

**MINISTERUL EDUCATIEI NATIONALE
UNIVERSITATEA TEHNICA DE CONSTRUCTII BUCURESTI
FACULTATEA DE INGINERIE A INSTALATIILOR**

**REZUMAT
TEZA DE DOCTORAT**

**Contributii la implementarea managementului fiabilitatii si
mentenabilitatii in proiectarea instalatiilor**

**Doctorand:
ing. BOGDAN IVAN**

**Conducator de doctorat:
Prof. univ. dr. ing. SORIN CALUIANU**

**BUCURESTI
2014**

CUPRINS

1. INTRODUCERE	3
2. FIABILITATE. EVALUAREA FIABILITATII SISTEMELOR	3
2.1. Notiuni generale utilizate in fiabilitate	3
2.2. Modelul structural pentru calculul fiabilitatii sistemelor	3
2.3. Aplicatie a modelului structural pentru calculul fiabilitatii sistemelor	4
2.4. Metode de evaluare a fiabilitatii sistemelor	4
2.5. Analiza comparativa a eficacitatii metodelor de evaluare a fiabilitatii aplicate unei structuri punte	5
3. MENTENABILITATE. EVALUAREA MENTENABILITATII SISTEMELOR	5
3.1. Notiuni generale utilizate in mentenabilitate.....	5
3.2. Optimizarea mentenabilitatii in faza de proiectare prin intermediul metodei RCM	5
3.3. Aplicatie. Metoda RCM aplicata unei instalatii HVAC	5
4. PREOCUPARI ACTUALE PRIVIND MANAGEMENTUL FIABILITATII SI MENTENABILITATII	5
4.1. Fiabilitatea – criteriu sau restrictie in problemele de optimizare	5
4.2. Cercetari si preocupari actuale in domeniile fiabilitatii si mentenabilitatii	5
4.3. Managementul riscului	6
4.4. Teoria entropica a sistemelor (TES)	6
5. CONTRIBUTII PRIVIND STUDIUL DEGRADARII SISTEMELOR CU REZERVARE.....	6
5.1. Metoda propusa privind studiul degradarii sistemelor cu rezervare.....	6
5.2. Program de calcul propriu de analiza a degradarii sistemelor cu rezervare.....	7
5.3. Contributii privind analiza degradarii sistemului punte cu viabilitati oarecare ale componentelor.....	7
5.4. Contributii privind analiza degradarii sistemului punte cu viabilitati identice ale componentelor.....	7
6. CONTRIBUTII PRIVIND OPTIMIZAREA STRUCTURII UNOR SCHEME REDONDANTE CU CRITERIUL RISCULUI ENTROPIC	8
6.1. Analiza de risc a structurii punte in ipoteza a patru elemente de viabilitati identice	8
6.2. Analiza comparativa de risc intre structurile punte si redondant “2 din 5” in ipoteza componentelor de viabilitati identice	9
6.3. Analiza comparativa de risc intre structurile punte si redondant “3 din 5” in ipoteza componentelor de viabilitati identice	10
6.4. Analiza de risc a structurii redondante “3 din 5” in ipoteza a patru elemente de viabilitati identice.....	11
7. CONCLUZII	12
8. SINTEZA PRINCIPALELOR CONTRIBUTII ORIGINALE	12
9. BIBLIOGRAFIE SELECTIVA	13

Cuvinte cheie: fiabilitate, mentenabilitate, mentenanta, disponibilitate, rata, defectare, structura, schema, siguranta, risc, viabilitate, entropie, graf, recurent, nerecurent, stare, tranzitie, cuanta, optimizare

1. INTRODUCERE

Managementul fiabilitatii si mentenabilitatii inca din faza de proiectare reprezinta o tema de continua actualitate urmarind optimizarea fiabilitatii si mentenabilitatii in raport cu costurile de investitie si cele de intretinere in perioada de functionare a sistemului.

Tema abordata se afla atat in atentia institutelor de cercetare nationale si internationale de profil cat si a sectiilor si laboratoarelor de cercetare din cadrul marilor companii producatoare de sisteme si subsisteme tehnice prin prisma importantei economice deosebite pe care o are estimarea cat mai precisa a indicatorilor de fiabilitate si mentenabilitate.

Modelul propus in lucrare ofera un plus de informatie de cea mai mare necesitate si utilitate pe parcursul evolutiei sistemelor.

2. FIABILITATE. EVALUAREA FIABILITATII SISTEMELOR IN FAZA DE PROIECTARE

2.1. Notiuni generale de fiabilitate

Fiabilitatea este aptitudinea unei entitati de a indeplini o cerinta functionala in conditii date si de-a lungul unui interval dat.

Disponibilitatea este aptitudinea unei entitati de a fi intr-o stare in care sa poata indeplini o cerinta functionala, in conditii date, la un moment dat sau intr-un interval de timp dat, presupunand ca resursele exterioare in acest caz sunt asigurate.

Mentenabilitatea este aptitudinea unei entitati de a fi mentinuta sau restabilita, in conditii de utilizare date, intr-o stare in care sa poata indeplini cerinta functionala, daca mentenanta este realizata in conditii date, cu proceduri si resurse prescrise.

Logistica de mentenanta este aptitudinea unui sistem (structura, organizatie) de a putea oferi la cerere, in conditii date, resursele necesare pentru mentenanta unei entitati, in conformitate cu o politica de mentenanta data.

Mentenanta este ansamblul tuturor actiunilor tehnice si administrative, inclusiv actiuni de supraveghere, destinate mentinerii sau restabilirii unei entitati intr-o stare care sa poata indeplini o cerinta functionala.

Defectarea reprezinta incetarea aptitudinii unui sistem de a-si indeplini cerinta functionala.

2.2. Modelul structural pentru calculul fiabilitatii sistemelor

Schema logica de fiabilitate este modelul structural care indica modul de interconectare a elementelor unui sistem pentru satisfacerea cerintei functionale impuse.

