

# OPONENTSKÝ POSUDEK DISETAČNÍ PRÁCE

Název práce: **Metódy posudzovania spoľahlivosti zložitých elektronických systémov pre kozmické aplikácie.**

Doktorand: **Ing. Jozef ZAKUCIA**, Letecký ústav, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně

Oponent: **prof. Ing. Zdeněk VINTR, CSc., dr.h.c.**, Univerzita obrany v Brně

Předložená disertační práce se zabývá možnostmi hodnocení bezporuchovosti složitých elektronických systému pro kosmické aplikace s ohledem na možnost vzniku poruch se společnou příčinou (Common Cause Failures – dále jen CCF). Práce představuje zajímavé dílo, které přispívá k řešení aktuálních problémů souvisejících se zabezpečováním spolehlivosti kosmických aplikací. Dizertační práce má 99 stran vlastního textu a je vhodně doplněna 10 přílohami.

## *Aktuálnost zvoleného tématu*

Zvolené téma dizertační práce považuji za velmi aktuální, protože řešení dané problematiky vyvábí nezbytné předpoklady pro zvyšování bezporuchovosti kosmických aplikací, která stále nedosahuje žádané úrovně. To lze dokumentovat celou řadou případů z nedávné historie, kdy se porucha techniky stala zjevnou příčinou neúspěchu kosmické mise. Jako jeden příklad za všechny - ruská nosná raketa Proton má od roku 2010 na svém kontě již 6 selhání.

Řešení dané problematiky obecně přispívá k rozvoji metod prediktivních analýz bezporuchovosti, které představují jeden ze základních nástrojů při zajišťování spolehlivosti technických systémů. Zejména u moderních velmi složitých kosmických systémů však není aplikace dostupných metod a postupů vždy dostatečně efektivní. Proto hledání nových postupů, metod a algoritmů, které usnadní, zpřesní či zrychlí provádění analýz bezporuchovosti je činnost velmi žádoucí.

## *Cíle disertace*

Cíle disertace jsou zformulovány ve 2. kapitole práce a jsou rozděleny do tří skupin. První skupina cílů je zaměřena na analýzu současného stavu v oblasti analýz spolehlivosti používaných v kosmickém průmyslu a predikce bezporuchovosti elektronických prvků používaných v kosmických aplikacích.

Druhá skupina cílů směřuje k návrhu postupu analýzy CCF použitelného u kosmických aplikací a třetí skupina cílů zahrnuje ověření praktické použitelnosti navržených postupů.

Jednotlivé cíle jsou zformulovány realisticky, logicky na sebe navazují a odpovídají současné úrovni poznání. Celkově lze konstatovat, že všechny vytyčené cíle disertační práce byly splněny.

### *Použité metody řešení a způsoby jejich aplikace*

Základem práce je rozbor současného stavu v oblasti řešené problematice. Hlavní pozornost autor věnuje analýze standardů použitelných pro oblast prediktivních analýz spolehlivosti u kosmických aplikací se zaměřením na problematiku analýz CCF. Výsledkem provedené analýzy je komplexní přehled standardů z dané oblasti a podrobné vyhodnocení možností jejich praktické využitelnosti. Menší pozornost již autor věnuje vyhodnocení současného stavu z hlediska informací publikovaných v odborné literatuře (zejména vědeckých časopisech). Celkem je citováno jen 5 článků z časopisů a sborníků. Provedený rozbor současného stavu tak, nezachycuje některé nejnovější poznatky v oblasti analýz CCF.

Závěry provedené analýzy potom autor využívá při návrhu postupu analýzy CCF pro kosmické aplikace. V navrženém postupu autor vcelku vhodně kombinuje již známé metody a dílčí postupy s nově navrženými postupy.

Za původní lze považovat jak návrh celkového postupu analýzy uvedený v kap. 9, tak i jeho vybrané prvky. Především je to nový postup tvorby matic příčin a obran jako hlavního výstupu kvalitativní analýzy CCF a aplikace vážených odpovědí a fuzzy množin při určování  $\beta$  faktoru v rámci kvantitativní analýzy CCF. Za zajímavé také považuji teoretické úvahy a závěry autora ve vztahu k možnostem výpočtu  $\beta$  faktoru a interpretaci výsledků při jeho použití.

Jisté výhrady mám k tomu, že autor své úvahy o možnostech pravděpodobnostního popisu CCF založil na aplikaci přibližného vztahu pro pravděpodobnost poruchy systému uvedeného na str. 47 (nahore). Tento vztah předpokládá, že jednotlivé jevy (poruchy) vystupující v rovnici jsou vzájemně disjunktní. Tento předpoklad je dobře uplatnitelný tam, kde pravděpodobnost nastoupení jednotlivých poruch je velmi malá ( $P \ll 1$ ). Obávám se, že právě v případě kosmických aplikací, vzhledem k délce předpokládaných misí (několik let), tento předpoklad nebude naplněn. I v případě analyzovaného kosmického přístroje ACC se již v požadavcích připouští pravděpodobnost poruchy  $P(S) < 0,2$  a v rámci provedených analýz byla v práci predikována pravděpodobnost poruchy daného přístroje ještě podstatně vyšší (viz tab. 11-3).

