vojsk a služeb a pro mnohé druhy bojové techniky doposud neexistují.

Informační systém musí zabezpečit:

- určení příčin poruch a mezních stavů daného druhu bojové techniky a výzbroje,
- zjištění kritických míst (součástí) nebo skupin, které limitují spolehlivost,
- zjištění vlivu provozních podmínek na spolehlivost,
- optimalizaci norem spotřeby náhradních dílů a materiálu,
- optimalizaci periodicity a objemu údržby a oprav,
- zhodnocení efektivnosti opatření, týkajících se zvýšení úrovně spolehlivosti bojové techniky.

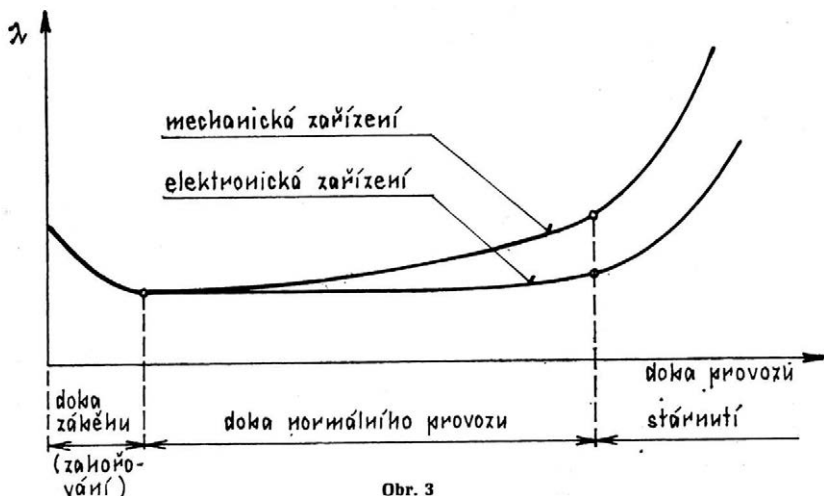
Využití výsledků z informačního systému přímo pro řízení provozu bojové tech-

niky objasním na následujících příkladech. Zaznamenáváme-li v průběhu výcvikového roku hodnoty doby provozu bojové techniky mezi poruchami, obdržíme rozdělení četností **obr. 2**.

Protože plocha pod křivkou hustoty pravděpodobnosti  $f(t)$  mezi poruchami  $f(t)$  na **obr. 2** je rovna jedné, platí, že s pravděpodobností  $(1-p)$  každá hodnota doby mezi poruchami leží napravo od meze  $t_p$  (gama procentní doby mezi poruchami). Jestliže použijeme  $t_p$  jako kritérium, potom lze pro každou jednotku (bojovou techniku), která hlásí hodnotu doby mezi poruchami  $[t_p]$  tak umožňuje jednoduchým způsobem zjistit vznik nenormálního stavu v provozu daného druhu techniky a u dané jednotky řešit nápravná opatření.

U této jednotky vznikl tedy nenormální stav, který je potřebné blíže analyzovat a opatřeními v řízení odstranit. Ukazatel spolehlivosti gama procentní doba mezi poruchami  $[t_p]$  tak umožňuje jednoduchým způsobem zjistit vznik nenormálního stavu v provozu daného druhu techniky a u dané jednotky řešit nápravná opatření.

Dalším důležitým ukazatelem spolehlivosti bojové techniky je intenzita poruch  $(\lambda)$ , která se v průběhu provozu mění. Její konkrétní znalost pro daný druh bojové techniky je v praxi nepostradatelnou informací. **Obr. 3** ukazuje, jak se mění intenzita poruch u mechanických prvků a zařízení bojové techniky a jak u elektronických prvků a zařízení.



Obr. 3

Tabulka 1

| Zařízení bojové techniky | Poměr poruch                 |                               |
|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|                          | předvídatelných (postupných) | nepředvídatelných (náhodných) |
| mechanické               | 60—80 %                      | 20—40 %                       |
| elektronické             | 10—15 %                      | 85—90 %                       |

Nejdříve se  $\lambda$  poněkud zmenšuje, což je způsobeno dvěma příčinami: záběhem součástí (u elektronických zařízení zahříváním) a vymizením počátečních poruch.

Potom se u mechanických a elektromechanických zařízení pomalu zvětšuje, což odpovídá počínajícímu opotřebení a období normálního provozu. Později  $\lambda$  vzrůstá stále rychleji a opravy technikou jsou stále častější.

U elektronických zařízení zůstává  $\lambda$  na konstantní hodnotě po poměrně dlouhou dobu provozu, protože naprostá většina poruch je náhodná, jak ukazuje **tabulka 1**.

Sledování vývoje intenzity poruch v závislosti na době provozu je možné pomocí jednoduchého vztahu.

$$\lambda(\Delta t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}$$

kde:

$n(\Delta t)$  — počet poruch za provozu  $\Delta t$ ,

$N_0$  — počet sledované techniky.