2.2.1. Structura serie

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (2.1)$$

2.2.2. Structura paralel

$$R_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) \quad (2.2)$$

2.2.3. Structura redondanta "k din n"

$$R_s = \sum_k^n C_k^n R^k (1 - R)^{n-k} \quad (2.3)$$

2.2.4. Structura redondanta pasiva

$$R_s(t) = e^{-\lambda t} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!} \quad (2.4)$$

2.2.5. Structura punte

$$\begin{aligned}
 R_s(t) = & 2R_1(t)R_2(t)R_3(t)R_4(t)R_5(t) + R_2(t)R_3(t)R_4(t) + R_1(t)R_3(t)R_5(t) + \\
 & + R_1(t)R_4(t) + R_2(t)R_5(t) - R_2(t)R_3(t)R_4(t)R_5(t) - \\
 & - R_1(t)R_2(t)R_3(t)R_4(t) - R_5(t)R_1(t)R_2(t)R_3(t) - \\
 & - R_1(t)R_3(t)R_4(t)R_5(t) - R_1(t)R_2(t)R_4(t)R_5(t)
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

Pentru componente identice fiabilitatea sistemului devine:

$$R_s(t) = 2R(t)^5 - 5R(t)^4 + 2R(t)^3 + 2R(t)^2 \tag{2.6}$$

2.3. Aplicatie a modelului structural pentru calculul fiabilitatii sistemelor

2.4. Metode de evaluare a fiabilitatii sistemelor

2.4.1. Metoda solutiei generale

Metoda solutiei generale este o metoda derivata din metoda Markov, bazandu-se pe posibilitatea de generalizare a relatiilor de determinare a probabilitatii absolute a starilor, rezultate in urma intocmirii tabelului starilor.

2.4.2. Procedeele grupurilor de defectare

Procedeele grupurilor de defectare se aplica sistemelor complexe greu reductibile la configuratii clasice, fiind inlesnit ulterior calculul prin modelele structurale serie si paralel.

Grupul de defectare este multimea elementelor, pentru care starea de functionare a multimii este asigurata de starea de functionare a cel puțin unui element al multimii.

2.4.3. Metoda transformarii triunghi-stea (T-S)

$$A = 1 - (1 - R_{T12})(1 - R_{T13}R_{T23}) \tag{2.7}$$

$$B = 1 - (1 - R_{T23})(1 - R_{T12}R_{T13}) \tag{2.8}$$

$$C = 1 - (1 - R_{T13})(1 - R_{T12}R_{T23}) \tag{2.9}$$

$$R_{S1} = \sqrt{\frac{AC}{B}}; \quad R_{S2} = \sqrt{\frac{AB}{C}}; \quad R_{S3} = \sqrt{\frac{BC}{A}} \tag{2.10}$$

2.4.4. Metoda simplificarii conditionale

Principiul metodei este acela de a alege un element relevant cu scopul de a putea descompune sistemul in subsisteme mai simple.

In prima faza a calculului elementul relevant este ipotetic considerat de fiabilitate ideala, urmand ca in cea de-a doua faza sa fie ipotetic considerat defect.

2.4.5. Metoda defectarilor din cauze comune

Principiul metodei este acela de a considera ca toate cauzele de defectare comune ale unui sistem redundat pot fi asociate unei noi componente fictive amplasate in serie cu sistemul redundat.

2.4.6. Metoda Monte Carlo

Metodele Monte Carlo reprezinta o clasa de algoritmi de calcul care se bazeaza pe generarea aleatoare de probe pentru obtinerea rezultatelor. Aceste metode sunt deseori utilizate pentru simularea sistemelor si sunt potrivite calculului informatic pentru ca se bazeaza in totalitate pe generarea numerelor aleatoare sau pseudo-aleatoare, tinzand sa fie utilizate atunci cand este imposibil de obtinut rezultatul exact prin intermediul algoritmilor deterministi.

2.4.7. Metoda arborelui de defectare

Metoda arborelui de defectare consta in construirea unei scheme logice de defectare prin intermediul careia sunt analizate defectarile componentelor care produc un anumit tip de defectare in sistem.

2.4.8. Analiza modurilor de defectare si a efectelor si consecintelor acestora (FMECA)

“FMECA este o procedura inductiva, care este, in general, rezultatul unei munci de echipa realizata de proiectant si inginerii de fiabilitate. Procedura este stabilita in standardul IEC 60812. Este o metoda usor de aprofundat, dar destul de anevoioasa pentru sisteme sau

echipamente complexe. Din acest motiv este recomandata concentrarea eforturilor asupra componentelor critice, in particular, asupra componentelor redondante [...]. Analiza FMECA este utilizata, de asemenea, in scopul optimizarii mentenabilitatii”

2.5. Analiza comparativa a eficacitatii metodelor de evaluare a fiabilitatii aplicate unei structuri punte

Am efectuat o analiza comparativa a metodelor aplicate in cazul schemei punte in functie de o serie de criterii de evaluare considerate importante in faza de proiectare a instalatiilor.

3. MENTENABILITATE. EVALUAREA MENTENABILITATII SISTEMELOR IN FAZA DE PROIECTARE

3.1. Notiuni generale utilizate in mentenabilitate

3.1.1. Mentenabilitatea

Mentenabilitatea este aptitudinea unei entitati de a fi mentinuta sau restabilita, in conditii de utilizare date, intr-o stare in care sa poata indeplini cerinta functionala, daca mentenanta este realizata in conditii date cu proceduri si resurse prescrise .

$$M(t_r) = \text{Pr ob}(t_r \leq T), \quad (3.1)$$

3.1.2. Mentenanta

Mentenanta este ansamblul tuturor actiunilor tehnice si administrative, inclusiv actiuni de supraveghere, destinate mentinerii sau restabilirii unei entitati intr-o stare care sa poata indeplini o cerinta functionala.

3.1.3. Disponibilitatea

Disponibilitatea este aptitudinea unei entitati de a fi intr-o stare in care sa poata indeplini o cerinta functionala, in conditii date, la un moment dat sau intr-un interval de timp dat, presupunand ca resursele exterioare in acest caz sunt asigurate.

$$A(t) = R(t) + F(t) \cdot M(t) \quad (3.2)$$

3.2. Optimizarea mentenabilitatii in faza de proiectare prin intermediul metodei RCM

Scopul metodei este acela de a pastra in stare de functionare un sistem, urmarind pastrarea nivelelor de fiabilitate si disponibilitate cu cele mai mici costuri posibile. Astfel, metoda presupune ca deciziile de mentenanta sa fie bazate pe cerinte de mentenanta care se justifica din punct de vedere tehnic si economic.

