

Ludvík Č e r n í č e k, VÚHU

Zjišťování a předpovědi spolehlivosti a pohotovosti technologických celků

1.0 Vyšší parametry a rostoucí složitost strojních zařízení, spolu s vyššími náklady spojenými s jejich výrobou, provozem a poruchovostí, vedly v posledních letech k nutnosti rozvíjet teorii provozní spolehlivosti a systematicky jí aplikovat při projektování, výrobě a využívání příslušných strojních zařízení.

V širším slova smyslu je někdy chápána spolehlivost i jako ukazatel jakosti. Jakost, i když je dobrým předpokladem pro spolehlivost, však sama o sobě nestačí. Pod pojmem jakosti chápeme souhrn vlastností zařízení, které lze objektivně hodnotit případ od případu, jako např. rozměry, zesílení, tolerance, výkon, přípustné zatížení apod. V řízení jakosti a spolehlivosti jsou však tak podstatné rozdíly, že není možné ani účelné obě činnosti slučovat nebo podřizovat jednu druhé. To však neznamená, že mají být od sebe izolovány.

Rozdílnost obou činností vyplývá z jejich porovnání. Spolehlivostí rozumíme souhrn vlastností zařízení, které zaručují splnění požadavků kladených na jeho řádnou činnost za daných provozních podmínek. Jde tu zejména o provoz bez poruch, opravitelnost, udržitelnost apod. Kvantitativně se spolehlivost určuje číselnými charakteristikami. Jakost výrobku se zjišťuje podle informací prakticky "ihned" obvyklými měřicími a kontrolními metodami a lze ji určit na jediném výrobku. Řízení jakosti se uplatňuje především v procesu výroby (kontrola výrobních postupů, hotového výrobku apod.). Ve specifikaci jakosti se zpravidla neuvažují časové závislosti.

Naproti tomu informace o spolehlivosti je možno kvalitně získat pouze dlouhodobým sledováním většího počtu stejných nebo ob-

dobných zařízení. Sledování těžby, prestojů, poruch (jejich příčin) a využití technologických celků s pásovou dopravou samočinným počítačem, prováděné dle návrhu ekonomického oddělení VÚHU je v té formě, v jaké je prováděno, prakticky okamžitě použitelné v programu zjišťování a předpovědi spolehlivosti, neboť zaznamenává poruchy a údržbovou činnost v časové závislosti a jsou v tomto sledování zaznamenány i hlavní příčiny vzniku poruch.

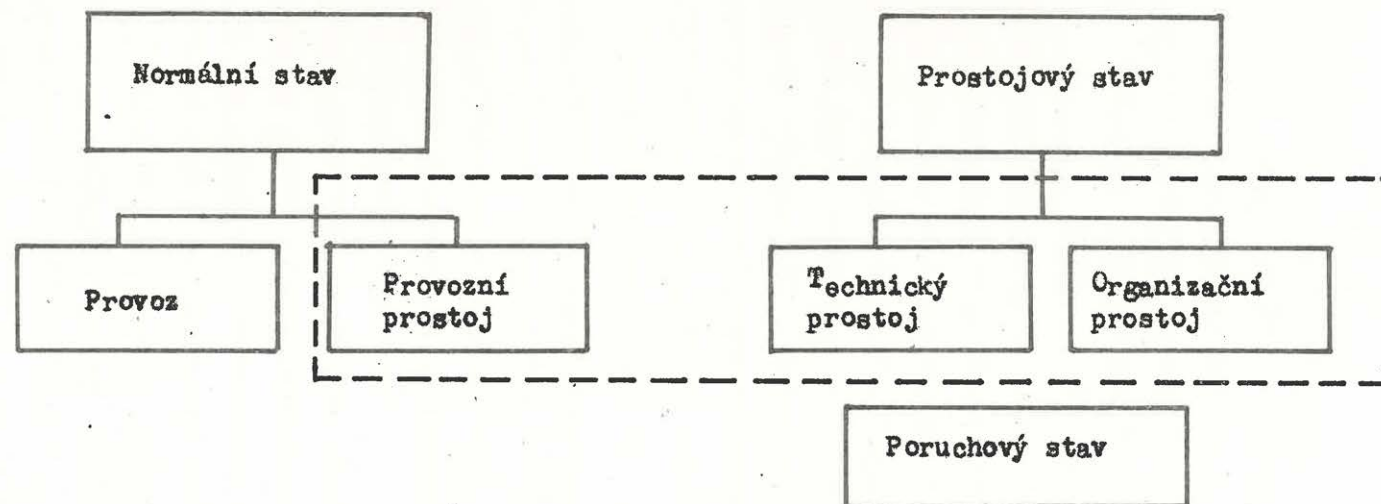
Statistický charakter spolehlivostních údajů a způsob jejich zjišťování způsobuje, že se spolehlivost stává samostatným vědním i technickým oborem se svojí specifickou technikou, která se snaží o to, aby strojní zařízení splňovalo požadované funkce v určitém časovém období.

- 1.1 Činitele, mající vliv na spolehlivost technologických zařízení, můžeme rozdělit do dvou skupin: na činitele vlastní spolehlivosti strojního zařízení a na činitele používání. Výslednicí obou složek je potom provozní spolehlivost.

