

ČESKÝ OBRANNÝ STANDARD



**OCHRANA LETADLA, POSÁDKY A LETECKÝCH SYSTÉMŮ
PROTI ELEKTROSTATICKÝM NÁBOJŮM ZA LETU**

Praha

(VOLNÁ STRANA)

ČESKÝ OBRANNÝ STANDARD

**OCHRANA LETADLA, POSÁDKY A LETECKÝCH SYSTÉMŮ
PROTI ELEKTROSTATICKÝM NÁBOJŮM ZA LETU**

Základem pro tvorbu tohoto standardu byl následující originál dokumentu:

- STANAG 3856, ed. 1* – PROTECTION OF AIRCRAFT, CREW AND
SUBSYSTEMS IN FLIGHT AGAINST THE
EFFECTS OF ELECTROSTATIC CHARGES AEP-29
Ochrana letadla, posádky a leteckých systémů proti
elektrostatickému výboji za letu AEP-29
- AEP-29, ed. 1* – PROTECTION OF AIRCRAFT, CREW AND
SUBSYSTEMS IN FLIGHT AGAINST THE
EFFECTS OF ELECTROSTATIC CHARGES
Ochrana letadla, posádky a leteckých systémů proti
elektrostatickému výboji za letu

© Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti

Praha 2006

OBSAH	Strana
1 PŘEDMĚT STANDARDU	6
2 NAHRAZENÍ STANDARDŮ (NOREM)	6
3 SOUVISÍCÍ CITOVANÉ DOKUMENTY	6
4 ZPRACOVATEL ČOS	6
5 SEZNAM ZKRATEK	6
6 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ	7
6.1 ÚČEL	7
6.2 NAHROMADĚNÍ ELEKTROSTATICKÝCH NÁBOJŮ	7
6.3 ANTISTATICKÁ OCHRANA	7
6.4 OVĚŘENÍ PLATNOSTI.....	8
6.5 ÚDRŽBA	8
PŘÍLOHA A POPIS JEVU ELEKTROSTATICKÉHO NABÍJENÍ	9
1 HROMADĚNÍ ELEKTROSTATICKÝCH NÁBOJŮ.....	9
1.1 ELEKTRINA VZNIKLÁ TŘENÍM A SHROMAŽĐOVÁNÍM NÁBOJŮ	9
1.2 SPALINY POHONNÉHO SYSTÉMU	9
1.3 OKOLNÍ ELEKTRICKÉ POLE	9
2 PROCES VYBÍJENÍ	10
2.1 VÝBOJE DO ATMOSFÉRY	10
2.2 VÝBOJE MEZI IZOLOVANÝMI VODIVÝMI PLOCHAMI.....	11
2.3 VÝBOJE NA IZOLAČNÍCH POVRŠÍCH	11
2.4 VÝBOJ DO ZEMĚ.....	11
2.5 VÝBOJE DO ZEMĚ PO PŘISTÁNÍ.....	11
3 NEPŘÍZNIVÉ ÚČINKY NA LETADLO ZA LETU	11
3.1 VÝBOJE DO ATMOSFÉRY	11
3.2 VÝBOJE DO ZEMĚ	12
PŘÍLOHA B ANTISTATICKÁ OCHRANA POSÁDEK A SYSTÉMŮ LETADLA ZA LETU	13
1 VŠEOBECNÁ USTANOVENÍ	13
2 ELEKTRICKÁ PRŮCHODNOST	13
3 POVRCHOVÁ ÚPRAVA.....	13
3.1 HLAVNÍ POTAH	13
3.2 VNĚJŠÍ IZOLAČNÍ POVRCHY	14
3.2.1 OPTICKY PRŮHLEDNÉ POVRCHY	14
3.2.2 ELEKTROMAGNETICKY PRŮHLEDNÉ POVRCHY	15
3.2.3 OSTATNÍ POVRCHY	15
3.3 VNĚJŠÍ ZAŘÍZENÍ	15
3.3.1 ANTÉNY	15

3.3.2 ANTÉNA S IZOLAČNÍM KRYTEM	15
3.3.3 PRUTOVÉ ANTÉNY	15
3.3.4 POLOHOVÁ A ANTIKOLIZNÍ SVĚTLA	15
3.3.5 OSTATNÍ ZAŘÍZENÍ.....	15
4. VYBÍJEČE STATICKÉ ELEKTŘINY.....	16
4.1 STANOVENÍ CELKOVÉHO PROUDU.....	16
4.2 URČENÍ CELKOVÉHO POČTU VYBÍJEČŮ	16
4.3 VÝBĚR TYPU VYBÍJEČE A JEHO CHARAKTERISTIKY	16
4.4 ROZMÍSTĚNÍ VYBÍJEČŮ.....	17
4.5 PRAVIDLA PRO INSTALACI	17
4.6 ZVLÁŠTNÍ PŘÍPAD	18
4.7 VRTULNÍKY.....	18
PŘÍLOHA C HODNOCENÍ ANTISTATICKÉ OCHRANY POSÁDKY A SYSTÉMŮ LETADEL ZA LETU.....	19
1 PLÁN PRO HODNOCENÍ LETADLA Z HLEDISKA OCHRANY PROTI ELEKTROSTATICKÝM NÁBOJŮM	19
1.1 FÁZE KONSTRUKČNÍHO NÁVRHU	19
1.2 ETAPA VÝROBY PROTOTYPU	19
2 ZKOUŠKY OVĚŘOVÁNÍ SPRÁVNOSTI.....	19
2.1 VŠEOBECNÁ PRAVIDLA.....	19
2.2 UPOZORNĚNÍ	20
2.3 ZKOUŠKA INJEKTÁŽÍ ELEKTROSTATICKÉHO NÁBOJE.....	20
2.3.1 ÚČEL	20
2.3.2 OBLAST POUŽITÍ.....	20
2.3.3 ZKUŠEBNÍ VZOREK	20
2.3.4 KONTROLNÍ ZAŘÍZENÍ	20
2.3.5 PŘÍPRAVA ZKOUŠKY	20
2.3.6 POSTUP ZKOUŠKY	21
2.4 ZKOUŠKY ZVÝŠENÍM POTENCIÁLU.....	21
2.4.1 ÚČEL	21
2.4.2 OBLAST POUŽITÍ.....	21
2.4.3 ZKUŠEBNÍ VZOREK	21
2.4.4 ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ.....	21
2.4.5 PŘÍPRAVA ZKOUŠKY	22
2.4.6 POSTUP ZKOUŠKY	22

1 Předmět standardu

ČOS 168001, 1. vydání, zavádí STANAG 3856 (AEP-29), edice 1, **Ochrana letadla, posádky a leteckých systémů proti elektrostatickému výboji za letu** (Protection of aircraft, crew and subsystems in flight against electrostatic charges), do prostředí ČR.

