

**Ochrana duralových, hliníkových
a kovových povrchov leteckej techniky
pred vplyvmi korózie v podmienkach
STM-Múzeum letectva v Košiciach**



Peter Ondreják

Ochrana duralových, hliníkových a kovových povrchov leteckej techniky pred vplyvmi korózie v podmienkach STM-Múzeum letectva v Košiciach

autor: Ing. Peter Ondreják

fotografie: autor

recenzoval: doc. Ing. Dušan Oráč, PhD.

jazyková korektúra: Dott. Katarína Nika

grafika: Aleš Marenčík

Vyšlo ako elektronická publikácia.

ISBN 978-80-974301-0-8 (online)

Vydalo Slovenské technické múzeum, Košice, 2022.

Žiadna časť publikácie, vrátane fotografií, nesmie byť bez predchádzajúceho súhlasu vydavateľa reprodukováaná, zverejňovaná a rozširovaná v tlačenej, elektronickej alebo inej podobe.

Publikácia je výstupom vedeckovýskumnej úlohy „Ochrana kovových povrchov zbierkových predmetov v podmienkach STM-Múzea letectva v Košiciach“.

Slovenské technické múzeum je štátnou príspevkovou organizáciou zriadenou Ministerstvom kultúry Slovenskej republiky.



takto to začalo ...

Abstrakt

Práca sa zaoberá ochranou kovových povrchov zbierkových predmetov pred korozívnymi vplyvmi. Práca je rozdelená na teoretickú a praktickú časť. Teoretická časť analyzuje historický stav leteckej techniky, pojednáva o výbere a stave zbierkových predmetov z hľadiska ich uloženia v expozičných priestoroch. Pojednáva o príčinách vzniku korózie a analyzuje jednotlivé druhy korózie a iné degradačné javy vyskytujúce sa na leteckej technike. Pojednáva o faktoroch mechanického opotrebenia a vplyve atmosférických zmien, ktoré spôsobujú koróziu.

Druhá časť sa zaoberá praktickou aplikáciou jednotlivých prostriedkov, ako sú spomaľovače tvorby korózie – inhibítory, typ CORTEC VpCI®-427 na ľahké hliníkové zliatiny, inhibítor WÜRTH na železné kovy a čistiaci prostriedok typ CORTEC VpCI®-414 na všetky druhy kovov. Na určených častiach leteckej techniky boli vytvorené skúšobné etalóny za účelom testovania ich stavu s cieľom dlhodobého pozorovania v rôznych klimatických podmienkach a rozdielnych priestoroch uloženia. Z dôvodu porovnania účinku inhibítorov CORTEC a WÜRTH na rôzne poškodené povrchy boli použité rozdielne objemové pomery roztokov. Vyhodnotenie testov bolo vykonávané vizuálne digitálnym záznamom, pričom sa porovnávali záznamy odstupňované v časovej perióde po 20 - 30 dňoch v dĺžke trvania cca 700 dní.

Závery tejto práce by mali poslúžiť ako technický návod toho, ako vhodne použiť uvedené prípravky na ošetrovanie - reštaurovanie zbierkových predmetov za účelom zastavenia alebo spomalenia procesu tvorby korózie zbierkových predmetov.

Kľúčové slová

Inhibítory, ľahké hliníkové zliatiny, železné kovy, korózia, zbierkové predmety (ZP), klimatické vplyvy

Abstrakt

The work deals with the protection of metal surfaces of collection items from corrosive influences. The work is divided into theoretical and practical part. The theoretical part analyzes the historical state of aviation technology, discusses the selection of collection items in terms of their storage in the exhibition spaces. It deals with the origin and individual types of corrosion and other degradation phenomena occurring in aircraft technology. It deals with the factors of mechanical wear and the influence of atmospheric changes that cause corrosion.

The second part deals with the practical application of individual agents such as corrosion inhibitors - inhibitors. For example, type CORTEC VpCI®-427 for light aluminum alloys, WÜRTH inhibitor for ferrous metals and cleaning agent type CORTEC VpCI®-414 for all types of metals. Test standards were created on designated parts of aircraft to test their condition for long-term observation in different climatic conditions and different storage areas. In order to compare the effect of CORTEC and WÜRTH inhibitors on different damaged surfaces, different volume ratios of the solutions were used. The evaluation of the tests was performed visually by digital recording, while comparing the records graded in the time period after 20 - 30 days in the duration of about 700 days.

The conclusions of this work should serve as a technical manual for the use of these preparations for treatment - restoration of collection items in order to stop or to slow down the process of corrosion of collection items located in different exposure areas with different climatic conditions.

Keywords

Inhibitors, light aluminum alloys, ferrous metals, corrosion, collection items, climatic influences

Autorské slovo

Obsah tohto elaborátu je odrazom skúseností získaných počas mojej leteckej praxe a skúseností získaných počas doby 17 rokov pôsobenia v Múzeu letectva, ktoré prešlo rôznymi etapami vývoja v expozičnej činnosti, ale hlavne reštaurátorskej praxi.

Aj keď by niekto možno očakával strohejšie riešenie problému, práca je pomerne rozsiahla. Považoval som však za potrebné ozrejmiť niektoré prevádzkové a klimatické súvislosti, ktoré sú špecifické pre lokalitu košického múzea letectva. Mojim cieľom bolo vytvoriť jednoduchý a ucelený náhľad na problematiku. Tieto dlhoročné postrehy a skúsenosti by mohli byť prínosom pre tých, ktorí prídu po nás.

Chcem vyjadriť poďakovanie doc. Ing. Dušanovi Oráčovi, Ph.D. za pomoc s experimentom, doc. Ing. Jaroslavovi Legemzovi, Ph.D. za odbornú pomoc, rady a konzultácie. Poďakovanie patrí aj kolegovi Ing. Erikovi Benkovi za jeho prínos.

Obsah

1. Úvod	7
2. Uloženie zbierkových predmetov.....	8
2.1. ZP dlhodobu zapožičané na prezentačné účely	9
2.2. ZP uložené v depozitárnych priestoroch	9
2.3. ZP uložené v uzavretých priestoroch	9
2.4. ZP uložené vo voľnom priestore	10
2.5. ZP uložené pod prístreškom	12
3. Vplyvy a faktory pôsobiace na zbierkové predmety	13
3.1. Vplyvy exhalácie	13
3.2. Faktory ovplyvňujúce vlastnosti kovov	16
3.2.1. Faktor mechanický	16
3.2.2. Faktor korozívny	17
4. Konštrukčné materiály v praxi	20
4.1. Duraly	20
4.2. Horčíkové zliatiny	21
4.3. Titánové zliatiny	21
5. Metódy ošetrovania kovových povrchov	21
5.1. Mechanické ošetrovanie	22
5.2. Vodné vysokotlakové čistenie povrchu	22
5.3. Otryskávacie zariadenie	23
5.4. Chemické prostriedky očisty a ochrany kovových povrchov	24
5.4.1. Prostriedok na čistenie CORTEC VpCI®-414	24
5.4.2. Ošetrovanie prípravkom Tanín	25
5.4.3. Ošetrovanie prípravkom CORTEC VpCI®-427	27
5.4.4. Ošetrovanie prípravkom WÜRTH	28
6. Výber zbierkových predmetov	30
6.1. Letecká technika umiestnená vo voľnom priestore	30
6.2. Letecká technika umiestnená pod prístreškom	30
6.3. Letecká technika umiestnená v stálych expozíciách	31
6.4. Zbierkové predmety umiestnené v priestore so stálou teplotou a vlhkosťou	32
7. Analýza chemického zloženia materiálov	32
8. Testy inhibítorov CORTEC VpCI®-427	35
8.1. Lietadlo IL-14. Testované plochy: Poťah trupu a dvierka predného podvozku.....	35
8.1.1. Testovaná plocha: Poťah trupu spodná časť systém clear - not clear	36
8.1.2. Testovaná plocha: Poťah trupu spodná časť	39
8.1.3. Testovaná plocha: Dvierka predného podvozku	43
8.2. Lietadlo Suchoj Su-22 M4	47
8.2.1. Testovaná plocha: Čelo pod krídlového závesu	47
8.2.2. Testovaná plocha: Opierka pod krídlového závesu lietadla Su-22	50
8.2.3. Testovaná plocha: Výškové kormidlo	53
8.3. Lietadlo Q-5 Fantan	55
8.3.1. Testovaná plocha: Ľavý ejektor kanóna	55
8.3.2. Testované plochy : Pravý ejektor kanóna	57
8.3.3. Testovaná plocha: Nábežná hrana ľavého krídla	58
8.4. Motor letecký piestový Salmson Contoi Unné	62
8.5. Motor letecký piestový Walter IV	66
8.6. Lietadlo Mirage III RF	69

8.7. Lietadlo Mirage III.....	73
8.8. Lietadlo T-38 Talon	79
8.9. Lietadlo L-200 Morava, časť trupu	82
8.10. Lietadlo Mig-15	86
8.10.1. Testovaná plocha: Predná časť trupu – poťah	86
8.10.2. Testovaná plocha: horný kryt prednej časti trupu	89
8.10.3. Testovaná plocha: Zámok krytu	90
9. Záver	96

1.Úvod

Letecké konštrukcie sú vyrobené z kovu a najnebezpečnejšou formou ich poškodenia je korózia. Od momentu, keď je akýkoľvek kov vyrobený, musí byť chránený pred škodlivými účinkami prostredia, ktoré ho obklopuje. Ochranou môže byť použitie určitých ochranných prvkov do základného kovu, vytvorenie zliatiny odolnej voči korózii alebo prídanie povrchovej vrstvy chemického povlaku, kovu alebo farby. Ak táto ochrana zlyhá, môže vzniknúť množstvo rôznych foriem korózie. Ich prejav závisí od použitého kovu, veľkosti a tvaru, špecifickej funkcie, atmosférických podmienok a prítomných činidiel produkujúcich koróziu.

Konštrukciu lietadla (bez pohonnej jednotky) na základe materiálového zloženia môžeme parciálne rozdeliť na časti vyrobené z ľahkých hliníkových zliatin a železných kovov. V percentuálnom pomere predstavujú 45 - 50 % hliníkové zliatiny, 15 - 20 % železné kovy – ocele a 20 - 30 % tvoria palivové nádrže, číre časti, čalúnenie, laminátové kryty, krytky, izolátory, kabeláž, rádiové a elektrické vybavenie a pod. Samozrejme, toto pomerové rozdelenie sa líši typ od typu, konštrukcia od konštrukcie. Hliníkové a horčíkové zliatiny tvoria najpočetnejšiu skupinu, pretože sú zastúpené v celom konštrukčnom systéme. Tvoria rámy, prepážky, pozdĺžniky, rebrá, potahové panely, nábežné hrany, odtokové hrany, nosníky, nitové spoje, potah lietadiel a pod. Železné kovy - ocele tvoria pristávacie zariadenie, centrálné nosníky, závesy, čapy, matice, skrutky, fittingy potrubí, koncovky na tiahľách, tlakové nádoby, palubnú kanónovú výzbroj a pod.

Zbierkový fond Múzea letectva tvorí 1335 evidenčných jednotiek. Zbierkové predmety sú zastúpené bojovou a cvičnou leteckou technikou, nadrozmernou leteckou technikou, vetroňmi, lietadlami kategórie UL (ultralight) a modelmi historických lietadiel v mierke 1:1, v celkovom počte 66 kusov. Zbierka je tvorená radou leteckých piestových a turbokompresorových pohonných jednotiek v počte 53 kusov. Okrem toho sú tu zastúpené jednotlivé časti drakových silových systémov (hydraulický, vzduchový systém) a časti systémov hnacích skupín, ako sú agregáty palivovej, olejovej, vzduchovej inštalácie a pod. V expozíčných priestoroch sa nachádza okolo 400 predmetov rôznych veľkostí, tvarov a materiálového zloženia. Sú prezentované a uložené v priestoroch, ktoré majú rozdielne klimatické vlastnosti s negatívnym dopadom na ich stav. Tieto klimatické vplyvy podporujú tvorbu korózie kovov, plesní, baktérií a pod. Ich pôsobenie má degradujúci vplyv. Uvedená práca sa zaoberá ochranou kovových povrchov zbierkových predmetov chemickým procesom za pomoci inhibítorov, ktoré sú schopné za určitých podmienok zastaviť proces tvorby korózie. Pre ozrejmienie tejto práce je potrebné vysvetliť niekoľko súvislostí.



Obr. 1 - Letecká technika na voľnom priestranstve – opotrebovaný, poškodený povrchový náter

Letecká technika v čase jej príchodu do múzea bola na konci svojho technického života a veľa rokov stála na plochách s minimálnym technickým ošetrovaním, respektíve žiadnym. V prípade typovej rady lietadiel Mig-21 sa jedná o najstarší zbierkový fond letectva. U niektorých typov, napr. u Mig-21F tr.č.

0515 (ZP-VHU Piešťany) prevádzka začala cca v roku 1966 a ukončená bola v rokoch cca 1983 - 85. Odhadovaná doba státia predstavovala 35 - 40 rokov. Spolu s aktívnou dobou letovej prevádzky táto narastie na úctyhodných 55 - 60 rokov. Po skončení svojho technického života bola technika väčšinou zrušená v Leteckých vojenských opravovaniach koncom 80-tych rokov. Zopár zachovaných kusov sa neskôr stalo súčasťou zbierkového fondu múzea, pričom boli odstavené na voľných plochách pod stálym vplyvom klimatických javov a faktorov. Tomu zodpovedá celkový stav. Výrazné je poškodenie potahu trupu v podobe korozívnych polí krídiel spolu s mechanizáciou krídla. Koróziou sú zasiahnuté pristávacie zariadenia - podvozkové nohy, prídavná výstroj a výzbroj. Veľmi utrpelo kabínové vybavenie priestoru osádky, napr. prístroje, prepínače, farebný náter, potahy sedačky a pod. Vplyv a dopad ultrafialového žiarenia nenávratne poškodzuje číre časti prekrytov kabín, kryty svetlometov, astrokopule. Výsledkom je vada materiálu, tzv. striebrenie, ktoré vnútorne narúša štruktúru organického skla a vytvára efekt striebrenia.

Druhú skupinu zbierkových predmetov tvorí letecká technika vyrobená začiatkom 80-tych rokov. Jedná sa o typy Mi-24, Su-22, Mig-29 + Su-25 (oba ZP-VHM Piešťany). Táto technika prešla určitou technologickou modernizáciou. Použité stavebne konštrukčné materiály, oceľ a zliatiny hliníka, sú vyspelejšie svojou štruktúrnou stavbou materiálov a antikorozívnymi schopnosťami. Dôležitú úlohu zohráva fakt, že letecká technika bola prevádzkovaná, t.j. ošetrovaná zhruba do roku 2004. V celkovom sumáre je v lepšej kondícii, pretože prešla revíziami a generálnymi opravami, ktoré výrazne napomohli veľmi dobrému stavu jednotlivých častí, či už pohonným jednotkám alebo agregátom silových systémov. Poslednou skupinou, ktorá tvorí zbierkový fond, je letecká technika získaná vo forme Prezidentských darov zo zahraničia. Je sústredená v Prezidentskej Galérii (Obr. 2).



Obr. 2 - Letecká technika pod prístreškom

Väčšina tejto leteckej techniky je v dobrom stave (okrem typov Q-6 Fantan, PZL TS-11 Iskra), pretože bola tiež prevádzkovaná a ošetrovaná zhruba do roku 2002. Jedná sa o typy lietadiel Mc Donnell Douglas F-4 Phantom II (2003), Mirage III RS (2003), Suchoj Su-22M3 (1997), Aeritalia F-104S ASA Starfighter (2002), SAAB JAS-37 Viggen (2003), SAAB J-35 Draken (2005) a vrtuľník SA-313 Alouette II.

2. Uloženie zbierkových predmetov

Letecká technika je podľa rozmerov a možností uložená v určených priestoroch. V podmienkach Múzea letectva môžeme uloženie zbierkových predmetov rozdeliť do niekoľkých skupín:

1. ZP dlhodobo zapožičané na prezentačné účely
2. ZP uložené v depozitárnych priestoroch
3. ZP uložené v uzavretých priestoroch
4. ZP uložené v otvorených priestoroch
5. ZP uložené pod prístreškom

2.1. ZP dlhodobo zapožičané na prezentačné účely

Jedná sa o letecké turbokompresorové motory, ktoré sú zapožičané Technickej Univerzite za účelom výučby a prezentácie pohonných systémov. Pohonné jednotky sú umiestnené v učebniach so stálou teplotou a vlhkosťou. Z hľadiska ochrany sú uvedené zbierkové predmety v podmienkach s najstálejšími klimatickými vplyvmi so zanedbateľným percentom vzniku korózie.

2.2. ZP uložené v depozitárnych priestoroch

Uloženie ZP je realizované v samostatnom priestore s riadeným vstupom s dostatočným technickým zabezpečením. Depozitárny priestor daným zbierkovým materiálom vyhovuje, pretože materiálové zloženie predmetov pozostáva z hliníkových zliatin a železných kovov. Na základe získaných údajov teploty a vlhkosti môžeme konštatovať, že sa najviac približuje optimálnym podmienkam. Deklaruje to tabuľka s jednotlivými priemernými mesačnými hodnotami vlhkosti a teplotami za uvedený kalendárny rok, pričom údaje boli získané výpočtom z denných záznamov kontrol depozitu.

mesiac/2020	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
teplota (°C) priemerná hodnota	15,7	15,3	17,2	16,4	16,9	21,1	23,0	25,5	22,7	18,1	23,3	19,3
vlhkosť (%) priemerná hodnota	41,6	41,7	47,2	38,2	53,0	70,9	60,2	43,3	60,9	61,5	46,4	45,1

Vyskytujúce sa extrémny v podobe zvýšenej vlhkosti a teploty v plnej miere korešpondujú s vonkajším prostredím a vnútorným stavom depozitárneho priestoru, t.j. vonkajšie dvere nie sú zateplené, počet ohrevných telies je nedostačujúci. Priemerná celoročná hodnota vlhkosti a teploty bola získaná výpočtom s priemerných mesačných hodnôt za rok 2020. Vlhkosť činila **50,83 %** a teplota **19,54°C**. Vypočítané údaje sú v tolerovanom intervale doporučených hodnôt relatívnej vlhkosti a teploty pre uvedený druh materiálu.

Materiál	Teplota (°C)	Relatívna vlhkosť (%)	Tolerovaný interval (%)
Kovy samostatné	cca 18 – 20	30 – 40	do 55
Kovy v kombinácii s organickými materiálmi	cca 18 - 20	40 - 55	do 55

2.3. ZP uložené v uzavretých priestoroch

ZP dlhodobo uložené v expozíciách sú zastúpené prenosnými montovanými oceľovými leteckými hangármi typu Pícha 1922. Okrem čiastočne zateplenej expozície č. 3 sú výstavné plochy č. 1, 2, 4 nezateplené. Hangáre sú vyrobené zo zvislých a vodorovných kovových konštrukcií, ktoré sú opláštené vlnitým, poprípadne trapézovým plechom. Konštrukčná vyspelosť hangárov, ale hlavne ich tepelno-izolačné vlastnosti, sú na úrovni danej doby a vo svojom priestore nezaručujú optimálne

klimatické podmienky, aké by sme si priali. V priebehu kalendárneho roka dochádza k cyklicky sa meniacim klimatickým zmenám v podobe zvýšenej vlhkosti, ktorá sa mení v rozsahu od 37 - 100 %, teplota okolitého ovzdušia sa pohybuje od -10 do +40 °C (hodnoty namerané v rokoch 2019 - 2021). Uvedené priestory eliminujú priame klimatické javy (dažďové a snehové zrážky, priamy slnečný svit) okrem výkyvov teploty a vlhkosti. V letných mesiacoch pri zvýšených zrážkach dochádza k vyzrážaniu nasýtenej vodnej vlhkosti na vodorovných konštrukciách hangárov. Gravitačiou sa vracia naspäť na plochu v podobe odkvapu (Obr. 4). Viditeľné stopy po vodnom odkvape na betónovej podlahe v expozícii č. 1.



Obr. 3 - Prenosný oceľový hangár Picha 1922

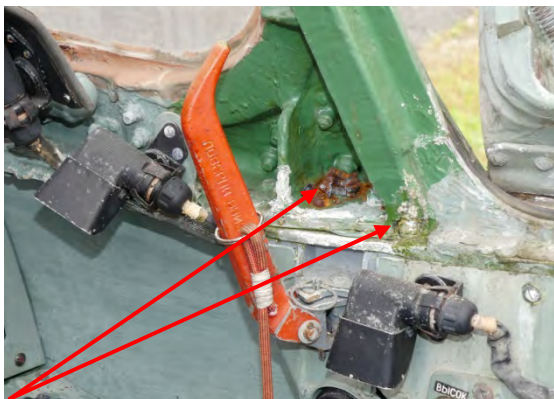


Obr. 4 - Mapy

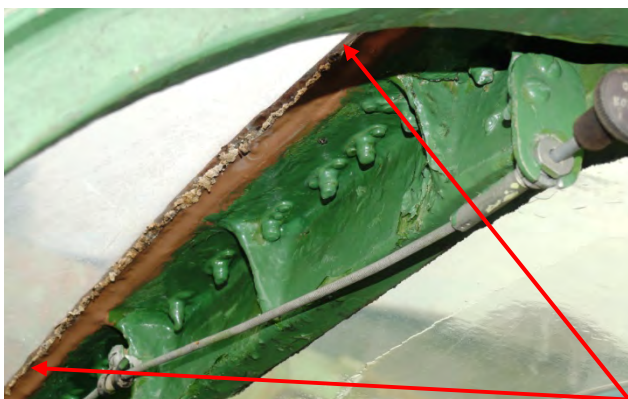
Dochádza tak k priamemu kontaktu zbierkových predmetov s vodou. Výsledkom je vyzrážaná vlhkosť na studených kovových častiach zbierkových predmetov. Ďalším sprievodným javom je viditeľné odlupovanie farebného náteru zo stropu v expozícii č. 2. Tento hangár je umiestnený na najjužnejšej strane, kde sa vyskytujú najvyššie teploty. Niektoré expozičné priestory sú čiastočne tienené Prezidentskou Galériou. Slnečným svetlom sú zasiahnuté len od určitého času, keď slnko dosiahne optimálny bod voči plochám striech hangárov č. 2 a č. 4. V roku 2013 bola vykonaná revitalizácia expozície č. 1. Zbierka leteckých piestových motorov bola celá zreštaurovaná s odstupom doby päť mesiacov medzi prvým a posledným exponátom. Dnes, po 9 rokoch, voľne umiestnené zbierkové predmety vykazujú známky miestnej - lokálnej korózie. Exponáty v uzavretých kójach sú v ďaleko lepšom stave ako mimo týchto výstavných kójí.

2.4. ZP uložené v otvorených priestoroch

Letecká technika vystavovaná pod holým nebom je vystavená neustálym klimatickým vplyvom, ako je vlhkosť, dážď, sneh, mechanické nečistoty, slnečné žiarenie, ktoré sa výrazne podieľajú na degradácii všetkých kovových povrchov. V tomto prípade je výrazný nárast korózie ľahkých kovov, ale aj vznik plesní a baktérií. Vplyvom slnečného žiarenia sa poškodzujú číre časti kabín, čelné a bočné sklá na vrtuľníkoch, astrokopule a pod. Jedná sa o tzv. efekt striebrenia, ktoré vzniká stálym pôsobením ultrafialového žiarenia. Prekryty sú obzvlášť chýlostivé, pretože letecká technika prešla prevádzkovým opotrebením, počas ktorého bola pod neustálym vplyvom ultrafialového žiarenia. Dochádzalo k zmenám teploty počas letu, nesprávnemu ošetrovaniu a v neposlednom rade k mechanickému poškodeniu v podobe trhlín, škrabancov, a rýh.



Obr. 5 - Korózia ľahkých zliatin

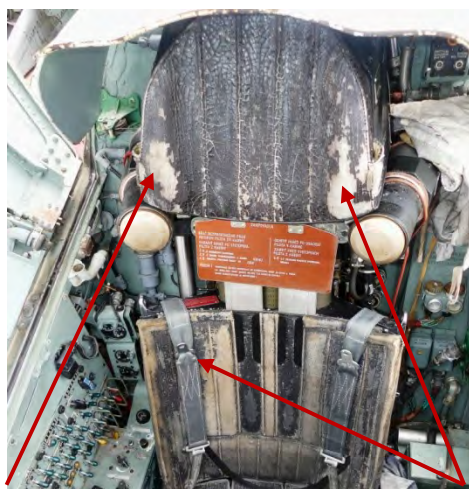


Obr. 6 - Tvorenie baktérií - čelný štítok lietadla Su-25

Podstata striebrenia je v tvorbe povrchových trhlín. Vznikajúce zhluky zhoršujú priehľadnosť a vytvárajú optický dojem striebrenia, ktorý je zapríčinený miestnym lomom svetla. Príčinou vzniku trhliniek je veľké rozťažné napätie v povrchovej vrstve skla. Okrem spomínanej prevádzky má vplyv na tvorbu trhlín aj samá výroba, kedy sa sklá formujú, mechanicky opracúvajú a montujú do rámov. V 70. rokoch sa používalo na zasklenie kabín organické sklo typ SO-95 a SO-120. Oprava poškodených skiel je možná jednoduchým mechanickým spôsobom t.j. vibračnou brúskou a následným leštením. Úspešnosť vyčistenia závisí od hĺbky trhlín. Výhodou pre nás je skutočnosť, že nami ošetrovaná letecká technika už nebude nikdy lietať. Na druhej strane získať náhradu za enormne poškodené sklo z určitého typu lietadla je niekedy nemožné a preto sa musíme vydať cestou opravy, ktorá bude zdĺhavá, ale prinesie aký taký osôh. Jediná a účinná ochrana pred žiarením je vhodné uloženie techniky a použitie ochranného povlaku, ktorý tento negatívny jav eliminuje.



Obr. 7 - Ochranný povlak ako súčasť preventívnej ochrany



Obr. 8 - Poškodenie povrchu sedačky

Ultrafialové žiarenie výrazne poškodzuje všetky gumové časti, pneumatiky, tesnenia kabín, dverí, gumové manžety podvozkov, manžety riadenia, gumové tesnenia všeobecne. Slné žiarenie poškodzuje interiér kabín. Jediná preventívna ochrana je opäť použitie ochrannej plachty, pravidelné vetranie a ošetrovanie jednotlivých povrchov. Výrazne poškodzuje tiež čalúnenia sedačiek, ktoré sa odlupuje z ich povrchu. Tento stav je neopraviteľný. Číre časti palubných prístrojov menia vzhľad, vzniká tzv. mliečny efekt, odlupovanie farby, degradácia farebného náteru a pod.



Obr. 9 - Mliečny efekt presklenia



Obr. 10 - Mliečny efekt prístrojov

2.5. ZP uložené pod prístreškom

V Múzeu letectva sú takéto predmety uložené v Prezidentskej Galérii, v ktorej je sústredená zahraničná letecká technika. Galéria z časti eliminuje priame klimatické vplyvy, ako je dážď, sneženie a slnečné žiarenie. Aj tu platia výnimky, ako napríklad zimná kalamita v roku 2007. V lokalite mesta Košice sú časté prejavy vzdušného prúdenia v smere juh - sever a opačne. Zastavaný priestor hangárov č. 1, 2, 3 (v tvare U) vytvára podmienky na tvorenie vírenia vzduchu s následným zanášaním mechanických nečistôt na horné plochy leteckej techniky. Obzvlášť je to viditeľné po zimnej uzávere múzea.



Obr. 11 - Zimná kalamita v roku 2007



Obr. 12 - Stav po zimnej uzávere 2020 – šedý potáh lietadla

3. Hlavné faktory poškodzujúce zbierkové predmety

Zbierkové predmety sú poškodzované vplyvom chemických, biologických, fyzikálnych mechanizmov, ktoré samostatne alebo pri vzájomnej interakcii urýchľujú proces poškodenia akýchkoľvek materiálov. Okrem toho tu patrí aj ľudský faktor. Medzi tie najznámejšie faktory poškodenia zbierkových predmetov patria:

- biologický škodcovia – hlodavce, ktoré poškodzujú gumové časti, kabeláž lietadiel, polstrovanie sedadiel, vtácie exkrementy vyskytujúce sa na povrchu leteckej techniky – poškodenie náteru,
- baktérie a plesne,
- nevhodné klimatické podmienky – vlhkosť a teplota napomáhajú tvorbe korózii, plesniam a baktériám,
- voda – ako dôsledok klimatických vplyvov, ktorý výrazne napomáha korózii všetkých druhov,
- svetlo – spôsobuje degradáciu čírych častí, gumových tesnení,
- znečistenie - polutanty, ktoré sa vyskytujú v ovzduší v podobe mechanických prachových častíc,
- tvorba rôznych oxidov (spaľovanie fosílnych palív, priemysel, prírodné javy - kyslé dažde a pod.),
- krádež, vandalizmus – krádež polohových svetiel, antén, častí krytov, krádeže na objednávku,
- oheň – dôsledok nezodpovedného správania ľudí – vo väčšine prípadov nezvratný stav poškodených predmetov,
- nevhodné zachádzanie – v našich podmienkach nedostatočné ošetrovanie lietadiel z dôvodu nedostatočného počtu zamestnancov,
- živelné pohromy.

3.1. Vplyvy emisné – exhalčné

Okrem klimatických vplyvov existuje emisná forma v podobe mechanických nečistôt a popolčeka, ktorá ovplyvňuje stav techniky. V blízkosti Múzea letectva sa nachádza významný zdroj exhalátov, oceliarne U.S.Steel Košice, s.r.o. Podnik prešiel niekoľkými technologickými inováciami zameranými na ochranu životného prostredia (napr. montáž ochranných filtrov znižujúcich znečisťujúce emisie). Na základe smernice Európskeho parlamentu podnik vykonal stavebné úpravy s cieľom zvýšenia ochrany životného prostredia a zníženia množstva emisií tuhých znečisťujúcich látok – TZL, ktoré vznikajú v technologickom procese odsírenia surového železa. Úlet emisií TZL zo zdroja spĺňal pôvodný platný emisný limit 10 mg/m^3 . Ten bol stanovený v súlade so Závermi BAT – Best Available Techniques (Vykonávacie rozhodnutie komisie 2012/135/EU z 28.02.2012, podľa smernice Európskeho parlamentu a Rady 2010/75/EU o priemyselných emisiách).

Podľa technickej správy z roku 2016, pôvodné filtračné zariadenie riešilo systém odsávania a odstraňovania emisií vznikajúcich pri technologickom procese odsírovania a odtroskovania surového železa. Odsávanie týchto emisií zabraňovalo zhoršovaniu pracovného prostredia a znečisteniu vonkajšieho okolia. Množstvo emisií vznikajúcich pri odsírovaní predstavovalo 0,25 kg na tonu surového železa. Pri odtroskovaní bola hodnota 0,05 kg na tonu surového železa. Veľkosť prachových častíc sa pohybovala od 44 do 250 mikrónov. Pri celkovej výrobe surového železa 1 600 000 ton za rok je celkové množstvo popolčeka vznikajúceho počas procesu odsírenia cca **480 ton**, ktoré spolu s vzdušnými hmotami vytvárajú dokonalý abrazívny nástroj. Tento popolček sa odsáva z oboch odsírovacích stanovišť, následne sa filtruje v dvojkomorovom filtri typu Jet. Filter bol navrhnutý pre prietok $100\,000 \text{ m}^3/\text{hod}$ s účinnosťou filtrácie 99 %. Látkový filter typu Jet bol vyrobený podľa dokumentácie firmy HTS približne v roku 1998. Konštrukčne obsahuje dve paralelné komory, v ktorých je zabudovaných 780 ks polyesterových rukávov o priemere 152,4 mm a dĺžke 3683 mm. Celková filtračná plocha je 1367 m^2 . Tepelná odolnosť rukávov je 135°C . Existujúce zariadenie malo predpísaný emisný limit 10 mg/m^3 . Po navrhovanej modernizácii má koncentrácia emisií tuhých

znečisťujúcich látok na výstupe z filtra dosahovať pod 3 mg/m^3 , maximálna výstupná koncentrácia prachu má dosahovať hodnotu $7,1 \text{ g/m}^3$.

