

MECHATRONICS APPLICATION INFLUENCE AND ITS ESTIMATION IN MILITARY VEHICLES

D. Vališ*

Summary: Nowadays typical trend apart of others is wider application of electronic components and parts inside vehicles construction. The main objective of this is on one hand to increase sub-measures of technical performances, dependability, economy as well as safety and comfort for customer. On the other hand to decrease risk imposition and life cycle costs for instance. This tendency has not avoided the military vehicles. The electronic application does not influence only the technical performances of vehicles but and this is more important also the dependability. Finally it may happen that the dependability might be influenced both in positive and negative way. Method presented bellow is created for failure effects criticality analysing as well as failures of vehicles systems analysing.

1. Úvod

Dynamický rozvoj informačních technologií a výpočetní techniky současnosti neunikne už asi nikomu. Invence těchto prvků, prostředků a metod není pouze autonomní. Poměrně často významně prostupuje mnoha, někdy i odlišnými, vědními disciplínami a průmyslovými technologiemi. Trendem současnosti je tedy též vzájemné provázání prostředků informačních technologií s jinými oblastmi lidské činnosti. Příkladem mohou být nové lékařské technologie, energetická zařízení, dopravní prostředky, aj. Významné z hlediska technického řešení jsou oblasti, které se zabývají implementací elektroniky (IT, HW a SW) do mechanických systémů. Touto disciplínou se kromě jiných podrobněji zabývá i **mechatronika**.

Díky aplikaci prvků elektroniky dochází k výraznému zvyšování kvality produkovaných výrobků. V sílícím vlivu techniky na život člověka je nutné posilovat jeho schopnost efektivně zvládat tento stav. Nemusíme významně rozebírat neustále sílící potřebu bezpečnějších, výkonnějších, ekologičtějších, ekonomičtějších a jinak přijatelných výrobků. Jak ale docílit jejich efektivního využití? Domníváme se, že i přes zvyšování úrovně kvality primárních výrobků, na jejichž výrobě se ostatně také podílejí inovační technologie, není možné docílit tak vysokých nároků na požadované vlastnosti finálních produktů bez nasazení právě prvků elektroniky. Mění se požadavky na prostředky, které nás obklopují mění i charakter prostředí, ve kterém se nacházíme a mění i nároky, které na ně máme. Aplikace s sebou však nese celou řadu důsledků, které mnohdy neumíme, ale potřebujeme posoudit. Tento příspěvek by mohl poukázat na jednu z možností jak by bylo možné v případě hodnocení důsledků aplikací elektroniky postupovat.

* Ing. David Vališ, Ph.D.: Fakulta vojenských technologií, Univerzita obrany v Brně; Kounicova 65; 612 00 Brno; tel: +420 973 443 440; fax: +420 973 443 384; e-mail: david.valis@unob.cz

2. Současná situace v oblasti

Kromě výše zmíněných oblastí se progresivní rozvoj v oblasti mechatroniky se nevyhnul ani prostředí dopravních prostředků, silničních vozidel a **vojenské techniky**. Nové elektronické aplikace do těchto technických objektů jsou schopny významným způsobem ovlivnit většinu funkcí a vlastností. Výraznou pozitivní změnou jsou totiž ovlivněny ukazatele složek jakosti. Elektronizace mimo jiné umožňuje, aby vozidla a jejich části pracovaly v takových rozsazích a režimech vlastností, jako tomu doposud nebylo možné. V našem dalším postupu se budeme věnovat implementaci elektroniky do prostředí vojenské výzbroje a techniky. Pozitivní vlivy aplikací elektronických prvků jsou v rámci vojenské techniky oceňovány a uplatňovány u těch typů vozidel, která podstatou svého určení plní extrémní úkoly. Do této skupiny patří i **bojová vozidla**.