3.3. Aplicatie. Metoda RCM aplicata unei instalatii HVAC

Se observa ca in urma analizei FMECA s-a realizat o reducere a costurilor estimate de mentenanta de aprox. 35%, care anual sunt echivalente cu $\frac{2 \times (973 - 604)}{75132} \times 100 \cong 1\%$ din valoarea de investitie, ceea ce dovedeste ca studiul RCM este un instrument foarte valoros pentru optimizarea mentenantei inca din faza de proiectare.

4. PREOCUPARI ACTUALE PRIVIND MANAGEMENTUL FIABILITATII SI MENTENABILITATII

4.1. Fiabilitatea – criteriu sau restrictie in problemele de optimizare

4.2. Cercetari si preocupari actuale in domeniile fiabilitatii si mentenabilitatii

S-a dovedit ca, prin prisma complexitatii sistemelor moderne, defectarea unei parti componente nu mai constituie intotdeauna un factor decisiv in defectarea unui sistem. Astfel, alti factori precum functionarea necorespunzatoare a aplicatiilor software, factorii umani, manualele de intretinere incomplete, actiunea factorilor de mediu sau neconformitatea componentelor redondante pot fi dominanti in conturarea ratei de defectare a sistemului.

4.3. Managementul riscului

Managementul riscului consta in identificarea, evaluarea si prioritizarea riscurilor in scopul initierii masurilor economice care se impun pentru minimizarea probabilitatii aparitiei evenimentelor nefericite sau pentru controlul impactului acestora asupra omului si mediului inconjurator.

4.4. Teoria entropica a sistemelor (TES)

4.4.1. Principii, legi si marimi fundamentale

Noua teorie a fiabilitatii sistemelor foloseste cateva concepte noi. In etapa actuala de dezvoltare aceste concepte sunt: *viabilitatea, cuanta de timp, entropia, riscul entropic, durata de viata ramasa si disponibilitatea globala.*

Daca notam cu v_{ramas} numarul de cuante de timp ramase pana la tranzitia intr-o alta stare si cu w viabilitatea sistemului, atunci :

$$w(v_{ramas}) = e^{-\frac{1}{v_{ramas}}} \quad (4.1)$$

Cuanta de timp este un “*interval de timp dintre doua schimbari, de marime unu, indivizibil*”.

Tinand cont de faptul ca probabilitatea unei stari a unui sistem este perfect descrisa de conceptul de viabilitate, atunci putem generaliza ca:

$$S[w(v_{ramas})] = -w(v_{ramas}) \cdot \ln w(v_{ramas}) = \frac{w(v_{ramas})}{v_{ramas}} \quad (4.2)$$

unde v_{ramas} este durata de viata ramasa.

Se propune pentru riscul evaluat numeric prin entropie denumirea de *risc entropic*.

Daca notam cu r_e riscul entropic, putem scrie:

$$r_e(v_{ramas}) = S(v_{ramas}) = \frac{w(v_{ramas})}{v_{ramas}} = \frac{\exp(-1/v_{ramas})}{v_{ramas}} \quad (4.3)$$

Cele prezentate pana acum au avut in vedere evenimentul pe care il putem numi *degradare entropica* sau simplu *degradare*.

4.4.2. Graficul entropic canonic

Graficul entropic canonic este o reprezentare grafica a evolutiei procesului studiat, care tine cont de starile probabile ale sistemului si de tranzitiile dintre acestea, explicitate prin intermediul probabilitatii si entropiei.

5. CONTRIBUTII PRIVIND STUDIUL DEGRADARII SISTEMELOR CU REZERVARE

5.1. Metoda propusa privind studiul degradarii sistemelor cu rezervare

Metoda propusa este o adaptare a teoriei entropice a sistemelor (TES) in scopul studiului degradarii sistemelor tehnice cu rezervare pe intreaga lor durata de viata.

Metoda surprinde procesul de degradare pe care-l sufera sistemul analizat prin defectarea pas cu pas a elementelor componente, permitand cuantificarea riscului entropic in fiecare etapa a procesului.

5.2. Program de calcul propriu pentru studiul degradarii sistemelor cu rezervare

Programul a fost elaborat atat pentru a se putea compara cat mai multe variante in cadrul prezentei teze de doctorat, cat si in intentia de a pune la dispozitia proiectantilor un instrument util, inca din faza de proiectare, in analiza comparativa a sistemelor cu rezervare pornind de la descrierea functionarii acestora prin intermediul tabelului de stari.

5.3. Contributii privind analiza degradarii sistemului punte cu viabilitati oarecare ale componentelor

In ipoteza componentelor de viabilitati egale ale sistemului punte, obtinem patru tipuri de evolutii in functie de traiectoriile posibile de defectare, dupa cum urmeaza:

- evolutia punte I – traiectoriile 1-2, 2-1, 4-5, 5-4;
- evolutia punte II – traiectoriile 1-3-2, 1-3-5, 1-4-2, 1-4-5, 2-3-1, 2-3-4, 2-5-1, 2-5-4, 4-1-2, 4-1-5, 4-3-2, 4-3-5, 5-2-1, 5-2-4, 5-3-1, 5-3-4;
- evolutia punte III – 1-5-2, 1-5-3, 1-5-4, 2-4-1, 2-4-3, 2-4-5, 4-2-1, 4-2-3, 4-2-5, 5-1-2, 5-1-3, 5-1-4;
- evolutia punte IV – 3-1-2, 3-1-5, 3-2-1, 3-2-4, 3-4-2, 3-4-5, 3-5-1, 3-5-4.

In concluzie, in forma sa generala un sistem punte parcurge trei pasi de defectare si nu patru cum ar fi reiesit din tabelul starilor!!! Diferenta apare prin faptul ca, dupa al doilea pas de defectare, unele componente nu isi mai aduc aportul la functionarea sistemului, chiar daca ele sunt in continuare in stare de a-si indeplini cerinta functionala.

