

## SPOĽAHLIVOSŤ A EKONOMIKA NAVIGAČNÝCH ERGATICKÝCH SYSTÉMOV

### RELIABILITY AND ECONOMY OF NAVIGATION ERGATIC SYSTEMS

Alena Novák Sedláčková<sup>1</sup>, Pavol Kurdel<sup>2</sup>, Ján Labun<sup>3</sup>

*Anotace: Procesné spojenie informačného systému lietadla a človeka (operátor-pilota) sa realizuje prenosom zadanej alebo novo vzniknutej udalosti so známymi súradnicami  $(x_0, t_0)$  do požadovanej pozície  $s_0$ , so súradnicami  $(x,y,z)$  v čase  $t \geq t_0$  s vopred známou presnosťou a bezpečnosťou. Výrobcovia leteckej techniky venujú značnú pozornosť zvyšovaniu bezpečnosti a presnosti, ako aj ekonomickej výhodnosti lietadlových navigačných ergatických systémov. Do pojmu bezpečnosť zahrňujeme aj pojem spoľahlivosť- miera bezporuchovej prevádzky navigačného ergatického systému, kedy je potrebné, aby istila lietadlový palubný systém v stave najvyššej úrovne bezpečnej prevádzky. Pojem spoľahlivosť je definovaný pravdepodobnosťou, ktorou sa hodnotí navigačný ergatický systém. Spoľahlivosť však nerieši problémy, čo sa stane, ak systém zlyhá. V takom prípade vstupuje do procesu ergatickej navigácie človek (operátor-pilot), ktorý spravidla rieši štatisticky vymedzené prípady, určené konvenčnými koeficientmi vzťahu: posádka - objekt (lietadlo). V článku je navrhnutý model nákladovosti využiteľný pri riešení vyššie uvedených vzťahov a zaistenia spoľahlivej činnosti navigačných ergatických systémov.*

*Kľúčová slova: spoľahlivosť, palubný systém, navigačné ergatické systémy, operátor/pilot, efektívnosť, pracovná záťaž, náklady.*

*Summary: The process link of the aircraft and the human (pilot-operator) information system is realized by transferring a given or newly created event with known coordinates  $(x_0, t_0)$  to the desired position  $s_0$ , with coordinates  $(x, y, z)$  at time  $t \geq t_0$  with the previously known accuracy and security. Aviation producers pay considerable attention to increasing safety and accuracy as well as the economic advantage of aircraft navigation ergatic systems. The definition of safety also includes the definition of reliability of the faultless operation of the navigation ergatic system that is necessary to ensure that the aircraft's on-board system is at the highest level of safety operation. The definition of reliability is defined by the probability that has evaluated the navigation ergatic system. The reliability will not solve the problems what will happen if the system fails. In this case, a person (pilot-operator) enters the process of ergatic navigation, which usually solves statistically defined cases, determined by the conventional coefficients of relationship: human - object (aircraft). This paper designs the cost model, which is usable for the above-*

<sup>1</sup> Doc. Ing. JUDR. Alena Novák Sedláčková, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Katedra leteckej dopravy, Univerzitná 1, 01026 Žilina, Tel.: +421917521269, Fax: +421415131517, E-mail: [sedlackova2@fpedas.uniza.sk](mailto:sedlackova2@fpedas.uniza.sk)

<sup>2</sup> Doc. Ing. Pavol Kurdel, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Letecká fakulta, Katedra avioniky, Rampova 7, 04121 Košice, Tel.: +421 55 602 6147, E-mail: [pavol.kurdel@tuke.sk](mailto:pavol.kurdel@tuke.sk)

<sup>3</sup> Doc. Ing. Ján Labun, PhD., Technická univerzita v Košiciach, Letecká fakulta, Katedra avioniky, Rampova 7, 04121 Košice, Tel.: +421 55 602 6147, E-mail: [jan.labun@tuke.sk](mailto:jan.labun@tuke.sk)

