

OBSAH

	Předmluva k českému vydání	14
	Předmluva	16
	Seznam použitých symbolů obecného charakteru	22
1.	Termíny a pojmy v teorii spolehlivosti. Ukazatele spolehlivosti	23
1.1.	Základní používané termíny a pojmy v teorii spolehlivosti	23
1.1.1.	Úvodní poznámky	23
1.1.2.	Obecné pojmy	23
1.1.3.	Charakteristiky poruch	34
1.1.4.	Zálohování	35
1.1.5.	Ukazatele bezporuchovosti a opravitelnosti	37
1.1.6.	Ukazatele životnosti a skladovatelnosti	42
1.2.	Matematické definování základních ukazatelů spolehlivosti neobnovovaných objektů	43
1.2.1.	Úvodní poznámky	43
1.2.2.	Základní ukazatele spolehlivosti	45
1.3.	Matematické definování základních ukazatelů spolehlivosti obnovovaných objektů	50
1.3.1.	Úvodní poznámky	50
1.3.2.	Základní ukazatele spolehlivosti	53
1.3.3.	Speciální ukazatele	66
	Literatura ke kapitole 1	72
2.	Spolehlivost elementu	74
2.1.	Neobnovovaný element	74
2.1.1.	Úvodní poznámky	74
2.1.2.	Libovolné rozdělení pravděpodobnosti bezporuchového provozu	75
2.1.3.	Exponenciální rozdělení doby provozu do poruchy	76
2.1.4.	„Stárnoucí“ rozdělení pravděpodobnosti bezporuchového provozu	76
2.1.5.	Pravděpodobnost bezporuchového provozu při náhodně dlouhé době plnění úlohy	82
2.2.	Obnovovaný element	84
2.2.1.	Úvodní poznámky	84

2.2.2.	Libovolné rozdělení doby bezporuchového provozu a doby obnovy elementu	85
2.2.3.	Exponenciální rozdělení doby bezporuchového provozu $F(t)$ a doby obnovy $F_0(t)$	85
2.2.4.	Částečně kontrolovaný obnovovaný element	85
2.2.5.	Obnovovaný element s předepsanou údržbou	86
2.2.5.1.	Popis režimů prováděné předepsané údržby	86
2.2.5.2.	Struktura základních ukazatelů spolehlivosti	91
	Literatura ke kapitole 2	93
3.	Neobnovovaný systém	94
3.1.	Sériový poruchový model	94
3.1.1.	Úvodní poznámky	94
3.1.2.	Systém tvořený nezávislými elementy	94
3.1.3.	Exponenciální rozdělení	95
3.1.4.	Sériové spojení závislých elementů	96
3.1.5.	Rozdělení s rostoucí funkcí intenzity poruch	97
3.2.	Stálé zálohování	98
3.2.1.	Úvodní poznámky	98
3.2.2.	Zálohování jednoho základního elementu	98
3.2.3.	Podílové zálohování	102
3.3.	Substituční zálohování	104
3.3.1.	Úvodní poznámky	104
3.3.2.	Zálohování jediného základního elementu	104
3.3.3.	Podílové substituční zálohování	105
3.4.	„Schéma zániku“ – exponenciální rozdělení doby do poruchy	106
	Literatura ke kapitole 3	109
4.	Obnovovaný systém	110
4.1.	Obecný přístup k hodnocení spolehlivosti obnovovaných systémů	110
4.1.1.	Obecný model markovovského procesu	110
4.1.1.1.	Princip sestavení grafu přechodů	110
4.1.1.2.	Výpočet nestacionárního koeficientu pohotovosti	111
4.1.1.3.	Výpočet pravděpodobnosti bezporuchového provozu	115
4.1.1.4.	Výpočet střední doby bezporuchového provozu	116
4.1.2.	„Schéma zániku a renovace“	118
4.1.2.1.	Úvodní poznámky	118
4.1.2.2.	Sériový poruchový model	119
4.1.2.3.	Obecný model systému zálohovaného s obnovou	119
4.1.2.4.	Případ zatížené zálohy a nezatížené zálohy	131
4.1.3.	Zálohovaný systém s obnovou, s různou násobností, s neideální kontrolou a s neideálním prepínačem	137
4.1.3.1.	Úvodní poznámky	138
4.1.3.2.	Systém sestávající z k základních elementů a jednoho záložního elementu	139
4.1.3.3.	Systém sestávající z k základních elementů a n záložních elementů	140