ČOS spolu s odkazy na standardizační dokumenty, zde citované, definuje požadavky a zásady, které se musí respektovat při konstrukčním návrhu a údržbě letadel z hlediska ochrany posádky a systémů letadel za letu proti účinkům hromadění elektrostatického náboje.

2 Nahrazení standardů (norem)

Tento standard nenahrazuje žádnou v ČR doposud platnou normu nebo standard.

3 Souvisící citované dokumenty

V tomto standardu nejsou odkazy na žádné normativní dokumenty.

4 Zpracovatel ČOS

LOM PRAHA, s. p., odštěpný závod VTÚL a PVO, Ing. Antonín Vitovský.

5 Seznam zkratek

Zkratka	Anglický text	Český překlad
IFF	Identification Friend or Foe	Identifikace vlastní-cizí
ILS	Instrument Landing System	Systém přesných přibližovacích majáků
KV		Krátké vlnové délky
LORAN	Long Range Navigation	Dvourozměrná impulzní hyperbolická radionavigační soustava
OMEGA	OMEGA navigation system	Celosvětová navigační soustava OMEGA
TACAN	Tactical Air Navigation	Taktický letecký navigační systém
UKV		Ultra krátké vlnové délky
VKV		Velmi krátké vlnové délky
VOR	VHF Omnidirectional Range	Všesměrový VKV (rádiový) maják

6 Všeobecná ustanovení

6.1 Účel

6.1.1 Účelem tohoto dokumentu je zajistit směrnici pro konstrukční návrh a zásady ochrany posádky a systémů letadel za letu proti účinkům nahromadění elektrostatického náboje tím, že se:

- vezme v úvahu jev elektrostatického náboje jako možné nebezpečí pro posádku letadla a systémy letadla za letu,
- provede konstrukční návrh letadla takovým způsobem, aby posádka letadla a systémy letadla byly chráněny proti účinkům nahromadění elektrostatického náboje,
- provedou nezbytná opatření k ověřování a udržování účinnosti ochrany.

6.2 Nahromadění elektrostatických nábojů

6.2.1 Příloha A zajišťuje pro informaci popis jevu elektrostatického nabíjení.

6.2.2 Celkový nabíjecí proud, který se musí vzít v úvahu při návrhu ochrany, je dán následujícím matematickým výrazem:

$$I_T = I_C \cdot S_A \cdot \frac{V}{600}$$

kde I_T = celkový nabíjecí proud [μA]

I_C = hustota nabíjecího proudu ($300 \mu\text{A}/\text{m}^2$)

S_A = čelní plocha letadla [m^2]

V = rychlost letadla (v uzlech; 1 uzel = $1,852 \text{ km/h} = 0,514 \text{ m/s}$)

6.3 Antistatická ochrana

6.3.1 Antistatická ochrana letadla za letu spočívá v:

- elektrické průchodnosti mezi základními částmi draku,
- úpravě izolačních povrchů (použití povrchové metalizace jako vodivé pokovení nebo vodivá barva),
- použití vybíječů statické elektřiny.

6.3.2 Podrobněji jsou tyto tři body rozvedeny v Příloze B.

6.3.3 Maximální hodnota povrchového odporu, se kterou se musí počítat při úpravě izolačních povrchů, se pohybuje ve stovkách $\text{M}\Omega$ na jednotku plochy.

6.3.4 Jestliže je nutné použít vybíječů statické elektřiny, je jejich minimální počet stanoven matematickým výrazem:

$$N = \frac{I_T}{I_D}$$

kde I_T = celkový nabíjecí proud

I_D = nominální proud vybíječe

6.3.5 Aby se zaručila vyhovující činnost rádiových zařízení, dává se přednost použití vybíječů statické elektřiny, které dovolují přerušení elektromagnetické vazby nábojů.

6.4 Ověření platnosti

6.4.1 Postup při kvalifikačním posuzování letadla musí obsahovat ověření umožňující zhodnocení správnosti antistatické ochrany.

6.4.2 Příloha C popisuje pro informaci některé postupy ověřování, které se mohou použít v rámci kontroly správnosti.

6.4.3 Jako minimum se musí ověřit následující:

- elektrická průchodnost draku,
- odpor povrchového pokovení izolačních povrchů,
- elektrické ukostření pokovených povrchů na konstrukci draku,
- umístění a instalace vybíječů statické elektřiny,
- stejnosměrný odpor vybíječe statické elektřiny,
- elektrické ukostření kostry vybíječe statické elektřiny ke konstrukci draku,
- vysokofrekvenční rušení generované vybíječem statické elektřiny.

6.5 Údržba

6.5.1 Existuje nebezpečí, že základní části antistatické ochrany budou postupně degradovat.

6.5.2 Dokumentace pro údržbu musí obsahovat nezbytné instrukce, jejichž dodržování zaručuje správné parametry antistatické ochrany po celou dobu životnosti letadla.

Popis jevu elektrostatického nabíjení

1 Hromadění elektrostatických nábojů

Každé letadlo za letu je předmětem jevu nazvaného elektrizace (buzení elektřiny). Rozeznávají se tři druhy nabíjení:

- nabíjení způsobené elektřinou vzniklou třením a shromažďováním nábojů,
- nabíjení způsobené spaliny pohonného systému,
- indukované náboje vnějšími elektrickými poli.

1.1 Elektřina vzniklá třením a shromažďováním nábojů

Triboelektrický účinek je elektrické nabíjení letadla za letu způsobené dopadem (narázem) částic, jako jsou vodní kapky, déšť, sněh, ledové krystalky a částice písku a prachu. Jev hromadění nábojů se objeví tehdy, když letadlo prolétne oblastí takových částic. Při kontaktu s potahem trupu zanechají tyto částice na povrchu elektrický náboj.