Vlastní spolehlivost součástí je dána jejich volbou, provozními parametry, mechanickým uspořádáním, technologickými postupy atd. Na spolehlivost používání strojního zařízení má vliv: úroveň řízení, obsluha údržby, technologické postupy provozu a údržby, pomocná zařízení, provozní podmínky apod.

Hlavním důvodem pro získávání údajů o spolehlivosti je jejich využití pro zjištění různých charakteristik spolehlivosti, jako je např. intenzita poruch, provozní pohotovost, relativní četnost poruch, pravděpodobnost bezporuchového provozu, činitel údržby, udržovatelnost a střední doba života. Podle těchto činitelů můžeme zhodnotit konstrukční úroveň strojního zařízení, a je-li zapotřebí, doporučit opatření k zdokonalení.

- 2.0 Jednou z hlavních charakteristik spolehlivosti je intenzita poruch λ . Intenzita poruch λ je vyjádřena počtem poruch na jednotku času. Určí se jako poměr počtu poruchových stavů f během daného sledovaného intervalu k celkové době zkoušky T , která je vlastně skutečnou dobou provozu během sledovaného intervalu. Z obr. č. 1 je zřejmé vzájemná vazba stavů strojního zařízení.



Obr. č. 1

Intenzita poruch je potom vyjádřena vztahem

$$\lambda = \frac{f}{T}$$

Při dobré a propracované konstrukci strojního zařízení je intenzita poruch téměř konstantní během období normálního provozního využití. Je však nutno předpokládat, že se v běžné praxi nevyhneme při výpočtu intenzity poruch kolísání ve výběru, a tak je třeba vypočítat ke každé intenzitě poruch příslušný konfidenční interval s konfidenční úrovní 95 % - 99 %.

Konfidenční interval souvisí s odhadováním výsledků náhodných pokusů, tj. s odhadem, kolikrát se vyskytne očekávaný výsledek ve stanoveném počtu sledovaných intervalů (sledujeme vždy časový interval mezi PO na sledované součásti), jinými slovy, 95 % konfidenční úroveň znamená, že očekáváme 95krát výskyt určitého jevu ze 100 sledovaných intervalů. Při výpočtu intenzity poruch si rovněž všímáme konfidenčních mezí. Konfidenční úroveň je potom pravděpodobnost, že hodnota intenzity poruch bude uvnitř těchto mezí.

- 2.1 Další důležitou charakteristikou spolehlivosti je relativní četnost poruch r . Relativní četnost poruch vypočteme jako poměr poruch, které nastanou během jednotkového časového intervalu, k celkovému počtu poruch vzniklých na součásti během sledovaného časového intervalu. Jednou z výhod této charakteristiky je, že určuje pravděpodobnost vzniku poruchy v jednotkovém časovém intervalu. Odečteme-li pravděpodobnost vzniku poruch od jedničky, dostaneme pravděpodobnost bezporuchového provozu ve zvoleném jednotkovém časovém intervalu. Budeme-li vynášet v kartézské soustavě na osu Y relativní četnost poruch a na osu X čas T v hodinách, vznikne nám zpravidla křivka zobrazená na grafu č. 1. Integrujeme-li pod křivkou relativní četnosti poruch od dolní meze do horní meze libovolného časového intervalu, vypočteme pravděpodobnost vzniku poruchy.

Z grafu č. 1 je patrné, že relativní četnost poruch je funkcí času odpovídající exponenciálnímu zákonu, ale náhle se od tohoto průměru odchyluje na tvar křivky normálního rozdělení. Je to opravdu významné, když si připomeneme, že křivka relativní četnosti poruch představuje pravděpodobnost vzniku poruchy vzhledem k času. Chování křivky relativní četnosti zde naznačuje, že poruchy jsou způsobeny měnícími se příčinami. V okamžiku t' začíná relativní četnost poruch prudce vzrůstat. Tento růst je náhlý a téměř lineární. Relativní četnost poruch roste tak rychle, že se můžeme oprávněně domnívat, že se dostáváme do období opotřebení součástí, které se projevuje hojným výskytem poruch. Relativní četnost poruch roste tak rychle, že nelze zajistit vysoký stupeň spolehlivosti bez nadměrné údržby. Přejde-li tedy křivka relativní četnosti poruch z exponenciálního na normální rozdělení, můžeme předpokládat, že se začíná projevovat opotřebení součástí.

Znalost pravděpodobností výskytu poruch je důležitá pro zajištění provozu TC. Známe-li, kdy dochází u určitých součástí k opotřebení, můžeme navrhnout PO součástí zařízení TC, a tak prakticky dlouhodobě zajišťovat spolehlivost zařízení TC.

2.2 Bezporuchovost nejlépe charakterizuje pravděpodobnost bezporuchového provozu. Na grafu č.2 je nakreslena křivka pravděpodobnosti bezporuchového provozu dle údajů z tabulky č. 1. Z grafu je možno usoudit na exponenciální rozdělení pravděpodobnosti bezporuchového provozu.