Zároveň, činnosť továrne vytvára lokálne mikroklimatické prostredie so zvýšenou vlhkosťou. Obzvlášť sa to prejavuje v zimných mesiacoch, keď v lokalite múzea je viac snehových zrážok než v meste Košice. Podobný klimatický fenomén existuje v okolí atómovej elektrárne Dukovany v Českej Republike, kde v blízkosti chladiacich veží elektrárne sa pestuje vinič práve pre veľmi vhodné klimatické podmienky so zvýšenou vlhkosťou.



Obr. 13 - Múzeum Letectva, čelná strana hangáru č.1, obdobie od 15.1.2020

Vznikajúci popolček v kombinácii s nasýtenými vodnými parami (hmla, dážď a sneh spolu s vetrom) vytvárajú určitú jemnú abrazívnu formu, ktorá pôsobí na všetky kovové povrchy a časti. Primárne dochádza k obrusovaniu - opotrebovaniu týchto povrchov, k strate krycej a ochranej schopnosti. Sekundárnym problémom je tvorenie jednotlivých druhov korózie. Tento problém sa netýka len zbierkových predmetov, ale aj samotnej konštrukcie Prezidentskej Galérie (Obr. 17 a 18) a výstavných priestorov tvorených prenosnými leteckými hangármi typ Pícha 1922 (Obr. 16).



Obr. 14 - Lietadlo Mig-15 (január 2020)



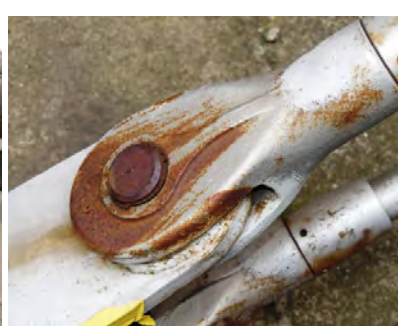
Obr. 15 - Raketa S-75 (január 2020)



Obr. 16 - Hangár



Obr. 17 - Nosníky PG



Obr. 18 - Nosník koncovka

Ako ďalší príklad uvádzam časť lietadla SAAB J-35 Ö Draken, ktoré je umiestnené v Prezidentskej Galérii. Celé lietadlo prešlo údržbou a umytím tesne pred otvorením sezóny 2021. Na obrázku (Obr. 19) je očistená plocha a ešte dokonalejšie očistenie bielou tkaninou (Obr. 20). Okrem prachu je na

ploche viditeľný čierny oter pochádzajúci z prednej časti kužeľa (Obr. 21). Náter je zdegradovaný, neplní svoju ochrannú úlohu. Musíme zobrať do úvahy fakt, že uvedený typ lietadla prišiel do múzea z aktívnej letovej prevádzky, a to znamená, že krycí náter už bol z časti opotrebovaný.



Obr. 19 - Predná časť trupu po umytí **Obr. 20 - Po dokonalejšom očistení** **Obr. 21 - Oter farby a prachu**

V prípade zbierkového predmetu lietadlo Q-6 Fantan je tento prach obzvlášť viditeľný na horných bielych plochách potahu (Obr. 12). Tento exponát je obzvlášť napadnutý koróziou. V minulosti boli už vykonané reštauračné práce na obnove proti fláterovým závažím na výškovom kormidle, ktoré boli doslova „prežraté“ koróziou od stekajúcej vody. Akékoľvek reštaurovanie nebolo možné. Do úvahy pripadala len výroba a výmena starých plechových puzdier za nové. Na poškodení sa podieľalo viacero faktorov. Jednak to boli vonkajšie klimatické vplyvy ako primárny aspekt. Sekundárnym bol vznik korózie. V tomto prípade to bolo viac druhov korózie, ako aj nevhodné priestorové umiestnenie lietadla pod hranou prístrešku, čo spôsobilo zatekanie vody a jej zdržiavanie sa na spodnej časti (Obr. 22). Po tejto skúsenosti bolo lietadlo odtlačené do patričnej bezpečnej vzdialenosti od stekajúcej vody. Niekedy aj takéto banálne opatrenia majú dostatočný vplyv, aby sa zabránilo tvorbe korózie.



Obr. 22 - Protifláterové závažie, devastačný stav



Obr. 23 - Stav po oprave a montáži

Všeobecne možno povedať, že uvedené klimatické zmeny v kombinácii s exhalátmi výrazne napomáhajú tvorbe korózie kovov, ako i degradácii plastových, bakelitových častí a čírych priehľadných častí. Určitý vplyv má aj spôsob uloženia zbierkového predmetu, hlavne v čase dlhodobiejšieho uzatvorenia expozíčných priestorov. Stojí za úvahu, či daný predmet stiahnuť z expozície alebo zakryť. V čase prechodných zmien chladného a teplého počasia dochádza k vzniku vodných pár, ktoré sa vyzrážajú na studených kovových konštrukciách. V našom múzeu používame ochranné fólie. Tvorbe korózie nedokážeme zabrániť, ale vieme ju z časti eliminovať takýmito jednoduchými finančne nenáročnými opatreniami.



Obr. 24 - Zimné opatrenia

Problém usádzania popolčeka bol známy už v dobe pôsobenia bývalého Výcvikového Strediska Letectva, keď bola letecká technika „hangárovaná“ pod holým nebom. Tento problém sa v tej dobe neriešil. Bola to vec údržby, technik očistil znečistené plochy lietadla na predbežnej príprave. Použitie účinnejších zberných prachových filtrov tento problém eliminovalo.

3.2. Faktory ovplyvňujúce vlastnosti kovov

V expozičných priestoroch, ktoré sú situované aj na trávinatej ploche múzea, sú zbierkové predmety vystavené opotrebovujúcim faktorom, ktoré ovplyvňujú stav jednotlivých častí vystavovanej leteckej techniky. Môžu sa prejavovať jednotlivo alebo v kombinácii s hore uvedenými vplyvmi.

3.2.1. Faktor mechanický

Tento druh opotrebenia je najrozšírenejší a najviac sa prejavuje v priebehu prevádzky lietadla. Dochádza k vzniku trhlin z únavy materiálu spôsobenej rezonanciami a kmitmi jednotlivých častí poťahu. Dochádza k namáhaniu, ktoré majú za následok zmenu technického stavu. V muzeálnych podmienkach sa vyskytuje ojedinele (u letových exponátov), ale treba podotknúť, že táto muzeálna technika si tieto neresti prináša so sebou. Mechanické opotrebenie vzniká v dôsledku pôsobenia trecích síl pri vzájomnej zmene polohy dotýkajúcich sa súčastí. Opotrebenie pri trení je späté s mechanickým, fyzikálnym a chemickým procesom. Je závislé od mechanických vlastností materiálu, od drsnosti plôch, od druhu trenia, ktoré môže byť suché, polosuché a pod. Patrí tu aj samotné starnutie materiálov, ktoré strácajú svoje vlastnosti (čo je náš prípad). Ďalej to môže byť pôsobenie okolitého prostredia. V dôsledku prekročenia životnosti a vplyvom bezúdržbového stavu techniky dochádza k poškodeniu povrchu súčastí, ktoré boli v priebehu leteckej prevádzky najviac zaťažené. Príkladom je pristávacie zariadenie, ktoré je najviac namáhané. Vznikajú trhliny, deformácie súčiastok, opotrebenie pracovných povrchov. Príkladom môže byť piestnica tlmiča podvozku a jej poškodenie pochrómovaného povrchu (Obr. 26 a Obr. 27). V dôsledku toho dochádza k mechanickému opotrebeniu tesniacich krúžkov. Dochádza k strate tesnosti a zníženiu účinnosti tlmiča. V praxi sa to prejavuje nahnutím lietadla na stranu. Oprava je náročná a je možné len vo vybraných prevádzkach. Výmena tesniacich krúžkov je náročná na demontáž, na potrebné náradie, prípravky, vyžaduje si stupeň bezpečnosti a v neposlednom rade si vyžaduje kvalifikovaného zamestnanca a požadované náhradné diely, t.j. krúžky, tesnenia. Okrem toho je potrebné vyskúšať tesnosť systému určeným zariadením, ktoré tiež nie je bežne dostupné.



Obr. 25 - Ošetroená piestnica



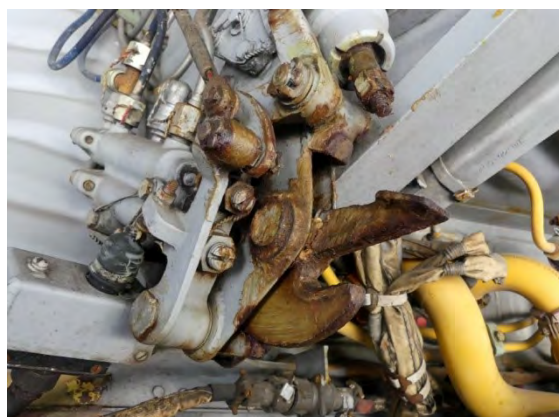
Obr. 26 a Obr. 27 - Poškodenie povrchu a strata chrómovanej vrstvy



Poškodené môžu byť súpačia, uhlové páky, zámky, mechanické tiahla oko-hák, ktoré sa nachádzajú v priestore podvozkových šachiet. Sprievodným javom vzniknutého opotrebenia je obrusovanie. Prachové častice spolu so vzduchom prenikajú do spomínaných nechránených miest. Znečisťujú mazacie hmoty, pričom vytvárajú abrazívnu hmotu, ktorá potom preniká do trecích medzier medzi plochy súčastí.



Obr. 28 - Ošetroené tiahlo krytu podvozku



Obr. 29 - Ošetroený zámok krytu podvozku

Prejavom je opäť vznik korózie. Opotrebenie je výrazné u skrutkových spojov, kĺbových častí, ložísk a pod. V tomto prípade je jednoduchá ochrana v podobe mazania týchto povrchov ochranným tukom – vazelínou (Obr. 25, 28 a 29). Takáto konzervácia účinne pomôže a dlho vydrží.

3.2.2. Faktor korozívny

Tento faktor je najrozšírenejší, prejavuje sa najviac, pretože technika stojí, nie je prevádzkovaná a hlavne nie je ošetrovaná. Prejavuje sa vo všetkých možných formách a variáciách. Korózia je znehodnotenie materiálu, spôsobené chemickým alebo chemicko-fyzikálnym pôsobením z okolitého agresívneho prostredia, ktorého konečným výsledkom je čiastočné alebo úplné rozrušenie materiálu. Za korózne poškodenie kovu považujeme zhoršenie funkcie kovu a ovplyvnenie jeho spoľahlivosti (výrobku) na určitej hladine pravdepodobnosti. Korozívne poškodenie sa môže prejavíť v nasledovných formách:

- **zmenou vzhľadu povrchu** - zmatnenie povrchu, strata lesku materiálu (Obr. 30 a 31),



Obr. 30 - Poťah napadnutý koróziou



Obr. 31 - Bezkorozívny stav

- **prírastkom hmotnosti** - vznikajú rôzne zhľuky korózných útvarov, ktoré priľnú na povrchu kovu a vytvárajú tak prídavnú hmotnosť,
- **zmenou fyzikálnych vlastností** - nárast prechodového odporu,
- **úbytkom hmotnosti materiálu** - zmenšenie nosného prierezu materiálu, pokles únosnosti konštrukcie. Ako príklad môže poslúžiť vztlaková klapka z lietadla Mig-19 (Obr. 32). Duralový poťah stratil výrazne na svojej materiálovej hrúbke. Efekt žiletky spôsobený koróziou (Obr. 33, 34 a 35) vytvára nebezpečne ostrú hranu. Väčšinou sa prejavuje na odtokových hranách pohyblivých častí kormidiel,



Obr. 32 - Klapka po odstránení poškodeného poťahu



Obr. 33 - Detail odtokovej hrany



Obr. 34 - Odtoková hrana, strata materiálu



Obr. 35 - Detailný záber na hranu

- **zmenou mikrogeometrie skorodovaného povrchu** - zvýšená drsnosť,
- **poklesom mechanických vlastností** bez pozorovaného korózneho poškodenia, vzniká pri medzikryštalickom koróznom napadnutí kovu,
- **znečistením prostredia koróznymi splodinami** - vyskytuje sa väčšinou v potravinárskom a farmaceutickom priemysle. V leteckej prevádzke sa tento jav vyskytuje ojedinele. Viaže sa s pevne zabudovanou hlavnou výzbrojou a jej bojovým použitím. Výsledkom je znečistenie povrchu strelným prachom. V našom prípade sa vyskytuje u lietadla Mirage III RS, ktoré bolo prevádzkované s bojovým použitím, presnejšie leteckými strelbami (Obr. 36 a 37).



Obr. 36 - Ejektor 20 mm kanónu DEFA 552

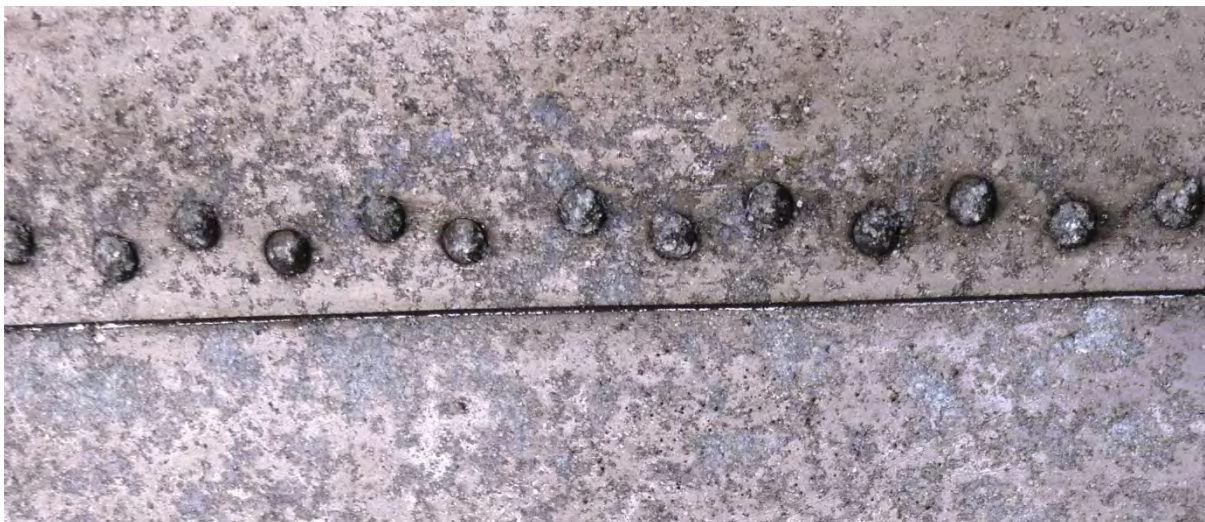


Obr. 37 - Prachové stopy

V leteckej praxi existuje mnoho hľadísk, podľa ktorých môžeme koróziu posudzovať. Vplyvom určitých faktorov pri rôznych podmienkach sa interakcia kovu s prostredím prejavuje rôznou rýchlosťou a rozdielnymi druhmi korózneho napadnutia. Tie sú rozlišované podľa intenzity a charakteru prenikania prostredia do kovu a porušovania jeho štruktúry. Najviac používané kritérium je metalografické skúmanie korózneho poškodenia, ktoré sa vykonáva v laboratórnych podmienkach. Vyhodnotením sa určí druh, tvar a mapa korózneho napadnutia. Najvyššia forma je mikroskopické vyhodnotenie stavu povrchu. Jednoduchšou metódou je vizuálne posúdenie, keď sa korózia primárne klasifikuje podľa vzhľadu, t.j. či sa jedná o rovnomernú alebo nerovnomernú (lokálnu) koróziu.

Rovnomerná korózia - napadnutie prebieha rovnakou rýchlosťou po celom povrchu kovu. Dôsledkom je predovšetkým strata hmotnosti korodujúceho kovu, vzniká tzv. perforácia kovu.

Nerovnomerná korózia - nerovnomerné napadnutie prebieha prevažne v miestach zvýšenej aktivity kovového povrchu. Koróziou je zasiahnutá malá časť povrchu, ale preniká do značnej hĺbky. Prejavuje sa ako bodová, jamková, selektívna, medzikryštalická korózia a jej vyššou formou je vznik medzikryštalických korózných trhlín, transkryštalická korózia s priebehom do transkryštalických trhlín.



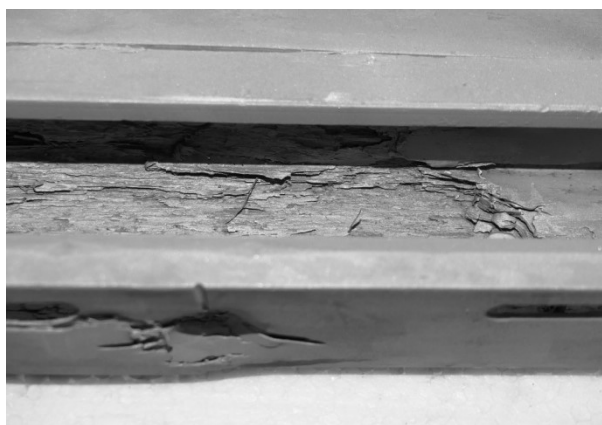
Obr. 38 - Plocha poškodená koróziou

Bodová korózia - postihuje aj materiály, ktoré sú relatívne odolné voči rovnomernému koróznemu napadnutiu. Pre takéto materiály predstavuje vysoké riziko, pretože môže dochádzať k rýchlej

perforácii veľkej hrúbky materiálu. Najčastejšie nastáva pri exponovaní materiálu roztokmi obsahujúcimi ióny (chloridové, bromidové, jodidové alebo chlórny). Korózii náchylné sú ocele aj hliníkové zliatiny.

Jamková korózia - je proces, ktorý je ako mechanizmom tak príčinami podobný vzniku bodovej korózie. Hlavným rozdielom v oboch typoch korózneho napadnutia je pomer hĺbky a priemeru vzniknutej jamky. U jamkovej korózie je hĺbka korózneho napadnutia menšia ako najväčší priemer jamky. Spôsobuje ju nerovnorodosť povrchu alebo pasívnej vrstvy.

Medzikryštalová korózia je zvláštnym typom selektívnej korózie. Prebieha prednostne pozdĺž hraníc zŕn. Obzvlášť náchylné sú zliatiny, u ktorých dochádza pri tepelnom spracovaní (starnutí, ohreve) k zmenám štruktúry na hraniciach zŕn. Príkladmi sú korózii odolné ocele, zliatiny hliníku, niklové zliatiny a pod. Správne tepelné spracovanie a tiež vhodné zloženie zliatin sú dobrou prevenciou proti vzniku tejto korózie.



Obr. 39 a Obr. 40 - Koróziou poškodená pojazdová lišta dverí

Transkryštalová korózia tvorí sieť rozvetvených trhlín prechádzajúcich zrnami. Takéto korózne napadnutie sa vyskytuje pri nehrdzavejúcich oceliach v prítomnosti chloridov alebo pri korózii mosadzi v parách amoniaku. Transkryštalové korózne napadnutie je určené počtom trhlín vznikajúcich vplyvom vnútorného napätia a agresívnym pôsobením korózneho prostredia.

Škvritá korózia je druhom, pri ktorom vznikajú plytké škvrny, nezasahujúce do väčšej hĺbky materiálu. Po dlhšom priebehu tejto korózie dôjde k spojeniu škvŕn a korózia sa stáva rovnomernou.

4. Konštrukčné materiály v praxi

Lietadlo ako konštrukčný celok je materiálovo zložený zo zliatin na báze hliníka, horčíka, medi a titánu. Uvedené materiály našli v leteckej praxi široké uplatnenie. Pri výrobe hliníkových zliatin sa používajú legujúce prvky ako meď, mangán, horčík, kremík, zinok, molybdén a titán, ktoré zvyšujú ich mechanické vlastnosti. Zliatiny hliníka sa delia na zlievarenské a na tvárnenie.

4.1. Duraly

V leteckej prevádzke pôsobia na leteckú techniku krútiace momenty, ohybové momenty, priečne posúvajúce sily. Z hľadiska pevnosti konštrukcie sa používajú vysokopevnostné zliatiny hliníka. Majú jednu nevýhodu, sú menej odolné voči korózii. Ich jedinou ochranou je tzv. plátovanie. V praxi to znamená, že duralový plech sa pokrýva vrstvou čistého hliníka a prechádza procesom valcovania za tepla. Hliník sa privára k duralu.

Letecká technika vyrobená v bývalom Sovietskom Zväze je v našom múzeu zastúpená typmi lietadiel Mig-21F, MF, UM, Su-15MT, Su-22M3, M4, Su-25K, Jak-40, Tu-154, Mi-24 a IL-14. Je vyrobená zo zliatin duralov nasledujúcich typov:

D1A -T použitie na výrobu plechov, profilov, potrubia, drôtu

D16A -T	použitie na výrobu plechov, tyčí, profilov, potrubia, drôtu, nitov
D18P	použitie na výrobu drôtov a nitov
VD17	použitie na výrobu lopatiek kompresorov
D19	použitie na výrobu nitov a plechov, ktoré sú zaťažované vysokými teplotami
D20	použitie na výrobu lopatiek a diskov kompresorov
V65	použitie na výrobu nitov

4.2. Horčíkové zliatiny

Vyznačujú sa nízkou špecifickou hmotnosťou a dobrými mechanickými vlastnosťami, čo je ich základnou výhodou, aby našli svoje uplatnenie v letectve. Majú aj radu nedostatkov, ako malá odolnosť voči korózii, pri obrábaní sa ľahko vznietia a majú zníženú odolnosť voči opotrebeniu. Horčíkové zliatiny delíme na zliatiny tvárnené a zliatiny zlievarenské. Obe našli uplatnenie v leteckých konštrukciách ako aj v bežnom priemysle.

Niektoré sovietske horčíkové zliatiny pre tvárnenie používané v letectve:

MA1	používa sa na výrobu nádrží, armatúr, poťahov
MA8	používa sa na výrobu stredne zaťažené časti z plechov, výkovky zložitých tvarov
MA13	používa sa na výrobu častí, ktoré pracujú v teplotách do 350 °C

4.3. Titánové zliatiny

Tento materiál je veľmi perspektívny v oblasti letectva pre svoje vysoké mechanické vlastnosti pri vysokých teplotách. Pevnosť titánu pri teplote 425 °C je dvakrát vyššia ako pevnosť hliníkovej zliatiny. Pri legovaní titánu sa môže doceliť pevnosť titánu až na 1400 MPa. Veľmi vysoko ocenenou vlastnosťou je vysoká odolnosť voči únave. Medzi základné legujúce prvky na získanie titánových zliatin je železo a hliník. Oba prvky zvyšujú pevnosť. Menej ako 5 % obsahu hliníka zvyšuje pevnosť titánovej zliatiny 2 – 3-násobne.

5. Metódy ošetrovania kovových povrchov

Spôsob reštaurovania vytvára určitý modus operandy – návod ako postupovať, ktorý nebude veľmi odlišný od reštaurovania vreckových hodínok či osobného automobilu. V tých základných krokoch nájdeme určitú zhodu. Prvým krokom je úprava povrchu - očistenie, ktoré si vyžaduje určitý odstup z hľadiska životnosti materiálu. Do akej miery sa podarí povrch očistiť a upraviť ho, od toho bude závisieť kvalita a životnosť nasledujúcej povrchovej úpravy. Najvyššiu životnosť je možné očakávať u povrchov, ktoré boli očistené až na kovový povrch. Stav povrchu je z časti daný podmienkami uloženia a klimatickými vplyvmi, či je drsný, výrazne skorodovaný, extrémne skorodovaný, nenávratne zničený.

V prípade duralových povrchov, čo je hlavný stavebný materiál v letectve, sa hrúbka materiálu pohybuje v niekoľkých milimetroch. Poväčšine je to poťah lietadla, kryty, vnútorné konštrukčné časti, rebrá, pozdĺžniky a pod. Kvalita materiálu sa líši od výrobcu. Každý materiál s miernymi odchýlkami bude mať inú štruktúru kovu. To sa môže prejaviť vo forme hĺbky korózie a jej plochy. Niektoré sú doslova zdevastované, ako nábežná hrana v prípade lietadla Q-6 Fantan, iné vyzerajú v relatívne dobrej kondícii. Vo väčšine prípadov sa jedná o leteckú techniku vyrobenú v západnej Európe a techniku vyrobenú v bývalom Sovietskom Zväze od konca 70. rokov.

Ošetrovanie, t.j. odstránenie korózie, môžeme vykonať rôznymi spôsobmi. Podľa rozsahu a hĺbky existujú účinné technické zariadenia a chemické prostriedky. Medzi najbežnejšie spôsoby môžeme zaradiť:

- mechanické nástroje (drôtená kefa, rotačné drôtená kefa, brúsny papier, pilníky a pod.)
- vodné tlakové zariadenia

- otryskávacie zariadenia (tzv. pieskovačky)
- chemické prostriedky vo forme konzervačných látok alebo inhibítorov, t.j. spomaľovače korózie.

5.1. Mechanické ošetrovanie

V reštaurátorskej praxi sa jedná o najznámejší a najdostupnejší spôsob ošetrovania zbierkových predmetov, ktoré sú znečistené alebo napadnuté koróziou. Tu patria najzákladnejšie čistiace procesy pomocou brúsnych papierov rôznej zrnitosti, drôtenej kefy, rotačných drôtených kief, brúsnych teliesok a fréz. Tento proces je najlacnejší. V určitých ohľadoch si vyžaduje zručného pracovníka.

5.2. Vodné vysokotlakové čistenie povrchu

Z hľadiska dostupnosti a účinnosti môžeme považovať toto zariadenia za veľmi účinnú formu očisty akéhokoľvek povrchu. Samozrejme, aj tu platia isté výnimky. Pre veľkoplošné poťahové panely lietadla alebo znečistený blok motora je táto voľba najlepším krokom ako odstrániť koróziu. V našom prípade používame zariadenie **COMET Model K-250 10.150L**, model má prietok vody 750 litrov/hodinu s maximálnym tlakom vody 15 MPa. Vodný lúč dokáže účinne odstrániť plošné mechanické nečistoty, zhluky korózie. V prípade mastných povrchov (olej z piestových motorov, vytekajúca hydraulická kvapalina a pod.) sa používajú pomocné čistiace zariadenia spolu s chemickým prostriedkom ARWA. Výhodou týchto zariadení je, že sú prenosné a napájané štandardnou napájacou sieťou 220 V. Pracovný tlak zo striekacej pištole sa pohybuje v rozsahu od 13 – 16 MPa, hodnota tlaku sa mení od typu zariadenia. Tento čistiaci proces je rokmi overený a je bez následkov



Obr. 41 - Čistiaci prostriedok ARWA



Obr. 42 a Obr. 43 - Tlakové zariadenie COMET Model K-250



na ošetrový povrch, okrem toho je možné prispôbiť pracovný tlak. V reštaurátorskej praxi sa používajú aj zariadenia s tlakom do 34 MPa. Nad hodnotu 75 MPa sa tento proces čistenie nazýva ultra vysokotlakové otryskávanie. Z hľadiska tlakového čistenia je to najvyššia forma. Táto metóda je veľmi účinná a vhodná na odstránenie mechanických nečistôt. Dokáže odstrániť pomerne veľké korozívne častice. V určitých prípadoch existuje potenciálne riziko poškodenia predmetov, preto materiál musí mať dostatočne silnú hrúbku a je potrebný zručný zamestnanec, aby zvolil správny postup a pracovný tlak.

5.3. Otryskávacie zariadenie

V prípade ťažko dostupných a silne skorodovaných plôch je možné vykonať mechanické ošetrovanie povrchu. Dosiahneme ho vzájomným relatívnym pohybom pracovných častíc a čisteneho povrchu. Dochádza tak k odstraňovaniu nečistôt za pomoci vyvinutej kinetickej energie. Častice môžu byť voľné alebo pevne viazané s pracovným nástrojom.



Obr. 44 a Obr. 45 - Pieskovacia kabína SBC-420

V prípade korózie železných kovov používame na pieskovanie kremičitý piesok. Okrem toho je možné použiť oceľovú alebo liatinovú drť, sklenené guľičky. Drť je výhodná pretože sa dá použiť viackrát a je účinnejšia. V našej reštaurátorskej praxi používame pieskovacie zariadenie SBC-420 s cyklónovým filtrom. Zariadenie tvorí masívna skriňa s priezorom. Umiestnenie predmetu do priestoru skrine zabezpečujú bočné alebo horné dvere. Ovládanie pištole je nožným pedálom, ktorá pracuje s keramickými dýzami s priermi 6 a 7 mm.

Na čistenie hliníkových, duralových povrchov používame abrazívum na ľahké kovy **FISHER JET plast typ III**. Jedná sa o zrnitý, polygonálny, granulovaný aminoplast (MELAMIN). Vďaka vyššej tvrdosti dosahuje vyššiu účinnosť. Typ III bol certifikovaný letectvom USA podľa normy MIL-P-85891 a môže sa používať na čistenie a odstraňovanie náterov z povrchov v civilnom leteckom priemysle a vojenskom letectve. Spĺňa najprísnejšie kritériá v oblasti šetrnosti voči čistým plochám.

Nami používané abrazívum na železné kovy nesie označenie **ASILIKOS®**. Jedná sa o syntetický minerálny materiál, ktorý je šetrný k životnému prostrediu podľa ISO 11126-4 N / CS / G. Skladá sa z troskového granulátu a môže byť používaný v súlade s požiadavkami BGR 500 - Práca s otryskávacím zariadením. Používaná veľkosť zrna sa pohybuje od 0,2 – 0,5 mm. Samozrejme, veľkosť sa môže meniť v závislosti od rozsahu korózie. Pracovné abrazívne médium je šetrné na použité kovové povrchy. Je možné ho používať v bežne dostupných otryskávacích zariadeniach skriňového typu vybavených pištoľou na stlačený vzduch. Prítomné kovy sú chemicky viazané vo forme kremičitanov alebo hlinitanov. Neobsahuje žiadne rozpustné zložky. Chemické zloženie abrazíva je tavenina skla a kremičitanu hlinitého. Chemické zloženie pozostáva z nasledujúcich oxidov:

Oxid kremičitý 42 - 58 %	Oxid železitý 3 - 15 %	Oxid draselný 0,5 - 4,6 %
Oxid hlinitý 23 - 32 %	Oxid vápenatý 2 - 8,5 %	



Obr. 46 - Abrazívum ASILIKOS®



Obr. 47 - Abrazívum FISHER JET plast typ III

Pri úprave povrchov z ľahkých zliatin pieskovaním musíme dbať na správne zvolený abrazívny materiál, aby nedošlo k poškodeniu povrchu. Aj v tomto prípade musíme dať pozor na to, aby čistený materiál bol dostatočnej hrúbky. Táto forma opracovania povrchu je vhodná pre nedostupné miesta, malé plochy a pre silne skorodované časti za predpokladu, že ošetrovaný predmet má menšie rozmery ako je veľkosť čistiacej kóje pieskovačky.