4.1.3.4.	Systém sestávající z k základních elementů a n záložních elementů s nezávislým „přepínačem“ a s poruchovostí srovnatelnou s funkčními elementy	143
4.1.4.	Přibližná metoda výpočtu ukazatelů spolehlivosti obnovovaného systému	145
4.1.4.1.	Úvodní poznámky	145
4.1.4.2.	Popis studovaného systému s obnovou	146
4.1.4.3.	Sestrojení minimálního počtu řezů	148
4.1.4.4.	Výpočet intenzit proudů poruch systémů pro různé příčiny poruch – pro modely typu „a“	148
4.1.4.5.	Výpočet středního trvání prostoje systému – pro modely typu „a“	151
4.1.4.6.	Výpočet intenzity poruch a střední doby prostoje systému – pro model typu „nebo“	153
4.2.	Zálohování zdvojením s obnovou	154
4.2.1.	Úvodní poznámky	154
4.2.2.	Systém složený z totožných elementů	154
4.2.3.	Systém složený ze závislých elementů	157
4.2.4.	Vliv kontroly a neideálního „přepínače“	159
4.2.4.1.	Vliv konečné doby trvání „přepnutí“	159
4.2.4.2.	Vliv spolehlivosti „přepínače“	159
4.2.4.3.	Vliv úplnosti kontroly	167
4.2.5.	Nezatížená záloha s profylaktikou	177
4.2.5.1.	Úvodní poznámky	177
4.2.5.2.	Popis režimů profylaktiky	181
4.2.5.3.	Porovnání různých druhů profylaktiky	185
	Literatura ke kapitole 4	187
5.	Systém se složitou strukturou	189
5.1.	Úvodní poznámky	189
5.2.	Metoda přímého přetřídění	189
5.3.	Metoda rozkladu podle vyčleněného elementu	195
5.4.	Metoda minimálních cest a minimálních řezů	196
5.5.	Analyticko-statistická metoda	198
5.5.1.	Obecný popis metody	198
5.6.	Úvodní poznámky o systémech s rekurentní strukturou	202
5.7.	Ukazatele spolehlivosti izotropních systémů s rekurentní strukturou	204
5.8.	Pravděpodobnostní charakteristiky systémů se síťovou strukturou	206
5.8.1.	Izotropní systém s otevřenou radiálně prstencovou strukturou	206
5.8.2.	Izotropní systém s uzavřenou radiálně prstencovou strukturou	207
5.8.3.	Izotropní systém s otevřenou symetrickou radiálně prstencovou strukturou	208
5.8.4.	Izotropní systém s otevřenou radiálně prstencovou strukturou se dvěma centry	209
5.8.5.	Izotropní systém s uzavřenou radiálně prstencovou strukturou se dvěma centry	210
5.8.6.	Izotropní systém s otevřenou radiálně prstencovou strukturou šachovní-	

	cového typu se dvěma centry	211
5.8.7.	Izotropní systém s uzavřenou radiálně prstencovou strukturou šachovnicového typu se dvěma centry	212
5.8.8.	Izotropní systém se strukturou paralelně žebříkového typu	213
5.8.9.	Izotropní systém se strukturou diagonálně žebříkového typu	214
5.8.10.	Izotropní systém s orientovanou úplnou strukturou	215
5.8.11.	Izotropní systém s neorientovanou úplnou strukturou	216
5.9.	Stručný popis metody analýzy systémů se síťovou strukturou	217
5.10.	Systémy hierarchické struktury	222
5.10.1.	Úvodní poznámky	222
5.10.2.	Jednoúrovňový hierarchický systém	222
5.10.3.	Hierarchický systém s větví se strukturou s jednoduchou podřízeností	224
5.10.4.	Hierarchický systém s větví se strukturou se složitou podřízeností	226
	Literatura ke kapitole 5	228
6.	Posouzení efektivity fungování systému	230
6.1.	Úvodní poznámky	230
6.2.	Celkové posouzení efektivity fungování systémů s krátkodobou činností	231
6.3.	Celkové posouzení efektivity fungování systémů s dlouhodobou činností	233
6.4.	Posouzení efektivity systémů s aditivním ukazatelem efektivity	236
6.5.	Posouzení efektivity systémů se zálohováním funkcí	237
6.6.	Posouzení efektivity vícefunkčních systémů	239
6.7.	Posouzení efektivity systémů při známých momentech rozdělení počtu správných elementů	241
	Literatura ke kapitole 6	242
7.	Úlohy optimálního zálohování	245
7.1.	Úvodní poznámky	245
7.1.1.	Zadání úlohy	245
7.1.2.	Obsah kapitoly 7	246
7.2.	Formulace úloh optimálního zálohování	248
7.2.1.	Formulace úlohy pro případ jednoho omezení a pro ukazatel spolehlivosti typu pravděpodobnost bezporuchového provozu (koeficient pohotovosti, koeficient operační pohotovosti)	248
7.2.2.	Formulace úlohy pro jedno omezení a pro ukazatel spolehlivosti typu střední doba provozu do poruchy	250
7.2.3.	Formulace úlohy pro několik omezení a pro ukazatel spolehlivosti typu pravděpodobnost bezporuchového provozu (koeficient pohotovosti, koeficient operační pohotovosti)	251
7.2.4.	Formulace úlohy pro případ minimalizace nákladů vícefunkčního systému při několika omezeních v podobě daných požadavků na ukazatele spolehlivosti jednotlivých funkcí systému	252

