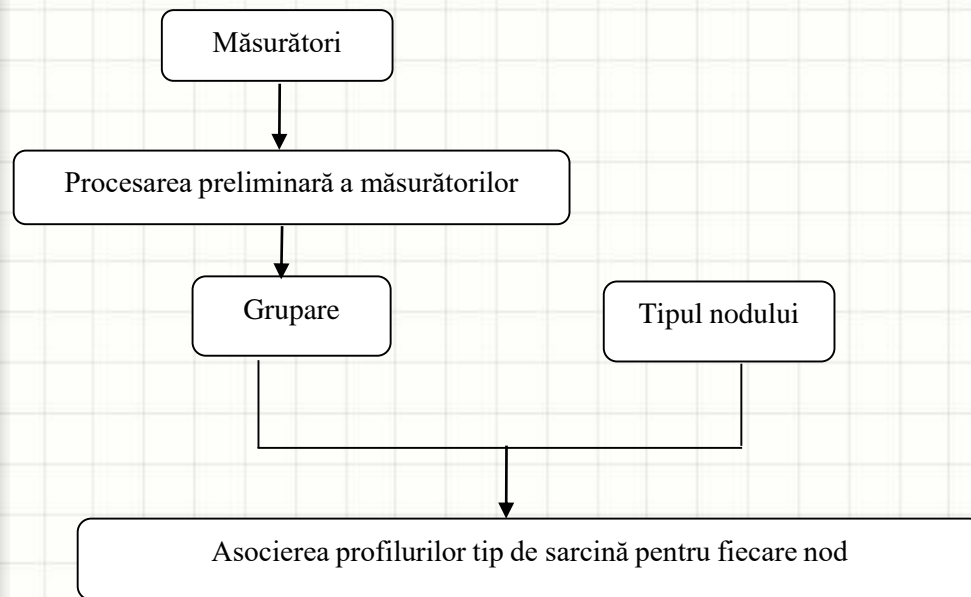




MODELAREA SARCINILOR ÎN REȚELELE ELECTRICE

MODELAREA SARCINILOR ÎN REȚELELE ELECTRICE

1. Profilarea sarcinii



Normalizarea

$$p_i^h = \frac{P_i^h}{\sum_{h=1} P_i^h} \quad i=1, \dots, N$$

Valorile orare ale profilurilor tip

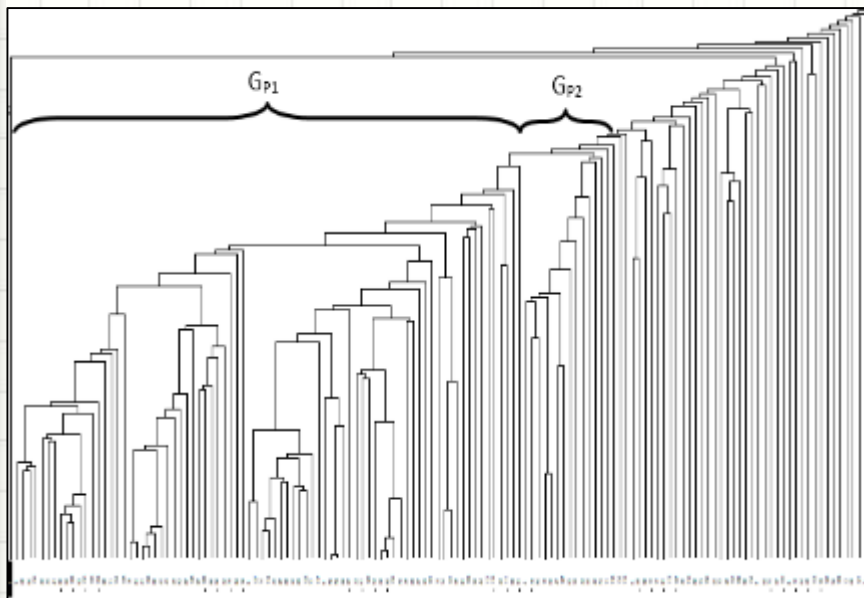
$$m_{C_k}^h = \frac{\sum_{i=1}^{N_{C_k}} p_i^h}{N_{C_k}}; \quad h=1, \dots, 24; \quad k=1, \dots, N_K$$

Organigrama procesului de determinare a profilurilor tip de sarcină

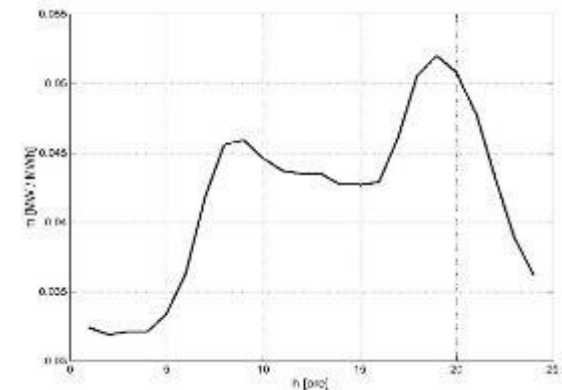
MODELAREA SARCINILOR ÎN REȚELELE ELECTRICE

1. Profilarea sarcinii

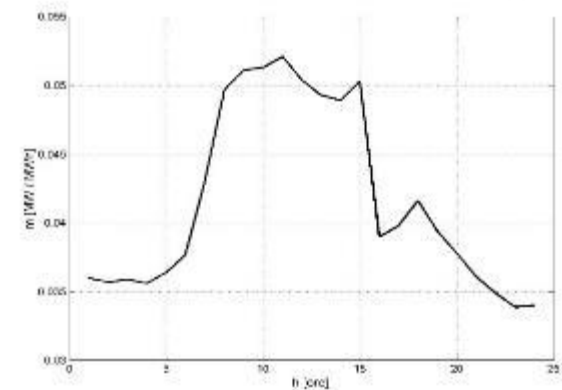
Profilurile tip de sarcină asociate nodurilor din rețelele electrice de 110 kV



Dendrograma procesului de clustering – metoda distanței medii



Profilul tip de sarcină G_{P1}

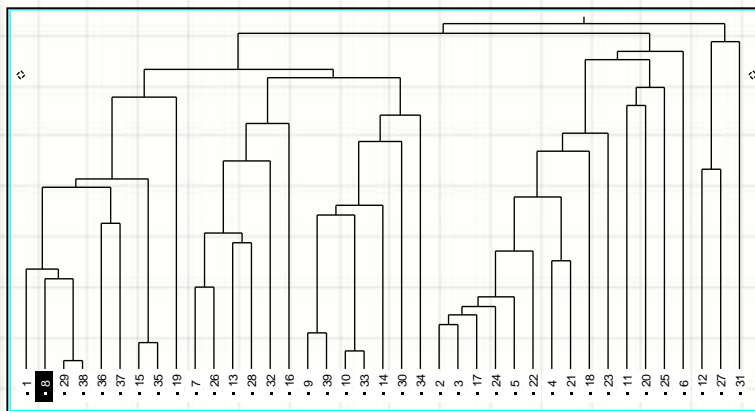


Profilul tip de sarcină G_{P2}

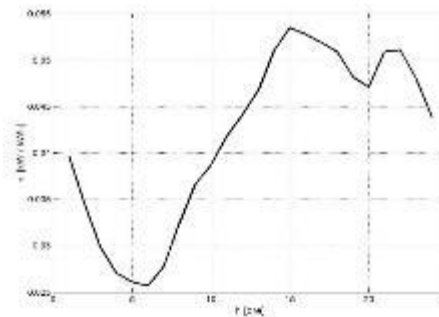
MODELAREA SARCINILOR ÎN REȚELELE ELECTRICE

1. Profilarea sarcinii

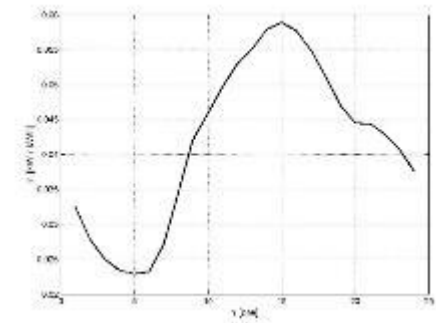
Profilurile tip de sarcină asociate nodurilor din rețelele electrice de 20 kV



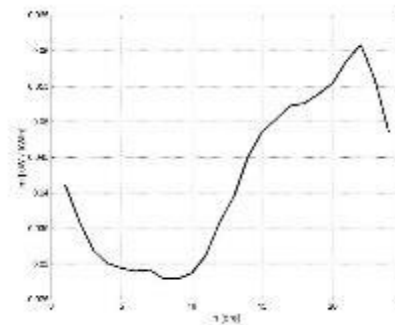
Dendrograma procesului de clustering
– metoda centrului de greutate



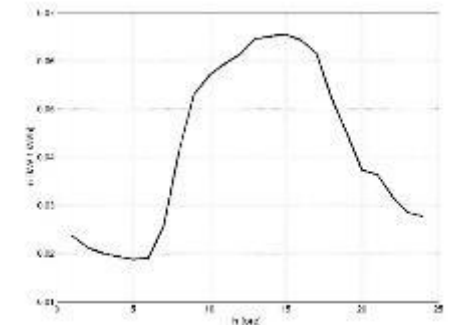
Profilul tip de sarcină G_{p1}



Profilul tip de sarcină G_{p2}



Profilul tip de sarcină G_{p3}



Profilul tip de sarcină G_{p4}

MODELAREA SARCINILOR ÎN REȚELELE ELECTRICE

1. Profilarea sarcinii

Profilurile tip de sarcină asociate consumatorilor de JT

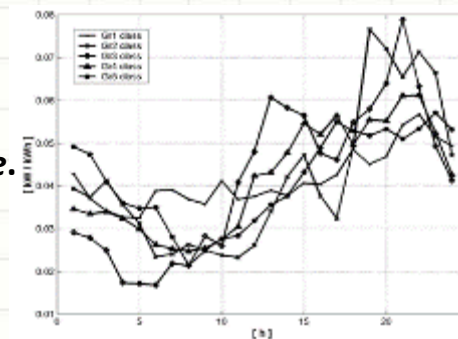
Etapa 1. Analiza sarcinii și formarea bazei de date.

Etapa 2. Preprocesarea datelor.

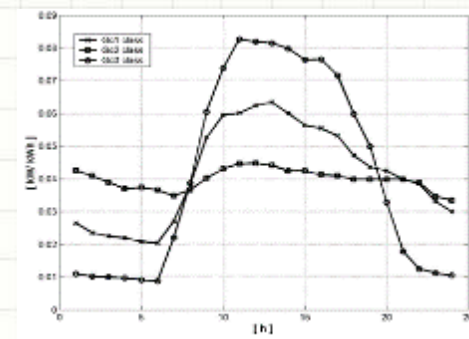
Etapa 3. Divizarea în macro-categorii de consum.

Etapa 4. Procesul de clustering (k-medii).

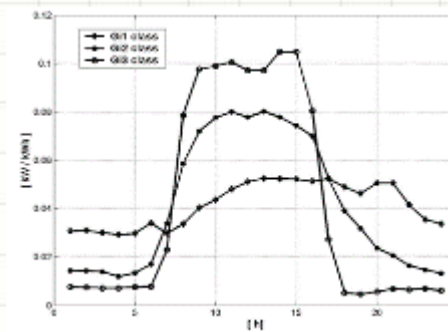
Etapa 5. Atribuirea profilurilor tip de sarcină.



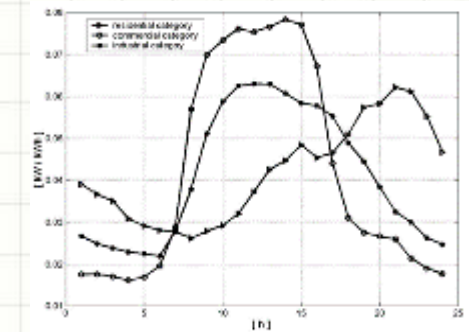
Profilurile tip de sarcină macro-categoria rezidențial



Profilurile tip de sarcină macro-categoria comercial



Profilurile tip de sarcină macro-categoria industrial

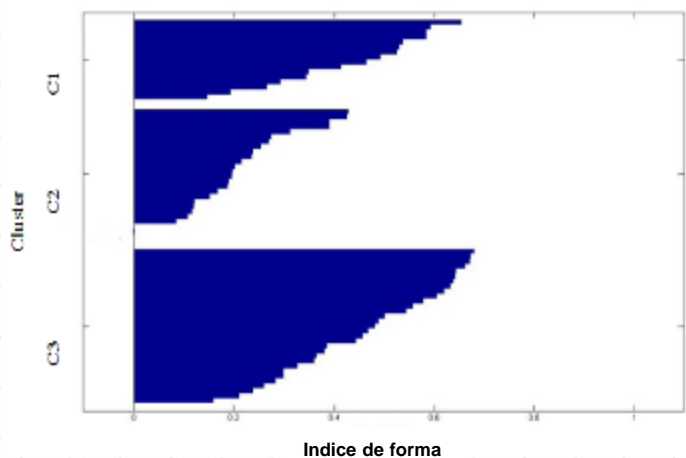


Profilurile tip de sarcină macro-categorii de activitate

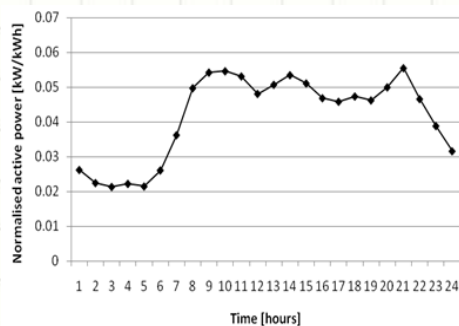
MODELAREA SARCINILOR ÎN REȚELELE ELECTRICE

1. Profilarea sarcinii

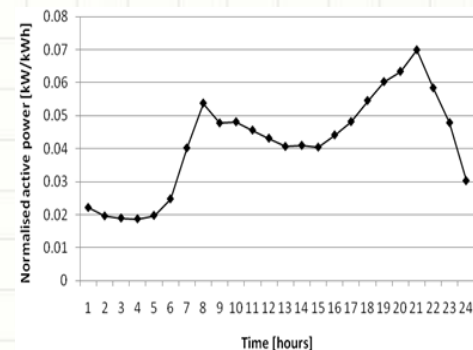
Profilurile tip de sarcină asociate consumatorilor industriali – stații hidrofor



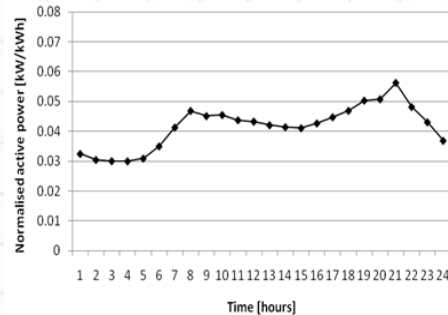
Variația indicelui IFG, cazul $K_{opt} = 3$ (IGF = 0.52)
– metoda K-medii



Profilul tip de sarcină G_{p1}



Profilul tip de sarcină G_{p2}

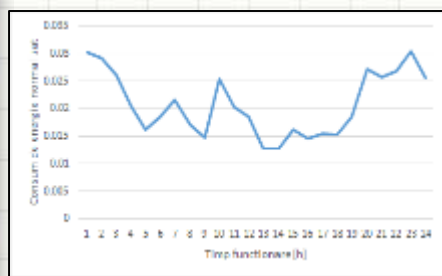


Profilul tip de sarcină G_{p3}

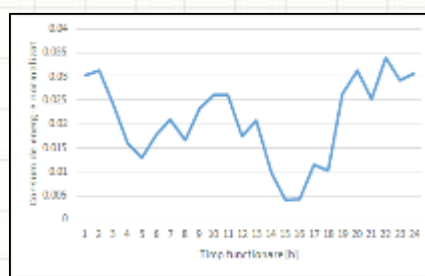
MODELAREA SARCINILOR ÎN REȚELELE ELECTRICE

1. Profilarea sarcinii

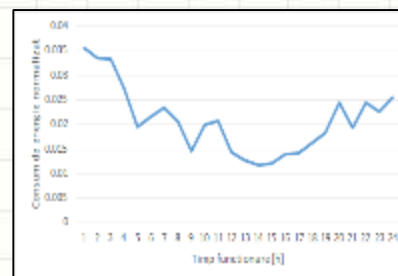
Profilurile tip de sarcină asociate consumatorilor industriali – stații Peco - metoda Ward



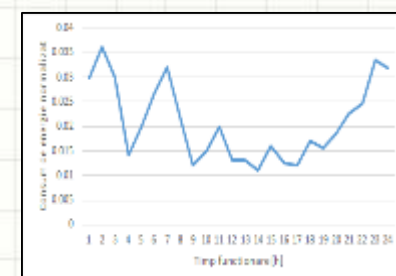
Profilul tip de sarcină G_{P1}



Profilul tip de sarcină G_{P2}

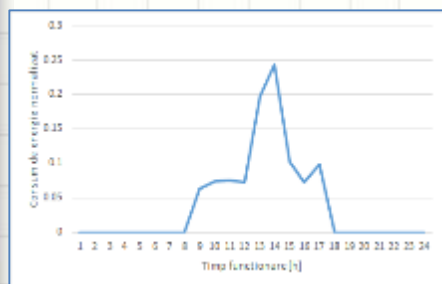


Profilul tip de sarcină G_{P3}

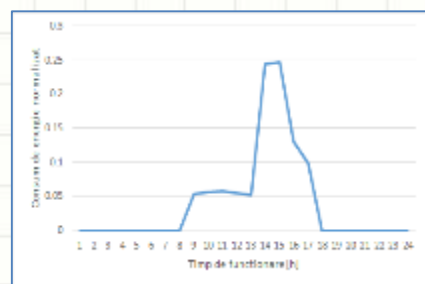


Profilul tip de sarcină G_{P4}

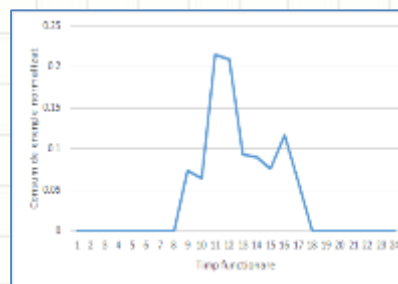
Profilurile tip de sarcină asociate consumatorilor industriali – Sevice Auto - metoda Ward



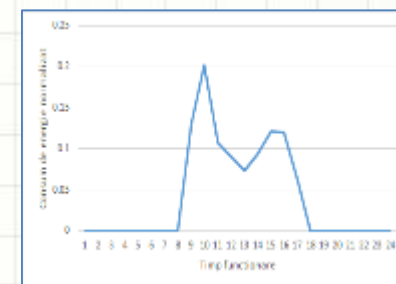
Profilul tip de sarcină G_{P1}



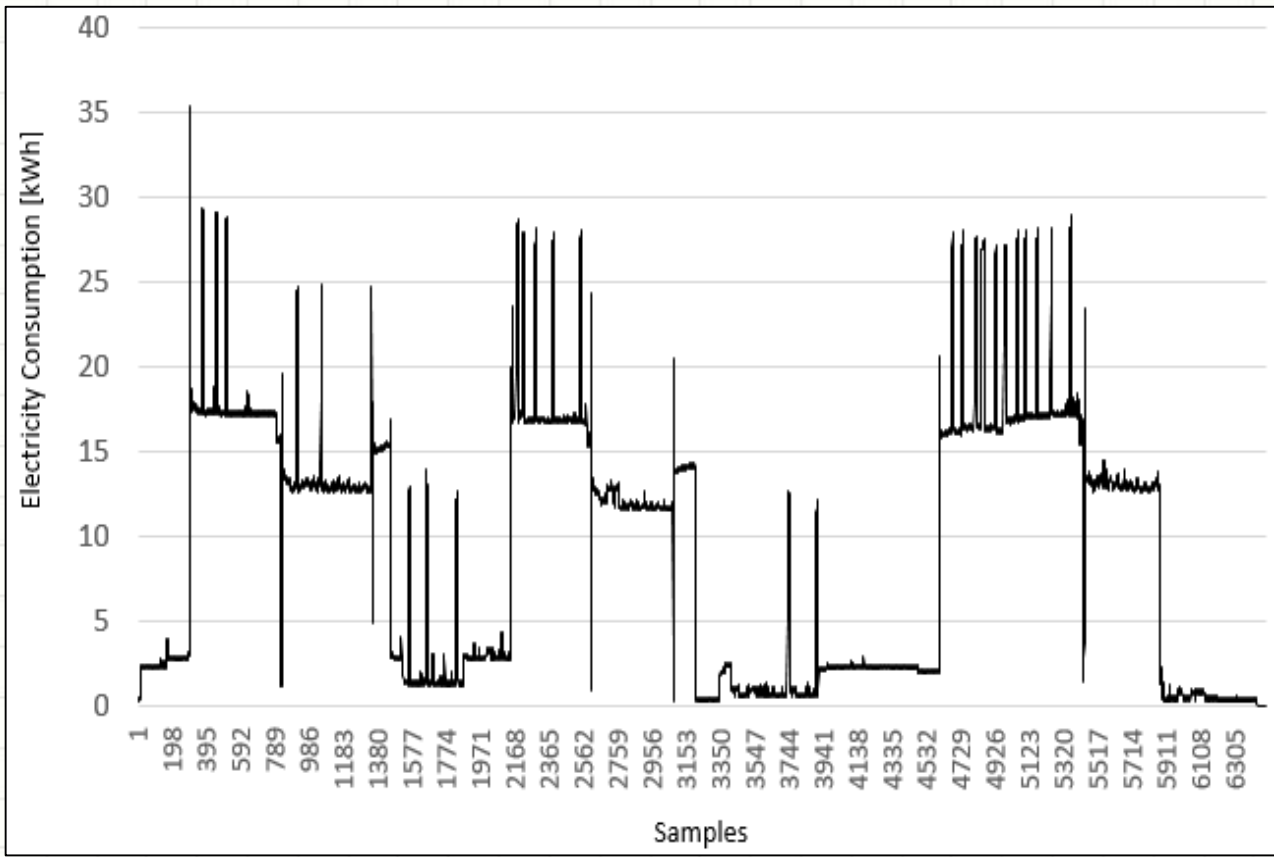
Profilul tip de sarcină G_{P2}

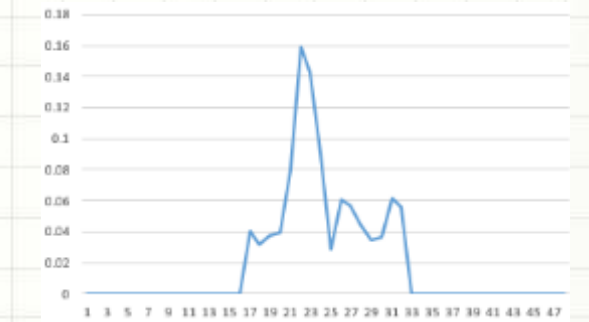
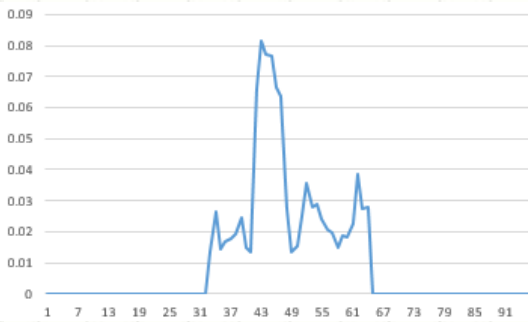
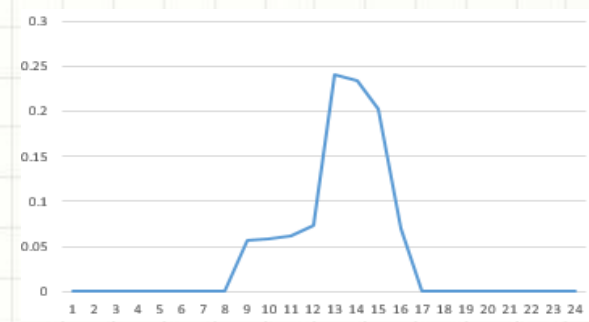
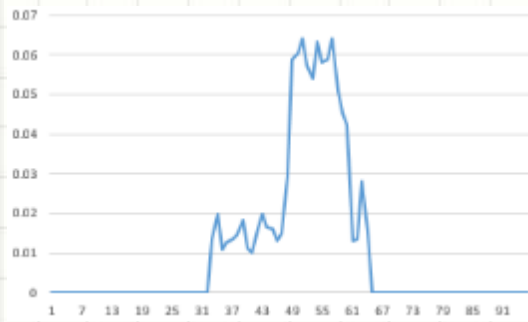


Profilul tip de sarcină G_{P3}



Profilul tip de sarcină G_{P4}

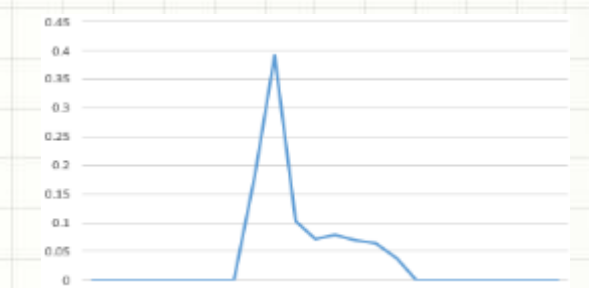
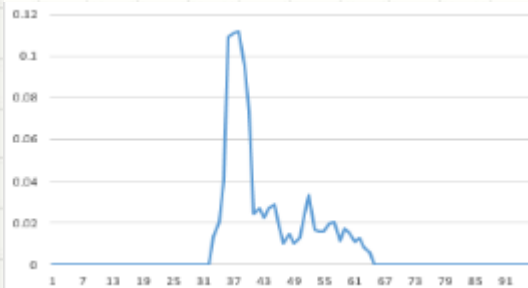
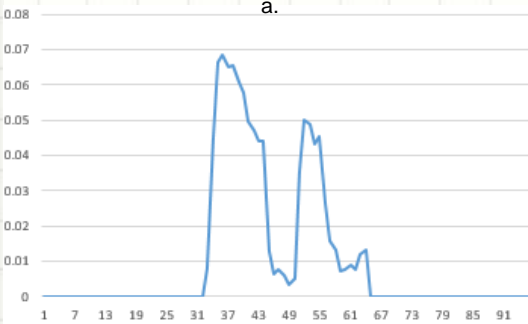




a.

b.

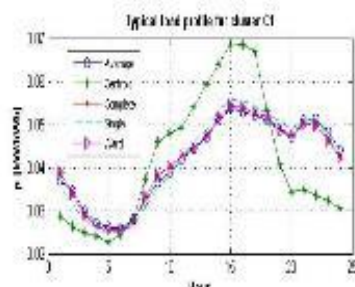
c.



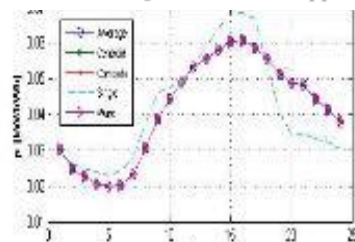
MODELAREA SARCINILOR ÎN REȚELELE ELECTRICE

1. Profilarea sarcinii

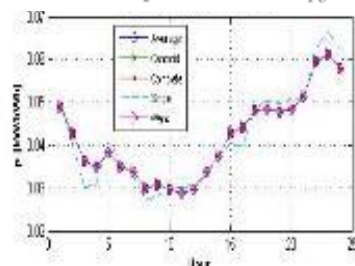
Eficiența tehnicilor de clustering în profilarea sarcinii



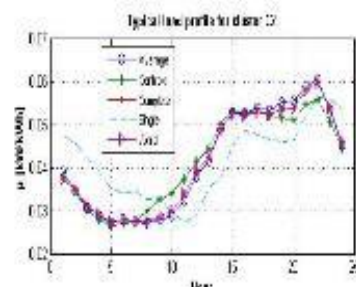
Profilul tip de sarcină G_{P1}



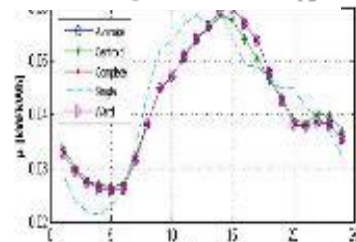
Profilul tip de sarcină G_{P3}



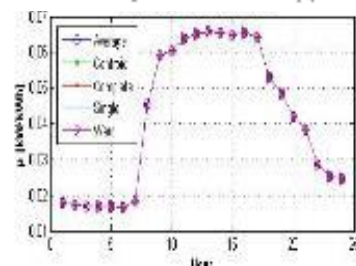
Profilul tip de sarcină G_{P5}



Profilul tip de sarcină G_{P2}



Profilul tip de sarcină G_{P4}



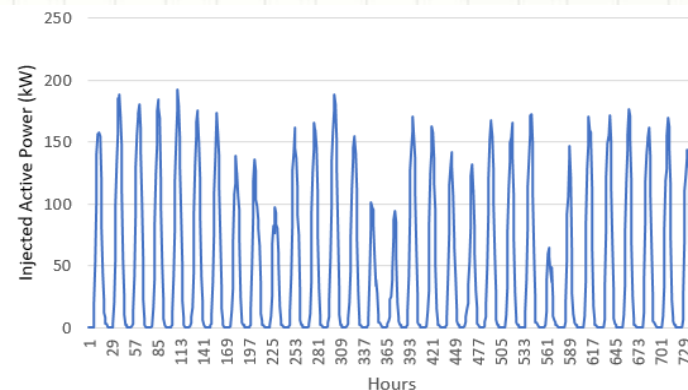
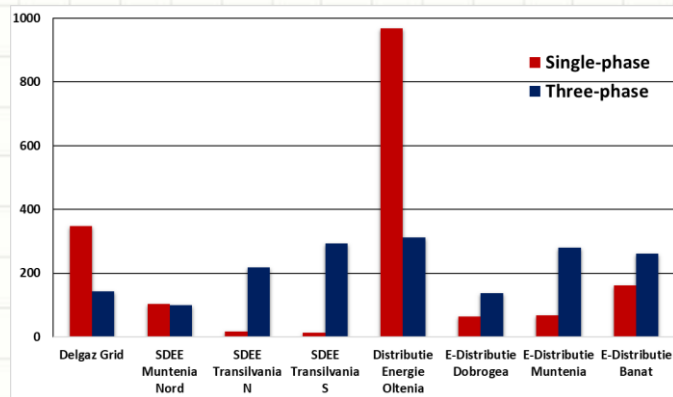
Profilul tip de sarcină G_{P6}

Caracteristicile clusterelor și valorile coeficienților de calitate

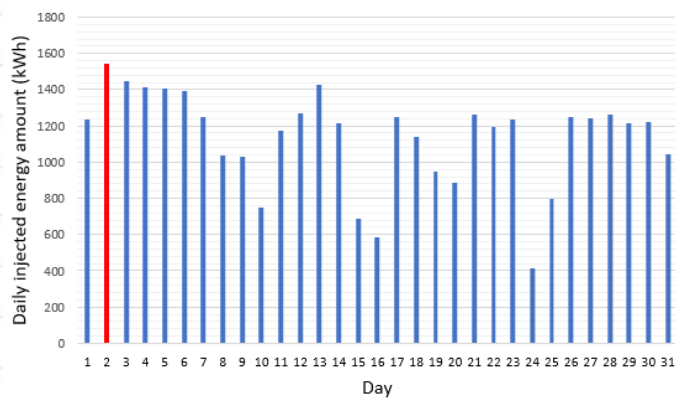
Metoda	C1	C2	C3	C4	C5	C6	CC	IGF
Distanța medie	9	8	8	5	2	2	0.743	0.45
Centrul de greutate	1	17	8	4	2	2	0.739	0.43
Distanța maximă	7	10	8	5	2	2	0.683	0.41
Distanța minimă	28	1	1	1	1	2	0.600	0.12
Ward	7	10	8	5	2	2	0.740	0.44