5.4. Chemické čistiace a ochranné prostriedky kovových povrchov

5.4.1. Prostriedok na čistenie CORTEC VpCI®-414

Okrem nám známych a v praxi používaných chemických rozpúšťadiel ako sú nitrocelulóзовé a syntetické riedidlá či technický benzín, existuje nová rada čistidiel na ekologickom základe, tzn., že sú riediteľné vodou a neobsahujú agresívne rozpúšťadlá. V leteckej prevádzke sa úspešne používajú pre svoju vysokú efektívnosť a hlavne pre svoju ekologickú schopnosť. Existuje celá typová škála presne definovaných prostriedkov od firmy CORTEC, ktorá presne vymedzuje spôsob ich využitia. Pre muzeálne potreby som otestoval prípravok VpCI®-414, ktorý má veľmi dobrú schopnosť odstrániť akékoľvek masťové tukové zhluky starých prevádzkových vazelín v kombinácii s mechanickými nečistotami. Výrobca garantuje aj odstránenie voskových povlakov, ktoré sú na báze silikónov.



Obr. 48 - Znečistené ložisko



Obr. 49 - Proces čistenia



Obr. 50 - Vodný kúpeľ



Obr. 51 - Po očistení a osušení

Samotný prostriedok je ekologický, nehorľavý a svojimi vlastnosťami nemá negatívny vplyv na ošetrovaný povrch. Látka je gélovej konzistencie, pričom dobre priľne aj na vertikálnych povrchoch. Okrem toho, po aplikácii poskytuje krátkodobú antikoróznú ochranu. Môže sa použiť na povrchy predmetov vyrobených z uhlíkovej ocele, hliníkových zliatin, medi, nerezovej ocele, hliníkové zliatiny a mosadze (s obsahom Zinku menším ako 30 %). Pre daný zámer bolo vybrané valčekové ložisko (Obr. 48), ktoré bolo znečistené kombináciou vazelíny a mechanických nečistôt. V prvom kroku bola na predmet nanosená látka pomocou štetca. Reakcia bola takmer okamžitá. Gél postupne uvoľnil nečistoty z uvedenej súčiastky (Obr. 49). Potom bol prenesený do vaničky naplnenej vodou (Obr. 50), kde došlo k uvoľneniu zostávajúcich nečistôt. Tento proces sa opakoval v dvoch krokoch do úplného vyčistenia. Nakoniec bol vykonaný finálny oplach a osušenie ložiska (Obr. 51).

Na celkové vyčistenie ložiska bolo potrebné malé množstvo čistiaceho gélu veľkosti vlašského orecha a vanička s objemom cca 2 litre vody. V prípade očistenia akýmkoľvek rozpúšťadlom je potrebné použiť približne 4 dcl benzínu + na očistenie náradia, pričom dochádza k odparovaniu a vzniku rizika inhalácie týchto splodín.

5.4.2. Ošetrovanie prípravkom Tanín

Chemický proces ochrany pomocou tanínových roztokov patrí medzi tie najzákladnejšie ochrany kovových povrchov pred koróziou. Táto forma je populárna pre svoju jednoduchosť a dostupnosť v celej škále konzervátorskej činnosti. Používa sa na stabilizáciu ľahko, ale aj silne skorodovaných povrchov. Takáto aplikácia sa v konzervátorskej praxi volá tzv. tanátovanie. V marci 2018 bol ošetrovaný tanínom zbierkový predmet Ojnica L00303/1951/02865. Predmet je umiestnený v expozičných priestoroch (hangár Pícha 1922) s častými výkyvmi vlhkosti a teploty v priebehu celého roka.



Obr. 52 a Obr. 53 - Stav zbierkového predmetu pred ošetrením, marec 2018



Obr. 54 a Obr. 55 - Stav zbierkového predmetu po ošetroení, september 2020

Daný zbierkový predmet, kľukový mechanizmus deväťvalcového hviezdicového leteckého piestového motora bol výrazne napadnutý koróziou (90 % povrchu) po celom ramene závesnej (mاتيčnej) ojnice z obidvoch strán, veľká hlava ojnice bola skorodovaná po obvode aj vo vnútri stredu. Vedľajšia ojnice kľukového mechanizmu bola skorodovaná po obvode telesa. Obe čapovacie oká, v ktorých sú bronzové puzdra, boli znečistené mechanicky a zasiahnuté koróziou.

Záverná matica z hliníkovej zliatiny bola napadnutá koróziou ľahkých kovov. Prvým krokom bola celková demontáž ojničného celku na jednotlivé časti. Potom boli odstránené mechanické nečistoty – prach a stopy mastnoty pomocou technického benzínu. Po dôkladnom osušení bola postupne odstránená korózia mechanickým spôsobom, a to opieskovaním jemným kremičitým pieskom až na čistý kov. V prípade závernej matice z hliníkovej zliatiny bolo použité abrazívum na ľahké kovy. Finálne leštenie opracovaných povrchov bolo vykonané pomocou mosadzných rotačných kief rôznych priemerov a tvarov podľa náročnosti prístupu k poškodenému miestu.

Po vyčistení prešiel predmet dôkladným očistením plôch technickým benzínom. Po úplnom osušení bol vykonaný ochranný nástrek lakom jednotlivých častí. Nástrek sa vykonával za vhodných klimatických podmienok v troch krokoch tak, aby bola zabezpečená dostatočná vrstva. Po dokonalom zaschnutí bola kľukovka spätne zmontovaná do daného technologického celku a umiestnená v expozícii. V zimných mesiacoch pri uzatvorení expozície je predmet prikrytý ochrannou fóliou. Jeho stav pred a po 30-tich mesiacoch je zdokumentovaný na Obr. 54 a Obr. 55. Z dlhodobého hľadiska, pri dodržaní určitých zásad sa dá dospieť k veľmi dobrým výsledkom.



Obr. 56 - Stav 3/2018



Stav ojnice pred a po reštaurovaní

Obr. 57 - Stav 9/2021

Podobným procesom ošetrovania prešiel zbierkový predmet Ojnica L00567-1 (Obr. 56 - Stav 3/2018 a Obr. 57 stav 9/2021). Pri dodržaní vhodných klimatických podmienok by sa doba ochrany medzi dvoma po sebe nasledujúcimi reštaurátorskými prácami výrazne predĺžila a znížilo množstvo zásahov do zbierkového predmetu, ktoré môže byť niekedy na škodu.

5.4.3. Ošetrovanie prípravkom CORTEC VpCI®-427

Okrem hore uvedenej chemickej ochrany sú na trhu dostupné chemické inhibítory, ktoré majú tiež svoje miesto a uplatnenie v reštaurátorskej praxi. Ich účelom je spomaliť proces tvorby korózie. Podstata úpravy povrchov spočíva v odstránení hrdze prevodom na nerozpustné fosforečnany kyselinou fosforečnou kombinovanou s inhibítormi korózie a látkami, ktoré uľahčujú penetráciu. Proces, ktorý pritom vzniká, tvoria mikroskopické častice, ktoré vo forme iontov migrujú prostredím a sú priťahované všetkými kovovými povrchmi. Vytvárajú na ošetrovanom povrchu tenkú mono-molekulárnu ochrannú vrstvu. Z hľadiska reštaurovania je dôležité, že vytvárajú ochrannú vrstvu v ťažko dostupných miestach. Inhibítory sú šetrné k životnému prostrediu, pretože sú riediteľné vodou. Aplikácia týchto prostriedkov je pre človeka zdravotne neškodná. Sú tak široko spektrálne, že sa používajú na ochranu všetkých kovových povrchov. Z hľadiska ich účinnosti poskytujú dlhodobú ochranu. Sú aktívne takmer vo všetkých prostrediach. Zachovávajú pôvodné vlastnosti ošetrovaného materiálu. Ľahko sa aplikujú. Ich výhodou je ich variabilita použitého skupenstva. Nosič inhibítora môže byť vo forme pevného skupenstva (PE fólia, papier, PU peny, konzervačné prášky), v kvapalnom (konzervačné oleje, voda, riediteľné koncentráty, voskové nátery) alebo plynnom skupenstve (technické plyny a pod.).



logo spoločnosti

Charakteristika produktu

VpCI®-427 je vysoko účinný koncentrát na báze vody navrhnutý na odstránenie zoxidovaného povrchu a spomalenie ďalšej oxidácie na výrobkoch z hliníku a jeho zliatin. Je určený aj na povrchovú úpravu týchto materiálov pred ďalším spracovaním, ako je napríklad elektrolytické pokovovanie, eloxovanie alebo vykonávanie náterov. Je navrhnutý tak, aby prekonal nedostatky konvenčných čistiacich produktov, akými sú tvorba kameňa a obmedzená účinnosť kyselín a luhov používaných v rade týchto prostriedkov. VpCI®-427 je environmentálne neškodný a po rozpustení oxidov na povrchu hliníka alebo jeho zliatin predíde jeho opätovnej oxidácii. Na zvislé plochy je možné použiť VpCI®-428 vo forme gélu. Použitie na:

- hliníkové konštrukcie
- diely pre motorové vozidlá
- odliatky
- letecký priemysel

Aplikácia a obmedzenia pri práci

Prostriedok sa riedi vodou v pomere 1:1 až 1:9. Doba pôsobenia roztoku závisí od doby potrebnej pre úplné odstránenie korózie. VpCl®-427 sa dá oplachovať vodou, ale pre lepší účinok je lepšie použiť oplachovací prostriedok VpCl®-410, ktorý poskytuje ďalšiu antikoróziu ochranu. Pre dosiahnutie lesklého povrchu je odporúčané následne použiť VpCl®-426. Môže sa aplikovať striekaním alebo ponorením. Ošetrované časti, ktoré sú pod vplyvom roztoku, je potrebné monitorovať.

Použitie pre silnú oxidáciu:

jeden diel VpCl®-427 na 1 - 5 dielov vody

Použitie pre stredne silnú oxidáciu:

jeden diel VpCl®-427 na 5 - 8 dielov vody

Použitie pre ľahké znečistenie:

jeden diel VpCl®-427 na 8 - 15 dielov vody

Podľa uvedeného návodu je aplikácia pomerne jednoduchá. Eliminuje mnoho zbytočných medzikrokov, ktoré sú potrebné pri odstránení korózie, ako je mechanické čistenie, odstránenie korózie, pieskovanie, používanie chemických rozpúšťadiel - riedidlá alebo technický benzín a pod. Toto však platí v priemyselnej oblasti, kde sa všetky tieto technologické kroky eliminujú za účelom zníženia finančných nákladov na ošetrovanie a zníženie straty času.

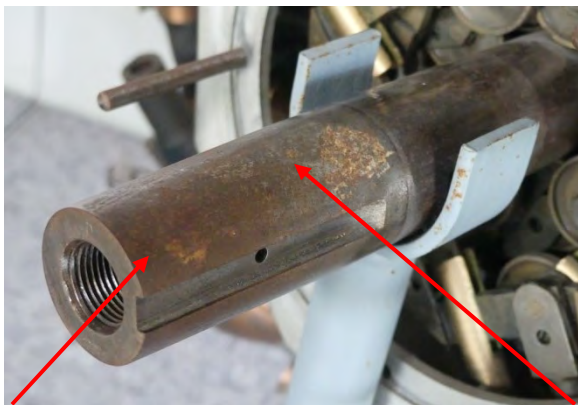
Všetky hore uvedené informácie sú tak trochu kontraproduktívne z hľadiska použitia týchto ochranných procesov v múzejnej reštaurátorskej praxi. V našich podmienkach je potrebné tieto jednotlivé úkony vykonať z dôvodu dôsledného ošetrovania zbierkového predmetu. Výsledkom by malo byť predĺženie doby ošetrovaného povrchu na maximálne možnú dobu.

Prostriedky na úpravu kovov Cortec sa vyrábajú vo forme tekutín alebo gélov a používajú sa na namáčanie, strikanie a natieranie. Prostriedky na odstránenie korózie sú na báze organických chemikálií, ktoré odstraňujú oxidy a škvrny zo železa, medi, mosadzi a hliníka. Ekologické výrobky na úpravu kovov spoločnosti Cortec tiež obsahujú biologicky odbúrateľné čistiace a prostriedky na odstraňovanie náterov, ktoré sú šetrné k životnému prostrediu. Často sa stáva, že pokiaľ chceme odstrániť koróziu, musíme najprv odstrániť všetky nečistoty alebo náter. Obvykle stačí zbežná vizuálna kontrola, aby sme mohli určiť, či daná časť vyžaduje prípravné práce. Niekedy, zvlášť u ťažko skorodovaných súčastí, dochádza k tomu, že musíme odstrániť hrdzu a až potom sa dostaneme k nečistotám alebo náteru, ktorý je tiež potrebné odstrániť. Väčšina čistiacich a odmasťovacích prostriedkov je na báze vody a prírodných látok a tie sú teda biologicky odbúrateľné, netoxické a nehorľavé. Zloženie všetkých týchto prostriedkov bolo určené s ohľadom na bezpečné a viacúčelové použitie. Tieto prostriedky obsahujú inhibítory korózie, ktoré zabraňujú veľmi rýchlej korózii u čerstvo očistených povrchov.

5.4.4. Ošetrovanie prípravkom WÜRTH

Prostriedok WÜRTH je ekologický prostriedok, ktorý neutralizuje proces korózie, rýchlo preniká do korozívnej vrstvy a mení oxid železa do stavu stabilnej, nerozpustnej, modro-čiernej kovo-organickej zlúčeniny.

Pred samotnou aplikáciou je potrebné odstrániť pôvodné mechanické nečistoty (prach, pavučiny), ale predovšetkým očistiť masťné plochy od oleja, poprípade vazelíny (Obr. 58). Mechanickým spôsobom (drôtenou kefou, rotačnou kefou, brúsnym papierom s vhodnou zrnitosťou) odstrániť korozívne častice (Obr. 59). Ak sa na predmete nachádzajú soli, treba ich odstrániť vodou. Po dokonalom očistení až na kov (Obr. 60), je podľa potreby možné poškodené miesta pretmeliť. Následne naniesieme jednu tenkú vrstvu prípravku (Obr. 61), ktorá by podľa možností mala byť rovnomerná, aby sme sa vyhli zatekaniu prípravku.



Obr. 58 - Rrozsah korózie na ploche



Obr. 59 - Proces odstránenia korózie

Nanášanie sa môže vykonať štetcom s tvrdšími štetinami z dôvodu lepšieho prenikania prípravku do korozívnych plôch. Pri väčších rovných plochách sa môže použiť valček. V prípade tvarovo komplikovaných predmetov, aby nevznikli zatečené plochy, je možné použiť striekaciu pištoľ s patričným nástavcom – podľa veľkosti plochy a náročnosti tvarov. Pracovný tlak musí byť pre danú konzistenciu vhodne nastavený. Výrobcom odporúčaný maximálny tlak by mal predstavovať 3 bari.



Obr. 60 - Očistenie na pôvodný kov



Obr. 61 - Aplikácia inhibítora

Samozrejme, údaje môžu byť mierne odlišné v závislosti od typu používanej striekacej pištole, trysky a pod. Aplikčné práce musia byť dokončené do 3 hodín. Toto je výrobcom stanovená garantovaná reakčná doba prostriedku s kovom. Ako kontrola môže poslúžiť vizuálny stav, ktorý sa prejavuje svojím typickým modro čiernym sfarbením (Obr. 62). Inhibitor sa neaplikuje na priamom slnku alebo na rozpálenom kovovom povrchu. Ako krycí náter môžu byť použité bežne dostupné farby a laky (Obr. 63).



Obr. 62 - Po zaschnutí vykazuje matný povrch



Obr. 63 - Ošetrený lakom, viditeľné zatečené plochy

Ošetrované plochy na nesmú neumývať vodou a je potrebné ich nalakovať do 48 hodín od aplikácie. Nepoužívať farby s vysokým obsahom zinku. Tie plochy, ktoré nie je potrebné ošetriť sa môžu prekryť lepiacou páskou alebo iným vhodným prvkom. V prípade, ak bola finálne ošetrovaná plocha zasiahnutá inhibítorom, ihneď ho odstráňte vodou. Na spracovanie a skladovanie je potrebné používať plastové nádoby. Inhibítor neskladovať na slnečných miestach alebo na miestach s rizikom výskytu mínusových teplôt. Použité nástroje sa čistia pod tečúcou vodou. Vzhľadom k veľkej rozmanitosti aplikácií a podmienok skladovania a spracovania sa nedajú garantovať výsledky pre konkrétne aplikácie. Z hľadiska reštaurovania, aby nedošlo k poškodeniu zbierkového predmetu, pred použitím inhibítora sa odporúča vykonať vlastné skúšobné testy. Ošetrované povrchy neumývať vodou. Prípravok na neutralizáciu hrdze ihneď umyte z natretých povrchov. Prípravok sa neodporúča používať na priamom slnečnom svetle, na horúcich povrchoch s teplotou nad +40 °C a na miestach, keď sú teploty pod bodom mrazu. Vyššie uvedené aplikačné pokyny sú odporúčania vypracované na základe skúseností. Ak existujú pochybnosti poškodenia povrchu je dobré pred použitím inhibítora vykonať vlastné testy na menej exponovaných plochách. Vzhľadom na veľkú rozmanitosť aplikácií neexistuje garančná záruka pre konkrétnu aplikáciu.

6. Výber zbierkových predmetov

Vybrané zbierkové predmety (letecká technika) boli rozdelené do štyroch skupín na základe ich uloženia - pod holým nebom, pod prístreškom, v expozičných priestoroch a v priestoroch s takmer stálou teplotou a vlhkosťou.

6.1. Letecká technika umiestnená vo voľnom priestore

Aplikácia inhibítorom sa vykonávala doslova pod holým nebom, testovalo sa správanie ošetrovaného potahu počas pôsobenia všetkých klimatických vplyvov (dážď, mráz, sneh, vlhkosť, slnečné žiarenie). Výber nadrozmernej leteckej techniky ako Su-22 (Obr. 64), Il-14 (Obr. 65) bol účelový. Pre rozmery leteckej techniky (dĺžka, výška, šírka) ju nie je možné umiestniť do reštaurátorských dielní.



Obr. 64 a Obr. 65 - Letecká technika vo voľnom priestore

6.2. Letecká technika umiestnená pod prístreškom

V Múzeu letectva sa jedná iba o Prezidentskú Galériu, ktorá z časti eliminuje priame klimatické vplyvy ako je dážď, sneženie a slnečné žiarenie. V lokalite košického letiska sú časté prejavy vzdušného prúdenia v smere juh - sever a opačne. Týmto vplyvom dochádza k zanášaniu a usádzaniu popolčeka z neďalekých oceliarní U. S. STEEL Košice. V mesiacoch so zvýšenou vlhkosťou sa vytvára na potahu lietadiel abrazívna vrstva tvorená zmesou nasýtených pár – vody a popolčeka. Táto

vrstva prachu jemne obrusuje ochranný náter potahu lietadiel a je takým predstupňom tvorby korózie kovových povrchov.



Obr. 66 a Obr. 67 - Letecká technika umiestnená pod prístreškom Prezidentská Galéria

Pre daný zámer boli vybrané typy lietadiel, ktoré predstavujú určitú technologickú úroveň a vyspelosť so zameraním na technologickú kvalitu kovového potahu. Testovaná letecká technika pochádza z Číny / Q-6 Fantan, USA / T-38 Talon, Švajčiarska / Mirage III RF a Francúzska / Mirage III.

6.3. Letecká technika umiestnená v stálych expozíciách

Letecká technika, motory a drobné artefakty sú uložené v stálych expozíciách, ktoré sú tvorené prenosnými hangármi typu Pícha 1922. Zbierkové predmety sú vystavené priamo na ploche (Obr. 68), na podstavcoch alebo v uzavretých kójiach (Obr. 69, 70). Plochy hangárov sú vnútorne uzavreté, ale tiež pod vplyvom klimatických zmien. Hangáre sú opláštené, ale bez zateplenia, okrem expozície č. 3, ktorá je zateplená z bočných strán. V letných mesiacoch sa objavujú výkyvy vo forme extrémne vysokých teplôt. V lete 2020 vo vnútri nameraná teplota dosiahla hodnotu +40 °C. V jesennom, ale aj v letnom období, kedy sú rána studené a prevláda veľmi horúce denné počasie, dochádza k zvýšenej vlhkosti. Vyzrážaná voda sa usadí na strope hangáru a potom vo forme tzv. „dažďa“ padá na zem. V zimných mesiacoch sú hodnoty len mierne odlišné od vonkajších podmienok. Namerané údaje vlhkosti dosahujú hodnoty v rozsahu od 70 – 100 %, teplota sa pohybuje od -2 °C do +7 °C. Dnešné zimy nie sú náročné na mínusové teploty, ale sú veľmi vlhké. Vyskytujú sa teplotné extrémny, konkrétne 17.2.2020, kedy bola nameraná teplota +6,9 °C. V prípade mrazivých dní vlhkosť klesá k 40 %. Celoročný teplotný priemer sa pohybuje od -10 do +40 °C.



Obr. 68 - Zbierkové predmety v expozícii č.1, hangár



Obr. 69 - Zbierkový predmet v kóji



Obr. 70 - Bezkorozívny stav motora v kóji



Obr. 71 - Korózia na spojovacom telese

6.4. Zbierkové predmety umiestnené v priestore so stálou teplotou a vlhkosťou

Z hľadiska vystavovania zbierkových predmetov sa takéto priestory blížia k ideálnym podmienkam. Vnútna teplota vykazuje malé výkyvy, je takmer konštantná, podobne aj výkyvy vlhkosti sú v tolerancii podľa normy určenej pre kovové zbierkové predmety. Múzeum letectva takéto priestory nemá, ale pre potreby testovania a nasimulovania podmienok boli použité reštaurátorské dielne. Ako testovaný predmet bol použitý trup lietadla Mig-15 a niektoré jeho časti.



Obr. 72 - Trup lietadla Mig-15



Obr. 73 - Kryt po očistení od mechanických nečistôt

7. Analýza chemického zloženia materiálov

Súčasťou práce bola analýza testovaných kovových povrchov z dôvodu zistenie prvkového zloženia. Kontrolné analýzy boli vykonané nedeštruktívnou metódou spektrometrom **NITON XL3t Gold** (Obr. 74 a Obr. 75). Uvedený analyzátor je jednodielny ručný prenosný röntgenový fluorescenčný analyzátor, navrhnutý pre použitie v laboratóriu, ale aj v teréne. Spektrometer XRF umožňuje skúmať prvkové chemické zloženie látky na báze merania odrazeného svetla, respektíve odrazenej vlnovej dĺžky svetla a jeho absorpcie, alebo na základe merania vzniknutého svetla, pričom ku vzniku dochádza umelou excitáciou (napr. RTG žiarením). Prístroj umožňuje skúmať prvkové chemické zloženie látky na báze merania žiarenia (tzv. sekundárne žiarenie - fluorescencia), ktoré sa uvoľňuje pri dopade gama žiarenia na meranú vzorku. Pre každý prvok je typická určitá energia a množstvo dopadajúcich impulzov je priamo úmerné koncentrácii daného prvku vo vzorke.



Obr. 74 - Súprava spektrometra



Obr. 75 - Spektrograf NITON XL3t Gold

Pomocou spektrometra XRF je možné analyzovať materiály v tuhej (kompaktnej), práškovej, ale aj v kvapalnej forme. Rozsah meracích prvkov je od Mangánu po Urán. Schopnosť merania povrchu vzorky je do teploty 400 °C. Výhoda XRF spektrometrov je ich využitie na veľkú škálu materiálov, vrátane materiálov ľahkých zliatin. Dokáže analyzovať materiály aj na báze zliatin Cu, Au, Ag, Al, Zn, Pb, Mg, atď., resp. ich oxidických surovín. Namerané hodnoty v tabuľkách znamenajú hmotnostné %.

Príklad : súčet hodnôt v danej tabuľke dáva súčet 100 %.

$$4,821+0,021+0,216+0,163+0,135+90,09+0,779+0,539+0,029+0,016+0,806+0,239+1,372 = 100\%$$

Pre vysvetlenie, v 100 kg danej zliatiny je 90,09 kg železa Fe, 4,82 kg Kadmia Cd, 0,021 kg Molybdénu Mo, 0,216 kg Zinku Zn a pod.

Sn	Cd	Mo	Nb	Zr	Pb	W	Zn	Cu	Ni
LOD	4,821	0,021	LOD	LOD	LOD	LOD	0,216	0,163	0,135

Fe	Mn	Cr	V	Ti	Al	S	P	Si	Mg
90,09	0,779	0,539	0,029	0,016	LOD	0,806	0,239	1,372	LOD

Skratky:

V niektorých tabuľkách sa objaví skratka LOD, čo znamená, že nameraná hodnota je nízka, takmer neidentifikovateľná, pretože nie je zmerateľná daným prístrojom. Je potrebný citlivejší prístroj. Neznamená to však, že sa uvedený prvok nenachádza v materiáli. Jedná sa o tisíciny hmotnosti, ktoré sú zanedbateľné.

V tabuľke sa nachádzajú prvky, ktoré môžeme rozdeliť do dvoch skupín, a to tzv. legúry a očkované častice - prvky. Niektoré prvky sa nachádzajú v oboch skupinách. Použitím uvedených prvkov sa zlepšujú mechanické vlastnosti, zabezpečujú získanie špeciálnych fyzikálnych a chemických vlastností. Legované ocele môžeme rozdeliť podľa percentuálneho obsahu legúr do 3 základných skupín:

- nízko legované do 5 %
- stredne legované 5 – 10 %
- vysoko legované nad 10 %

Legúry:

Chróm Cr - je najčastejšie používanou legúrou. Zlepšuje pevnosť za tepla a zvyšuje odolnosť voči tvorbe okovín, hlavne pri vyšších obsahoch. Zvyšuje pevnosť ocelí a odolnosť voči oteru. Prísada Cr nad 13 % robí oceľ odolnou voči korózii a iným chemickým vplyvom.

Mangán Mg - zvyšuje medzu sklzu a pevnosť v ťahu u konštrukčných ocelí. Ocele s obsahom Mn cez 12 % sú veľmi oteruvzdorné.

Molybdén Mo - zvyšuje prekaliteľnosť, medzu sklzu a pevnosť ocele. Robí oceľ odolnejšou za vysokých teplôt, uľahčuje tvorbu jemnozrnej štruktúry. U rýchlorezných ocelí zvyšuje rezivosť. Pozitívne ovplyvňuje odolnosť ocele voči korózii a chemickým vplyvom.

Vanád V - zjemňuje štruktúru a zlepšuje húževnatosť. Je silne karbidotvorným prvkom, čím zvyšuje odolnosť proti opotrebeniu, rezivosť ocele a pevnosť za tepla. Najviac sa využíva v oceliach pre prácu za tepla, v oceliach žiaruvzdorných, rýchlorezných a tiež pružinových.

Nikel Ni - zjemňuje zrno, čím značne zvyšuje medzu sklzu a vrubovú húževnatosť i v pásme nižších teplôt. Preto sa používa hlavne u konštrukčných ocelí určených k cementovaniu a zušľachťovaniu. Zvyšuje odolnosť voči chemikáliám s redukčným účinkom.

Kremík Si - zlepšuje magnetické vlastnosti ocele, odolnosť voči tvorbe okovín, odolnosť voči opotrebeniu a zvyšuje pevnosť. Obsah nad 12 % robí oceľ odolnou voči kyselinám, takéto odliatky sú však neobrobiteľné.

Wolfrám W - požíva sa predovšetkým u rýchlorezných ocelí a ocelí odolávajúcich vysokým teplotám.

Zirkón Zr - využíva sa k denitridácii, dezoxidácii a odsíreniu, zabraňuje lomu za červeného žiarenia.

Horčík Mg - veľmi účinné dezoxidačné a odsírovacie činidlo. Taktiež zabezpečuje zliatinám vyššiu pevnosť.

Niób Nb - v kompaktnom stave je odolný voči korózii aj za tepla, a to až do 400 °C. Je odolný voči pôsobeniu viacerých kyselín, pričom priamo naňho pôsobí len kyselina fluorovodíková. Niób zjemňuje kryštalické zrno v zliatinách.



Obr. 76 a Obr. 77 - Analýza duralového potahu krídla a trupu

Druhá skupina prvkov, tzv. očkovačlá sa používajú za účelom zlepšenia homogenity štruktúry zrn. Primárnou úlohou je vytvoriť jemné a rovnako veľké zrná. Ich vnášaním do taveniny sa zlepšujú vlastnosti výsledného odliatku. Patria sem Molybdén, Niób, Zirkón a Horčík.



Obr. 78 - Analýza zadnej časti trupu



Obr. 79 - Analýza opierky

8. Testy inhibítorov CORTEC VpCI®-427

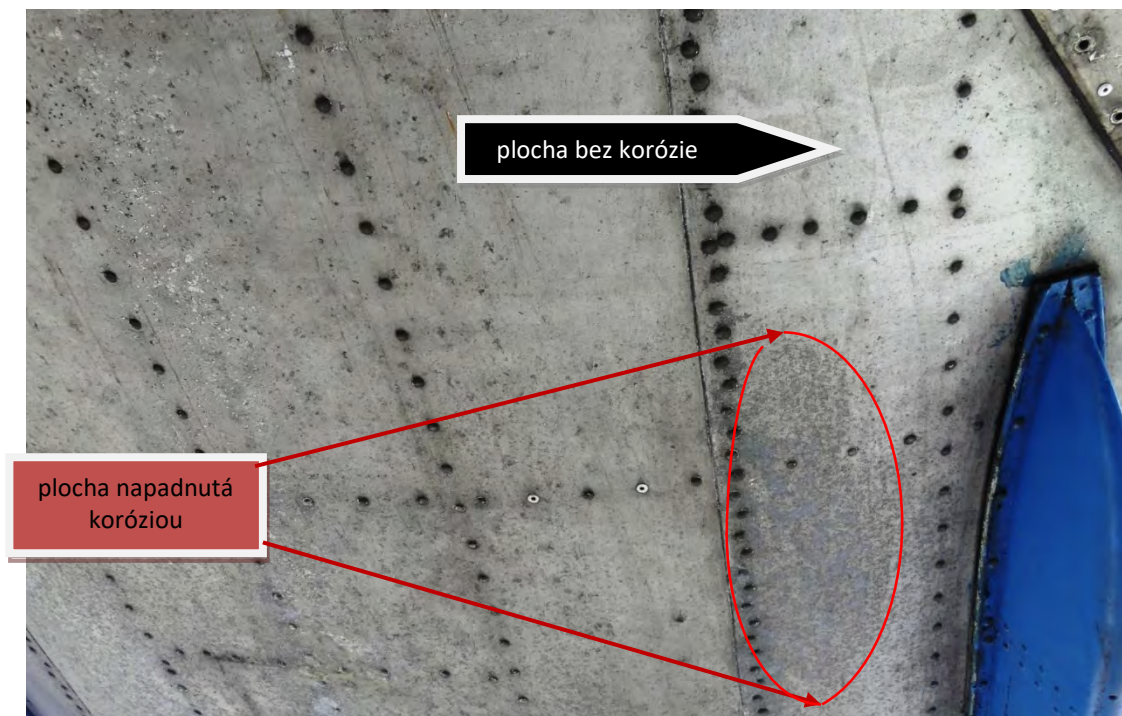
8.1. Lietadlo IL-14. Testované plochy: Poťah trupu a dvierka predného podvozku

Dátum: 26.09.2019, čas 12,15. Klimatické podmienky: teplota 19,7 °C, vlhkosť 52 %, slnečné počasie.