7.3.	Stanovení optimálního počtu záložních elementů pro jedno omezení a spolehlivostní ukazatel typu pravděpodobnost bezporuchového provozu (koeficient pohotovosti, koeficient operační pohotovosti)	253
7.3.1.	Postup využívající modifikovanou metodu dynamického programování	253
7.3.2.	Postup založený na metodě největšího spádu	263
7.3.3.	Postup založený na metodě největšího spádu – přibližný výpočet	269
7.3.4.	Zjednodušený postup přibližného řešení	273
7.3.5.	Praktický způsob stanovení optimálního počtu neobnovovaných náhradních dílů	275
7.4.	Přibližná metoda stanovení optimálního zálohování pro jedno omezení a spolehlivostní ukazatel typu střední doba provozu systému do poruchy	281
7.5.	Stanovení optimálního počtu záložních elementů pro několik omezení a ukazatel spolehlivosti typu pravděpodobnost bezporuchového provozu (koeficient pohotovosti)	284
7.6.	Stanovení optimálního počtu záložních elementů vícefunkčního systému při jednom omezení a spolehlivostním ukazateli typu pravděpodobnost bezporuchového provozu (koeficient pohotovosti, koeficient operační pohotovosti)	290
7.7.	Disponování náhradními díly při náhodném toku požadavků	293
7.7.1.	Úvodní poznámky	293
7.7.2.	Samostatná sada náhradních dílů	293
7.7.3.	Centralizované systémy zásobování náhradními díly	295
	Literatura ke kapitole 7	297
8.	Zabezpečení technických objektů náhradními díly	299
8.1.	Úvodní poznámky	299
8.1.1.	Vytýčení úlohy	299
8.1.2.	Struktura systému SND	299
8.1.3.	Ukazatele zabezpečení objektů systémem SND	302
8.1.4.	Použitá označení	305
8.2.	Optimalizační úlohy návrhu systému SND	306
8.3.	Strategie doplňování SND	308
8.4.	Výpočet ukazatelů dostatečnosti systému SND se složitou strukturou	309
8.5.	Výpočet ukazatelů dostatečnosti samostatného SND	311
8.5.1.	Úvodní poznámky	311
8.5.2.	Sériový systém s bezporuchovými náhradními díly	313
8.5.3.	Sériový systém s náhradními díly porouchávajícími se během skladování	313
8.5.4.	Sériově paralelní systém se zatíženou zálohou	318
8.6.	Výpočet ukazatelů dostatečnosti opravárenského SND	319
8.7.	Výpočet ukazatelů dostatečnosti skupinového SND	322
8.8.	Návrh optimálních SND	325
8.9.	Návrh optimálních systémů SND se složitou strukturou	329
	Literatura ke kapitole 8	336