MODELAREA SARCINILOR ÎN REȚELELE ELECTRICE

1. Profilarea prosumatorilor – analiza datelor de intrare

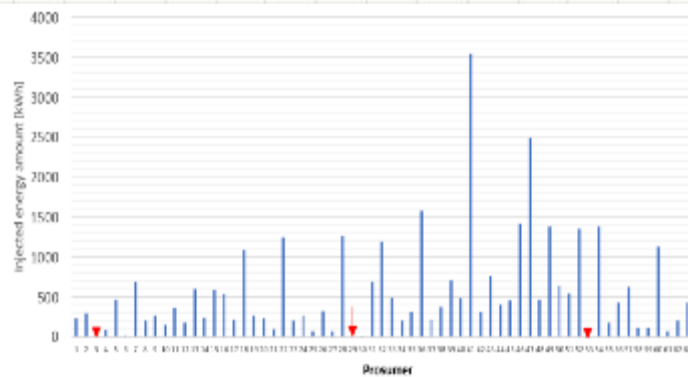


Numarul prosumatorilor din Romania repartizati pe OD



Energia zilnica injectata de prosumatori , interval de analiza – 1 luna

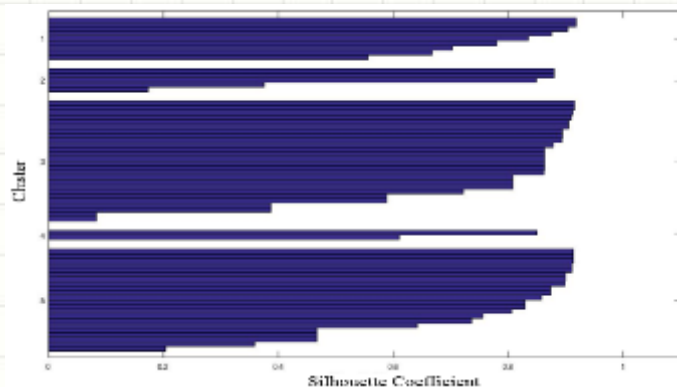
Variatia orara a injectiilor de putere timp de o luna, 64 prosumatori



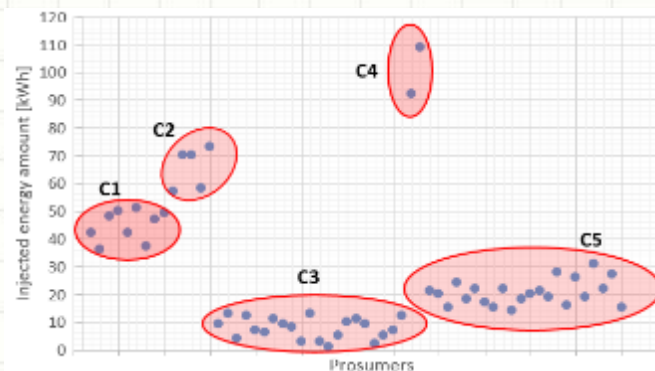
Energia zilnica injectata de fiecare prosumator interval de analiza – 1 luna

MODELAREA SARCINILOR ÎN REȚELELE ELECTRICE

1. Profilarea prosumatorilor – procesul de profilare



Coefficientul de silueta asociat procesului de clusterizare folosind K-Medii, $K_{opt} = 5$



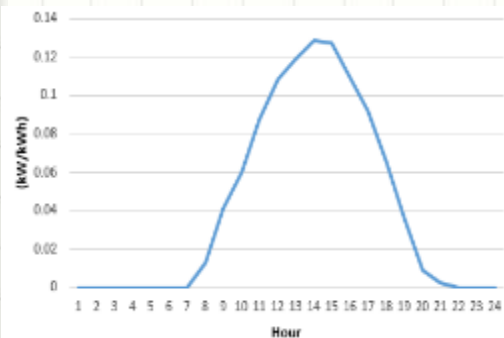
Reprezentarea clusterelor obtinute in procesul de clusterizare bazat pe energia injectata

Indicatorii statistici asociati clusterelor

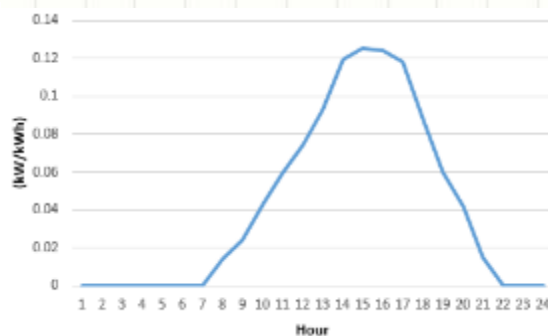
Indicator statistic	C1	C2	C3	C4	C5
Număr prosumatori	9	5	23	2	22
Media [kWh]	44.7	65.6	7.3	100.5	20.5
Dispersia [kWh]	5.60	7.50	4.0	12.00	4.60
Gradul de confidență [%]	12.6	11.4	54.9	11.9	22.4
Valoarea minimă [kWh]	36	57	1	92	14
Valoarea maximă [kWh]	51	73	13	109	31

MODELAREA SARCINILOR ÎN REȚELELE ELECTRICE

1. Profilarea prosumatorilor – procesul de profilare



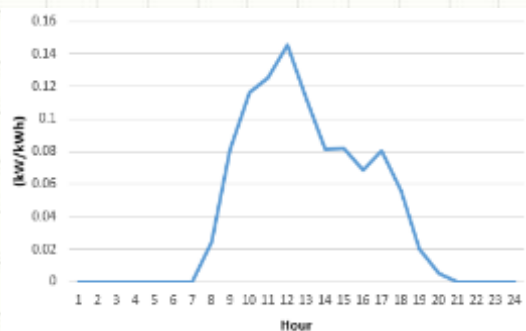
Profilul injectiei de putere – clusterul C1



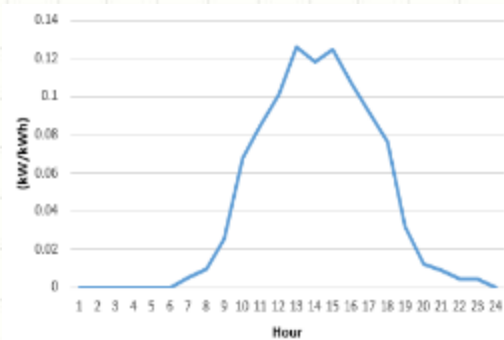
Profilul injectiei de putere – clusterul C2



Profilul injectiei de putere – clusterul C3



Profilul injectiei de putere – clusterul C4



Profilul injectiei de putere – clusterul C5

MODELAREA SARCINILOR ÎN REȚELELE ELECTRICE

1. Profilarea sarcinii

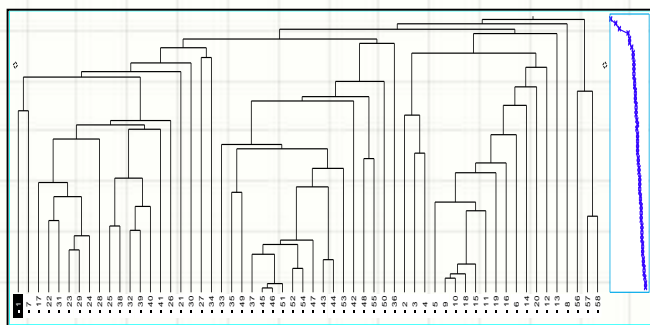
Tratarea datelor lipsă (missing data) din profilurile de sarcină

Ipoteze:

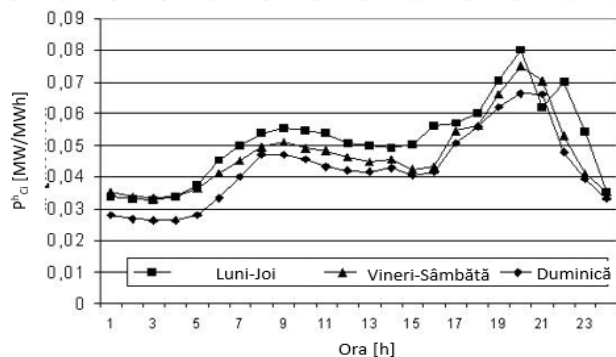
Cazul I - 3 valori lipsă consecutive;

Cazul II - 5 valori lipsă consecutive;

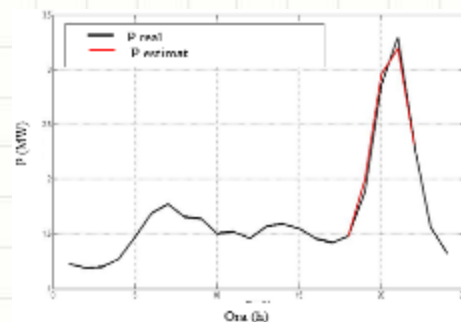
Cazul III - 9 valori lipsă consecutive.



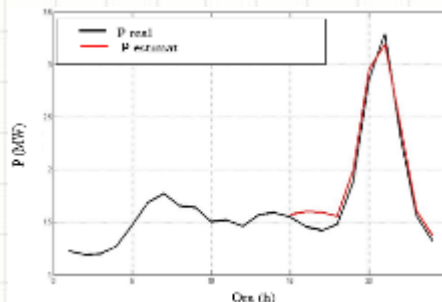
Dendrograma procesului de clustering – metoda centrului de greutate



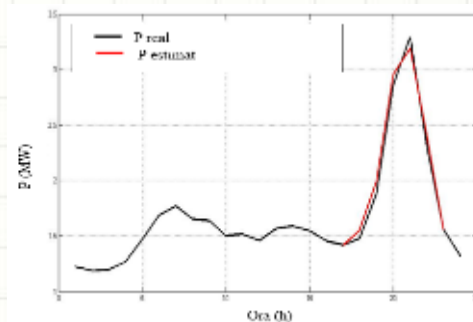
Profilurile tip de sarcină asociate stației electrice analizate



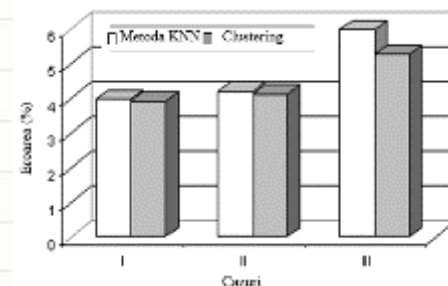
Sarcina reală și estimată (cazul I – 3 valori lipsă)



Sarcina reală și estimată (cazul III – 9 valori lipsă)



Sarcina reală și estimată (cazul II – 6 valori lipsă)



Comparație între erorile obținute între metoda KNN și clustering

MODELAREA SARCINILOR ÎN REȚELELE ELECTRICE

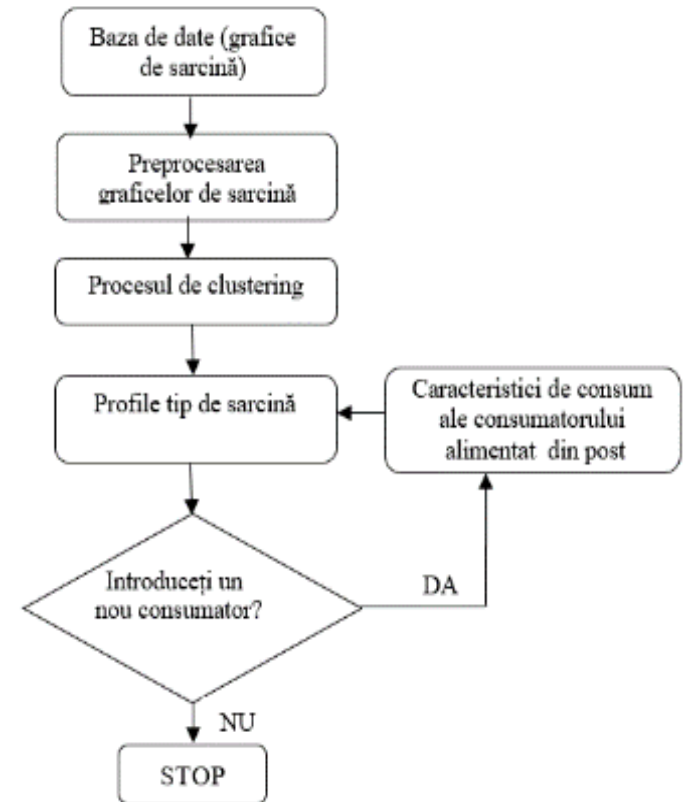
2. Simularea încărcării rețelelor de distribuție

Simularea încărcării transformatoarelor de distribuție MT/JT

Date de intrare:

1. numărul consumatorilor racordați la fiecare transformator;
2. categoria de care aparține fiecare consumator;
3. consumul de energie anual al fiecărui consumator;
4. graficele tip de sarcină corespunzătoare fiecărei categorii de consumatori;
5. algoritmi capabili să estimeze încărcarea transformatoarelor.

$$P^h = \sum_{k=1}^{C_k} n_k W_{med k} P_k^h + \sqrt{\sum_{k=1}^{C_k} n_k (W_{med k} \sigma_k^h)^2}, \quad h = 1, \dots, 24 [kW]$$



Organigrama algoritmului de determinare a profilurilor tip de sarcină în cazul consumatorilor de JT rezidențiali și non-rezidențiali

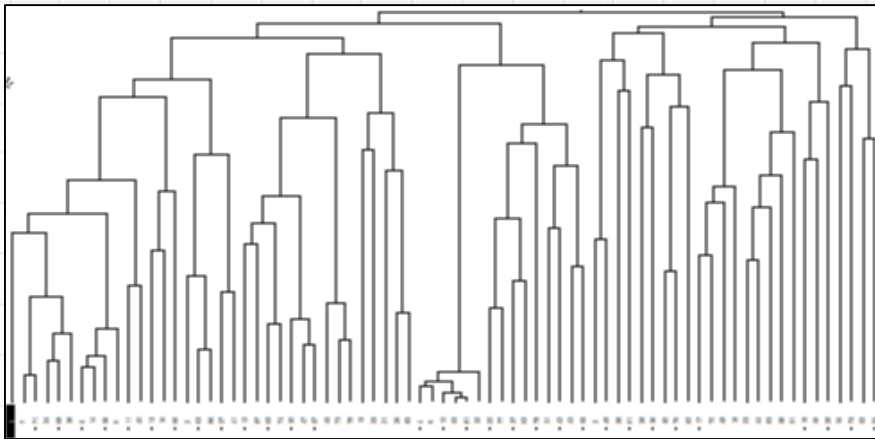
MODELAREA SARCINILOR ÎN REȚELELE ELECTRICE

2. Simularea încărcării rețelelor de distribuție

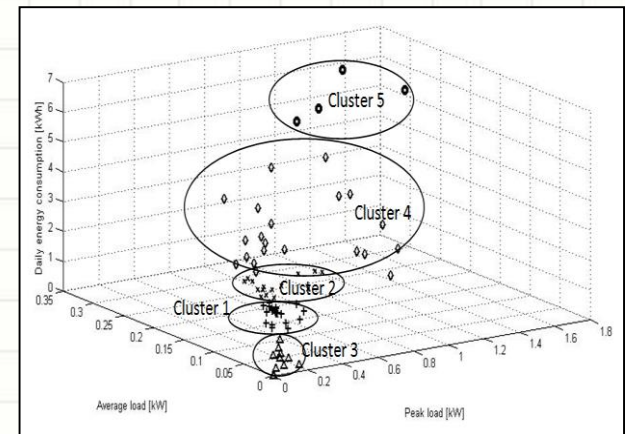
Simularea încărcării transformatoarelor de distribuție MT/JT

Consumatori sunt monitorizați prin intermediul contoarele inteligente.

Gruparea consumatorilor: energia zilnică (W_z), puterile activă minimă (P_{min}) și puterea activă maximă (P_{max}) și categoria de consum.



Dendrograma procesului de clustering - metoda centrului de greutate



Reprezentarea clusterelor

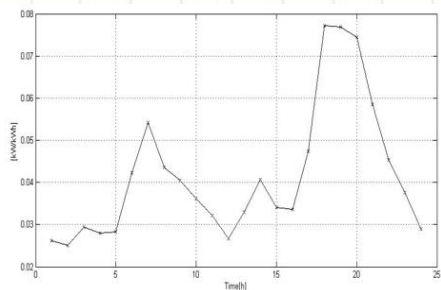
Caracteristicile categoriilor de consum

Categoria	Număr consumatori	P_{max} [kW]		P_{min} [kW]		W_z [kWh]	
		m	σ	m	σ	m	σ
C1	13	0,239	0,050	0,095	0,027	3,522	0,911
C2	6	0,703	0,088	0,032	0,031	4,445	1,306
C3	19	0,366	0,119	0,046	0,017	3,879	0,745
C4	35	0,060	0,052	0,001	0,003	0,436	0,454
C5	76	0,183	0,051	0,021	0,017	1,825	0,531

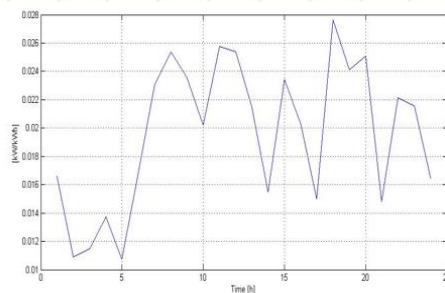
MODELAREA SARCINILOR ÎN REȚELELE ELECTRICE

2. Simularea încărcării rețelelor de distribuție

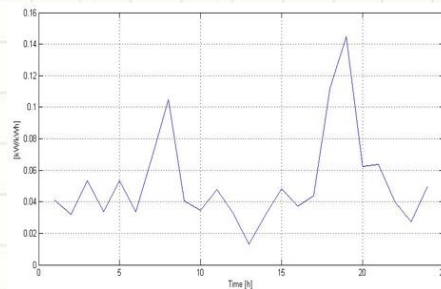
Simularea încărcării transformatoarelor de distribuție MT/JT



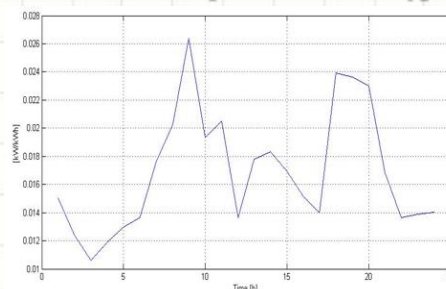
Profilul tip de sarcină G_{P1}



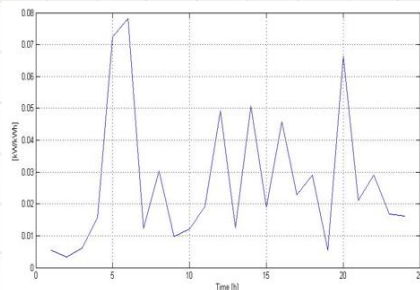
Profilul tip de sarcină G_{P2}



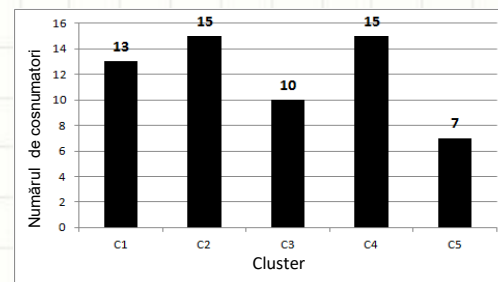
Profilul tip de sarcină G_{P3}



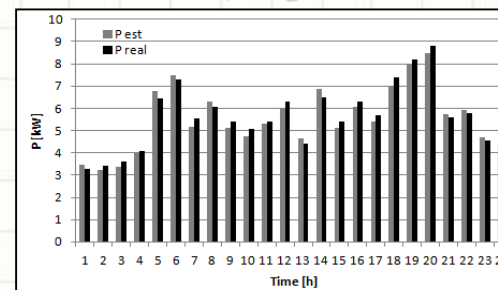
Profilul tip de sarcină G_{P4}



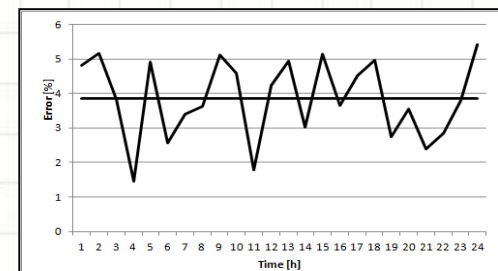
Profilul tip de sarcină G_{P5}



Asocierea consumatorilor din baza test la cluster (categorie de consum)



Valorile orare reale și estimate ale puterii active din postul de transformare analizat



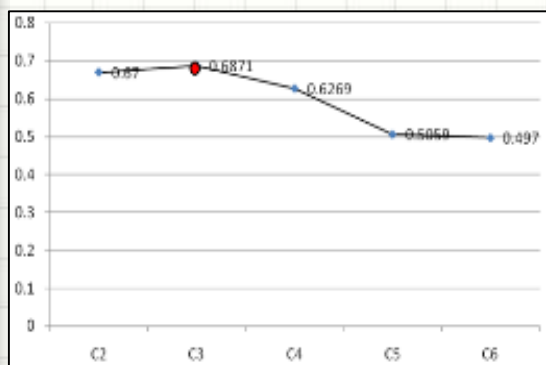
Erorile de estimare (Eroarea medie 3.8 %)

MODELAREA SARCINILOR ÎN REȚELELE ELECTRICE

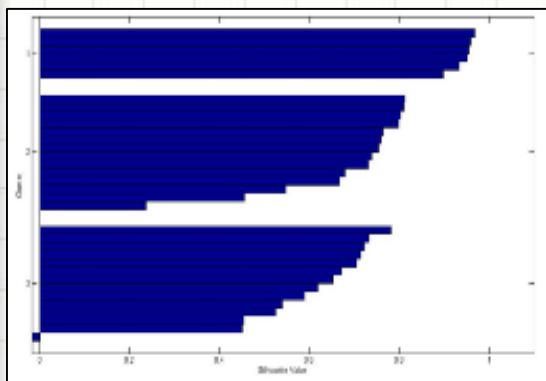
2. Simularea încărcării rețelelor de distribuție

Simularea încărcării transformatoarelor de distribuție IT/MT

Date de intrare: profilurilor tip de sarcină asociate nodurilor (posturilor de transformare) din rețeaua de distribuție de MT alimentată din stația IT/MT.

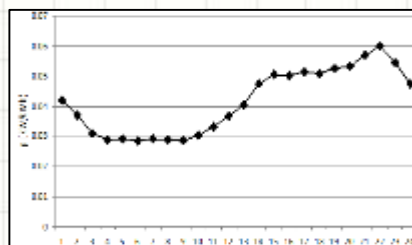


Valorile indexului global de formă

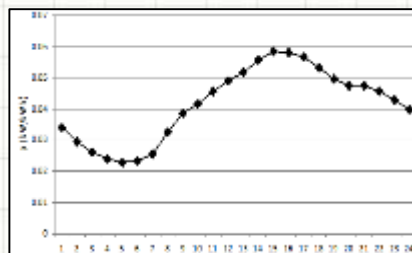


Graficul de formă al clusterelor pentru soluție optimă $K_{optim} = 3$

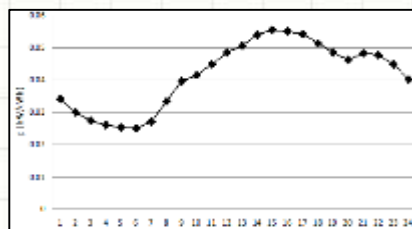
PROCES DE CLUSTERING



Profilul tip de sarcină G_{P1}

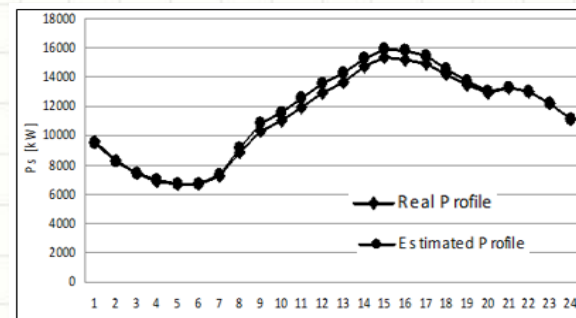


Profilul tip de sarcină G_{P2}



Profilul tip de sarcină G_{P3}

PROFILURI TIP DE SARCINA



Valorile orare reale și prognozate ale puterii active din stația electrică analizată
(valoare medie a erorii 2.35 %)

Ora	P_{real} [kW]	P_{est} [kW]	Eroarea [%]	Ora	P_{real} [kW]	P_{est} [kW]	Eroarea [%]
1	9543.20	9518.06	0.26	13	13662.10	14300.07	4.67
2	8304.30	8255.41	0.59	14	14702.00	15278.61	3.92
3	7432.00	7458.48	0.36	15	15345.20	15907.99	3.67
4	6897.50	6935.51	0.55	16	15234.50	15793.66	3.67
5	6669.60	6677.66	0.12	17	14969.20	15470.06	3.35
6	6703.50	6727.30	0.36	18	14227.60	14598.58	2.61
7	7273.10	7343.84	0.97	19	13491.50	13710.13	1.62
8	8824.00	9155.61	3.76	20	12928.30	13037.30	0.84
9	10314.90	10876.01	5.44	21	13264.40	13328.44	0.48
10	11019.80	11608.21	5.34	22	13047.60	12991.86	0.43
11	11982.20	12609.39	5.23	23	12222.80	12204.47	0.15
12	12933.70	13594.56	5.11	24	11098.60	11118.06	0.18



Metode de regresie în estimarea sarcinilor din rețelele electrice de distribuție

INTRODUCERE

Cunoașterea sarcinii din noduri reprezintă baza pentru estimarea stării sistemului și pentru calculele tehnice și economice. Aceasta face posibilă îmbunătățirea exploatarei și planificării sistemelor de distribuție.

METODE DE ESTIMARE

Pentru estimarea sarcinilor din nodurile rețelelor electrice de distribuție s-au dezvoltat diferite metode și formulări matematice.

- 1. Metode de regresie**
- 2. Metode bazate pe simulare**
- 3. Metode bazate pe tehnici de Inteligență Artificială (Rețele neuronele artificiale, tehnici de clustering etc.)**

ANALIZA DE REGRESIE ȘI CORELAȚIE

Metodele de regresie permit măsurarea și studierea relației care există între două sau mai multe variabile, precum și descoperirea legăturilor dintre variabile.

Prin intermediul acestora se încearcă, pe baza datelor, să se estimeze o relație matematică dintre două sau mai multe variabile, adică să se estimeze valorile unei variabile în funcție de valorile celorlalte variabile.

Analiza de corelație măsoară intensitatea legăturii dintre variabile. După forma modelului de regresie, corelația poate fi tratată ca o corelație simplă sau ca o corelație multiplă.

ANALIZA DE REGRESIE ȘI CORELAȚIE

Modelele de regresie au ca scop reprezentarea alurii distribuției a două variabile corelate. Prin curbele de regresie se prezintă corespondența între perechi de valori (x_i, y_i).

Legătura între două variabile, variabila dependentă (y) și variabila independentă (x) se poate exprima printr-o funcție de regresie:

$$y_x = f(x) + e \quad (1)$$

unde:

$f(x)$ – este o funcție de variabila x , definită în sensul analizei matematice;

e – eroarea de aproximare.

ANALIZA DE REGRESIE ȘI CORELAȚIE

Metoda se bazează pe modelul regresiei liniare.

Scopul metodei este de a obține un model al dependenței dintre o variabilă y și una sau mai multe variabile x .

$$y = \beta_0 + \sum_{j=0}^k \beta_j x_j + e \quad (2)$$

unde:

y - variabila dependentă (informația lipsă);

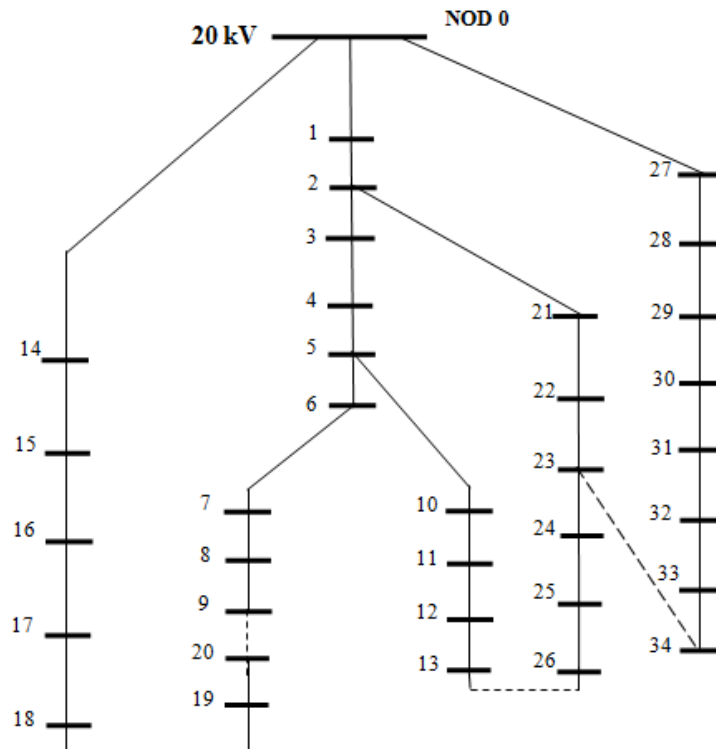
x_i - variabilele independente (regresorii);

β_0 - termenul constant;

β_j - coeficienții de regresie.

METODA DE ESTIMARE A SARCINILOR BAZATĂ PE METODA DE REGRESIE

Metoda regresiei liniare a fost folosită pentru estimarea sarcinii din nodurile unui sistem de distribuție cu 34 noduri când toate nodurile sistemului sunt monitorizate cu ajutorul unui echipament de măsură.



Schema rețelei de distribuție (20 kV) analizată

METODA DE ESTIMARE A SARCINILOR BAZATĂ PE METODA DE REGRESIE

Metoda implică o analiză de regresie a tuturor măsurătorilor provenite de la echipamentele de măsură din sistem pentru estimarea sarcinilor din noduri.