5.4. Contributii privind analiza degradarii sistemului punte cu viabilitati identice ale componentelor

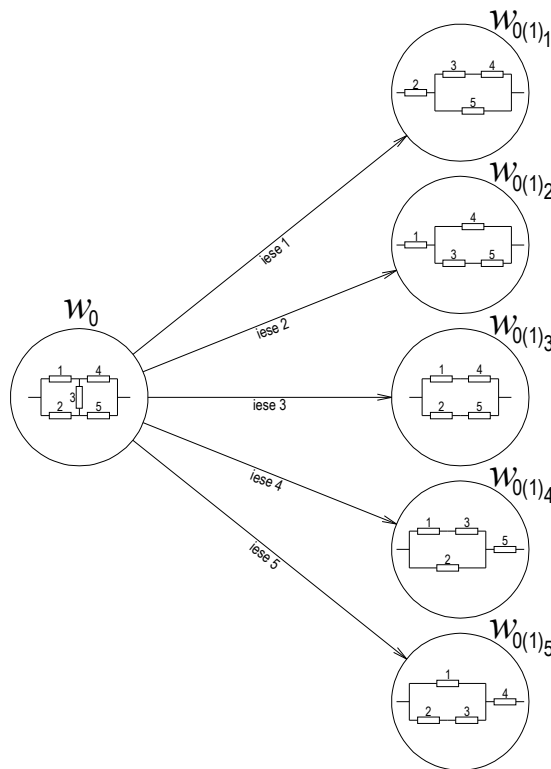


Fig.5.1. Graful desfasurat in pasul 1 in cazul sistemului punte

5.4.1. Calculul lui $w_{0(1)}$

$$w_{0(1)} \frac{6}{5} w^2 + \frac{4}{5} w^3 - w^4 \tag{5.10}$$

5.4.2. *Calculul lui $w_{0(2)}$*

$$w_{0(2)} = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} w_{0(2)_i} = \frac{1}{16} (12w^2 + 4w^3) = \frac{3}{4} w^2 + \frac{1}{4} w^3 \quad (5.12)$$

Se observa ca in pasul al treilea toate structurile de la sfarsitul pasului al doilea conduc la stari nerecurente.

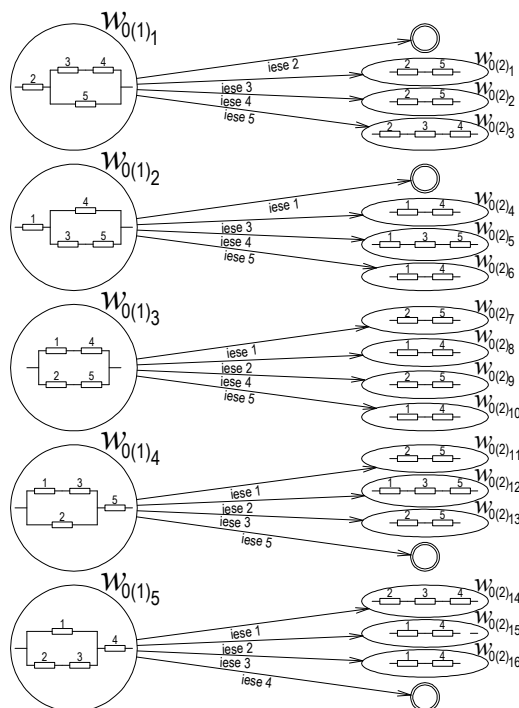


Fig.5.2. Graful desfasurat in pasul 2 in cazul sistemului punte

6. CONTRIBUTII PRIVIND OPTIMIZAREA STRUCTURII UNOR SCHEME REDONDANTE CU CRITERIUL RISCULUI ENTROPIC

6.1. Analiza de risc a structurii punte in ipoteza a patru elemente de viabilitati egale si al cincilea de viabilitate diferita

Structura	w3	w[0]	w[0(1)]	w[0(2)]	S[0]	S[0(1)]	S[0(2)]
punte I	0.7	0.97524	0.8667	X	0.024451	0.123992	X
	0.8	0.97686	0.8748	X	0.02287	0.117013	X
	0.99	0.979938	0.89019	X	0.019859	0.103547	X
punte II	0.7	0.97524	0.8667	0.81	0.024451	0.123992	0.170684
	0.8	0.97686	0.8748	0.81	0.02287	0.117013	0.170684
	0.99	0.979938	0.89019	0.81	0.019859	0.103547	0.170684
punte III	0.7	0.97524	0.8667	0.567	0.024451	0.123992	0.321714
	0.8	0.97686	0.8748	0.648	0.02287	0.117013	0.281144
	0.99	0.979938	0.89019	0.8019	0.019859	0.103547	0.177037
punte IV	0.7	0.97524	0.9639	0.81	0.024451	0.03544	0.170684
	0.8	0.97686	0.9639	0.81	0.02287	0.03544	0.170684
	0.99	0.979938	0.9639	0.81	0.019859	0.03544	0.170684

Tab.6.1. Tabel centralizator al caracteristicilor de stare in cazul sistemului punte cu viabilitatile $w_1 = w_2 = w_4 = w_5 = 0.9$ si $w_3 \in \{0.7, 0.8, 0.99\}$

Structura	w1	w[0]	w[0(1)]	w[0(2)]	S[0]	S[0(1)]	S[0(2)]
punte I	0.7	0.95724	0.8829	X	0.041832	0.109959	X
	0.8	0.96786	0.8829	X	0.031618	0.109959	X
	0.99	0.988038	0.8829	X	0.01189	0.109959	X
punte II	0.7	0.95724	0.8829	0.81	0.041832	0.109959	0.170684
	0.8	0.96786	0.8829	0.81	0.031618	0.109959	0.170684
	0.99	0.988038	0.8829	0.81	0.01189	0.109959	0.170684
punte III	0.7	0.95724	0.8829	0.729	0.041832	0.109959	0.230423
	0.8	0.96786	0.8829	0.729	0.031618	0.109959	0.230423
	0.99	0.988038	0.8829	0.729	0.01189	0.109959	0.230423
punte IV	0.7	0.95724	0.9297	0.81	0.041832	0.067769	0.170684
	0.8	0.96786	0.9468	0.81	0.031618	0.051759	0.170684
	0.99	0.988038	0.97929	0.81	0.01189	0.020494	0.170684