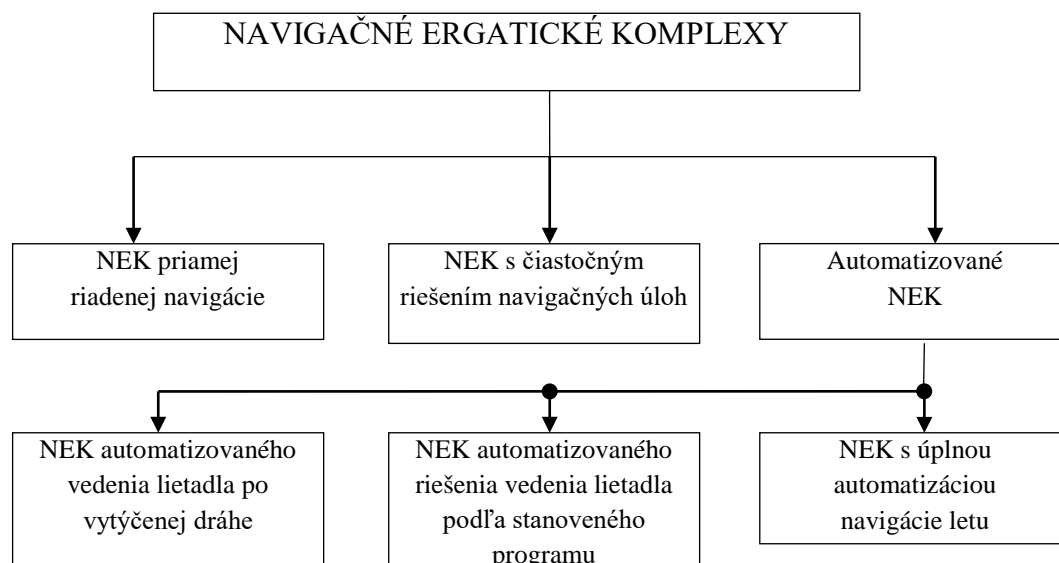
*mentioned relationships and to ensure the reliable operation of navigation ergatic systems.*

*Key words: reliability, on-board system, navigation ergatic systems, pilot/operator, efficiency, workload, cost.*

## ÚVOD

Už niekoľko rokov sa Katedra avioniky, Leteckej fakulty Technickej univerzity v Košiciach a Katedra leteckej dopravy, F PEDAS, Žilinskej univerzity v Žiline vo vzájomnej spolupráci venujú skúmaniu prostredia, ktoré vzniká pri súčinnosti pilota/ operátora a lietadla. Na základe rôznych aspektov, ktoré ovplyvňujú vzťahy a prostredie človeka („liveware-u“) a informačných a technických komponentov v letectve (software-u a hardware-u) skúmajú využívanie ľudských zdrojov v leteckej doprave v kontexte modelu SHELL, ktorý vyjadruje koreláciu medzi človekom a príslušnými komponentmi, čoho výsledkom môže byť jednoduchšie pochopenie miest vzniku potenciálnych rizík. Túto oblasť je možné skúmať z rôzneho pohľadu a vzniknuté simulácie môžu pomôcť riešiť prípadné vzniknuté komplikované situácie v budúcnosti. Tento vzájomný vzťah je možné riešiť nie len z pohľadu čisto technického, ale aj z pohľadu ergonomického, kde je Katedra leteckej dopravy partnerom projektu Vedecko-výskumného centra zdravia Liptov, ITMS 313011B910 Pri pokračovaní v riešení vyššie uvedeného projektu je nutné mať najskôr preskúmaný technický vzťah operátorom a lietadlovými navigačnými ergatickými systémami, kedy pri zachovaní čo najvyššej miery bezpečnosti je potrebné dosiahnuť aj čo najvyššiu presnosť a spoľahlivosť. Okrem skúmaných technických parametrov je potrebné poznať aj otázku ekonomickej efektívnosti a dopadu ľudského faktoru (fyzického aj fyziologického) stavu operátora pilota na riadenie lietadla (navigačných ergatických systémov). V článku sú z celkového počtu tried navigačných komplexov uvedené len tie, ktoré sa viažu na navigačné funkcie operátorov. Sem zaradíme automatizované navigačné systémy, ktorých funkcia pracovne zaťažuje členov posádky lietadiel. Z uvedeného pohľadu je možné navigačný ergatický systém- komplex (NEK):

- NEK s priamou riadenou navigáciou,
- NEK s čiastočnou automatizáciou riešenia navigačných úloh,
- automatizované NEK.



Zdroj: (1)

Obr. 1 - Schéma rozdelenia NEK

Všeobecne všetky NEK obsahujú:

- zariadenie pre vstupné programy,
- systémy merania polohy a pohybu lietadla,
- výpočtové algoritmy navigačných informácií,
- technologické zariadenia na podporu distribúcie a indikácie navigačných informácií.