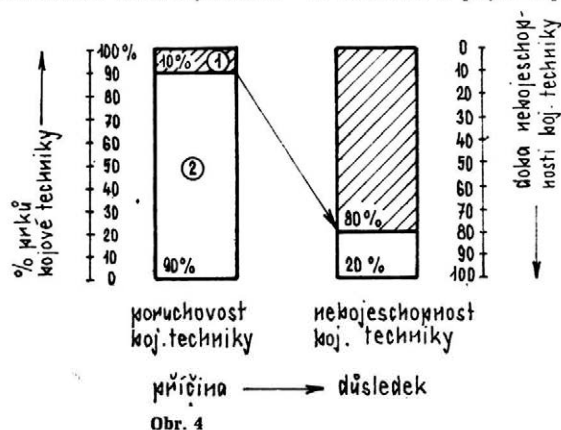
Umožňuje odhalit nedostatky v údržbě a starostlivosti obsluhy o techniku. Prudké zvýšení intenzity poruch v určitém období výcvikového roku musí řídicím funkciónům vždy signalizovat nenormální stav u provozu daného druhu bojové tech-

niky, který je potřebné co nejrychleji odstranit přijetím nápravných opatření. Konkrétní znalost intenzity poruch, např. u T-55 0,0028 km<sup>-1</sup>, BVP 0,0014 km<sup>-1</sup>, 152 SHKH 0,012 výstřelů<sup>-1</sup>, umožňuje stanovit např. průměrný počet poruch, se kterým musíme počítat při plnění daného bojového úkolu podle vztahu: intenzita poruch  $\times$  doba provozu a pro tuto hodnotu plánovat kapacitu a objem technického zabezpečení (ND).

### Nápravná opatření

Rozhodující a závěrečnou etapou systémového přístupu k zajišťování spolehlivosti bojové techniky a důležitou částí programu spolehlivosti je etapa správného stanovení pořadí a formulace nápravných opatření na jednotlivých stupních velení a řízení s cílem zabezpečit takovou úroveň provozní spolehlivosti, aby byly splněny požadavky kladené na bojovou pohotovost vojsk.

Impulsem k přijetí nápravných opatření musí být vždy nízká hodnota charakteristik spolehlivosti za sledované období u daného druhu bojové techniky. K zvláštní formulaci a přijetí odpovídajících ná-



Obr. 4

pravných opatření vycházíme z praktické zkušenosti, že většina doby nebojeschopnosti u všech druhů bojové techniky je způsobována poruchami převážně několika skupin nebo prvků.

Tyto prvky jsou nejporuchovější (kritické) zatím co ostatní, které tvoří většinu v konstrukci bojové techniky, jsou méně poruchové.

Uvedená závislost (princip) se dá schématicky znázornit jednoduchým grafem, kde:

— 10 % nejporuchovějších „kritických“ prvků bojové techniky se podílí z 80 % na její nebojeschopnosti,

— 90 % prvků bojové techniky se podílí pouze z 20 % na její nebojeschopnosti — viz **obr. 4**.

K prvkům zahrnutým do dvou základních skupin bojové techniky 1 a 2 znázorněných schématicky na **obr. 4** je potřebné z hlediska řízení spolehlivosti přistupovat rozdílným způsobem. Zatím co kritické prvky skupiny 1 vyžadují analýzu spolehlivosti každého prvku jednotlivě, druhá skupina prvků 2, způsobující „nevýznamné“ procento poruchovosti výzbroje, může být zkoumána z hlediska řízení spolehlivosti jako celek.

Dosavadní zkušenosti potvrzují, že k udržení optimální úrovně spolehlivosti bojové techniky, tj. dosažení maximálních hodnot charakteristik spolehlivosti při vynakládání co nejnižších společenských zdrojů, nestačí řešit nekoordinované dílčí problémy, ale je nutné postupovat systematicky podle komplexního programu zajišťování spolehlivosti.

Rozpracování programu spolehlivosti představuje strategii účinného dosahování požadované úrovně spolehlivosti bojové techniky.

Doposud bylo příliš mnoho pozornosti věnováno matematickým aspektům (teoretickým modelům) spolehlivosti a příliš málo aspektům inženýrským a otázkám řízení spolehlivosti bojové techniky.

Základní struktura otázek řízení spolehlivosti je představována uzavřeným cyklem, sestaveným ze sběru informací z výroby a provozu bojové techniky, ze zpracování a vyhodnocování získaných informací a z formulace a realizace nápravných opatření.

Komplexní přístup a vnitřní propojenost programu spolehlivosti umožňuje přetranzformovat tento uzavřený cyklus na spirálu dynamického zajišťování optimální úrovně spolehlivosti bojové techniky a tím i bojeschopnosti ČSLA.