Popis: Zberkový predmet je umiestnený na voľnej ploche, kde je pod neustálym vplyvom celoročne sa meniacich meteorologických javov (dážď, sneh, hmla, vysoké a nízke teploty). Okrem toho je tu vplyv emisný, popolček vznikajúci z oceliarní U. S. Steel Košice, ktorý v zmesi vodných pár, dažďa a hmla pôsobí ako abrazívum na kovové povrchové konštrukcie lietadiel. Tento mechanický prejav má vplyv na tvorbu akejkoľvek formy korózie od miestnej v podobe bielych flákov až po agresívnu deštruktívnu meniacu konštrukčnú pevnosť daného celku. V našom prípade je vybraná testovaná plocha duralový poťah spodnej časti trupu lietadla IL-14. Skúšobne boli aplikované dva inhibítory - spomaľovače priebehu korózie. WÜRTH – oranžové pole a Cortec VpCI®-427 - biele pole.



Obr. 80 - Rozmiestnenie testovaných plôch



Obr. 81 - Skorodovaná plocha spodnej časti poťahu trupu

Tabuľky nameraných údajov: testované plochy – spodná časť potahu trupu a dvierka predného podvozku lietadla Il-14. ZP je uložený vo voľnom priestore.

Obdobie: september 2019 – jún 2020

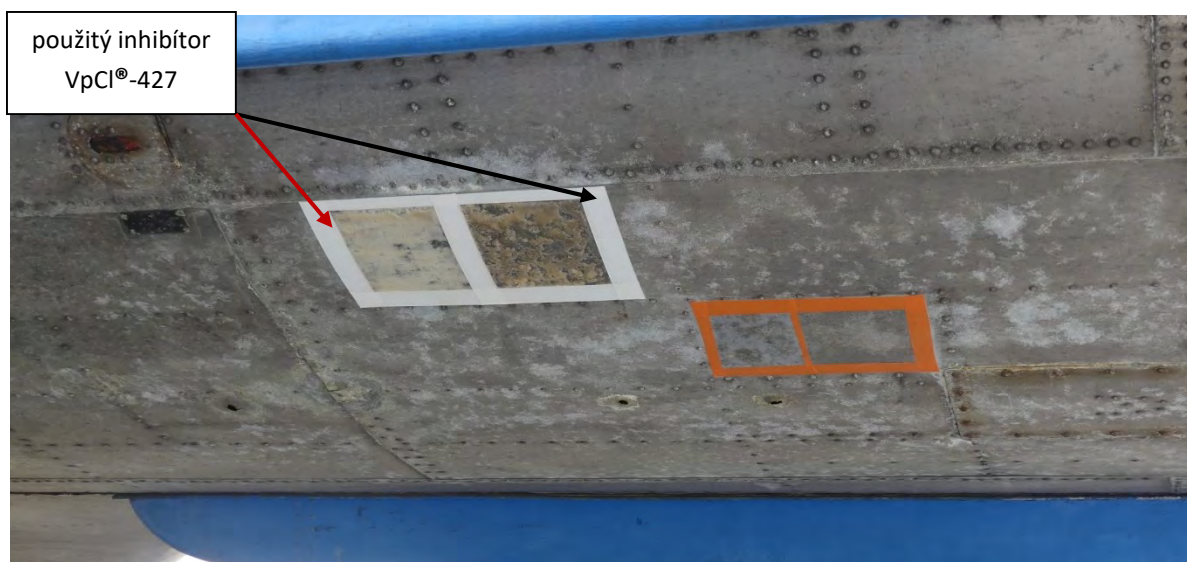
obdobie (deň)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
teplota (°C)	19,7	19	11,4	9,5	3,0	-2	-1	6,9	9,7	1	13,9	23,4	17	19
vlhkosť (%)	52	62	90	78	99	74	97	63	51	45	27	44	57	60

Obdobie: júl 2020 – jún 2021

obdobie (deň)	280	300	320	340	360	380	400	420	460	470	490	510	540	580
teplota (°C)	19,3	24,6	19,3	28,9	21	13,7	9,0	3,6	-0,5	-1,1	+3,6	7,2	6,9	17,1
vlhkosť (%)	39	45	81	43	74	87	82	65	63	49	84	53	59	67

Obdobie: jún 2021 – september 2021

obdobie (deň)	600	620	650	680	710	–	–	–	–	–	–	–	–	–
teplota (°C)	24,4	23,8	22,3	24,1	18,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–
vlhkosť (%)	41	66	47	62	61	–	–	–	–	–	–	–	–	–



Obr. 82 - Umiestnenie a rozdelenie plôch ošetrených VpCl®-427 na *čistené* a *načistené*

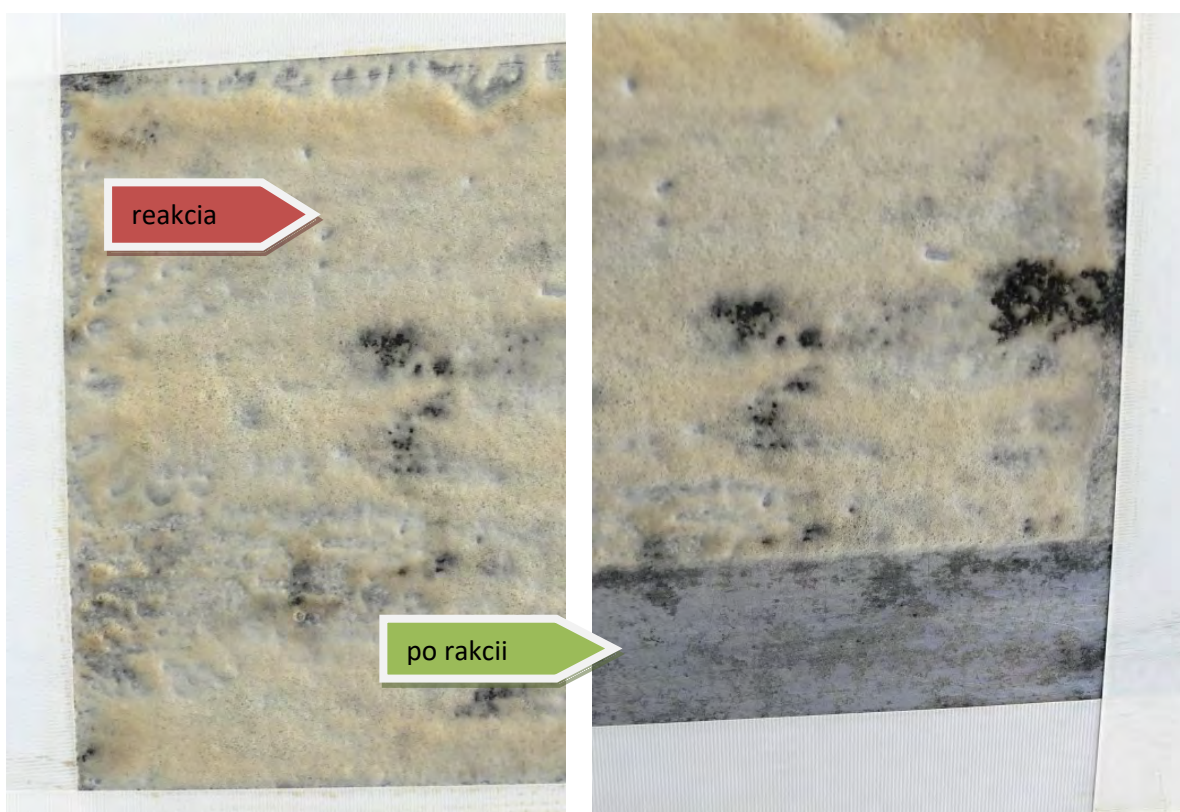
8.1.1. Testovaná plocha: Potáh trupu - spodná časť, systém clear - not clear

Použitý inhibítor Cortec VpCl®-427, biele ohraničené pole bolo rozdelené na dve plochy (Obr. 82 a Obr. 83). Prvé pole (pri čelnom pohľade prvé zľava) bolo vyčistené a zbavené korózie pomocou jemného brúsneho papiera, očistené technickým benzínom. V zapätí bol nanosený chemický inhibítor v nezriedenom stave, ktorý zreagoval v podobe mierneho nakysnutia. Po reakcii bola časť plochy poľa očistená od zreagovanej látky – odhalený lesklý kov.

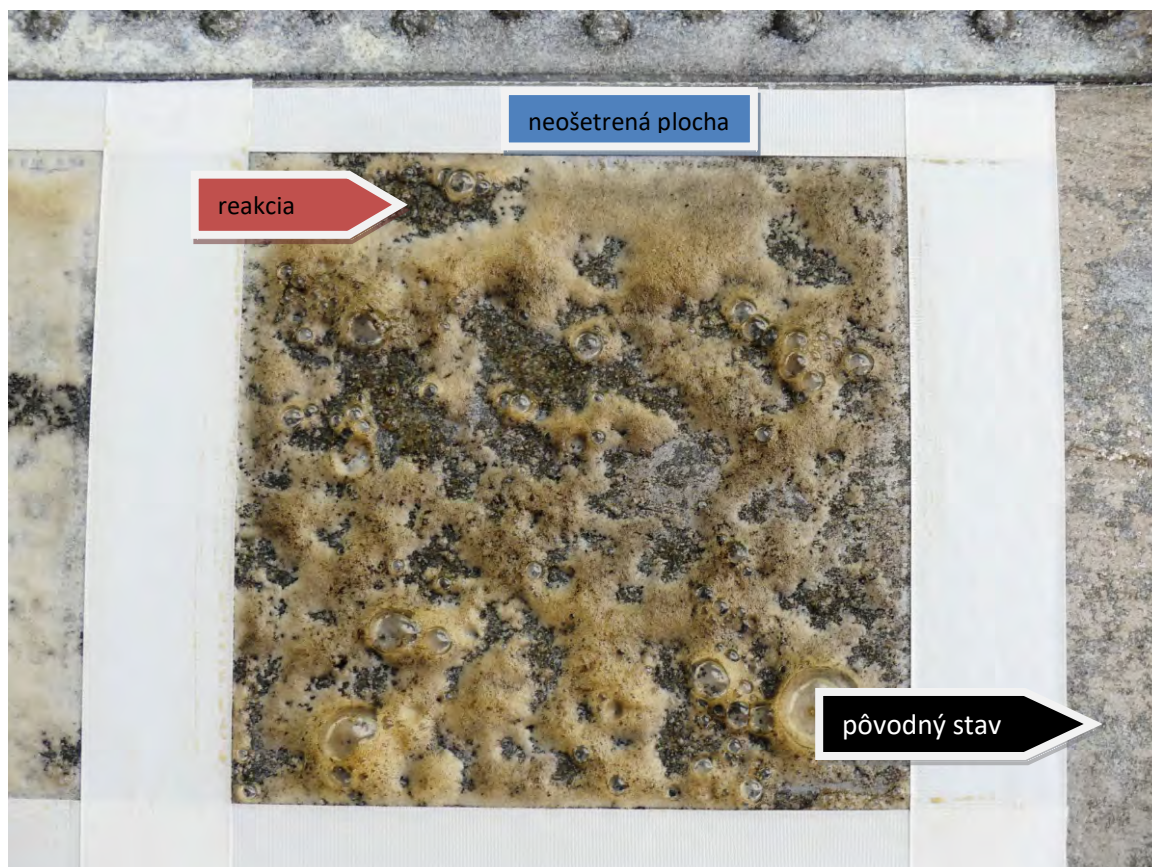
Druhé pole (pri čelnom pohľade druhé zľava) bolo zbavené len mechanických nečistôt a ošetrené technickým benzínom. Pri aplikácii inhibítora v nezriedenom stave došlo k okamžitej reakcii, t.j. k enormnému nakysnutiu, miestami sa vytvorila hnedosivá pena. Po jej odstránení z povrchu kovu sa objavil lesklý kov.



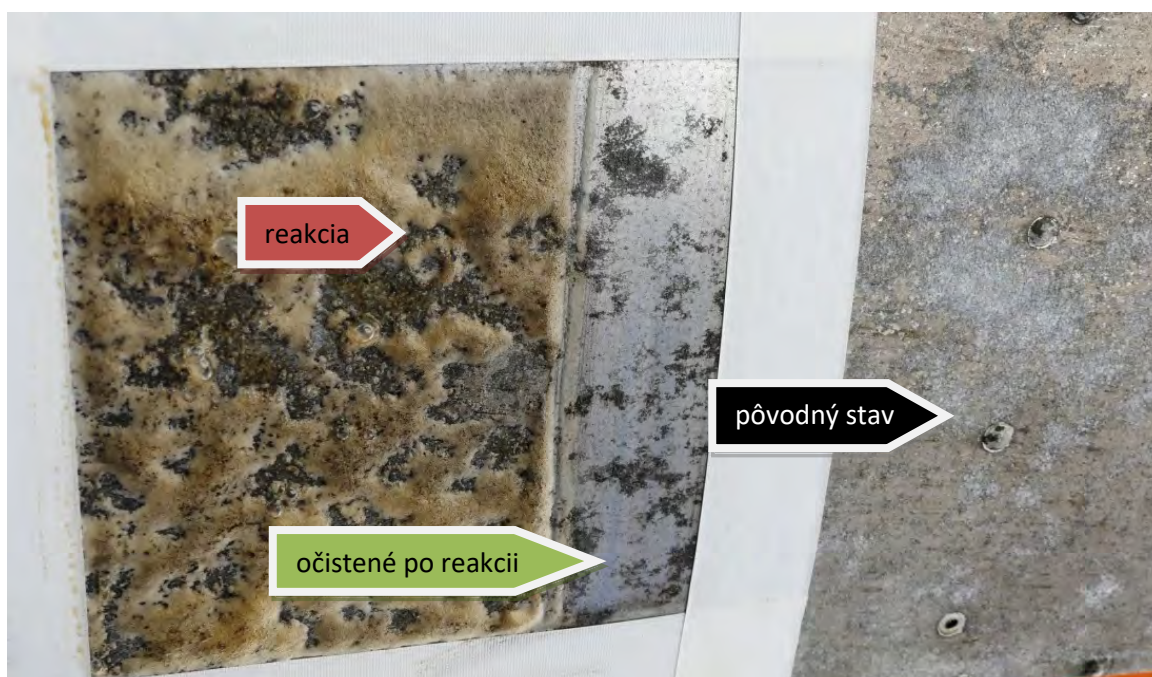
Obr. 83 - Dve rôzne chemické reakcie - **ošetrený** a neošetrený povrch



Obr. 84 - Reakcia na mechanicky upravený a odmastený povrch, čiastočné odstránenie zreagovanej hmoty – odhalenie stavu poťahu



Obr. 85 - Okamžitá reakcia iba na odmastený povrch



Obr. 86 - Čiastočné odstránenie zreagovanej hmoty z povrchu, porovnanie stavu poťahu pred a po reakcii

Reakcia nezriedeného Inhibítora VpCl®-427 na silne skorodovaný, neošetrený povrch (Obr. 86 a Obr. 87), ktorý je len zbavený mechanických nečistôt (prachu) technickým benzínom je evidentná, dochádza k okamžitej reakcii s oxidmi hliníka. Po odstránení zreagovanej plochy je vidieť rozdiel medzi ošetrovaným miestom a zasiahnutou plochou. Na záver bola plocha ošetrovaná bezfarebným lakom.

Priebeh testov

Pre daný zámer boli vybrané spodné plochy trupu, kde sa najviac koncentrujú vodné zrážky. Hlavným zámerom bolo vytvoriť tzv. „núdzové“ pracovné podmienky, kedy technika nemôže byť ošetrovaná v dielňach (pre svoju nadrozmernosť) za optimálnych podmienok, ale na mieste. Dňa 26.9.2019 (deň 0) bola vykonaná aplikácia inhibítora VpCI®-427 na poťah trupu lietadla IL-14. Testované plochy sú rozdelené, pričom prvá z ľava je ošetrovaná – zbavená korózie, očistená technickým benzínom. Druhá je len očistená od prachových nečistôt. Testuje sa reakcia na rovnakom materiáli, ale na dvoch odlišne ošetrovaných plochách. Inhibitor je v pôvodnom skupenstve – neriedený. Plocha bola ošetrovaná bezfarebným ochranným lakom formou aerosólu (spray) pri podmienkach: teplota 19,7 °C, vlhkosť 52 %. Po prvej 20 dňovej perióde 15.10.2019 bola vykonaná kontrola stavu poťahu trupu. Vrchná vrstva laku sa začala jemne trúsiť. Tento jav bol pravdepodobne zapríčinený nedodržaním technologického postupu, t.j. aplikácia na studený kov. Tento jav sa opakoval v priebehu ďalších časových periód až do stavu, kedy sa ochranná vrstva opotrebovala vplyvom poveternostných podmienok. Po strate ochrannej vrstvy ošetrovaný kov postupne menil farebný odtieň k svetlejšiemu. Potom sa stav na základe vizuálneho porovnania nemenil. Presne definovaná zmena stavu by bola možná, ak by sa dala zmerať hrúbka materiálu pred a po experimente. Na základe tejto informácie o úbytku materiálu by bolo možné zhodnotiť stupeň degradácie kovu.

Porovnanie jednotlivých testovaných etalónov na základe časových periód



Obr. 87 - Po 360 dňoch



Obr. 88 - Stav 0



Obr. 89 - Po 710 dňoch



Obr. 90 - Stav 0

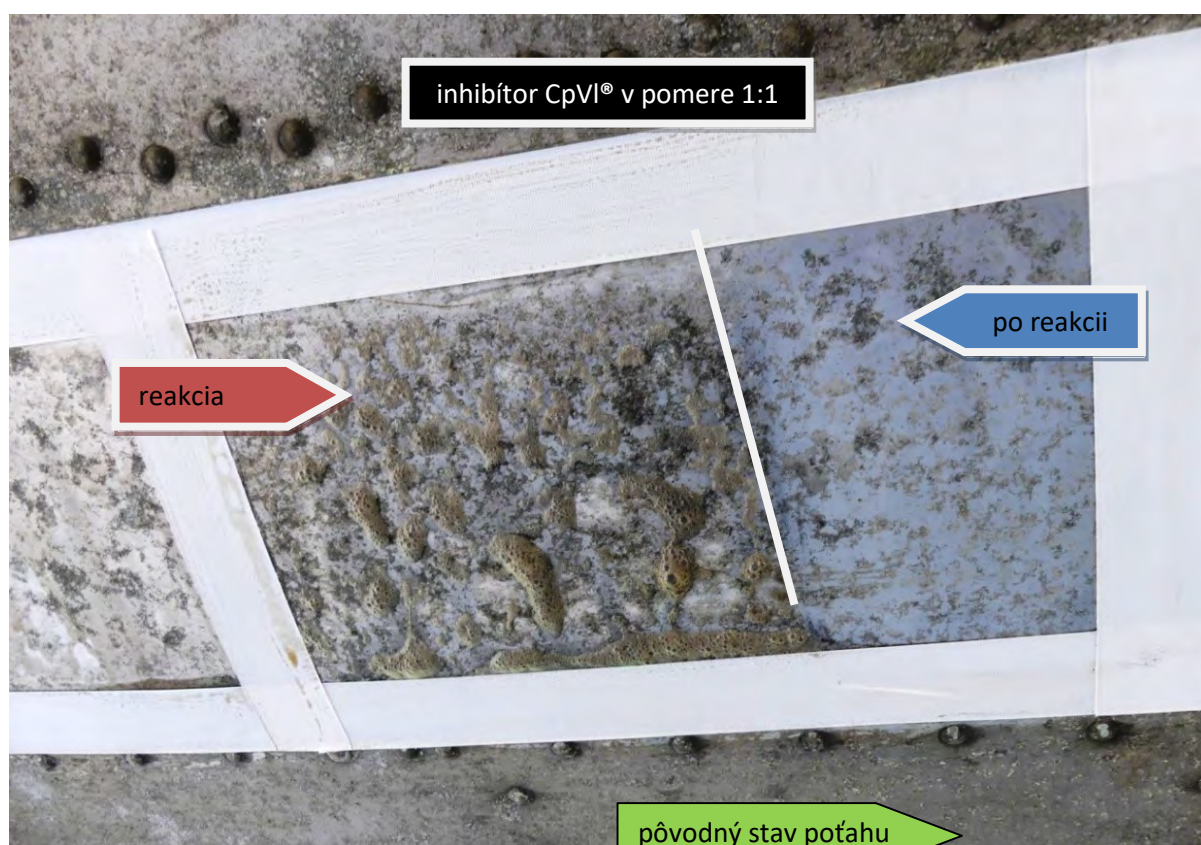
8.1.2. Testovaná plocha: Poťah trupu - spodná časť

Poťah spodnej časti trupu lietadla IL-14 (Obr. 91) je zasiahnutý koróziou. Plocha bola ošetrovaná inhibítorom CpVI®-427 v riedenom stave v pomere 1:1 (Obr. 93) a 1:4 (Obr. 94). Obe polia boli mechanicky ošetrované od korózie, zbavené mechanických nečistôt a na záver ošetrované technickým benzínom. Po oschnutí bol nanesený inhibitor v pomere 1:1 (čelný pohľad prvé pole sprava) a v pomere 1:4 (čelný pohľad druhé pole sprava). Po zreagovaní bola odstránená nežiaduca zreagovaná oxidová vrstva. Plocha bola očistená vodným roztokom a ošetrovaná bezfarebným lakom

v aerosólovej forme. Podľa návodu sa dá lak univerzálne použiť na kovy, drevo, plasty, kameň, sklo. Ochranný lak bol použitý pri teplote 21 °C a vlhkosti okolitého ovzdušia 51 %.



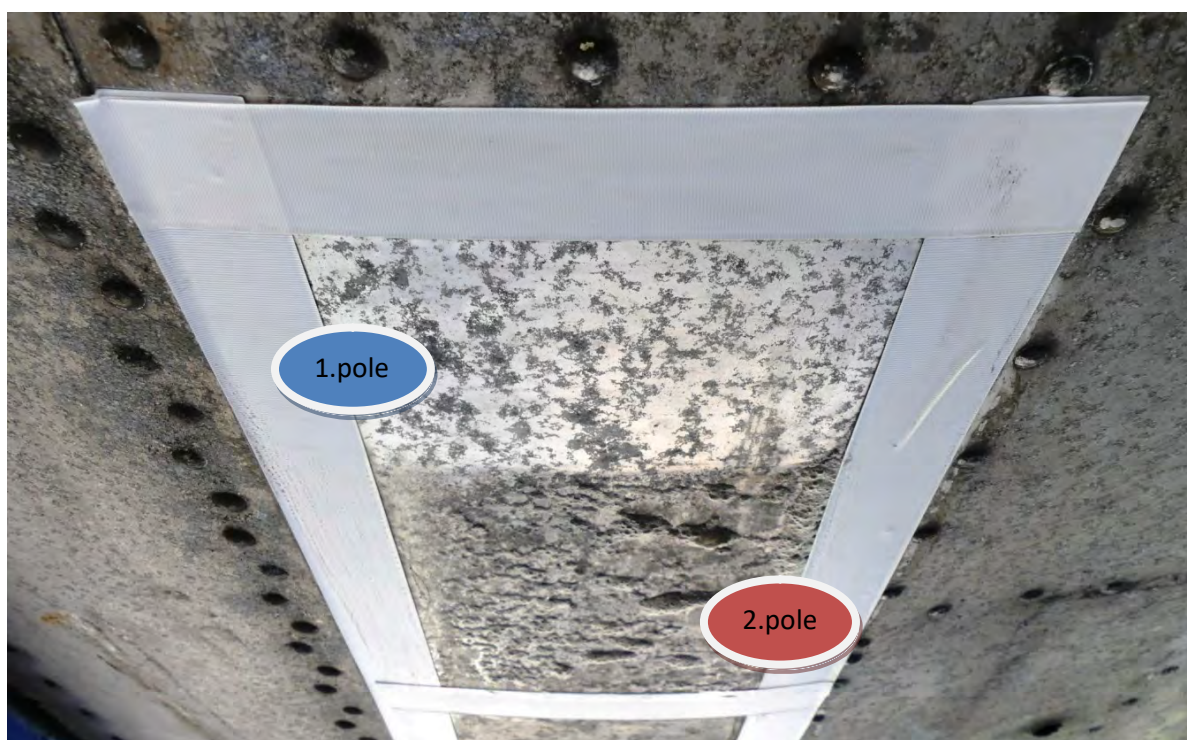
Obr. 91 - Testované plochy



Obr. 92 - Reakcia po nanosení inhibítora v pomere 1:1



Obr. 93 - Reakcia po nanesení inhibítora v pomere 1:4



Obr. 94 - Reakcia po inhibítore



Obr. 95 - Celkový pohľad na finálne ošetrovanie potáhu s viditeľným rozdielom ošetrovaného a pôvodného potáhu

Priebeh testov

Dňa 26.9.2019 (deň 0) bola vykonaná aplikácia inhibítora VpCl®-427 na potáh trupu lietadla Il-14. Testované plochy boli rozdelené. Prvá sprava bola po kompletnom mechanickom očistení ošetrovaná inhibítorm v zriedenom pomere 1:1. Druhá sprava bola očistená a ošetrovaná inhibítorm v zriedenom pomere 1:4. Následne bola plocha ošetrovaná bezfarebným ochranným lakom. Pri porovnaní oboch ošetrovaných plôch je na prvý pohľad viditeľná reakcia rôzne zriedených inhibítorov. Silnejšia koncentrácia v pomere 1:1 je účinnejšia ako 1:4. Podobne aj tu došlo k porušeniu vrchnej ochrannej lakovej vrstvy vo forme jemného trúsenia – jemné vločky. Stav bol pravdepodobne zapríčinený buď nedodržaním technológie, t.j. aplikáciou laku na studený kov. Tento stav bol zistený v prvej 20-dňovej perióde (15.10.2019). Trúsenie sa opakovalo až do stavu, kedy sa ochranná vrstva takmer opotrebovala. Ostali malé plochy. Po strate ochrannej vrstvy ošetrovaný kov postupne menil farebný odtieň. V tomto období boli veľmi priaznivé podmienky, teplota sa pohybovala v rozsahu od 10 – 24 °C, vlhkosť od 48 – 75 %.

Porovnanie jednotlivých etalónov na základe časových periód



Obr. 96 - Stav po 710 dňoch, pomer 1:4



Obr. 97 - Stav 0, pomer 1:4



Obr. 98 - Stav po 710 dňoch, pomer 1:1



Obr. 99 - Stav 0, pomer 1:1



Obr. 100 - Pohľad na povrch potáhu po mechanickom odstránení korózie

Poznámka: Použitie akéhokoľvek ochranného laku na ošetrované plochy bude spojené s problémom ako správne odhadnúť teplotu kovového povrchu aby nebol studený a nedošlo k degradácii ochranného nástrieku alebo aby nebol extrémne prehriaty a nedošlo k odpareniu jednotlivých zložiek.

Analýza chemického zloženia materiálu potáhu spodnej časti trupu lietadla Il-14

Popis – Al-Cu zliatina (dural) 2024/14 : 0,00

Sn	Cd	Mo	Nb	Zr	Pb	W	Zn	Cu	Ni
LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	0,004	LOD	0,192	4,293	0,026

Fe	Mn	Cr	V	Ti	Al	S	P	Si	Mg
0,472	0,512	LOD	LOD	LOD	94,49	-	-	-	-

8.1.3. Testovaná plocha: Dvierka predného podvozku

Popis: Testovaná plocha predstavuje dvierka krytu predného podvozku (Obr. 101), ktoré sú opotrebované, nesú stopy mechanického poškodenie, t.j. škrabance, ryhy. V celkovom sumáre dvierka nie sú viditeľne zasiahnuté koróziou. Aplikované boli dva inhibítory, a to WÜRTH – oranžové pole a Cortec VpCI®-427 – biele pole (Obr. 102), každý ma svoje ohraničené pásmo. Obe plochy boli zbavené mechanických nečistôt, očistené technickým benzínom a v poslednom kroku boli aplikované inhibítory pomocou štetca.



Obr. 101 - Pôvodný poťah na kryte predného podvozku lietadla Il-14



Obr. 102 - Ohraničené testované polia inhibítormi WÜRTH a VpCI®-427



Obr. 103 - Rozdielne reakcie inhibítorov WÜRTH a VpCI®-427



Obr. 104 - Pohľad z uhla pre porovnanie oboch polí

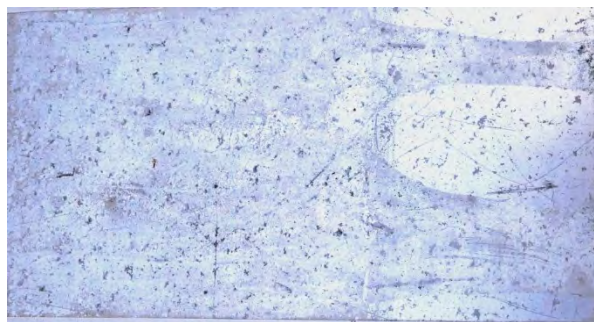
Priebeh testov

Najaktívnejší prostriedok sa javí VpCI®-427, ktorý má oproti WÜRTHu lepší účinok na povrch. Prostriedok WÜRTH je bez reakcie. Ani jedna plocha nebola ošetrená ochranným lakom. Dňa 24.9.2019 (deň 0) bola vykonaná aplikácia inhibítora v pôvodnom skupenstve – neriedený VpCI®-427 na poťah dvierok. Na ploche bol vykonaný polovičný ster, pod ktorým sa objavil relatívne čistý kov. Klimatické podmienky – teplota 19,7 °C a vlhkosť 52 %. V prvej perióde sa objavila plocha stečeného inhibítora, ktorý zreagoval s kovom a vytvoril mapu, čo pôsobí negatívnym dojmom pre zjavnú viditeľnosť. Podobne aj tu sa objavilo opotrebenie laku - trúsenie, ktoré pretrvávalo do tretej periódy (cca 60 dní). Následne sa zdegradovaný lak úplne vytratil a ostal čistý kovový povrch. V tomto období boli veľmi priaznivé podmienky, teplota sa pohybovala v rozsahu od 10 – 24 °C, vlhkosť od 48 – 75 %. Stav sa potom de facto nemenil. Povrch farebne trochu zosivel. Do úvahy musím zobrať aj rozdielne svetelné podmienky pri fotografovaní. Snímky sú otočené o 90° na ležato.

