

Milan SABO\*

**INTERAKCIE MEDZI SPOĽAHLIVOSŤOU A BEZPEČNOSŤOU  
TECHNICKÉHO SYSTÉMU**

INTERACTION BETWEEN TECHNICAL SYSTEM RELIABILITY AND SAFETY

**Abstrakt**

Príspevok sa zaoberá v súčasnosti veľmi aktuálnymi vzťahmi rozhodujúcich parametrov kvality výrobku (technického systému), teda vzťahmi medzi jeho spoľahlivosťou a bezpečnosťou. V príspevku sú uvedené definície pojmov kvality, spoľahlivosti a bezpečnosti a sú analyzované ich vzťahy pomocou aparátu množinového počtu a počtu pravdepodobnosti. Z úvahy uvedenej v príspevku jednoznačne vyplýva, že za rozhodujúci parameter kvality výrobku (technického systému) môžeme považovať je jeho bezpečnosť, to konštatovanie potvrdil v príspevku uvedený experiment s tvárnicami strojmi a je potvrdené aj platnou legislatívou, teda zákonmi, vyhláškami a normami z oblasti kvality a bezpečnosti.

**Abstrakt**

The contribution deals with very topical parameters of product (technical system) quality, i.e. its reliability and safety. On the basis of analysis of the basic conceptual apparatus in reliability and safety, it analyses the interaction of three basic subsystems of safety and the influence of reliabilities on system quality. Through an undesirable event (failure) in function it tries to define system hazardousness by means of a multiple calculus and schemes to determine conditions under which such an event may appear. The author analyses conditions for failure occurrence (health damage, or injury) and the decisive “merit” of a man in the occurrence of this failure. It follows from this consideration unambiguously that if a product is to be of high quality also from the point of view of safety, its compliance with requirements of safety legislation is not sufficient; safety devices or their functions must be sufficiently reliable as well. The author verifies theoretical considerations by experiment conducted on a group of forming machines and presents an interesting parameter of system safety, i.e. the probability of injury occurrence,  $P_{(U)}$ . On the basis of performed observation of reliability of the operation of the given group of machines, the author also presents the probable behaviour of failure rate of function groups participating in system safety. From the consideration given in the contribution it follows unambiguously that as a decisive parameter of product (technical system) quality its safety can be taken; this was confirmed by the experiment carried out by the author on the selected group of hazardous technical systems (forming machines), which is described briefly in the contribution.

**Key words:** Quality, reliability, safety, analysis. Probability.

---

\* doc. Ing., Ph.D., Katedra environmentálneho a bezpečnostného inžinierstva, Materiálovotechnologická fakulta STU so sídlom v Trnave, Paulínská 16, 917 24 Trnava