Exponenciální zákon poruch lze odvodit z Poissonova rozdělení. Jak bylo předem uvedeno, určuje intenzita poruch počet poruch na časovou jednotku. Tedy λ . T musí být počet poruch, které se v průměru vyskytnou v časovém intervalu délky T. Dosadíme-li střední počet poruch $\lambda \cdot T$ do vzorce pro Poissonovo rozdělení, můžeme vypočítat pravděpodobnost vzniku žádné, jedné, dvou atd. poruch v intervalu T.

$$1 = e^{-\lambda T} + \lambda T \cdot e^{-\lambda T} + \frac{(\lambda T)^2}{2!} \cdot e^{-\lambda T} + \dots + \frac{(\lambda T)^f}{f!} \cdot e^{-\lambda T}$$

kde f - je počet poruch.

První výraz na pravé straně rovnice udává pravděpodobnost, že ne-nastane za dobu T žádná porucha ($f = 0$), což je podmínka bezporuchového provozu.

$$P_T = e^{-\lambda T} \quad (1)$$

Podle této rovnice můžeme vypočítat pravděpodobnost bezporuchového provozu pro libovolnou dobu T , za předpokladu, že známe intenzitu poruch λ , a že se intenzita poruch pohybuje v mezích daného konfidenčního intervalu.

Z grafu č.2 i ze samotného vzorce je zřejmé, že pravděpodobnost bezporuchového provozu se pro rostoucí T blíží vcelku rychle k nule. Je to dáno tím, že u pravděpodobnosti bezporuchového provozu nás zajímá pravděpodobnost, jak dlouho bude zařízení TC pracovat bez poruch. Nebereme zde ale v úvahu skutečnost, že po opravě či včasné provedené preventivní údržbě je zařízení schopno dále pracovat. Pravděpodobnost, že uvedeme porouchané nebo abnormálně pracující zařízení do úplného provozuschopného stavu během určité doby, je v literatuře označovaná jako udržitelnost.

3.0 Ačkoliv existuje dostatečně zpracovaná teorie spolehlivosti, udržitelnost je stále ještě popelkou.

Při sledování provozu technologických celků samočinným počítačem sledujeme údržbu ve dvou směrech

- 1/ preventivní
- 2/ opravnou

Účelem preventivní údržby je vyloučit poruchy zaviněné opotřebením součástí. Nemá vliv na výskyt náhlých poruch, které jsou způsobeny pouze náhodnými vlivy. Při zavedení účinného plánu preventivní údržby můžeme tedy považovat provozní období mezi jednotlivými preventivními opravami za samostatné a oddělené úkoly, neboť u zařízení je vždy během plánované údržby obnoven původní stav vzhledem k poruchám zaviněným opotřebením součástí.

Naproti tomu opravná údržba se provádí jen tehdy, je-li vy-

nucena selháním nebo poruchou. Do doby opravné údržby rovněž zahrnujeme i prostoje způsobené lepivostí a kusovitostí materiálu, ačkoliv čas potřebný na čištění stroje zahrnujeme naopak do doby preventivní údržby.

- 3.1 Ve všech případech, bez ohledu na příčinu můžeme podle seznamu prostojů určit střední dobu údržby ϕ a intenzitu údržby μ

$$\text{kde } \phi = \frac{\text{celková doba údržby v hodinách}}{\text{počet údržbářských činností}}$$

a intenzita údržby μ je převrácenou hodnotou střední doby údržby ϕ a je vyjádřena v údržbových činnostech za hodinu

$$\mu = \frac{1}{\phi}$$

- 3.2 Činitele, působící na udržitelnost můžeme rozdělit na činitele konstrukční a činitele provozní. Typickými konstrukčními činiteli jsou složitost, přístupnost dílů a součástí, prostorové řešení apod. Každý z těchto činitelů je komplexní a vyžadoval by zvláštní pojednání.

Provozní činitelé se vztahují jak na obsluhu, tak i na prostředí. Budeme sem zahrnovat zkušenost, výcvik a zručnost osádky a zaměstnanců dílenských provozů, kteří se údržby a oprav stroje zúčastňují, postupy údržby a vybavení pro provádění oprav. Patří sem rovněž provozní prostředí, příručky a pokyny, jako např. směrnice pro PPO a generální opravy atd.

Jak jsme si již řekli, udržitelnost je pravděpodobnost, že součást bude v daném čase opravena, má-li údržba předepsaný postup. Průměrný počet údržbových činností b , které se mohou provést za dobu t je:

$$b = \mu \cdot t$$

aneb

$$b = \frac{t}{\phi}$$

Pravděpodobnost, že bude provedena žádná, jedna, dvě, atd. údržbových činností za dobu t , je dána Poissonovým rozdělením. Pravděpodobnost, že žádná údržbová činnost nebude provedena za dobu t , je tedy $e^{-\mu \cdot t}$ a pravděpodobnost, že bude provedena jedna nebo více údržbových činností, je tudíž $1 - e^{-\mu \cdot t}$. A to je právě výraz pro udržovatelnost M .

$$M = 1 - e^{-b} \quad (2)$$

Největší přístupná doba údržby t je zpravidla označována jako mezní přístupná doba údržby. Hodnota t je zpravidla předepsána jako požadavek vyplývající z daného úkolu. Je to v podstatě největší přístupná doba, která může uplynout od výskytu poruchy do skončení údržby. Jinými slovy, je to dovolený časový interval pro údržbu. Počet těchto časových intervalů během provozu s trváním T hodin se tedy bude rovnat počtu poruch nebo počtu případů vyžadující údržbu. Rovnice udržovatelnosti odpovídá plně našim intuitivním představám, neboť čím více údržbových činností může být provedeno v časovém intervalu t , tím bude větší udržovatelnost.