V závislosti na druhu, rozměru, hustotě a relativní rychlosti částic, dopadajících na potah, vzniká větší nebo menší nabíjecí proud. Proudové hustoty, které jsou stanoveny pro různé druhy atmosférických srážek, jsou následující:

- | | | |
|---------------------------|---|-------------------------------------|
| – cirrus (beránkový mrak) | = | 50 až 100 $\mu\text{A}/\text{m}^2$ |
| – strato-cumulus | = | 100 až 200 $\mu\text{A}/\text{m}^2$ |
| – sněh | = | 300 $\mu\text{A}/\text{m}^2$ |

Jen zřídka je zjištěna hodnota 400 $\mu\text{A}/\text{m}^2$.

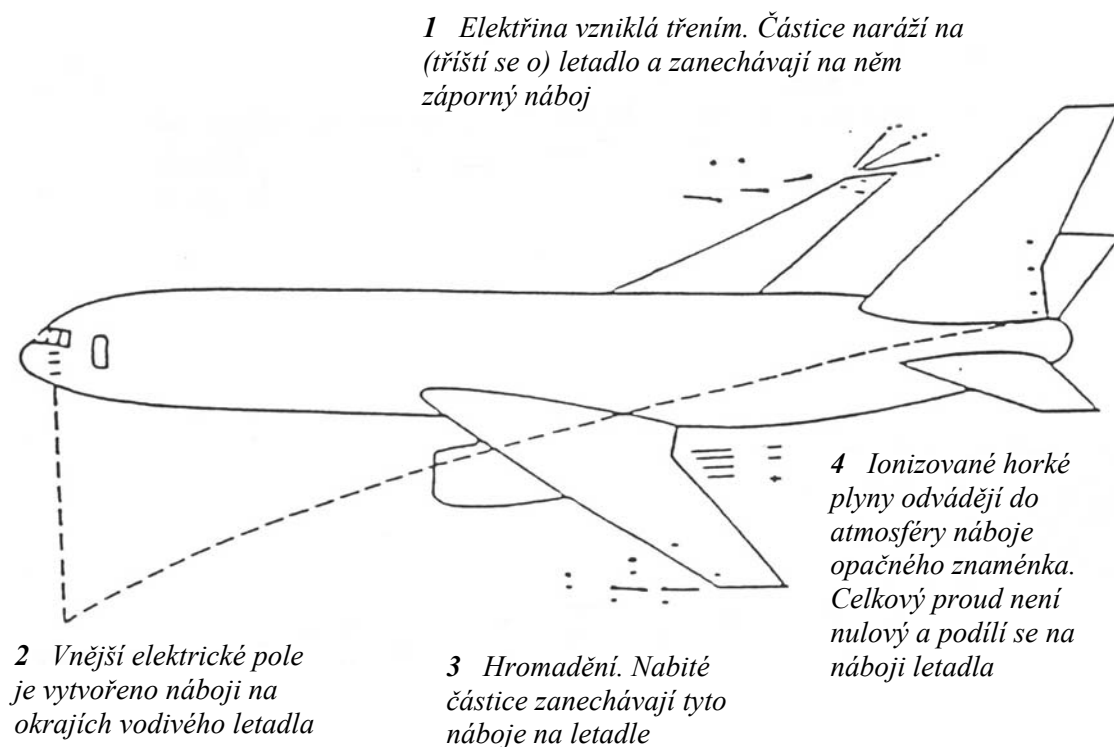
1.2 Spaliny pohonného systému

Některé pohonné jednotky vypouštějí do atmosféry ionizované zplodiny hoření, které působí na nabíjení letadla. V závislosti na druhu a provozních charakteristikách motoru se dosahuje absolutních hodnot proudu od 0 do 400 μA . V tomto případě nabíjení závisí na povětrnostních podmínkách.

Tento jev, zanedbatelný u letadel poháněných vrtulí, je velmi důležitý u letadel, která mají motory s přídavným spalováním. V některých případech to může pomáhat vybíjení letadla (emise záporných nábojů).

1.3 Okolní elektrické pole

Jestliže letadlo prolétá bouřkovou oblastí, je vystaveno intenzivnímu elektrickému poli, které bude možná příznivě působit na vybíjení a pozměnění náboje letadla. U letadel, která jsou určena pro použití za všech povětrnostních podmínek, může být tento jev poměrně častý a je obtížné jej řídit.



OBRÁZEK č. 1 Jev nabíjení letadla

2 Proces vybíjení

Nahromadění elektrických nábojů způsobuje zvýšení elektrického potenciálu letadla. Po dosažení určité meze nabití nastane jev vybíjení, který vede k nastavení elektrického rovnovážného stavu. Existují:

- výboje do atmosféry (korónový výboj),
- výboje na letadle:
 - mezi izolovanými vodivými povrchy,
 - na izolačních površích,
 - výboje do země.

2.1 Výboje do atmosféry

U kulového vodivého tělesa je elektrické pole rovnoměrně rozloženo po celém povrchu. Na letadle se složitější geometrií závisí amplituda pole v každém místě na jeho zaoblení a tato amplituda je zvláště velká na okrajích (křídla, ocasní plochy). Jestliže místo (bod) dosáhne mezní hodnoty pro výboj do vzduchu, nastane korónový výboj (KORONA), který vede k rovnovážnému účinku náboje. Jestliže vzrůst potenciálu pokračuje, objeví se další místa výboje. Tento proces se střídá, pokud se náboj nesníží.

Tento jev komplikuje skutečnost, že v bouřkových mracích nebo v podmínkách blízkých bouře není elektrické pole homogenní.

2.2 Výboje mezi izolovanými vodivými plochami

Dva sousední vodivé povrchy, které jsou jeden od druhého izolovány, mohou dosáhnout velmi rozdílného elektrického potenciálu. Jestliže potenciální rozdíl překročí mez průraznosti, dochází k výboji mezi oběma povrchy formou jiskření.

2.3 Výboje na izolačních površích

Vzniklé náboje na izolačních površích se nemohou pohybovat. Růst nábojů vyvolá místní zvýšení elektrického pole. Jestliže dosáhne mez pro vybíjení, vzniknou trsové výboje směřující nejbližší cestou k vodivým povrchům. Na čelním skle lze tento jev pozorovat jako kartáčové výboje (oheň sv. Eliáše).