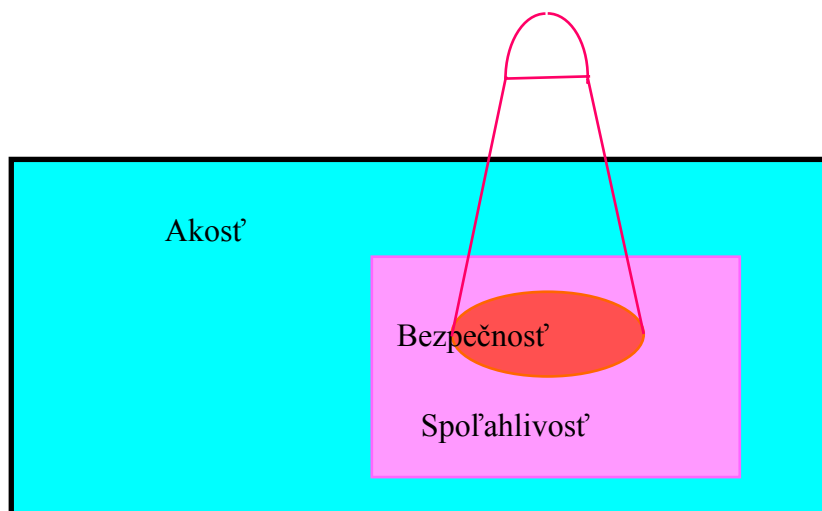
## Základné pojmy a vzťahy

Rozhodujúcim znakom užitočnosti výrobku (technického systému), ktorý rozhoduje o jeho uplatnení na trhu resp. jeho konkurenčnej schopnosti, je *akosť*, ktorej definícia podľa STN 01 0101 „Názvoslovie v odbore riadenia akosti“ je nasledovná: „*Je to schopnosť plniť požiadavky užívateľa a verejného záujmu*“, resp. definícia akosti výrobku (technického systému), ktorá je definovaná ako: „Súhrn vlastností, ktorý vyjadruje spôsobilosť výrobku plniť funkcie, pre ktoré bol určený“. Súčasne sa berú do úvahy aj ekonomické ukazovatele výrobku, jeho vybavenie príslušenstvom, náhradnými dielmi a pod., ako aj predpokladmi, ktoré výrobca vytvára pre poskytovanie služieb spojených s užívaním výrobku“.

Medzi rozhodujúce znaky akosti výrobku (technického systému) patrí jeho spoľahlivosť. Pojem spoľahlivosť je vo všeobecnosti spojený so slovnými výrazmi, ktorými sa dajú vyjadriť vlastnosti strojov, zariadení alebo systémov, ako napr. „je schopný“, „dlho funguje“, „má málo porúch“ a pod. Definícia spoľahlivosti uvedená v STN 010101 je nasledovná: „*Je to vlastnosť výrobku, ktorá znamená jeho schopnosť plniť požadovanú funkciu za stanovených prevádzkových podmienok, pričom po určený čas alebo do vykonania určenej práce zostávajú prevádzkové ukazovatele v stanovených medziach*“.

Číselne sa spoľahlivosť technického systému vyjadruje pravdepodobnosťou výskytu poruchy (neželanej udalosti), pravdepodobnou dĺžkou bezporuchovej prevádzky, intenzitou výskytu porúch a pod. v danom časovom intervale.

Pojem bezpečnosť je vo všeobecnosti spojený so slovnými výrazmi, ktorými sa dá vyjadriť táto vlastnosť technického systému, ako napr. „bezpečný stav“, „bezpečné správanie“, „zdraviu neškodný stav“ a pod. Pojem *bezpečnosť* sa môže definovať nasledovne: „*Bezpečnosť je nezávislosť na nebezpečenstve*“. Tu treba poznamenať, že takto definovaná absolútna bezpečnosť sa dá dosiahnuť len vo vzťahu k určitému nebezpečenstvu. V praxi sa potom stretávame s bezpečnosťou, pri ktorej existuje určité neželané, ale akceptovateľné zostatkové nebezpečenstvo.



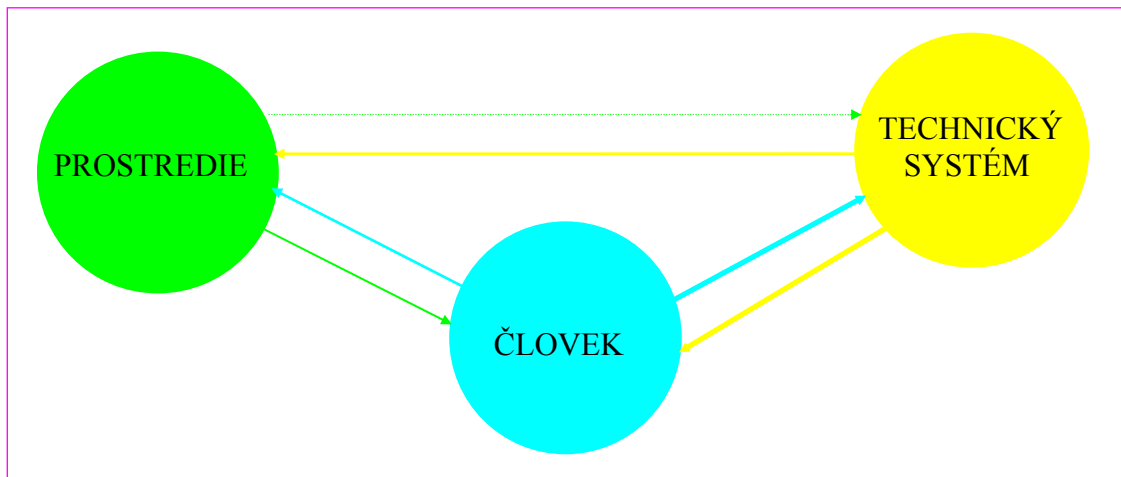
Obr. č. 1. Schématické znázornenie vzťahov medzi kvalitou, spoľahlivosťou a bezpečnosťou výrobku (technického systému)