- 1. Determinarea matricei coeficienților de corelație dintre seturile de informații care corespund măsurării puterii active pe un interval de 24 h din fiecare nod.**
- 2. Determinarea numărului de regresori .**
- 3. Estimarea valorilor din nodurile sistemului folosind relația (2).**
- 4. Determinarea erorilor de estimare.**

REZULTATE

Matricea de corelație

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
1	1.00	0.94	0.95	0.93	0.54	0.94	0.81	0.80	0.78	0.93	0.81	0.82	0.46	0.93	0.90	0.70	0.87	0.92	0.91	0.66	0.66	0.44	0.69	0.94	0.86	0.57	0.43	0.88	0.67	0.93	0.79	0.89	0.96	0.74
2	0.94	1.00	0.98	0.91	0.28	0.84	0.67	0.61	0.62	0.96	0.62	0.62	0.22	0.91	0.88	0.83	0.96	0.91	0.93	0.77	0.41	0.21	0.46	0.85	0.71	0.32	0.20	0.74	0.49	0.78	0.67	0.79	0.88	0.58
3	0.95	0.98	1.00	0.86	0.30	0.88	0.72	0.68	0.66	0.96	0.66	0.65	0.33	0.95	0.89	0.77	0.96	0.93	0.97	0.76	0.47	0.28	0.50	0.89	0.74	0.35	0.28	0.79	0.57	0.78	0.76	0.83	0.91	0.64
4	0.93	0.91	0.86	1.00	0.49	0.82	0.71	0.69	0.68	0.85	0.70	0.74	0.28	0.79	0.76	0.70	0.87	0.87	0.82	0.60	0.53	0.34	0.62	0.84	0.80	0.55	0.33	0.81	0.56	0.88	0.60	0.80	0.86	0.63
5	0.54	0.28	0.30	0.49	1.00	0.66	0.82	0.85	0.85	0.24	0.89	0.89	0.85	0.39	0.36	-0.14	0.16	0.41	0.35	-0.16	0.93	0.91	0.94	0.62	0.81	0.97	0.90	0.78	0.84	0.76	0.68	0.72	0.56	0.85
6	0.94	0.84	0.88	0.82	0.66	1.00	0.91	0.92	0.89	0.83	0.90	0.90	0.67	0.92	0.85	0.51	0.77	0.85	0.90	0.52	0.79	0.65	0.80	0.96	0.91	0.70	0.64	0.95	0.84	0.93	0.91	0.94	0.94	0.87
7	0.81	0.67	0.72	0.71	0.82	0.91	1.00	0.97	1.00	0.63	0.96	0.90	0.84	0.78	0.67	0.19	0.60	0.76	0.77	0.21	0.89	0.85	0.90	0.91	0.96	0.85	0.84	0.96	0.95	0.86	0.94	0.95	0.86	0.98
8	0.80	0.61	0.68	0.69	0.85	0.92	0.97	1.00	0.98	0.60	0.96	0.95	0.88	0.76	0.63	0.17	0.55	0.72	0.74	0.19	0.93	0.88	0.95	0.90	0.95	0.89	0.87	0.98	0.96	0.88	0.93	0.93	0.85	0.97
9	0.78	0.62	0.66	0.68	0.85	0.89	1.00	0.98	1.00	0.58	0.96	0.91	0.87	0.73	0.63	0.13	0.55	0.72	0.72	0.14	0.91	0.88	0.93	0.88	0.96	0.88	0.87	0.96	0.96	0.85	0.92	0.94	0.83	0.98
10	0.93	0.96	0.96	0.85	0.24	0.83	0.63	0.60	0.58	1.00	0.60	0.62	0.24	0.89	0.88	0.83	0.92	0.89	0.91	0.77	0.42	0.20	0.44	0.87	0.69	0.29	0.19	0.71	0.48	0.77	0.66	0.76	0.91	0.54
11	0.81	0.62	0.66	0.70	0.89	0.90	0.96	0.96	0.96	0.60	1.00	0.96	0.84	0.73	0.71	0.20	0.51	0.69	0.69	0.23	0.95	0.83	0.95	0.88	0.95	0.88	0.82	0.94	0.90	0.91	0.89	0.91	0.84	0.95
12	0.82	0.62	0.65	0.74	0.89	0.90	0.90	0.95	0.91	0.62	0.96	1.00	0.79	0.69	0.65	0.26	0.51	0.68	0.67	0.22	0.92	0.82	0.94	0.88	0.94	0.90	0.81	0.94	0.89	0.95	0.82	0.89	0.85	0.90
13	0.46	0.22	0.33	0.28	0.85	0.67	0.84	0.88	0.87	0.24	0.84	0.79	1.00	0.48	0.34	-0.27	0.15	0.42	0.42	-0.18	0.91	0.96	0.88	0.64	0.75	0.86	0.96	0.77	0.91	0.60	0.83	0.73	0.56	0.89
14	0.93	0.91	0.95	0.79	0.39	0.92	0.78	0.76	0.73	0.89	0.73	0.69	0.48	1.00	0.90	0.65	0.88	0.92	0.97	0.71	0.57	0.39	0.60	0.88	0.77	0.43	0.38	0.83	0.64	0.79	0.86	0.85	0.89	0.72
15	0.90	0.88	0.89	0.76	0.36	0.85	0.67	0.63	0.63	0.88	0.71	0.65	0.34	0.90	1.00	0.72	0.80	0.83	0.85	0.77	0.52	0.25	0.53	0.81	0.69	0.33	0.24	0.71	0.47	0.79	0.73	0.74	0.84	0.59
16	0.70	0.83	0.77	0.70	-0.14	0.51	0.19	0.17	0.13	0.83	0.20	0.26	-0.27	0.65	0.72	1.00	0.80	0.62	0.68	0.88	-0.02	-0.27	0.03	0.51	0.30	-0.10	-0.29	0.33	0.02	0.51	0.23	0.37	0.60	0.07
17	0.87	0.96	0.96	0.87	0.16	0.77	0.60	0.55	0.55	0.92	0.51	0.51	0.15	0.88	0.80	0.80	1.00	0.88	0.93	0.79	0.28	0.15	0.36	0.79	0.65	0.25	0.14	0.69	0.46	0.69	0.62	0.73	0.82	0.51
18	0.92	0.91	0.93	0.87	0.41	0.85	0.76	0.72	0.72	0.89	0.69	0.68	0.42	0.92	0.83	0.62	0.88	1.00	0.91	0.60	0.53	0.37	0.60	0.86	0.75	0.46	0.36	0.81	0.60	0.79	0.77	0.84	0.86	0.68
19	0.91	0.93	0.97	0.82	0.35	0.90	0.77	0.74	0.72	0.91	0.69	0.67	0.42	0.97	0.85	0.68	0.93	0.91	1.00	0.70	0.50	0.37	0.56	0.90	0.78	0.42	0.37	0.83	0.64	0.77	0.82	0.85	0.91	0.71
20	0.66	0.77	0.76	0.60	-0.16	0.52	0.21	0.19	0.14	0.77	0.23	0.22	-0.18	0.71	0.77	0.88	0.79	0.60	0.70	1.00	-0.01	-0.26	0.04	0.50	0.30	-0.15	-0.26	0.34	0.03	0.46	0.32	0.36	0.58	0.12
21	0.66	0.41	0.47	0.53	0.93	0.79	0.89	0.93	0.91	0.42	0.95	0.92	0.91	0.57	0.52	-0.02	0.28	0.53	0.50	-0.01	1.00	0.90	0.96	0.77	0.87	0.91	0.90	0.86	0.89	0.80	0.82	0.80	0.72	0.92
22	0.44	0.21	0.28	0.34	0.91	0.65	0.85	0.88	0.88	0.20	0.83	0.82	0.96	0.39	0.25	-0.27	0.15	0.37	0.37	-0.26	0.90	1.00	0.88	0.63	0.78	0.93	1.00	0.78	0.94	0.63	0.75	0.74	0.54	0.89
23	0.69	0.46	0.50	0.62	0.94	0.80	0.90	0.95	0.93	0.44	0.95	0.94	0.88	0.60	0.53	0.03	0.36	0.60	0.56	0.04	0.96	0.88	1.00	0.77	0.90	0.95	0.87	0.90	0.89	0.84	0.80	0.81	0.72	0.91
24	0.94	0.85	0.89	0.84	0.62	0.96	0.91	0.90	0.88	0.87	0.88	0.88	0.64	0.88	0.81	0.51	0.79	0.86	0.90	0.50	0.77	0.63	0.77	1.00	0.94	0.67	0.62	0.94	0.82	0.91	0.88	0.94	0.99	0.86
25	0.86	0.71	0.74	0.80	0.81	0.91	0.96	0.95	0.96	0.69	0.95	0.94	0.75	0.77	0.69	0.30	0.65	0.75	0.78	0.30	0.87	0.78	0.90	0.94	1.00	0.84	0.77	0.97	0.90	0.92	0.87	0.94	0.91	0.94
26	0.57	0.32	0.35	0.55	0.97	0.70	0.85	0.89	0.88	0.29	0.88	0.90	0.86	0.43	0.33	-0.10	0.25	0.46	0.42	-0.15	0.91	0.93	0.95	0.67	0.84	1.00	0.93	0.84	0.90	0.78	0.70	0.76	0.61	0.87
27	0.43	0.20	0.28	0.33	0.90	0.64	0.84	0.87	0.87	0.19	0.82	0.81	0.96	0.38	0.24	-0.29	0.14	0.36	0.37	-0.26	0.90	1.00	0.87	0.62	0.77	0.93	1.00	0.77	0.94	0.62	0.75	0.73	0.53	0.89
28	0.88	0.74	0.79	0.81	0.78	0.95	0.96	0.98	0.96	0.71	0.94	0.94	0.77	0.83	0.71	0.33	0.69	0.81	0.83	0.34	0.86	0.78	0.90	0.94	0.97	0.84	0.77	1.00	0.92	0.92	0.91	0.96	0.91	0.95
29	0.67	0.49	0.57	0.56	0.84	0.84	0.95	0.96	0.96	0.48	0.90	0.89	0.91	0.64	0.47	0.02	0.46	0.60	0.64	0.03	0.89	0.94	0.89	0.82	0.90	0.90	0.94	0.92	1.00	0.78	0.89	0.89	0.75	0.96
30	0.93	0.78	0.78	0.88	0.76	0.93	0.86	0.88	0.85	0.77	0.91	0.95	0.60	0.79	0.79	0.51	0.69	0.79	0.77	0.46	0.80	0.63	0.84	0.91	0.92	0.78	0.62	0.92	0.78	1.00	0.77	0.89	0.90	0.81
31	0.79	0.67	0.76	0.60	0.68	0.91	0.94	0.93	0.92	0.66	0.89	0.82	0.83	0.86	0.73	0.23	0.62	0.77	0.82	0.32	0.82	0.75	0.80	0.88	0.87	0.70	0.75	0.91	0.89	0.77	1.00	0.92	0.84	0.93
32	0.89	0.79	0.83	0.80	0.72	0.94	0.95	0.93	0.94	0.76	0.91	0.89	0.73	0.85	0.74	0.37	0.73	0.84	0.85	0.36	0.80	0.74	0.81	0.94	0.94	0.76	0.73	0.96	0.89	0.89	0.92	1.00	0.91	0.93
33	0.96	0.88	0.91	0.86	0.56	0.94	0.86	0.85	0.83	0.91	0.84	0.85	0.56	0.89	0.84	0.60	0.82	0.86	0.91	0.58	0.72	0.54	0.72	0.99	0.91	0.61	0.53	0.91	0.75	0.90	0.84	0.91	1.00	0.81
34	0.74	0.58	0.64	0.63	0.85	0.87	0.98	0.97	0.98	0.54	0.95	0.90	0.89	0.72	0.59	0.07	0.51	0.68	0.71	0.12	0.92	0.89	0.91	0.86	0.94	0.87	0.89	0.95	0.96	0.81	0.93	0.93	0.81	1.00

Metode de regresie în estimarea sarcinilor din rețelele electrice de distribuție

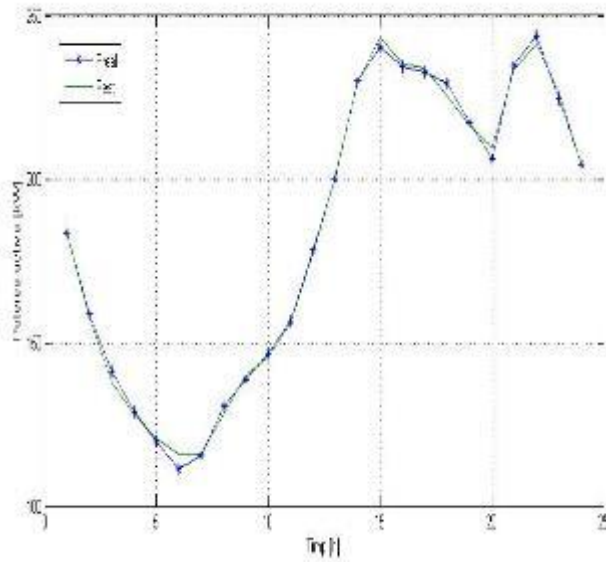
Numarul de regresori pentru fiecare nod,
in functie de pragul ales (coeficientul de corelatie)

Noduri	Coeficienti de corelatie					
	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95
1	12	11	10	7	5	1
2	8	8	5	4	4	3
3	8	8	7	6	6	5
4	3	3	3	3	2	2
5	5	4	3	3	2	1
6	12	9	7	5	4	1
7	13	10	9	9	8	7
8	13	13	12	11	9	6
9	12	12	10	9	8	8
10	6	5	3	2	2	2
11	11	10	9	9	9	6
12	10	8	7	6	4	2
13	4	3	2	2	2	2
14	7	5	4	2	2	2
15	5	5	5	3	3	2
16	4	3	3	1	1	1
17	4	4	3	3	2	2
18	7	6	6	5	3	2
19	9	6	4	3	2	2
20	8	6	6	6	6	2
21	10	7	5	4	2	1
22	6	5	4	4	3	2
23	9	8	7	6	5	2
24	8	6	6	6	5	2
25	12	10	10	9	8	4
26	5	4	4	3	2	1
27	5	4	4	3	3	2
28	14	14	10	10	9	5
29	8	8	6	6	6	3
30	8	6	4	2	1	1
31	7	6	5	2	2	2
32	11	10	9	8	4	2
33	10	6	3	3	3	2
34	12	11	9	9	7	4

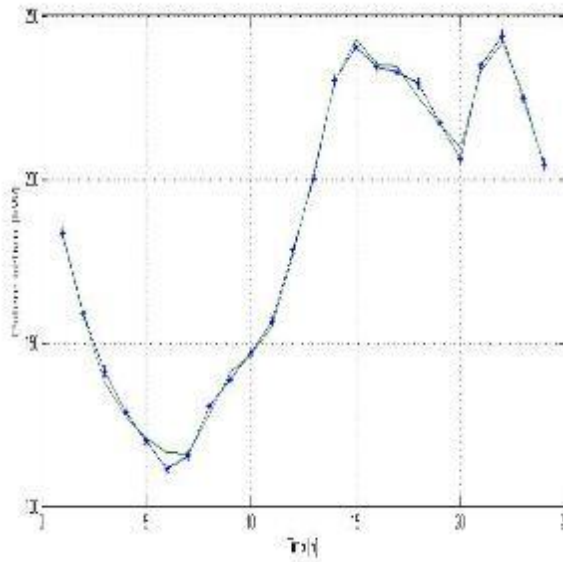
Erorile medii de estimare pentru fiecare nod,
in functie de pragul ales (coeficientul de corelatie)

	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95
1	0.97	1.03	1.53	1.82	2.38	6.21
2	2.66	2.70	2.89	3.61	3.61	4.26
3	3.24	3.24	3.21	3.21	3.21	3.21
4	10.33	9.12	9.12	9.12	10.33	10.33
5	3.62	4.23	4.55	4.55	5.11	5.50
6	2.76	2.88	3.13	4.60	4.60	5.30
7	1.37	1.44	1.75	1.75	1.99	2.14
8	1.44	1.44	1.40	2.06	2.64	4.05
9	1.76	1.76	1.84	2.26	2.52	2.52
10	7.05	7.99	7.87	8.22	8.22	8.22
11	3.50	3.73	4.57	4.57	4.57	4.93
12	1.57	2.09	2.14	2.65	3.52	3.58
13	7.41	8.05	8.31	8.31	8.31	8.31
14	4.31	5.00	5.26	6.04	6.04	6.04
15	6.28	6.28	6.28	6.36	6.36	6.45
16	7.11	7.20	7.20	8.19	8.19	8.19
17	6.21	6.21	6.69	6.69	7.07	7.07
18	7.29	7.62	7.62	7.50	7.58	8.27
19	3.04	4.27	4.44	4.51	4.72	4.72
20	7.81	7.85	7.85	7.85	7.85	10.60
21	3.02	4.02	4.11	4.00	4.14	5.00
22	0.46	0.50	0.50	0.50	0.91	0.96
23	3.86	3.89	4.00	4.42	4.53	6.39
24	1.81	1.88	1.88	1.88	1.94	2.47
25	4.04	5.26	5.26	5.24	4.97	7.89
26	4.81	5.27	5.27	5.47	7.75	9.88
27	0.55	0.54	0.54	1.01	1.01	1.05
28	2.25	2.25	2.86	2.86	3.35	4.12
29	2.58	2.58	3.61	3.61	3.61	7.60
30	2.13	2.69	2.76	3.21	5.84	5.84
31	5.35	5.46	5.93	6.62	6.62	6.62
32	3.72	3.80	3.73	3.74	4.28	4.26
33	2.05	2.23	2.65	2.65	2.65	2.93
34	2.24	2.32	3.02	3.02	3.24	3.32

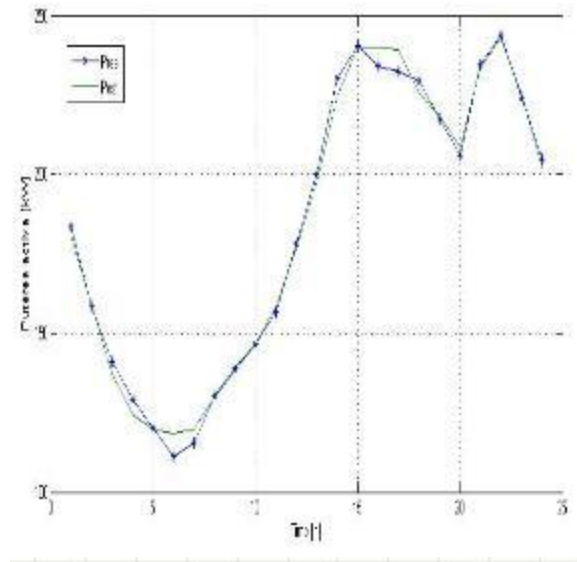
Metode de regresie în estimarea sarcinilor din rețelele electrice de distribuție



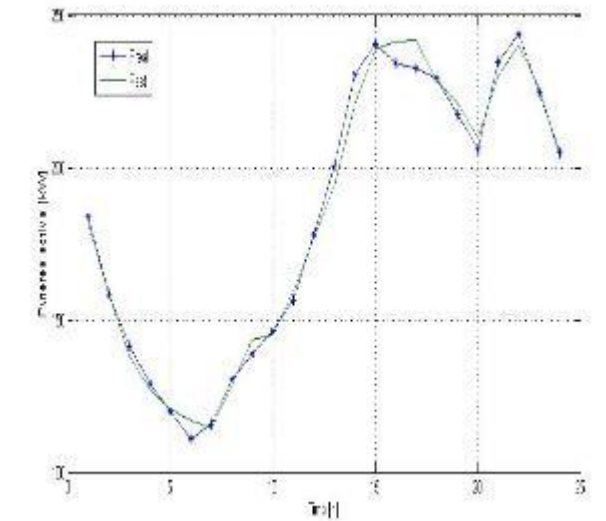
Estimarea sarcinii din nodul 1
(Ccor > 0.90 (12 regresori), Err = 0.97 %)



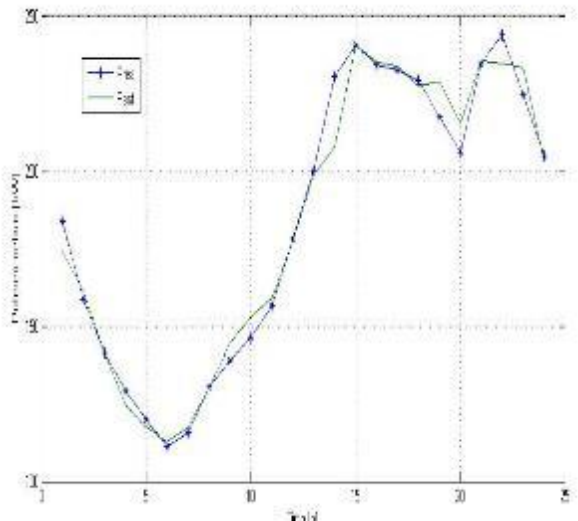
Estimarea sarcinii din nodul 1
(Ccor > 0.91 (11 regresori) Err = 1.03 %)



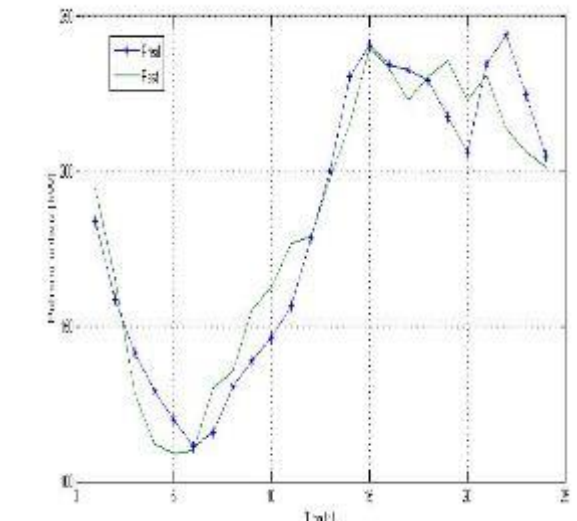
Estimarea sarcinii din nodul 1
(Ccor > 0.92 (10 regresori), Err = 1.53 %)



Estimarea sarcinii din nodul 1
(Ccor > 0.93 (7 regresori), Err = 1.82 %)

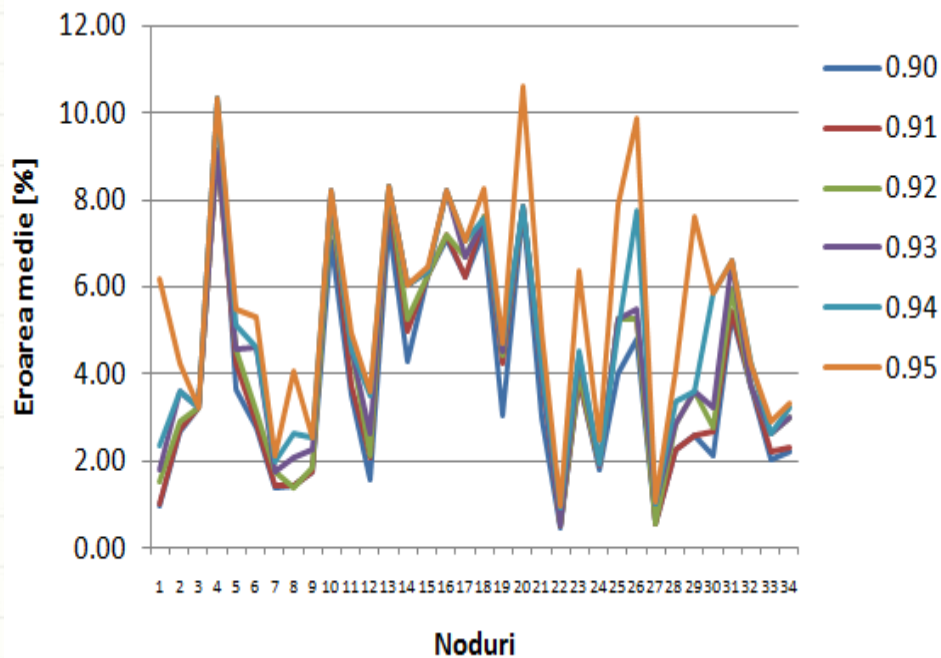


Estimarea sarcinii din nodul 1
(Ccor > 0.94 (5 regresori), Err = 2.38 %)



Estimarea sarcinii din nodul 1
(Ccor > 0.95 (1 regresor), Err = 6.21 %)

Metode de regresie în estimarea sarcinilor din rețelele electrice de distribuție



**Erorile medii de estimare în nodurile rețelei analizate,
în funcție de prag (coeficientul de corelație)**

1. INTRODUCERE

Importanța cunoașterii vârfului de sarcină

Cunoașterea sarcinii, în particular a sarcinii de vârf, reprezintă baza pentru estimarea stării sistemului și pentru calculele tehnice și economice. Aceasta face posibilă îmbunătățirea exploatarei și planificării sistemelor de distribuție.

Metode de estimare

Pentru estimarea sarcinii de vârf a consumatorilor din rețelele electrice de distribuție s-au dezvoltat diferite metode și formulări matematice. Cea mai mare parte a metodelor propuse folosesc dependența dintre puterea la vârful de sarcină și energia consumată lunar/anual.

1. Metoda factorilor de diversitate și conversie
2. Metode de regresie
3. Metoda bazată pe simulare
4. Metode bazate pe tehnici ale inteligenței artificiale (fuzzy, RNA, etc.)

2. TEHNICI DE CLUSTERING

Tehnicile de clustering reprezintă tehnici speciale de aranjare a datelor de intrare pe baza dispunerii spațiale a vectorilor corespunzători.

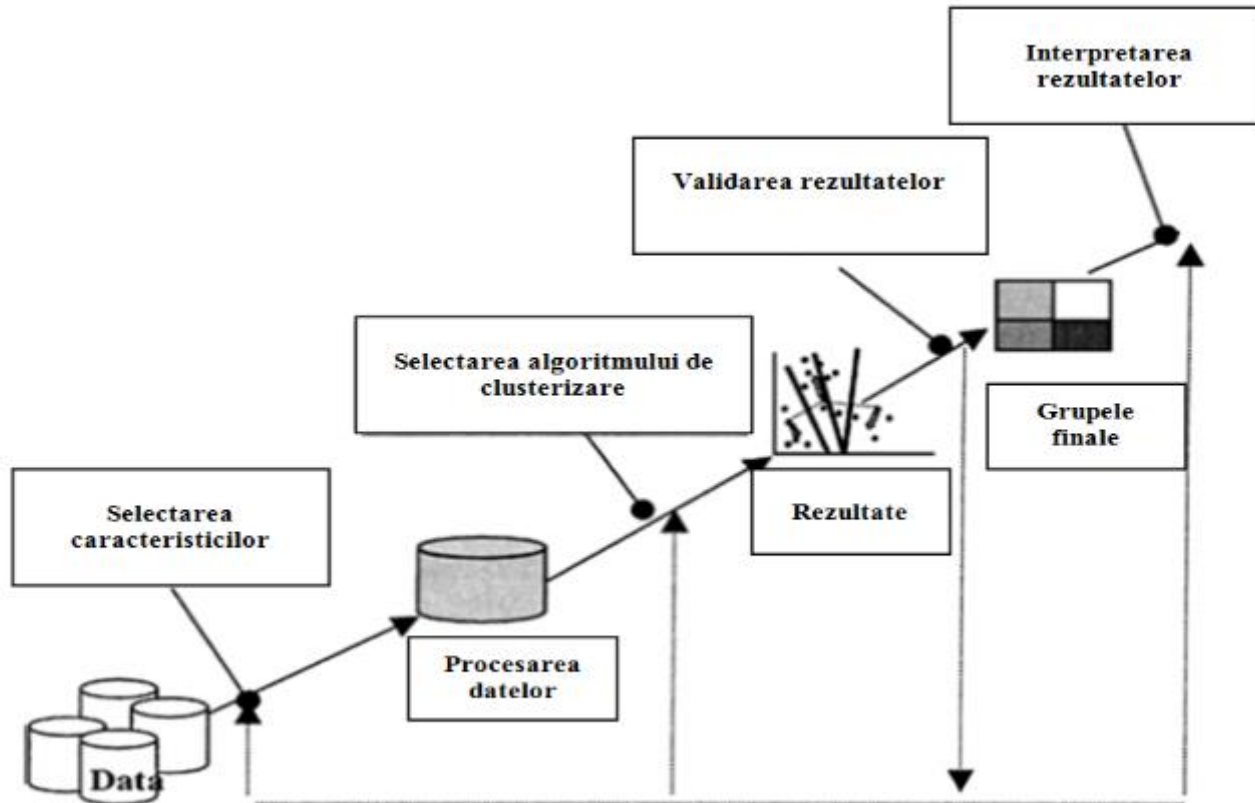


Fig. 1. Etapele procesului de clustering

2. TEHNICI DE CLUSTERING

Pasul 1. Se alege valoarea inițială K a numărului de clustere și centrele acestora;

$$z_1^{(0)}, z_2^{(0)}, \dots, z_K^{(0)};$$

Pasul 2. Se distribuie elementele analizate x între clustere stabilite pe baza unui număr de iterații utilizând relația:

$$x \in C_i^{(k)} \text{ dacă } d(x, z_i^{(k)}) < d(x, z_j^{(k)}) \quad i = 1, 2, \dots, K; \quad i \neq j$$

unde: $C_i^{(k)}$ definește clusterul i cu elementele grupate în jurul centrului $z_i^{(k)}$,

k fiind numărul corespunzător al iterației.

Pasul 3. Pentru fiecare iterație se recalculează noul centru al clusterului $z_i^{(k+1)}$, $i = 1, 2, \dots, K$ (clustere), pentru iterația $k+1$. Noul centru este dat de relația:

$$z_i^{(k+1)} = \frac{1}{n_i} \sum_{x \in C_i^{(k)}} x, \quad i = 1, 2, \dots, K$$

unde n_i este numărul de elemente al clusterului $C_i^{(k)}$.

Pasul 4. Se repetă pașii 2 și 3 până la atingerea scopului propus. Acest fapt are loc când în cadrul iterației nu are loc o relocare a unui element într-un alt cluster și valoarea funcției obiectiv nu mai comportă minimizări semnificative.

Fig. 2. Algoritmul metodei k-medii

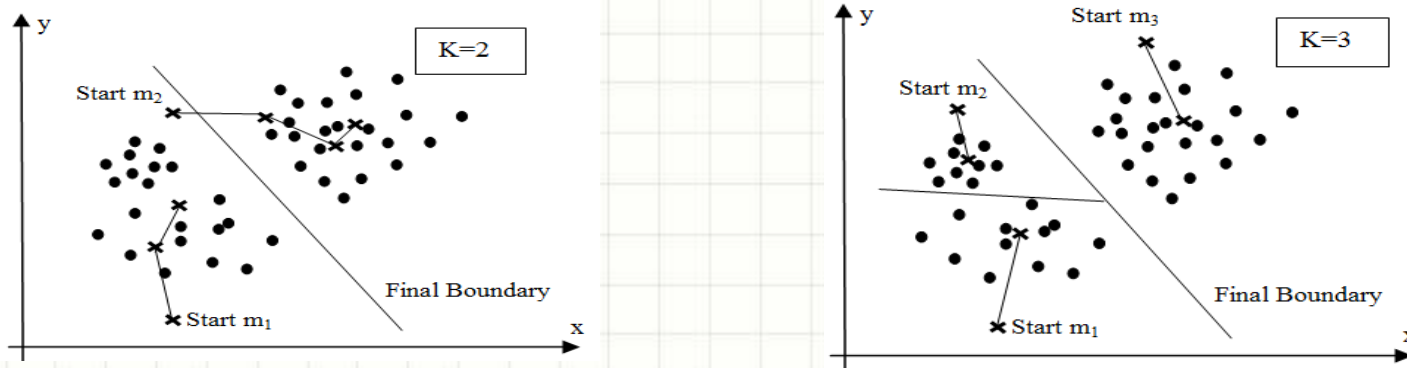
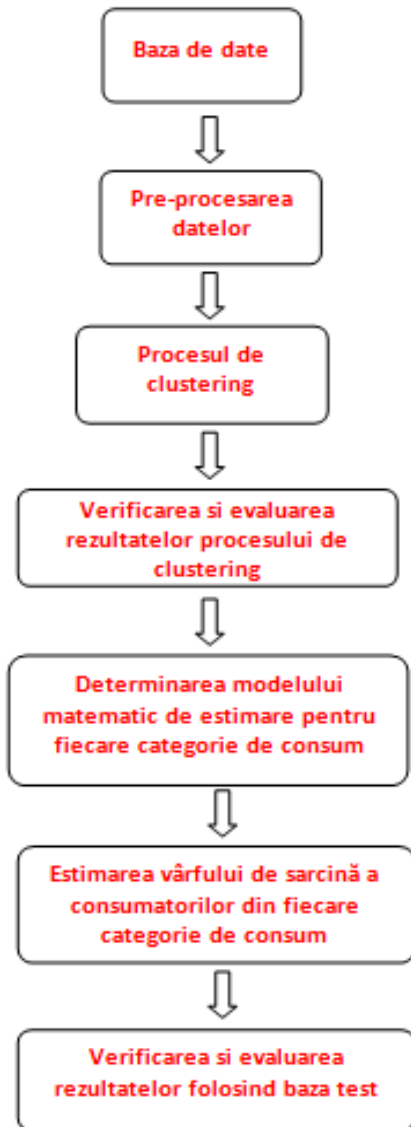


Fig. 3. Influența alegerii numărului inițial de clustere

3. METODA DE ESTIMARE BAZATĂ PE TEHNICI DE CLUSTERING



Construirea bazei de date.

- Baza de lucru;
- Baza test

Caracteristicile consumatorilor: W și P_{max} .

Determinarea categoriilor de consumatori din baza de lucru folosind metoda de clustering K-Medii.

Calculul coeficientului de formă (siluetă) pentru verificarea calității grupării.

Determinarea ecuațiilor de regresie pentru fiecare categorie de consumatori $P_{max}=P_{max}(W)$

Estimarea puterii maxime cerute de fiecare consumator din baza de lucru.

Testarea metodei folosind baza test.

Fig. 4. Etapele metodei propuse

4. Studiu de caz

A. Baza de date

1145 consumatori casnici din mediul rural, din rețeaua de joasa tensiune.