Tab.6.2. Tabel centralizator al caracteristicilor de stare in cazul sistemului punte cu viabilitatile $w_2 = w_3 = w_4 = w_5 = 0.9$ si $w_1 \in \{0.7, 0.8, 0.99\}$

6.2. Analiza comparativa de risc intre structurile punte si redondant "2 din 5" in ipoteza componentelor de viabilitati identice

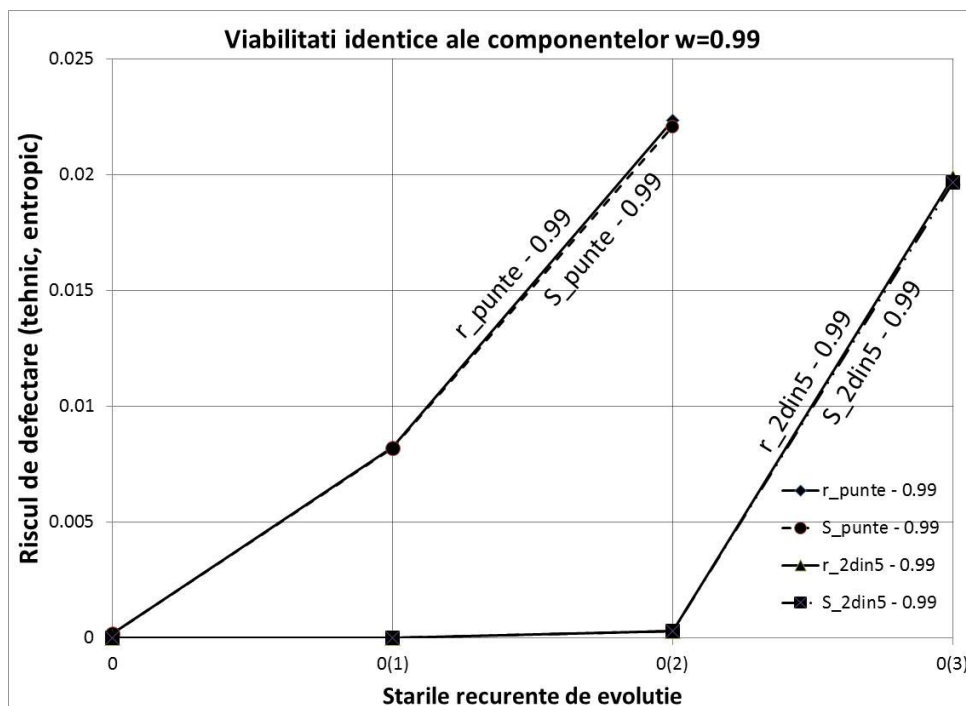
In tabelele de mai jos au fost centralizate valorile viabilitatilor starilor, ale riscului tehnic ($r = 1 - w$) si ale riscului entropic pentru valori ale viabilitatii componentelor din multimea $w \in \{0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 0.93, 0.96, 0.99\}$.

Tab.6.3. Indicatorii de viabilitate si risc ai starilor de evolutie a sistemului "2 din 5" pentru valorile w ale viabilitatii componentelor

w	Structura punte								
	Viabilitate stare			Risc tehnic			Risc entropic		
	w_0	$w_{0(1)}$	$w_{0(2)}$	r_0	$r_{0(1)}$	$r_{0(2)}$	S_0	$S_{0(1)}$	$S_{0(2)}$
0.5	0.5	0.3375	0.21875	0.5	0.6625	0.78125	0.346574	0.366589	0.332462
0.6	0.65952	0.4752	0.324	0.34048	0.5248	0.676	0.274521	0.353558	0.365152
0.7	0.80164	0.6223	0.45325	0.19836	0.3777	0.54675	0.177239	0.295177	0.358662
0.8	0.91136	0.768	0.608	0.08864	0.232	0.392	0.08459	0.202726	0.302529
0.9	0.97848	0.8991	0.78975	0.02152	0.1009	0.21025	0.021287	0.095629	0.186412
0.93	0.989631	0.933314	0.849764	0.010369	0.066686	0.150236	0.010315	0.064412	0.138338
0.96	0.996685	0.964362	0.912384	0.003315	0.035638	0.087616	0.00331	0.034995	0.08366
0.99	0.999798	0.991763	0.97765	0.000202	0.008237	0.02235	0.000202	0.008203	0.022099

Tab.6.4. Indicatorii de viabilitate si risc ai starilor de evolutie a sistemului punte pentru valorile w ale viabilitatii componentelor

w0	Structura "2 din 5"										
	Viabilitate stare				Risc tehnic				Risc entropic		
	$w_{0(1)}$	$w_{0(2)}$	$w_{0(3)}$	r_0	$r_{0(1)}$	$r_{0(2)}$	$r_{0(3)}$	S_0	$S_{0(1)}$	$S_{0(2)}$	$S_{0(3)}$
0.8125	0.71875	0.5	0.25	0.1875	0.28125	0.5	0.75	0.168707	0.237361	0.346574	0.346574
0.91296	0.83616	0.648	0.36	0.08704	0.16384	0.352	0.64	0.083137	0.149619	0.281144	0.367794
0.96922	0.92197	0.784	0.49	0.03078	0.07803	0.216	0.51	0.030301	0.074903	0.190783	0.349541
0.99328	0.97408	0.896	0.64	0.00672	0.02592	0.104	0.36	0.006697	0.025581	0.098394	0.285624
0.99954	0.99639	0.972	0.81	0.00046	0.00361	0.028	0.19	0.00046	0.003603	0.027604	0.170684
0.9998867	0.998722	0.985986	0.8649	0.000113	0.001278	0.014014	0.1351	0.000113	0.001277	0.013915	0.125533
0.9999876	0.999754	0.995328	0.9216	1.24E-05	0.000246	0.004672	0.0784	1.24E-05	0.000246	0.004661	0.075243
1	0.999996	0.999702	0.9801	4.96E-08	3.96E-06	0.000298	0.0199	4.96E-08	3.96E-06	0.000298	0.019701