V STN 010102 „Názvoslovie spoľahlivosti v technike“ je definovaný pojem *bezpečnosť*, ako: „Vlastnosť objektu neohrozovať ľudské zdravie alebo životné prostredie pri

plnení predpísanej funkcie v stanovenom čase a za stanovených podmienok". Číselne sa bezpečnosť vyjadruje, napr. pravdepodobnosťou výskytu nebezpečnej poruchy, intenzitou nebezpečných porúch, stredným časom do nebezpečnej poruchy a pod. v danom časovom intervale.

## Vzťahy v systéme človek - technický systém - prostredie

Neželaná udalosť môže mať za následok škodu, t.j. poškodenie zdravia alebo majetku v zásade len v systéme „človek - technický systém - prostredie“ a to buď pri

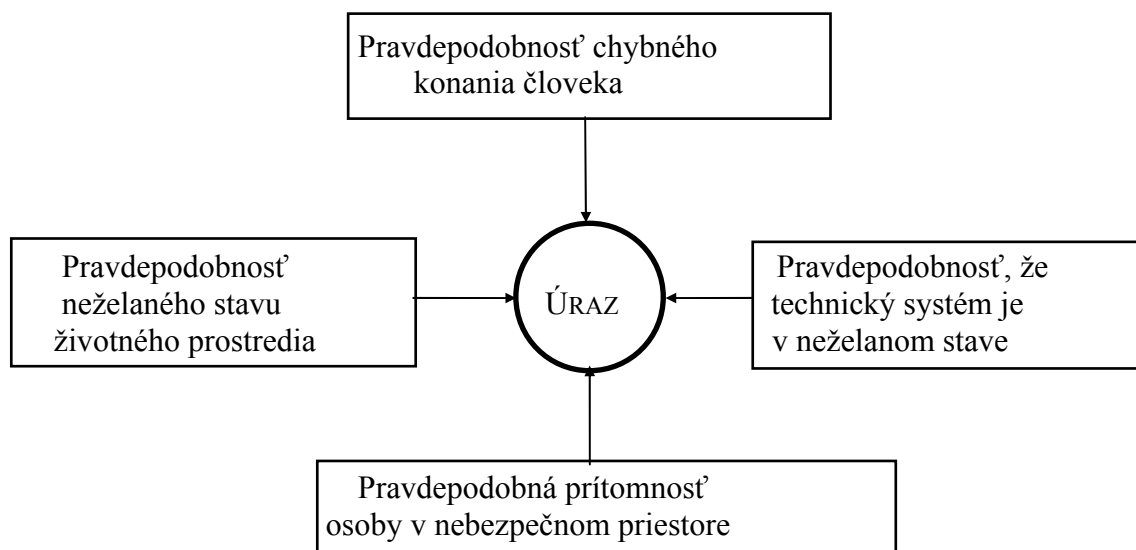


Obr. č. 2. Schéma systému človek - technický systém - prostredie a ich vzájomné pôsobenie

pôsobení všetkých troch elementov (subsystémov) systému (veľmi zriedkavý prípad) alebo v kombinácii len dvoch prvkov systému, napr. v prípade poškodenia zdravia alebo majetku „človek - technický systém“ (veľmi častý prípad), v prípade poškodenia zdravia „prostredie - človek“ (málo častý prípad) a v prípade škôd na majetku „prostredie - technický systém“ (veľmi málo častý prípad).

V požiadavkách, ktoré sú uvedené v bezpečnostných predpisoch, sú zohľadnené technické a ekonomické možnosti riešenia problémov súvisiacich s ochranou zdravia, života a majetku osôb v pracovnom procese, ale aj mimo neho. Kvalita bezpečnostnej techniky, ktorá je vlastne aplikáciou požiadaviek bezpečnostných predpisov do praktickej činnosti, je daná spoľahlivosťou jej funkcie. To znamená, že je dôležité, ak technický systém v plnej miere spĺňa požiadavky bezpečnostných predpisov, ale rovnako dôležité je, aby jeho ochranné zariadenia spoľahlivo fungovali, t.j. aby poskytovali ochranu vo vyžadovanom čase.