Se změnou prostředí a společenských poměrů se výrazným způsobem změnila i povaha vedení současné bojové činnosti. Povaha nebezpečí v boji je jiná, jsou použity daleko sofistikovanější zbraně a zbraňové systémy. Změnila se i forma pro uskutečnění bojového úkolu, bojová vozidla jsou totiž nasazována v dříve ne příliš respektovaných oblastech a aglomeracích. Těmto všem změnám odpovídá i změna vlivů z vlastního vedení bojové činnosti. Je potřeba lépe chránit osádku vozidla (aktivně i pasivně), je potřeba vyšších výkonů hnacích jednotek pro dosažení lepších vlastností mobility. Dále je potřeba zvýšit hospodárnost vozidla ve vztahu k provozním nákladům a nákladům životního cyklu. Je třeba zvýšit komunikační schopnosti nejenom uvnitř bojového vozidla ale i mimo něj. Kromě dříve dostačujících přenosů informací realizovaných pomocí radiostanic, je dnes potřeba přenášet i delší hlasové zprávy, obrazové záznamy, aj. Je potřeba mít trvalý přehled o tom, kde se vozidlo v daném čase nachází, a to nejenom v zeměpisné poloze, ale také ve vztahu k ostatním vozidlům bojové sestavy. Kromě toho je například potřeba snížit úroveň akustických a tepelných spekter vyzařovaných z vozidla. Navíc je nutné mít trvalý přehled o stavu klíčových skupin vozidla, které jsou nezbytné pro úspěšné splnění požadavků vyplývajících z charakteru bojového úkolu (viz níže).

Tyto všechny požadavky, které jsou podrobněji rozvedeny níže, je nemožné zabezpečit bez použití prvků elektroniky do prostředí bojových vozidel. Vzhledem ke všem těmto požadavkům, nárokům a opatřením se výrazným způsobem odlišuje charakter požadavků na vojenská bojová vozidla od předešlých. Při všech nových aplikacích však musíme velmi pečlivě zvažovat jejich důsledky na vlastnosti spolehlivosti. Změny vlastností spolehlivosti jsou důsledkem právě zmíněných aplikací elektronických prvků a moderních informačních technologií do prostředí pozemních bojových vozidel.

Pro stanovení společného základu rozvoje a dodržování smyslu tohoto projektu byla na úrovni NATO standardizována základní definice VETRONICS:

Podle AC/225(LG.2/WG.1)D/4

Vetronika: - je integrace všech elektronických komponent a subsystémů uvnitř architektury obrněného bojového vozidla (AFV-Armoured Fight Vehicle) a logistického vozidla.

Ve svém důsledku to znamená propojení několika „vrstev“ hlavních elektrických a elektronických systémů (např. zbraňový systém, průzkumné a pozorovací prostředky, řízení hnacího agregátu aj.) a ostatních elektrických a elektronických zástaveb vozidla (např. osvětlení, prvky kolektivní ochrany, řízení podvozku a v neposlední řadě i obslužná a „komfortní“ elektronika), aj.

Hlavními důvody pro přechod od současných systémů a podob elektrické a elektronické zástavby vozidla k novým, moderním a „otevřeným“ systémům dle smyslu definice architektury vetroniky jsou:

- redukce rozměru, hmotnosti a výkonu napájecího zdroje,
- zvýšení poměru výkonu a schopností na jednotku (procento) nákladů,
- zvýšená pohotovost (udržovatelnost) a rozšiřitelnost,
- zvýšené vyhýbání se zastarávání,
- perspektivní možnosti začlenění do vozidel s hybridním pohonem,
- nižší náklady životního cyklu.

Prvky vetroniky, které podporují jednotlivé vnitřní systémy vozidla nutné pro úspěšné splnění bojového úkolu, můžeme zařadit do několika vozidlových skupin. Mezi jinými zde uvádíme například:

- vlastní elektronická architektura-sít,
- senzory vidění a pozorovací zařízení (denní, noční, infra, dálkoměrné, radarové aj.),
- zbraně (hlavní zbraň, spřažený kulomet, nabíjecí automat, inteligentní munice, aj.),
- systém řízení palby resp. systém varování se svými čidly (senzory větru, teploty, atmosférického tlaku, vertikální senzor nadmořské výšky, senzor rychlosti, SDIO, senzory radarového varování, aj.),
- počítačová část systému řízení palby,
- rozhraní „člověk-stroj“-MMI (řídící jednotky, ruční řídící jednotky, hlasové řídící jednotky, displejové jednotky, přílbové displeje, aj.),
- počítače a řídící jednotky (analogové počítače, digitální počítače, aj.),
- systémy kolektivní ochrany,
- systémy velení a řízení,
- řízení podvozku a hnací soustavy (motor, převodovka – power pack, řízení vozidla, auto diagnostika-„Built-in-test“, „On board diagnostics“, aj.),
- obslužná a komfortní elektronika aj.