Jakákoliv součást zařízení může tedy být navracena do provozuschopného stavu, bude-li dostatek času na údržbu. V praxi nemůžeme však věnovat údržbě libovolně dlouhou dobu, neboť by se tak narušovaly požadavky na splnění úkolu. Určení mezní přípustné doby na údržbu není zatím možné, neboť neexistuje vhodný způsob výpočtu ceny hodiny prostoje TC. Chceme-li však zachovat konstantní hodnotu M , musí být součin $\mu \cdot t$ konstantní. To znamená, že při snižování t , což může být nutné pro požadavky těžby, se μ patřičně zvětšuje, aby součin $\mu \cdot t$ zůstal konstantní.

- 3.3 Je třeba zdůraznit, že časový interval t měříme od okamžiku, kdy začíná údržba do jejího ukončení. Výnos udržovatelnosti M udává poměr poruch za dobu T , po kterých bude údržbou obnovena provozuschopnost v časovém intervalu t . $M\Delta$ je tedy součinem pravděpodobnosti P_p , že nastane jedna nebo více poruch za dobu T a udržovatelnosti M pro danou povolenou dobu údržby t .

$$\begin{aligned}
 M\Delta &= -P_p \cdot M \\
 &= (1 - e^{-\lambda T}) (1 - e^{-\mu t}) = \\
 &= 1 - e^{-\lambda T} - e^{-\mu t} + e^{-\lambda T} \cdot e^{-\mu t} = \\
 &= 1 - e^{-\lambda T} - e^{-\mu t} (1 - e^{-\lambda T})
 \end{aligned} \tag{3}$$

Na rozdíl od udržovatelnosti, která je funkcí pouze μ a t , výnos udržovatelnosti je funkcí λ ; T ; μ ; t . Výnos udržovatelnosti skutečně vyjadřuje podíl nefungujících součástí, o kterých předpokládáme, že budou vráceny do provozuschopného stavu v časovém intervalu vymezeném přípustným trváním údržby t .

V další kapitole, která je věnována pohotovosti, uvidíme jak jsou tyto výpočty důležité.

- 3.4 Pohotovost zařízení je dána pravděpodobností, že předem stanovené procento součástí je schopno uspokojivě pracovat po dobu T a že přitom prostoje nepřekročí přípustné trvání údržby. Podobně pohotovost k plnění úkolu je pravděpodobnost, že předem smluvené procento z celého úkolu bude uspokojivě plněno po dobu T a prostoje nepřekročí přípustné trvání údržby t . Z těchto definic je zřejmé, že pohotovost má dvě složky, spolehlivost a udržovatelnost. To znamená, že malá spolehlivost zařízení může být vyrovnána odpovídajícím zvýšením udržovatelnosti. Čím rychlejší je údržba, tím lepší je výsledná pohotovost. Jsou ovšem případy, kdy se údržba nedá rychle provést a kdy také vznikají prostoje. Je-li doba prostoje dlouhá je pohotovost špatná a naopak, je-li doba prostoje krátká, je pohotovost dobrá. Odvození přibližné rovnice pro pohotovost zařízení je založeno na následujících předpokladech:
- 1) Máme zaměstnance schopné opravit každou poruchu nebo provést údržbovou činnost v případě potřeby
 - 2) Okamžik údržby a poruchy se navzájem vylučuje
 - 3) Stav zařízení se po opravě nezmění
 - 4) Rozdělení poruch i oprav je exponenciální
 - 5) Doba údržby vzhledem k T je malá.

Pravděpodobnost, že nebude provedena žádná oprava za dobu t , je tedy dána prvním členem Poissonova rozdělení a rovná se $G = e^{-\mu t}$. Podobně pravděpodobnost, že nenastane žádná porucha, je rovněž prvním členem Poissonova rozdělení a rovná se $P_0 = e^{-\lambda T}$. Je to pravděpodobnost bezporuchového provozu P_T .

Nechť $P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_f$ je součet pravděpodobností, že nastane 1, 2, 3 ... f poruch za dobu T . Poruchy se hned po výskytu opravují.