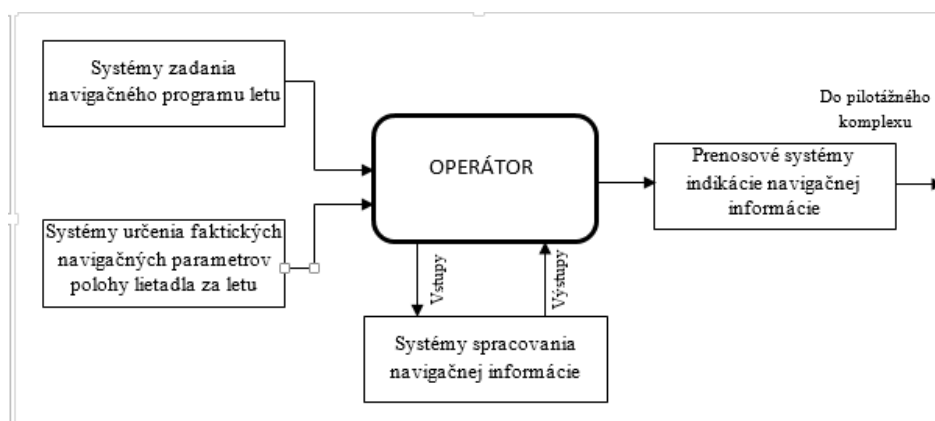
Na základe súčasnej situácie je potrebné dať do pozornosti aj legislatívnu stránku danej riešenej oblasti a jej aktuálnu úpravu. Európska agentúra pre bezpečnosť letectva (EASA) zverejnila od mája do septembra 2017 výzvu na možnosť verejného pripomienkovania legislatívy upravujúcej regulačný rámec prevádzky dronov (vrátane modelov lietadiel), tj. bezpilotných lietadlových systémov. Momentálne je na území SR táto oblasť upravená Rozhodnutím č. 1/2015 z 19.08.2015, ktorým sa určujú podmienky vykonania letu lietadlom spôsobilým lietať bez pilota vo vzdušnom priestore SR, kedy za takéto lietadlo je považované UAV (unmanned aircraft) autonómne lietadlo, diaľkovo riadené lietadlo alebo model lietadla (§7 zákona č. 143/1998 Zb. o civilnom letectve v znení neskorších predpisov). Autonómne lietadlo (autonomous aircraft) je lietadlo spôsobilé lietať bez pilota vybavené nezávislým systémom riadenia, ktorý neumožňuje zásah do riadenia letu osobou, ktorá ovláda autonómne lietadlo.

## 1. NAVIGAČNÝ ERGATICKÝ SYSTÉM PRIAMEJ RIADENEJ NAVIGÁCIE

U priamej riadenej navigácie (obr.2) je operátor zaradený ako sériový člen medzi blokmi merania a prenosu (distribúcie) navigačnej informácie. V takom zapojení rieši navigátor/operátor nasledujúce úlohy:

1. Prijíma z meracích systémov faktické navigačné informácie, ktoré charakterizujú polohu lietadla v časopriestore (2).

2. Porovnáva získanú vizuálnu informáciu s vypočítanými hodnotami a následne ich ručne zavádza do programu počítača, porovnáva výstupy a stanovuje sektor nesúhlasu s programovými hodnotami súradníc (3).
3. Empiricky rozhodne o zavedení takého navigačného režimu, ktorý vytvorí zhodu medzi skutočnými (faktickými) súradnicami lietadla a programovanými. Výsledkom môže byť napríklad porovnanie faktických parametrov pohybu lietadla (napr. traťovej rýchlosti, traťového uhla  $\beta$ , rýchlosti vetra  $W$ , zadanej vertikálnej rýchlosti  $V_{vz}$ ) a parametrov zadaných programom ( $\beta_z, W_z, V_{vz}$ ) (2).