Porovnanie jednotlivých testovaných etalónov na základe časových períód



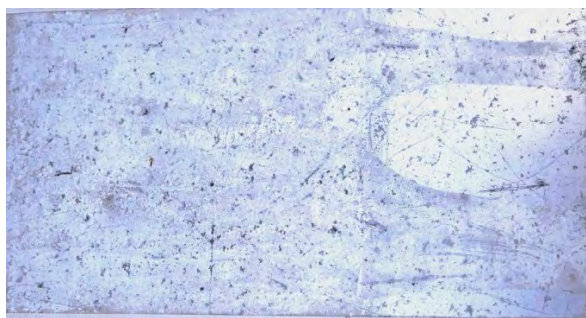
Obr. 105 - Po 360 dňoch



Obr. 106 - Stav 0



Obr. 107 - Po 710 dňoch



Obr. 108 - Stav 0

Aj keď je inhibítor WÜRTH určený na železné kovy, otestoval som ho v oboch prípadoch (spodná časť trupu a dvierka predného podvozku) za účelom zistenia jeho reakcie s duralom, ktoré by preukázali nejakú zmenu. Aplikácia ako i reakcia nič neodhalila a uvedený inhibítor sa správal indiferentne po celú dobu záznamov. V tomto prípade došlo k miernemu zožltnutiu povrchu hlavne v mieste koncentrovaného stečenia vplyvom gravitácie. V prípade ošetrovania trupu lak stratil svoju ochrannú a kryciu schopnosť ako v predchádzajúcich prípadoch. V porovnaní zo stavom 0 a po 710 dňoch je vzhľad nezmenený. Spomaľovač korózie rady WÜRTH určený na železné kovy nie je vhodný na ošetrovanie povrchov z ľahkých zliatin.



Obr. 109 - Po 710 dňoch



Obr. 110 - Stav 0

8.2. Lietadlo Suchoj Su-22 M4

8.2.1. Testovaná plocha: Čelo podkrídlového závesu

Dátum: 26.09.2019, čas 13,45 - 14,00. Klimatické podmienky: teplota 19,2 °C, vlhkosť 57 %, slnečné počasie.

Popis: Lietadlo je umiestnené na voľnej ploche, kde je pod neustálym vplyvom cyklicky sa meniacich meteorologických javov. Testovaná plocha je časť podkrídlového závesu, presnejšie jeho čelná časť (materiál nerez) a jedno rameno opierky - dvojica operných skrutiek s prítlačnými plochami. V oboch prípadoch bol aplikovaný prostriedok inhibítor WÜRTH.



Obr. 111 - Lietadlo Su-22, umiestnenie na voľnom priestore

Čelnú časť závesu tvorí nerezový kryt, ktorý nebol zasiahnutý koróziou. Zasiahnuté boli konštrukčné nity zosilňujúce konštrukciu. V tomto prípade neboli skrutky zbavené korózie, boli iba zbavené mechanických nečistôt a umyté technickým benzínom. Cieľom bolo otestovať reakciu inhibítora bez toho, aby bol predmet mechanicky ošetrovaný od korózie. Navodiť tak najdrsnejšie podmienky. Po 48 hodinách bol vykonaný ochranný nástrek bezfarebným lakom, ktorý bol použitý pri teplote 18,3 °C, vlhkosti 75 %.



Obr. 112 - Pôvodný stav



Obr. 113 - Aplikovanie inhibítora WÜRTH na plochu čela závesu



Obr. 114 - Reakcia na vodné zrážky v podobe vode odpudivej vrstvy

Tabuľka nameraných údajov testovaných plôch – predná časť závesníka a opierka závesu pilona lietadla Su-22

Obdobie: september 2019 – jún 2020

obdobie (deň)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
teplota (°C)	18,3	16,8	13,5	7,3	3,0	-2	-1	6,9	9,7	1	13,9	23,4	17	19
vlhkosť (%)	58	68	90	98	99	74	97	63	51	45	27	44	57	60

Obdobie: júl 2020 – máj 2021

obdobie (deň)	280	300	320	340	360	380	400	420	460	480	500	520	540	580
teplota (°C)	19,3	24,6	19,3	28,9	21,0	13,7	9,0	3,6	-0,5	-1,1	+3,6	7,2	6,9	17,1
vlhkosť (%)	39	45	81	43	87	74	82	65	63	49	84	53	59	67

Obdobie: jún 2021 – september 2021

obdobie (deň)	600	620	650	680	710	—	—	—	—	—	—	—	—	—
teplota (°C)	24,4	23,8	22,3	24,1	18,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
vlhkosť (%)	41	66	47	62	61	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Priebeh testu

Dňa 26.9.2019 (deň 0) bola vykonaná aplikácia inhibítora WÜRTH na nerezovú čelnú časť, ktorá je prinitovaná oceľovými nitmi k nosnej konštrukcii podkrídlového závesníka. V prvom kontrolnom cykle dochádzalo k pomalému degradovaniu lakovaného ochranného povrchu v okolí hlavičiek nitov. Ten sa potom postupne vytrácal, ostali len malé polia, ktoré sa postupne vytratili. V priebehu dvoch dní sa vyskytli na letisku dažďové zrážky, kedy sa ošetrovaná plocha javila ako vode odpudivý povrch, pričom vedľajšia plocha sa javí ako umytá. Aby bol inhibítor účinný, je potrebné odstrániť koróziu. V tomto prípade, kde je základný materiál nerezový plech, je dobré použiť brúsny papier s vysokou zrnitosťou 100 – 120, aby sa predišlo vytvoreniu zbytočných rýh na materiáli. Pri porovnaní digitálnych záznamov (Obr. 117 a Obr. 115) je stav rovnaký. Inhibítor pravdepodobne spomalil koróziu.

Porovnanie jednotlivých testovaných etalónov na základe časových períód



Obr. 115 - Stav 0



Obr. 116 - Po 360 dňoch



Obr. 115 - Stav 0



Obr. 117 - Po 710 dňoch

Popis: Cr-Ni vyso kolegovaná oceľ (nehrdzavejúca) SS-321 : *0,00

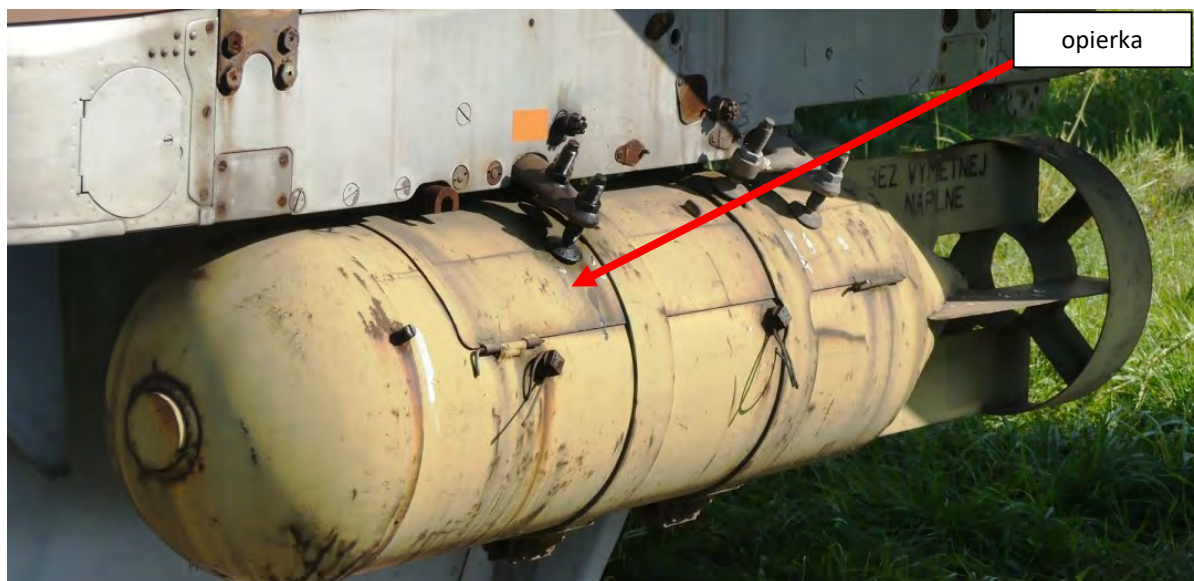
Hodnoty prvkov: Čelo podkrídlového závesu lietadla Su-22

Sn	Cd	Mo	Nb	Zr	Pb	W	Zn	Cu	Ni
LOD	LOD	0,079	LOD	LOD	LOD	0,085	LOD	0,137	11,01

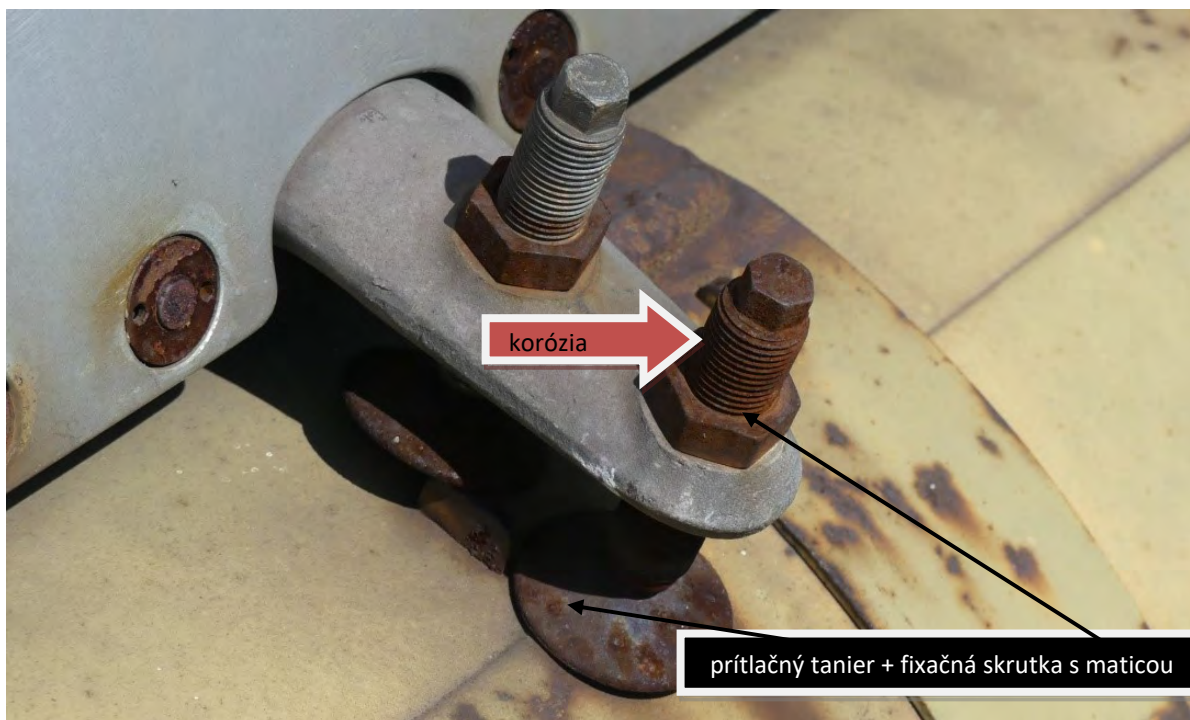
Fe	Mn	Cr	V	Ti	Al	S	P	Si	Mg
68,65	1,202	18,33	0,062	0,393	LOD	-	-	-	-

8.2.2. Testovaná plocha: Opierka podkrídlového závesu lietadla Su-22

Popis: Testovaný predmet je vymedzovacia opierka bremien, ktorá sa skladá z nosného telesa opierky a dvoch párov (ľavá a pravá) operných skrutiek s vymedzovacími taniermi a fixačnými skrutkami. Oporné skrutky sú vyrobené z legovanej ocele, sú pokované kadmíom. Jedna z opierok je zasiahnutá klasickou koróziou (hrdzavý povrch škoricovej farby) po celom profile, druhá má skorodovanú fixačnú skrutku a prítlačný tanierik. Opierka bola zbavená skorodovanej vrstvy mechanickým spôsobom (drôtenou kefou, rotačnou drôtenou kefou), následne bola očistená technickým benzínom. Na záver bol aplikovaný inhibítor na železné kovy WÜRTH. Po zaschnutí s odstupom času po 48 hodinách bolo vykonané ošetrenie povrchu univerzálnym bezfarebným lakom. Predmet je umiestnený na voľnej ploche pod vplyvom všetkých klimatických zmien.



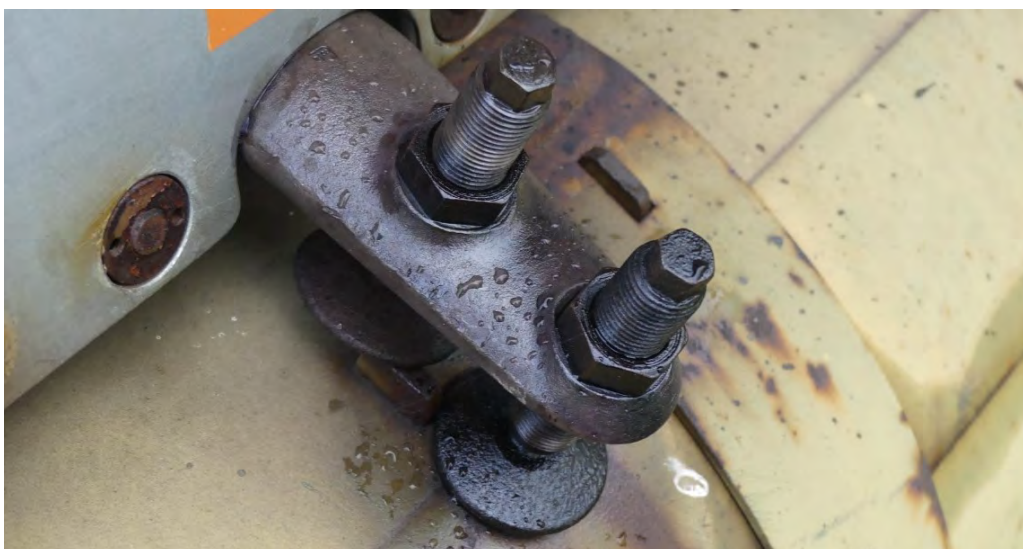
Obr. 118 - Testovaná opierka



Obr. 119 - Koróziou napadnutá skrutka opierky po celom telese



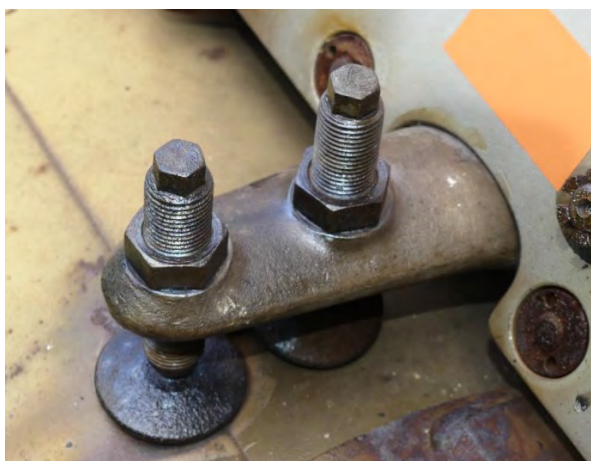
Obr. 120 - Aplikovanie inhibítora WÜRTH - pomalé zasychanie



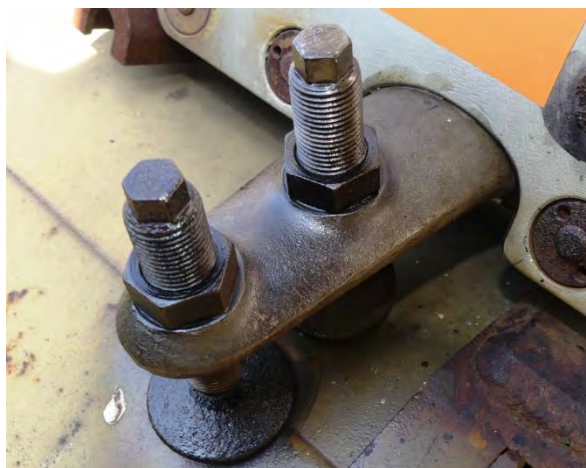
Obr. 121 - Stav 0 - povrch ošetrený vrstvou bezfarebného laku

Priebeh testu

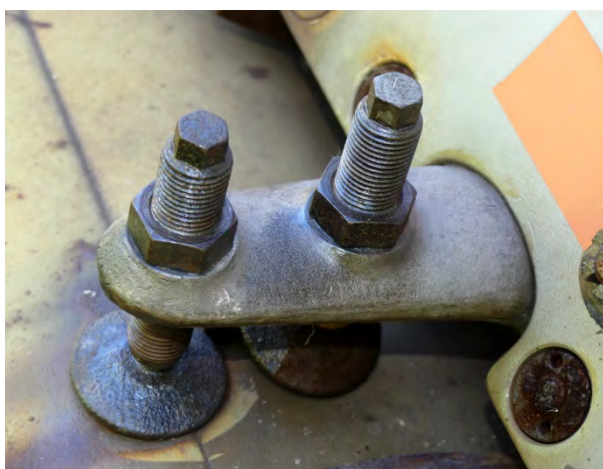
Dňa 26.9.2019 (deň 0) bola vykonaná aplikácia inhibítora WÜRTH na kovovú opierku podkrídlového závesu. Po 48 hodinách bol vykonaný ochranný nástrek lakom vo forme aerosólu. V priebehu celého kontrolného obdobia sa tento ošetrený povrch javil veľmi stabilne, o čom svedčia aj porovnávacie záznamy (Obr. 122 a Obr. 123). Nedošlo tak rapidne k opotrebeniu krycieho náteru. Pri dôslednejšom mechanickom odstránení korózie by mohol byť stav v lepšej kondícii.



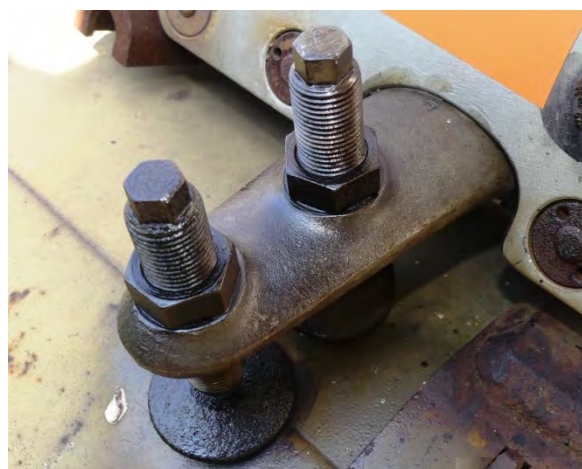
Obr. 122 - Po 360 dňoch



Obr. 123 - Stav 0



Obr. 124 - Po 710 dňoch



Obr. 123 - Stav 0

Jediný problém bola sama aplikácia, pretože hustota inhibítora nezaručuje vhodné použitie na vertikálne konštrukcie. Teleso opierky má určitý uhlový sklon smerom dolu, čo spôsobuje gravitačné zatečenie kvapaliny. V tomto prípade to nie je na škodu. Po očistení nadbytočnej kvapaliny neostávajú na materiáli mapy ako u iných povrchov, napr. leštené ocele.

Názov: Opierka podkrídlového závesu lietadla Su-22 skrutka

Popis – legovaná oceľ pokovaná kadmiovou zinkovou odfarbkou LA-LF : *3.79

Hodnoty prvkov

Sn	Cd	Mo	Nb	Zr	Pb	W	Zn	Cu	Ni
LOD	4,821	0,021	LOD	LOD	LOD	LOD	0,216	0,163	0,135

Fe	Mn	Cr	V	Ti	Al	S	P	Si	Mg
90,09	0,779	0,539	0,029	0,016	LOD	0,806	0,239	1,372	LOD

8.2.3. Testovaná plocha: Výškové kormidlo

Popis: Na výškovom kormidle sa nachádzala malá plocha, ktorá sa javila ako kombinácia korózie a mechanických nečistôt. Lokalizovaná plocha sa nachádza pri odtokovej lište. Aplikovaný bol neriedený inhibítor Cortec VpCI®-427. Testované polia boli rozdelené na dve časti. Druhé pole sprava bolo mechanicky zbavené korózie s následným očistením technickým benzínom a aplikáciou inhibítora. V druhom prípade (prvé pole sprava) bolo zbavené len mechanických nečistôt s následnou aplikáciou chemikálie.



Obr. 125 - Koróziou napadnutý povrch výškového kormidla



Obr. 126 - Reakcia inhibítora na oboch plochách

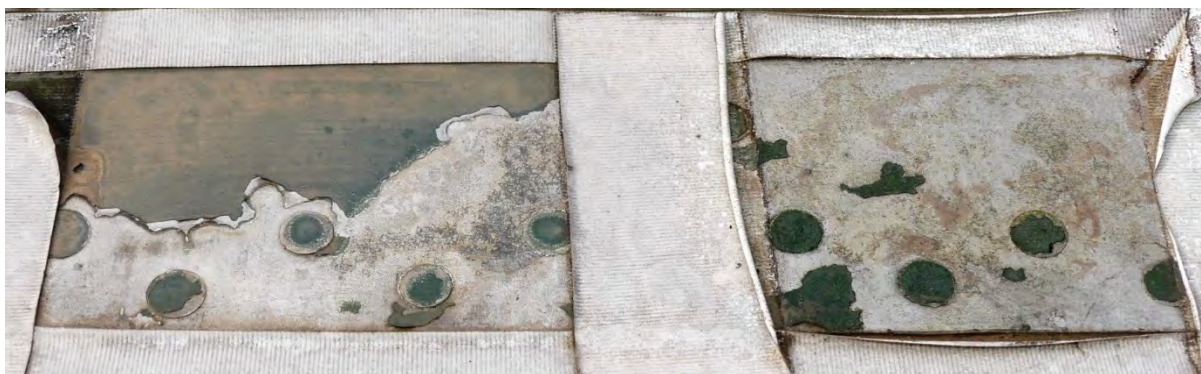
Po jej odstránení boli obe plochy ošetrené bezfarebným lakom. Klimatické podmienky: teplota 18,3 °C a vlhkosť 79 %. Testovaná časť je umiestnená na voľnej ploche pod vplyvom všetkých klimatických zmien.

Priebeh testu

Dňa 26.9.2019 (deň 0) bola vykonaná aplikácia inhibítora na vyznačenú plochu výškového kormidla. Plocha prvá sprava, ktorá je neošetrená, sa výrazne spenila a zreagovala do hnedých farebných zhlukov. Po odstránení zreagovanej hmoty a vykonaní ochranného nástreku sa vytvorili na ploche šedivé miesta. Postupne sa plocha stala tmavšou, čo mohlo byť spôsobené aj mechanickými nečistotami z ovzdušia a okolitého prostredia.



Obr. 127 - Stav 0, po ošetroení lakom je viditeľná vode odpudivá reakcia



Obr. 128 - Po 360 dňoch



Obr. 129 - Po 710 dňoch

Poznámka

Napriek tomu, že výrobca udáva použitie inhibítora priamo na znečistené plochy, pre účel reštaurovania je potrebné tieto plochy zbaviť všetkých nečistôt a korózie mechanickým spôsobom na lepšie zreagovanie inhibítora s kovom.

Názov: **Výškové kormidlo Su-22**

Popis – Al-Cu zliatina (dural) **AA 2024 : *2.22**

Hodnoty prvkov

Sn	Cd	Mo	Nb	Zr	Pb	W	Zn	Cu	Ni
LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	0,04	LOD	0,053	3,821	0,017

Fe	Mn	Cr	V	Ti	Al	S	P	Si	Mg
0,473	0,289	0,064	0,176	0,519	94,54	-	-	-	-

8.3. Lietadlo Q-5 Fantan

8.3.1. Testovaná plocha: Ľavý ejektor kanóna

Dátum: 26.09.2019, čas 14,30 - 15,00. Klimatické podmienky: teplota 19,2 °C, vlhkosť 58 %, slnečné počasie.

Popis: Zberkový predmet je umiestnený v „Prezidentskej Galérii“ pod prístreškom - priestor pod vplyvom klimatických zmien, ale bez priameho vplyvu dažďa, snehu, slnečného žiarenia. Ejektor hlavne 20 mm kanóna (v smere letu vľavo), ktorý je umiestnený v koreni krídla, je silne napadnutý kovovou koróziou po celom jeho povrchu. Prvým krokom bolo zbaviť teleso ejektoru korózie brúsnym papierom na kovový povrch. Potom boli zbytky hrdze a mechanické nečistoty odstránené prostriedkom WÜRTH - Odmasťovač rapid. Následne bol aplikovaný inhibitor WÜRTH. Nebola vykonaná žiadna povrchová ochrana bezfarebným lakom.



Obr. 130 - Lietadlo Q-6 Fantan s testovanými plochami

Postup ošetrovania



Obr. 131 - Odstránenie korózie z hlavne ejektora



Obr. 132 - Aplikácia inhibítora a zatečenie



Obr. 133 - Pomalé zasychanie



Obr. 134 - Celkové zaschnutie po 48 hodinách

Tabuľky nameraných údajov testovaných plôch – ľavý a pravý ejektor hlavne kanóna a nábežná hrana ľavého krídla lietadla Q-6 Fantan

Obdobie: september 2019 – jún 2020

obdobie (deň)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
teplota (°C)	19,2	16,8	13,5	7,3	3,0	-2	-1	6,9	9,7	1	13,9	23,4	17	19
vlhkosť (%)	58	68	90	98	99	74	97	63	51	45	27	44	57	60

Obdobie: júl 2020 – máj 2021

obdobie (deň)	280	300	320	340	360	380	400	420	460	480	500	520	540	580
teplota (°C)	19,3	24,6	19,3	28,9	21,0	13,7	9,0	3,6	-0,5	-1,1	+3,6	7,2	6,9	17,1
vlhkosť (%)	39	45	81	43	87	74	82	65	63	49	84	53	59	67

Obdobie: jún 2021 – september 2021

obdobie (deň)	620	650	680	710	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
teplota (°C)	24,4	22,3	24,1	18,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
vlhkosť (%)	41	47	62	61	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Porovnanie testovaných etalónov



Obr. 135 - Po 360 dňoch



Obr. 136 - Stav 0



Obr. 137 - Po 710 dňoch



Obr. 136 - Stav 0

Priebeh testov

Dňa 26.9.2019 (deň 0) bola vykonaná aplikácia inhibítora WÜRTH na povrch ejektora kanóna. Daný povrch nebol po vyschnutí ošetrený ochranným lakom z dôvodu porovnania testovaných plôch, t.j. lakovaná a nelakovaná. Po aplikovaní inhibítora štetcom a zaschnutí sa vytvorili zhľuky tmavších miest. Vzniká problém, ako dokonale natrieť emulziu, ktorá je hustá, steká po zaoblených plochách vplyvom gravitácie a vytvára zhľuky. Tie sú po vyschnutí tmavšie. Po určitom čase, približne 100 dní, povrch zmatnel, vytvorili sa biele body. Potom sa povrch ustálil a ostal nemenný.

8.3.2. Testované plochy : Pravý ejektor kanóna

Popis: Proces ošetrenia prebiehal podobne ako v prechádzajúcom prípade s tým rozdielom, že v záverečnom kroku bol po 48 hodinách ejektor hlavne ošetrený univerzálnym bezfarebným lakom vo forme aerosólu. Po celkovom zaschnutí sa na ošetrovanom povrchu vytvorili tmavé a svetlé miesta. Pravdepodobne vznikli pomocou nedokonalého aplikovania inhibítora alebo je to vlastnosť kovového povrchu - nedokonalý odlatok hlavne.

Postup ošetrenia



Obr. 139 – Odstránenie korózie a očistenie



Obr. 140 - Ošetrený inhibítorom



Obr. 141 - Proces postupného zasychania



Obr. 142 - Aplikovaná ochranná vrstva bezfarebného laku

Porovnanie testovaných etalónov.



Obr. 143 - Po 360 dňoch



Obr. 144 - Stav 0



Obr. 145 - Po 710 dňoch



Obr. 144 - Stav 0

Priebeh testov

Dňa 26.9.2019 (deň 0) bola vykonaná aplikácia inhibítora WÜRTH na povrch ejektora kanóna. Povrch bol po vyschnutí ošetrený ochranným lakom. Časom sa vytvorili svetlejšie a tmavšie miesta. Približne pri 100 dňovej perióde povrch zmatnel a vytvorili sa biele body. Pravdepodobne bude problém s ochranným lakom, ktorý po čase stráca svoju kryciu schopnosť. Potom sa povrch ustálil a ostal nemenný až do záverečnej kontroly.

Názov: **Ejektor kanóna lietadlo Q-6 Fantan**

Popis: Cr-Mn nízkolegovaná oceľ, No Match: *4,65

Hodnoty prvkov

Sn	Cd	Mo	Nb	Zr	Pb	W	Zn	Cu	Ni
LOD	LOD	0,008	LOD	LOD	LOD	LOD	0,052	0,084	LOD

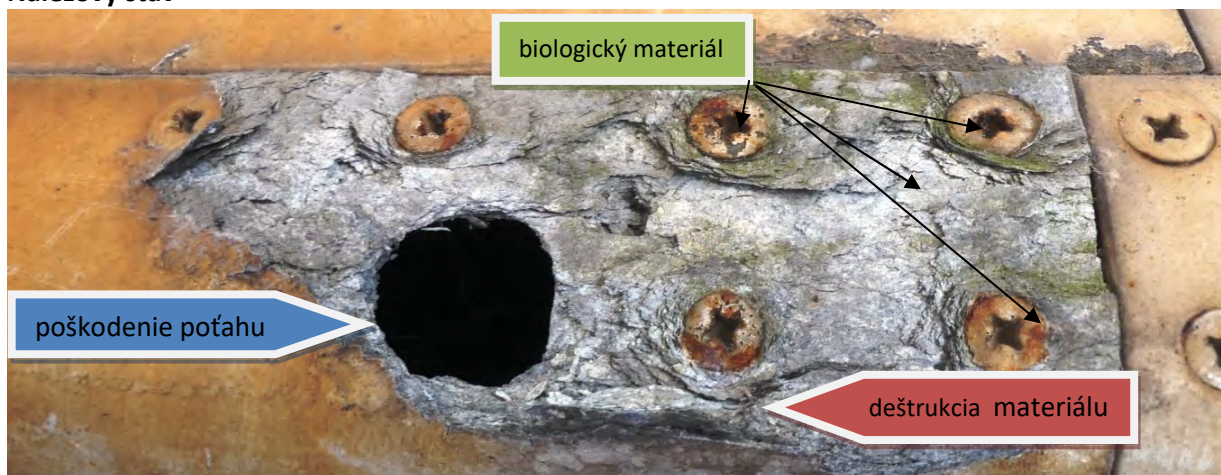
Fe	Mn	Cr	V	Ti	Al	S	P	Si	Mg
97,02	0,618	0,608	0,011	LOD	LOD	0,672	LOD	0,604	LOD

8.3.3. Testovaná plocha: Nábežná hrana ľavého krídla

Dátum: 26.09.2019, čas 14,30 - 14,45. Klimatické podmienky: teplota 19,2 °C, vlhkosť 58 %, slnečné počasie.

Popis: Zbierkový predmet je umiestnený v Prezidentskej Galérii pod prístreškom - priestor pod vplyvom všetkých klimatických zmien, ale bez priameho vplyvu dažďa, snehu, slnečného žiarenia. Približne v polovici ľavého krídla (v smere letu) bol silne zdevastovaný duralový poťah v priestore nábežnej hrany. Jedná sa o deštruktívne poškodenie povrchu vplyvom korózie. V rohu poťahu a v okolí križových skrutiek sú viditeľné časti biologického pôvodu, pravdepodobne sa jedná o machovú štruktúru. Poškodenie sa javí ako letokruhy na strome. Je viditeľná postupná degradácia jednotlivých vrstiev duralu. Takto poškodený povrch nie je možné zachrániť. V tomto prípade je možná len technologická výmena starej časti za novú. Test mal za úlohu vyskúšať spomalenie priebehu korózie.