V rámci zkoušek i ve vlastním provozu bylo zjištěno a dokázáno, že vložením těchto komponent ať už do modernizovaných, nebo do zbrusu nových vozidel, se podstatným způsobem zvyšují bojové, vozidlové a celkové funkce, vlastnosti a schopnosti, které dříve nebylo možné uskutečňovat. Tyto aplikační kroky musejí být ovšem provedeny systematicky a promyšleně s ohledem na dodržení funkčních vlastností celé struktury.

Pokud bychom se pohybovali jenom v oblasti vojenských vozidel, můžeme se v této souvislosti stále častěji setkat s termínem „**Digitalizace bojiště**“. Nejedná se zdaleka jenom o digitalizovanou geografickou podobu území, ale o komplexní využití přenosu, příjmu a použití jakýchkoliv digitalizovaných informací. Využití vozidlových elektricko-elektronických sítí poskytuje optimální možnosti v oblasti samotné funkce, komunikace, sběru, třídění, přenosu a ukládání dat, znásobení počtu informačních podkladů při rozhodovacím procesu, apod.

3. Aplikace do jednotlivých skupin a popis jejich vlastností

Hlavním požadavkem na bojová vozidla je zabezpečení vlastností vyplývajících z jejich podstaty. Jedná se především o vlastnosti vztažené k vedení bojové činnosti se všemi souvisejícími vlivy a současně také vlastnosti vztažené ke klasickému provozu. Z tohoto hlediska jsou bojová vozidla složitým technickým systémem, který je nasazován a musí

fungovat ve zvláštních podmínkách. Funkce a konstrukce bojových vozidel musí zabezpečit činnost a splnění úkolů, které vyplývají jak z běžného provozu, tak především z podmínek bojové činnosti. Hlavním znakem bojové činnosti je vzájemné úsilí a cílevědomá snaha obránce a protivníka zničit nebo podstatným způsobem omezit činnost soupeře, tedy i bojových vozidel.

Aby bylo bojové vozidlo schopno splnit bojový úkol, musí být zajištěno maximální naplnění požadavku **schopnosti splnit bojový úkol**. Vzhledem k dynamickému charakteru současné bojové činnosti musí být zabezpečeny klíčové schopnosti pro dosažení cíle v ozbrojeném konfliktu. Jedná se především o dostatečnou **palebnou sílu, ochranu, pohyblivost a zajištění komunikace**. V těchto jednotlivých schopnostech, které jsou ve své podstatě hlavními charakteristikami technické funkčnosti, musí vlastnosti bojového vozidla zaručovat maximální úspěšnost.

V případě zajištění palebné síly se jedná o prvky, které jsou schopny úspěšně vést palbu a zabezpečit veškeré její složky. Jedná se o požadavky na detekci cíle, vlastní cílení a palbu. Mezi aktivní a výkonové prvky řadíme například senzory, zaměřovače, výpočetní stanice, obsluha a generování funkce zbraně, aj.

Pokud bychom se zaměřili na mobilitu, zde je nutné si uvědomit, že úspěch v boji je zaručen nejenom kvalitní zbraní a její palbou, ale také pohybem, manévrováním, schopností být v požadovaný čas na požadovaném místě (nebo tam naopak již nebýt). V případě aplikace prvků vetroniky zde můžeme zohlednit pouze rozsah taktických a operačních schopností vozidla v rámci mobility. Jednalo by se o prvky určené pro zajištění vlastního pohybu - hnací jednotka jako celek, plánování a určování trasy, určení pořadí přesunu po jednotlivých úsecích a časech, a také v rámci jednotky, vyhnutí se nežádoucím místům nebo objektům, dodržování vzdálenosti mezi vozidly at' za přesunu tak v boji, aj.

V případě prvků sloužících k ochraně vozidla a jeho osádky se jedná o absolutně nejdůležitější soubor prvků a systémů, které chceme aby fungovaly v případě, pokud by všechny ostatní už selhaly. Když bude vozidlo nalezeno, sledováno nebo vyřazeno ještě před jeho bojovým zasazením, pak jsou nám všechny ostatní vozidlové systémy se svými vlastnostmi zbytečné. Jedná se prvky a systémy, které zajišťují vyhnutí se detekci, zaměření, zásahu a zničení. V tomto případě se nejedná jenom o senzory, ale opět o soustavy, které například v případě zaměření a pokusu o zasažení, resp. zničení aktivují ochranné prostředky ke zmaření nežádoucích účinků.