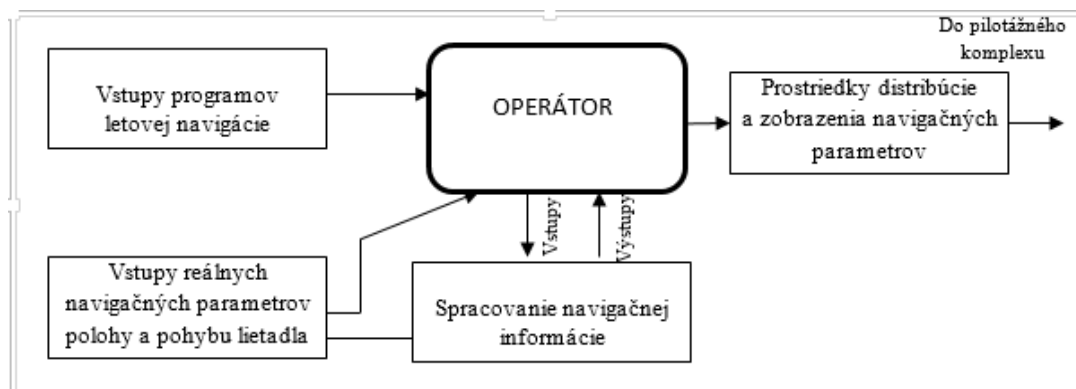
Zdroj: Autori

Obr. 2 - Všeobecná schéma priamej riadenej navigácie

Zhoda je potom výsledkom riadiaceho úsilia tvarovaného operátorského ergatického systému (OEK), a jej prejav je možné zapísať ako:

$$\Delta\beta = \beta_z - \beta = \Delta W = W_z - W = \Delta V = V_{vz} - V_v = 0 \quad (1)$$

NEK, s čiastočným automatizovaným riešením navigačných úloh má schému zobrazenú na obr.3.



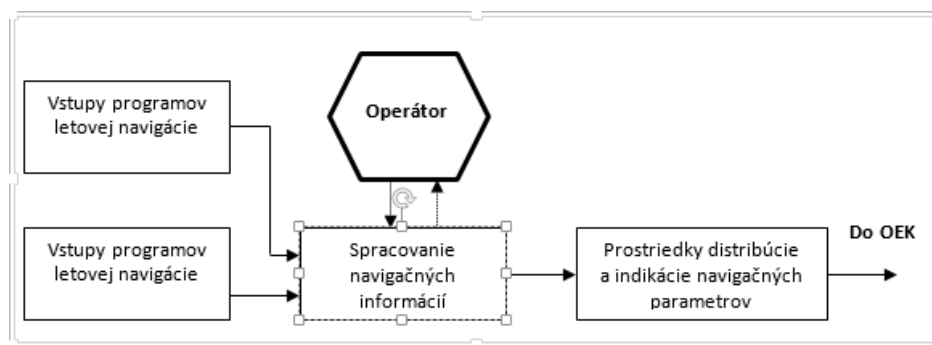
Zdroj: Autori

Obr. 3 - Všeobecná schéma komplexu s čiastkovou automatizáciou riešenia navigačných úloh

Komplexy s čiastočnou automatizáciou riešenia navigačných úloh podľa obr.3 obsahujú prvky komplexu priamej navigácie. Odlíšu sa však tým, že časť riešených úloh je distribuovaná do palubného systému, t.j. ich riešenie nevykonáva operátor. Architektúra NEK

s čiastočnou automatizáciou umožňuje riešiť zložité varianty navigačných úloh umožňujúcich let po vytýčenej dráhe (trasách) ako aj prístrojové pristávanie v zložitých meteorologických podmienkach.

Rast rýchlosti a hustota leteckej prevádzky si vyžiadali presné a spoľahlivé meranie navigačných parametrov. Nové požiadavky si vyžiadali nárast počtu navigačných meracích sústav, ktoré pracujú na rozličných princípoch a metódach merania. Všetky sú však viazané všeobecnou požiadavkou: riešiť navigačné úlohy. Zložitosť riešenia týchto úloh s rastom nárokov na ich presnosť si vyžiadala potrebu použiť nové druhy priamych výpočtov s novým zobrazovaním výstupných údajov pre operátorov (3). Nárast počtu indikátorov, ukazovateľov a signalizátorov si vynútil vytvoriť architektúry automatizovaných navigačných komplexov (ANK), ktorých zovšeobecnenú štruktúru zobrazuje obr.4 (3).



Zdroj: Autori

Obr. 4 - Všeobecná architektúra automatizovaného ergatického navigačného komplexu