Pravděpodobnost, že údržbová činnost nebude provedena za dobu t potom je

$$G P_1 + G P_2 + G P_3 + \dots + G P_f = G(P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_f)$$

Avšak $P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_f$ je celková pravděpodobnost, že nastane jedna nebo více poruch za dobu T , která může být vyjádřena součtem členů Poissonova rozdělení.

$$\sum_{i=1}^f \frac{(\lambda T)^i}{i!} \cdot e^{-\lambda T} = \sum_{i=1}^f (P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_f)$$

kde T je střední hodnota poruch

i = počet poruch

Pravděpodobnost, že nebude možno provést údržbu za dobu t , nazveme nepohotovost a označíme symbolem U :

$$U = G \sum_{i=1}^f \frac{(\lambda T)^i}{i!} \cdot e^{-\lambda T}$$

Vzhledem k tomu, že pravděpodobnost jedné nebo několika poruch za dobu T dostaneme odečtením pravděpodobnosti rovné $e^{-\lambda T}$, že nenastane žádná porucha, od jedničky, dostáváme

$$U = G \sum_{i=1}^f \frac{(\lambda T)^i}{i!} \cdot e^{-\lambda T} = G \left[\sum_{i=0}^f \frac{(\lambda T)^i}{i!} \cdot e^{-\lambda T} - e^{-\lambda T} \right]$$

a odtud

$$U = G e^{-\lambda T} \left[\sum_{i=0}^f \frac{(\lambda T)^i}{i!} - 1 \right] = G e^{-\lambda T} (e^{\lambda T} - 1)$$

Jelikož platí $G = e^{-\mu t}$, dostaneme

$$U = e^{-\mu t} (1 - e^{-\lambda T})$$

Dále platí, že pohotovost zařízení $A_Z = 1 - U$, takže dostáváme rovnici pro pohotovost zařízení v konečném tvaru

$$A_Z = 1 - e^{-\mu t} (1 - e^{-\lambda T}) \quad (4)$$

Rovnici (4) bychom mohli psát přímo, neboť součet pravděpodobností f po sobě jdoucích poruch od nuly do nekonečna se musí rovnat jedné. Odečteme-li tedy pravděpodobnost žádné poruchy $e^{-\lambda T}$ od jedničky, zbytek musí být pravděpodobností, že nastane 1 nebo více poruch, roven $1 - e^{-\lambda T}$. Vynásobením výrazu $1 - e^{-\lambda T}$ pravděpodobností provedení žádné opravy $e^{-\mu t}$ dostaneme nepohotovost $U = e^{-\mu t} (1 - e^{-\lambda T})$. Jelikož $1 - U = A_Z$, dostaneme stejný výsledek jako rovnice (4). Rovnice (4) jasně ukazuje, že pohotovost zařízení pro danou dobu T je funkcí λ , μ a přípustné doby údržby t .

Znalost hodnoty pohotovosti zařízení je velmi užitečná, neboť je mírou podílu zařízení, u nichž očekáváme, že budou v provozu po dobu T bez přerušení provozu delšího než je časový interval t . Nyní si všimneme pohotovosti k plnění úkolu a její odlišnosti od pohotovosti zařízení.

3.5 Pohotovost k plnění úkolu je pravděpodobnost, že se v předem stanoveném počtu úkolů trvajících dobu T nevyskytne u žádného úkolu žádná porucha, která by se nedala odstranit za dobu menší než je přípustná doba trvání údržby t .

To znamená, že bez zřetele na počet poruch, které se vyskytnou za dobu trvání úkolu T , nemůžeme považovat úkol za úspěšně

splněný, vyžaduje-li nějaká z těchto poruch na opravu delší dobu než t . Uvažme stejné předpoklady jako v odstavci 3.4. Je třeba zdůraznit, že nyní na rozdíl od pohotovosti zařízení hledáme pravděpodobnost, že bude opraven počet všech i po sobě jdoucích poruch za dobu rovnou nebo menší t .

Pravděpodobnost, že za dobu T nastane i po sobě jdoucích poruch dostaneme z Poissonova rozdělení:

$$\frac{(\lambda T)^i \cdot e^{-\lambda T}}{i!}$$

Pravděpodobnost, že všechny po sobě jdoucí poruchy budou opraveny je tedy

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(\lambda T)^i \cdot e^{-\lambda T} \cdot (1-G)^i}{i!} &= e^{-\lambda T} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{[\lambda T (1-G)]^i}{i!} = \\ &= e^{-\lambda T} \cdot e^{-\lambda T (1-G)} = e^{-\lambda T G} \end{aligned}$$

avšak $G = e^{-\mu \cdot t}$

a tedy

$$A_U = e^{(-\lambda T \cdot e^{-\mu t})}$$

Z grafu č. 3 je patrné, že na rozdíl od pohotovosti zařízení, se pohotovost k plnění úkolu blíží k nule pro $T \rightarrow \infty$. Je to pochopitelné, neboť se vzrůstajícím T můžeme očekávat více poruch. Potom pravděpodobnost, že všechny budou opraveny za dobu menší nebo rovnou t , se blíží k nule. Studium křivek na grafu č. 3 můžeme dospět asi k těmto závěrům. Křivka A_Z představuje procento součástí, které jsou pohotové pro T hodinách provozu. Blíží-li se $T \rightarrow \infty$, blíží se pravděpodobnost bezporuchového provozu k nule, jak je patrné z křivky P_T . Je-li tedy součást schopná provozu i po dlouhé době činnosti, je to přímým důsledkem udržitelnosti, neboli schopnosti opravovat a udržovat. Je zřejmé, že podíl zaří-

zení, která se mohou opravit je $1 - e^{-\mu t}$. M je pohotovost součásti pro dlouhé doby úkolu v případě, že se neprovádí preventivní údržba a že všechny poruchy jsou náhlé. V našem případě uvažujeme období mezi dvěma PPO za dobu plnění úkolu.