Nálezový stav



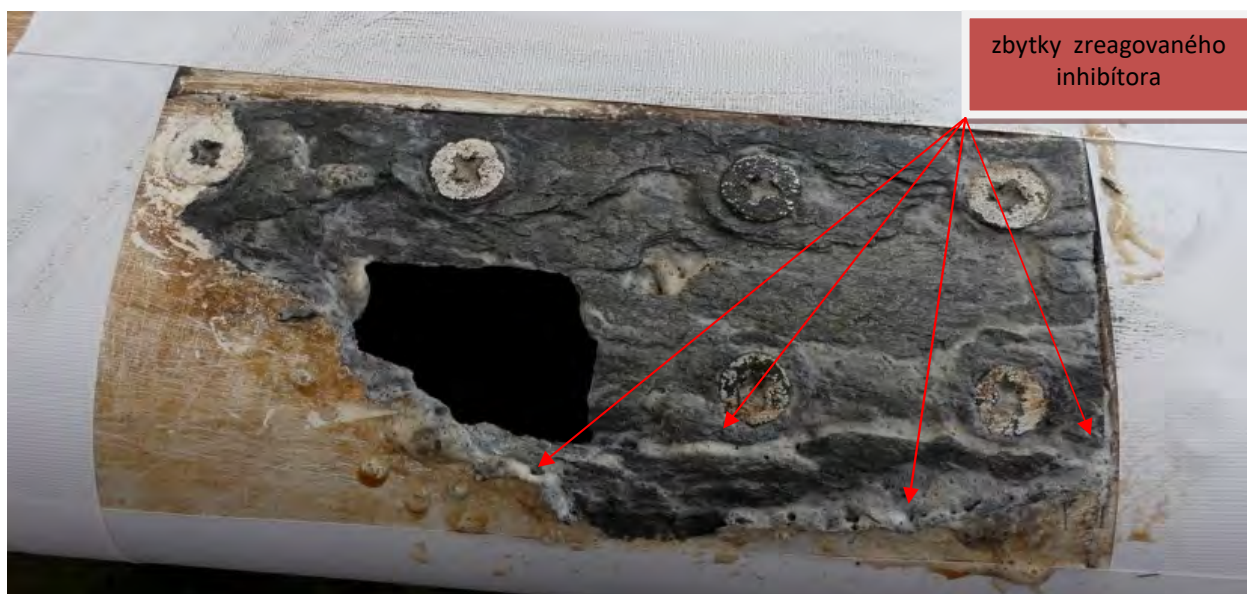
Obr. 146 - Pôvodný zdegradovaný povrch časti nábežnej hrany krídla

Plocha bola niekoľko krát mechanicky očistená a zbavená mechanických nečistôt. Samotný proces odstraňovania bol komplikovaný, pretože dochádzalo k lúpaniu štruktúry materiálu a pomalé zväčšovanie diery, ktorá bola pri okraji stenčená a krehká. Už počas procesu čistenia došlo k preboreniu poťahu a zväčšeniu diery (pre porovnanie Obr. 146 a Obr. 148). Zoxidovaná vrstva bola z povrchu odstránená. Následne bolo vykonané očistenie a odmastenie. Potom bol aplikovaný inhibítor Cortec VpCI®-427, došlo k reakcii v podobe extrémneho spenenia, ktoré bolo odstránené vodou. Nastal trochu problém s očistením povrchu od zvyškov zreagovaného inhibítora na ploche, ktorá bola výrazne štruktúrne poškodená. Po dokonalom vyschnutí a odvetraní, asi po 24 hodinách, bol vykonaný aerosólový ochranný nástrek. Po zaschnutí došlo k zbeleniu plochy z neznámych dôvodov. Pravdepodobne ošetrovaný povrch nemal vhodnú teplotu.

Postup ošetrovania



Obr. 147 - Reakcia po použití inhibítora na poškodenom poťahu



Obr. 148 - Odstránenie zreagovanej hmoty z povrchu



Obr. 149 - Vykonaná ochrana bezfarebným lakom vo forme aerosólu, následné zbelenie plochy

Porovnanie testovaných etalónov



Obr. 150 - Po 360 dňoch



Obr. 151 - Stav 0



Obr. 152 - Po 710 dňoch



Obr. 151 - Stav 0

Priebeh testu

Dňa 26.9.2019 (deň 0) bola vykonaná aplikácia inhibítora VpCl®-427 v nezriedenom skupenstve. Po vykonaní nástreku ochranným lakom došlo k vizuálnej zmene – povrch zbelel. Tento stav pretrval do 200 dňovej periódy. Postupne sa tento efekt bielej vytrácal, použitý lak pravdepodobne stratil svoju kryciu schopnosť vzhľadom k existujúcim klimatickým vplyvom. Pri 400 dňovej kontrolnej perióde ostali len malé plochy ochranného laku. Tento stav potom pretrval až do poslednej 700 dňovej kontrolnej periódy. V priebehu doby došlo k miernemu zväčšeniu defektu – diery na nábežnej hrane oproti pôvodnému stavu (pravdepodobne zvedavý návštevníci). Došlo k farebnej zmene (Obr. 152) do hneda, ale iba miestne. Pravdepodobne nečistoty, možno vtáčí trus. Test potvrdil určitú ochranu a možné spomalenie tvorby korózie. V tomto špecifickom prípade by bolo vhodné zmerať spektrálne hrúbku materiálu pred a po teste a tak vyhodnotiť účinok inhibítora. Samozrejme len pre účely testov, pretože takto zdevastovaný poťah je zbytočné opravovať. Najlepšie riešenie je výmena kompletnej časti nábežnej hrany. V minulosti sme tak riešili protifláterové závažie na vodorovných chvostových plochách uvedeného typu lietadla.

Názov: **Nábežná hrana krídla lietadla Q-6 Fantan**

Popis: Al-Si-Cu zliatina (vysokopevná), No Match: *6,12

Hodnoty prvkov

Sn	Cd	Mo	Nb	Zr	Pb	W	Zn	Cu	Ni
LOD	LOD	LOD	LOD	0,013	0,014	LOD	0,553	20,97	LOD

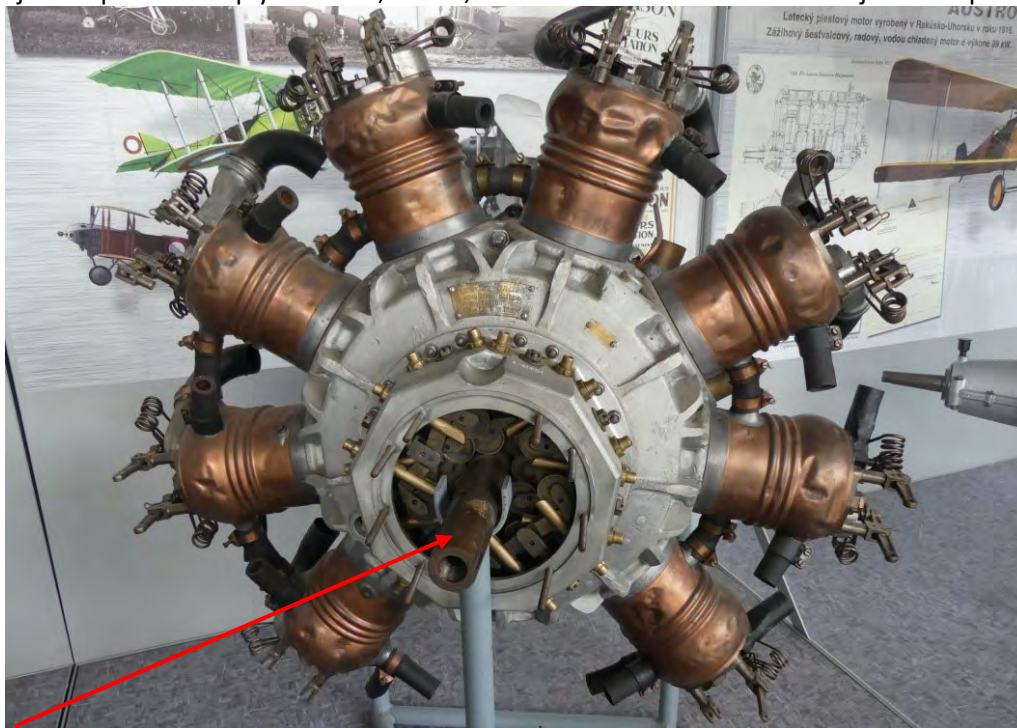
Fe	Mn	Cr	V	Ti	Al	S	P	Si	Mg
1,998	1,542	0,456	0,107	0,419	53,89	LOD	LOD	20,03	LOD

8.4. Motor letecký piestový Salmson Contoi Unné

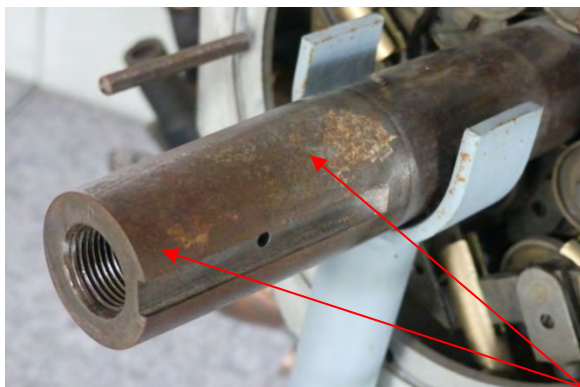
Testovaná plocha: Hriadeľ piestového motora

Dátum: 30.09.2019, čas 10,30. Klimatické podmienky: teplota 19,0 °C, vlhkosť 79 %.

Popis: Motor je umiestnený v expozícii č. 1 (Obr. 153), ktorá je orientovaná smerom juh – západ. Priestor je uzavretý, zastrešený. Celoročné vonkajšie klimatické vplyvy ovplyvňujú vnútorné podmienky v uvedenej expozícii vo forme výkyvov vlhkosti 30 – 85 % a teploty -5 až +40°C. Priestor hangáru je bez priameho vplyvu dažďa, snehu, slnečného žiarenia. Konštrukcia je nezateplená.



Obr. 153 - Umiestnenie motora v expozícii s testovanou časťou



Obr. 154 a Obr. 155 - Korózia na hriadeli motora

Z dôvodu revitalizácie expozičných priestorov Hangáru č. 1 bol daný zbierkový predmet kompletne zreštaurovaný v roku 2012. Celková doba od zákroku je 7 rokov. Motor je umiestnený v uzavretom priestore danej expozície za určitého vplyvu vlhkosti, ktorá sa prejavila vo forme korózie (Obr. 154 a Obr. 155) na hriadeli motora. V prvom kroku bola mechanicky odstránená korózia brúsnym papierom zrnitosti 100 (Obr. 156), a to postupne až na čistý kov (Obr. 157). Po jej odstránení bol povrch očistený, zbavený mechanických nečistôt, odmastený čističom WÜRTH. Po vyschnutí povrchu bol aplikovaný inhibítor WÜRTH (Obr. 158). Po stanovenej dobe 48 hodín bola nanosená ochranná vrstva bezfarebného laku na kovový povrch hriadeľa (Obr. 159).

Postup pri ošetroení



Obr. 156 - Mechanické odstránenie korózie



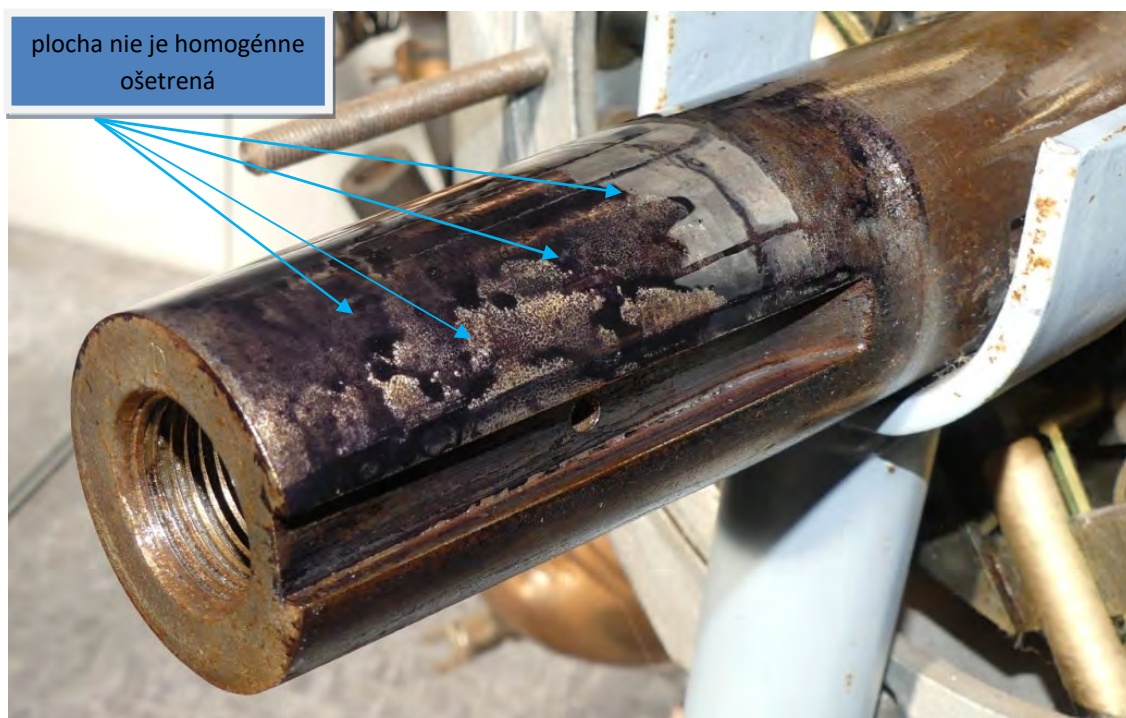
Obr. 157 - Očistenie od mechanických nečistôt



Obr. 158 - Nanesenie inhibítora



Obr. 159 - Ošetroenie lakom



Obr. 160 - Po aplikácii inhibítora WÜRTH

Poznámka: Po aplikácii a zaschnutí inhibítora nastal problém ako ho správne naniesť tak, aby nedošlo k hore uvedenému efektu (Obr. 160). Ošetrovaná obvodová plocha má nestále krytie, vznikajú zatečené miesta, ktorým sa asi nedá vyhnúť pri použití štetca, tak, ako to odporúča výrobca. Ďalej sa tvoria fľaky a iné útvary, ktoré pôsobia neesteticky. Oproti ochrannému prostriedku Tanín je krytie neporovnateľné. Krytie Tanínom je ďaleko lepšie. Pravdepodobne je potrebná určitá zručnosť alebo spôsob ako vhodne odstrániť inhibítor.

Tabuľky nameraných údajov testovaných plôch – hriadeľ motora Salmson Contoi Unné a skrutka náboja vrtule motora Walter III.

Obdobie: september 2019 – jún 2020

obdobie (deň)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
teplota (°C)	19	24	13	9,5	10,0	0	2	12	12	1	17	30	21	23
vlhkosť (%)	79	51	95	78	80	75	60	62	59	45	42	46	59	65

Obdobie: september júl 2020 – jún 2021

obdobie (deň)	280	300	320	340	360	380	400	420	460	480	500	520	540	580
teplota (°C)	27	28	23	32	21	16,6	11,0	6	-3	-4,5	+11	7	12	17
vlhkosť (%)	63	58	84	56	81	90	79	60	54	68	62	54	31	66

Obdobie: september jún 2021 – september 2021

obdobie (deň)	600	620	650	680	710	—	—	—	—	—	—	—	—	—
teplota (°C)	25	31	26	25	18,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
vlhkosť (%)	43	56	50	74	61	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Porovnanie testovaných etalónov



Obr. 161 - Po 360 dňoch



Obr. 162 - Stav 0



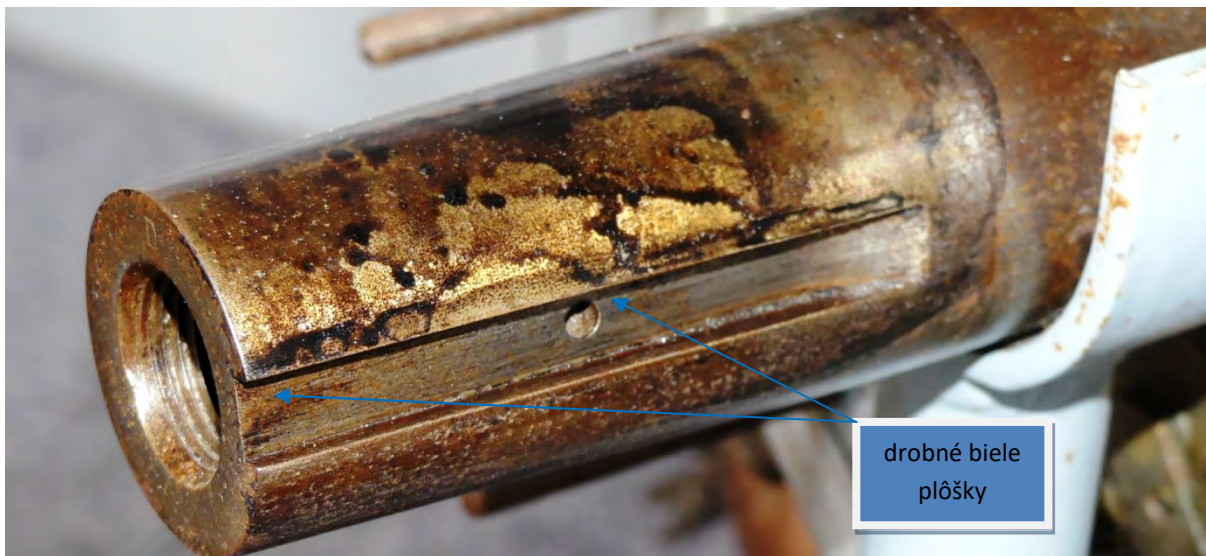
Obr. 163 - Po 710 dňoch



Obr. 162- Stav 0

Priebeh testu

Dňa 30.09.2019 (deň 0) bol aplikovaný inhibítor WÜRTH na hriadeľ náboja vrtule. Okrem problému s nerovnomerne naneseným inhibítorom sa po čase prejavilo zožltnutie ošetrovaného povrchu, a to zhruba pri 260-dňovej kontrolnej perióde. Môže to byť reakcia ochranného laku na nedokonalý nástrek. Pravdepodobne pri použití ochranného nástreku vo forme aerosólu vznikli malé bublinky, ktoré postupne ako vysychali praskali a pri tomto zaschnutí vytvorili malé plôšky – body (Obr. 164). Vzhľad plochy sa potom nezmenil až do poslednej 710-dňovej kontrolnej periódy.



Obr. 164 - Po 710 dňoch

Názov: **Hriadeľ motora Salmson Contoi Unné**

Popis: nízkolegovaná oceľ (poniklovaná) , No Match: ***4,30**

Hodnoty prvkov

Sn	Cd	Mo	Nb	Zr	Pb	W	Zn	Cu	Ni
LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	0,015	0,091	6,209

Fe	Mn	Cr	V	Ti	Al	S	P	Si	Mg
92,17	0,458	0,211	LOD	LOD	LOD	0,282	LOD	LOD	LOD

Ako povrchová protikoroziívna ochrana bol použitý Nikel.

8.5. Motor letecký piestový Walter IV

Testovaná plocha: Skrutka uchytenia náboja vrtule

Dátum: 30.09.2019, čas 10,45. Klimatické podmienky: teplota 19,0 °C, vlhkosť 79 %.

Popis: Zbierkový predmet je umiestnený v expozícii č. 1, priestor je uzavretý, zastrešený. Celoročné vonkajšie klimatické vplyvy sa prejavujú vo forme zvýšenej vlhkosti (po daždi) v letných mesiacoch. V zime je to vyššia mínusová teplota ako v okolitom vonkajšom priestore. Priestor hangáru je bez priameho vplyvu dažďa, snehu či slnečného žiarenia.



Obr. 165 - Motor v expozícii č. 1



Obr. 166 - Nálezový stav skrutky uchytenia vrtule



Obr. 167 - Proces odstránenia korózie zo skrutky

Z dôvodu revitalizácie expozičných priestorov hangáru č. 1 bol daný zbierkový predmet kompletne zreštaurovaný v roku 2012. Celková doba od zákroku je asi 7 rokov. Podmienky umiestnenia sú podobné ako v hore uvedenom prípade. V prvom kroku bola mechanicky odstránená korózia po celom tele skrutky brúsnym papierom zrnitosti 100. Povrch bol očistený na kov (Obr. 168) a zbavený mechanických nečistôt, na záver bol odmastený čističom WÜRTH. Po zaschnutí bol aplikovaný inhibítor (Obr. 169). Po zreagovaní inhibítora sa vytvoril indigovo modrý povrch (Obr. 170). Po 48 hodinách bola nanosená ochranná vrstva bezfarebného laku na kovový povrch skrutky (Obr. 171).

Postup pri ošetrení



Obr. 168 - Finálne očistenie skrutky na kov



Obr. 169 - Nanesenie inhibítora na povrch skrutky



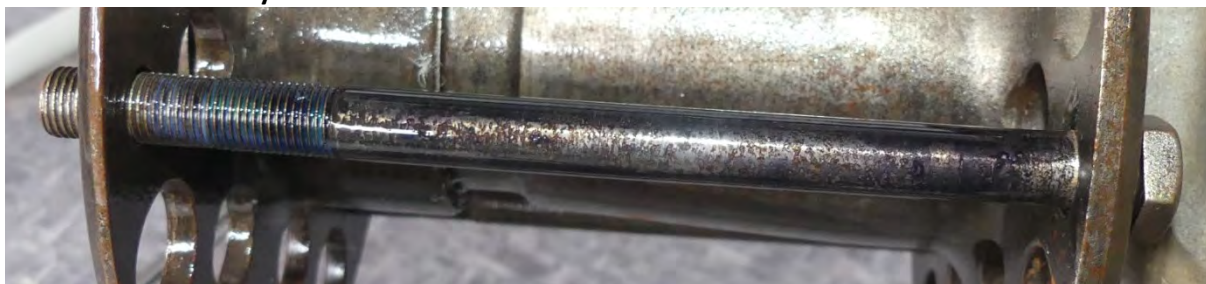
Obr. 170 - Reakcie inhibítora s povrchom kovu



Obr. 171 - Finálne ošetrenie ochranným lakom

Podobne ako v predchádzajúcom prípade, aj tu vyvstal problém ako homogénne naniesť inhibítor na tak malú a geometricky zakrivenú plochu. Okrem toho chceme, aby nedošlo k zatečeniu alebo vzniku iných neestetických tmavých zhlukov. Hoci nie sú badateľné, ale aj tu sa tvoria nesúrodé plochy. Šesťhranná hlava, ako aj koniec závitú skrutky (cca 2 cm) neboli ošetrené inhibítorom. Sú očistené len mechanicky.

Porovnanie testovaných etalónov



Obr. 172 - Stav 0



Obr. 173 - Po 360 dňoch



Obr. 174 - Po 710 dňoch



Obr. 175 - Porovnanie stavu dvoch skrutiek, dolná – ošetroená (stav po 710 dňoch), horná - neošetroená

Priebeh testov

Dňa 30.09.2019 (deň 0) bol aplikovaný inhibítor WÜRTH na skrutku uchytenia náboja vrtule. Priebeh tohto testu sa javí ako najstálejší. V priebehu jednotlivých kontrol sa pomaly vytrácal lesk – t.j. vrstva ochranného laku, povrch skrutky postupne zmatnel. Ochranný antikorozívny faktor sa nezmenil, nie sú viditeľné známky korózie (ani pod lupou). Jediný a výrazný problém pre daný spomaľovač korózie je rovnomerná aplikácia na povrch a zachovať tak homogénnosť nanášanej vrstvy.

Názov: **Skrutka uchytenia náboja vrtule motora Walter IV**

Popis: Cr-Ni nízkoalegovaná oceľ, No Match: *6,32

Hodnoty prvkov

Sn	Cd	Mo	Nb	Zr	Pb	W	Zn	Cu	Ni
LOD	LOD	0,015	LOD	LOD	0,004	0,042	LOD	0,123	2,435

Fe	Mn	Cr	V	Ti	Al	S	P	Si	Mg
95,30	0,486	1,154	0,054	0,121	LOD	-	-	-	-

Materiál je nízkoalegovaná oceľ, ako očkovaadlo bol použitý Molybdén v 0,015 % zložení, ako legúry boli použité Wolfrám a Titán.

8.6. Lietadlo Mirage III RF

Testovaná plocha: **Ejektor hlavne kanóna DEFA 552**

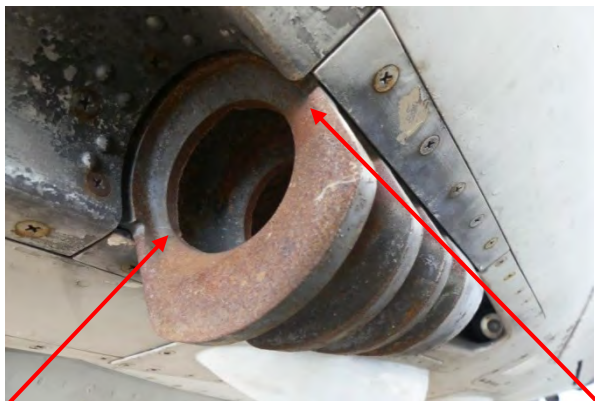
Dátum: 14.10.2019, čas 11,30. Klimatické podmienky: teplota 19,2 °C, vlhkosť 58 %, slnečné počasie.

Popis: Lietadlo je umiestnené pod prístreškom v „Prezidentskej Galérii“. Priestor je pod vplyvom klimatických zmien, ale bez priameho vplyvu dažďa, snehu či slnečného žiarenia. Testovaná plocha, ejektor palubného leteckého kanóna DEFA 552, je zložená zo štyroch kovových častí - dosiek, ktoré sú svojím vnútorným priemerom súosé. V prvom kroku bola odstránená korózia mechanickým spôsobom, brúsnym papierom zrnitosti 100 a 150. Hrdza bola odstránená na kovový povrch. Následne bolo vykonané odstránenie týchto mechanických nečistôt a plochy boli vyčistené prípravkom WÜRTH v niekoľkých krokoch.



Obr. 176 - Testovaná plocha - ejektor hlavne kanóna

Potom bol aplikovaný inhibítor WÜRTH (Obr. 181 a 182), ktorý postupne zreagoval s očisteným kovom do indigovo modrého sfarbenia. Tento postup bol vykonaný na čelnej strane. Zadná strana bola len natrená inhibítorom bez vykonania medzikrokov - zbavenie korózie a čistenie. Na skorodovanú plochu bol nanesený inhibítor. Po 48 hodinách bolo vykonané ošetrovanie povrchu bezfarebným lakom (Obr. 183) pri teplote 19 °C a vlhkosti 62 %.

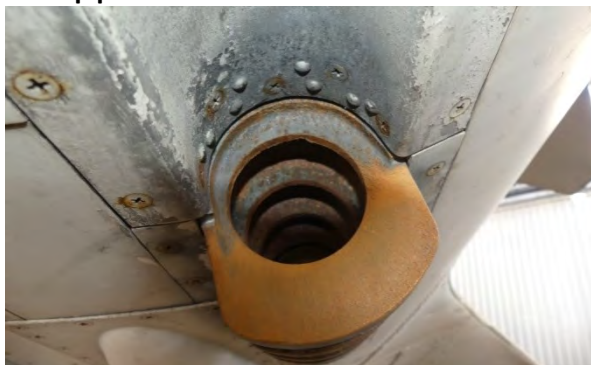


Obr. 177 - Priebeh korózie v rozsahu od 2 – 9 hodín

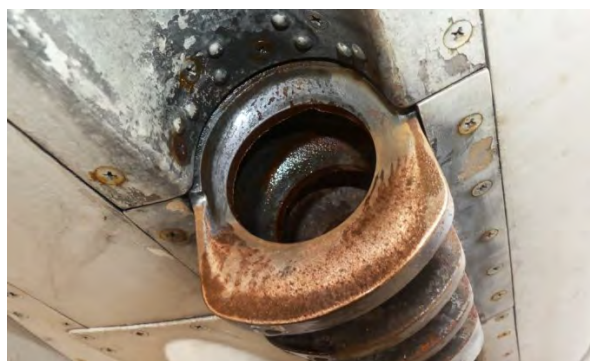


Obr. 178 - Priebeh korózie po celej ploche

Postup pri ošetrovaní



Obr. 179 - Mechanické odstránenie korózie



Obr. 180 - Odmastenie povrchu



Obr. 181 a Obr. 182 - Aplikovanie inhibítora WÜRTH na čelnú a zadnú stranu dosky ejektora



Obr. 183 - Finálne ošetrenie bezfarebným lakom



Obr. 184 - Celkový pohľad



Obr. 185 - Prachové splodiny zotreté z ejektora



Obr. 186 - Po ošetrení, zadná strana dosky ejektora

Určitou zaujímavosťou je priebeh korózie na doske ejektora, ktorá je lokalizovaná v rozsahu od 2 - 8 hodín (Obr. 177). Daný typ lietadla bol prevádzkovaný aj v režime ostrých leteckých streliieb, pričom

dochádzalo k expanzii plynov na konci hlavne, ktoré absorboval ejektor. Tieto splodiny a ich zložky sa zachytávali v druhej polovici čelnej časti ejektora kanóna, pravdepodobne vplyvom aerodynamického efektu od trupu lietadla. Viditeľné stopy čierneho prachu „sadze“ (Obr. 185) na oboch stranách dosiek ejektora. Pravdepodobne z tohto dôvodu je druhá polovica a tiež zadná strana dosky výraznejšie napadnutá koróziou. Horná časť dosky po odstránení korózie a aplikovaní inhibítora má kovovejší charakter.

Tabuľky nameraných údajov platné pre testované plochy - potah trupu nad motorom lietadla T-38 Talon, chvostová časť draku lietadla Mirage III, ejektor palubného leteckého kanóna DEFA 552.

Obdobie: október 2019 – jún 2020

obdobie (deň)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
teplota (°C)	19,2	13,4	9,5	3,0	-2	0	-1	6,9	9,7	1	13,9	23,4	17	19
vlhkosť (%)	58	92	78	99	74	75	97	63	51	45	27	44	57	60

Obdobie: júl 2020 – máj 2021

obdobie (deň)	280	300	320	340	360	380	400	420	460	480	500	520	540	580
teplota (°C)	19,3	24,6	19,3	28,9	21	13,7	9,0	3,6	-0,5	1,1	3,6	7,2	6,9	17,1
vlhkosť (%)	39	45	81	43	74	87	82	65	63	49	84	53	59	67

Obdobie: jún 2021 – september 2021

obdobie (deň)	600	620	650	680	710	–	–	–	–	–	–	–	–	–
teplota (°C)	24,4	23,8	22,3	24,1	18,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–
vlhkosť (%)	41	66	47	62	61	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Porovnanie testovaných etalónov



Obr. 187 - Po 360 dňoch



Obr. 188 - Stav 0



Obr. 189 - Po 710 dňoch



Obr. 188 - Stav 0



Obr. 190 - Po 360 dňoch



Obr. 191 - Stav 0



Obr. 192 - Po 710 dňoch



Obr. 191 - Stav 0

Priebeh testov

Dňa 14.10.2019 (deň 0) bol aplikovaný inhibítor WÜRTH na prednú a zadnú časť dosky ejektora palubného kanóna. Vplyvom nedokonalnej aplikácie došlo k miernemu zatečeniu emulzie k dolnému ľavému okraju dosky. Povrch sa javil bez zmien zhruba do 120 dňovej časovej periódy. Potom sa začalo prejavovať zožltnutie lakového nástreku a drobné biele body. Tento jav môžeme pripísať nedodržaniu technológii nástreku. Aj keď teplota okolitého okolia bola vyhovujúca (19,2 °C), kovová platňa mohla byť podchladená a nastal tento jav bielenia ako v iných testoch. Opakom je zadná strana dosky, ktorá nebola vôbec ošetrovaná a vykazuje relatívne lepší stav až do 710 dňovej periódy.