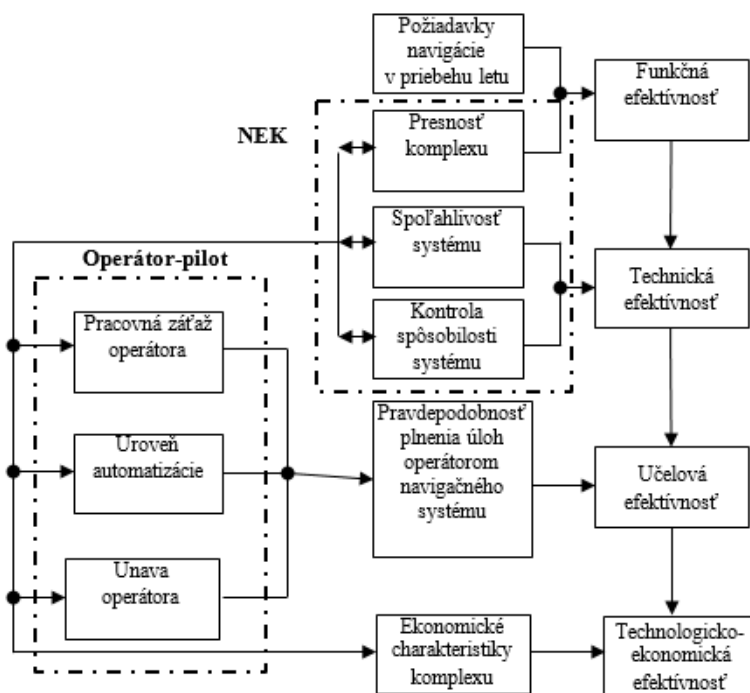
Pre ANK je charakteristické, že:

- optimalizuje merané navigačné parametre na základe ďalších informácií prijatých z niekoľkých na sebe nezávislých senzorov,
- automatizuje veľkú časť výpočtov a logických operácií z údajov, ktorými sa riadi lietadlo,
- prepracováva navigačné údaje z povelov, ktorými sa riadi lietadlo.

## 2. VZŤAH MEDZI ÚROVŇOU AUTOMATIZÁCIE A CHARAKTERISTIKAMI NAVIGAČNÉHO KOMPLEXU NÁZEV KAPITOLY

Letecká prevádzková prax potvrdila, že spoľahlivý systém nie je konečným istením letovej bezpečnosti. Taktiež je známe, že vysoká presnosť navigačného komplexu nemusí, a často aj nie je rentabilná, a nemusí byť vždy prioritou v bezpečnej letovej prevádzke. Znamená to, že prílišná a rozvinutá automatizácia môže aj negatívne ovplyvňovať letovú bezpečnosť. Uvedené sa vzťahuje aj na NEK. Dôvodom je skutočnosť, že také charakteristiky ako presnosť, spoľahlivosť a úroveň automatizácie sa navzájom neakceptujú. Ich umiestnenie na palubách lietadiel ukazuje na dosiahnutú technologickú úroveň výrobcu, ale sú nevyužiteľné v konkrétnych prevádzkových podmienkach. Pre tento dôvod vystupuje do popredia úloha optimalizácie prevádzkových charakteristík každého účelového systému

lietadla z pohľadu aj jeho ekonomickej efektívnosti (2). Znamená to, že optimalizácia charakteristík účelového lietadla nie je len technickým, ale aj ekonomickým problémom. Navyše z hľadiska riešenia konkrétnych letových úloh aj problémom ergonomickým. Vzájomnosť týchto väzieb s prevádzkovými charakteristikami NEK je ilustrovaná na obr.5.



Zdroj: Autori

Obr. 5 - Vzájomnosť charakteristík NEK

Presnosť NEK má dvojstrannú väzbu, kedy do systému vstupujú:

- požiadavky navigácie počas letu,
- presnosť automatizovaného komplexu.

Je zrejmé, že čím bude presnosť NEK vyššia, tým menšia bude pracovná záťaž operátora pri riešení navigačných úloh s požadovanou presnosťou. Platí to aj opačne: čím bude NEK menej presný, tým vyššie budú nároky na pracovné zaťaženie operátora pre istenie letu s požadovanou presnosťou. Znamená to, že úroveň automatizácie má znižovať pracovnú záťaž operátora. (4) Operátor na riešenie navigačných úloh potrebuje operačný čas, ktorého obsahom je aj rezerva času pre prípad, že automatizovaný systém sa stane nespoľahlivým. Pri takom prejave operátor rieši navigačné úlohy pomocou náhradných prostriedkov, ktorými môže eliminovať poruchy počas letu. Od operátora sa tiež žiada, aby navrhol spôsob odstránenia poruchy alebo jej elimináciu. Je zrejmé, že pri hľadaní spôsobov eliminácie porúch prerušuje svoje pôsobenie a nezaobera sa navigáciou, pretože vykonáva kontrolné a vyhľadávacie činnosti, ktoré sú spravidla spojené s potrebou odoslania služobných hlásení ostatným členom posádky alebo príslušným pozemným strediskám.

Treba zdôrazniť, že operatívny spôsob nájdenia poruchy a jej odstránenie počas letu kladie nové nároky na automatizáciu navigácie a v tej súvislosti sa vyžadujú aj nové schopnosti operátorov pre ich prevádzkovanie a obsluhu (5).