Caracteristici (W_{lunara} și P_{max})

Baza de lucru – 814 consumatori;

Baza test – 331 consumatori;

B. Determinarea categoriilor de consumatori - Procesul de clustering

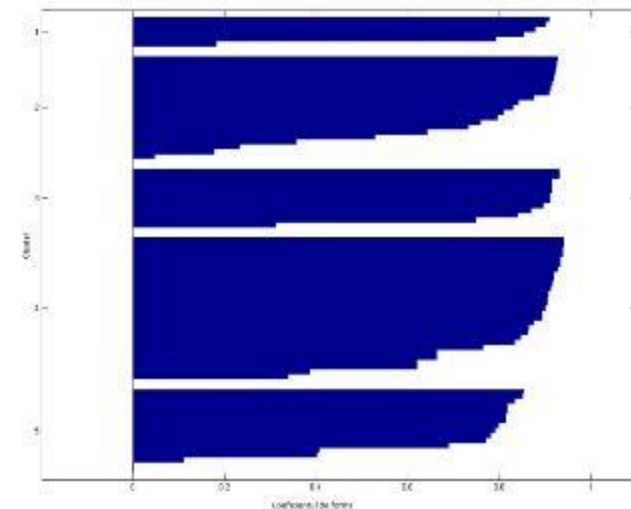
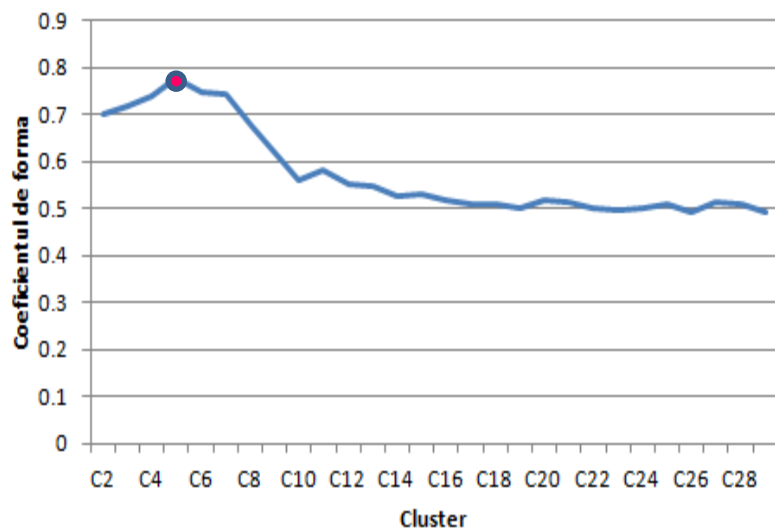


Fig. 5. Valoarea coeficientului de forma(silueta),
k = 2 - 29

Fig. 6. Reprezentarea coeficientului de forma,
k_{optim} = 5

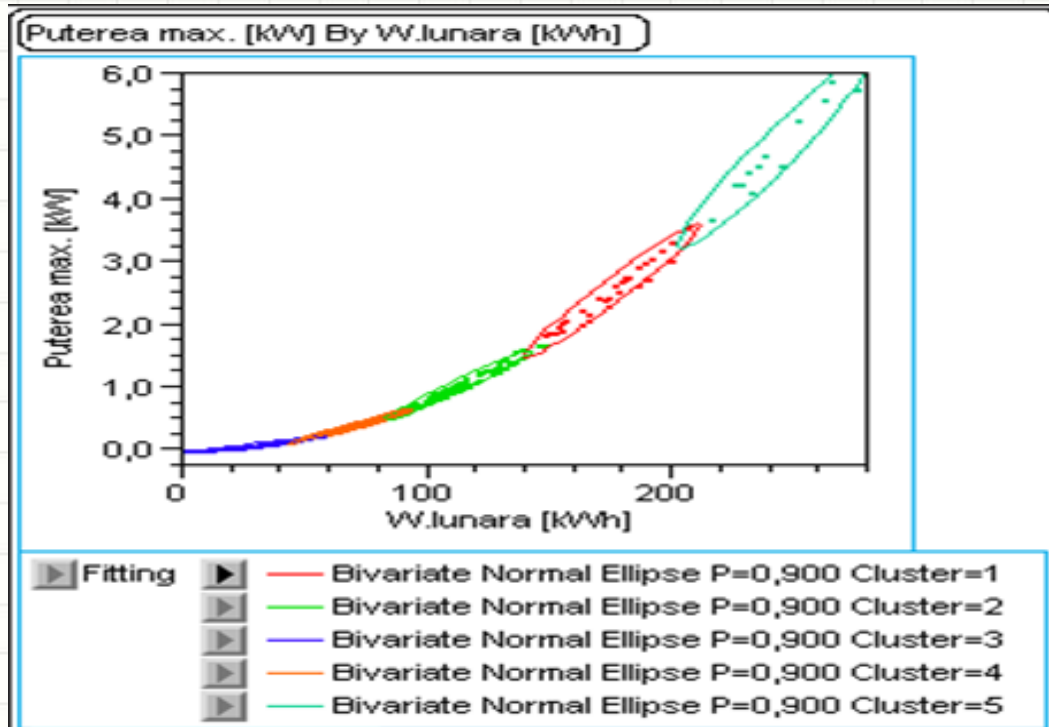


Fig. 7. Reprezentarea categoriilor de consumatori obtinute in urma procesului de clustering

Tabelul 1. Valoarea medie si dispersia obținute pentru fiecare categorie de consumatori

Cluster	Număr de consumatori	Putere maximă [kW]		Energia lunară [kWh]	
		m	σ	m	σ
1	32	2,53	0.50	176,26	16,77
2	104	1,03	0,26	113,55	13,82
3	387	0,09	0,05	31,70	12,73
4	279	0,37	0,13	68,61	11,50
5	12	4,75	0.70	242,75	18,23

C. Determinarea ecuațiilor de regresie

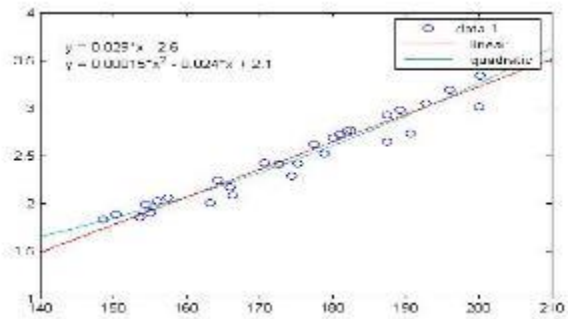


Fig. 8. Ecuația de regresie pentru categoria C1

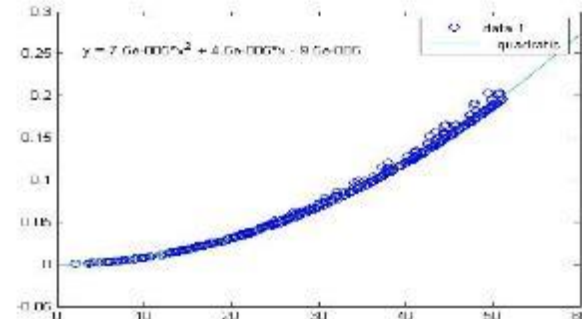


Fig. 9. Ecuația de regresie pentru categoria C3

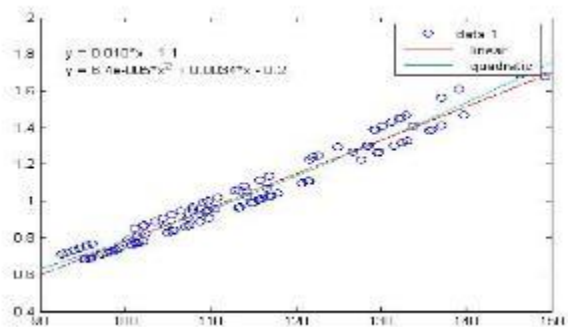


Fig. 10. Ecuația de regresie pentru categoria C2

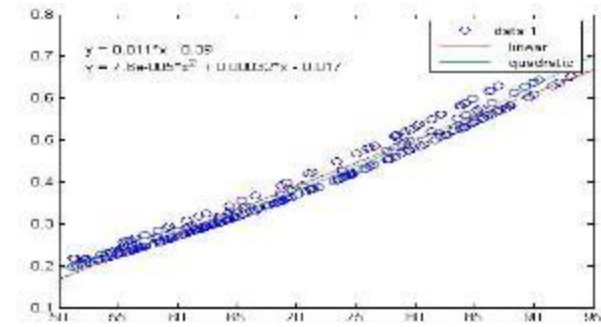


Fig. 11. Ecuația de regresie pentru categoria C4

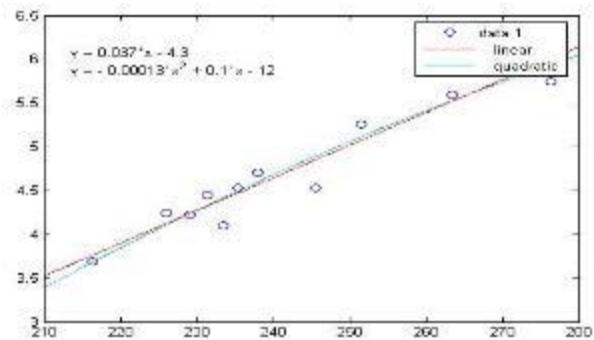


Fig. 12. Ecuația de regresie pentru o categoria C5

D. Estimarea puterii maxime cerute de consumatori

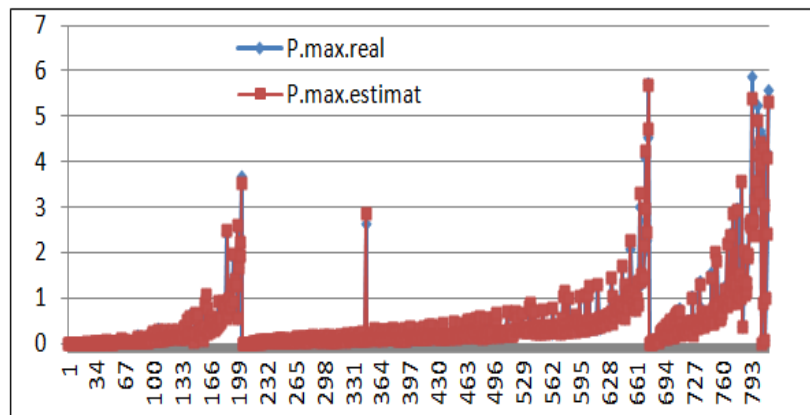


Fig. 13. Puterea maximă reală și estimată a consumatorilor din baza lucru (err = 3,85 %)

II. Testarea metodei folosind baza test

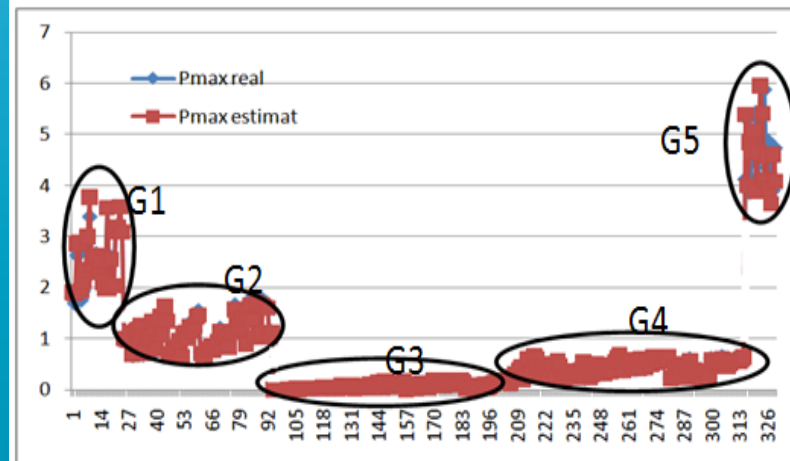


Fig. 14. Puterea maximă reală și estimată a consumatorilor din baza test (err = 4,01 %)

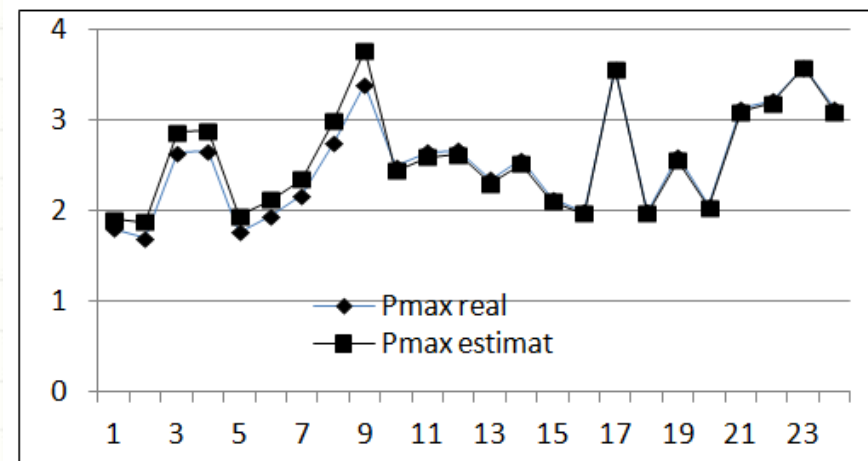


Fig. 15. Puterea maximă reală și estimată a consumatorilor din grupa C1, err = 3,25 %

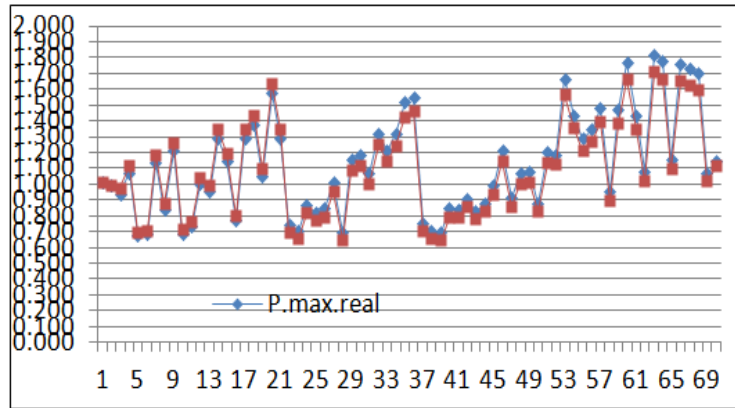


Fig. 16. Puterea maximă reală și estimată a consumatorilor din grupa C2, err = 5,02 %

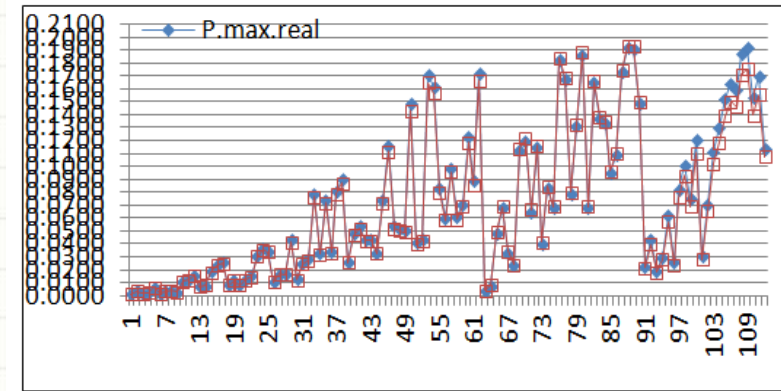


Fig. 16. Puterea maximă reală și estimată a consumatorilor din grupa C3, err = 3,22 %

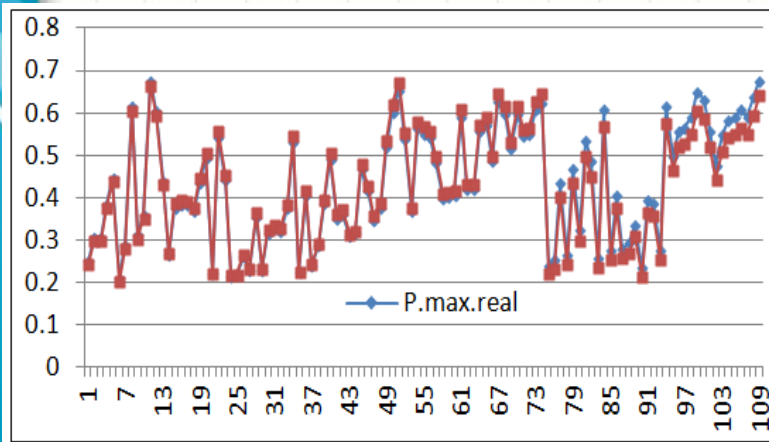


Fig. 16. Puterea maximă reală și estimată a consumatorilor din grupa C4, err = 4,01 %

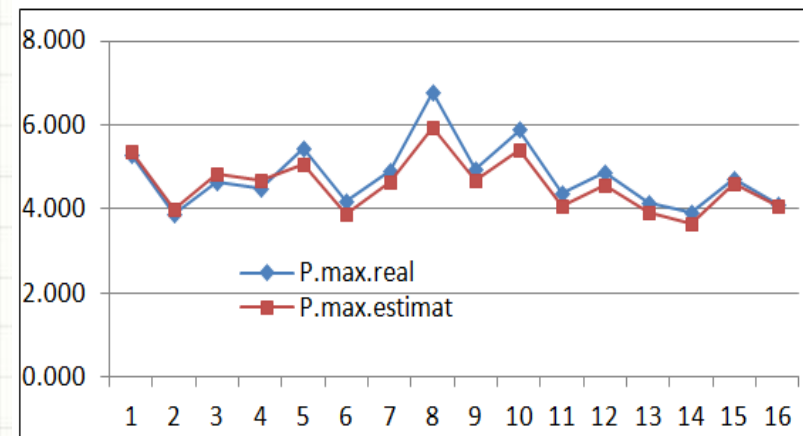


Fig. 16. Puterea maximă reală și estimată a consumatorilor din grupa C4, err = 4,06%

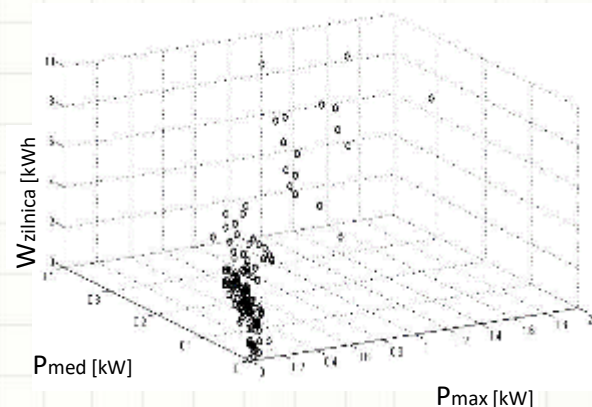
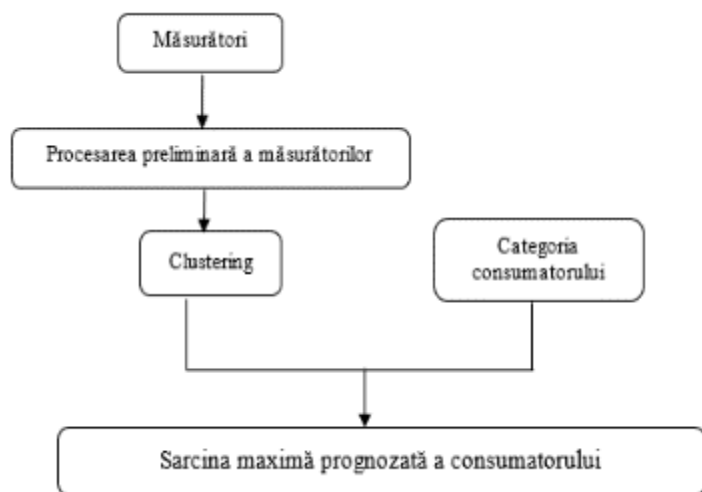
Tabelul 2. Sinteza rezultatelor obtinute in cazul bazei test

Grupa		Erori (%)			Total
		< 4	4 ÷ 7	> 7 ÷ 10	
G1	Consumatori (Nr.)	15	1	8	24
	Consumatori (%)	62,5	4,16	33,33	100
G2	Consumatori (Nr.)	23	47	0	70
	Consumatori (%)	32,8	67,20	0	100
G3	Consumatori (Nr.)	88	6	18	112
	Consumatori (%)	77,88	5,31	15,91	100
G4	Consumatori (Nr.)	74	15	20	109
	Consumatori (%)	67,9	13,76	18,34	100
G5	Consumatori (Nr.)	6	8	2	16
	Consumatori (%)	37,5	50	14	100
Total	Consumatori (Nr.)	206	77	48	331
	Consumatori (%)	62,23	23,26	14,51	100

MODELAREA SARCINILOR ÎN REȚELELE ELECTRICE

3. Estimarea sarcinii maxime

Estimarea sarcinii maxime a posturilor de transformare MT/JT



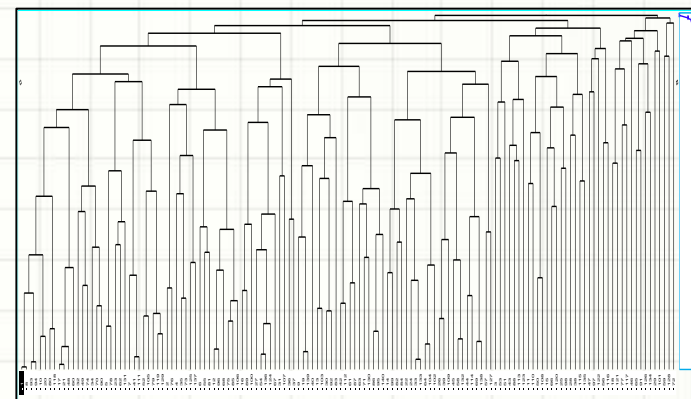
Reprezentarea spațială a consumatorilor în funcție de caracteristicile de consum

Etapa 1. Estimarea sarcinilor maxime ale consumatorilor

Date de intrare în procesul de clustering (consumul de energie, puterea medie etc.) determinate din graficele de sarcina)

Etapa 2. Prognoza sarcinii maxime a postului de transformare.

$$P_{\max}^{PT} = \sum_{k=1}^{N_{Ck}} n_k P_{\max k}^{med} + \sqrt{\sum_{k=1}^{N_{Ck}} n_k (P_{\max k}^{med})^2}, [kW]$$

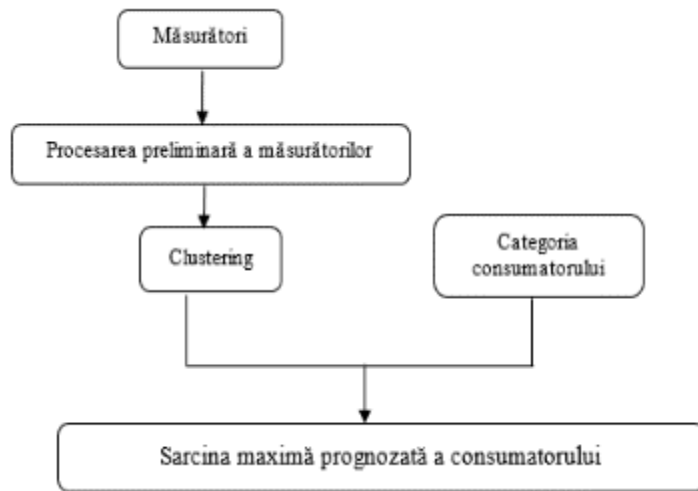


Dendrograma procesului de clustering – metoda ierarhică Ward

MODELAREA SARCINILOR ÎN REȚELELE ELECTRICE

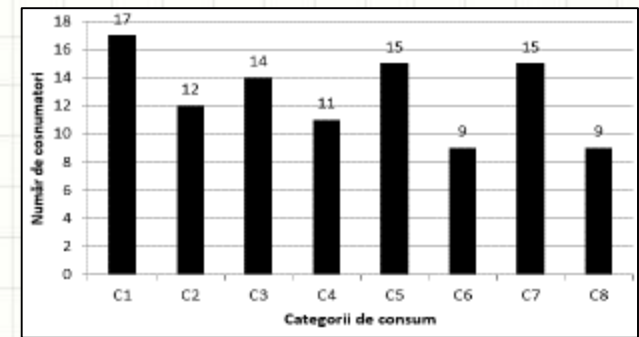
3. Estimarea sarcinii maxime

Estimarea sarcinii maxime a posturilor de transformare MT/JT

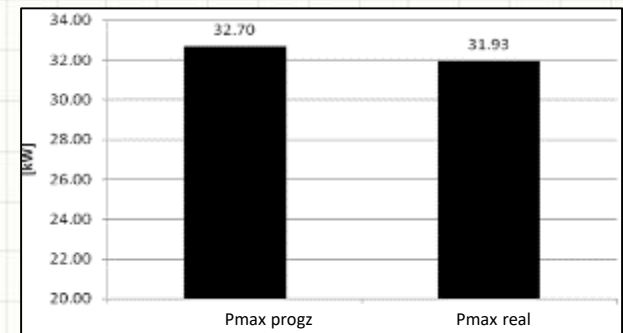


Caracteristicile categoriilor de consum

Cluster (categorie de consum)	Număr consumatori	P_{max} [kW]		P_{med} [kW]		W_{zilaic} [kWh]	
		m	σ	m	σ	m	σ
C1	19	0,17	0,034	0,07	0,003	1,58	0,066
C2	18	0,18	0,039	0,08	0,006	1,92	0,147
C3	19	0,25	0,060	0,11	0,005	2,68	0,124
C4	14	0,20	0,050	0,10	0,004	2,34	0,089
C5	18	0,15	0,040	0,05	0,006	1,14	0,156
C6	12	0,07	0,042	0,02	0,008	0,37	0,186
C7	23	0,47	0,191	0,15	0,025	3,70	0,601
C8	14	1,19	0,311	0,28	0,048	6,80	1,142



Alocarea consumatorilor la categoriile de consum – baza test



Etapa 1. Estimarea sarcinilor maxime ale consumatorilor

Date de intrare în procesul de clustering (consumul de energie, puterea medie etc.) determinate din graficele de sarcina)

Etapa 2. Prognoza sarcinii maxime a postului de transformare.

$$P_{max}^{PT} = \sum_{k=1}^{N_{Ck}} n_k P_{max k}^{med} + \sqrt{\sum_{k=1}^{N_{Ck}} n_k (P_{max k}^{med})^2}, [kW]$$

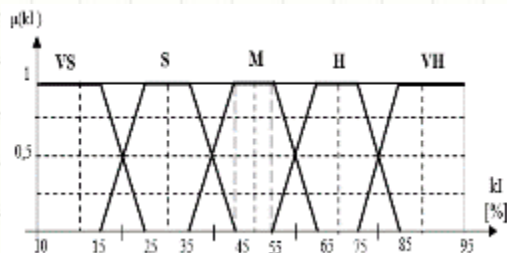
Sarcina maximă reală și prognozată pentru PT analizat (Eroare: 2.4 %)

MODELAREA SARCINILOR ÎN REȚELELE ELECTRICE

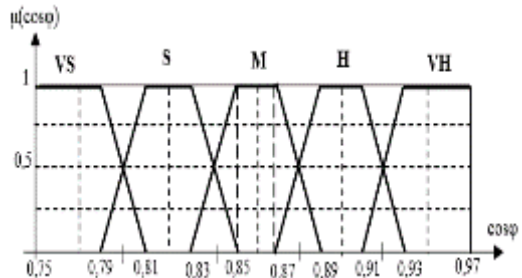
2. Simularea încărcării rețelelor de distribuție

Simularea încărcării transformatoarelor de MT/JT folosind tehnicile fuzzy

Date de intrare:

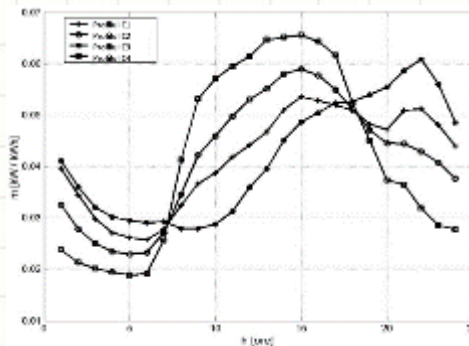


Factorul de încărcare kI [%] al transformatoarelor



Factorul de putere $\cos \phi$

Categoria lingvistică	x		Categoria lingvistică	x		
	kI [%]	$\cos \phi$		kI [%]	$\cos \phi$	
VS	x_1	10	M	x_3	55	
	x_2	10		x_4	65	
	x_3	15		H	x_1	55
	x_4	25			x_2	65
S	x_1	15	VH		x_3	75
	x_2	25			x_4	85
	x_3	35		x_1	75	
	x_4	45		x_2	85	
M	x_1	35	x_3	95		
	x_2	45	x_4	95		

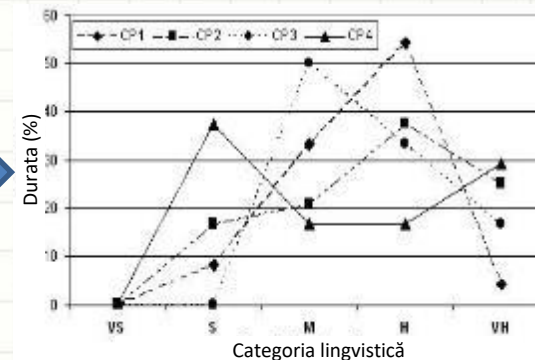


Profilurile tip de sarcină C1 – C4

Factorii de încărcare asociați
profilurilor tip C1 – C4

h	kI (Tabelul 2.9)							
	C1		C2		C3		C4	
	(%)	(C.L)	(%)	(C.L)	(%)	(C.L)	(%)	(C.L)
1	0.6	M	0.4	M	0.6	H	0.326	S
2	0.5	M	0.4	M	0.5	M	0.293	S
3	0.4	M	0.3	S	0.4	M	0.276	S
4	0.4	M	0.3	S	0.4	M	0.267	S
5	0.3	S	0.3	S	0.4	M	0.258	S
6	0.3	S	0.3	S	0.4	M	0.262	S
7	0.4	M	0.4	M	0.4	M	0.352	S
8	0.4	M	0.5	M	0.4	M	0.566	M
9	0.5	M	0.6	H	0.4	M	0.730	H
10	0.5	M	0.7	H	0.4	M	0.783	H
11	0.6	H	0.7	H	0.4	M	0.816	VH
12	0.6	H	0.8	VH	0.5	M	0.844	VH
13	0.7	H	0.8	VH	0.5	M	0.888	VH
14	0.7	H	0.8	VH	0.6	H	0.894	VH
15	0.8	VH	0.9	VH	0.7	H	0.900	VH
16	0.7	H	0.8	VH	0.7	H	0.883	VH
17	0.7	H	0.8	VH	0.7	H	0.846	VH
18	0.7	H	0.7	H	0.7	H	0.717	H
19	0.7	H	0.7	H	0.7	H	0.618	H
20	0.7	H	0.6	H	0.8	VH	0.513	M
21	0.7	H	0.6	H	0.8	VH	0.500	M
22	0.7	H	0.6	H	0.9	VH	0.437	M
23	0.7	H	0.6	H	0.8	VH	0.392	S
24	0.6	H	0.5	M	0.7	H	0.381	S

Ponderea categoriilor lingvistice de încărcare
asociate profilurilor tip C1 – C4

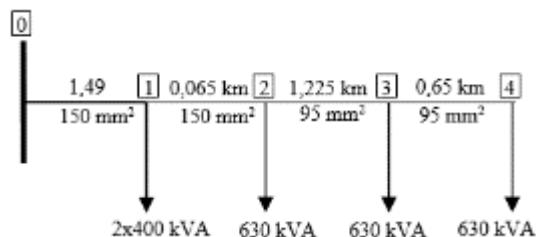


MODELAREA SARCINILOR ÎN REȚELELE ELECTRICE

2. Simularea încărcării rețelelor de distribuție

Simularea încărcării transformatoarelor de MT/JT folosind tehnicile fuzzy

Date de intrare



Caracteristicile ale distribuitorului urban de MT

kI și cosφ pentru transformatoarele din PT
(grad de încărcare M, profilul C2)

Ora	Nodul 1 S _n =400kVA		Nodul 2 S _n =630kVA		Nod 3 S _n =630kVA		Nodul 4 S _n =630kVA	
	kI	cosφ	kI	cosφ	kI	cosφ	kI	cosφ
	[%]/[CL]	[CL]	[%]/[CL]	[CL]	[%]/[CL]	[CL]	[%]/[CL]	[CL]
1	S	S	S	S	S	S	S	S
2	S	S	S	S	S	S	S	S
3	S	S	S	S	S	S	S	S
4	VS	VS	VS	VS	VS	VS	VS	VS
5	VS	VS	VS	VS	VS	VS	VS	VS
6	VS	VS	VS	VS	VS	VS	VS	VS
7	S	S	S	S	S	S	S	S
8	S	S	S	S	S	S	S	S
9	S	S	S	S	S	S	S	S
10	S	S	S	S	S	S	S	S
11	M	M	M	M	M	M	M	M
12	M	M	M	M	M	M	M	M
13	M	M	M	M	M	M	M	M
14	M	M	M	M	M	M	M	M
15	M	M	M	M	M	M	M	M
16	M	M	M	M	M	M	M	M
17	M	M	M	M	M	M	M	M
18	M	M	M	M	M	M	M	M
19	S	S	S	S	S	S	S	S
20	S	S	S	S	S	S	S	S
21	S	S	S	S	S	S	S	S
22	S	S	S	S	S	S	S	S
23	S	S	S	S	S	S	S	S
24	S	S	S	S	S	S	S	S

Date de iesire

Gradul de încărcare al transformatoarelor de 400 kVA în funcție de profilul C2

kI	Ora											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
VS	22,09	18,9	16,96	15,88	15,53	15,79	18,43	23,46	28,63	31,2	33,74	36
S	66,27	56,7	50,88	47,67	46,59	47,36	55,28	70,36	85,89	93,59	101,2	108
M	110,46	94,5	84,8	79,45	79,05	78,94	92,13	117,3	143,14	156	168,69	180
H	154,64	132,23	118,7	111,23	108,7	110,52	129	164,2	200,4	218,38	236,16	252
VH	198,82	170,1	152,6	143	139,76	142,09	165,8	211,1	257,66	280,77	303,64	324
kI	Ora											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
VS	37,44	39,35	40	39,195	37,32	34,7	31,92	30,2	30,12	29,1	27,62	25,56
S	112,31	118,06	120	117,59	111,95	104,1	95,76	90,6	90,36	87,3	82,86	76,66
M	187,18	196,76	200	195,98	186,58	173,5	159,6	151	150,6	145,6	138,1	127,77
H	262,05	275,46	280	274,37	261,22	242,9	223,44	211,4	210,82	203,8	193,3	178,88
VH	336,91	354,17	360	352,76	335,85	312,3	287,28	271,8	271,08	262	248,6	229,99

Gradul de încărcare al transformatoarelor de 630 kVA în funcție de profilul C2

kI	Ora											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
VS	34,8	29,77	26,71	25,03	24,46	24,87	29,02	36,94	45,09	49,14	53,14	56,7
S	104,38	89,3	80,13	75,08	73,38	74,6	87,06	110,8	135,27	147,41	159,41	170,1
M	173,97	148,8	133,56	125,13	122,3	124,33	145,11	184,7	225,45	245,68	265,68	283,5
H	243,56	208,4	186,98	175,18	171,21	174,06	203,15	258,6	315,63	343,95	371,95	396,9
VH	313,15	267,9	240,4	225,23	220,13	223,8	261,19	332,5	405,81	442,22	478,23	510,3
kI	Ora											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
VS	58,96	61,98	63	61,73	58,77	54,65	50,27	47,57	47,44	45,85	43,5	40,25
S	176,88	185,94	189	185,2	176,32	163,95	150,82	142,7	142,32	137,6	130,5	120,75
M	294,8	309,9	315	308,66	293,87	273,26	251,37	237,8	237,19	229,3	217,5	201,24
H	412,73	433,86	441	432,13	411,42	382,56	351,91	332,98	332,07	320,9	304,5	281,74
VH	530,65	557,82	567	555,59	528,96	491,86	452,46	428,11	426,95	412,6	391,5	362,24

ANALIZA CALITĂȚII ENERGIEI ELECTRICE

1. Calitatea tensiunii

Variațiile lente de tensiune

În punctele de delimitare (PD), în condiții normale de exploatare, valoarea medie efectivă pentru 10 minute a tensiunii furnizate – în 99 % din timpul oricărei perioade a unei săptămâni – nu trebuie să aibă o abatere mai mare de $\pm 10\%$ din tensiunea contractuală la MT și IT, respectiv de $\pm 10\%$ din tensiunea nominală la JT în 95 % din timpul oricărei perioade a unei săptămâni.

conform Standardului de performanță pentru serviciul de distribuție a energiei electrice

Evoluția numărului posturilor de transformare din rețelele OD din România

Nr. crt.	Operatorul de Distribuție	2014		2015		2016	
		Nr. [buc]	Sn [MVA]	Nr. [buc]	Sn [MVA]	Nr. [buc]	Sn [MVA]
1	ENEL Distribuție Muntenia	7751	3421	7957	3486	8153	3687
2	ENEL Distribuție Banat	7836	2082	7942	2089	8052	2092
3	ENEL Distribuție Dobrogea	5893	2177	5937	1992	6006	1998
4	CEZ Distribuție	10284	2859	10284	2920	10288	2925
5	DELGAZ GRID	10902	2958	10946	2971	10992	3013
6	ELECTRICA Muntenia Nord	9808	3098	9890	3022	9955	3009
7	ELECTRICA Transilvania Nord	8338	2396	8471	2177	8627	2369
8	ELECTRICA Transilvania Sud	8378	2499	8524	2534	8641	2538
	Total	69190	21490	69951	21191	70714	21631

S-a propus o clasificare a PT MT/JT în funcție de indicatorii ce caracterizează variațiile lente de tensiune folosind **tehnicile de clustering**.