Křivka pohotovosti k plnění úkolu Λ_U udává podíl úkolů, o nichž předpokládáme, že budou úspěšně plněny po T hodin bez poruch, které vyžadují údržbu větší než t . Je zřejmé, že při $T \rightarrow \infty$ se hodnota Λ_U blíží k nule, neboť s časem narůstá pravděpodobnost výskytu poruch a klesá pravděpodobnost, že všechny budou opraveny v čase t . Graf č. 3 ukazuje zřetelný vliv údržby, neboť výsledné pohotovosti jsou podstatně lepší než to, co může dát sama spolehlivost součástí. Je to patrné z poměrně rychlého poklesu P_T k nule. Výpočet křivek na grafu č. 3 je uveden v tab. č. 2.

Z předchozího vyplývá, že pohotovost zařízení a pohotovost k plnění úkolu jsou skutečně měřítka spolehlivosti, neboť vyjadřují pravděpodobnost, že poruchy opravené za dobu rovnou nebo menší t , nejsou konečné poruchy. Krom toho pohotovost zařízení a pohotovost k plnění úkolu má u nepřetržitě pracujícího a složitého zařízení větší význam, než pravděpodobnost bezporuchového provozu. Existují metody, jimiž lze dosáhnout určené pohotovosti při nejmenších nákladech spojením pravděpodobnosti bezporuchového provozu a údržby.

4.0 Tento článek navazuje na stat uveřejněnou v letošním Zpravodaji VÚHU č. 3 - 4 pod názvem: Budování soustavy informačních systémů jako nutného předpokladu k racionalizaci řízení výroby na povrchových dolech. Informační soustava v něm popisovaná umožňuje získání všech údajů potřebných pro výpočty charakteristik provozní spolehlivosti strojních zařízení a jejich pohotovostí.

K doplnění slova spolehlivost jsme zavedli ještě pojem pohotovost, které je v tomto článku věnována podstatná část. Ve skutečnosti jsou oba tyto pojmy souzvučné. Zdá se proto, že z praktického hlediska by měl být nějaký kompromis mezi pohotovostí a spolehlivostí. Budeme-li totiž klást stále vyšší požadavky na spolehlivost relativně složitých zařízení pro dobývání, dopravu a

zakládání, nutně dojdeme k tomu, že bude nemožné sestrojít strojní zařízení s tak vysokou spolehlivostí. Proto musíme spojit spolehlivost a údržbu, jejichž výsledkem je dosažení určité specifické pohotovosti.

V tabulce č. 1 a č. 2 jsou vypočteny některé základní charakteristiky spolehlivosti a pohotovosti. Využití těchto a jiných charakteristik spolehlivosti a pohotovosti pro řízení provozu, plánování PO a revizí, stanovení požadavků na množství náhradních dílů, zjištění uzlů nespolehlivosti technologického celku apod. je v současné době náplní prací, kterými se oddělení ekonomiky povrchového dobývání Výzkumného ústavu pro hnědé uhlí v Mostě zabývá v rámci různých výzkumných a vývojových úkolů. Veškeré zpracování vstupních dat z ročních magnetických pásek sledování provozu technologických celků bude prováděno, vzhledem k nutnému množství vstupních údajů na samočinném počítači.

Způsob výpočtu relativní četnosti poruch střední doby mezi poruchami T_{str} pravděpodobnosti bezporuchového provozu P_T a intenzity poruch λ v tabulce č. 1:

- 1) Při sledování rýpacího zařízení SRs 1500/55 na druhém řezu skrývky dolu Merkur byly zjištěny za 2. čtvrtletí údaje uvedené ve sloupcích 1, 2, 3 tabulky č. 1
- 2) Sloupec 4 dostaneme odečtením kumulativní četnosti poruch od 72
- 3) Sloupec 5 (relativní četnost poruch) je poměr počtu poruch za pěti-hodinový interval (sloupec 2) k 72, tedy počátečnímu počtu zařízení (v přeneseném slova smyslu)
- 4) Sloupec 6 (pravděpodobnost bezporuchového provozu P_T) vypočteme z předchozích údajů jako poměr počtu neporouchaných zařízení v daném časovém intervalu (sloupec 4) k 72 a tento poměr vyjádříme v procentech
- 5) Sloupec 7 (intenzita poruch λ) je poměrem počtu poruch za časový interval k průměrnému počtu neporouchaných zařízení v tomto časovém intervalu. Jako ukázkou si vypočteme intenzitu poruch od 0 do 5 ho-

din. Průměrný počet neporouchaných zařízení je

$$\bar{S} = \frac{72 + 42}{2} = 57 \quad \text{potom}$$

$$\lambda = \frac{30}{57 \cdot 5} = 0,105 \text{ poruch za hodinu}$$

6) Střední doba mezi poruchami $T_{\text{stř}}$ je převrácená hodnota intenzity poruch i v období normálního provozního využití.