Celkově lze konstatovat, že metody řešení předložené práce byly zvoleny vcelku vhodně. Autor využívá známé metody a postupy a dále je rozvíjí s využitím poznatků z teorie spolehlivosti a z oblasti matematiky.

Praktickou použitelnost navrženého postupu analýzy CCF autor demonstruje na příkladu analýzy kosmického přístroje - mikroakcelérátoru. Prezentovaný příklad naznačuje, že navržená metoda je prakticky použitelná a že umožňuje věrohodnější ohodnocení inherentní úrovně bezporuchovosti než při aplikaci metod, které neberou do úvahy možný vliv CCF.

### *Význam pro praxi a rozvoj vědního oboru*

Poznatky uvedené v disertační práci přispívají k rozvoji metod prediktivních analýz bezporuchovosti aplikovatelných u kosmických aplikací. Po odpovídající modifikaci jsou navržené postupy využitelné i u jiných složitých systémů, kde je žádoucí při analýze bezporuchovosti uvažovat i možnost vzniku CCF.

Navržená metoda je také relativně snadno prakticky použitelná, protože její aplikace nevyžaduje znalost výsledků předchozího testování daného systému na existenci CCF, či zkušenosti z předchozího provozu tohoto systému.

### *Formální úprava práce a její jazyková úroveň*

Po formální stránce je předložená práce zpracována vcelku dobře bez závažných nedostatků. Přesto mám k formální stránce práce následující připomínky:

- autor nerespektuje obecná doporučení pro zápis matematických výrazů – na některých místech jsou proměnné psány kurzivou a jinde normálním písmem,
- autor nerespektuje zásady pro zápis bibliografických citací – u některých citací chybí např. vydavatel, místo vydání či stránky, neúplně jsou uvedeny citace on-line zdrojů atd.,
- odkazy na použitou literaturu nejsou v textu vždy používány systematicky, což čtenáři ztěžuje orientaci v tom, co je převzato z jiných zdrojů a co je původní prací autora,
- nevhodný formát u některých číselných údajů – např. v tabulce 10-1 je odhad intenzity poruch uváděn až s přesností na 10 platných čísel (v některých řádcích údaje o intenzitě poruch a pravděpodobnosti bezporuchového provozu vzájemně neodpovídají).

### *Publikace doktoranda*

V seznamu vlastních publikací autor uvádí celkem osmnáct prací. Z toho 13 prací má charakter neveřejných výzkumných zpráv. Zbývajících 5 prací jsou články v časopisech a sbornících, z nichž nejméně dva (soudě podle názvu) souvisí s předmětem disertace. Bez bližšího prostudování těchto prací lze jen obtížně posoudit, zda v nich doktorand uveřejnil výsledky předložené disertační práce (jak to vyžaduje zákon č. 111/1998).

### *Teze disertační práce*

Zpracované teze disertační práce svojí strukturou a obsahem v zásadě odpovídají doporučenému členění a poskytují čtenáři všechny potřebné informace. Z formálního hlediska platí pro teze stejné připomínky jako pro disertační práci (viz výše). Po odstranění těchto nedostatků lze doporučit vytištění tezí v Edici PhD Thesis.

### *Závěr*

Doktorand při zpracování disertační práce vyšel z výsledků provedené analýzy současného stavu a při vlastním řešení využíval informace a poznatky z řešené problematiky dostupné především v zavedených standardech. Práce rozpracovává danou tematiku a přináší některé dílčí nové poznatky. Výsledky disertace jsou částečně prakticky využitelné.

Předloženou práci doktorand prokázal dostatečnou schopnost a připravenost k samostatné činnosti v oblasti výzkumu a vývoje. Protože tak disertační práce splňuje požadavky stanovené v § 47 odst. 4, Zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách, **d o p o r u č u j i** disertační práci Ing. Jozefa Zakucii k obhajobě.

### *Otázky pro doktoranda*

Doporučuji, aby se doktorand při obhajobě své práce vyjádřil k následujícím připomínkám, respektive otázkám, které souvisejí s upřesněním některých částí práce:

- 1) V práci často používáte pojmy „spolehlivost“ a „bezporuchovost“ aniž byste blíže vysvětlil jejich význam. Objasněte význam těchto pojmů a jejich vzájemný vztah.
- 2) Na str. 29 uvádíte, že se mohou vyskytovat situace s tzv. negativní závislostí, kdy platí:  $P(A \cap B) < P(A) P(B)$ . Uveďte nějaký konkrétní technický příklad, kdy tato situace může nastat.

- 3) Vaše analýza možných modelů pro pravděpodobnostní popis CCF vychází z přibližného vztahu pro pravděpodobnost poruchy systému uvedeného na str. 47 (nahore). Vysvětlete, v čem se tento přibližný vztah liší od přesného vztahu, a vysvětlete, jakým způsobem ovlivňuje použití tohoto přibližného vztahu obecnost Vašich závěrů uvedených v práci.
- 4) V tabulce 11-3 v posledním řádku uvádíte „Bezporuchovost ACC bez záložních komponent“. Vysvětlete, jak jste dospěl ke zde uvedené hodnotě 0,5469 ve vztahu k informacím o bezporuchovosti jednotlivých desek ACC uvedených v tabulce 10-1.

V Brně dne 15. července 2015



prof. Ing. Zdeněk VINTR, CSc., dr.h.c.