ANALIZA CALITĂȚII ENERGIEI ELECTRICE

1. Calitatea tensiunii

Variațiile lente de tensiune

$$\Delta U = \frac{U - U_n}{U_n} \cdot 100 [\%]$$

Abaterea de tensiune

$$\overline{\Delta U} = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^T \frac{U(t) - U_n}{U_n} = \frac{100}{T} \sum_{t=0}^T \frac{U(t) - U_n}{U_n} [\%]$$

Abaterea medie a tensiunii

$$\sigma_{\Delta U}^2 = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^T (\Delta U(t) - \overline{\Delta U})^2 = \frac{100^2}{T} \sum_{t=0}^T (u(t) - \bar{u})^2 [\%]^2$$

Dispersia abaterilor de tensiune

$$GIT = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^T (\Delta U(t))^2 = \frac{100^2}{T} \sum_{t=0}^T \left(\frac{U(t) - U_n}{U_n} \right)^2 = \frac{100^2}{T} \sum_{t=0}^T (u - 1)^2 [\%]^2$$

Gradul de iregularitate a tensiunii
(valoarea medie pătratică a abaterii
de tensiune)

Indicatori pentru aprecierea variațiilor lente de tensiune (IVLT)

ANALIZA CALITĂȚII ENERGIEI ELECTRICE

1. Calitatea tensiunii

Variațiile lente de tensiune

Etapa I - efectuarea de MST –uri;
- împărțirea în trei zone în funcție de distanța electrică de la stația electrică de alimentare IT/MT:
zona îndepărtată, zona apropiată, și zonă periferică.

Etapa II - calculul indicatorilor IVLT.

Etapa III - procesul de clustering pentru gruparea PT in functie de indicatorii IVLT.

Etapa III – analiza bazata pe clustering pentru calitatea tensiunii pentru fiecare zona.

REZULTATE

Analiză pentru o zonă de alimentare cu 722 de posturi de transformare (PT) MT/JT aparținând unui OD din România.

Organigrama analizei calității tensiunii, din punct de vedere al Variațiilor lente, bazată pe clustering

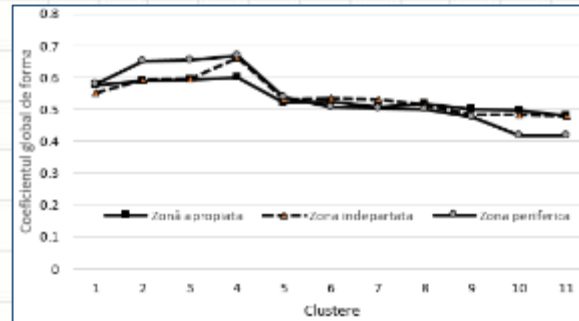
ANALIZA CALITĂȚII ENERGIEI ELECTRICE

1. Calitatea tensiunii

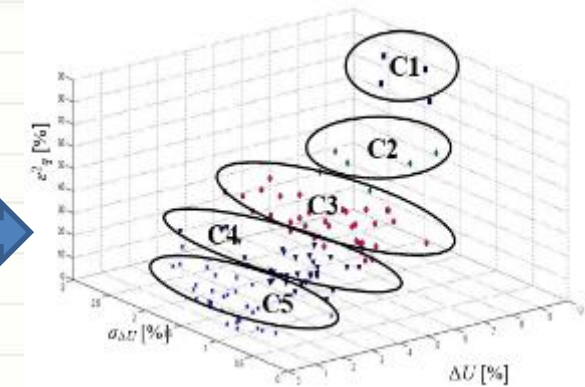
Variațiile lente de tensiune

CLASIFICARE PT:

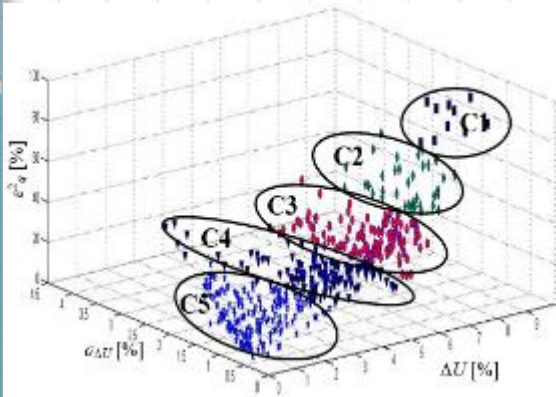
- zona îndepărtată (117 PT)
- zona apropiată (452 PT)
- zonă periferică (153 PT).



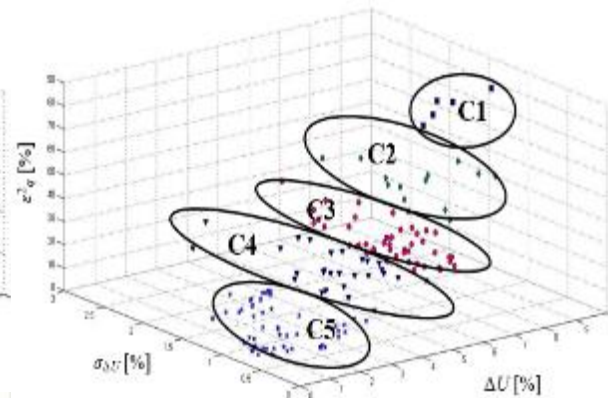
a.



b.



c.



d.

Cluster	Indicator	Zona			Calitatea tensiunii
		Îndepărtată	Apropiată	Periferică	
C1	ΔU [%]	7,77	6,03	6,79	Nesatisfăcătoare
	$\sigma_{\Delta U}$ [%]	3,23	5,56	4,16	
	GIT [%]	81,07	82,89	77,73	
C2	ΔU [%]	6,86	5,98	6,84	Satisfăcătoare
	$\sigma_{\Delta U}$ [%]	1,54	1,42	1,63	
	GIT [%]	49,79	54,42	50,83	
C3	ΔU [%]	5,27	5,72	5,49	Moderată
	$\sigma_{\Delta U}$ [%]	1,46	1,29	1,00	
	GIT [%]	30,33	34,78	31,51	
C4	ΔU [%]	3,72	4,22	4,30	Bună
	$\sigma_{\Delta U}$ [%]	1,39	1,48	1,24	
	GIT [%]	16,07	20,25	20,46	
C5	ΔU [%]	1,81	2,12	1,91	Foarte bună
	$\sigma_{\Delta U}$ [%]	1,54	1,54	1,03	
	GIT [%]	4,98	6,57	5,11	

e.

Variația IGF pentru fiecare zonă – Metoda K-medii (a)

Clusterelor obținute în cazul zonei: (b) îndepărtate; (c) apropiate; (d) periferice

Caracteristicile de calitate a tensiunii corespunzătoare clusterelor obținute (e)

ANALIZA CALITĂȚII ENERGIEI ELECTRICE

1. Calitatea tensiunii

Variațiile lente de tensiune

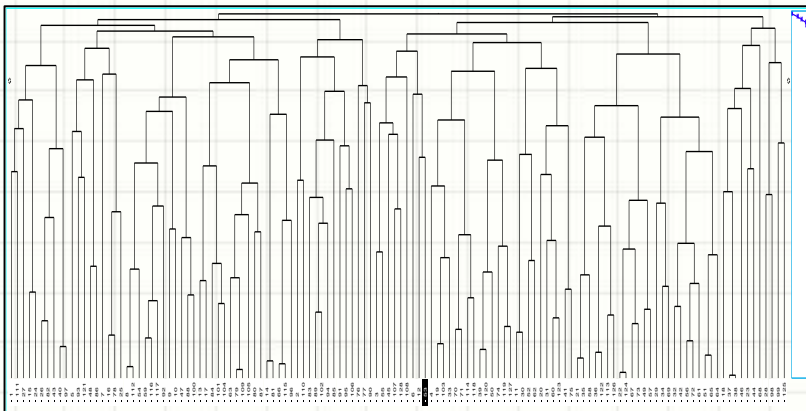
Analiza luând în considerare caracteristicile de sarcină – zona îndepărtată

Clasificarea PT în raport cu sarcina medie

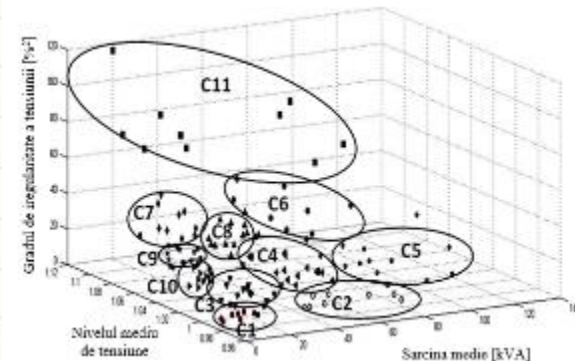
Categoria sarcinii alimentate	Numărul de posturi	
	[buc]	[%]
Mică (< 50 kVA)	78	66,66
Medie (50 ÷ 100 (kVA)	33	28,21
Mare (> 100 kVA)	6	5,130

Clasificarea PT în raport cu indicatorii IVLT

Indicatori	Categoria lingvistică	Sarcina medie zilnică			Numărul total de posturi		
		Mică	Medie	Mare	[nr.]	[%]	
Abateră medie a tensiunii	Satisfăcător	0,9 ÷ 0,95	1	-	-	1	0,85
	Bun	0,95 ÷ 1,05	55	26	4	85	72,65
	Ridicat	1,05 ÷ 1,10	22	7	2	31	26,50
	Total		78	33	6	117	100
Gradul de iregularitate a tensiunii	Bun	< 20 [% ²]	44	23	3	70	59,83
	Mediocru	20-50 [% ²]	27	7	2	36	30,77
	Necorespunzător	50-100[% ²]	7	3	1	11	9,40
	Total		78	33	6	117	100



Dendrograma procesului de clustering folosind metoda Ward



Reprezentarea spațială a clusterelor

ANALIZA CALITĂȚII ENERGIEI ELECTRICE

1. Calitatea tensiunii

Variațiile lente de tensiune

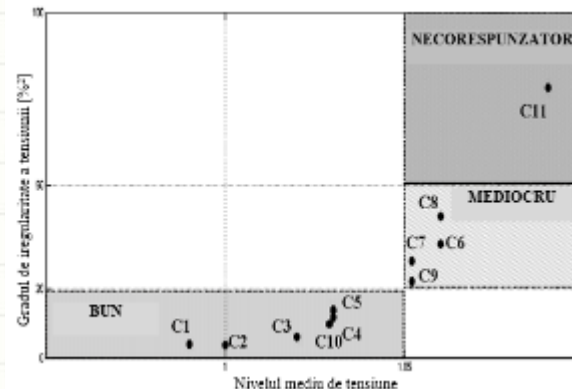
Analiza luând în considerare caracteristicile de sarcină – zona îndepărtată

Caracteristicile statistice ale clusterelor

Cluster	Numărul posturilor	Sarcina medie [kVA]		Abaterea medie a tensiunii		GIT [%] ²	
		<i>m</i>	<i>σ</i>	<i>m</i>	<i>σ</i>	<i>m</i>	<i>σ</i>
C1	10	14,13	7,18	0,99	0,01	3,80	2,97
C2	9	63,21	18,25	1,00	0,01	3,61	2,34
C3	12	29,21	6,26	1,02	0,01	6,03	2,94
C4	16	54,27	9,65	1,03	0,01	11,61	4,39
C5	13	96,53	17,09	1,03	0,01	11,48	6,24
C6	15	67,21	15,33	1,06	0,01	34,93	10,21
C7	14	39,97	7,56	1,05	0,00	27,88	4,72
C8	10	16,87	6,84	1,06	0,01	36,90	6,79
C9	13	13,36	5,71	1,05	0,00	22,15	2,62
C10	11	16,48	3,60	1,03	0,00	13,84	2,97
C11	11	54,04	33,79	1,09	0,01	78,24	16,71

Caracterizarea prin nivele lingvistice ale clusterelor

No. cluster	Sarcina medie [kVA]	Abaterea medie a tensiunii	GIT [%] ²	Calitatea tensiunii
C1	Mică	Bun	Bun	Bună
C2	Mare	Bun	Bun	Bună
C3	Medie	Bun	Bun	Bună
C4	Medie	Bun	Bun	Bună
C5	Mare	Bun	Bun	Bună
C6	Medie	Ridicat	Mediocru	Mediocru
C7	Mică	Bun	Mediocru	Mediocru
C8	Mică	Ridicat	Mediocru	Mediocru
C9	Mică	Bun	Mediocru	Mediocru
C10	Mică	Bun	Bun	Bună
C11	Medie	Ridicat	Necorespunzător	Necorespunzător



Poziționarea centrilor corespunzătorii fiecărui cluster în categoriile de calitate a tensiunii

ANALIZA CALITĂȚII ENERGIEI ELECTRICE

2. Continuitatea în alimentare

OD înregistrează și calculează anual indicatori privind continuitatea în alimentare pentru consumatorii din zona lor de activitate.

conform Standardului de performanță pentru serviciul de distribuție a energiei electrice

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{N_t}$$

System Average Interruption Frequency Index -
- Frecvența Medie a Întreruperilor în rețea (sistem)

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i \times D_i)}{N_t}$$

System Average Interruption Duration Index -
- Durata Medie a Întreruperilor în rețea (sistem)

$$ENS = \sum_{i=1}^n (P_i \times D_i)$$

Energy Not Supplied - Energia Nelivrată

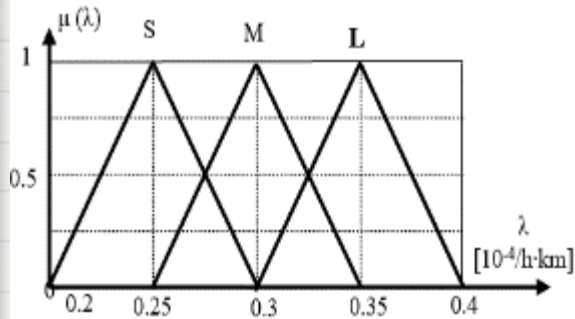
$$AIT = 8760 \times 60 \times \frac{ENS}{W}$$

Average Interruption Time - Timpul Mediu de Întrerupere

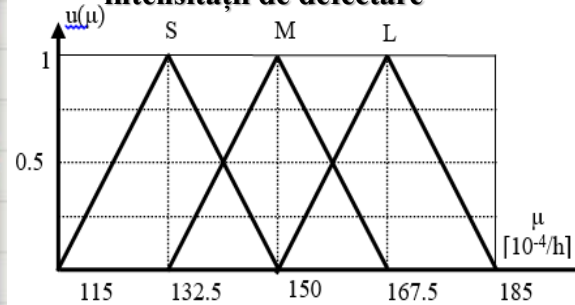
Abordare bazată pe modelarea fuzzy a indicatorilor de fiabilitate (**intensitatea de defectare și intensitatea de reparare**) și lungimea distribuitorilor care pentru evaluarea continuității în alimentare folosit indicatorul SAIDI.

ANALIZA CALITĂȚII ENERGIEI ELECTRICE

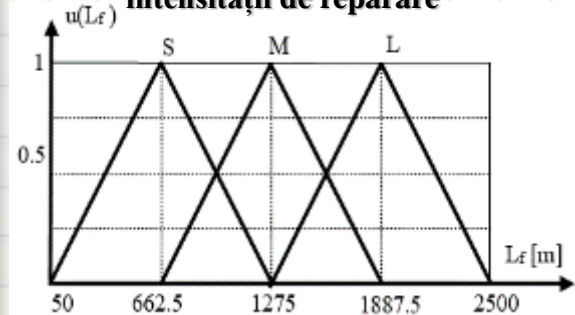
2. Continuitatea în alimentare



Funcțiile de apartenență asociate intensității de defectare



Funcțiile de apartenență asociate intensității de reparare



Funcțiile de apartenență asociate Lungimii distribuțiilor

Valorile "breaking points" ale funcțiilor de apartenență pentru λ

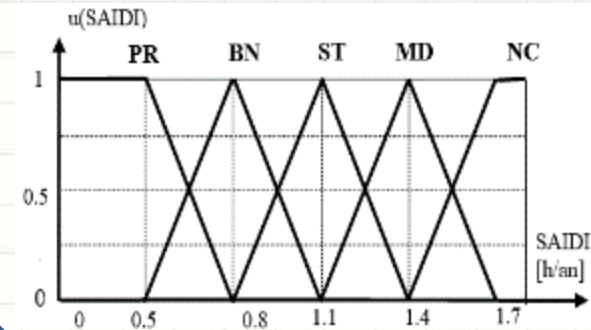
S	M	L
$m_{\lambda S} = 0,25$	$m_{\lambda M} = 0,3$	$m_{\lambda L} = 0,35$
$a_{\lambda S} = 0,05$	$a_{\lambda M} = 0,05$	$a_{\lambda L} = 0,05$
$b_{\lambda S} = 0,05$	$b_{\lambda M} = 0,05$	$b_{\lambda L} = 0,05$

Valorile "breaking points" ale funcțiilor de apartenență pentru μ

S	M	L
$m_{\mu S} = 132,5$	$m_{\mu M} = 150$	$m_{\mu L} = 167,5$
$a_{\mu S} = 17,5$	$a_{\mu M} = 17,5$	$a_{\mu L} = 17,5$
$b_{\mu S} = 17,5$	$b_{\mu M} = 17,5$	$b_{\mu L} = 17,5$

Valorile "breaking points" ale funcțiilor de apartenență pentru L_f

S	M	L
$m_{L_f S} = 662,5$	$m_{L_f M} = 1275$	$m_{L_f L} = 1887,5$
$a_{L_f S} = 612,5$	$a_{L_f M} = 612,5$	$a_{L_f L} = 612,5$
$b_{L_f S} = 612,5$	$b_{L_f M} = 612,5$	$b_{L_f L} = 612,5$



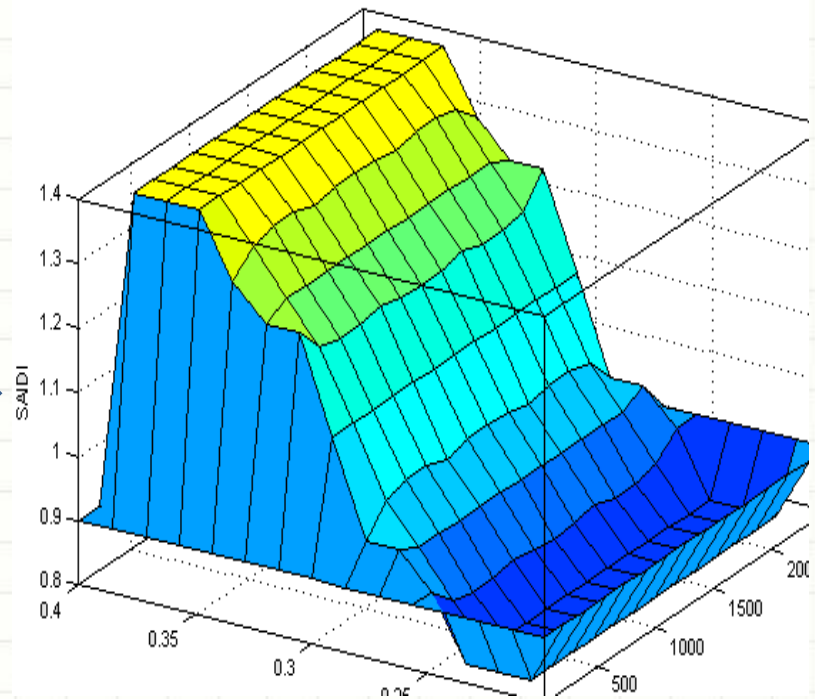
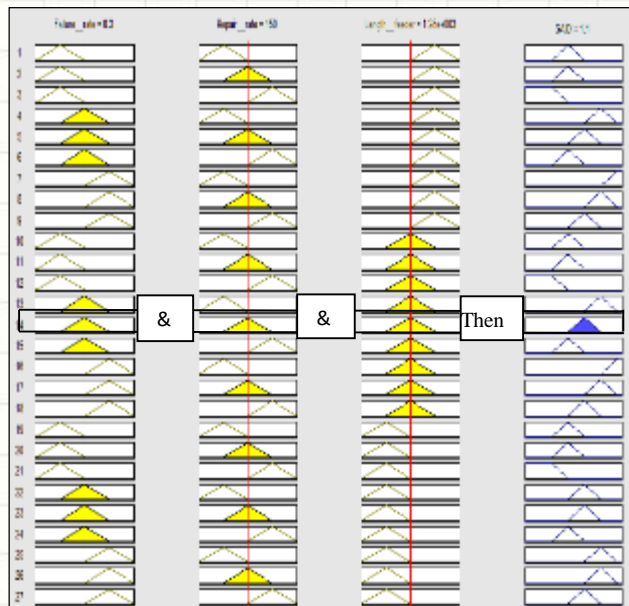
Preferat - PR (0,5 - 0,65);
Bun - BN (0,65 - 0,95);
Satisfăcător - ST (0,95 - 1,25);
Mediocru - MD (1,25 - 1,55);
Necorespunzător - NC (1,55 - 1,7).

ANALIZA CALITĂȚII ENERGIEI ELECTRICE

2. Continuitatea în alimentare

Tabelul de decizie FAM pentru estimarea SAIDI

		Intensitatea de reparare (λ)								
		S			M			H		
Lungimea (L_i)	H	BN	BN	PR	MD	ST	BN	NC	MD	ST
	M	BN	BN	PR	MD	ST	BN	NC	MD	ST
	S	BN	BN	PR	ST	ST	BN	MD	MD	ST
		S	M	L	S	M	L	S	M	L
		μ			μ			μ		
		Intensitatea de defectare (μ)								

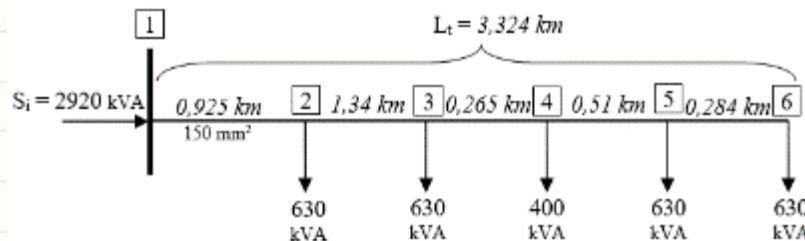


Dependența dintre intensitatea de defectare, lungimea distribuitorilor și indicatorul SAIDI

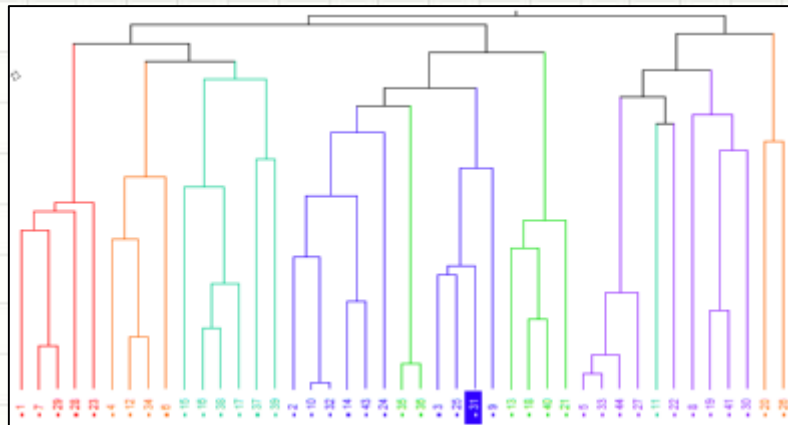
ESTIMAREA PIERDERILOR PUTERE/ ENERGIE

1. Metodă fuzzy de estimare a pierderilor de putere/energie pentru distribuitorii de MT

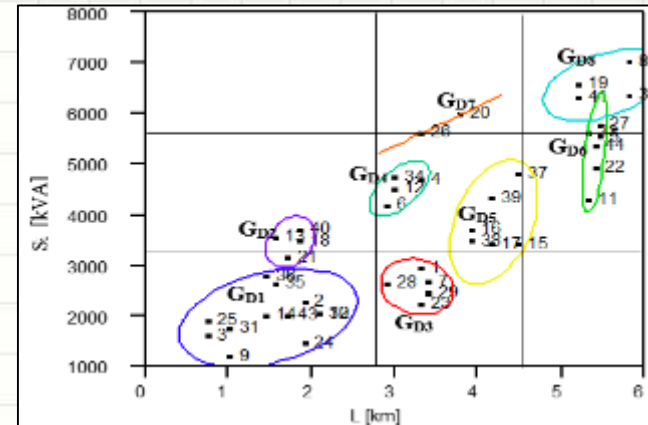
Gruparea distribuitorilor de MT – zona urbană



Reprezentarea simplificată a unui distribuitor de MT dintr-o zonă urbană



Dendrograma procesului de clustering în funcție de lungimea totală și puterea instalată)



Reprezentarea grafică a clusterelor

ESTIMAREA PIERDERILOR PUTERE/ ENERGIE

1. Metodă fuzzy de estimare a pierderilor de putere/energie pentru distribuitorii de MT

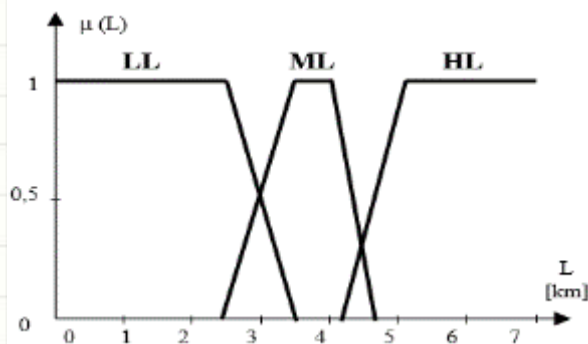
Gruparea distribuitorilor de MT – zona urbană

Caracteristicile statistice corespunzătoare lungimii și puterii instalate

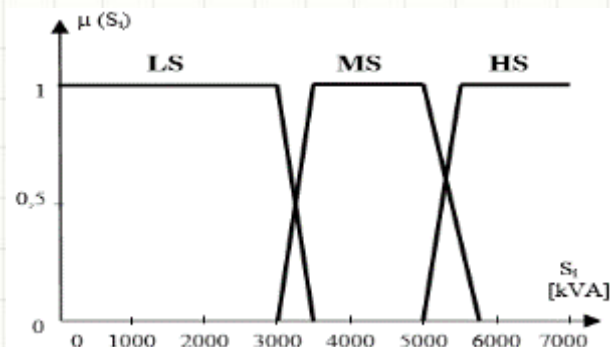
Grupa	Lungimea [km]		Puterea instalată [kVA]	
	m_L	σ_L	m_{S_i}	σ_{S_i}
C _{D1}	1,492	0,501	1975,0	452,33
C _{D2}	1,765	0,139	3447,5	239,08
C _{D3}	3,289	0,202	2590,0	259,33
C _{D4}	3,077	0,169	4535,0	255,93
C _{D5}	4,214	0,248	3870,0	575,95
C _{D6}	5,427	0,069	3477,5	239,08
C _{D7}	3,568	0,344	5805,0	275,77
C _{D8}	5,537	0,343	6577,5	327,65

Categoriile lingvistice corespunzătoare lungimii și puterii instalate

Grupa	Categoriile lingvistice	
	Lungime	Putere instalată
G _{D1}	LL	LS
G _{D2}	LL	MS
G _{D3}	ML	LS
G _{D4}	ML	MS
G _{D5}	ML	MS
G _{D6}	HL	MS
G _{D7}	ML	HS
G _{D8}	HL	HS