Každá porucha, respektíve nepresný, neurčitý navigačný údaj vyvoláva zvýšené pracovné zaťaženie všetkých členov posádky. Vzájomná zvýšená miera spoľahlivosti navigačných zariadení zvyšuje finančné náklady na ich vývoj, výrobu a prevádzkovanie. Z výsledkov analýzy ako aj z opisu obr.5 a predošlých vyplýva, že ukazovateľom efektívnosti je neporuchová funkcia ergatických častí navigačného komplexu. Na základe vyššie uvedeného je možné zaviesť pojem všeobecnej efektívnosti  $W$ , kedy pod uvedeným pojmom rozumieme vlastné funkcie procesných častí obvodu (obr.6) a jeho vstupy. Nech je (v pomerných veličinách) vlastná funkcia definovaná rovnicou (6):

$$W = W [C, P, R, A, \dots] \quad (2)$$

Kde:

$C$  – je kvalita riadiacich funkcií systému NEK a jeho elementov

$P$  – je komplexná spoľahlivosť systému (v zmysle ergatickom)

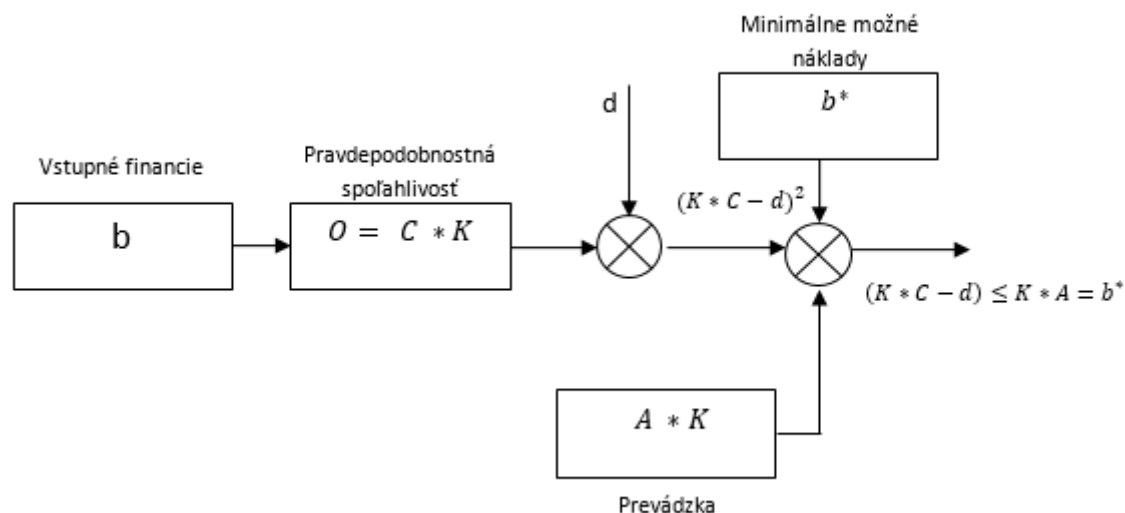
$R$  – náklady na vývoj

$A$  – náklady na prevádzku

Ukážme na význam rovnice (2) v súvislosti so vzájomnými vzťahmi a prepojenosťou, ktoré sú ilustrované na obr.5. Je zrejmé, že prvotnými časťami NEK sú výsledné efektívnosti, ktoré sú popísané na obr.5. Finančné náklady na udržanie výslednej spoľahlivosti  $P$  spolu s úhradou na energetické istenie prevádzky vyžadujú stálu finančnú pozornosť spojenú aj ich obnovu. Nesplnenie tejto požiadavky znamená stratu významu NEK. Nech všetky elementy pracujú so spoľahlivosťou  $P$ , a nech tieto hodnoty tvoria maticu  $C$ . Každý element  $c_{i,j}$  (jeho pravdepodobnosť) má hodnotu finančných prostriedkov potrebných na ich prevádzku. Znamená to, že na udržanie prevádzkovej spoľahlivosti  $P$  a prevádzku integrovaných systémov/blokov v matici  $C$  sú potrebné finančné prostriedky, ktorých vyčíslená hodnota je  $K$ . Z uvedeného dôvodu a počtu elementov  $c_{i,j}$  je matica  $K$  stĺpcovou, jej prvky sú  $k_{i,j}$ . Ak zoberieme do úvahy, že prevádzkovateľ má konečný objem finančných prostriedkov, potom platí:

$$O = C * K \quad (3)$$

Nech  $d$  (obr.6) predstavuje súbor náhodných príčin, ktoré ovplyvňujú spoľahlivosť  $P$  a ekonomicky pôsobia na celkový objem  $O$ . Finančné pokrytie týchto náhod je vyjadrené elementmi  $d_{i,j}$   $j = \text{konšt.}$ . Obnova spoľahlivosti  $P$  matice  $C$  vyžaduje náklady, ktoré sú potrebné aj na prevádzkovanie  $A$  s prvkami  $a_{i,j}$  s nárokmi na objem finančných prostriedkov  $A * K = b$ . Prevádzkovanie je vždy vykonávané s obmedzeniami (limitmi) zdola  $l_b$  (level  $b$ ) a zhora  $u_b$ . Opísanú situáciu vzájomných vzťahov je možné znázorniť ilustračnou schémou (obr.6).



Zdroj: Autori

Obr. 6 - Ekonomické, technické a prevádzkové väzby v NEK a ich vzájomný vzťah

Kde:

K - je hľadaná matica

b\* - je volená matica, ktorá voľne vstupuje do algoritmu

C - spoľahlivosť

Na základe hypotetických vstupov je úlohou optimalizovať vstupné finančné prostriedky tak, aby boli zabezpečené procesné funkcie technickej časti NEK. Požiadavka efektívnej vzájomnosti je potvrdenie istoty, že objem financií A\*K prevyšuje, alebo sú dostatočné na pokrytie prevádzky NEK a spoľahlivej funkčnosti P. Potom podľa kvadratického kritéria kvality platí (5):

$$|C * K - d|^2 \leq A * K \leq b^* \quad (4)$$

Kde ľavá časť rovnice (4) predstavuje kritériálnu hodnotu komparácie K. Kvadratická kritériálna funkcia významne potláča malé hodnoty (pod nulou) a zvýrazňuje hodnoty nad nulou.

Metóda vychádzajúca z vynaloženia nutných nákladov na spoľahlivosť systému v NEK je heuristický ukázaná v programovom prostredí MATLAB, kde je nutná podmienka vzájomnosti etáp spoľahlivosti v NEK.

*%Súhrnná hodnotová pravdepodobnosť spoľahlivej činnosti jednotlivých systémov NEK:*

*C = [0.985 0.9976 0.9961 0.9994 %spoľahlivosť energetických zdrojov;*

*0.9923 0.9945 0.9791 0.9935%spoľahlivosť senzorov;*

*0.9606 0.9960 0.9821 0.9816%spoľahlivosť spracovania signálov;*

*0.9848 0.9829 0.9973 0.9741%spoľahlivosť zobrazenia;*

*0.9989 0.9994 0.9987 0.9989], %spoľahlivosť systému kontroly;*

*%Nepredvídané výdaje (v mierke jednotkových nákladov) sú tieto transpozície:*

*d = [ 0.0578; 0.3528; 0.8131; 0.0098; 0.1388];*

*%Pokrytie kalendárne plánovaných nákladov v mierke jednotkových nákladov*

*%(napr.:A=štyri mesiace):*

*A = [0.1202 0.2721 0.7467 0.4659*



0.1987 0.1988 0.4450 0.4186  
0.3603 0.0152 0.9318 0.8462  
0.1356 0.2167 0.8327 0.6235  
0.1852 0.3468 0.7843 0.6268];

*%Všimnite si: prvý stĺpec v matici, ktorý predstavuje v súčte jednotku -jednotkový objem. Ostatné akceptujú premenlivosť v spoľahlivosti systémov NEK.*

*%Objem financií je potrebný aj na zabezpečenie prevádzky [A], kedy pokryje:*

$b = [0.5251; 0.2026; 0.6721; 0.4265; 0.3114];$

*%Nutný objem financií na udržanie spôsobilosti[C],[A]sa určí*

*%úhradou z objemu C\*K-disponibilného kapitálu pri akceptovaní % zvolených obmedzení:*

$lb = 0.1 * ones(5,1), ub = 2 * ones(5,1),$  *%(lb-minimálné- povinné) t.j. stanovené normou, kde ub je horná hranica finančného vkladu.*