Tedy

$$\bar{T}_{\text{stř}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,06121} = 16,34$$

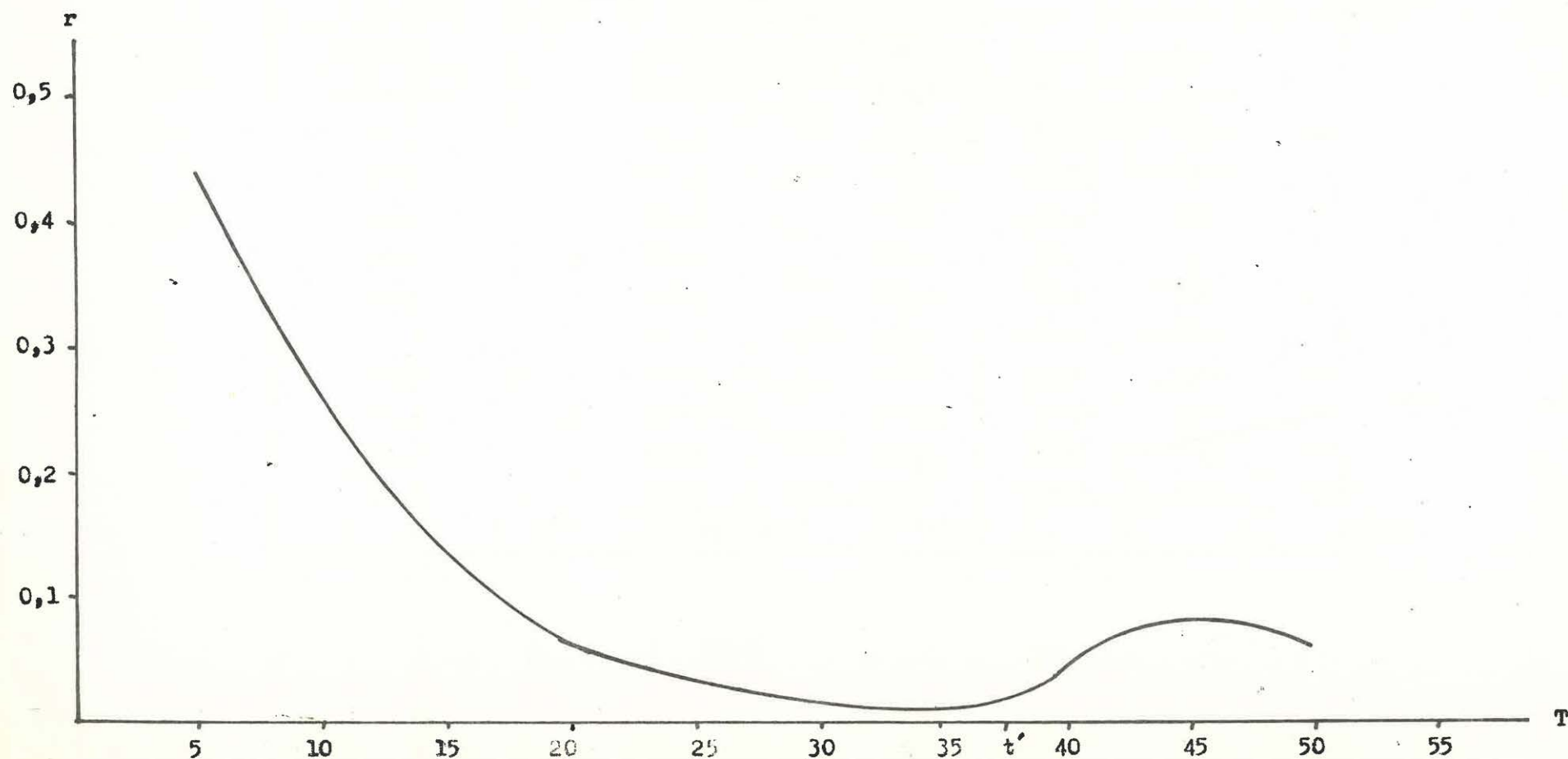
1	2	3	4	5	6	7	8
Čas. interval	Četnost	Kumul. četnost	Četnost nepor.	Relat. četnost por.	PT %	Intenzita λ por/l hod	Ø na 5 hod
0	30	0	72	0,417	100,0	0,105	0,325
5	9	30	42	0,125	58,3	0,048	0,650
10	9	39	33	0,125	45,8	0,063	0,975
15	4	48	24	0,056	33,3	0,036	1,300
20	5	52	20	0,069	27,8	0,057	1,625
25	4	57	15	0,056	20,8	0,062	1,950
30	1	61	11	0,014	15,3	0,019	2,275
35	2	62	10	0,028	13,9	0,044	2,600
40	3	64	8	0,042	11,1	0,092	2,925
45	2	67	5	0,028	6,9	0,100	3,250
50	2	69	3	0,028	4,2	0,200	3,575
55		71	1		1,4		