Funcțiile de apartenență pentru lungime

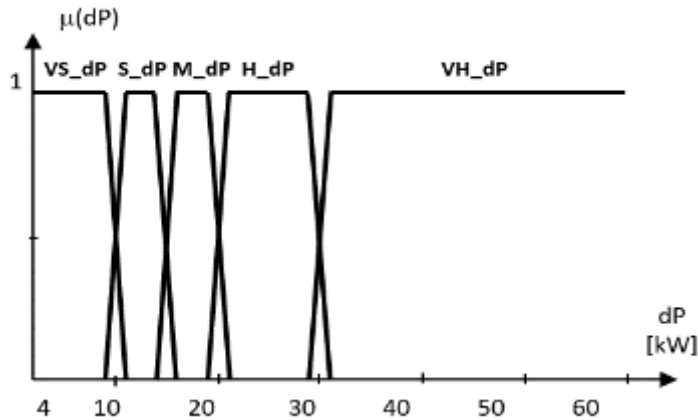


Funcțiile de apartenență pentru puterea instalată

ESTIMAREA PIERDERILOR PUTERE/ ENERGIE

1. Metodă fuzzy de estimare a pierderilor de putere/energie pentru distribuitorii de MT

Estimarea pierderilor de putere/energie – zona urbană

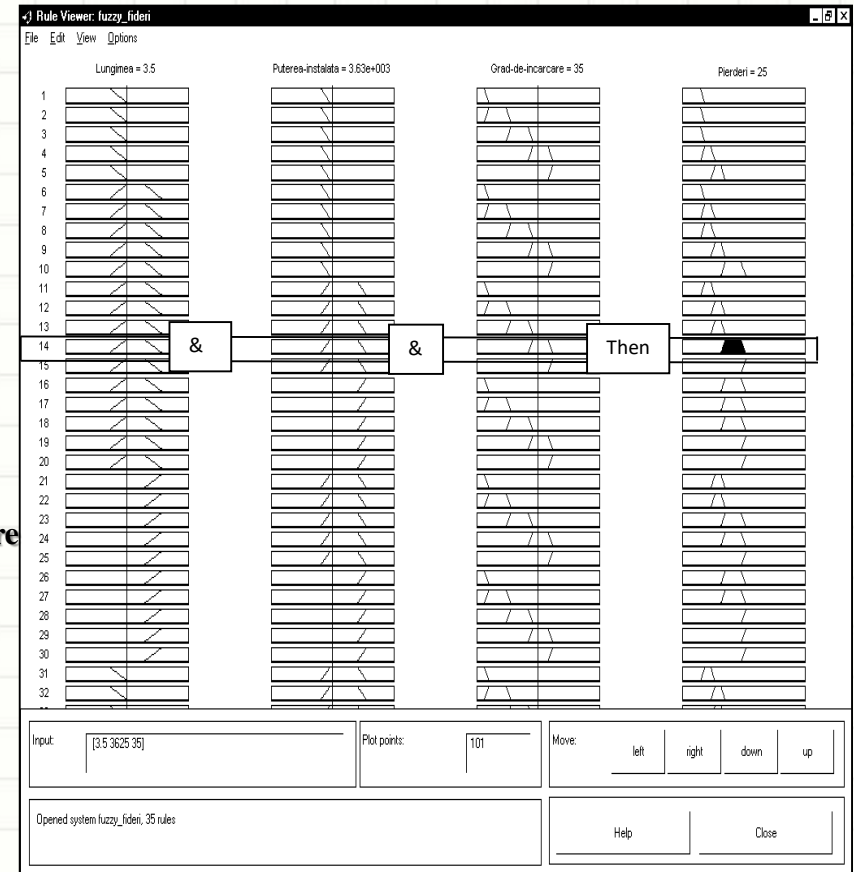


Funcțiile de apartenență pentru pierderile de putere

Tabelul de decizie (FAM) pentru estimarea pierderilor de putere

		Lungimea								
		LL			ML			HL		
Gradul de încărcare	VS	VS_dp	S_dp		VS_dp	S_dp	H_dp		M_dp	H_dp
	S	VS_dp	M_dp		S_dp	M_dp	H_dp		M_dp	H_dp
	M	VS_dp	M_dp		S_dp	M_dp	H_dp		H_dp	VH_dp
	H	S_dp	H_dp		M_dp	H_dp	VH_dp		H_dp	VH_dp
	VH	M_dp	VH_dp		H_dp	VH_dp	VH_dp		VH_dp	VH_dp
		LS	MS	HS	LS	MS	HS	LS	MS	HS
		Puterea instalată								

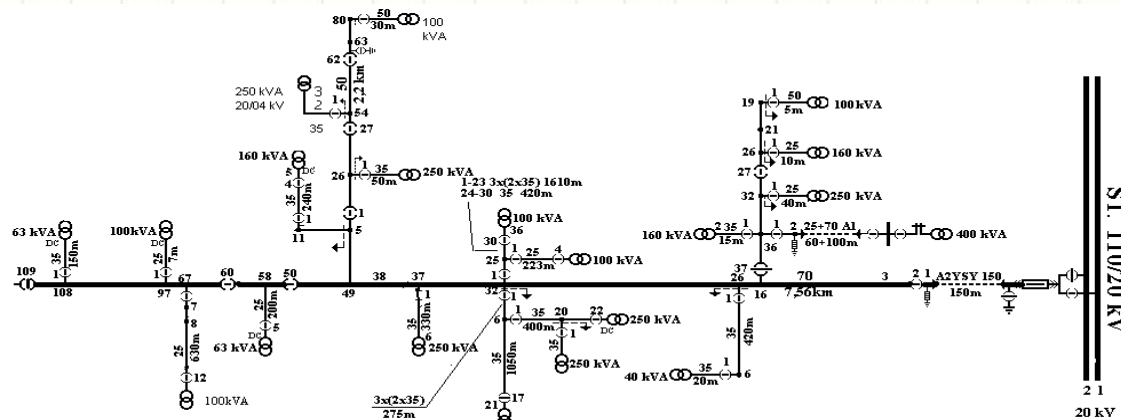
Regulile fuzzy pentru estimarea pierderilor de putere



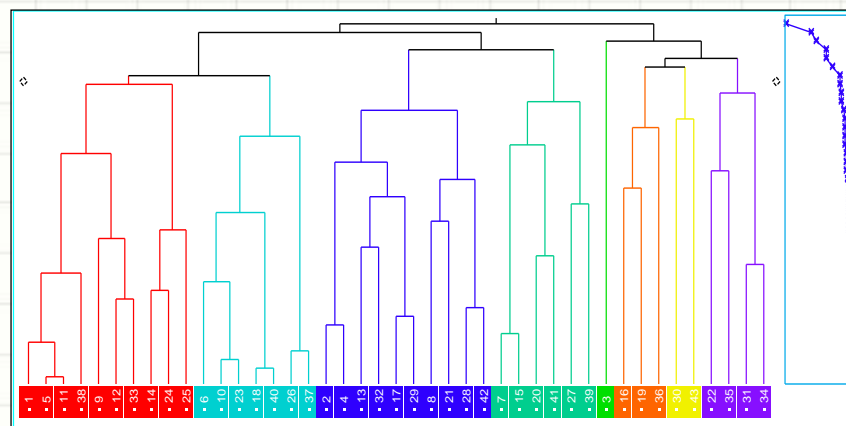
ESTIMAREA PIERDERILOR PUTERE/ ENERGIE

1. Metodă fuzzy de estimare a pierderilor de putere/energie pentru distribuitorii de MT

Gruparea distribuitorilor de MT – zona rurală



Reprezentarea simplificată a unui distribuitor de MT dintr-o zonă rurală



Dendrograma procesului de clustering în funcție de lungimea totală, lungimea axului principal și puterea instalată)

ESTIMAREA PIERDERILOR PUTERE/ ENERGIE

1. Metoda fuzzy bazată pe gruparea distribuitorilor

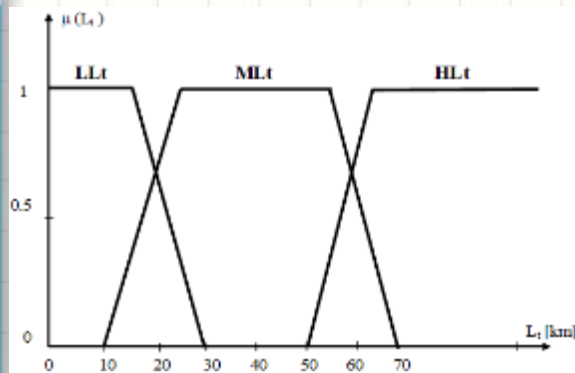
Estimarea pierderilor de putere/energie – zona urbană

Caracteristicile statistice corespunzătoare caracteristicilor primare

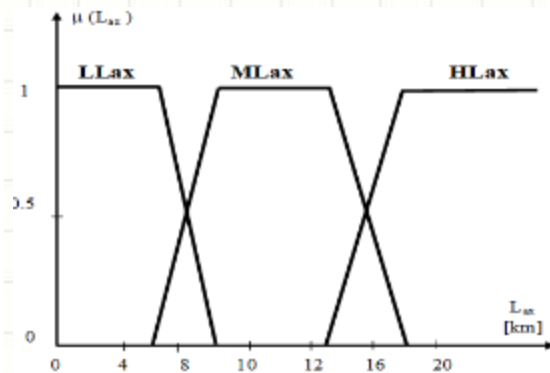
Cluster	Lungimea totală [km]		Lungimea axului [km]		Puterea instalată [kVA]		
	m_{Lt}	σ_{Lt}	m_{Lax}	σ_{Lax}	m_{Si}	σ_{Si}	
C _{D1}	10	6,92	4,19	4,50	2,28	2101,60	1663,95
C _{D2}	7	19,12	5,57	9,04	2,68	2405,86	639,81
C _{D3}	10	24,08	10,08	11,45	2,24	5377,60	1015,34
C _{D4}	6	17,23	6,86	7,80	3,04	10126,83	1891,82
C _{D5}	3	67,65	16,84	7,48	1,90	8572,00	1058,46
C _{D6}	2	85,48	25,62	20,70	7,78	11262,50	3483,03
C _{D7}	4	57,34	22,93	21,90	8,53	5023,50	3318,62

Categoriile lingvistice corespunzătoare caracteristicilor primare

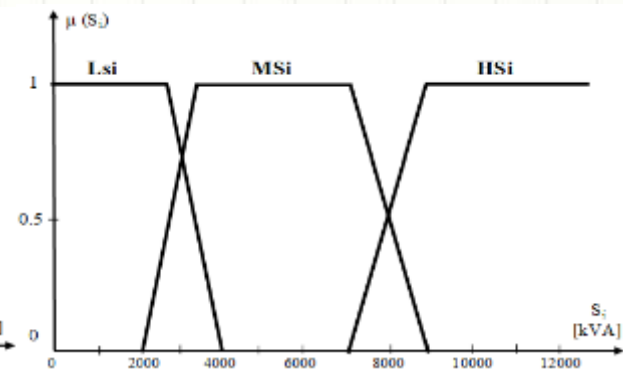
Cluster	Categoriile lingvistice		
	L_t	L_{ax}	S_i
C _{D1}	<u>LLt</u>	<u>LLax</u>	<u>LSi</u>
C _{D2}	<u>LLt</u>	<u>MLax</u>	<u>LSi</u>
C _{D3}	<u>MLt</u>	<u>MLax</u>	<u>MSi</u>
C _{D4}	<u>MLt</u>	<u>SLax</u>	<u>HSi</u>
C _{D5}	<u>HLt</u>	<u>SLax</u>	<u>HSi</u>
C _{D6}	<u>HLt</u>	<u>HLax</u>	<u>HSi</u>
C _{D7}	<u>MLt</u>	<u>HLax</u>	<u>MSi</u>



Funcțiile de apartenență – lungime totală



Funcțiile de apartenență – lungime ax

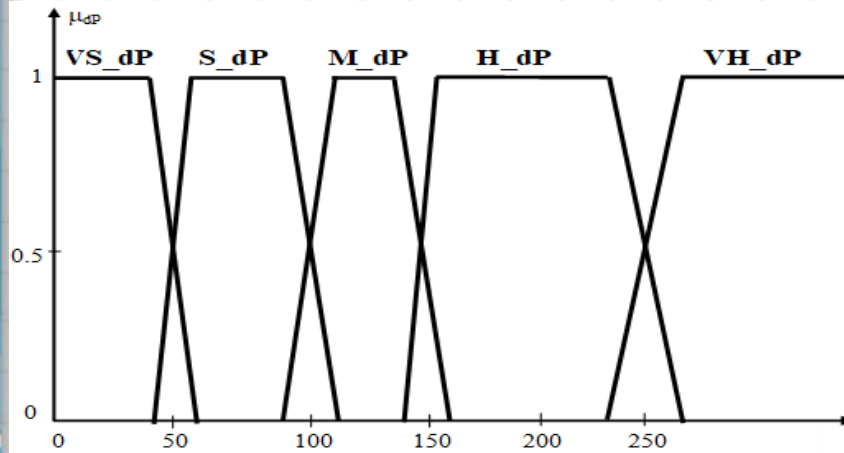


Funcțiile de apartenență - puterea instalată

ESTIMAREA PIERDERILOR PUTERE/ ENERGIE

1. Metodă fuzzy de estimare a pierderilor de putere/energie pentru distribuitorii de MT

Gruparea distribuitorilor de MT – zona rurală



VS_dp: 4 – 50 [kW]
S_dp: 50 – 100 [kW]
M_dp: 100 – 150 [kW]
H_dp: 150 – 250 [kW]
VH_dp: 250 – 500 [kW]

Funcțiile de apartenență pentru pierderile de putere

Tabelul de decizie (FAM) pentru estimarea pierderilor de putere

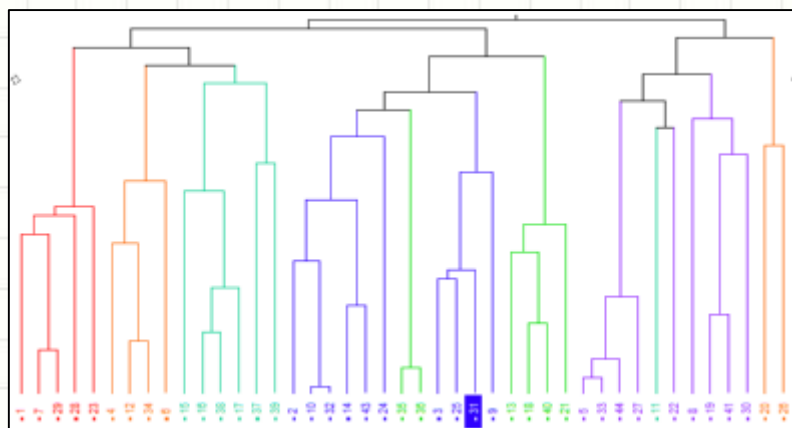
		LUNGIMEA TOTALĂ									
		LLt			MLt			HLt			
GRADUL DE ÎNCĂRCARE	VS	dP_VS	dP_VS								LS _i
						dP_S	dP_S				MS _i
				dP_S					dP_M		dP_M
	S	dP_VS	dP_VS								LS _i
						dP_S	dP_S				MS _i
				dP_S					dP_M		dP_M
	M	dP_VS	dP_VS								LS _i
						dP_S	dP_M				MS _i
				dP_M					dP_M		dP_H
	H	dP_VS	dP_S								LS _i
						dP_S	dP_M				MS _i
				dP_M					dP_H		dP_VH
VH	dP_VS	dP_VS								LS _i	
							dP_M	dP_H		MS _i	
			dP_H						dP_VH	dP_VH	HS _i
			LLax	MLax	HLax	LLax	MLax	HLax	LLax	MLax	HLax

PUTEREA INSTALATĂ

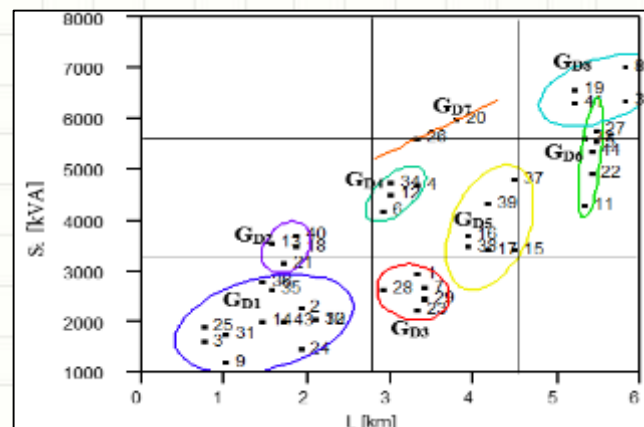
ESTIMAREA PIERDERILOR PUTERE/ ENERGIE

2. Metoda distribuitorilor reprezentativi bazată pe tehnici de clustering

Gruparea distribuitorilor de MT – zona urbană



Dendograma procesului de clustering în funcție de lungimea totală și puterea instalată)



Reprezentarea grafică a clusterelor

Caracteristicile clusterelor și distribuitorilor reprezentativi

Cluster	L [km]		L _{DR} [km]	S _i [kVA]		S _{iDR} [kVA]	Distribuitorul reprezentativ
	m _L	σ _L		m _{S_i}	σ _{S_i}		
C _{D1}	1,492	0,501	1,461	1975	452,33	2000	32
C _{D2}	1,765	0,139	1,585	3447,5	239,08	3550	13
C _{D3}	3,289	0,202	3,430	2590	259,33	2690	7
C _{D4}	3,077	0,169	3,022	4535	255,93	4520	12
C _{D5}	4,214	0,248	4,180	3870	575,95	3430	17
C _{D6}	5,427	0,069	5,380	5477,5	239,08	5431	2
C _{D7}	3,568	0,344	3,325	5805	275,77	5610	26
C _{D8}	5,537	0,343	5,24	6577,5	327,65	6580	19

ESTIMAREA PIERDERILOR PUTERE/ ENERGIE

2. Metoda distribuitorilor reprezentativi bazată pe tehnici de clustering

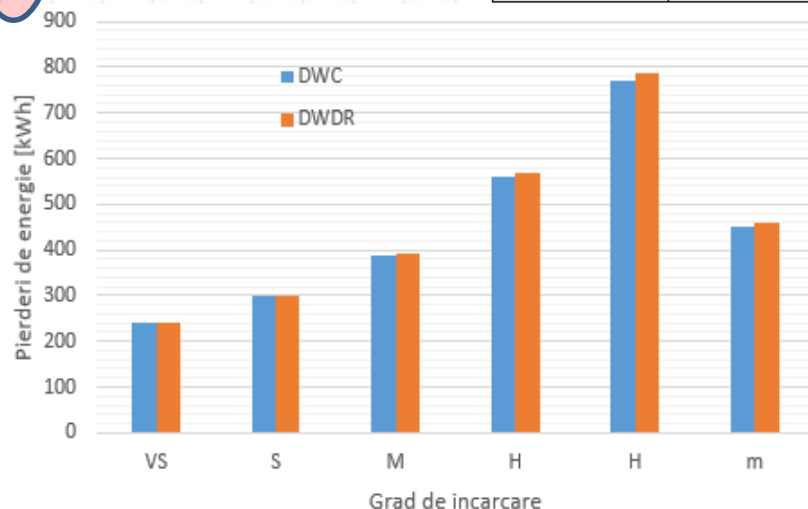
REZULTATE: Cluster C_{D3}

Pierderile de energie corespunzătoare distribuitorilor din grupa C_{D3} , în funcție de nivelul de încărcare

Nivelul de încărcare (GI)	ΔW_{D3} [kWh]				
	1	7	23	28	29
VS	254,40	240,48	214,2	270,96	226,8
S	321,45	299,88	264,75	330,17	280,725
M	421,37	391,48	342,73	422,06	363,855
H	616,26	570,45	495,15	601,87	526,39
VH	853,00	787,35	673,95	819,895	723,45

Valorile medii ale pierderilor de energie corespunzătoare clusterului C_{D3} și distribuitorului reprezentativ (distribuitorul 7), în funcție de gradul de încărcare

Gradul de încărcare	$W_{C\ med}$ [kWh]	$\Delta W_{C\ med}$ [kWh]	ΔW_{DR} [kWh]	$\delta\Delta W$ [kWh]	$\delta\Delta W$ [%]
VS	7627.20	241.36	240.48	0.888	0.012
S	12723.45	299.39	299.88	-0.48	-0.004
M	18640.35	388.30	391.48	-3.18	-0.017
H	27737.35	562.03	570.45	-8.43	-0.0303
VH	36502.05	771.53	787.35	-15.82	-0.043
m	7627.20	452.52	457.93	-5.405	-0.0166



Valorile medii ale pierderilor de energie corespunzătoare clusterului C_{D3} și distribuitorului reprezentativ (distribuitorul 7), în funcție de gradul de încărcare

ESTIMAREA PIERDERILOR PUTERE/ ENERGIE

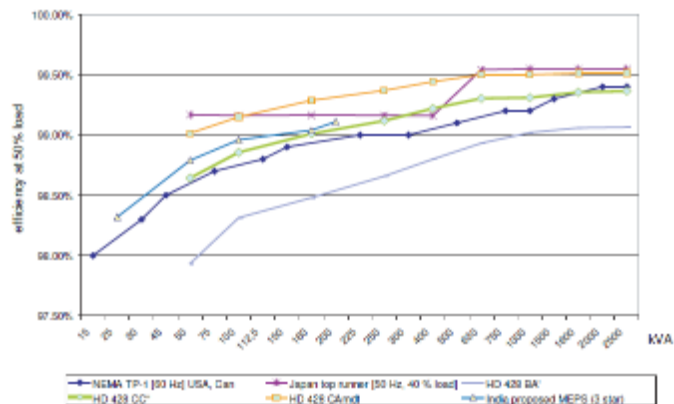
3. Metodă fuzzy de estimare a pierderilor de putere/energie pentru transformatoarele MT/JT

Parcul de transformatoare în exploatare în UE

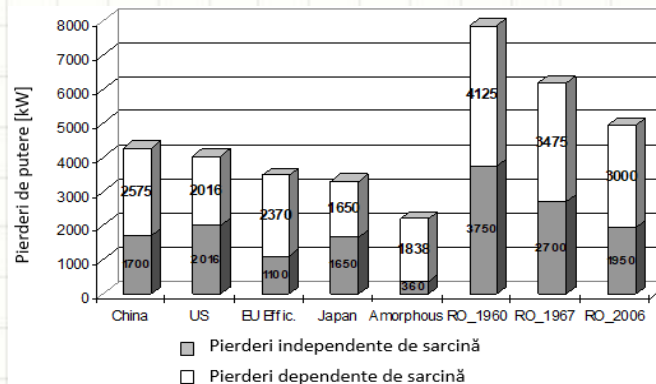
S_n [kVA]	Numărul de transformatoare UE - 27	
	[nr.]	[MVA]
< 400	2688000	313000
400 – 630	861000	441000
> 630	127000	157000
Total	3676000	911000

Evoluția numărului de PT din rețelele OD din România

Nr. crt.	Operatorul de Distribuție	2014		2015		2016	
		Nr. [buc]	Sn [MVA]	Nr. [buc]	Sn [MVA]	Nr. [buc]	Sn [MVA]
1	ENEL Distribuție Muntenia	7751	3421	7957	3486	8153	3687
2	ENEL Distribuție Banat	7836	2082	7942	2089	8052	2092
3	ENEL Distribuție Dobrogea	5893	2177	5937	1992	6006	1998
4	CEZ Distribuție	10284	2859	10284	2920	10288	2925
5	DELGAZ GRID	10902	2958	10946	2971	10992	3013
6	ELECTRICA Muntenia Nord	9808	3098	9890	3022	9955	3009
7	ELECTRICA Transilvania Nord	8338	2396	8471	2177	8627	2369
8	ELECTRICA Transilvania Sud	8378	2499	8524	2534	8641	2538
	Total	69190	21490	69951	21191	70714	21631



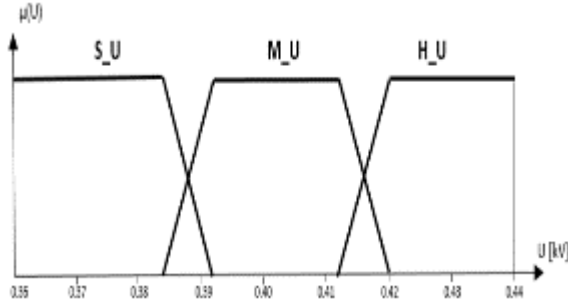
Randamentul transformatoarelor în funcție de standardele de performanță



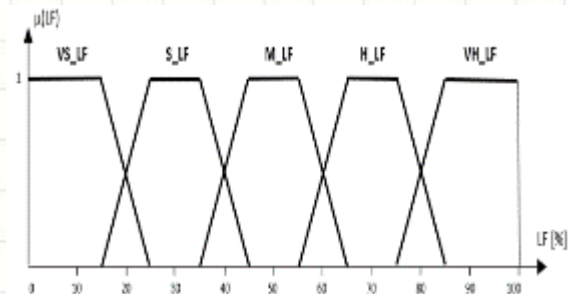
Comparație între pierderile totale de putere, transformator cu $S_n = 1000$ kVA, 50% încărcare

ESTIMAREA PIERDERILOR PUTERE/ ENERGIE

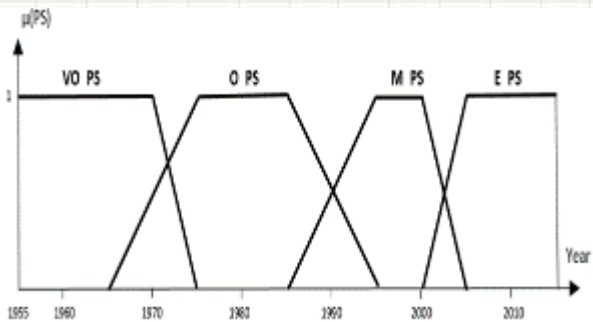
3. Metodă fuzzy de estimare a pierderilor de putere/energie pentru transformatoarele MT/JT



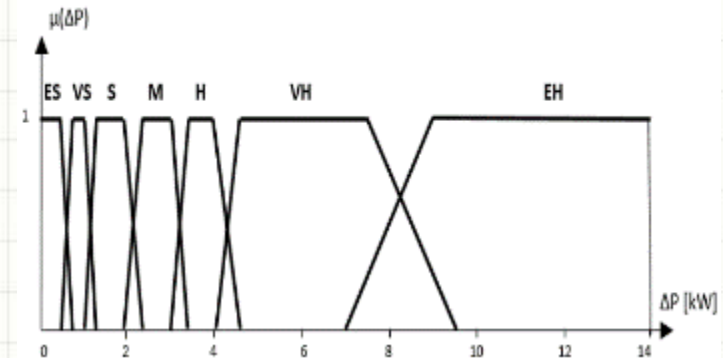
Funcțiile de apartenență – tensiune



Funcțiile de apartenență – grad de încărcare



Funcțiile de apartenență – standard de performanță



Funcțiile de apartenență – pierderi de putere

Tabelul de decizie (FAM) pentru estimarea pierderilor de putere transformator cu $S_n = 250 \text{ kV}$

		FACTOR ÎNCĂRCARE					
		VS_LF	S_LF	M_LF	H_LF	VH_LF	
STANDARD PERFORMANȚĂ	VO_PS	VS	S	M	H	VH	S_U
		S	S	M	H	VH	M_U
		S	S	M	H	VH	H_U
	O_PS	VS	VS	S	M	VH	S_U
		VS	VS	S	M	VH	M_U
		VS	VS	S	M	H	H_U
	M_PS	VS	VS	S	M	H	S_U
		VS	VS	S	M	H	M_U
		VS	VS	S	M	M	H_U
	E_PS	ES	VS	S	S	M	S_U
		ES	VS	VS	S	M	M_U
		ES	VS	VS	S	M	H_U

TENSIUNE



ESTIMAREA PIERDERILOR PUTERE/ ENERGIE

3. Metodă fuzzy de estimare a pierderilor de putere/energie pentru transformatoarele MT/JT

Studiu de caz

- distribuitor urban (20 kV) ce alimentează 10 posturi de transformare.

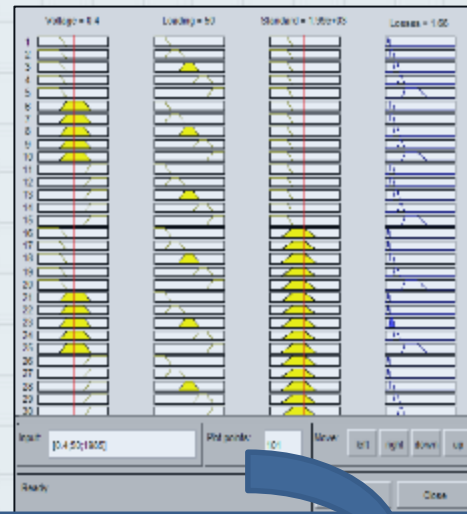
Caracteristici ale transformatoarelor din PT

Nr. crt.	Număr transformatoare	S _n [kVA]	Standard de performanță		
			RO 72	RO 06	HD428 CC'
1	3	250	2	1	-
2	4	400	1	3	-
3	3	160	-	1	2

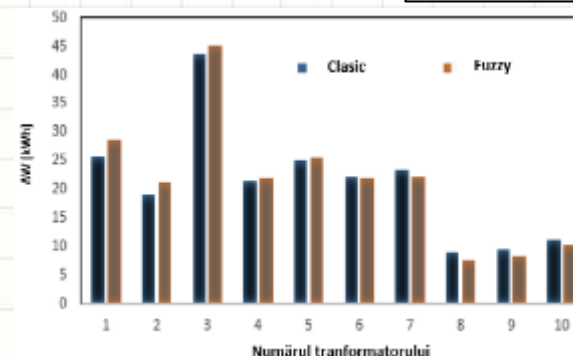
Ponderele categoriilor lingvistice ale pierderilor de putere raportate la S_n a transformatoarelor

Nr. crt.	S _n [kVA]	Categoriile lingvistice ale pierderilor de putere						
		ES	VS	S	M	H	VH	EH
1	40	58,33	31,67	5,00	5,00	-	-	-
2	63	50,00	30,00	15,00	5,00	-	-	-
3	100	36,67	25,00	30,00	8,33	-	-	-
4	160	18,33	26,67	31,67	16,67	5,00	1,67	-
5	250	5,00	30,00	25,00	21,67	10,00	8,33	-
6	400	1,67	15,00	25,00	20,00	16,67	21,67	-
7	630	-	5,00	25,00	20,00	10,00	33,33	6,67
8	1000	-	-	15,00	15,00	13,33	33,33	23,33

Baze de reguli pentru transformatoare in functie de S_n



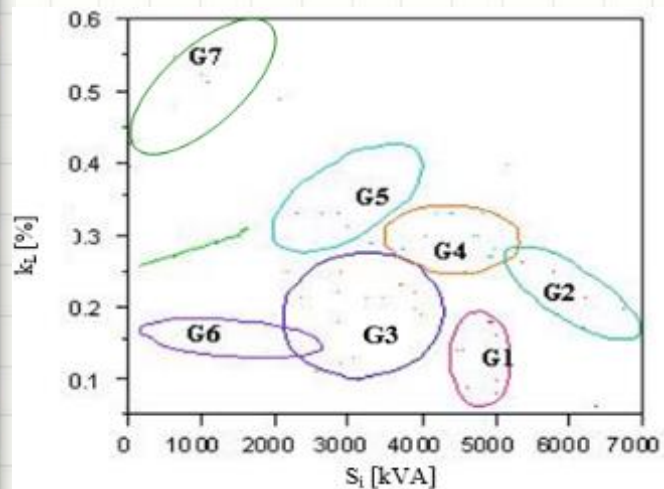
Nr. crt.	S _n [kVA]	Standard de performanță	Factorul de încărcare [%]	Tensiunea [kV]	ΔW _{clasică} [kWh]	ΔW _{Fuzzy} [kWh]
1	400	RO 06	11,05	0,42	25,79	28,56
2	250	RO 06	14,30	0,42	19,19	21,29
3	250	RO 72	50,60	0,41	43,61	45,05
4	250	RO 72	26,70	0,40	21,45	21,86
5	400	RO 72	12,15	0,40	25,06	25,44
6	400	RO 06	13,26	0,40	22,26	21,86
7	400	RO 06	7,18	0,40	23,34	22,20
8	160	HD428 CC'	21,22	0,40	8,95	7,63
9	160	HD428 CC'	23,07	0,40	9,42	8,25
10	160	RO 06	11,10	0,39	11,14	10,26
Total					210,21	212,40



Rezultate: metoda fuzzy vs. metoda clasică
Eroarea: 1.05 %

ESTIMAREA PIERDERILOR PUTERE/ ENERGIE

4. Estimarea pierderilor de putere/energie pentru distribuitorii de MT folosind modelarea fuzzy a factorului de pierderi



Clustere de distribuitori

Parametrii statistici ai caracteristicilor clusterelor

Cluster	k_L [%]		S_i [kVA]		τ^*	
	m_{kL}	σ_{kL}	m_{Si}	σ_{Si}	m_{τ^*}	σ_{τ^*}
C1	0,11	0,028	4738,00	248,63	0,12	0,07
C2	0,22	0,037	6070,00	510,19	0,48	0,08
C3	0,19	0,047	3076,38	551,77	0,47	0,16
C4	0,30	0,025	4468,75	527,75	0,39	0,14
C5	0,35	0,041	2998,33	571,08	0,28	0,24
C6	0,16	0,015	1406,66	686,02	0,39	0,15
C7	0,56	0,021	915,00	403,05	0,10	0,08



Categoriile lingvistice ale variabilelor k_L , S_i si τ^*

Cluster	Categoriile lingvistice		
	k_L	S_i	τ^*
C1	VS	HS	S_tau
C2	S	VHS	VH_tau
C3	S	MS	VH_tau
C4	M	HS	H_tau
C5	H	MS	M_tau
C6	S	LS	H_tau
C7	VH	VLS	S_tau

ESTIMAREA PIERDERILOR PUTERE/ ENERGIE

4. Estimarea pierderilor de putere/energie pentru distribuitorii de MT folosind fuzzy a factorului de pierderi

$$\Delta W_T = (\Delta P_L + \Delta P_{TrCu}) \cdot \tau^* \cdot 8760 + \Delta P_{TrFe} \cdot 8760$$

ΔP_L
 ΔP_{TrCu}
 ΔP_{TrFe}



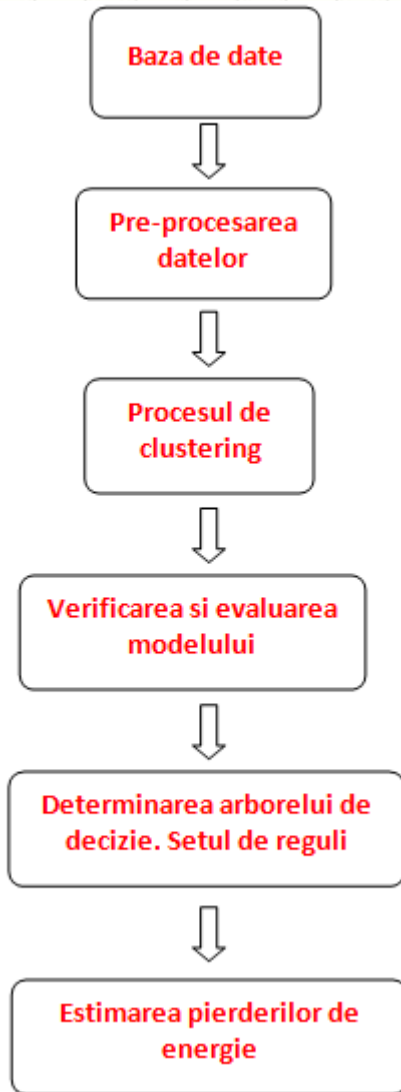
se calculează ca variabile fuzzy utilizând modelarea prezentată în metodele de simulare a încărcării rețelelor de distribuție de MT

Rezultate: stație electrică IT/MT ce alimentează 7 distribuitori de MT

Distribuitor	kI	S _i	τ^*	dW _{Tcrisp} [MWh]	dW _{Treal} [MWh]	Eroarea [%]
1	S	MS	VH_tau	93,89	92,49	-1,51
2	H	MS	H_tau	185,63	186,06	0,23
3	S	HS	VH_tau	115,35	116,79	1,23
4	S	HS	VH_tau	125,64	126,50	0,68
5	M	HS	H_tau	181,34	181,48	0,08
6	H	MS	H_tau	81,58	83,10	1,83
7	S	MS	VH_tau	119,50	119,41	-0,07
Total				902,93	905,83	0,32

ESTIMAREA PIERDERILOR PUTERE/ ENERGIE

5. Metodă de estimare a pierderilor de putere în rețelele de distribuție bazată pe arbori de decizie



Etapele algoritmului propus

125 distribuitori urbani de MT (20 kV)

- baza de lucru: 85 distribuitori;
- baza test: 40 distribuitori.