 Fig.6.1. Variatia indicatorilor de risc in cazul unei viabilitati $w = 0.99$

6.3. Analiza comparativa de risc intre structurile punte si redondant "3 din 5" in ipoteza componentelor de viabilitati identice

Structura	wcomp	w[0]	w[0(1)]	w[0(2)]	S[0]	S[0(1)]	S[0(2)]
alfa=3; n=5	0.5	0.5	0.3125	0.125	0.346574	0.363485	0.25993
	0.6	0.68256	0.4752	0.216	0.260673	0.353558	0.331015
	0.7	0.83692	0.6517	0.343	0.148994	0.279039	0.367019
	0.8	0.94208	0.8192	0.512	0.056209	0.163371	0.342748
	0.9	0.99144	0.9477	0.729	0.008523	0.050908	0.230423
	0.99	0.99999	0.999408	0.970299	9.85E-06	0.000592	0.029255
punte I	0.5	0.5	0.3125	X	0.346574	0.363485	X
	0.6	0.65952	0.4464	X	0.274521	0.360039	X
	0.7	0.80164	0.5929	X	0.177239	0.309926	X
	0.8	0.91136	0.7424	X	0.08459	0.221137	X
	0.9	0.97848	0.8829	X	0.021287	0.109959	X
	0.99	0.999798	0.989803	X	0.000202	0.010145	X
punte II	0.5	0.5	0.3125	0.25	0.346574	0.363485	0.346574
	0.6	0.65952	0.4464	0.36	0.274521	0.360039	0.367794
	0.7	0.80164	0.5929	0.49	0.177239	0.309926	0.349541
	0.8	0.91136	0.7424	0.64	0.08459	0.221137	0.285624
	0.9	0.97848	0.8829	0.81	0.021287	0.109959	0.170684
	0.99	0.999798	0.989803	0.9801	0.000202	0.010145	0.019701
punte III	0.5	0.5	0.3125	0.125	0.346574	0.363485	0.25993
	0.6	0.65952	0.4464	0.216	0.274521	0.360039	0.331015
	0.7	0.80164	0.5929	0.343	0.177239	0.309926	0.367019
	0.8	0.91136	0.7424	0.512	0.08459	0.221137	0.342748
	0.9	0.97848	0.8829	0.729	0.021287	0.109959	0.230423
	0.99	0.999798	0.989803	0.970299	0.000202	0.010145	0.029255
punte IV	0.5	0.5	0.4375	0.25	0.346574	0.361672	0.346574

0.6	0.65952	0.5904	0.36	0.274521	0.311114	0.367794
0.7	0.80164	0.7399	0.49	0.177239	0.222888	0.349541
0.8	0.91136	0.8704	0.64	0.08459	0.120814	0.285624
0.9	0.97848	0.9639	0.81	0.021287	0.03544	0.170684
0.99	0.999798	0.999604	0.9801	0.000202	0.000396	0.019701

Tab.6.5. Tabel centralizator al caracteristicilor de stare in cazul sistemelor punte si redondant "3 din 5" pentru viabilitati identice ale componentelor sistemelor

6.4. Analiza de risc a structurii redondante "3 din 5" in ipoteza a patru elemente de viabilitati identice si al cincilea de viabilitate diferita

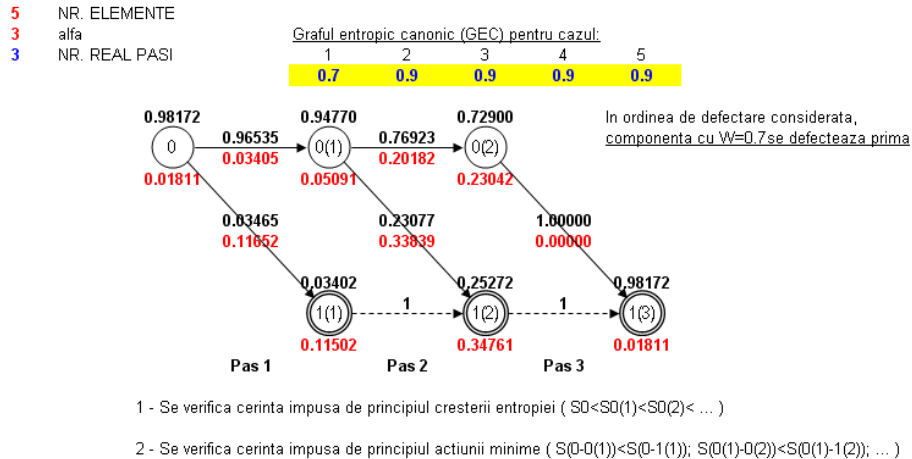


Fig.6.2. Graf entropic canonic pentru o structura tip "3 din 5" in situatia $w_2 = w_3 = w_4 = w_5 = 0.9$ si $w_1 = 0.7$ este prima componenta defecta

Evolutie	Viabilitatea elementului variabil	w[0]	w[0(1)]	w[0(2)]	S[0]	S[0(1)]	S[0(2)]
tip I	0.7	0.98172	0.9477	0.729	0.018112	0.050908	0.230423
	0.8	0.98658	0.9477	0.729	0.01333	0.050908	0.230423
	0.99	0.99581	0.9477	0.729	0.004181	0.050908	0.230423
tip II	0.7	0.98172	0.8991	0.729	0.018112	0.095629	0.230423
	0.8	0.98658	0.9234	0.729	0.01333	0.073588	0.230423
	0.99	0.99581	0.96957	0.729	0.004181	0.029962	0.230423
tip III	0.7	0.98172	0.8991	0.567	0.018112	0.095629	0.321714
	0.8	0.98658	0.9234	0.648	0.01333	0.073588	0.281144
	0.99	0.99581	0.96959	0.8019	0.004181	0.029943	0.177037

Tab.6.6. Tabel centralizator al caracteristicilor de stare in cazul sistemului redondant "3 din 5" pentru viabilitati egale ale componentelor sistemelor

In mod analog analizei sistemului punte obtinem o serie de traiectorii identice de defectare, care in acest caz sunt de trei tipuri:

- Evolutie tip I – componenta de viabilitate diferita este prima componenta defecta;
- Evolutie tip II – componenta de viabilitate diferita este cea de-a doua componenta defecta;
- Evolutie tip III – componenta de viabilitate diferita este cea de-a treia componenta defecta.