Nebezpečnosť technického systému je spôsobovaná odchýlkami od jeho normálnej alebo očakávanej činnosti, ktorých následkom môže byť vznik neželaných, resp. neúmyselných udalostí, ktoré pôsobia v nebezpečnom priestore. Tieto neúmyselné alebo neželané udalosti, ktorých následkom môžu byť úrazy, choroby z povolania alebo škody na majetku, sú stochastické veličiny, pre ich charakter náhodne premenných. Ich príčiny, pri prírodných katastrofách ale aj zlyhaniach technických systémov, sú fyzikálnotechnickej povahy. Rovnako za stochastický proces sa môže považovať aj chybné ľudské správanie, pretože je tiež funkciou náhodne premennej.



Obr. č. 3 Zjednodušené predpoklady pre vznik úrazu (poškodenia zdravia) v schéme systému človek - technický systém – prostredie

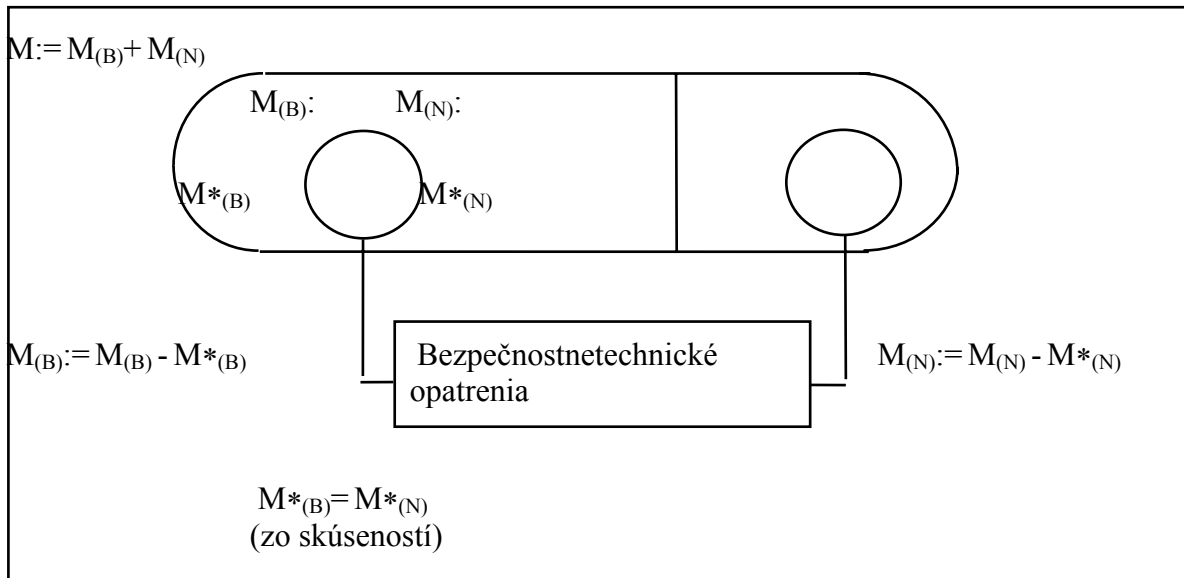
Aby sa mohlo ohrozenie realizovať do úrazu, musia byť splnené predpoklady pre vznik úrazu. Tieto predpoklady v zjednodušenej forme sú uvedené na obr. č. 3.

Ako vyplýva z obrázku č. 3 úraz môže vzniknúť, len ak existuje ohrozenie spôsobené nebezpečným (chybným) správaním človeka, prípadne nebezpečným (neželaným) stavom technického systému alebo stavom životného prostredia (blesk, povodeň, búrka, zemetrasenie a pod.) za prítomnosti človeka v priestore pôsobenia ohrozenia. Predpoklady pre vznik úrazu sú splnené, ak súčasne pôsobia aspoň dva faktory, pričom je nevyhnutné aby sa človek nachádzal v priestore pôsobenia ohrozenia (faktor pravdepodobnej prítomnosti človeka v priestore pôsobenia nebezpečenstva). Toto je častý prípad, avšak sa nedá vylúčiť ani stav kedy pôsobia naraz všetky faktory, avšak je to veľmi zriedkavý prípad.