*%Výpočet koeficientov komparácie, t.j matice "K" pri lb=ub=0:*

*%Model výpočtu matice, ktorá minimalizuje výsledok komparácie (porovnania) je:*

$K = lsqlin(C,d,A,b,lb,ub),$  *%minimalizácia (stĺpce): program MATLAB;*

*%Schéma(obr.6) modelu minimalizácie nutných nákladov umožňuje napísať:*

$q = (C * K - d);$

$Q = q.^2,$  *%kvadrát štvorcov. Konečným článkom je:*

$A * K,$

*%Podmienka  $:(K * C - d) < A * K,$  je splnená.  $A * K = b *$  je reálny výsledok % minimalizácie nákladov na uchovanie prevádzky NEK.*

## ZÁVER

Vyššie uvedená postupnosť je platná všeobecne a platí aj pre automatické navigačné komplexy, kde je uvedená postupnosť určenia nákladov na ich spoľahlivú činnosť. V súlade s vykonanými úvahami sú náklady dôležitými parametrami, ktorými sa stanovuje validita NEK resp. samotných systémov. Validita je hodnotovo určená zadanou efektívnosťou a závisí od faktorov, kam patria aj modely spoľahlivosti, akým je aj možný model (obr.6). Presnosť modelov je významná z dôvodu plánovania finančných prostriedkov. Čím je matematický model presnejší, tým menší je počet potrebných kontrol napríklad pre reálne skúšky technických lietadlových systémov. Definovaná prostá úmernosť je dôležitá najmä u modelov, ktorými sa vyjadruje dynamika efektívnosti. Z uvedeného dôvodu znalosť konštrukcie modelov je dôležitým faktorom analýzy výsledkov získaných v priebehu všetkých skúšok s ktorými je potrebné pokryť kvalitatívny odhad funkcionality NEK. Tvorba presného matematického modelu dynamiky efektívnosti závisí od programu a metodiky zisťovania spoľahlivosti NEK. Prevažná väčšina modelov je zostavená z empirických rovníc akou je aj rovnica 4. Uvedená skutočnosť predstavuje však ťažkosti pri získavaní nameraných údajov z NEK do parametrov navrhnutého modelu. Na základe všetkých vyššie uvedených skutočností je jasne deklarovaná prepojenosť uvedených systémov, ich vzájomnosť a potreba dosiahnutia vyrovnaného stavu, ktorý bude bezpečný, efektívny a zároveň dostatočne presný. Tak ako sme už uviedli vyššie v časti 2 je dôležité neopomenúť úroveň miery automatizácie

systemu od ktorej závisí aj pracovná zaťaženosť operátora/pilota, čo platí aj opačne. Operátor/pilot a jeho fyzické a mentálne predpoklady majú výrazný dopad na funkčnosť systému, preto je potrebné sa ďalej zaoberať podrobnejšie touto problematikou a skúmať ešte podrobnejšie vzťah prostredia v ktorom operátor/pilot pracuje a ktoré má dopad na výsledky jeho činnosti a celého systému.

Tento článok vznikol ako jeden z výstupov projektu Vedecko – výskumné centrum zdravia Liptov ITMS 313011B910 podporovaného v rámci operačného programu Výskum a inovácie a spolufinancovaného zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



## POUŽITÁ LITERATÚRA

- (1) LAZAR, T., BREDA, R., KURDEL, P.: *Inštrumenty istenia letovej bezpečnosti*. Košice, 2011. ISBN 978-80-553-0655-1.
- (2) TARAN, V. A.: *Ergatic operation systems./ Ergatičeskije sistemy upravlenia* (in Russian), Moskva : Masinostrojenie. 1976, BBK-kod O52-047-021.07, pp. 188.
- (3) KURDEL, P.: *Vedecko – pedagogické aspekty experimentu a modelovania so zložitými leteckými systémami*. Habilitačná práca. TUKE Košice, 2012.
- (4) NOVÁK, A., KANDERA, B.: *Nové trendy informačných technológií v leteckej doprave*. In: *Nové trendy v civilním letectví 2006 : sborník příspěvků mezinárodního odborného semináře, Brno 4.-5. května 2006*. - Brno: CERM, 2006. - ISBN 80-7204-450-8. - S. 113-116.
- (5) ANDOGA, R., FŐZŐ, L., MADARÁSZ, L., KAROL, T.: *A digital diagnostic system for a small turbojet engine*. *Acta Polytechnica Hungarica. Journal of Applied Sciences at Budapest Tech, Hungary*, vol. 10, No. 4., 2013, pp. 45-58, ISSN 1785-8860.
- (6) ADAMČÍK, F., KURDEL, P., LAZAR, T., MADARASZ, L.: *Veda a experiment v doktorandskom štúdiu*. TUKE Košice, 2015.