Caracteristici distribuitori:

- lungime, putere instalată, grad de încărcare, pierderi anuale de energie
-

Metoda k-medii

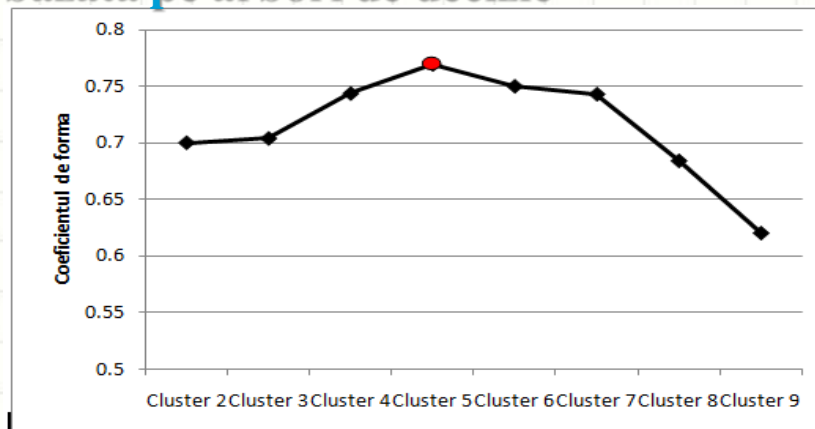
Calculul coeficientului de formă (siluetă) pentru verificarea calității grupării.

Algoritmul CART (de clasificare și regresie) .

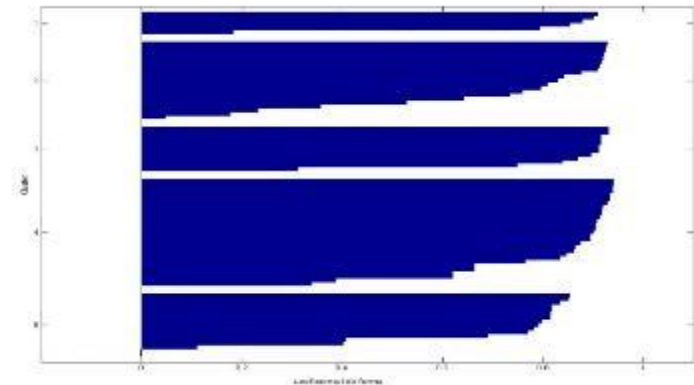
Estimarea pierderilor de energie folosind metoda statistică.

ESTIMAREA PIERDERILOR PUTERE/ ENERGIE

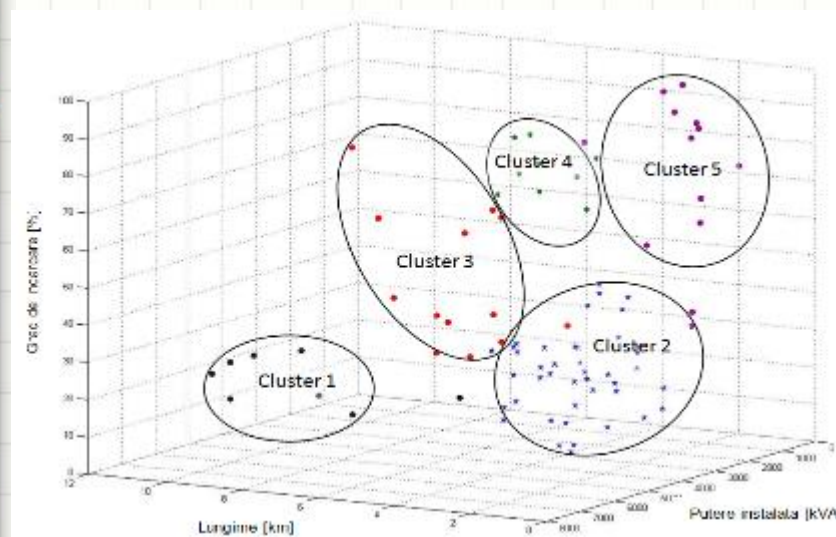
5. Metodă de estimare a pierderilor de putere în rețelele de distribuție bazată pe arbori de decizie



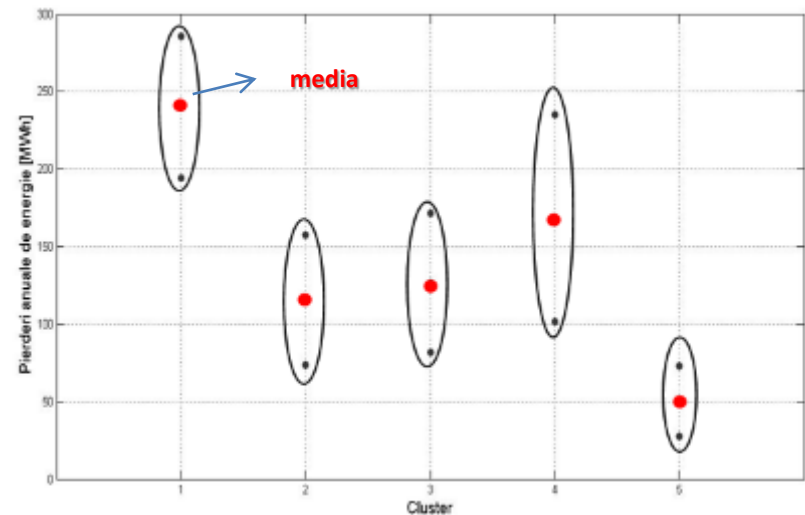
Valoarea coeficientului de forma(silueta) pentru k = 2 - 9



Reprezentarea coeficientului de forma (koptim = 5)



Reprezentarea clusterelor



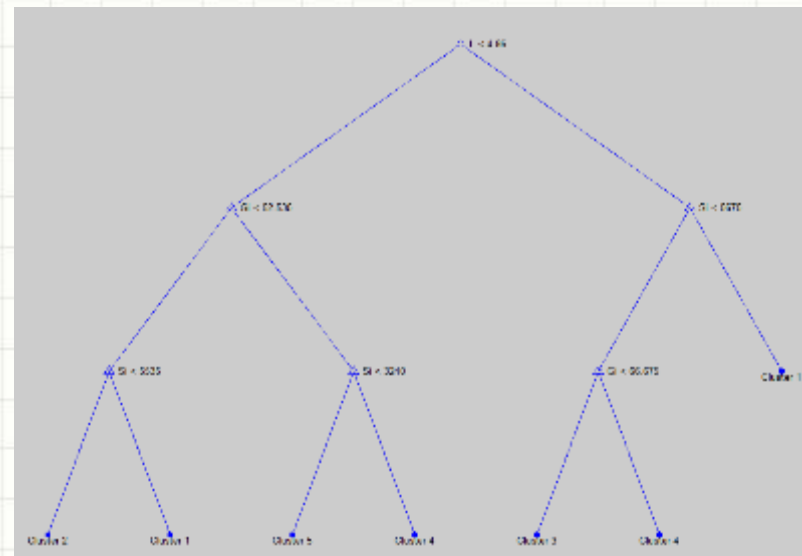
Reprezentarea variației pierderilor anuale de energie

ESTIMAREA PIERDERILOR PUTERE/ ENERGIE

5. Metodă de estimare a pierderilor de putere în rețelele de distribuție bazată pe arbori de decizie

Caracteristicile statistice ale clusterelor (baza de lucru)

Cluster	Număr distribuitori	Lungimea [km]		Puterea instalată [kVA]		Grad de încărcare [%]		Pierderi anuale de energie [MWh]	
		Media	Dispersia	Media	Dispersia	Media	Dispersia	Media	Dispersia
1	8	7.81	2.23	6619.50	930.62	25.61	6.55	239.86	35.63
2	42	3.08	1.03	3573.64	949.05	24.48	9.84	115.61	32.56
3	13	6.38	1.40	3429.69	990.29	45.49	16.85	126.85	35.02
4	9	4.22	1.07	3275.89	654.27	76.92	6.62	168.20	52.05
5	13	2.20	0.89	1490.23	737.17	72.87	20.28	50.55	17.77



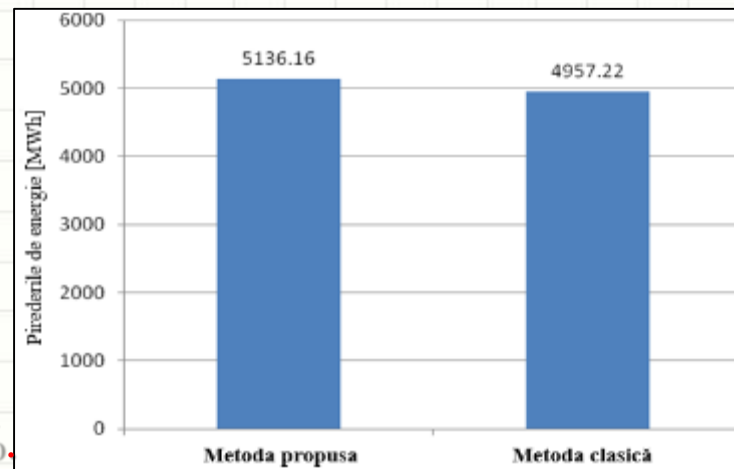
Arborele de decizie pentru estimarea pierderilor de energie pentru distribuitorii de MT din zonele urbane

Matricea de confuzie pentru procesul de clasificare (baza de testare)

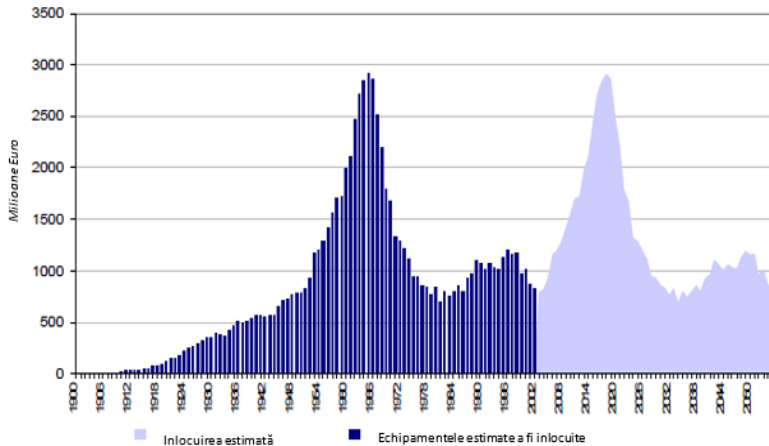
Actual		Clasificare					Rata de corectitudine
		Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	
Cluster 1	8	7	0	1	0	0	0.875
Cluster 2	42	0	42	0	0	0	1.000
Cluster 3	13	0	0	12	1	0	0.923
Cluster 4	9	0	0	0	8	1	0.889
Cluster 5	13	0	1	0	0	12	0.923

Total distribuitori corect clasificați: 81
 Total distribuitori incorect clasificați: 4
 Rata de corectitudine a clasificării: 0.953

Eroare - 3,6%.



METODE DE CREȘTEREA EFICIENȚEI ENERGETICE ÎN REȚELELE DE DISTRIBUȚIE



Evoluția investițiilor în rețelele electrice de distribuție și estimarea perioadei de înlocuire a echipamentelor aflate la limita duratei de viață

OD realizează permanent programe multianuale de investiții care au în vedere creșterea eficienței energetice.

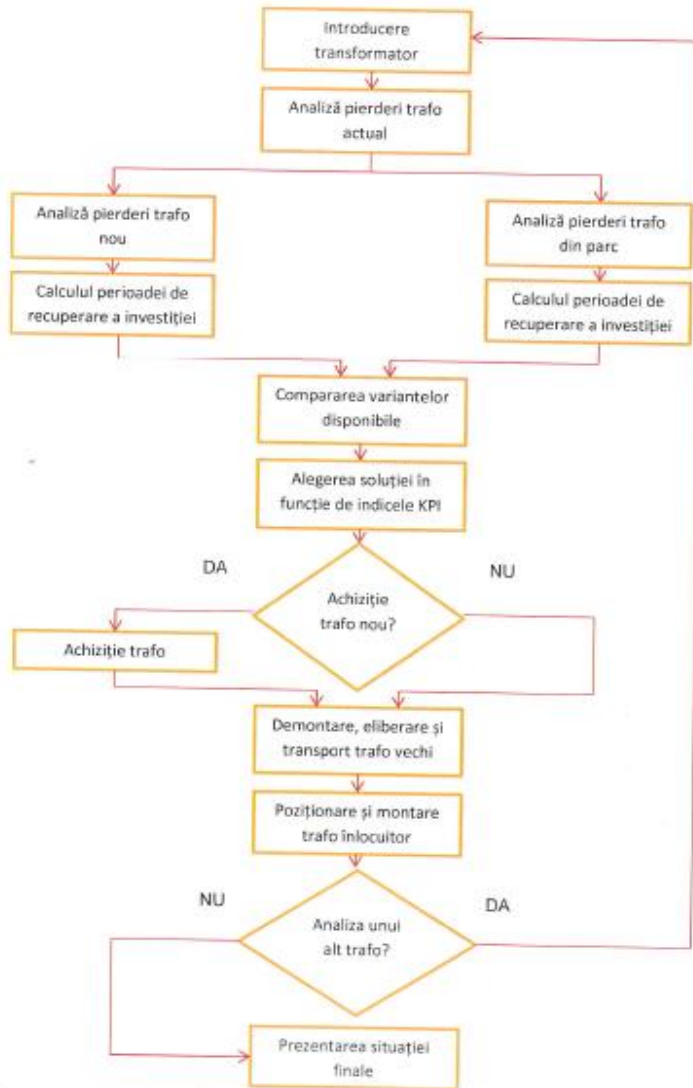
- creșterea siguranței în alimentarea cu energie electrică a tuturor consumatorilor;
- **reducerea pierderilor de energie electrică;**
- creșterea gradului de securitate în exploatarea instalațiilor electrice și a siguranței în funcționare;
- scăderea numărului de defecte în instalațiile electrice și a timpilor de întrerupere în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor;
- asigurarea parametrilor de calitate a energiei electrice;
- reducerea cantităților de energie electrică nelivrată consumatorilor ca urmare a întreruperilor accidentale;
- reducerea cheltuielilor cu mentenanța și reparațiile.

Măsuri:

- modernizarea stațiilor de transformare 110/20/6 kV și **a posturilor de transformare 20/0,4 kV;**
- trecerea instalațiilor de la nivelul de tensiune de 6 kV la nivelul de 20 kV;
- dezvoltarea sistemului de automatizare a distribuției (SAD);
- integrarea în SCADA a tuturor stațiilor de transformare IT/MT;
- introducerea contoarelor smart;
- montarea RAT în stațiile de transformare IT/MT;
- extinderea sistemului de telegestiune și monitorizare a parametrilor de calitate a energiei electrice.
- **echilibrarea încărcării fazelor;**

METODE DE CREȘTEREA EFICIENȚEI ENERGETICE ÎN REȚELELE DE DISTRIBUȚIE

1. Strategii bazate pe folosirea transformatoarelor eficiente



Variante de studiu:

- **Identificarea transformatoarelor supra și slab încărcate și înlocuirea acestora cu transformatoare dimensionate corespunzător, având același standard de fabricație sau unul superior. Înlocuirea se efectuează cu transformatoare disponibile în parcul de transformatoare al companiei de distribuție.**
- **Transformatoarele dimensionate corespunzător vor fi înlocuite cu altele având standard de fabricație superior.**

METODE DE CREȘTEREA EFICIENȚEI ENERGETICE ÎN REȚELELE DE DISTRIBUȚIE

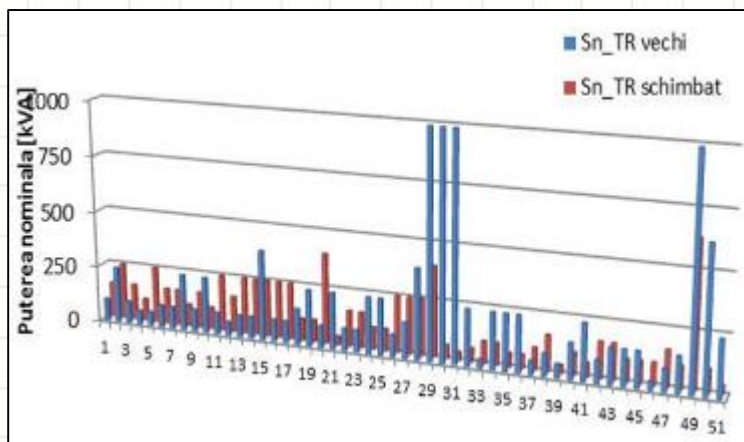
1. Strategii bazate pe folosirea transformatoarelor eficiente

Standardele de performanță ale transformatoarelor analizate

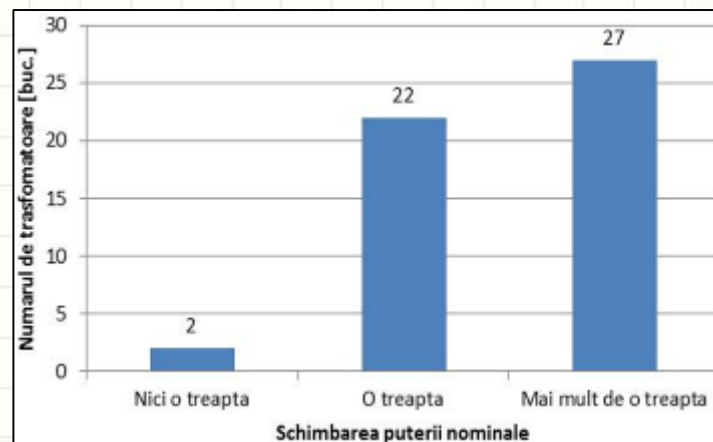
Standardul de fabricație	Înainte 1972	După 1972	NTE 006/06/06	Total
Număr [buc]	12	32	7	51
Număr [%]	24	63	14	100%

Varianta V_I - înlocuire cu standard NTE 006/06/06 (după tehnologia de fabricație din anii 1990) pentru transformatoarele cu standardele <1972 și >1972, respectiv identic pentru transformatoarele cu standardul NTE 006/06/06. În situația în care în parcul de transformatoare nu se mai găsesc transformatoare cu standard NTE 006/06/06, atunci acele transformatoare cu standardele <1972 și >1972 vor fi înlocuite cu standardul > 1972.

Varianta V_II - înlocuire cu transformatoare eficiente (Standard european EN 50464).



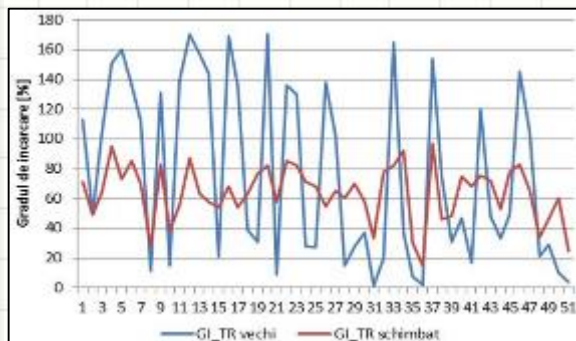
Comparație între puterile nominale inițiale și finale ale transformatoarelor analizate



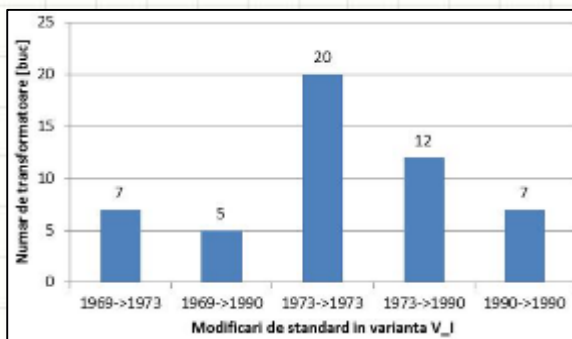
Modificarea puterii nominale a transformatoarelor analizate

METODE DE CREȘTEREA EFICIENȚEI ENERGETICE ÎN REȚELELE DE DISTRIBUȚIE

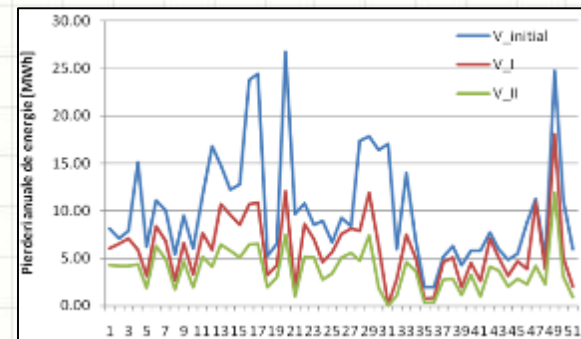
1. Strategii bazate pe folosirea transformatoarelor eficiente



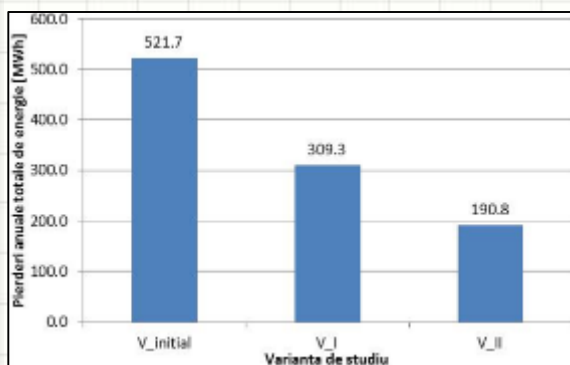
Gradul de încărcare inițial și final al transformatoarelor analizate



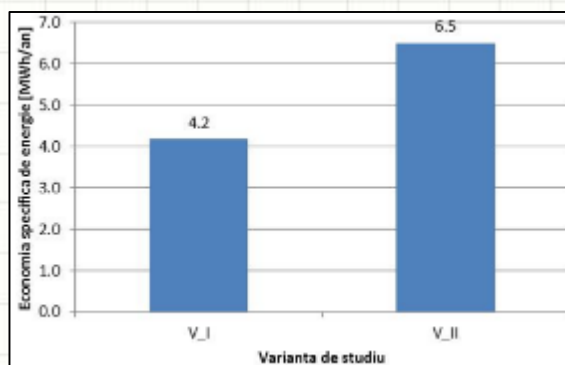
Modificarea standardului de fabricație a transformatoarelor analizate - varianta V_I



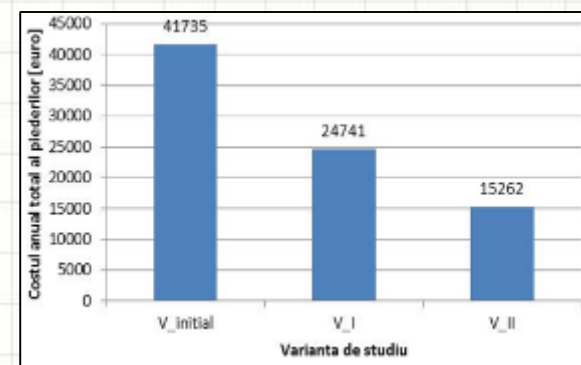
Pierderile anuale de energie calculate pentru fiecare transformator și variantă



Pierderile anuale totale de energie calculate în fiecare variantă de studiu



Economia specifică de energie în cele două variante de studiu



Costurile anuale ale pierderilor de energie pentru fiecare variantă de studiu

METODE DE CREȘTEREA EFICIENȚEI ENERGETICE ÎN REȚELELE DE DISTRIBUȚIE

2. Strategii privind echilibrarea încărcării fazelor

$$\min(CUF_h^{(p)}), \quad p = 1, \dots, N_p; \quad h = 1, \dots, H$$

$$CUF_h^{(p)} = \frac{1}{3} \left[\left(\frac{i_{a,h}^{(p)}}{i_{av,h}^{(p)}} \right)^2 + \left(\frac{i_{b,h}^{(p)}}{i_{av,h}^{(p)}} \right)^2 + \left(\frac{i_{c,h}^{(p)}}{i_{av,h}^{(p)}} \right)^2 \right]$$

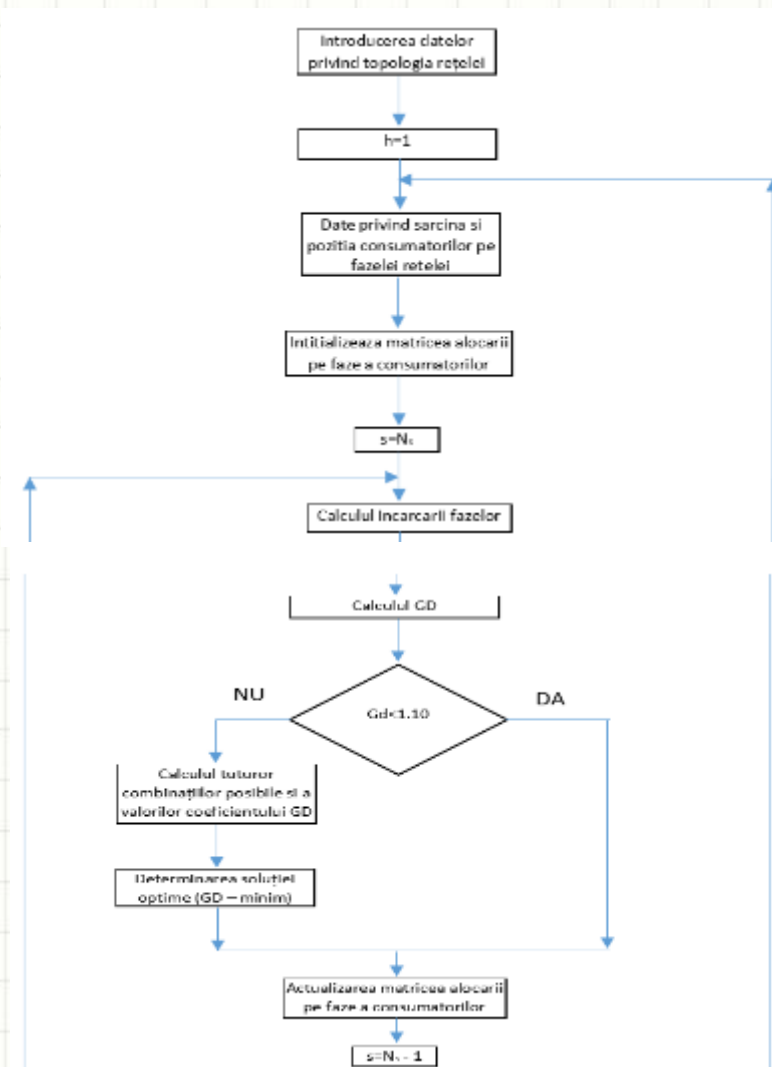
$$i_{av,h}^{(p)} = \frac{1}{3} (i_{a,h}^{(p)} + i_{b,h}^{(p)} + i_{c,h}^{(p)})$$

$$i_{a,h}^{(p)} = \left(\sum_{k=1}^{n_a^{(p)}} i_{a,k,h}^{(p)} \right) + i_{a,j,h}^{(p)}$$

$$i_{b,h}^{(p)} = \left(\sum_{l=1}^{n_b^{(p)}} i_{b,l,h}^{(p)} \right) + i_{b,j,h}^{(p)}$$

$$i_{c,h}^{(p)} = \left(\sum_{m=1}^{n_c^{(p)}} i_{c,m,h}^{(p)} \right) + i_{c,j,h}^{(p)}$$

$$n^{(p)} = n_a^{(p)} + n_b^{(p)} + n_c^{(p)}$$



METODE DE CREȘTEREA EFICIENȚEI ENERGETICE ÎN REȚELELE DE DISTRIBUȚIE

2. Strategii privind echilibrarea încărcării fazelor

$$\min(CUF_h^{(p)}), \quad p=1, \dots, N_p; \quad h=1, \dots, H$$

$$CUF_h^{(p)} = \frac{1}{3} \left[\left(\frac{i_{a,h}^{(p)}}{i_{av,h}^{(p)}} \right)^2 + \left(\frac{i_{b,h}^{(p)}}{i_{av,h}^{(p)}} \right)^2 + \left(\frac{i_{c,h}^{(p)}}{i_{av,h}^{(p)}} \right)^2 \right]$$