### Vzťahy medzi spoľahlivosťou a bezpečnosťou

Je nevyhnutné, aby sa teória bezpečnosti opierala o teóriu spoľahlivosti, ale nemala by mať v strede pozornosti odchyľky od normálneho alebo očakávaného stavu technického systému, ktoré majú za následok vznik ohrozenia, ale ich posudzovala ako dôležitú podmnožinu javov spôsobujúcich nespoľahlivosť systému. Formálna podobnosť teórie bezpečnosti s teóriou spoľahlivosti nesmie byť zastieraná skutočnosťou, že v teórii bezpečnosti musia byť zohľadnené parametre ktoré ju podstatne ovplyvňujú, ako napr. intenzita nebezpečných porúch, stredný čas do nebezpečnej poruchy aj ďalšie parametre

vyplývajúce z pravdepodobnosti možných účinkov ohrozenia a z pravdepodobnosti možného chybného konania človeka.



Obr. č. 4 Znárodnenie podmnožín stavov dôležitých pre bezpečnosť technického systému

Ak vychádzame z toho, že  $M$  je množina všetkých poruchových stavov (odchyliiek od normálneho alebo očakávaného stavu) technického systému a prípadne aj množina všetkých chybných konaní človeka, môžeme túto množinu rozdeliť na podmnožinu  $M_{(N)}$  všetkých poruchových stavov, resp. chybných konaní človeka s nebezpečnými účinkami a podmnožinu  $M_{(B)}$  všetkých poruchových stavov, resp. chybných konaní, ktorá nemá nebezpečné účinky (pozri obr. č. 4).

Z obrázku č. 4 je zrejmé, že pre bezpečnosť technického systému má význam len podmnožina nebezpečných stavov  $M_{(N)}$ . Naproti tomu pri výpočte spoľahlivosti technického systému je zohľadňovaná množina  $M$  všetkých odchyliiek od normálneho alebo očakávaného stavu (porúch) systému vrátane chybného konania človeka.

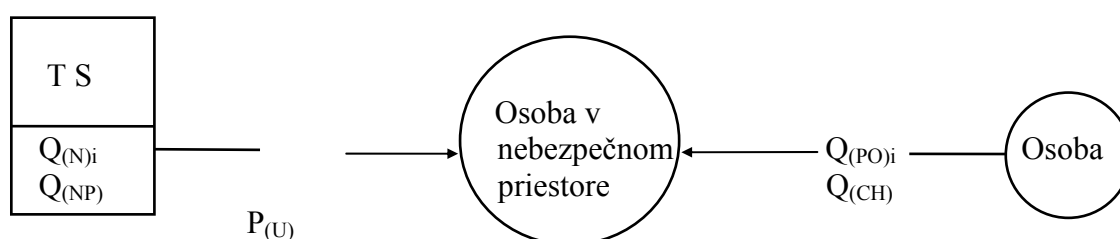
Zo schémy, ktorá je uvedená na obrázku č. 4 môžu vyplynúť nasledovné hraničné situácie:

- technický systém je bez nebezpečných poruchových stavov, teda  $M_{(N)} = 0$  a je absolútne bezpečný a má bezpečnosť  $R_{(B)} = 1$ . Spoľahlivosť technického systému  $R$  môže byť pritom veľmi malá, najmä ak platí  $M_{(N)} \ll M_{(B)}$  (v praxi veľmi často sa vyskytujúca situácia) a teda ďalšie opatrenia na zvýšenie bezpečnosti technického systému nemusia vždy zvýšiť aj jeho spoľahlivosť. Toto „zhoršenie“ spoľahlivosti technického systému môže vzniknúť najmä vtedy, keď zvýšenie bezpečnosti sa dosiahne dodatočným zväčšením podmnožiny stavov, ktoré nemajú za následok nebezpečenstvo  $M_{(B)}$ ,

- dá sa dokázať, že technický systém s veľmi veľkou spoľahlivosťou, kedy M množina všetkých poruchových stavov je veľmi malá, má v porovnaní s iným technickým systémom s rovnakou spoľahlivosťou menšiu bezpečnosť ( $M_1 = M_2$  a  $M_{(N1)} > M_{(N2)}$ ).