9.	Úlohy optimální profylaktiky	337
9.1.	Úvodní poznámky	337
9.1.1.	Zadání úlohy	337
9.1.2.	Průvodce kapitolou 9	338
9.1.3.	Další symboly použité v kapitole 9	339
9.2.	Zadání úloh optimální profylaktiky	340
9.3.	Havarijní opravy	341
9.3.1.	Popis režimu provozu a organizování havarijních oprav	341
9.3.2.	Výchozí údaje a výsledky	341
9.4.	Plánované profylaktické práce při neplánovaných havarijních opravách	343
9.4.1.	Popis aplikace profylaktických prací	343
9.4.2.	Výchozí údaje a výsledky	343
9.5.	Plánované profylaktické práce	349
9.5.1.	Popis aplikace profylaktických prací	349
9.5.2.	Výchozí údaje a výsledky	349
9.6.	Havarijní opravy porouchaných elementů (podsystemů) v sekvenčním systému	356
9.6.1.	Popis režimu provozu a organizování havarijních oprav	356
9.6.2.	Výchozí údaje, hodnoty a výsledky	356
9.7.	Havarijní opravy porouchaných elementů (podsystemů) a plánované profylaktické práce v sekvenčním systému	359
9.7.1.	Popis aplikace profylaktických prací a organizování havarijních oprav	359
9.7.2.	Výchozí údaje a výsledky	362
	Literatura ke kapitole 9	366
10.	Úlohy optimální diagnostiky poruch	368
10.1.	Úvodní poznámky	368
10.2.	Kontrola provozuschopnosti a diagnostika systémů při výskytu jedné poruchy	370
10.2.1.	Zadání úlohy	370
10.2.2.	Přibližný algoritmus diagnostické procedury při libovolně se překrývajících testech	371
10.2.3.	Metoda dynamického programování	379
10.2.4.	Metoda inverzní v uspořádání testů	380
10.2.5.	Rekurzivní metoda	381
10.2.6.	Minimaximální kritérium	383
10.3.	Postupné vyhledávání poruch objektu kontroly spolu s obnovou	384
10.3.1.	Úvodní poznámky	384
10.3.2.	Přibližný algoritmus diagnostické procedury při libovolně se překrývajících testech	384
10.3.3.	Metoda postupných testů při lokalizaci porouchaných elementů	389
10.3.4.	Rekurzivní metoda	391
10.4.	Detekce poruchy systému	393
10.4.1.	Úvodní poznámky	393

10.4.2.	Přibližný algoritmus při libovolně se překrývajících testech	393
10.4.3.	Prověрка systému nepřekrývajících se testy	394
	Literatura ke kapitole 10	395
11.	Obecné otázky experimentálního odhadu spolehlivosti. Prvotní analýza statistických údajů	398
11.1.	Základní definice	398
11.1.1.	Úvodní poznámky	398
11.1.2.	Speciální a komplexní zkoušky	398
11.1.3.	Přímé a nepřímé metody odhadů	399
11.1.4.	Zkrácení zkoušek	399
11.1.5.	Postupy stanovení a ověření experimentálních odhadů	400
11.2.	Organizování zkoušek a sběr informací	402
11.2.1.	Úvodní poznámky	402
11.2.2.	Provozní režim a vlivy okolního prostředí	402
11.2.3.	Objekty pro sběr statistických údajů	403
11.2.4.	Režim kontroly provozuschopnosti	403
11.2.5.	Režim obnovy provozuschopnosti	404
11.2.6.	Struktura shromažďovaných informací	405
11.2.7.	Způsoby vedení evidence	406
11.2.7.1.	Příklad instrukcí pro vedení deníku zařízení	406
11.2.7.2.	Formulář karty evidence závad	408
11.3.	Technický rozbor a předběžné zpracování výsledků zkoušek	409
11.3.1.	Úvodní poznámky	409
11.3.2.	Slučování informací	410
11.3.3.	Klasifikace informací	410
11.3.3.1.	Klasifikace poruch podle příčin vzniku	411
11.3.3.2.	Klasifikace poruch podle vztahu k hodnoceným parametrům spolehlivosti	411
11.3.4.	Typické chyby při organizaci zkoušek a při sběru a technickém zpracování statistických informací	412
11.3.4.1.	Nedodržení předepsané strategie obnovy	412
11.3.4.2.	Nedodržení předepsaných režimů plánované údržby	412
11.3.4.3.	Chyby při klasifikaci poruch	414
	Literatura ke kapitole 11	416
12.	Odhad ukazatelů spolehlivosti z experimentálních dat	417
12.1.	Úvodní poznámky	417
12.2.	Typ hodnocených ukazatelů spolehlivosti	418
12.3.	Charakter apriorních znalostí při určování ukazatelů spolehlivosti z experimentálních údajů	418
12.4.	Vlastnosti statistických údajů při různých plánech zkoušek	420
12.4.1.	Typy náhodných veličin tvořících výběr	420
12.4.2.	Typy diagramů realizací	423
12.5.	Metody stanovení bodových odhadů	426