Poslední, ale ne méně důležitou schopností vozidla je schopnost operovat v sestavě jednotky, být schopno alespoň přijímat povely, nebo je taktéž vydávat a předávat. K tomuto účelu nám slouží všechny vozidlové komunikační systémy a prostředky. Obecně se tyto systémy nazývají systémy **CⁿIⁿ** (Command-Control-Communication Intelligence-Interoperability, etc.) česky systémy velení a řízení. Tyto prvky a systémy nám slouží nejenom k navázání hlasového spojení, ale dnes již také vizuálního, televizního, aj. Bez kvalitní komunikace a její podpory si dnešní boj nelze představit.

Všechny tyto skupiny a v nich aplikované prvky považujeme za klíčové ve vztahu k plnění bojového úkolu. Spolu s některými dalšími prostředky mají své místo ve vozidlové architektuře vetroniky. Jejich aplikace se nikdy neobejde bez důsledků, které nejsou vždy jenom pozitivní. Důsledky nemají vliv jenom na samotné funkční a technické vlastnosti, ale ve svém důsledku na ukazatele spolehlivosti, především pohotovosti a bezporuchovosti. Ne jinak je tomu i v případě rizik spojených s provozem a použitím bojových vozidel.

Všechny tyto důsledky můžeme rozdělit na žádoucí a nežádoucí. Ty aplikace, které pro nás mají pozitivní dopad, ať jsou žádoucí nebo nežádoucí, jsou samozřejmě přínosné. Opakem jsou ty důsledky, které pro nás mají negativní dopad. Při volbě prvků, které by se měly do vozidla aplikovat by měly být všechny aplikační kroky podrobeny pečlivé analýze ještě v návrhových fázích. V těchto analýzách by mělo být odhaleno maximální množství důsledků a jejich povaha.

Předpokládáme, že i negativní důsledky mohou být chtěné, pokud se jim už nijak nelze vyhnout a mají pro nás přijatelnou intenzitu svého dopadu. Co se týče nechtěných negativních důsledků, kterým se nelze vyhnout neboť o nich nevíme, jsou pro nás opět přijatelné pokud je přijatelná intenzita jejich dopadu. Horší je to s chtěnými negativními důsledky jejichž intenzita dopadu je pro nás nežádoucí, rovněž tak jako s nechtěnými negativními důsledky s nežádoucí intenzitou dopadu. Nesmíme si špatně vykládat slovo „chtěný“ u negativních důsledků, ať žádoucích tak nežádoucích. Význam je dán tím, že do vozidla **chceme** provést danou aplikaci, a tedy i důsledky, byť negativní, mohou být **chtěné**, neboť nejsme sto se jejich výskytu a projevu za použití současných technik a znalostí nijak vyhnout.

Naopak nechtěné negativní důsledky jsou dány svou primárně nechtěnou povahou, která je dána jejich latencí, jež se k dané aplikaci váže. Vyskytují se nechtěně, a mohou být, ale nemusejí, spojeny konkrétně s danou aplikací. Přesto projeví svůj vliv, a mnohdy i na jiném místě. Podstatné je pro nás to, že působí v nepřijatelné intenzitě.

Podstatu jednotlivých důsledků jsme si nyní rozebrali. Daleko důležitější pro nás však je, abychom byli schopni tyto důsledky klasifikovat a co je neméně důležité, také verifikovat. V tomto příspěvku budeme pojednávat o důsledcích, které mají vliv na vozidlové funkce a vyplývající ze vzniku poruchy. Proto, abychom mohli s jednotlivými funkcemi a vozidlovými stavy dobře pracovat, musíme se nejdříve zaměřit na vhodné definování funkčních stavů bojového vozidla a jednotlivých vozidlových funkcí.

4. Provozní stavy vozidla a vozidlové funkce

Předpokládáme, že bojové vozidlo jako takové se může během plnění bojového úkolu nacházet ve třech různých navzájem se vylučujících stavech. Ze znalosti jednotlivých stavů definovaných dle IEC 191 nelze však rozhodnout o dílčím rozčlenění provozuschopného stavu na stav, který není plně funkční, ale není ještě provozu-neschopný. Tyto stavy a jejich přesné vymezení jsou uvedeny níže. Přechody funkce vozidla mezi jednotlivými funkčními stavy mohou být způsobeny vnější nebo vnitřní příčinou. Zde se zabýváme pouze jevem, který způsobí přechod vozidla do jiného stavu nastalý z vnitřních příčin, a tím je **vznik poruchy**.

Jednotlivé funkční stavy:

„0“ – **Provozu-schopný stav**: – stav, kdy objekt je schopen plnit požadovanou funkci (5).