#### Predpoklady pre vznik úrazu

V každom technickom systéme pri narastajúcom prevádzkovom čase sa zväčšuje pravdepodobnosť vzniku poruchy. Niektoré zo vzniknutých porúch môžu mať „nebezpečné účinky“, t.j. za určitých okolností môžu spôsobiť úraz. Tieto „nebezpečné účinky“ alebo lepšie povedané ohrozenia sa môžu považovať za funkčnú nebezpečnosť technického systému. Funkčná nebezpečnosť technického systému môže byť spôsobená normálnymi účinkami nebezpečného výrobného procesu, t.j. bez priameho vzťahu k jeho prevádzkovej nespoľahlivosti, napr. výrobný proces na stojanovej brúske, kotúčovej pile, tvárniacom stroji, pri zváraní a pod., alebo je spojená s jeho nespoľahlivosťou. Pred ohrozeniami tohto „nebezpečného



$Q_{(NP)}$  - nebezpečné poruchy technického systému

$Q_{(PO)}$  - faktor priblíženia osoby do priestoru pôsobenia nebezpečenstva

$Q_{(CH)}$  - chybné chovanie osoby (obsluhy)

Obr. č. 5 Zjednodušená schéma vzniku úrazu v dôsledku vzniku nebezpečnej poruchy a nesprávnej činnosti obsluhujúcej alebo náhodne prítomnej osoby

výrobného procesu“ je obsluhujúci personál chránený ochrannými prostriedkami bezpečnostnej techniky, ako sú napr. pevné a pohyblivé ochranné kryty, dvojručné ochranné spúšťanie, bezdotykové ochranné prostriedky a pod. Ochranné prostriedky majú za cieľ chrániť pred ohrozeniami obslužný personál technického systému ako aj ďalšie osoby, ktoré sa náhodne nachádzajú v jeho blízkosti a to zabránením ich prítomnosti v priestore pôsobenia nebezpečného výrobného procesu. V tomto prípade úraz môže vzniknúť len v prípade zlyhania ochranného prostriedku v dôsledku jeho poruchy, teda ako priamy následok nespoľahlivosti technického systému Q.

Pravdepodobnosť vzniku úrazu, ktorý je podmienený poruchou technického systému za predpokladu prítomnosti osoby v priestore pôsobenia nebezpečenstva sa môže na základe obr. 5 vyjadriť vzťahom:

$$P_{(U)} = Q_{(N)} \cdot Q_{(PO)} \cdot (1 - R_{(N)}) \quad [1]$$

kde  $P_{(U)}$  - je pravdepodobnosť vzniku úrazu pri obsluhu technického systému

$Q_{(N)}$  - je pravdepodobnosť vzniku ohrozenia v dôsledku vzniku nebezpečnej poruchy technického systému

$Q_{(PO)}$  - je pravdepodobná prítomnosť osoby v priestore pôsobenia ohrozenia ako dôsledok jej chybného konania

$R_{(N)}$  - je pravdepodobnosť spoľahlivej t.j., bezporuchovej činnosti ochranných prostriedkov technického systému na ochranu obsluhy pred ohrozeniami pôsobiacimi v jeho nebezpečnom priestore

Z vyššie uvedeného vzťahu je zrejmé, že vznik úrazu je závislý na nespoľahlivej činnosti technického systému a/alebo obsluhy, t.j. na vzniku nebezpečenstva spôsobeného poruchou technického systému, ale predovšetkým na nespoľahlivej činnosti jeho bezpečnostných zariadení a/alebo nesprávnej činnosti obsluhy, čo v konečnom dôsledku umožní prítomnosť osoby v nebezpečnom priestore.

## Praktická aplikácia hodnotenia bezpečnosti reálneho technického systému

Zisťovanie pravdepodobností, ktoré sú uvedené vo vzťahu [1] je náročné a môže byť vykonávané viacerými spôsobmi. Veľmi často sa používajú dva nasledovné postupy:

- dlhodobé sledovanie spoľahlivosti prevádzky technického systému alebo
- určovanie príslušných pravdepodobností štatistickými odhadmi.