2.4 Výboj do země

V některých případech, při velmi vysokém potenciálu v důsledku nahromadění elektrického náboje, se může vyskytovat výboj mezi zemí a letadlem. K tomu dochází především u vrtulníků v provozním režimu zvedání, kdy může nastat výboj mezi podvěsem a zemí.

2.5 Výboje do země po přistání

Kontakt pneumatik se zemí při přistání obecně postačuje k tomu, aby nastal výboj zbytkového náboje letadla.

Nedostatečně chráněné nevodivé povrchy mohou zůstat nabitě a tím vytváří možné nebezpečí vzniku elektrické jiskry, která je nebezpečná pro obsluhu nebo materiál na zemi.

3 Nepříznivé účinky na letadlo za letu

3.1 Výboje do atmosféry

Elektrostatické výboje provázejí elektromagnetické jevy, které ruší činnost některých elektronických, spojovacích, navigačních a detekčních zařízení. Vysílané spektrum pokrývá široký rozsah kmitočtů a týká se hlavně zařízení, která pracují v rozsazích 10 kHz až 200 MHz a dokonce až 400 MHz. Taková zařízení, která spadají do této oblasti, ale i další, se týkají:

- spojovacích zařízení, pracujících na KV, VKV a někdy UKV vlnách,
- navigačních přijímačů systémů OMEGA, LORAN, VOR, ILS, KV a VKV/UKV rádiového kompasu.

Parazitní signál je přímo zachycen anténou (korónové výboje na samotné anténě) nebo je přijímán nepřímo vazbou přes rušivé zdroje na anténě.

To způsobuje:

- omezení nebo snížení citlivosti detekčního zařízení,
- rušení spojení s místem, ve kterém je spojení neslyšitelné,
- značné omezení dosahu nebo zobrazení chybové navigační informace.

Tyto poruchy, které se často objevují při zhoršených podmínkách viditelnosti, způsobují vážné problémy v provedení letů. Je nutné připomenout, že čím je letadlo menší, tím je větší nebezpečí, že vazba zdroje výboje na anténu bude závažnější.

Elektrostatický jev může mít také jiné nepříznivé účinky, jako:

- porucha elektronických zařízení přímým výbojem,
- přenos poruchy přes napájecí síť způsobené výbojem na skle s vyhřívacím obvodem,

- nebezpečí výbuchu přídavných nádrží,
- elektrický úraz posádky.

3.2 Výboje do země

Toto nebezpečí se vztahuje na vrtulníky. Výboj elektrické energie nahromaděné vrtulníkem může být nebezpečný pro pozemní obsluhu, která obsluhuje podvěsy dříve, než tyto dosáhnou potenciál země nebo může být nebezpečný pro samotný podvěs.

Následující tabulka uvádí výčet nebezpečí pro člověka v závislosti na vybité energii.

TABULKA č. 1 Pravděpodobné účinky na člověka

Autor	Energie mJ	Účinek
Schneider (1974)	1	Práh vnímání
Douglas (1974)	28	Slabý šok
Schneider	40	Lehký šok bez následku
Douglas	50	Šok v prstech
Schneider	100	Silný šok bez následku
Douglas	112	Bolestivý šok
Douglas	152	Šok citelný v zápěstí
Douglas	200	Šok citelný v zápěstích a kloubech
Douglas	250	Těžký šok bez poškození
Schneider	500	Těžký šok, který způsobuje bolesti svalů
Rogers (1967)	500	Prah ovládání pohybu
Schneider	800	Velmi těžký šok způsobující ztrátu vědomí bez trvalé poruchy
Schneider	1000	Maximální šok, spojený s úplným bezvědomím, může způsobit smrt

Antistatická ochrana posádek a systémů letadla za letu

1 Všeobecná ustanovení

Antistatická úprava letadel je zaměřena na omezení nežádoucích účinků výbojů. K tomu se musí splnit tři podmínky:

1.1 Zajistit volný pohyb nábojů vzájemným propojením všech vodivých prvků a tím vytvořit konstrukci draku o stejném potenciálu.

1.2 Preventivně zabránit lokálnímu nahromadění elektrických nábojů použitím příslušné vodivé úpravy celého vnějšího izolačního povrchu. Tato úprava musí zajistit elektrické spojení se sousední kovovou konstrukcí.

1.3 Zajistit řízený tok nábojů použitím případných vybíječů.

Návrh antistatické ochrany musí zvažovat všechny prvky tvořící vnější geometrii letadla. Konstrukce a zařízení spolu s pohyblivými prvky se musí zahrnout do všech možných konfigurací. Úprava je vypracována pro danou verzi letadla. Každá další modifikace konstrukce (anténa atd.) může mít vliv na účinnost úpravy a musí se zvažovat.

2 Elektrická průchodnost

Účinnost úpravy závisí především na vytvoření stejného potenciálu na konstrukci draku, to znamená udržení všech vodivých prvků vnější obálky letadla na stejném potenciálu. Úprava v sobě zahrnuje kovový potah, vodivý potah, vodivá barva a vodivá úprava izolačních povrchů a zařízení.

Účinnost elektrické průchodnosti bude záviset na povolených úrovních pokovení nebo vodivé úpravě povrchu.

Při vodivé úpravě izolačních prvků musí být hodnota dosažené metalizace, která je funkcí odporu provedené úpravy a polohy měřeného bodu, rozhodnuta pro každý jednotlivý případ.

Pozornost je potřebné věnovat účinné a funkčně schopné metalizaci, která zabezpečí vyhovující počet konkrétních kostřicích bodů a vhodnou ochranu proti korozi.

3 Povrchová úprava

Cílem elektrostatické úpravy povrchu letadla je zajistit celopovrchovou vodivost vnějšího obalu letadla. Tím se myslí:

- hlavní potah,
- vnější izolační povrchy,
- vnější zařízení.

3.1 Hlavní potah

Hlavní potah je obvykle vyroben z vodivých materiálů (slitin hliníku nebo uhlíkových kompozitů) a je konstrukčně řešen tak, aby se dosáhlo dobré elektrické průchodnosti a tím i uspokojivého řešení. Nicméně vnější vrstva potahu může prokazovat větší nebo menší izolační vlastnosti tím, že zde jsou přítomny nevodivé látky, např. produkty anodické oxidace a barva na kov nebo pryskyřice a barva v případě kompozitů.