7. CONCLUZII

Scopul autorului nu a fost acela de a acoperi in intregime multitudinea problemelor teoretice si aplicative rezolvate in domeniu de-a lungul timpului, ci de a prezenta intr-o maniera obiectiva o serie de modele si metode utilizate la scara larga in managementul fiabilitatii si mentenabilitatii si de a propune solutii concrete de optimizare a riscului de defectare a instalatiilor.

Modelul matematic elaborat in lucrare pentru studiul evolutiei riscului entropic de defectare a instalatiilor cu ajutorul grafului entropic canonic (GEC) se pare ca este primul model care nu se bazeaza numai pe o functie de una sau mai multe variabile, ci ia in considerare insasi structura sistemului care se schimba dupa fiecare pas.

8. SINTEZA PRINCIPALELOR CONTRIBUTII ORIGINALE

- Elaborarea unui model matematic pentru studiul degradarii structurilor cu rezervare si a celor complexe cu ajutorul grafului entropic canonic, care ofera posibilitatea optimizarii riscului de defectare a sistemelor analizate in raport cu costurile de investitie si mentenanta.

Modelul matematic elaborat in lucrare pentru studiul evolutiei riscului entropic de degradare a sistemelor (instalatiilor) cu ajutorul grafului entropic canonic (GEC) se pare ca este primul model care nu se bazeaza numai pe o functie de una sau mai multe variabile, ci ia in considerare insasi structura sistemului care se schimba dupa fiecare pas. Modelul si procedura ofera un plus de informatie de cea mai mare necesitate si utilitate pe parcursul evolutiei proceselor.

- Analiza diferitelor structuri de fiabilitate cu evidentierea clara a solutiilor de optimizare in scopul cresterii viabilitatii sistemului si, implicit, al reducerii a riscului de defectare.
- Evidentierea avantajelor oferite de utilizarea indicatorului *risc entropic* in cadrul analizelor de fiabilitate prin reducerea costurilor de investitie ale instalatiilor.
- Studiul aprofundat al degradarii sistemului punte de viabilitati oarecare prin intermediul modelului matematic elaborat in lucrare si evidentierea particularitatii degradarii acestui tip de sistem prin prezenta a patru traiectorii generale de defectare, fiecare dintre acestea fiind favorizate de anumite valori ale viabilitatilor componentelor sistemului.
- Determinarea relatiilor de calcul pentru viabilitatile starilor recurente in cazul particular al studiului degradarii sistemului punte cu viabilitati identice.
- Elaborarea unui program propriu de calcul si reprezentari grafice automate bazat pe modelul matematic propus, utilizand limbajul de programare Visual Basic, pentru analiza facila a degradarii sistemelor redondante in scopul optimizarii riscului de defectare in raport cu costurile de investitie si mentenanta aferente sistemelor analizate.
- Validarea utilitatii programului conceput in cadrul tezei de doctorat prin aplicarea in cadrul unor analize de risc si analize comparative de risc pentru sistemele punte si redondante in urma carora am putut oferi solutii concrete de optimizare a structurilor analizate.
- Efectuarea unor studii FMECA si RCM aplicate unei instalatii reale care demonstreaza utilitatea si complexitatea metodelor si contribuie la generalizarea unor solutii de mentenanta in domeniul ventilarii si a climatizarii, reusind sa furnizeze informatii legate de pretul unitar specific al actiunilor de mentenanta indicate, prioritizarea elementelor componente critice ale sistemului si luarea masurilor corespunzatoare pentru ameliorarea fiabilitatii sistemului.
- Realizarea unei analize comparative intre metodele solutiei generale, grupurilor de defectare, transfigurarii triunghi-stea si simplificarii conditionate, care a evidentiat

avantajele date de utilizarea in proiectare a metodelor solutiei generale si a grupurilor de defectare.

- Validarea eficientei si utilitatii metodei Monte Carlo inca din faza de proiectare prin elaborarea unor programe de calcul proprii pentru simularea functionarii sistemelor, care demonstreaza ca metoda este potrivita calculului informatic prin posibilitatea de generarea numerelor aleatoare sau pseudo-aleatoare, fiind indicata in situatiile cand rezultatul este extrem de greu de obtinut prin intermediul algoritmilor deterministi.
- Studiul extins si prezentarea intr-o maniera unitara a problemelor referitoare la managementul fiabilitatii si mentenabilitatii instalatiilor prin analiza unui bogat material bibliografic.