Výpočet pravdepodobnosti vzniku úrazu  $P_{(U)}$  bol aplikovaný na skupine tvárniacich strojov troch výrobcov na Slovensku, o ktorých existoval súbor údajov o ich prevádzkovej spoľahlivosti. Prevádzková spoľahlivosť sa sledovala počas piatich rokov na nových strojoch práve uvádzaných do prevádzky. Čas sledovania prevádzkovej spoľahlivosti bol rozdelený na dve časti a to:

- obdobie skorých porúch (záručná lehota) a
- obdobie konštantných porúch (normálna prevádzka).

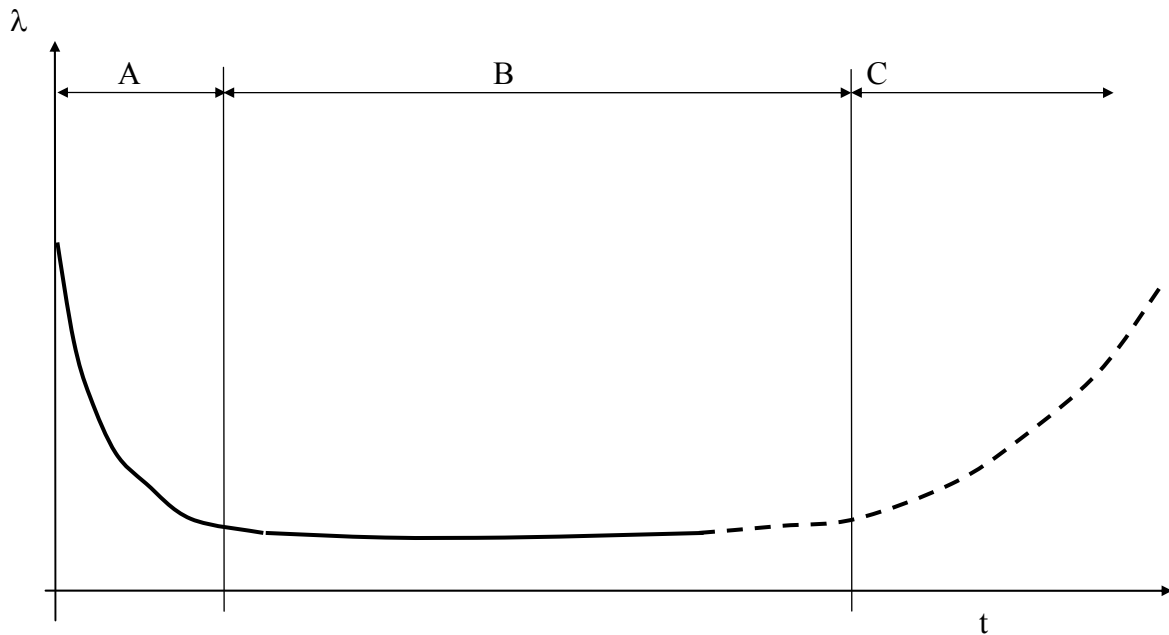
Ďalšou dôležitou podmienkou, avšak ťažko dôsiahnuteľnou, bolo dodržanie približne rovnakých prevádzkových podmienok pre všetky skúmané výrobné stroje.

Za účelom vypočítania ukazovateľa  $P_{(U)}$  boli funkčné skupiny skúmaných tvárniacich strojov rozdelené nasledovne:

- a) funkčné skupiny zabezpečujúce bezpečnosť (napr. dvojručné ochranné spúšťanie, pevné ochranné kryty, poistka proti preťaženiu a pod.),
- b) funkčné skupiny ovplyvňujúce bezpečnosť (napr. elektropneumatický rozvádzač tlakového vzduchu, spojka a brzda a pod.) a
- c) funkčné skupiny neovplyvňujúce bezpečnosť (napr. stojan, počítadlo zdvihov a pod.).

