

Obsah

1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY, ZÁKLADNÍ POJMY.....	9
1.1 ÚNAVA MATERIÁLU A TECHNICKÝ ŽIVOT LETADEL	9
1.2 SOUHRN ZÁKLADNÍCH POJMŮ	11
1.3 ZPŮSOBY KONSTRUOVÁNÍ A DIMENZOVÁNÍ ČÁSTÍ LETADEL NA ÚNAVU	13
2. POŽADAVKY PŘEDPISŮ PRO PRŮKAZ ÚNAVOVÉ PEVNOSTI LETADEL.....	17
2.1 METODIKA PRŮKAZU BEZPEČNÉHO ÚNAVOVÉHO ŽIVOTA	17
2.1.1 <i>Obecná formulace požadavků na technický život.....</i>	<i>17</i>
2.1.2 <i>Dosahované technické životy letadlové techniky.....</i>	<i>17</i>
2.2 OBECNÉ POŽADAVKY PŘEDPISŮ LETOVÉ ZPŮSOBILOSTI.....	18
2.2.1 <i>Požadavky leteckých předpisů na průkaz pevnosti letoumu.....</i>	<i>18</i>
2.2.2 <i>Stručný obsah a požadavky předpisu MIL-STD-1530 A</i>	<i>19</i>
2.2.3 <i>Požadavky na průkaz odolnosti konstrukce vůči únavě dle FAR Pt23.....</i>	<i>21</i>
2.2.4 <i>Požadavky na průkaz odolnosti konstrukce vůči únavě dle FAR Pt25.....</i>	<i>22</i>
2.2.5 <i>Požadavky předpisů MIL na průkaz únavové pevnosti</i>	<i>24</i>
3. NAPJATOST V OKOLÍ VRUBŮ A TRHLIN	29
3.1 DEFINICE SOUČINITELŮ KONCENTRACE VE VRUBECH	29
3.2 NEUBEROVO PRAVIDLO	31
3.3 PRINCIP EKVIVALENTNÍ ENERGIE	32
3.4 ZOBECNĚNÉ PRAVIDLO	32
3.5 NAPJATOST V OKOLÍ TRHLIN.....	33
3.6 PLASTICKÁ ZÓNA NA ČELE TRHLINY	35
3.6.1 <i>Irwinův model</i>	<i>35</i>
3.6.2 <i>Dugdaleův-Barenblattův model.....</i>	<i>36</i>
3.6.3 <i>Riceův J-integrál.....</i>	<i>37</i>
4. VLASTNOSTI MATERIÁLU PŘI STATICKÉM A CYKICKÉM ZATĚŽOVÁNÍ.....	39
4.1 TAHOVÝ DIAGRAM.....	39
4.2 HYSTEREZNÍ SMYČKA.....	40
4.3 CYKICKÁ DEFORMAČNÍ KŘIVKA.....	42
4.4 ÚNAVOVÉ KŘIVKY	44
4.4.1 <i>Únavová křivka napětí</i>	<i>44</i>
4.4.2 <i>Únavová křivka deformace</i>	<i>46</i>
4.5 ODHAD PARAMETRŮ POPISUJÍCÍCH VLASTNOSTI MATERIÁLU	47
4.6 KOREKCE KŘIVEK ÚNAVY	48
4.7 VLIV STŘEDNÍHO NAPĚTÍ NA ÚNAVOVOU PEVNOST.....	50
4.7.1 <i>Haighův diagram</i>	<i>50</i>
4.7.2 <i>Vyjádření ekvivalentní amplitudy kmitu.....</i>	<i>52</i>
4.8 S-N KŘIVKY LETECKÝCH KONSTRUKCÍ.....	53
4.9 KRITÉRIA NÁHLÉHO LOMU.....	60
4.9.1 <i>Kritéria lineární lomové mechaniky.....</i>	<i>60</i>
4.9.2 <i>Kritéria elasto-plastické lomové mechaniky.....</i>	<i>61</i>
5. STATISTICKÉ METODY UŽÍVANÉ PŘI POSUZOVÁNÍ SPOLEHLIVOSTI.....	63
5.1 POUŽÍVANÁ STATISTICKÁ ROZDĚLENÍ.....	63
5.1.1 <i>Základní pojmy a vztahy.....</i>	<i>63</i>
5.1.2 <i>Normální (Gaussovo) rozdělení.....</i>	<i>65</i>
5.1.3 <i>Logaritmicko normální rozdělení.....</i>	<i>70</i>
5.1.4 <i>Weibullovo rozdělení.....</i>	<i>72</i>
5.2 PROGRAM ÚNAVOVÝCH ZKOUŠEK LETOUNŮ.....	72
5.3 ROZBOR POŽADAVKŮ SPOLEHLIVOSTI	73
5.4 SOUVISLOST MEZI STATICOU A ÚNAVOVOU PEVNOSTÍ.....	78
6. ZATÍŽENÍ LETOUNU ZPŮSOBUJÍCÍ ÚNAVU MATERIÁLU	79