Izolace závisí na elektrických charakteristikách a na tloušťce použitého materiálu. Určitý stupeň izolace může být přijatelný, je však žádoucí zhodnotit každé z navržených řešení příslušnou elektrostatickou zkouškou.

Ozdobné prvky, poznávací znaky nebo ochrany (označení, písmena, pruhy atd.), které se musí vyznačit na povrchu letadla, se musí řešit z hlediska místních výbojů:

- vodivé materiály, izolované od konstrukce nátěrovou barvou, vytvářejí kondenzátor, který se bude vybíjet přerušením izolační vrstvy,
- izolátory zvětšují dielektrickou izolaci barvy a mohou být místem trsovitého výboje.

Pokud tyto prvky nemohou být vyloučeny a jestliže vytvářejí nebezpečí kompromisního návrhu antistatické ochrany, potom se musí prozkoumat příslušné řešení (bodová metalizace, úprava povrchu atd.).

3.2 Vnější izolační povrchy

Ochrana izolačních materiálů je založena na vodivé úpravě povrchu. Možné postupy jsou:

- nanesení oxidů nebo solí kovu (pro sklo),
- použití sprejování hliníku,
- použití vodivých barev (s nízkým odporem),
- použití antistatických barev (vysokého odporu).

Všechny vodivé úpravy izolačních povrchů musí být elektricky připojeny k sousední kovové konstrukci. Elektrické propojení musí na propojeních udržovat ekvipotenciální úroveň.

Volba řešení musí brát v úvahu provozní potřeby prvku, kterého se to týká a je pak výsledkem kompromisu.

V případě, kdy vodivá úprava nemůže být použita na daný povrch, ať už proto, že neexistuje odpovídající řešení nebo kvůli zvláštním omezením, potom musí být ochrana citlivých zařízení dosažena nepřímo, tj. snížením vazby mezi citlivými prvky a možným zdrojem poruch.

3.2.1 Opticky průhledné povrchy

V závislosti na jejich umístění na letadle mohou být opticky průhledné povrchy předmětem triboelektrického jevu (elektřiny vzniklé třením) ve větším nebo menším rozsahu. Čelní sklo nebo povrchy kabiny jsou zvláště vystavené vnějšímu vlivu, zatímco okna cestujících jsou poměrně dobře kryta.

Čelní skla jsou někdy předmětem luminiscenčních výbojů, které ruší (obtěžují posádku). Jsou-li skla vybavena topnou mřížkou, potom elektrické výboje na čelním skle mohou způsobit vysoké přechodné přepětí v napájecí síti, což může mít vážné důsledky pro zařízení připojená k síti. Tyto výboje mohou vyvolat mechanická namáhání a praskání čelního skla. Vodivostní úprava tyto problémy vyřeší.

Taková úprava se obvykle skládá z galvanizace povrchu průhledného materiálu jemným filmem zlata, oxidem kovu nebo oxidem soli. Po úpravě musí sklo vyhovovat požadavkům optické průhlednosti a musí mít odpovídající mechanickou pevnost, aby odolávalo erozi a opotřebení (způsobené stěrači).

Doporučuje se, aby se vodivá úprava použila na všech průhledných površích, které jsou vystaveny nárazům vzduchu, dokonce i u malých antikolizních světel.

V případech, kdy se vodivý potah nepoužije, doporučuje se zvážit úroveň přepětí, které je vyvoláno na obvodech (např. odmrazování atd.) a volit ochranu.

3.2.2 Elektromagneticky průhledné povrchy

Obvykle bude úprava povrchu, založená na antistatických barvách, vyhovovat požadavkům na elektromagnetické záření, jestliže hodnota povrchového odporu se nachází v mezích $10 \text{ M}\Omega$ až $100 \text{ M}\Omega/\text{m}^2$, to je případ pro kryty antén následujících zařízení:

- spojovací (VKV, UKV, IFF),
- navigace (na velmi nízkých kmitočtech, rádiový kompas, VOR, ILS, TACAN).

Nicméně se doporučuje, aby každá daná konfigurace byla odzkoušena a bylo zjištěno, že použitá úprava umožňuje vyhovující činnost.

Pro centimetrové vlny a zvláště pak pro vysokovýkonné radiolokátory je výše uvedená úprava zakázána vzhledem k výkonu systému. Zde je namístě, je-li to nutné, po zajištění ochrany jiných zařízení (citlivých na výboje, které mohou vzniknout na krytu), použít jiné metody (např. přerušení vazby).

3.2.3 Ostatní povrchy

Ostatními povrchy se myslí povrchy, které nemají speciální optické nebo elektromagnetické vlastnosti. Všeobecně lze říci, že obsahují sklolaminátové kompozity, např. vstupní otvory, okrajové oblouky křídel, přechody mezi trupem a křídlem atd. Povrchový odpor použité úpravy je omezen pouze maximální hodnotou ($R \leq 100 \text{ M}\Omega/\text{m}^2$), aby se zajistil správný tok nábojů.

3.3 Vnější zařízení

Doporučuje se, aby pravidla antistatické ochrany byla uplatněna na všechna zařízení připevněná na vnější potah letadla.

3.3.1 Antény

Antény, pracující na vysoké frekvenci, se musí odzkoušet, protože mohou být zdrojem elektrostatických výbojů. Dobré propojení těchto antén s odpovídajícími palubními zařízeními zvyšuje nebezpečí statických výbojů.

3.3.2 Anténa s izolačním krytem

Antistatická úprava povrchu se doporučuje, pokud se na něm mohou vyskytovat velké výboje.

3.3.3 Prutové antény

Tyto antény mají „bodový účinek“, který prospívá korónovým výbojům. Použití tohoto typu antény je problematické.

3.3.4 Polohová a antikolizní světla

Tato světla mají kryty ze skla nebo plastu a doporučuje se, aby byla pokovená. V případě, že se použije sklo, je řešení podobné jako u čelního skla.

3.3.5 Ostatní zařízení

Doporučuje se, aby všechna ostatní instalovaná zařízení byla odzkoušena a aby se tím zjistily možné vlivy na běžnou úpravu letadla (korónové výboje atd.) a aby se definovala příslušná úprava, kde je to nutné.

Doporučuje se, aby se všechny vnější podvěsy (ne stálé zátěže) odzkoušely na následující (pokud to připadá v úvahu):

- účinky na základní úpravu letadla,
- možnost korónového výboje nebo povrchových výbojů.