Pro potřeby příspěvku vysvětlujeme termín takto:

- v tomto stavu se nacházejí klíčové skupiny nebo entity zabezpečující okamžitou provozuschopnost objektu v plném funkčním rozsahu. V systému se mohou nacházet objekty, které se v daném okamžiku nacházejí ve stavu porucha nebo se mu blíží. Nemají však takový význam pro celkovou funkci, aby podstatným způsobem ovlivnily splnění požadavků vyplývajících z definice „**Schopnost splnit bojový úkol**“. V tomto stavu se funkčnost a výkonnost objektu blíží hodnotě 100%.

„1“ – **Částečný poruchový stav:** – poruchový stav charakterizovaný neschopností objektu plnit některé, nikoliv však všechny požadované funkce.

Pro potřeby příspěvku vysvětlujeme termín takto:

- objekt se nachází v tomto stavu, když jeho klíčové skupiny nebo entita (popř. jejich větší počet) omezují svým částečným poruchovým stavem schopnost objektu být v plném provozuschopném stavu. V tomto stavu a okamžiku se mohou jiné entity, které nemají podstatný vliv na podmínky vyplývající ze „**Schopnosti splnit bojový úkol**“, nacházet ve stavu porucha nebo plně provozuschopném stavu. V tomto stavu mohou klíčové skupiny pracovat na snížený výkon nebo s časovou prodlevou různou od normálního „**Plně provozuschopného stavu**“, musí však zabezpečit nutné funkce vyplývající z požadavků „**Splnit bojový úkol**“.

„2“ – **Provozuneschopný stav:** – stav objektu charakterizovaný jeho neschopností plnit z jakýchkoliv důvodů požadovanou funkci (5).

Pro potřeby příspěvku vysvětlujeme termín takto:

- objekt se nachází v tomto stavu, když jeho klíčové skupiny nebo entita (popř. jejich větší počet) způsobují svou poruchou (poruchovým stavem) poruchu (poruchový stav) celého objektu. V tomto stavu se jiné entity, které nemají podstatný vliv na funkci objektu jako celku, mohou nacházet v jiných stavech.

Z výše popsaných stavů objektu obecně vychází charakteristika jednotlivých klíčových skupin, které mají přímý vztah se „**Schopností splnit bojový úkol**“. Tyto skupiny jsou svým určením nezbytné pro realizaci požadavků vyplývajících z definice „**Schopnosti splnit bojový úkol**“. Předpokládáme klasické umístění skupin v jednotlivých vozidlových prostorech, a také jejich obvyklé funkční určení. Pro jednoznačné rozlišení funkčního určení jednotlivých vozidlových skupin, a z důvodu srozumitelnějšího pochopení zde uvádím vymezení pojmů **funkce, hlavní funkce a vedlejší funkce**.

Funkce: - činnost, resp. způsob činnosti, kterou objekt plní svůj účel, tzn. důvod (důvody), pro který (-é) existuje resp. má existovat.

Hlavní funkce: - vyjadřuje podstatu existence objektu. Je tím nejobecnějším vystižením účelu objektu. Nejkoncentrovanější podobou popisu hlavní funkce je (ve slovním vyjádření) co nejjednodušší oznamovací věta.

Vedlejší funkce: - vedlejší funkce specifikují u objektu jeho další nezbytné funkční vlastnosti, které umožňují plnění hlavní funkce. Jsou obvykle hlavním pracovním předmětem při návrhu a doplňují hlavní funkci o konkrétní vlastnosti. Mají také v rámci hlavní funkce různé „váhy“ v závislosti na různých okolnostech (druh výrobku, jeho použití, provozní podmínky, cenová třída aj.)

Jako příklad pro demonstraci dalšího postupu vybíráme, podle našeho názoru klíčovou, vozidlovou vlastnost, jež je zajištěna funkcemi, která představuje podstatu schopností kladených na bojové vozidlo. Jedná se o pohyblivost, jejíž naplnění musejí zabezpečit níže uvedené vozidlové skupiny.

SCHOPNOST PŘESUNU A POHYBU: - **hlavní funkcí** je schopnost pohybovat se, přesunovat se a manévrovat za využití vlastní síly hnací soustavy a po vlastní ose.