Z údajov o prevádzkovej spoľahlivosti uvedených funkčných skupín tvárniacich strojov boli vypočítané nasledovné hodnoty pravdepodobnosti vzniku úrazu:

- výstredníkový lis LE 160 C, výrobca VSS Košice,  $P_{(U)} = 0,1935 \cdot 10^{-6}$ ,
- výstredníkový lis LEN 40 C, výrobca TOMA, s.r.o. Trnava,  $P_{(U)} = 0,33261 \cdot 10^{-6}$ ,
- strojné tabuľové nožnice NTE 2000/6,3 C, výrobca Strojareň Piesok,  $P_{(U)} = 0,22357 \cdot 10^{-6}$ .



- A - Obdobie skorých porúch (cca 2 000 pracovných hodín)
- B - Obdobie konštantných porúch (cca 20 000 pracovných hodín)
- C - Obdobie dožívania (cca 4 000 pracovných hodín)

Obr. 6 Možný priebeh intenzity porúch  $\lambda$  v závislosti na čase tzv. „Vaňová krivka“

Na obrázku č. 6 je znázornený pravdepodobný priebeh intenzity porúch  $\lambda$  technického systému (bol zvolený výstredníkový lis LE 160 C), ktorý je charakteristicky pomerne častým výskytom porúch v jeho prvom období životnosti a krivka pomerne prudko klesá po odstránení začiatočných porúch. V druhom období krivka má konštantný priebeh, ktorý ku koncu životnosti stroja znova stúpa.

Spôľahlivosť technického systému (výrobku) je jednou z rozhodujúcich ukazovateľov jeho akosti, pretože čím tento dlhšie vykonáva svoje funkcie bez odchýliek od normálneho alebo očakávaného stavu, tým je jeho prevádzka hospodárnejšia (vyššia výkonnosť, nižšie náklady na prevádzku a pod.). So spoľahlivosťou je úzko spojená aj bezpečnosť technického systému, pretože čím sú spoľahlivejšie jeho bezpečnostné zariadenia, resp. ochranné funkcie, tým je pravdepodobnejšie, že nenastanú v jeho činnosti neželané udalosti, ako napr. porucha, havária, katastrofa, ktoré môžu mať za následok poškodenie zdravia, straty životov, škody na majetku, poškodenie životného prostredia a pod.

## Záver

Z doteraz uvedeného je zrejmé, že z parametrov kvality technického systému (výrobku) má najväčšiu váhu jeho spoľahlivosť a je nesporné, že z faktorov spoľahlivosti má najväčšiu váhu jeho bezpečnosť. Toto tvrdenie je podporované aj zákonom NR SR č. 330/1996 Z. z. o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci, ktorý okrem iného nedovoľuje vyrábať, predávať, propagovať a používať výrobky (technické systémy), ktoré nemajú vyžadovanú úroveň bezpečnosti, teda nespĺňajú požiadavky platných bezpečnostných predpisov. Na základe tohto možno konštatovať, že výrobok (technický systém), ktorý nespĺňa požiadavky bezpečnosti nie je možné považovať za kvalitný aj napriek tomu, ostatné parametre kvality má na veľmi



vysokej úrovni, pretože ohrozuje zdravie, životy ľudí, resp. spôsobuje škody na majetku, či životnom prostredí.

## **Literatura**

1. Sabo, M.: Riadenie rizík vo výrobnjej činnosti. Zborník prednášok zo VI. medzinárodnej konferencie „Prevádzková spoľahlivosť výrobných zariadení v chemickom a potravinárskom priemysle“, Slovnaft, a.s. Bratislava, Bratislava 1997.
2. Sabo, M.: Možnosti riadenia rizík v podnikateľskom subjekte. Zborník prednášok z X. konferencie s medzinárodnou účasťou „Aktuálne otázky bezpečnosti práce“, Výskumný a vzdelávací ústav bezpečnosti práce Bratislava, Vysoké Tatry, Stará Lesná.
3. Sabo, M.: Uplatňovanie systémovej bezpečnosti práce v podniku. Zborník prednášok z 2. medzinárodného sympózia „Kvalita a spoľahlivosť strojov“ (Quality and Reliability of Machines), Mechanizačná fakulta Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Nitra 1997.
4. Sabo, M.: Úlohy bezpečnostného manažmentu v priemyselnom podniku. Zborník prednášok z medzinárodnej konferencie „Nové trendy v strojárstve na prahu tretieho tisícročia“, Strojnícka fakulta Technickej univerzity v Košiciach, Košice 1997.