Antistatická ochrana těchto podvėsů může být účinná, jestliže se použije stejné techniky ochrany jako u letadel.

4. Vybíječe statické elektřiny

Jestliže je letadlo provedeno jako ekvipotenciální konstrukce, je možné řídit elektrostatické výboje do atmosféry, např. použitím sítě správně rozmístěných statických vybíječů. K návrhu takové sítě je potřebné:

- zhodnotit celkový proud náboje,
- určit celkový počet vybíječů elektrostatické elektřiny, které mají být nainstalovány,
- určit rozmístění vybíječů na letadle.

Tyto rozdílné úlohy se mohou řešit empiricky nebo vyjít z výsledků laboratorních testů nebo vyjít ze zkušenosti. V současné době jako nejmodernější je dovolena aplikace empirické metody tak, jak je popsána v následujících odstavcích této Přílohy.

4.1 Stanovení celkového proudu

Celkový proud se určí použitím empirického matematického výrazu:

$$I_G = I_c \cdot S_A \cdot \frac{V}{600}$$

kde	I_G	=	celkový proud [μA]
	I_c	=	proudová hustota náboje [$\mu A/m^2$]
	S_A	=	čelní plocha letadla [m^2]
	V	=	rychlost letadla [uzly]

I_c je nejpravděpodobnější maximální hodnota a může se uvažovat $300 \mu A/m^2$ jestliže se berou v úvahu hodnoty uvedené v Příloze A.

Tento výraz vyhovuje docela dobře pro lehká letadla a pro letadla střední hmotnosti. Pro těžká letadla je hodnota proudu mírně vyšší.

V posledním případě existuje poměrně velký účinek aerodynamického zešíkmení proudu vzduchu na průtok dopadajících částic a tím se snižuje počet částic, které naráží na čelní povrch letadla.

4.2 Určení celkového počtu vybíječů

Celkový počet instalovaných vybíječů je dán výrazem:

$$N_D = \frac{I_T}{I_D}$$

kde	N	=	celkový počet vybíječů
	I_T	=	celkový vybíjecí proud
	I_D	=	minimální proud vybíječe

Pro I_D se používá hodnota $50 \mu A$.

4.3 Výběr typu vybíječe a jeho charakteristiky

Existují dva hlavní typy vybíječů:

- vybíječe na odtokové hraně (křídla, kormidel atd.),
- vybíječe na vnějším okraji.

Tyto vybíječe jsou konstrukčně řešeny jako snímatelné prvky, které jsou všeobecně přichyceny na zvláštní držáky.

Účinnost uvedených typů vybíječů závisí na následujících charakteristikách:

- vhodná (přiměřená) proudová/napěťová vybíjecí křivka,
- vf rušení při vybíjení,
- velikost plynulého vybíjecího proudu,
- přerušení elektromagnetické vazby při výboji,
- stejnosměrný odpor:
 - u instalace na odtokové hraně od 6 MΩ do 200 MΩ,
 - u instalace na vnějším okraji od 6 MΩ do 120 MΩ.

Účinnost se může změnit použitím metod definovaných v Příloze C. Vybíječe musí být rovněž způsobilé pro práci v definovaném provozním prostředí.

4.4 Rozmístění vybíječů

Doporučuje se, aby se použily následující technické zásady:

Vybíječe se musí umístit na vnější okraje a na takové odtokové hraně povrchů, která vykazuje maximální sršení z hrotu, jako jsou např. křídlo, vertikální a horizontální ocasní plochy.

Při rozmístění se musí vzít v úvahu vzdálenost uvažovaného prvku vzhledem ke středu letadla. Například v případě klasického tvaru letadla se použije rozmístění, které je ve většině případů shodné s tím, že se zvažuje umístění na 5 vnějších okrajích. Tento počet se zvětší o vybíječe určené pro střed křídel, které jsou relativně ve větší vzdálenosti.

Mohou však existovat další prvky, jejichž vyčnívající poloha vyžaduje připevnění vybíječů. Tímto způsobem se lze vyhnout vzniku neřízených výbojů, např. aerodynamické přechody ovládnutí přistávacích klapek pod křídlem, Pitotova hubice atd.

Pečlivé prověření geometrie umožní zjistit a chránit kritické body.

Korónový výboj se může rovněž objevit předčasně v zónách aerodynamického podtlaku. To je případ pro vnější okraje křídel a ocasních ploch, které jsou chráněny tak zvanými okrajovými vybíječi.

4.5 Pravidla pro instalaci

Doporučuje se dodržet následující technické zásady:

Vybíječe na odtokové hraně:

- musí být připevněny co možná nejblíže k odtokové hraně,
- největší vybíječ se musí umístit na okraj určené plochy,
- odstup mezi dvěma následujícími vybíječi nesmí být menší než 300 mm,
- podélná osa každého vybíječe musí být souhlasná se směrem aerodynamického proudění,

- na pohyblivé ploše, např. výškovka, mohou být vybíječe připevněny střídavě na jedné a na druhé straně pro vyvážení účinků,
- elektrické propojení držáku vybíječe statické elektřiny s konstrukcí musí zajistit správný odpor ukostření ($1\ \Omega$ nebo menší) a účinnou ochranu proti korozi.

Vybíječe na vnějších okrajích:

Tyto se musí umístit v místech nejvyššího aerodynamického podtlaku při respektování shora uvedených pravidel v posledních dvou bodech tohoto odstavce.

4.6 Zvláštní případ

Vybíječe umístěné na izolačních konstrukcích (okrajové oblouky křidel) musí být připojeny k vodivé vrstvě nebo k nejbližší kostře, např. použitím kostřicích pásků.

4.7 Vrtulníky

Principy ochrany, které jsou popsány v předcházejících odstavcích, zůstávají v platnosti i pro vrtulníky. Avšak pozornost se musí věnovat zvláštní aerodynamice rotujících křidel a možnosti snížení účinnosti statických vybíječů za podmínek visení.

Toto může být nebezpečné při visení, protože zbytkový potenciál dopravního prostředku může být dostatečný k vyvolání výboje. Ochrana se může dosáhnout zařízením, které zajišťuje, že vrtulník je uzemněn:

- připojeným zemnicím lanem,
- bezpečnostní vodivou tyčí postavenou na zemi.