Tyto požadavky jsou zabezpečeny následujícími vedlejšími funkcemi:

- zajištění zdroje hnací síly – motor (power pack),
- změna hnací energie a její využití v celém rozsahu – spojka, převodovka (power pack),
- schopnost manévrování (zatačení, překonávání překážek) – řízení,
- možnost přibrzdování, brždění a zajištění stojícího vozidla – provozní brzdy, odlehčovací brzdy,
- pérování.

Ve všech skupinách, charakterizovaných výše uvedenými vedlejšími funkcemi potřebných pro zajištění požadavků na mobilitu, mohou být aplikovány prvky architektury vetroniky. Může se jednat buď o zajištění hlavních funkcí (pohon, brždění, aj.), neboť dnes je již možné i tyto funkce zajišťovat plně elektricky a elektronicky. Anebo se může jednat o zajištění vedlejších a doplňkových funkcí (řídících, kontrolních, resp. diagnostických). Jak je již uvedeno v úvodu, každá z těchto aplikací s sebou nese celou řadu důsledků. Pokud jsou aplikace provedeny nekonceptně a autonomně může v konečném důsledku dojít ke snížení celkových schopností v funkce vozidla. Pro nás je však důležité, aby tomu bylo naopak. Jako příklad nám může posloužit případ, kdy je možné s vozidlem po aplikaci prvků vetroniky provádět činnost i poté, kdy byla určitá vozidlová funkce snížena. Díky aplikaci určitých prvků vetroniky můžeme detekovat buď danou poruchu díky sofistikovaným diagnostickým prvkům ještě před jejím vznikem, anebo dokončit úkol za využití snížené funkce, což je pro nás ve specifických podmínkách plnění bojového úkolu stále lepší než úplná ztráta dané funkce. Tyto možnosti jsme dříve bez aplikace některých prvků k dispozici vůbec neměli. Důkazem toho je, že pokud je možné s vozidlem splnit bojový úkol i za snížených funkčních schopností vozidlových skupin jedná se o pozitivní okolnost.

My se ovšem v našich úvahách zaměřujeme na důsledky, které s sebou aplikace prvků vetroniky do vozidlových skupin nese. Naší snahou je, abychom uměli tyto důsledky především identifikovat, analyzovat, kvalifikovat i kvantifikovat. Důvod pro hledání způsobu hodnocení důsledků aplikace vetroniky na spolehlivost byla mimo jiné nedostupnost potřebného nástroje a neustálý nárůst aplikací prvků vetroniky.

Způsob hodnocení je založen na aplikaci teorie fuzzy množin jejíž obecná podstata bude uvedena níže. Při sestavování metodologie pro hodnocení jsem vycházel především z vazby mezi jednotlivými důsledky aplikací a funkčními stavy vozidla. Proto, abychom zabezpečili požadavek na vlastnosti jednotlivých vozidlových skupin s prvky vetroniky, ve smyslu schopnosti bojového vozidla splnit bojový úkol, musíme zohlednit více oblastí pro specifikaci důsledků jejich aplikace.

5. Matematický model

Obecně předpokládejme, že kterákoliv vozidlová skupina bojového vozidla se podle předešlého popisu může nacházet v libovolném časovém okamžiku v kterémkoliv funkčním stavu. Přechod mezi těmito stavy je z velké části podřízen stochastickým zákonitostem. Jako vhodný prostředek pro znázornění přechodů mezi jednotlivými funkčními stavy se jeví použití teorie Markovových procesů. Podstatou přechodů mezi jednotlivými funkčními stavy se však zde zabývat nebudeme. Větší pozornost soustředíme na matematické modelování důsledků spojených s přechodem mezi jednotlivými stavy.

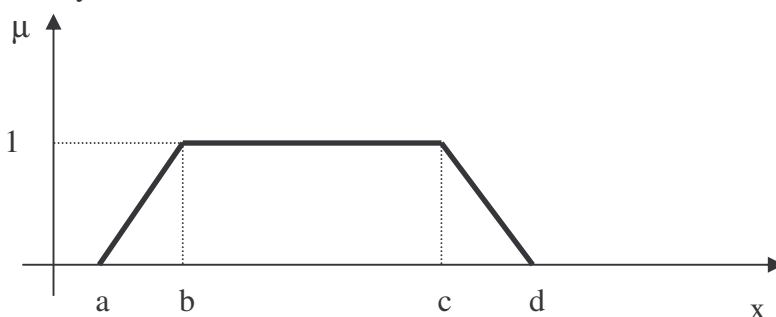
Pro tento účel jsme se rozhodli použít teorii fuzzy množin. **Závažnosti důsledků poruch** D jednotlivých skupin budou touto metodou přiřazeny do fuzzy množin. Zde se omezuje na to, že jednotlivé fuzzy podmnožiny jsou sestaveny z koeficientů **závažnosti důsledků poruchy**. Na základě závažnosti těchto důsledků se později určí, do jaké míry jsou dané skupiny důležité ve smyslu nepostradatelnosti při plnění bojového úkolu. Ve vztahu ke „**Schopnosti splnit bojový úkol**“ a ve smyslu inherentní pohotovosti dané skupiny či celku jsme pro klasifikaci závažností důsledků poruch zvolili následující tři kritéria:

- funkce,
- bezpečnost,
- náklady spojené s obnovou.

Každému z těchto kritérií jsme vytvořili vzestupnou škálu pro posouzení závažností možných důsledků poruchy vztáženou k jednotlivým kritériím. Škála je určena množinou I se čtyřmi prvky $I \in \{1;2;3;4\}$, přičemž velikost hodnoty jednotlivého důsledku poruchy ve vztahu ke zvoleným kritériím je označena D_i , kde $i \in \langle 1,2,3,4 \rangle$, a se zvyšující se hodnotou se zvyšuje i závažnost důsledku. Tyto hodnoty jsou dále základem pro výsledné vyjádření závažnosti důsledku D jednotlivých poruch, přičemž je výsledný koeficient D zároveň koeficientem důležitosti dané skupiny, a je vyjádřen vztahem:

$$D = D_1 \cdot D_2 \cdot D_3; D_{\min} = 1, D_{\max} = 64. \quad (1)$$

Pro sestavení fuzzy podmnožin používáme metodu „**Fuzzifikace veličin**“. Konkrétní pozorované hodnoty fyzikálních veličin jsou ohraničené a vyjadřujeme je pomocí reálných čísel. Proto jako universum fuzzy čísel reprezentujících vágní pojmy souvisejících s klasifikací důsledků poruchy postačí vhodný uzavřený interval pro každou z nich. Jednotlivé třídy závažností důsledků, resp. důležitosti získáme rozdělením výsledného koeficientu D do vhodných podintervalů (viz. níže). Pro praktické využití a názorné grafické vyjádření plně vyhovují lichoběžníková fuzzy čísla, viz obr. 1, kde μ vyjadřuje funkci příslušnosti a x získané fuzzy číslo.



Obr. 1: Příklad lichoběžníkového fuzzy čísla

Abychom stanovili konkrétní funkci příslušnosti pro fuzzifikovanou hodnotu zvolené veličiny, stačí zjistit, v jakém intervalu se tato hodnota obvykle vyskytuje. Tento interval je

pak jádrem hledaného fuzzy čísla a značíme ho $\langle b, c \rangle$. Pro náš případ je toto jádro vždy vyjádřeno okrajovými hodnotami jednotlivých závažností důsledků poruch na skupině (viz níže). Dále zjistíme, jakých hodnot veličina zaručeně nenabývá. Množinu těchto hodnot předpokládáme ve tvaru $(-\infty; a) \cup (d; \infty)$, přičemž $a < b \leq c < d$. Potom interval $\langle a; d \rangle$ je support-množina „A“ hledaného fuzzy čísla.

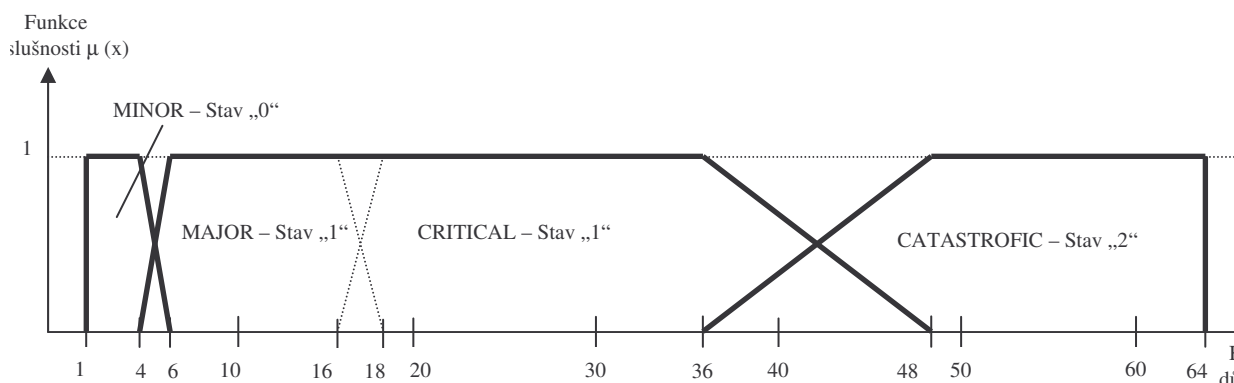
Funkci příslušnosti hledaného fuzzy čísla do množiny „A“ pak vyjádříme ve tvaru:

$$\mu_A(x) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{x-d}{c-d}, 1\right), 0\right). \quad (2)$$