6.1 TYPY ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE LETOUNU	79
6.2 STACIONÁRNÍ A NESTACIONÁRNÍ PROCESY.....	80
6.3 ZPRACOVÁNÍ ÚDAJŮ O ZATÍŽENÍ	81
6.3.1 <i>Metoda následných extrémů.....</i>	<i>81</i>

6.3.2	Metoda párových rozkmitů.....	82
6.3.3	Metoda stékání deště (rain-flow method).....	82
6.4	PROVOZNÍ SPEKTRUM DOPRAVNÍHO LETOUNU.....	84
6.4.1	Cyklus země - vzduch - země.....	86
6.4.2	Spektrum poryvů.....	87
6.4.3	Spektrum přistávacího rázu a spektrum pojezdu.....	91
6.5	PROVOZNÍ SPEKTRUM LETOUNU S VYSOKÝM PODÍLEM MANÉVRŮ.....	93
6.5.1	Relativní skladba provozu.....	93
6.5.2	Jedno a víceparametrická spektra zatížení.....	93
6.5.3	Požadávky na informace o zatížení konstrukce.....	94
6.5.4	Charakteristická zatížení dalších částí letounu.....	96
6.6	VLIV LETOVÉ HMOTNOSTI NA ŽIVOTNOST.....	96
7.	HYPOTÉZY KUMULACE ÚNAVOVÉHO POŠKOZENÍ.....	99
7.1	DEFINICE ÚNAVOVÉHO POŠKOZENÍ.....	99
7.2	KUMULACE ÚNAVOVÉHO POŠKOZENÍ.....	100
7.2.1	Hypotéza lineární kumulace únavového poškození.....	100
7.2.2	Stanovení středního a bezpečného únavového života.....	100
7.2.3	Intenzita únavového poškození.....	101
7.2.4	Stanovení ekvivalentní hladiny napětí pro únavové zkoušky.....	102
7.2.5	Shoda předpokladu lineární kumulace poškození s experimentálními výsledky.....	102
8.	METODY VÝPOČTOVÉ PREDIKCE ÚNAVOVÉHO ŽIVOTA.....	105
8.1	ZÁKLADNÍ PROBLÉMY METOD PREDIKCE ŽIVOTNOSTI.....	105
8.2	PŘÍSTUP PREDIKCE PŘES NOMINÁLNÍ NAPĚTÍ.....	107
8.3	PŘÍSTUP PREDIKCE PŘES LOKÁLNÍ ELASTICKÁ NAPĚTÍ (LESA).....	109
8.4	PŘÍSTUP PREDIKCE PŘES LOKÁLNÍ ELASTO-PLASTICKÁ NAPĚTÍ A DEFORMACE (LPSA).....	112
8.4.1	Způsob výpočtu lokálních napětí a deformací.....	114
8.4.2	Metoda SWT-parametru.....	116
8.4.3	Metoda podle Landgrafa.....	116
8.5	PREDIKCE ŽIVOTNOSTI PŘÍSTUPEM LOMOVÉ MECHANIKY (FMA).....	116
8.5.1	Fáze únavového procesu.....	117
8.5.2	Šíření únavových trhlin při konstantní amplitudě napětí.....	118
8.5.3	Metody predikce šíření trhlin při složitém zatěžování.....	120
8.5.4	Popis vybraných modelů a počítačových programů.....	122
8.5.5	Stanovení intervalu provozních prohlídek.....	127
9.	EXPERIMENTÁLNÍ PRŮKAZ PEVNOSTI A ŽIVOTNOSTI.....	132
9.1	BLOKOVÉ SCHÉMA PEVNOSTNÍHO PRŮKAZU.....	132
9.2	NÁVRH A VYHODNOCENÍ ÚNAVOVÝCH ZKOUŠEK.....	133
9.2.1	Únavové zkoušky vzorků.....	133
9.2.2	Vliv frekvence zkoušky a superpozice zatížení o malé amplitudě a vysoké četnosti.....	135
9.2.3	Únavové zkoušky modelů.....	136
9.2.4	Únavové zkoušky reálných leteckých konstrukcí.....	137
9.3	ZÁKLADY FRAKTOGRAFIE.....	140
9.4	POŽADAVKY PŘEDPISU MIL-A-83444 AIRPLANE DAMAGE TOLERANCE REQUIREMENTS.....	142
10.	ZPŮSOBY ZATĚŽOVÁNÍ PŘI ÚNAVOVÝCH ZKOUŠKÁCH.....	144