Hodnocení antistatické ochrany posádky a systémů letadel za letu

1 Plán pro hodnocení letadla z hlediska ochrany proti elektrostatickým nábojům

Jestliže koncepce letadla počítá se sestavením plánu hodnocení ochrany proti elektrostatickému náboji, potom se doporučuje, aby konstruktér vycházel ve své práci z následujícího plánu, který popisuje hlavní kroky, které musí následovat při těchto vývojových fázích:

- fáze konstrukčního návrhu letadla,
- fáze výroby prototypu.

1.1 Fáze konstrukčního návrhu

- Etapu 1: Ověřit shodnost se standardy, které se týkají pokovení, včetně těch, které jsou určeny pro zařízení a vnější podvěsy.
- Etapu 2: Upravit celý vnější povrch a tím zajistit přiměřenou povrchovou vodivost nebo odpor, s důrazem na:
- vf prostupné materiály: dielektrické kryty, antény atd.,
 - optické prostupnosti: čelní sklo, kulatá okénka,
 - ostatní materiál.
- Etapu 3: Zajistit elektrické propojení mezi vodivou úpravou povrchu a sousední kovovou konstrukcí draku.
- Etapu 4: Zkontrolovat, zda konečné lakování, charakteristické znaky atd., nezhoršují uvedené vlastnosti.
- Etapu 5: Určit požadovaný počet vybíječů elektrostatické elektřiny, jejich místo pro instalaci, použitím příslušných dostupných konstrukčních příruček a specifikací.

1.2 Etapa výroby prototypu

- Etapu 6: Zkouška elektrické vodivosti nebo odporu celého vnějšího povrchu.
- Etapu 7: Zvyšovat na letadle vysoký potenciál a ověřit body výboje.
- Etapu 8: Ověřit provoz vf zařízení při bombardování povrchů iontovým dělem nebo jiný systém, který umožní vytvoření proudu nábojů na povrchu.
- Etapu 9: Zajistit, aby zóny maximální vazby byly chráněny proti možným výbojům.
- Etapu 10: Pozměnit stanovená pravidla jakožto výsledek získaných údajů.
- Etapu 11: Zkontrolovat elektrické ukostření vybíječů elektrostatické elektřiny a povrchové úpravy na konstrukci draku.

2 Zkoušky ověřování správnosti

2.1 Všeobecná pravidla

Provedení zkoušek způsobilosti k ověření ochrany proti elektrostatické elektřině závisí ve většině případů na dostupnosti generátorů plynule nastavitelného vysokého a velmi vysokého napětí. Uživatelé musí věnovat pozornost možnému riziku při používání takových generátorů a nezbytným bezpečnostním opatřením, která se musí přijmout, aby se chránil zkoušející personál (nákres bezpečnostních zón, postupy uzemňování, automatické jističe, nácvik a instrukce personálu atd.). Různé sondy a snímací zařízení, přenosové sítě, systémy sběru

a měření dat, které jsou potřebné pro různé zkoušky, musí být rovněž odpovídajícím způsobem chráněny, aby odolávaly drsnému elektromagnetickému prostředí, spojeného se zkouškami.

2.2 Upozornění

Cílem zkoušek popsaných dále je ověření způsobilosti ochrany letadla proti statické elektřině. Z tohoto důvodu se provádí s celým letadlem.

2.3 Zkouška injektáží elektrostatického náboje

2.3.1 Účel

Účelem této zkoušky je určit úroveň poruch způsobených vznikem nábojů místně na letadle anebo odzkoušet účinnost ochrany.

2.3.2 Oblast použití

Tato zkouška je použitelná na celý povrch letadla náchylný k nabití elektrostatickými náboji za letu. Zkouška je použitelná zvláště pro dielektrické povrchy, nezáleží na tom, zda jsou nebo nejsou pokoveny.

2.3.3 Zkušební vzorek

Zkušební vzorek se skládá z vyrobených letadel nebo modelu, který po stránce elektrické reprezentuje vnější povrch/obálku a obsahuje elektrická a elektronická zařízení a obvody letadla (počet a typ obvodů a zařízení může být omezen na ty obvody a ta zařízení, které jsou nejcitlivější/nejnáchylnější).

2.3.4 Kontrolní zařízení

Kontrolní zařízení obsahuje:

- generátor elektrických nábojů nebo plynule nastavitelný zdroj velmi vysokého napětí, který umožňuje generovat elektrické náboje,
- měřicí přístroje k monitorování generátoru (vysoké napětí, injektovaný proud),
- měřicí a záznamové přístroje k monitorování poruch vyvolaných v zařízeních,
- prostředky ke zjištění a charakterizování výboje.

Toto není úplný seznam a může se doplnit podle speciálních potřeb zkoušky.

2.3.5 Příprava zkoušky

Kde se použije generátor nábojů, je tento umístěn u povrchu, který je předmětem injektáže náboje.

Kde se použije generátor vysokého napětí, je k jednomu pólu generátoru připojen vzorek, druhý pól je připojen k elektrodě z uhlíkových vláken, která je umístěna na povrchu nebo u bodu injektáže.

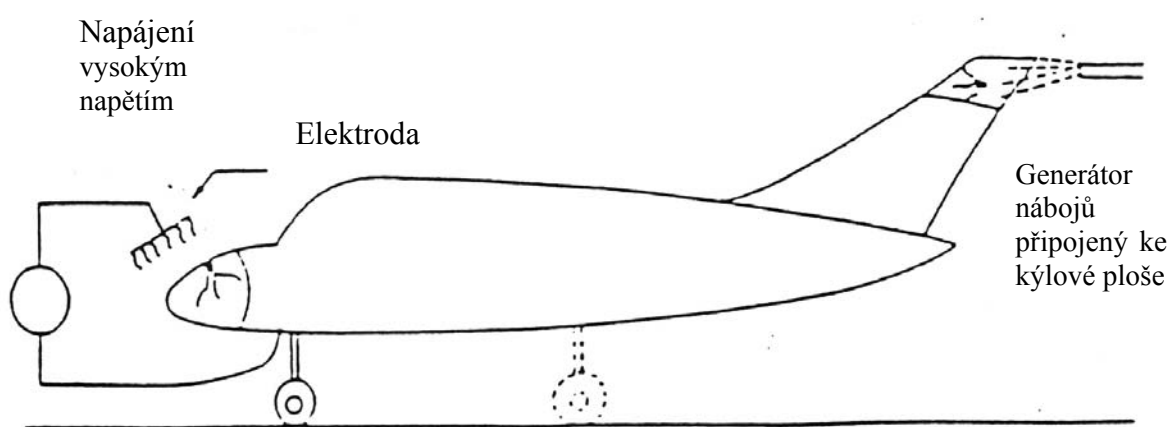
Dosažená úroveň injektážního proudu je funkcí zóny letadla:

- pro čelní povrch: $400 \mu\text{A}/\text{m}^2$
- pro postranní povrch: $100 \mu\text{A}/\text{m}^2$

Ve všech případech je letadlo odpojeno od země a umístěno tak daleko od okolních kovových předmětů, jak je to možné.