Názov: **Ejektor kanóna lietadla Mirage III RS**

Popis : Fe-Cu zliatina, No Match: ***5,33**

Z analýzy XRF nie je možné zistiť, či sa jedná o nízkoaloyovanú oceľ, ktorá je pokovaná.

Hodnoty prvkov

Sn	Cd	Mo	Nb	Zr	Pb	W	Zn	Cu	Ni
0,01	LOD	0,217	LOD	LOD	0,014	LOD	LOD	52,36	0,087

Fe	Mn	Cr	V	Ti	Al	S	P	Si	Mg
45,33	0,235	0,549	0,009	LOD	LOD	LOD	LOD	0,685	LOD

Zaujímavá zliatina na báze medi a železa. Otázne je, či povrch predmetu je pomedený a slúži ako povrchová ochrana alebo materiál v tomto % zložení. Použité očkovačlá Molybdén, Mangán. Predmet slúži ako ejektor výstupných plynov z leteckého kanóna, ktorý je pod vplyvom agresívnych splodín podporujúcich vznik korózie.

8.7. Lietadlo Mirage III

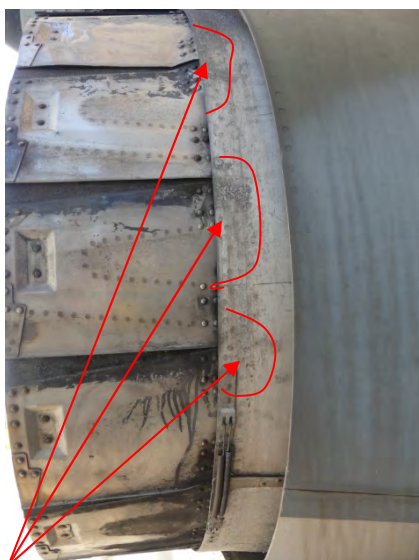
Testovaná plocha: **Chvostová časť draku**

Dátum: 14.10.2019, čas 11,50. Klimatické podmienky: teplota 19,7 °C, vlhkosť 58 %, slnečné počasie.

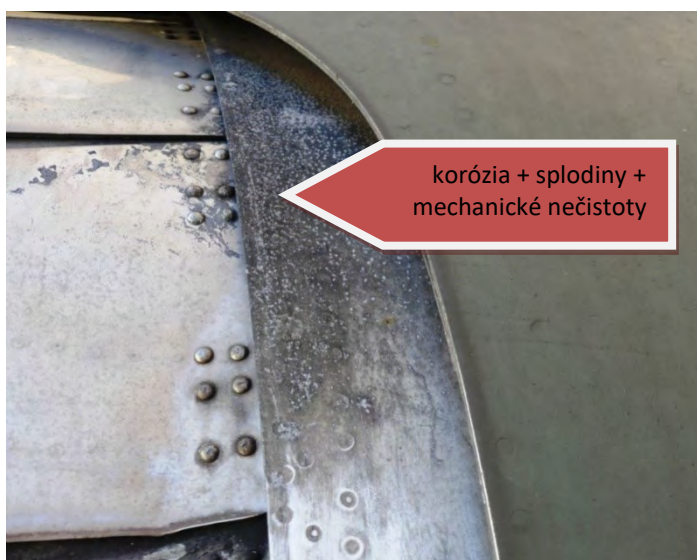
Popis: Lietadlo je umiestnené v „Prezidentskej Galérii“ pod prístreškom. Priestor je pod vplyvom klimatických zmien s čiastočným vplyvom dažďa, snehu a slnečného žiarenia. Testovaná plocha je zadná časť draku v priestore výstupnej rúry. Testované plochy (Obr. 193) sa nachádzajú v oblasti horúcich častí výstupnej rúry motora. Plocha bola rozdelená na tri časti podľa nariadeného pomeru inhibítora. Na hornej ploche bol použitý inhibítor VpCI®-427 v pomere 1:4, druhá plocha stred v pomere 1:1 a spodná plocha je ošetrovaná neriedeným inhibítorom.



Obr. 193 - Testované plochy



Obr. 194 - Výskyt korozívnych polí



Obr. 195 - Detail korózie

Pri ošetrovaní a aplikácii inhibítora sa vo všetkých troch prípadoch postupovalo rovnako. V prvom kroku bola odstránená korózia mechanickým spôsobom brúsnym papierom o jemnej zrnitosti v rozsahu 150 až 200. Následne bolo vykonané odstránenie týchto mechanických nečistôt a zvyšky korózie technickým benzínom (Obr. 196). Potom bol aplikovaný inhibítor VpCI®-427 (Obr. 197), ktorý bol nanášaný v rozdielnych pomeroch od hornej plochy 1:4, stredná pomer 1:1 a spodná neriedený stav. Podľa namiešaných pomerov sa prejavila reakcia. Najextrémnejšia bola v spodnej časti, vytvorila sa biela pena (Obr. 198). Po zotretí sa odhalil čistý kov (Obr. 199). Zreagovaná vrstva bola odstránená, v samom závere bol vykonaný ochranný nástriek.



Obr. 196 - Odstránenie korózie



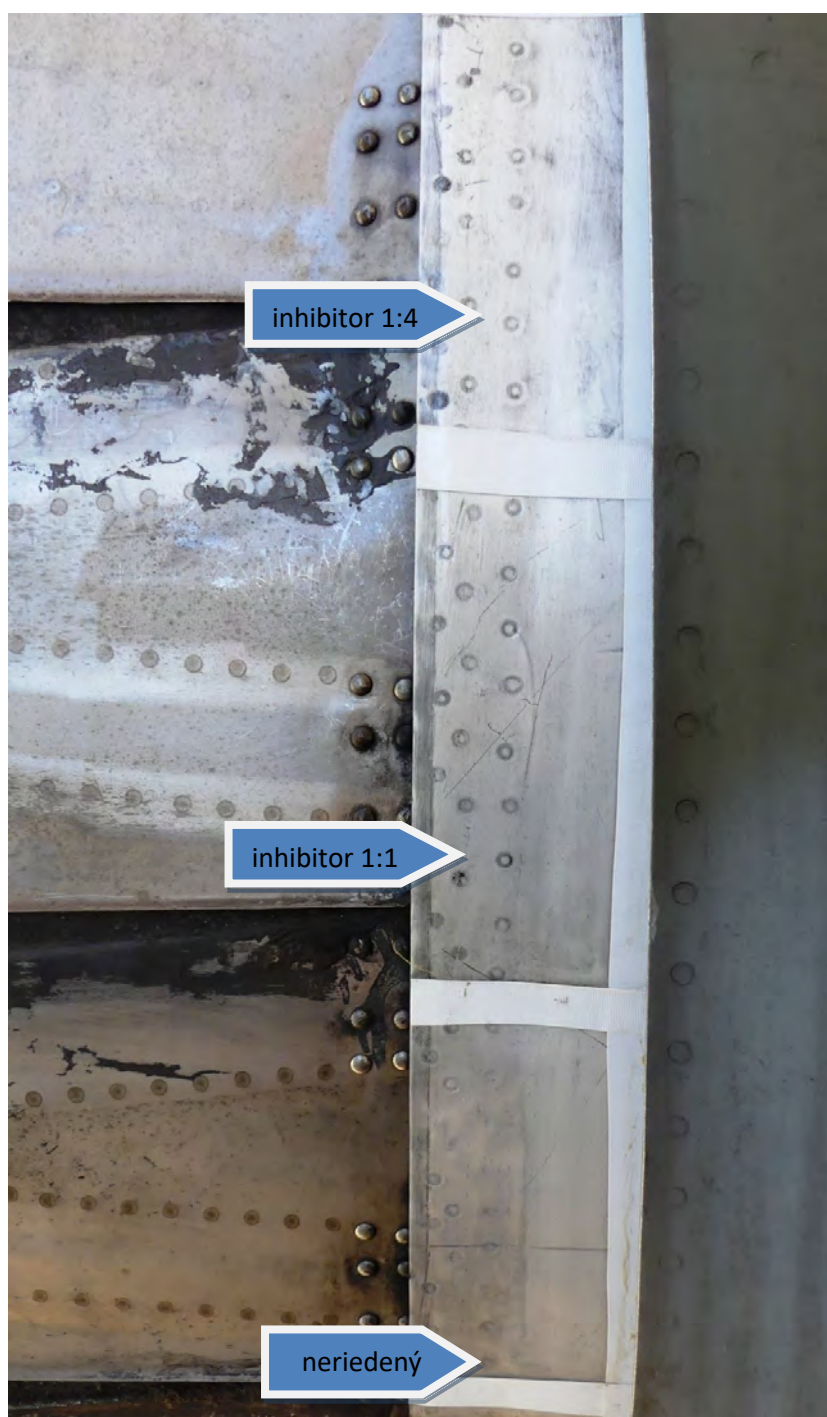
Obr. 197 - Aplikácia inhibítora



Obr. 198 - Reakcia inhibítora v neriedenom stave



Obr. 199 - Polovičný ster, odhalený povrch



Obr. 200 - Celkový pohľad na ošetrované plochy

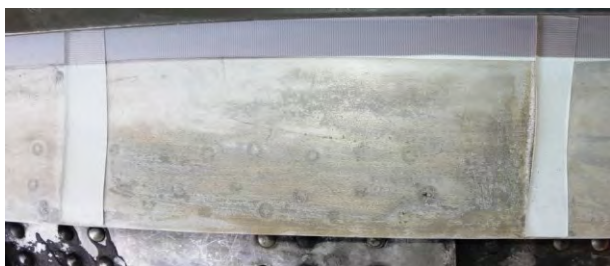
Porovnanie testovaných etalónov



Obr. 201 - Horná plocha po 360 dňoch



Obr. 202 - Horná plocha stav 0



Obr. 203 - Stredná plocha po 360 dňoch



Obr. 204 - Stredná plocha stav 0



Obr. 205 - Spodná plocha po 360 dňoch

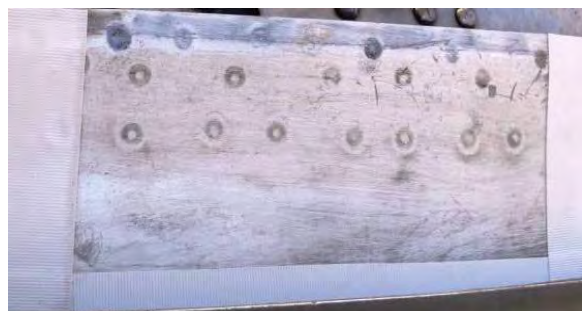


Obr. 206 - Spodná plocha stav 0

Stav po 710 dňoch



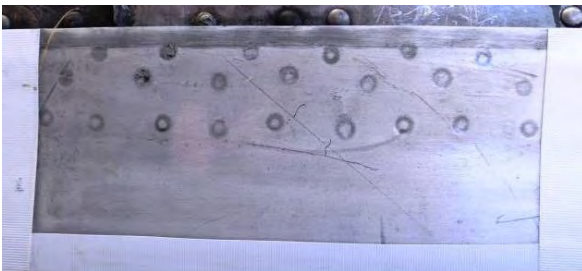
Obr. 207 - Horná plocha po 710 dňoch



Obr. 208 - Horná plocha stav 0



Obr. 209 - Stredná plocha po 710 dňoch



Obr. 210 - Stredná plocha stav 0



Obr. 211 - Spodná plocha po 710 dňoch



Obr. 212 - Spodná plocha stav 0

Priebeh testov

Dňa 14.10.2019 (deň 0) bol aplikovaný inhibítor VpCI®-427 na zadnú časť potahu draku, ktorá sa nachádza v tepelne namáhanej oblasti výstupnej rúry. Plocha bola rozdelená na tri časti podľa spôsobu zriedenie. Na hornej ploche bol použitý inhibítor VpCI®-427 v pomere 1:4, druhá (stredná) plocha bola ošetrená inhibítorom v pomere 1:1 a spodná plocha inhibítorom v pôvodnom skupenstve. Pri 20 dňovej monitorovacej perióde sa povrch potahu zmenil - došlo k trúseniu ochrannej lakovanej vrstvy obzvlášť na prostrednej testovanej ploche. Táto anomália mohla vzniknúť zatečením laku z hornej testovanej plochy, mohlo dôjsť k nahromadeniu. Ďalšia možnosť je nedodržanie technológie aplikácie nástreku – kovový potah bol príliš chladný. Test bol vykonaný 14.10.2019 a ochranný nástreč bol vykonaný o 24 hodín neskôr, pričom okolitá teplota mohla spĺňať podmienky aplikácie, ale teplota povrchu mohla byť nevyhovujúca. Tento stav prevládala do 80-dňovej kontrolnej periódy, kedy sa lakované plochy ustálili v zmysle „odpadlo, čo odpadnúť malo“ a ostali len nesúvislé polia. Tento stav zotrval až do konca.

Názov : Zadná časť trupu lietadla Mirage III

Popis: Al-Si-Mn zliatina (silumín legovaný Mn) , No Match: *6,32

Hodnoty prvkov

Sn	Cd	Mo	Nb	Zr	Pb	W	Zn	Cu	Ni
LOD	LOD	0,01	LOD	0,011	0,014	LOD	0,235	0,792	LOD

Fe	Mn	Cr	V	Ti	Al	S	P	Si	Mg
2,626	3,012	2,105	0,121	0,197	87,39	LOD	LOD	3,48	LOD

Materiál je silumín, legovaný vysokým % Mangánu. Kvalitný materiál, silný, odolný voči teplote a mechanickému poškodeniu. Materiál je použitý v zadnej časti v priestore pohonnej jednotky. Vznik vysokých teplôt z priestoru výstupnej rúry.

8.8. Lietadlo T-38 Talon

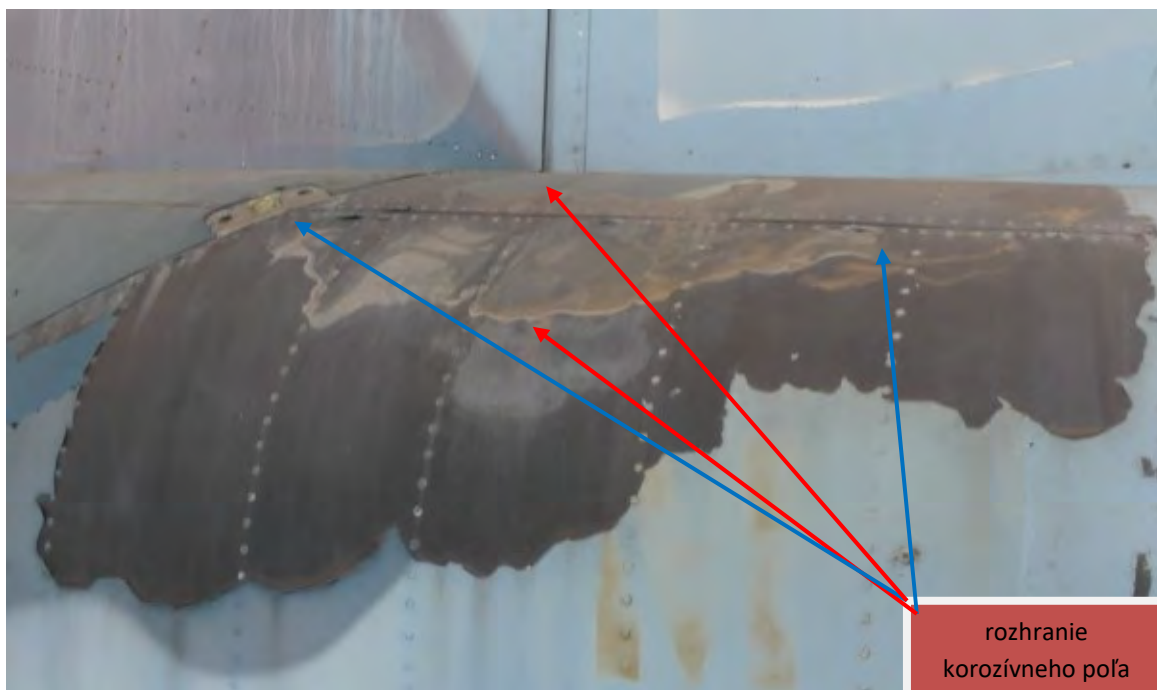
Testovaná plocha: **Poťah trupu**

Dátum: 14.10.2019, čas 12,10. Klimatické podmienky: teplota 19,2 °C, vlhkosť 75 %, slnečné počasie.

Popis: Lietadlo je umiestnené v „Prezidentskej Galérii“ pod prístreškom. Priestor je pod vplyvom klimatických zmien, ale bez priameho vplyvu dažďa, snehu či slnečného žiarenia. Testovaná plocha je poťah trupu nad pohonnou jednotkou (Obr. 213). Duralový poťah je zbavený farebného náteru, ktorý je odlúpnutý na veľkej ploche. Samotný poťah nemá štandardný hliníkový vzhľad. Má výraznú sivú farbu, čo vyvoláva otázku, či sa jedná o hliníkovú zliatinu. Plocha bola rozdelená na tri časti podľa nariadených pomerov. Zľava doprava bol použitý inhibítor VpCl®-427 v pomere 1:4, 1:1, posledná je ošetrená neriedeným inhibítorom.

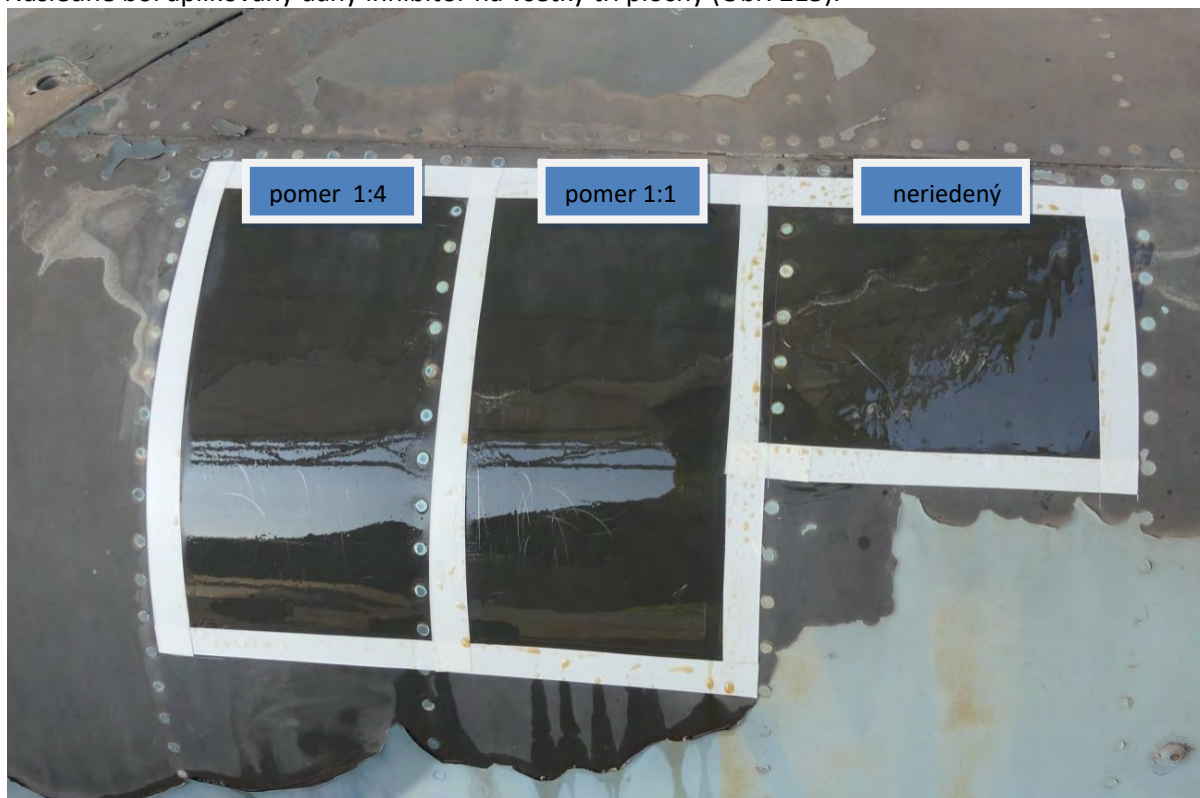


Obr. 213 - Celkový pohľad na testované miesto



Obr. 214 - Detail korozívneho poľa

Plocha bola rozdelená na tri polia, pričom každá plocha bola ošetrená inhibítorom VpCI®-427 v zriedenom pomere 1:4, 1:1 a neriedenom stave. V prvom kroku bola korózia odstránená mechanicky. Mechanické nečistoty boli odstránené technickým benzínom v niekoľkých krokoch. Následne bol aplikovaný daný inhibítor na všetky tri plochy (Obr. 215).



Obr. 215 - Ošetrené plochy v jednotlivých namiešaných pomeroch



Obr. 216 - Vykonanie novej ochranej vrstvy

V záverečnom kroku bol vykonaný ochranný nástrek bezfarebným lakom v aerosólovej forme na všetky testované plochy. Po 24 hodinách sa začal lúpať zo všetkých plôch (Obr. 216). Pravdepodobným dôvodom bola nedostatočná teplota ošetreného povrchu poťahu. Kov nemal

ideálnu teplotu na vykonanie povrchového nástreku. Následne bol vykonaný nový dňa 16.10.2019 - 14,30 hod. pri teplote 21 °C a vlhkosti 51 %. Každé pole bolo rozdelené na polovicu z dôvodu porovnania.

Porovnanie testovaných etalónov



Obr. 217 - Po 360 dňoch



Obr. 218 - Stav 0



Obr. 219 - Po 710 dňoch



Obr. 218 - Stav 0

Priebeh testov

Dňa 14.10.2019 (deň 0) bol aplikovaný inhibítor VpCI®-427 na poťah trupu v oblasti motora pri klimatických podmienkach teplota 19,7 °C, vlhkosť 58 %. Testovaná plocha je rozdelená na tri časti v závislosti od zriedenia inhibítora, ktoré bolo v pomere 1:4, 1:1 a inhibítor v neriedenom stave. Po vyschnutí bola aplikovaná povrchová ochrana bezfarebným lakom. Po 24 hodinách sa začal lúpať zo všetkých plôch. Kov nemal ideálnu teplotu pre vykonanie ochrannej vrstvy lakom. Následne bol vykonaný nový nástrek dňa 16.10.2019 - 14,30 hod. pri teplote 21 °C a vlhkosti 51 %. Pri 20 dňovom monitoringu bolo zistené trúsenie ochrannej lakovanej vrstvy. Následne bola každá plocha rozdelená na polovicu a bola aplikovaná nová ochranná vrstva laku. Klimatické podmienky: teplota 13,4 °C, vlhkosť 92 %.

Dňa 25.11.2019 (deň 40) - kontrola stavu poťahu nad motorom – pôvodne ošetrované plochy zbledli. Drobné zmeny na znovu ošetrovaných plochách, kde vznikli biele miesta. Klimatické podmienky: teplota 9,5 °C, vlhkosť 78 %. Dňa 16.12.2019 (deň 80) - kontrola stavu, nastal zaujímavý stav (vlhkosť 99%), plochy vľavo dodatočne ošetrované ochranným lakom sa výrazne zarosili (Obr. 219). Plochy vpravo, kde ochranná vrstva zmizla, ostali suché. Klimatické podmienky: teplota 3,0 °C, vlhkosť 99 %.



Obr. 219 - Zarosené plochy

Pri 120 dňovej kontrolnej perióde - plochy, ktoré neboli ošetrované zostali vybielené. Tento stav potom zotrval do poslednej 710 dňovej kontrolnej periódy.



Obr. 220 - Stav po 710 dňoch

Názov : **Poťah trupu lietadla T-38 Talon**

Popis: pravdepodobne Al-Si zliatina pokovovaná Zn, No Match : ***7,42**

Hodnoty prvkov

Sn	Cd	Mo	Nb	Zr	Pb	W	Zn	Cu	Ni
LOD	LOD	0,072	0,082	0,205	0,394	LOD	47,69	LOD	LOD

Fe	Mn	Cr	V	Ti	Al	S	P	Si	Mg
1,712	8,23	4,373	0,738	0,64	11,03	LOD	3,979	20,82	LOD

Poťah sa nachádza v priestore motora. Jedná sa pravdepodobne o zliatinu na báze Al-Si-Mn-Cr, ktorá môže byť pokovaná Zn. Použité očkovačlá Mo, Nb, Zr, zabezpečenie homogénnej štruktúry. Materiál má lepšie mechanické vlastnosti, odoláva vyšším teplotám.

8.9. Lietadlo L-200 Morava, časť trupu

Testovaná plocha: **Prechodový oblúk krídlo + trup**

Dátum: 30.09.2019, čas 11,30. Klimatické podmienky: teplota 21,0 °C, vlhkosť 56 %, slnečné počasie.

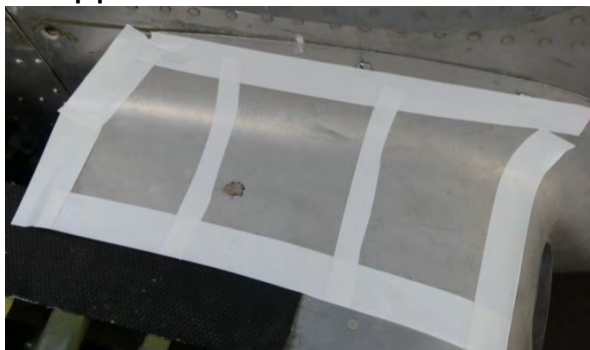
Popis: Zbierkový predmet je umiestnený v expozícii č. 2, priestor je uzavretý, zastrešený, ide o najjužnejšie orientovanú expozíciu. Zvýšená vlhkosť sa prejavuje pri striedaní ročných období zima - jar, jeseň - zima, a to vplyvom rozdielnych teplôt vo vnútri hangáru a vonkajších klimatických podmienok. V zime je to vyššia mínusová teplota ako v okolitom vonkajšom priestore. Vlhkosť vzniká aj z vytvorených snehových závejov, ktoré vznikajú za posuvnými dverami vplyvom ich netesnosti. V jarných mesiacoch sa tento sneh topí a zvýšená vlhkosť pôsobí obzvlášť na zbierkové predmety umiestnené v blízkosti dverí. Priestor hangáru je bez priameho vplyvu dažďa, snehu či slnečného žiarenia.



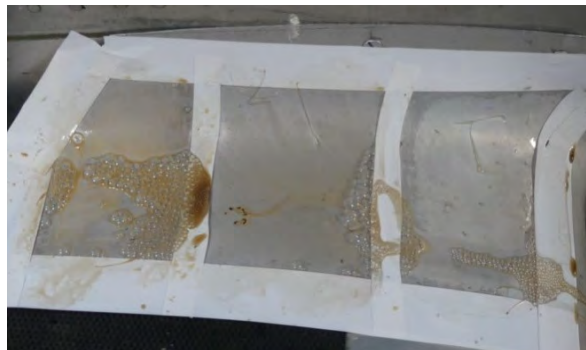
Obr. 221 - Testovaná plocha, prechod trup + krídlo lietadla L-200 Morava

Testovaná plocha je prechodový oblúk krídlo + trup (Obr. 221). Poťah je v dobrom stave s minimálnym prejavom korózie, ale pod vplyvom hore uvedených javov. Plocha bola rozdelená na tri plochy podľa nariedených pomerov (Obr. 222). Povrch bol očistený a zbavený mechanických nečistôt, následne odmastený technickým benzínom v niekoľkých krokoch. Potom boli do jednotlivých polí aplikované zriedené pomery inhibítora VpCI®-427: zľava doprava – neriedený, v pomere 1:1 a 1:4. Po zaschnutí a odstránení zvyškov zreagovanej kvapaliny bol vykonaný ochranný nástrek bezfarebným lakom.

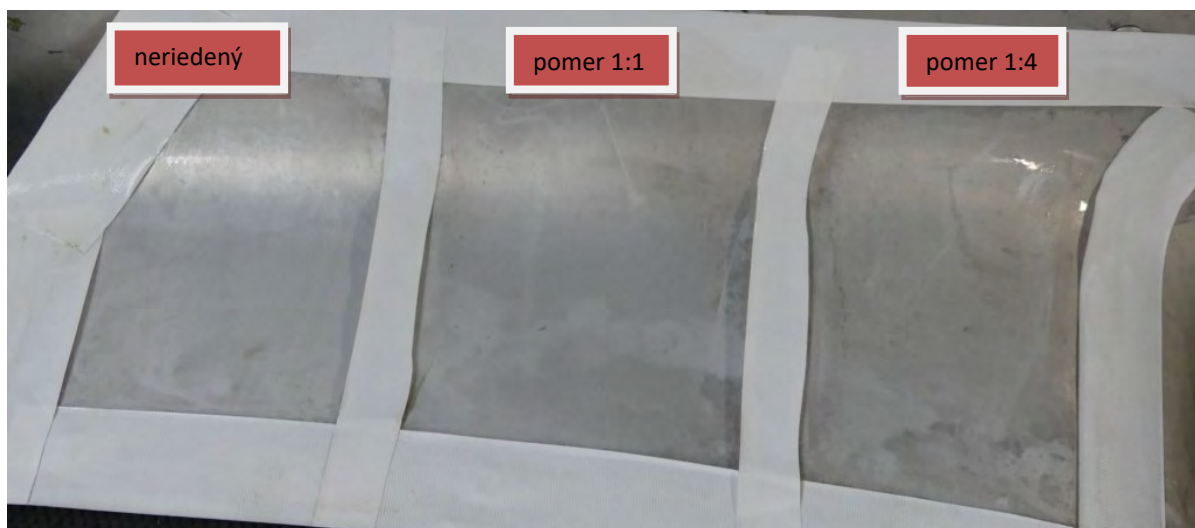
Postup pri ošetroení



Obr. 222 - Plocha zbavená mechanických nečistôt



Obr. 223 - Reakcia po aplikovaní inhibítora



Obr. 224 - Plocha ošetrovaná bezfarebným lakom



Obr. 225 - Plocha po 20 dňoch od aplikácie

Tabuľky nameraných údajov platné pre testovanú plochu – prechodový oblúk lietadla L-200 Morava

Obdobie: september 2019 – jún 2020

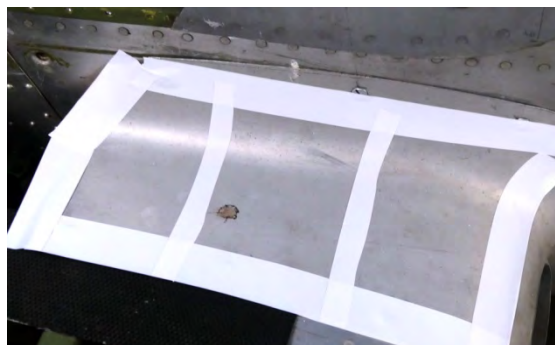
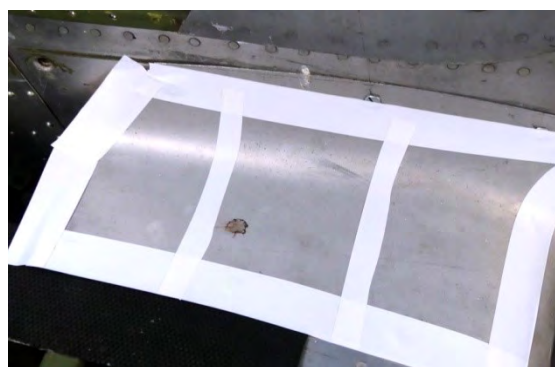
obdobie (deň)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
teplota (°C)	21	20	15	9,5	10	2	1,5	11	13	14	20	29	21	23
vlhkosť (%)	56	59	98	82	90	81	67	70	59	39	39	49	59	68

Obdobie: júl 2020 – máj 2021

obdobie (deň)	280	300	320	340	360	380	400	420	460	480	500	520	540	570
teplota (°C)	27	29	23	34	20	16,6	11	7	-3	-7	+11	6	10	17
vlhkosť (%)	62	57,5	86	52	83	92,5	84	64	58	82	72	58	52	68

Obdobie: jún 2021 – september 2021

obdobie (deň)	600	620	650	680	710	–	–	–	–	–	–	–	–	–
teplota (°C)	25,5	30	27	25	18,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–
vlhkosť (%)	39	58	48	70	61	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Porovnanie jednotlivých testovaných etalónov na základe časových períód**Obr. 226 - Po 360 dňoch****Obr. 227 - Stav 0****Obr. 228 - Po 710 dňoch****Obr. 227 - Stav 0****Priebeh testov**

Dňa 24.09.2019 (deň 0) bol aplikovaný inhibítor VpCI®-427 na poťah krídlo + trup. V prvom 20 dňovom monitoringu došlo k odlepeniu hraničnej pásky, čo bolo spôsobené podtečením inhibítora pod pásky. To, čo sa javí ako korózia, sú len zatečené a zaschnuté miesta po inhibítore. Došlo k miernemu zožltnutiu ochrannej lakovanej plochy. Dobrý stav povrchu pravdepodobne súvisí s faktom, že poťah nebol tak zasiahnutý koróziou ako v iných prípadoch. Vzhľadom k daným podmienkam uskladnenia a dobrej kondícii poťahu je stav veľmi dobrý, dalo by sa povedať takmer nemenný v celom časovom monitoringu. V tomto prípade sa jedná skôr o konzerváciu poťahu ako o spomalenie korozívneho prejavu.