12.5.1.	Úvodní poznámky	426
12.5.2.	Metody stanovení bodových odhadů při apriorní znalosti typu rozdělení pravděpodobnosti	430
12.5.2.1.	Metoda momentů	430
12.5.2.2.	Metoda kvantilů	432
12.5.2.3.	Metoda maximální věrohodnosti	433
12.5.3.	Metody stanovení bodových odhadů bez apriorní znalosti typu rozdělení	436
12.5.3.1.	Variační řada – vzestupně uspořádaná posloupnost hodnot náhodných veličin tvořících výběr	437
12.5.3.2.	Histogram	439
12.5.3.3.	Odhad hodnot empirické distribuční funkce	444
12.5.3.4.	Předběžné ověření shody empirických dat se zvoleným (hypotetickým) rozdělením	446
12.5.3.5.	Bodový odhad parametrů	451
12.6.	Ověření shody empirického rozdělení s teoretickým rozdělením	452
12.6.1.	Pearsonovo kritérium	452
12.6.2.	Kolmogorovo kritérium	454
12.7.	Intervalový odhad ukazatelů spolehlivosti	455
12.7.1.	Úvodní poznámky	455
12.7.2.	Konfidenční interval pro parametr exponenciálního rozdělení	457
12.7.3.	Konfidenční intervaly parametrů Weibullova rozdělení	458
12.7.4.	Konfidenční interval parametru binomického rozdělení	459
12.7.5.	Stanovení intervalových odhadů z nomogramů	460
12.7.5.1.	Nomogram rozdělení χ^2	460
12.7.5.2.	Nomogram Studentova rozdělení	461
12.7.5.3.	Nomogram binomického rozdělení	463
12.7.5.4.	Použití nomogramu binomického rozdělení k určení kvantilů rozdělení F	466
12.8.	Způsob zpracování neúplných experimentálních údajů	468
	Literatura ke kapitole 12	472
13.	Odhad konfidenčních mezí ukazatelů spolehlivosti systémů podle výsledků zkoušek elementů	476
13.1.	Ukazatele spolehlivosti systémů	477
13.2.	Obecné metody určení intervalových odhadů	481
13.2.1.	Metoda konfidenčních množin	481
13.2.2.	Metoda redukce	482
13.3.	Dolní konfidenční odhad bezporuchovosti systému při bezporuchových zkouškách elementů	485
13.4.	Binomické zkoušky elementů systému	488
13.5.	Zkoušky systému obsahujícího stárnoucí elementy	493
13.6.	Intervalové odhady ukazatelů spolehlivosti systémů složených z elementů s normálním rozdělením doby bezporuchového provozu	496
	Literatura ke kapitole 13	498

Dodatek	500
D.1. Základní pojmy a poznatky z teorie pravděpodobnosti	500
D.1.1. Náhodné jevy a jejich charakteristiky (pojmy a definice)	500
D.1.2. Pravděpodobnost jevu	501
D.1.3. Náhodné veličiny a funkce rozdělení	506
D.1.4. Číselné charakteristiky náhodných veličin	508
D.1.5. Přehled charakteristik funkcí rozdělení	514
D.1.6. Hlavní věty teorie pravděpodobnosti	514
D.2. Základní pojmy a poznatky z matematické statistiky	515
D.3. Proudny	519
D.3.1. Definice	519
D.3.2. Dekompozice proudu	524
D.3.3. Kompozice proudu	526
D.4. Některé konstanty a vztahy často používané při řešení úloh spolehlivosti	527
D.4.1. Konstanty	527
D.4.2. Elementární vztahy kombinatoriky	527
D.4.3. Konečné součty	529
D.4.4. Řady	529
D.4.5. Neurčité integrály	531
D.4.6. Určité integrály	532
D.4.7. Laplaceova transformace	533
D.5. Číselné tabulky	537
Literatura	560
Rejstřík	567