2.3.6 Postup zkoušky

- Ustavit do správné polohy generátor, injektážní obvod a diagnostické zařízení.
- Zkontrolovat zařízení a okolí z hlediska bezpečné zkoušky.
- Zkontrolovat zda se měřicí systém nezapne při nějaké poruše.
- Mikroampérmetrem změřit nabíjecí proud mezi generátorem a povrchem, do kterého se injektuje náboj, přiložením kovové elektrody připojené k obvodu.
- Zapnout dopadající proud nábojů na povrch při současném měření a zaznamenávat údaje. Zkouška musí probíhat po dobu dostatečnou k tomu, aby se objevil trsový výboj.
- Zkontrolovat, zda činnost systému není způsobena nějakou poruchou.



OBRÁZEK č. 2 Příklad zkoušky injektováním nábojů

2.4 Zkoušky zvýšením potenciálu

2.4.1 Účel

Účelem této zkoušky je určit úroveň poruch způsobených vzrůstem potenciálu letadla.

2.4.2 Oblast použití

Tuto zkoušku lze aplikovat na každé letadlo.

2.4.3 Zkušební vzorek

Zkušební vzorek je identický se vzorkem podle odstavce 2.3.3 „Zkušební vzorek“.

2.4.4 Zkušební zařízení

Zkušební zařízení se skládá z:

- plynule nastavitelného generátoru vysokého napětí,
- měřicích přístrojů nezbytných k tomu, aby charakterizovaly činnost generátoru,
- měřicího a záznamového zařízení, které charakterizuje vzniklé poruchy,
- prostředků, které umožňují sledování doutnavých výbojů.

Tento seznam není konečný a může být rozšířen podle speciální potřeby zkoušky.

2.4.5 Příprava zkoušky

Vzorek je izolován od země ve výšce, která je vyhovující k tomu, aby se snížily účinky země.

Vysoké napětí je připojeno mezi zem a letadlo. Bod připojení ke vzorku se musí vybrat tak, aby se snížil jeho účinek a generátor musí být vzdálený (několik metrů) od zkušebního vzorku.

Napětí, které má být připojeno, se určuje podle napájecího proudu generátoru, který je dán matematickým výrazem:

$$I_G = I_c \cdot S_A \cdot \frac{V}{600} + I_z + 10 \%$$

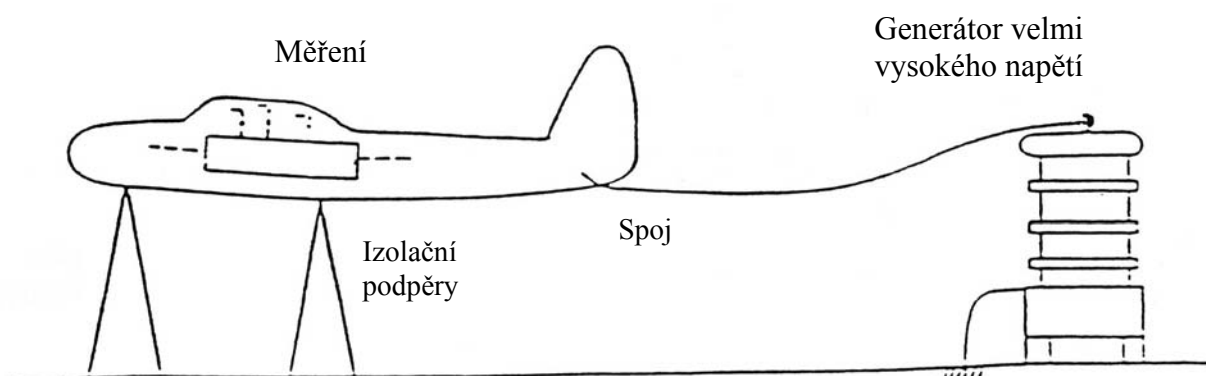
kde I_G = proud generátoru [mA]

I_c = hustota nabíjecího proudu [$\mu\text{A}/\text{m}^2$]

I_z = ztrátový proud zkušební soupravy

S_A = čelní povrch letadla [m^2]

V = rychlost letadla [uzly]



OBRÁZEK č. 3 Příklad zkoušky na růst potenciálu

2.4.6 Postup zkoušky

Umístit izolační základnu a připojit k ní vysokonapěťový generátor.

- Zkontrolovat zařízení a bezpečnost oblasti zkoušky.
- Změřit ztrátový proud základny zakreslením křivky, která je funkcí zkušebního napětí.
- Uložit vzorek na izolační podpěry a připojit jej ke generátoru.
- Zkontrolovat zařízení a bezpečnost oblasti zkoušky.
- Zkontrolovat, zda činnost systému není způsobena nějakou poruchou.
- Vzestupně připojovat vysoké napětí a provést záznam měření.

(VOLNÁ STRANA)

Platnost českého obranného standardu od: **18.prosince 2006**

K ČOS náleží Změny a Opravy :

Změna, Oprava	Platnost od	Počet listů	Poznámka

U p o z o r n ě n í : Oznámení o změnách a revizích ČOS jsou uveřejňována měsíčně ve Věstníku Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví v oddílu „Ostatní oznámení“.

Vydal Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti

Tisk: Agentura vojenských informací a služeb Praha

Rok vydání 2007, obsahuje 12 listů

Distribuce: Odbor obranné standardizace Úř OSK SOJ, nám. Svobody 471, 160 01 Praha 6,
www.oos.army.cz

NEPRODEJNÉ