9. BIBLIOGRAFIE SELECTIVA

- [1] Bacivarov, I. – Ingeria sigurantei in functionare în perspectiva mileniului trei, Asigurarea Calitatii, nr. 9, ianuarie - martie, 1997
- [2] Badea, E. – *Stadiul actual al teoriei fiabilitatii*, Referat de doctorat, Bucuresti, 2001
- [3] Badea, E. – *Contributii la optimizarea proiectarii instalatiilor electrice si de automatizare*, Teza de doctorat, Facultatea de Instalatii, U.T.C.B., 2010.
- [4] Badea, E. – *O noua metoda pentru evaluarea riscului tehnic al instalatiilor*, Buletinul stiintific, UTCB, 2010.
- [5] Bendea, G. – *Fiabilitatea sistemelor electrice din centralele termoelectrice*, Editura Matrixrom, Bucuresti, 2002.
- [6] Caluianu, S. – *Metoda de evaluare a confortului in cladiri utilizand teoria posibilitatilor*, Simpozionul SIEAR “45 de ani de invatamant superior de instalatii 1949-1994”, Bucuresti, 1994.
- [7] Caluianu, S. – *Contributii la supravegherea centralizata a poluarii atmosferei*, Teza de doctorat, Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti, iulie 1995.
- [8] Caluianu, S. – *Inteligena artificiala in instalatii. Logica fuzzy si teoria posibilitatilor*, Editura Matrixrom, ISBN 973-685-120-6, Bucuresti, 2000.
- [9] Eftimie, C., Soare, D. – *Fiabilitatea sistemelor de distributie electroenergetice industriale*, Editura tehnica, Bucuresti, 1979.
- [10] Iosifescu, M. – *Lanțuri Markov finite și aplicații*, Editura tehnică, București, 1977.
- [11] **Ivan, B.** – *Optimizarea structurii unor scheme redondante cu criteriul riscului entropic*, a 14-a Conferinta Internationala „Calitate si siguranta in functionare” – CCF 2014, Sinaia, 18-19 sep.2014;
- [12] **Ivan, B.** – *Solutii pentru modelarea si optimizarea riscului de nefunctionare a instalatiilor*, A 47-a Conferinta Nationala de Instalatii, 17-19 octombrie 2012, Sinaia.
- [13] **Ivan, B.** – *Modelarea si optimizarea riscului de nefunctionare a instalatiilor in teoria entropica a sistemelor*, A 47-a Conferinta Nationala de Instalatii, 17-19 octombrie 2012, Sinaia.
- [14] **Ivan, B.** – *Estimarea fiabilitatii sistemelor in instalatii prin metoda Monte Carlo*, Conferinta „Instalatii pentru constructii si economia de energie”, Iasi, 5-6 iulie 2012, EDITURA SOCIETATII ACADEMICE „MATEI-TEIU BOTEZ” ISSN 2069-1211;
- [15] **Ivan, B.** - *Estimarea fiabilitatii unui sistem serie-paralel prin metoda Monte Carlo*, Conferinta „Stiinta moderna si energia”, Cluj-Napoca, 2011
- [16] Ivan, N. – *Consideratii asupra aplicarii modelarii entropice pentru determinarea duratei de functionare pana la defectare a sistemelor de tip “a din n”*, rev. Asigurarea Calitatii, nr 35, 2003.
- [17] Nitu, I. V. – *Fiabilitatea instalatiilor energetice*, Editura tehnica, Bucuresti, 1979.
- [18] Petrescu, E., Voda, Gh. Emil. – *Managementul fiabilitatii*, Editura ASAB, Bucuresti, 2008.

- [19] Stamatiu, A., **Ivan, B.** – *Noi confirmari ale modelarii entropice*, a 14-a Conferinta Internationala „Calitate si siguranta in functionare” – CCF 2014, Sinaia, 18-19 sep.2014;
- [20] Stamatiu, Al. - *Consideratii asupra fiabilitatii instalatiilor redondante cu luarea in considerare a modurilor de defectare ale componentelor*, Sesiunea Stiintifica a SIEAR, 1997.
- [21] Stamatiu, Al. – *Fiabilitatea Instalatiilor*, Editura MatrixRom, Bucuresti, 1998.
- [22] Stamatiu, Al. – *Asupra necesitatii redefinirii cuantei de timp*, The 11th International Conference on Quality and Dependability, Proceedings CCF-2008, Sinaia, 24th – 26th september.
- [23] Stamatiu, Al. – *Entropie si fiabilitate*, Conferinta Facultatii de Instalatii, Universitatea Tehnica de Constructii, Bucuresti, 1999.
- [24] Stamatiu, Al. – *Schimbare si entropie*, Conferinta Nationala de Instalatii, Sinaia, 2000.
- [25] Stamatiu, Al. – *Implicatii ale legii entropiei in analiza fiabilitatii sistemelor*, The 7th International Conference on Quality, Reliability, Maintainability – CCF 2000, Proceedings of CCF 2000 (I), Sinaia, 27th – 29th september.
- [26] Stamatiu, Al., Ivan, N., Badea E. – *Modelarea entropica a unor Lanturi Markov finite*, a VIII-a Conferinta a Facultatii de Instalatii, Bucuresti, 2001.
- [27] Stamatiu, Al., Ivan, N., Badea E. – *Contributii la evaluarea MTTF prin modelul degradarii entropice*, a VIII-a Conferinta a Facultatii de Instalatii, Bucuresti, 2001.
- [28] Stamatiu, Al. – *O problema de matematica foarte veche cu implicatii multiple unele chestiuni fundamentale actuale*, Conferinta Nationala de Instalatii, 2001.
- [29] Stamatiu, Al. – *Entropia maxima – solutii pentru evaluarea schimbarii entropice*, a VIII-a Conferinta a Facultatii de Instalatii, Bucuresti, 2001.
- [30] Stamatiu, Al. – *Considerations on Maximum Entropy*, World Energy Council, Regional Energy Forum, Neptun-Olimp, Romania, 2002.
- [31] Stamatiu, Al., Ivan, N., Badea, E. - *Unele solutii practice pentru analiza fiabilitatii schemelor de instalatii complexe cu componente de înalta fiabilitate* - A IX- a Conferinta a Facultatii de Instalatii, Bucuresti, 2002.
- [32] Stamatiu, Al., Badea, E. – *Aplicatii ale modelarii entropice in fiabilitatea instalatiilor energetice*, a XXXVII-a Conferinta de Instalatii Electrice si Automatizari, Sinaia, 2002.
- [33] Stamatiu, Al., Ivan, N. – *Un nou model entropic pentru analiza sistemelor redondante*, a XXXVII-a Conferinta de Instalatii Electrice si Automatizari, Sinaia, 2002.
- [34] Stamatiu, Al. – *Modele entropice pentru evaluarea fiabilitatii sistemelor*, The 8th International Conference on Quality, Reliability, Maintainability, Proceedings CCF- 2002, Sinaia, 18th – 20th september.
- [35] Stamatiu, Al., Ivan, N., Badea, E. - *Consideratii asupra unor probleme actuale si de perspectiva in domeniul calitatii si fiabilitatii instalatiilor* - A IX- a Conferinta a Facultatii de Instalatii, Bucuresti, 2002.
- [36] Stamatiu, Al., Badea, E., **Ivan, B.**– *O noua teorie a fiabilitatii sistemelor* - Conferinta Internationala "Calitate si Siguranta in Functionare" CCF 2010, Sinaia, 2010.