Názov : **Poťah prechod krídlo + trup lietadla L-200 Morava**

Popis: Al-Si zliatina (legovaná Mn), No Match : *6,08

Hodnoty prvkov

Sn	Cd	Mo	Nb	Zr	Pb	W	Zn	Cu	Ni
LOD	LOD	0,004	0,003	0,004	0,008	LOD	0,088	0,029	LOD

Fe	Mn	Cr	V	Ti	Al	S	P	Si	Mg
2,834	5,653	0,237	0,028	0,611	86,89	LOD	LOD	3,605	LOD

Jedná sa o materiál silumín s vysokým obsahom Mangánu 5,6 %. Zabezpečuje zvýšenie tvrdosti a pevnosti. Použité očkovačlá: Molybdén, Niób a Zirkon. Silumín sa berie v rozsahu 8 – 11 %.

8.10. Lietadlo Mig-15

8.10.1. Testovaná plocha: Predná časť trupu – poťah

Dátum: 06.02.2020, čas 11,30. Klimatické podmienky: teplota 15,0 °C, vlhkosť 40 %.

Popis: Predná časť trupu je dočasne umiestnená v dielňach so západnou orientáciou. Umiestnenie uvedeného predmetu je v uzatvorenom priestore, ktorý má simulovať tie najoptimálnejšie klimatické podmienky s minimálnymi výkyvmi vlhkosti a teploty. Ako skúšobná plocha bola vybraná predná časť trupu v priestore pod „kufrom“, ktorá je skorodovaná na troch miestach (Obr. 228). Testovaná plocha je ohraničená bielym pruhom.



Obr. 228 - Testovaná plocha prednej časti trupu lietadla Mig-15

Tabuľky nameraných údajov platné pre testované plochy - predná časť trupu, horný kryt kufra a zámok krytu lietadla Mig-15

Obdobie: január 2020 – november 2020

obdobie (deň)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
teplota (°C)	15	17	18	18	22	17	19	24	22,5	26	24	20	20	19
vlhkosť (%)	40	58	45	35	48	60	71	67	79	57	74	54	60	57

Obdobie: november 2020 – september 2021

obdobie (deň)	280	300	330	350	370	390	410	450	470	490	510	540	570	600
teplota (°C)	19	18	19	17	16	16	18	20	25,5	27	25	26	60	62
vlhkosť (%)	45	49	40	49	46	45	41	68	39	51	57	66	20	20

V prvom kroku bola odstránená vrstva mechanických nečistôt (Obr. 229), nasledovalo mechanické odstránenie korózie pomocou jemného brúsneho papiera zrnitosti 150 - 200 (Obr. 230), následné umytie technickým benzínom. Po dôkladnom osušení a očistení bol aplikovaný inhibítor (Obr. 233) na hliník a jeho zliatiny VpCl®-427, ktorý bol zriedený v pomere 1:1. Chemická reakcia v podobe peny bola odstránená vodou (Obr. 234). Vyskytol sa problém ako vhodne aplikovať inhibítor na takej ploche, aby sme sa vyhli zatekaniu a tvorbe zreagovaných svetlých stôp či podobných plošných útvarov, vytvorených z tečúcej chemikálie pomocou gravitácie. Výrobca nestanovuje prostriedky pomocou ktorých nanášať danú látku. Istým riešením by bolo riešenie Inhibítom VpCl®-428, ktorý je v gélovej forme a podľa návodu je vhodný na zvislé časti, diely alebo konštrukcie. Eliminuje negatíva kvapalnej formy VpCl®-427. Po dokonalom zaschnutí bol povrch ošetrovaný ochranným lakom v aerosólovej forme.

Postup pri ošetrovaní



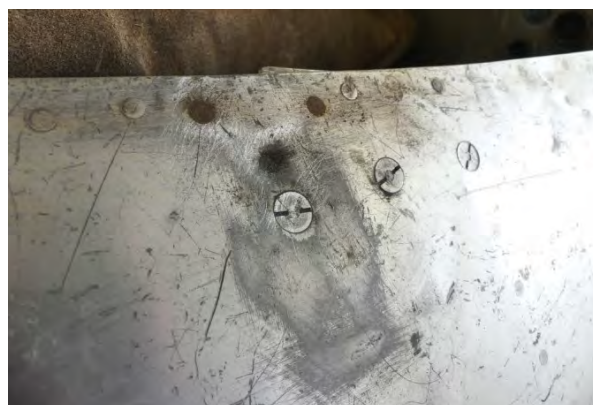
Obr. 229 - Zbavenie mechanických nečistôt



Obr. 230 - Mechanické odstránenie korózie č. 1



Obr. 231 - Mechanické odstránenie korózie č. 2



Obr. 232 - Mechanické odstránenie korózie č. 3



Obr. 233 - Nanosenie inhibítora a jeho reakcia



Obr. 234 - Očistenie vodou

Porovnanie testovaných etalónov



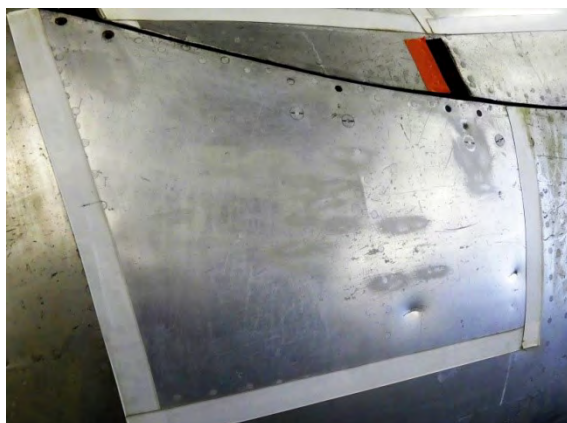
Obr. 235 - Stav po 300 dňoch



Obr. 236 - Stav 0



Obr. 237 - Stav po 620 dňoch



Obr. 238 - Stav 0

Priebeh testu

V priebehu celého monitoringu sa uvedený skúšobný etalón správal nemenne. Nedošlo k žiadnym viditeľným anomáliám na stave ošetrovaného potahu. Rozdiel medzi prvou a poslednou kontrolou je rozdielny len od uhla a svetelných podmienok foteného povrchu. Pri dodržaní vhodných klimatických podmienok (teplota sa pohybovala v rozsahu 18 – 20 °C, vlhkosť 55 – 60 %) sa takto ošetrovaný predmet môže zakonzervovať na dlhú dobu. Istým negatívom je aplikácia kvapalného inhibítora na vertikálne plochy. Výrobca firma CORTEC počíta aj s touto alternatívou vo forme gélu VpCI®-428, ktorý je prispôsobený na tento účel. Otázne je, či po použití gélovej disperzie nevzniknú vybielené útvary na ošetrovanej ploche. Záleží na tom, ku ktorej forme sa prikloní reštaurátor.

Názov: **Potah trupu lietadla Mig-15**

Popis: Al-Cu zliatina (dural), **AA 6070 : *3,33** – Jedná sa o štandardnú hliníkovú zliatinu.

Hodnoty prvkov

Sn	Cd	Mo	Nb	Zr	Pb	W	Zn	Cu	Ni
LOD	LOD	LOD	LOD	LOD	0,004	LOD	0,053	2,687	LOD

Fe	Mn	Cr	V	Ti	Al	S	P	Si	Mg
0,406	0,202	LOD	LOD	LOD	96,64	-	-	-	-

8.10.2. Testovaná plocha: horný kryt prednej časti trupu

Dátum: 06.02.2020, čas 11,45. Klimatické podmienky: teplota 15,0 °C, vlhkosť 40 %.

Popis: Uvedený predmet - horný kryt je súčasťou trupu, ktorý je umiestnený v dielňach podobne ako hore uvedený trup lietadla. Plocha krytu je rozdelená na dva testovacie etalóny, pričom na každý je použitý iný namiešaný pomer inhibítora VpCI®-427 v pomere 1:1 a 1:4, plocha je ohraničená bielym pruhom.

Postup pri ošetroení

Jemná vrstva korózie spolu s mechanickými časticami bola odstránená pomocou jemného brúsneho papiera zrnitosti 150 - 200, nasledovalo umytie technickým benzínom (Obr. 240). Po dôkladnom osušení a očistení bol aplikovaný inhibítor VpCI®-427 (Obr. 241), ktorý bol zriedený v pomere 1:1 a 1:4. Celkové očistenie po inhibítore bolo vykonané obyčajnou vodou (Obr. 242). Po osušení bola aplikovaná ochranná vrstva laku v aerosólovej forme.



Obr. 239 - Zbavenie mechanických nečistôt



Obr. 240 - Odmastenie technickým benzínom

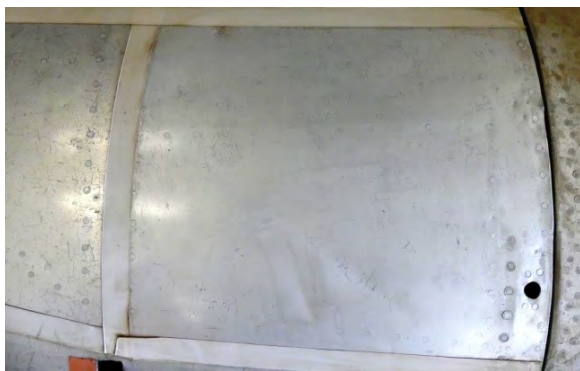


Obr. 241 - Nanesenie inhibítora



Obr. 242 - Očistenie vodou

Porovnanie testovaných etalónov



Obr. 243 - Stav po 600 dňoch



Obr. 244 - Stav 0



Obr. 245 - Stav po 600 dňoch



Obr. 246 - Stav 0

Priebeh testu

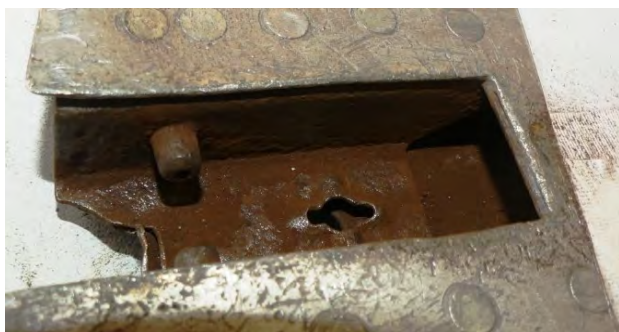
Podobne ako v hore uvedenom prípade, aj tu sa napodobnili optimálne podmienky s najvhodnejšími hodnotami vlhkosti a teploty. V priebehu celého monitoringu sa uvedený skúšobný etalón správal nemenne. Nedošlo k žiadnym viditeľným anomáliám na stave ošetrovaného potahu. Rozdiel medzi prvým a posledným fotografickým záznamom závisí od uhla a svetelných podmienok nafotenia povrchu. Podobne aj tu sú viditeľné stopy po nerovnomernej aplikácii inhibítora na povrch.

8.10.3. Testovaná plocha: Zámok krytu

Dátum: 06.02.2020, čas 12,00. Klimatické podmienky: teplota 15,0 °C, vlhkosť 40 %.

Popis: Uvedený predmet –zámok, je súčasťou krytu prednej časti trupu, tzv. kufor. Zámok bol výrazne napadnutý železnou koróziou po celej ploche (Obr. 247). Jedná sa o pomerne malú a ťažko dostupnú plošku, ktorú je náročné vyčistiť. V tomto prípade by bolo vhodné použiť pieskovacie zariadenie z dôvodu lepšieho dosahu a dokonalého očistenia povrchu. Korózia bola odstránená až na kovový povrch (Obr. 248) pomocou drôtovej rotačnej kefky kruhového priemeru, následne umytá technickým benzínom, po osušení bol použitý inhibítor WÜRTH (Obr. 249). Zbytky chemickej reakcie boli odstránené vodou. Po vyschnutí bol vykonaný ochranný aerosólový nástrek bezfarebným lakom (Obr. 250).

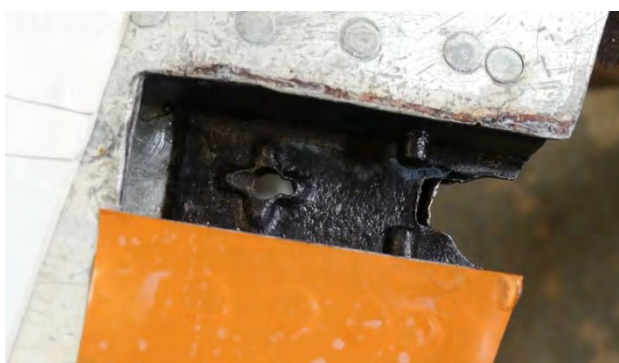
Postup pri ošetroení



Obr. 247 - Korózia zámku



Obr. 248 - Odstránenie korózie na čistý kov



Obr. 249 - Po aplikácii povrch mierne zmatnel



Obr. 250 - Ošetroenie ochranným lakom

Porovnanie testovaných etalónov



Obr. 251 - Stav po 620 dňoch



Obr. 252 - Stav 0

Priebeh testu

V priebehu celého monitoringu sa uvedený skúšobný etalón správal nemenne. Nedošlo k žiadnym anomáliám na stave ošetroného zámku. Na zázname je vidieť v spodnom rohu mechanické nečistoty (Obr. 251), ktoré sa tam usadili v priebehu monitorovanej doby, pretože predmet sa nachádzal v dielni, kde prebiehali práce.

9. Záver

Na testovanie povrchov z ľahkých zliatin bol použitý inhibítor Cortec **VpCl®-427**, pričom dané plochy majú rozdielne chemické zloženie. Pri testovaní sa odskúšali rôzne pomery inhibítora Cortec, menili sa spôsoby ošetrovania plochy (odstránenie korózie na kov alebo plocha ostala neošetrená). Testované materiály boli zastúpené hliníkovými zliatinami:

dural v zložení Al-Cu (IL-14, Mig-15, Su-22) – Sovietsky Zväz

hliníková zliatina v zložení Al-Si-Cu (Q-6 Fantan) - Čína

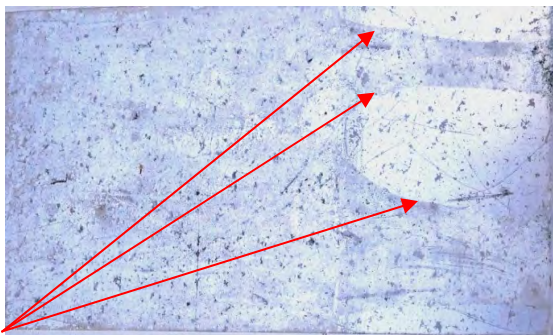
hliníková zliatina v zložení Al-Si-Mn (Mirage) - Francúzsko

hliníková zliatina v zložení Al-Si pokovovaná Zn (T-38 Talon) - USA

hliníková zliatina v zložení Al-Si legovaná Mn (trup L-200 Morava) - ČSR

Vzhľadom k rôznorodosti poškodených povrchov som použil pomery inhibítora VpCl®-427: v pôvodnom skupenstve, v pomere 1:1 a 1:4 (1 diel inhibítora - 4 diely destilovanej vody). Zmeny nastali od namiešaného pomeru. Vplyv na to mala aj povrchová úprava pred aplikáciou. V prípade potahu trupu lietadla Il-14 vznikla rýchla reakcia s rýchlym prejavom nakysnutia (Obr. 254). Inhibítor bol neriedený. Vykonaná povrchová úprava - nástrek bezfarebným lakom vo forme aerosólu, bol nedostatočný. Došlo k degradácii povrchovej ochrany - lak sa trúsil vo forme jemných vločiek. Postupne sa vytrácal. Ostali len malé nalakované polia. Podmienky aplikácie boli nevhodné, pravdepodobne studený kovový povrch spôsobil nedokonalú priľnavosť laku k povrchu. Aplikácia bola vykonaná v septembri a októbri. Tento negatívny stav sa prejavil v prípadoch, kedy testy boli vykonávané na leteckej technike umiestnenej vo voľnom priestore a pod prístreškom.

Pri použití inhibítora na neznáme kovy je dobré si odsledovať reakciu (vykonať vlastné testy) na malej ploche, poprípade aplikovať slabší pomer, napr. 1:10. Výrobca vzhľadom na veľkú škálu aplikácií nedáva garančnú záruku pre konkrétnu aplikáciu. Plochy, ktoré boli ošetrené inhibítorm a boli umiestnené v interiéri, v našom prípade reštaurátorské dielne s relatívne stálou teplotou a vlhkosťou, boli v dobrej kondícii po celú dobu testov. Problém, ktorý vyvstal pri aplikácii inhibítora VpCl®-427 na vertikálne plochy je stupeň stekavosti. Tvoria sa mapové zhluky, ktoré vytvárajú nepekňý vzhľad (Obr. 253). V tomto prípade existuje alternatíva vo forme gélu VpCl®-428, ktorý je prispôsobený na tento účel. V konečnom hodnotení stavu sa najlepšie javia tie plochy, ktoré boli ošetrené v priestoroch so stálou teplotou a vlhkosťou. Ak by sme chceli presne stanoviť účinok tejto chemickej ochrany pred



Obr. 253 - Mapové zhluky



Obr. 254 - Reakcia na očistený a **neočistený** povrch

koróziou, najlepšou metódou by bolo zmerať hrúbku materiálu pred a po experimente, čo by definovalo hodnotu úbytku materiálu, a tak zhodnotiť stupeň degradácie kovu. Proces by sa musel odvíjať v omnoho dlhšej časovej perióde.

V súčasnosti je problém stanoviť dobu efektívnej stálosti ochrany povrchu materiálu. Z hľadiska ochrany je to pravdepodobne najlepšia alternatíva ako predísť poškodeniu koróziou touto jednoduchou a finančne nenáročnou ochranou.

Inhibítor WÜRTH bol použitý na predmetoch železného charakteru, ktoré boli umiestnené v rôznych priestoroch s rôznymi klimatickými podmienkami.

Testované boli nasledovné kovové materiály:

legovaná oceľ pokovovaná kadmíom LA-LF: *3.79 - Sovietsky Zväz (opierka podvesu)

vysokolegovaná oceľ Cr-Ni (nerez) SS-321: *0,00 - Sovietsky Zväz (čelo podvesu)

nízkolegovaná oceľ Cr-Ni - ČSR (skrutka náboja vrtule)

nízkolegovaná oceľ (poniklovaná) - Cárské Rusko (hriadeľ motora)

nízkolegovaná oceľ Cr-Mn - Čína (ejektor kanóna)

zliatina Fe-Cu - Francúzsko/Švajčiarsko (ejektor kanóna)

Inhibitor **WÜRTH** je ekologický prostriedok bielej disperznej konzistencie, z čoho pramení problém ako ho účinne naniesť emulziu na ošetrovaný povrch. Výrobca odporúča štetec alebo plstený valček, ktorý má svoje opodstatnenie na rovných plochách. Podobne aj tu nastáva problém so zatekaním sanačnej kvapaliny už pri malých zakriveniach (Obr. 255). Dochádza k nahromadeniu a po zaschnutí sa vytvorili zhluky tmavších miest (Obr. 256). Reakcia s korozívnou vrstvou nadobudne modro-čierne, niekedy až indigovo modré sfarbenie. Ošetrované plochy neumývať vodou. Po 48 hodín od aplikácie je možné vykonať ochranný náter ošetrovaného povrchu. Nepoužívať farby s vysokým obsahom zinku. Samotná príľnavosť na ošetrovaný povrch bola bez odozvy. Pracovná teplota sa pohybuje od 0 do +40 °C.



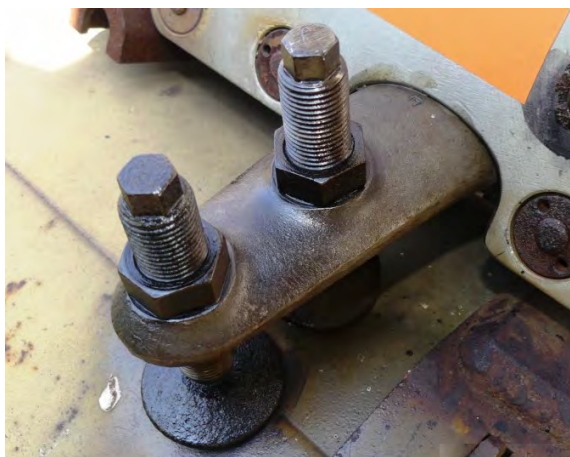
Obr. 255 - Aplikovaný inhibítor



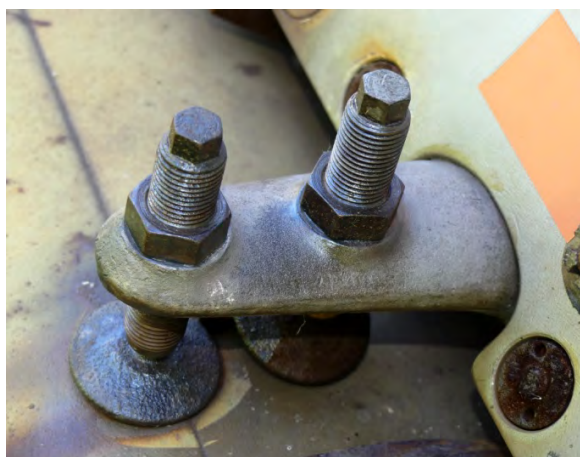
Obr. 256 - Po zaschnutí

Prípravok sa neodporúča používať na priamom slnečnom svetle, na horúcich povrchoch s teplotou nad +40 °C a na miestach, kde sú teploty pod bodom mrazu.

Výhodou inhibítora je dostupnosť, cena, ako aj účinná ochrana povrchu. Emulziu som použil na leteckej technike, ktorá je umiestnená vo voľnom priestore, pod prístreškom v expozícii, kde je vystavená klimatickým vplyvom. Výsledky považujem za veľmi dobré. Pri použití v podmienkach so stálou teplotou a vlhkosťou a dodržaní technologického postupu sa dajú doceliť veľmi dobré výsledky.



Obr. 265 - Stav po 700 dňoch

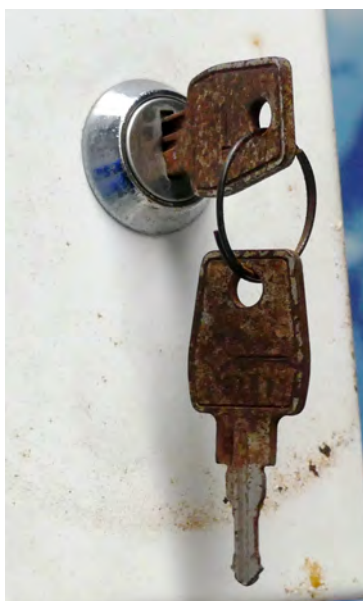


Obr. 266 - Stav 0

Malou nevýhodou je hustota inhibítora vo forme emulzie, ktorú je problematické rovnomerne nanášať na vertikálne plochy tak, aby sme sa vyhli zatečeným zhlukom po vyschnutí. Pri rovných plochách je dobré použiť valček. Po vyschnutí má ošetrovaný predmet výrazné čierne sfarbenie, kedy stačí použiť len ochranný lak. Aj tu platí zásada - pri aplikácii inhibítora na neznáme kovové povrchy je dobré vykonať vlastné testy na malých plochách. Podobne aj v tomto prípade neexistuje garančná záruka výrobcu pre danú aplikáciu.

Inhibítor WÜRTH - aj keď je jeho použitie presne definované, t.j. na železné kovy, otestoval som jeho reakciu s hliníkovou zliatinou na lietadle Il-14. Výsledky testu nič neodhalili, uvedený inhibítor sa správal neutrálne po celú dobu kontroly. Povrch nepoškodil a výsledkom bolo mierne zožltnutie lakovaného povrchu, hlavne v mieste koncentrovaného stečenia. Pri porovnaní od stavu 0 po stav 710 dní je vzhľad nemenný.

Nadobudnutou praxou sa dajú tieto drobné negatíva eliminovať a dosiahnuť dobré výsledky. Z hľadiska ochrany je to pravdepodobne najlepšia alternatíva ako predísť poškodeniu koróziou, a to touto jednoduchou a finančne nenáročnou ochrannou.



**Toto je kľúč ako spomaliť
hrdzu, rez, rost, corrosion, ржавчина, rouiller, oxido, rubigo**

Ochrana duralových, hliníkových a kovových povrchov leteckej techniky pred vplyvmi korózie v podmienkach STM-Múzeum letectva v Košiciach

autor: Ing. Peter Ondreják

fotografie: autor

recenzoval: doc. Ing. Dušan Oráč, PhD.

jazyková korektúra: Dott. Katarína Nika

grafika: Aleš Marenčík

Vyšlo ako elektronická publikácia.

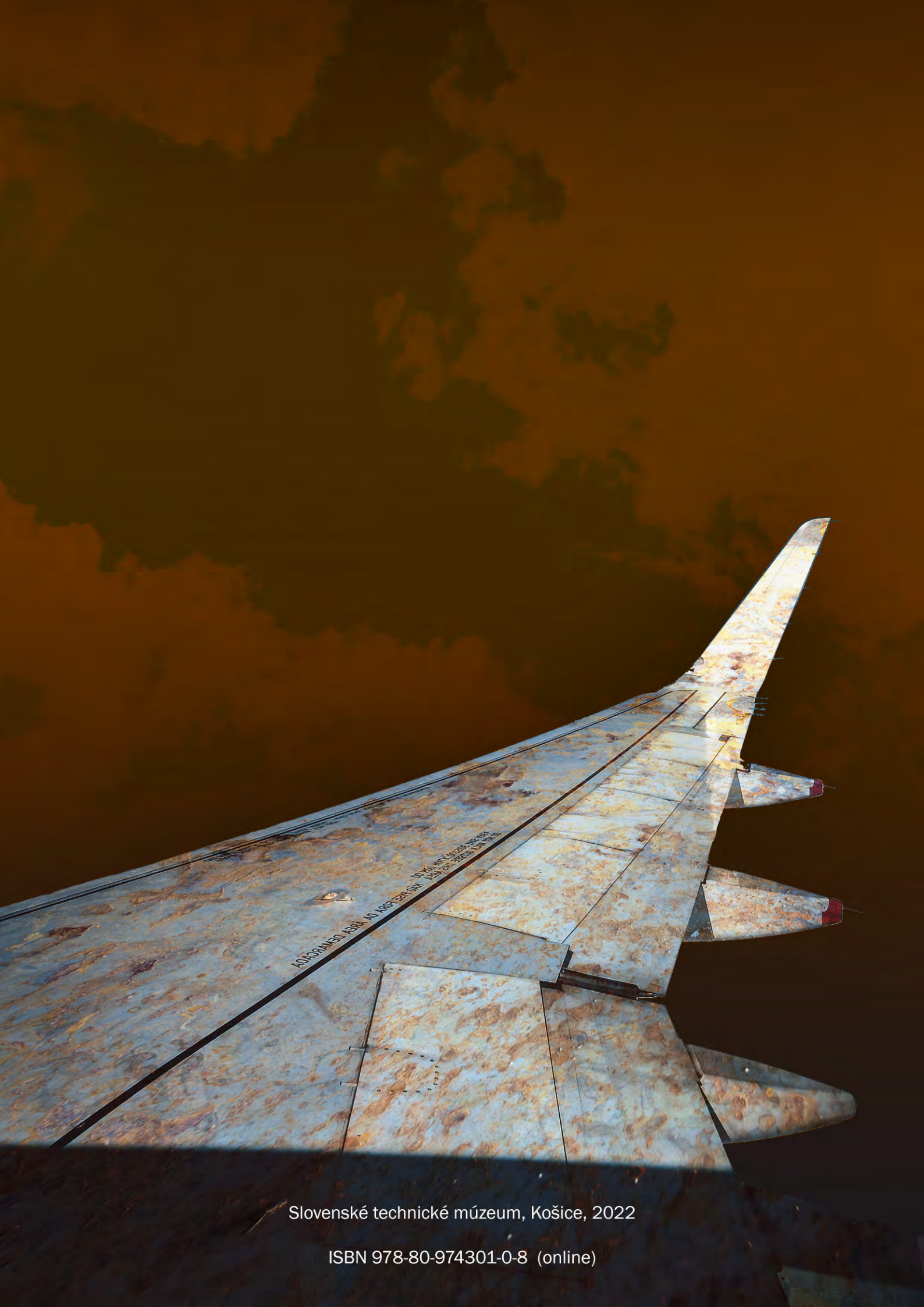
ISBN 978-80-974301-0-8 (online)

Vydalo Slovenské technické múzeum, Košice, 2022.

Žiadna časť publikácie, vrátane fotografií, nesmie byť bez predchádzajúceho súhlasu vydavateľa reprodukováaná, zverejňovaná a rozširovaná v tlačenej, elektronickej alebo inej podobe.

Publikácia je výstupom vedeckovýskumnej úlohy „Ochrana kovových povrchov zbierkových predmetov v podmienkach STM-Múzea letectva v Košiciach“.

Slovenské technické múzeum je štátnou príspevkovou organizáciou zriadenou Ministerstvom kultúry Slovenskej republiky.



Slovenské technické múzeum, Košice, 2022

ISBN 978-80-974301-0-8 (online)