Tabulka č. 1

Údaje pro křivky Λ_U ; Λ_Z a P_T na grafu č. 2 pro $t = 10$ hod

Tabulka č. 2

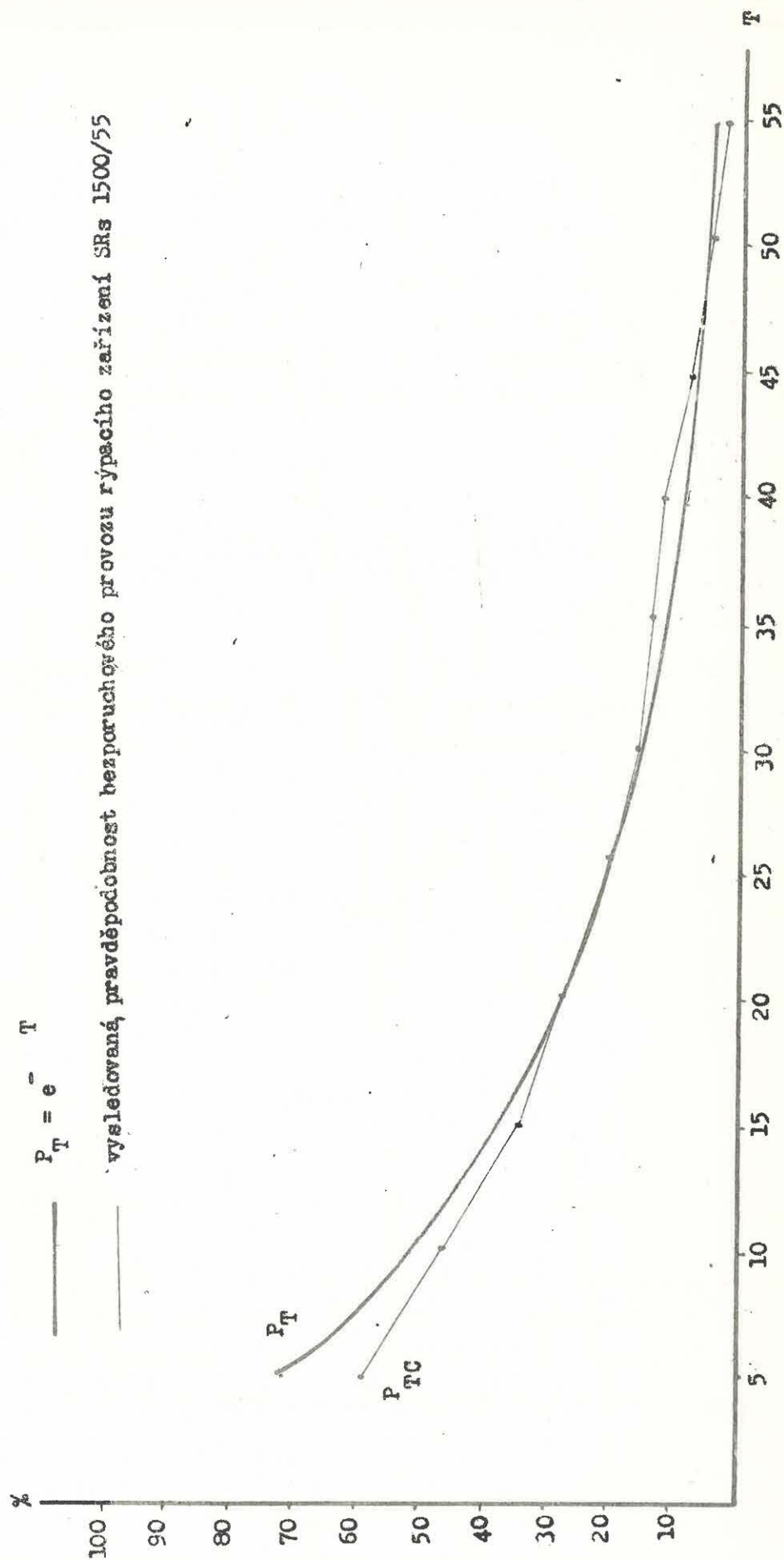
T	$b = \mu \cdot t$	$d = \lambda T$	$P_T = e^{-\lambda T}$	$\Lambda_Z = 1 - e^{-\mu \cdot t (1 - e^{-\lambda T})}$	$\Lambda_U = e^{(-\lambda T \cdot e^{-\mu t})}$
0	0,88	0	1,000	1,000	1,000
5	0,88	0,305	0,719	0,890	0,878
10	0,88	0,610	0,522	0,810	0,779
15	0,88	0,915	0,375	0,751	0,684
20	0,88	1,220	0,273	0,708	0,601
25	0,88	1,525	0,196	0,675	0,533
30	0,88	1,830	0,142	0,652	0,468
35	0,88	2,135	0,103	0,634	0,411
40	0,88	2,440	0,074	0,621	0,364
45	0,88	2,745	0,053	0,612	0,320
50	0,88	3,050	0,039	0,605	0,281
55	0,88	3,355	0,028	0,600	0,249
				$M = 0,585$	



Teoretická a výsledovaná pravděpodobnost bezporuchového provozu

rýpacího zařízení SRs 1500/55

Graf č. 2



Křivky pohotovosti a pravděpodobnosti bezporuchového provozu
rýpacího zařízení SRs 1500/55

M - udržitelnost

Λ_Z - pohotovost rýpacího zařízení

Λ_U - pohotovost rýpacího zařízení k plnění úkolu

P_T - pravděpodobnost bezporuchového provozu rýpacího zařízení