10.1	ZKOUŠKY NA JEDNÉ HLADINĚ ZATÍŽENÍ.....	144
10.2	ZKOUŠKY PROGRAMOVÝMI BLOKY.....	144
10.3	ZKOUŠKY ZNÁHODNĚNÝM ZATÍŽENÍM.....	147
10.4	MOŽNOSTI SIMULACE PROVOZNÍCH PODMÍNEK PŘI ÚNAVOVÝCH ZKOUŠKÁCH.....	148
10.5	POUŽÍVANÉ METODY GENEROVÁNÍ NÁHODNÝCH PROCESŮ.....	150
10.5.1	Analogové generování náhodných signálů.....	150
10.5.2	Digitální generování náhodných signálů.....	150
10.5.3	Modelování statistických charakteristik náhodných procesů.....	150
10.5.4	Metoda generování náhodných procesů pomocí matic (korelačních tabulek).....	151
10.5.5	Metoda četnosti následných lokálních extrémů.....	151
10.6	LABORATORNÍ SIMULACE PROVOZNÍHO ZATÍŽENÍ.....	153
10.6.1	Simulace posloupnosti jednotlivých půlkmitů.....	153
10.7	DALŠÍ METODY SIMULACE PROVOZNÍHO ZATÍŽENÍ.....	155
10.8	PROGRAMY SIMULACE ZATÍŽENÍ PŘI ÚNAVOVÝCH ZKOUŠKÁCH DRAKŮ LETADEL.....	155

10.8.1	<i>Standardní zatěžovací programy</i>	156
10.8.2	<i>Standardní program FALSTAFF</i>	156
10.8.3	<i>Další vývoj programu FALSTAFF</i>	166
10.9	PŘÍKLAD PROGRAMU PRO GENEROVÁNÍ ZATÍŽENÍ PŘI ÚNAVOVÝCH ZKOUŠKÁCH DRAKŮ LETADEL	167
10.9.1	<i>Maticе dvoupárametrického rozložení řídicího parametru</i>	167
10.9.2	<i>Základní princip náhodné volby</i>	168
10.9.3	<i>Způsob zkrácení provozního spektra</i>	168
10.10	PROGRAM PRO GENERACI ZATÍŽENÍ TALOS	169
10.10.1	<i>Popis jednotlivých bloků programu TALOS</i>	171
11.	SYSTÉMY PRO SLEDOVÁNÍ ČERPÁNÍ ÚNAVOVÉHO ŽIVOTA („LIFE MONITORING SYSTEMS“)	174
11.1	<i>CÍLE SLEDOVÁNÍ ÚNAVOVÉHO POŠKOZENÍ</i>	174
11.2	<i>SYSTÉM POUŽITÝ NA LETOUNU F14</i>	175
11.3	<i>SYSTÉM POUŽITÝ NA LETOUNU F18</i>	175
11.4	<i>SYSTÉM POUŽITÝ NA LETOUNU EUROFIGHTER</i>	176
11.5	<i>SYSTÉM POUŽITÝ NA LETOUNU L59</i>	176
11.6	<i>SYSTÉM POUŽITÝ NA LETOUNU L139</i>	177
11.7	<i>ZVÝŠENÍ TECHNICKÉHO ŽIVOTA VYUŽITÍM „LIFE MONITORING SYSTEM“</i>	179
12.	VLASTNOSTI A POUŽITÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ V LETECTVÍ	181
12.1	<i>ÚNAVOVÉ VLASTNOSTI KOMPOZITNÍCH KONSTRUKCÍ</i>	181
12.1.1	<i>Základní principy výpočtu laminovaných kompozitních konstrukcí</i>	182
12.1.2	<i>Únavové vlastnosti kompozitů uhlík-epoxi</i>	186
12.1.3	<i>Vliv vnějších vlivů na časovanou pevnost kompozitních konstrukcí</i>	189
12.2	<i>CERTIFIKACE KONSTRUKCÍ Z KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ</i>	190
12.2.1	<i>Požadavky na konstrukci dle AC 20-107 A - kompozitní letecké konstrukce</i>	191
12.2.2	<i>Návrh zkušebního programu pro certifikaci dílu</i>	194
12.3	<i>OPRAVY ÚNAVOVĚ POŠKOZENÝCH KOVOVÝCH KONSTRUKCÍ POMOCÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ</i>	197
12.4	<i>NOVÉ OBLASTI VE VÝZKUMU ÚNAVY LETECKÝCH KONSTRUKCÍ</i>	201
LITERATURA		203