Tento zápis včetně lichoběžníkového tvaru fuzzy čísla bude znázorněn níže pro všechny klasifikované závažnosti důsledků poruch vzniklých na skupinách ve vymezených prostorech. Pro potřeby práce a na základě výše uvedené škály vztahené k jednotlivým kritériím rozdělujeme závažnosti důsledků poruch dle např. **Mil-Std 1309**, **SAE ARP 5580-FMEA**, **IEC 608 12**, aj. do následujících skupin:

Minor	stav „0“ fuzzy množina $\langle 1; 4 \rangle$;
Major	stav „1“ fuzzy množina $\langle 6; 16 \rangle$;
Critical	stav „1“ fuzzy množina $\langle 18; 36 \rangle$;
Catastrophic	stav „2“ fuzzy množina $\langle 48; 64 \rangle$.

Příklad fuzzy množiny s rozdělením závažností důsledků je znázorněn na následujícím obrázku 2.



Obr. 2: Matematický grafický model příslušností závažností důsledků poruch do fuzzy množin

6. Závěr

Dle výše uvedeného postupu pro analýzu závažností důsledků poruch na jednotlivých vozidlových skupinách provedeme posouzení těch vozidlových skupin, které mají bezprostřední vazbu na zabezpečení požadavků splnění **bojového úkolu** ve vztahu k mobilitě. Při posouzení provedeme vyhodnocení jednotlivých skupin bez aplikace prvků vetroniky a s aplikací těchto prvků.

Výsledky nám ukáží nejenom závažnosti důsledků poruch daných skupin, ale také úroveň důležitosti dané skupiny pro naplnění požadavků vyplývajících ze splnění bojového úkolu. Výsledkem může být také matematický model, kterým je znázorněno jak mohou jednotlivé skupiny přecházet mezi svými funkčními stavy. Pro nás jsou tyto výsledky důležité především v tom, že nám již prediktivně vyjadřují slabá místa, která je nutné již v návrhové fázi provázat s jednotlivými prvky architektury vetroniky. Z tohoto důvodu je nezbytně nutné, aby při zvažovaných aplikacích analýza byla provedena. V opačném případě se můžeme dostat do

konfliktu s předpokladem na zajištění funkčních schopností, které i přes poměrně rozsáhlé aplikační úsilí bude na svém závěru vykazovat nižší schopnosti, než tomu bylo před započítáním aplikace. Příklad můžeme demonstrovat na modernizačním provedení tanku T-72/97 M4 CZ, které bohužel nenaplnilo počáteční očekávání.

7. Použitá literatura

- Bajenescu, T., I.; Băzu, M., I. (1999) *Reliability of Electronic Component*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Finn, J. (1998) *Electronic component reliability*, Chichester [UK]: John Wiley & Sons Ltd. 1998, ISBN: 0-471-95 296-6.
- Hughes, CH. P. (1998) *Vetronics: Strengthening the Foundation of Battlefield Digitalisation*. *Military Technology*, Issue 10, p. 22 – 28.
- International High Speed Data Bus User Group: *Catalogue of Architectures*, document number: IHSDB-APP-GEN-D-001-1, NATO 2001.
- Mezinárodní elektrotechnický slovník*, Praha: Český normalizační institut 1993, ČSN IEC 50 (191).
- Novák, V. (1986) *Fuzzy množiny a jejich aplikace*, Praha: Matematický seminář SNTL.
- Novák, V. (2000) *Základy fuzzy modelování*. Praha, BEN.
- Rieth, P. (1999) *Technologie im Wandel: X-by-wire*. In „*Neue Elektronikkonzepte in der Automobilindustrie*. Institute for International Research (IIR)“, Stuttgart, Germany.
- Vintr, Z. (1998) *Specifikace požadavků na bezporuchovost technických objektů*. Brno. VA v Brně, Habilitační práce.