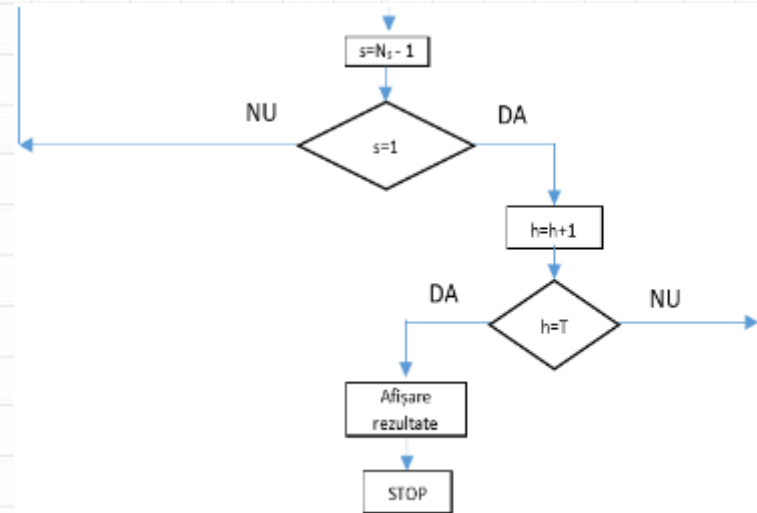
$$i_{av,h}^{(p)} = \frac{1}{3} (i_{a,h}^{(p)} + i_{b,h}^{(p)} + i_{c,h}^{(p)})$$

$$i_{a,h}^{(p)} = \left(\sum_{k=1}^{n_a^{(p)}} i_{a,k,h}^{(p)} \right) + i_{a,j,h}^{(p)}$$

$$i_{b,h}^{(p)} = \left(\sum_{l=1}^{n_b^{(p)}} i_{b,l,h}^{(p)} \right) + i_{b,j,h}^{(p)}$$

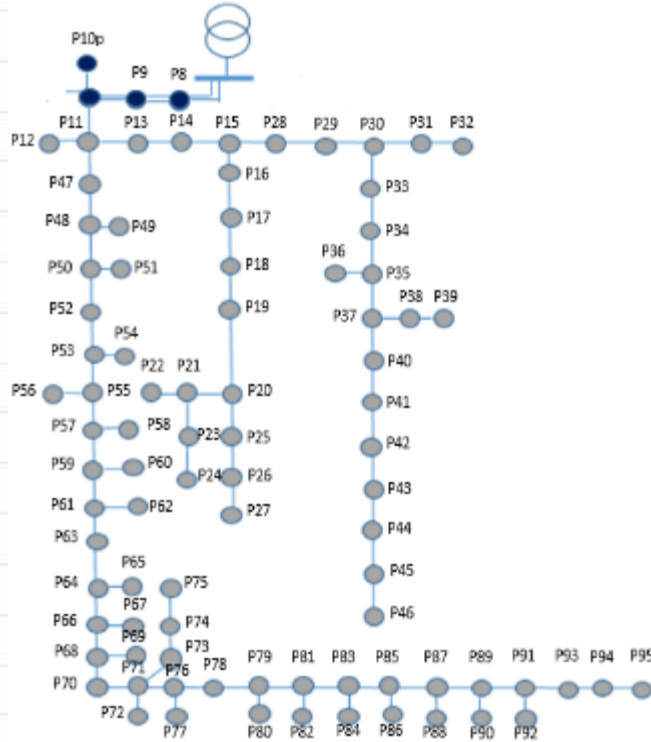
$$i_{c,h}^{(p)} = \left(\sum_{m=1}^{n_c^{(p)}} i_{c,m,h}^{(p)} \right) + i_{c,j,h}^{(p)}$$

$$n^{(p)} = n_a^{(p)} + n_b^{(p)} + n_c^{(p)}$$



METODE DE CREȘTEREA EFICIENȚEI ENERGETICE ÎN REȚELELE DE DISTRIBUȚIE

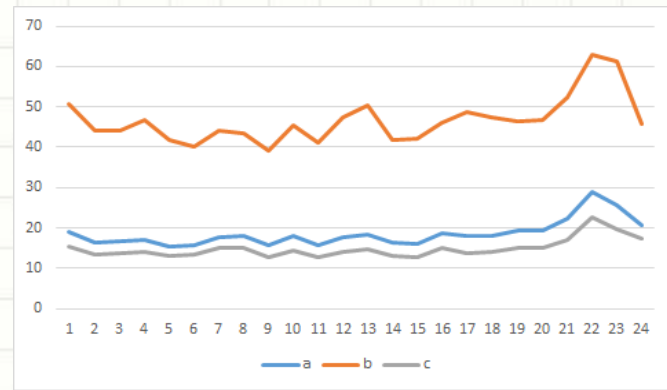
2. Strategii privind echilibrarea încărcării fazelor



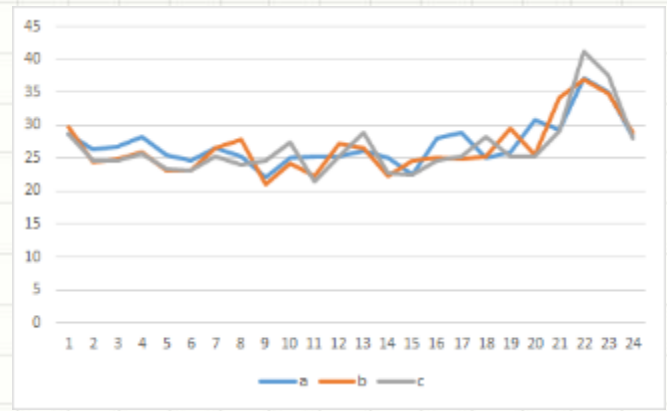
Topologia rețelei de distribuție de JT analizată

Caracteristicile de material și sarcină

Stalpi	Alocarea consumatorilor pe faze				Tip conductor	Secțiunea [mm ²]	Lungimea [m]
	a	b	c	abc			
88	33	28	17	6	Clasic	3x35+35	720
	84				Clasic	3x50+50	1840



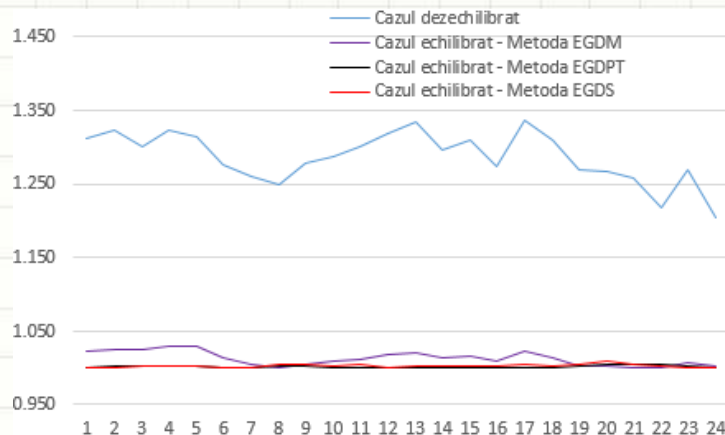
Încărcarea fazelor pe primul tronson (cazul dezechilibrat)



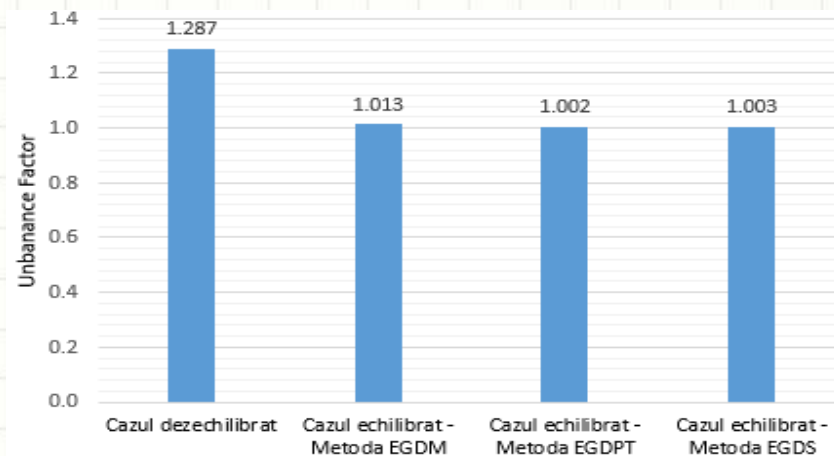
Încărcarea fazelor pe primul tronson (cazul echilibrat)

METODE DE CREȘTEREA EFICIENȚEI ENERGETICE ÎN REȚELELE DE DISTRIBUȚIE

2. Strategii privind echilibrarea încărcării fazelor



Varatia orara a gradului de dezechilibru



Valoarea medie a GD

Metode de echilibrare:

1. Metoda EGDM (echilibrarea la ora inregistrarii valorii maxime a GD)
2. Metoda EGDPT (echilibrarea la nivel de PT)
3. Metoda EGDS (echilibrarea la nivel de stalp)

Pierderi de energie

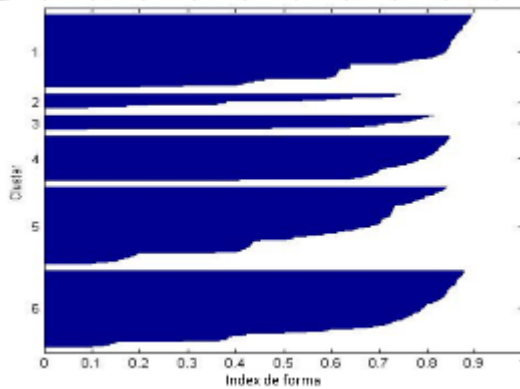
Metode	$W_{intra\tau}$ [kWh]	W_{iesit} [kWh]	ΔW [kWh]	$\delta \Delta W$ [kWh]	ΔW [%]	$\delta \Delta W$ [%]
Cazul dezechilibrat	387.44	367.19	20.25	0	5.22	0
Metoda EGDM	380.74	367.19	13.55	6.70	3.49	33.08
Metoda EGDPT	376.70	367.19	9.51	10.74	2.52	46.96
Metoda EGDS	374.23	367.19	7.04	13.21	1.88	65.23

INTEGRAREA SURSELOR DE ENERGIE REGENERABILĂ (SER) ÎN REȚELELE ELECTRICE

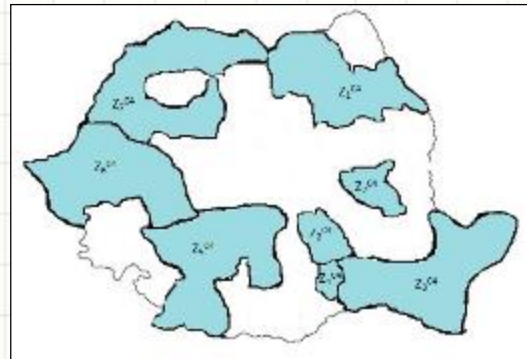
1. Evaluarea potențialului tehnic exploatabil al energiei regenerabile

Evaluarea potențialului tehnic exploatabil al SER în România

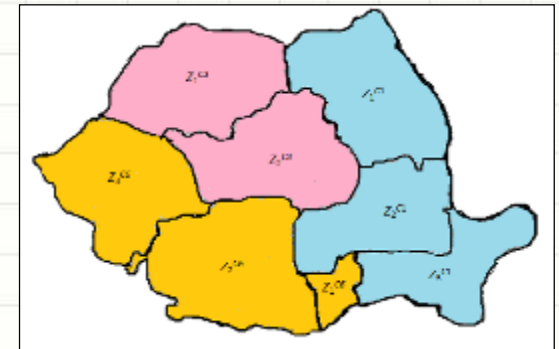
- bază de date care conține proiecte în faza de aprobare a avizului tehnic de racord în perioadă de valabilitate (cu un potențial de realizare) date în perioada 2012-2014.
- fiecare înregistrată din baza de date conține următoarele informații: capacitatea instalată, nivelul de tensiune (JT - 0,4 kV, MT - 20 kV, IT - 110 kV și FIT - 220, 400 kV), tipul resurselor (hidro, biogaz, cogenerare, fotovoltaic, eolian) și date geografice.



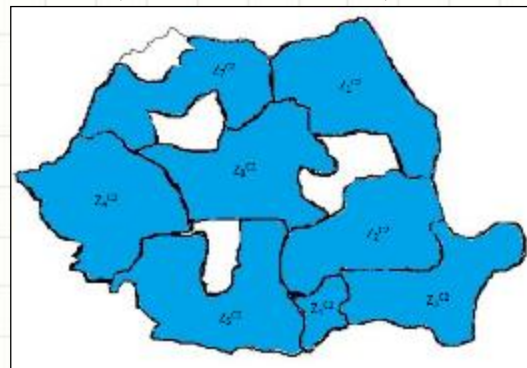
Reprezentarea indexului de formă
($K_{\text{optim}} = 6$)



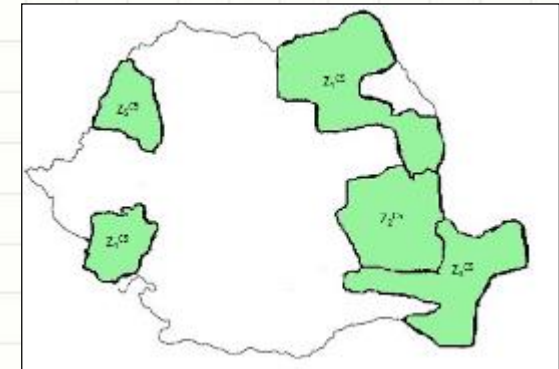
Harta zonelor aparținând clusterului C4
(nivel de tensiune 20 kV)



Harta zonelor aparținând clusterelor C1, C3 și C6
(nivel de tensiune 0,4 kV)



Harta zonelor aparținând clusterului C2
(nivel de tensiune 110 și 220 kV)

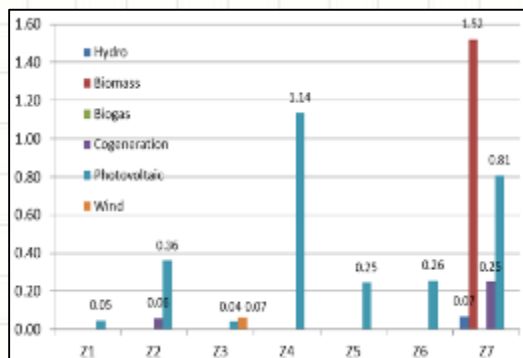


Harta zonelor aparținând clusterului C5
(nivel de tensiune 220 și 400 kV)

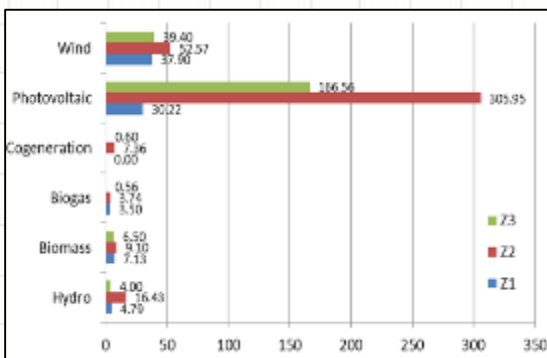
INTEGRAREA SURSELOR DE ENERGIE REGENERABILĂ (SER) ÎN REȚELELE ELECTRICE

1. Evaluarea potențialului tehnic exploatabil al energiei regenerabile

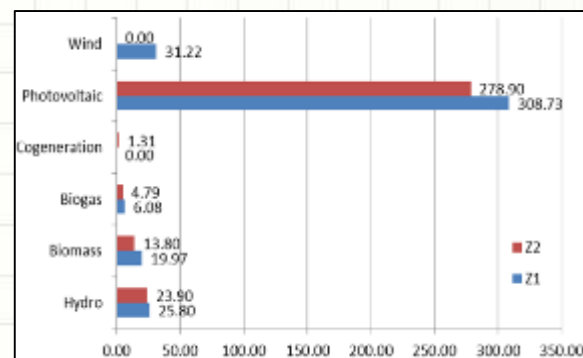
Evaluarea potențialului tehnic exploatabil al SER în România



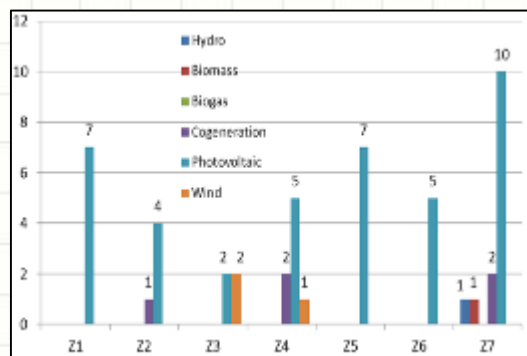
Capacitatea instalată a surselor de energie regenerabilă din zonele clusterului C4



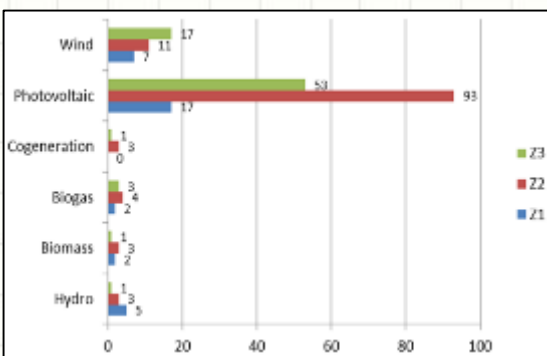
Capacitatea instalată a surselor de energie regenerabilă din zonele clusterului C1



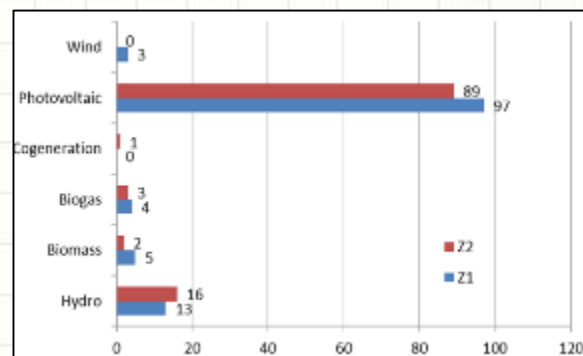
Capacitatea instalată a surselor de energie regenerabilă din zonele clusterului C3



Numărul surselor de energie de energie regenerabilă din zonele clusterului C4



Numărul surselor de energie de energie regenerabilă din zonele clusterului C1

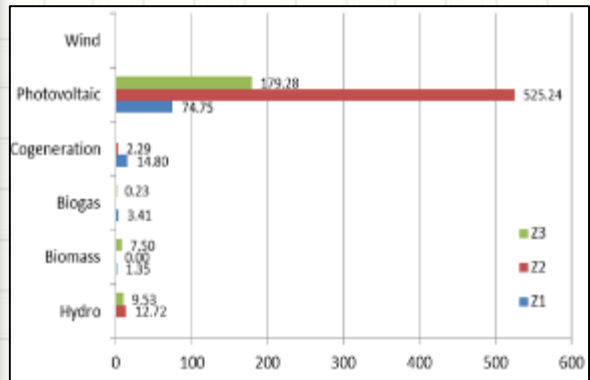


Numărul surselor de energie de energie regenerabilă din zonele clusterului C3

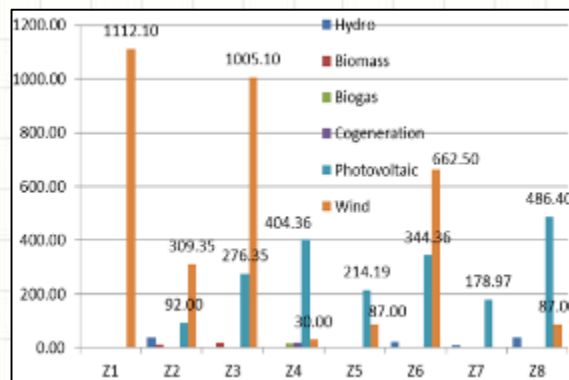
INTEGRAREA SURSELOR DE ENERGIE REGENERABILĂ (SER) ÎN REȚELELE ELECTRICE

1. Evaluarea potențialului tehnic exploatabil al energiei regenerabile

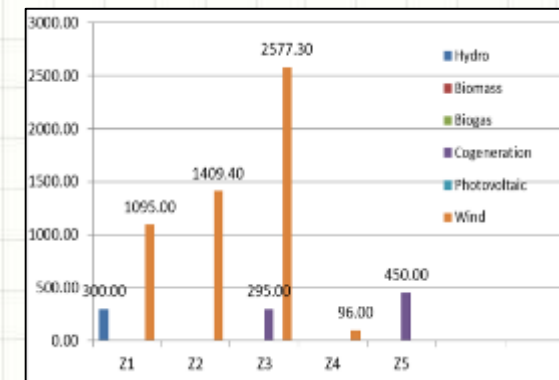
Evaluarea potențialului tehnic exploatabil al SER în România



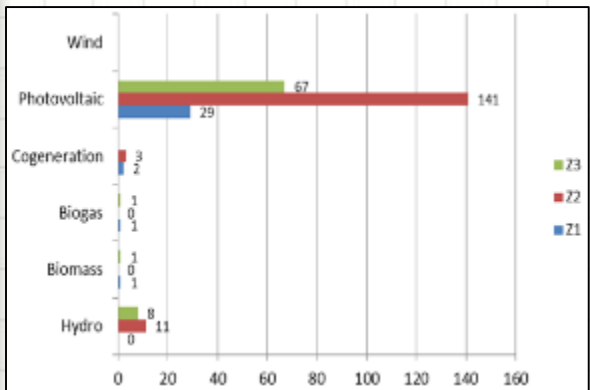
Capacitatea instalată a surselor de energie regenerabilă din zonele clusterului C6



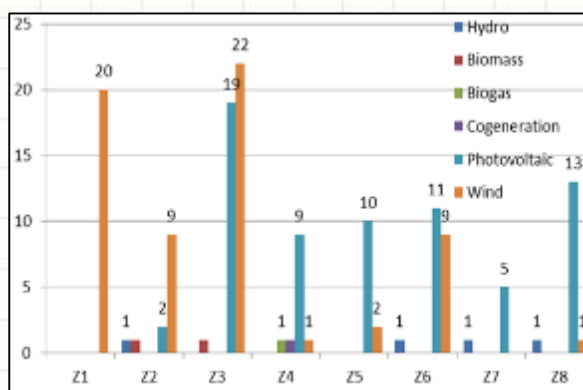
Capacitatea instalată a surselor de energie regenerabilă din zonele clusterului C2



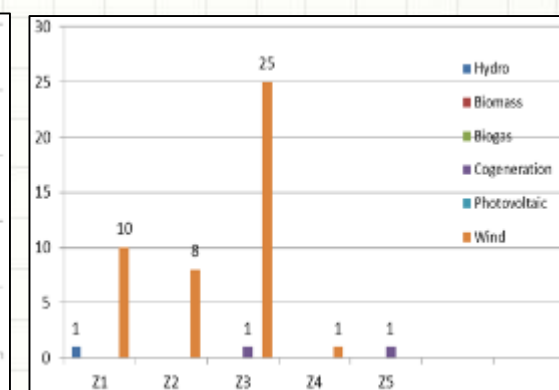
Capacitatea instalată a surselor de energie regenerabilă din zonele clusterului C5



Numărul surselor de energie de energie regenerabilă din zonele clusterului C6



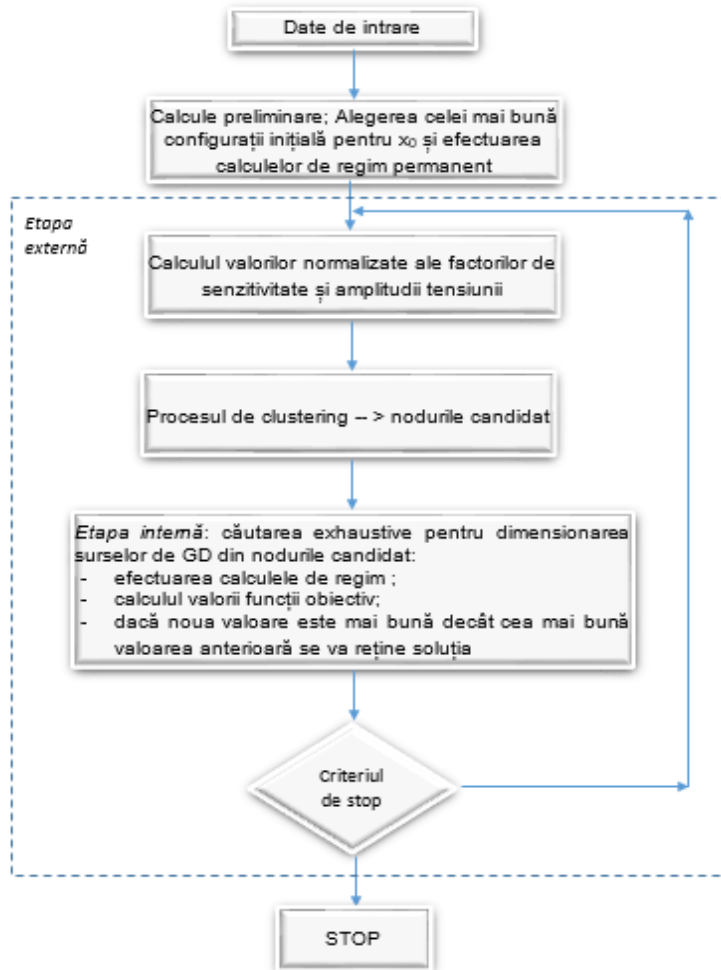
Numărul surselor de energie de energie regenerabilă din zonele clusterului C2



Numărul surselor de energie de energie regenerabilă din zonele clusterului C5

INTEGRAREA SURSELOR DE ENERGIE REGENERABILĂ (SER) ÎN REȚELELE ELECTRICE

2. Integrarea surselor de energie regenerabilă în rețelele de distribuție



Etapa externă. Procesul de clustering - pentru găsi tipare ale nodurilor în raport cu factorul de sensibilitate și variația în timp a amplitudinii tensiunii (normalizate) și selectarea unei mulțimi de noduri candidate care să fie procesate de stadiul intern; la fiecare iterație, rezultatele clusterizării simplifică procesul de selectare a unui numărului de noduri în care sunt localizate sursele de DG.

Etapa internă. Utilizarea căutării exhaustive - utilizată datorită numărului mic de variabile de decizie referitoare la dimensiunile discrete ale surselor de GD disponibile în nodurile candidat; în acest fel, toate combinațiile dimensiunilor surselor de GD pot fi testate, iar soluția găsită în etapa internă va reprezenta soluția optimă, care satisface funcția obiectivă.

Diagrama metodei propuse pentru amplasarea și dimensionarea optimă a surselor de GD

INTEGRAREA SURSELOR DE ENERGIE REGENERABILĂ (SER) ÎN REȚELELE ELECTRICE

2. Integrarea surselor de energie regenerabilă în rețelele de distribuție

Modelul matematic

Funcția obiectiv

$$\min \left\{ C(x) = \alpha \frac{F_{FR}(x)}{F_{FR}(x^{(base)})} + (1 - \alpha) \frac{F_U(x)}{F_U(x^{(base)})} \right\}$$

Restricții

$$P_h^{(i)} + jQ_h^{(i)} = \bar{U}_h^{(i)} \bar{I}_h^{(i)*}$$

$$U_{h,\min}^{(i)} \leq U_{i,h} \leq U_{h,\max}^{(i)}$$

$$S_h^{(b)} \leq S_{h,\max}^{(b)}$$

$$P_h^{(i,GD)} \leq P_{h,\max}^{(i,GD)}$$

$$Q_{h,\min}^{(i,GD)} \leq Q_h^{(i,GD)} \leq Q_{h,\max}^{(i,GD)}$$

Procesul de normalizare

Factorii de sensibilitate

$$FSP_h^{(b)} = \frac{\partial(\Delta P_h^{(b)})}{\partial Q_h^{(b)}} = \frac{2 Q_h^{(b)} R^{(b)}}{(U_h^{(nf)})^2}$$

$$\sigma_h^{(nf)} = \frac{FSP_h^{(b)} - FSP_h^{(\min)}}{FSP_h^{(\max)} - FSP_h^{(\min)}}$$

$$FSP_h^{(\max)} = \max_{b=1,\dots,B} \{FSP_h^{(b)}\}$$

$$FSP_h^{(\min)} = \min_{b=1,\dots,B} \{FSP_h^{(b)}\}$$

Tensiunea din noduri

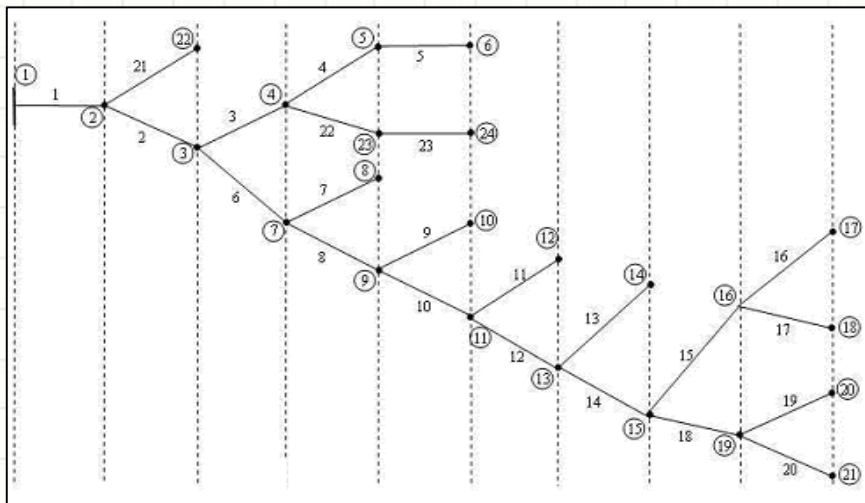
$$u_h^{(i)} = \frac{U_h^{(i)} - U_h^{(\min)}}{U_h^{(\max)} - U_h^{(\min)}}$$

$$U_h^{(\max)} = \max_{i=1,\dots,N} \{U_h^{(i)}\}$$

$$U_h^{(\min)} = \min_{i=1,\dots,N} \{U_h^{(i)}\}$$

INTEGRAREA SURSELOR DE ENERGIE REGENERABILĂ (SER) ÎN REȚELELE ELECTRICE

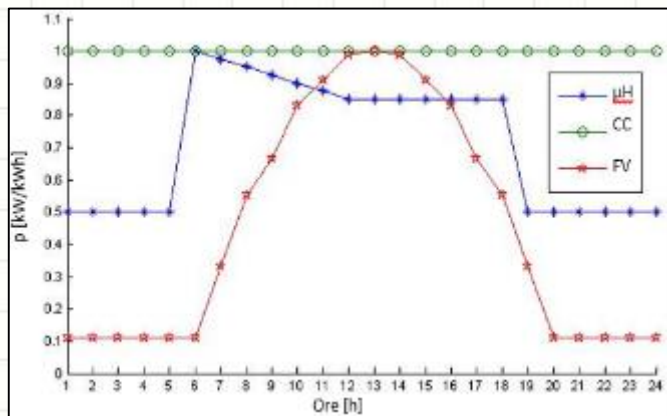
2. Integrarea surselor de energie regenerabilă în rețelele de distribuție



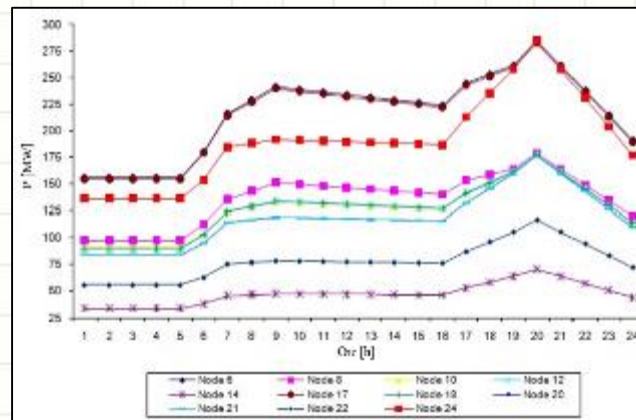
Rețeaua de distribuție test ($U_n = 20$ kV)

Dimensiunile surselor de GD considerate

Nod	Surse de generare		Nod	Surse de generare	
	Tip	Numărul de puteri nominale/valorile puterii nominale [kW]		Tip	Numărul de puteri nominale/valorile puterii nominale [kW]
1	-	-	13	μ H	4 : 100,200,300,400
2	-	-	14	CC	4 : 100,200,300,400
3	μ H	4 : 50,100,150,200	15	FV	4 : 25,50,75,100
4	FV	4 : 10,20,30,40	16	FV	4 : 10,20,30,40
5	-	-	17	FV	4 : 5,10,15,20
6	-	-	18	FV	4 : 25,50,75,100
7	FV	4 : 25,50,75,100	19	μ H	4 : 50,100,150,200
8	-	-	20	-	-
9	FV	4 : 50,100,150,200	21	CC	4 : 50,100,150,200
10	CC	4 : 50,100,150,200	22	-	-
11	μ H	4 : 100,200,300,400	23	-	-
12	-	-	24	CC	4 : 100,200,300,400



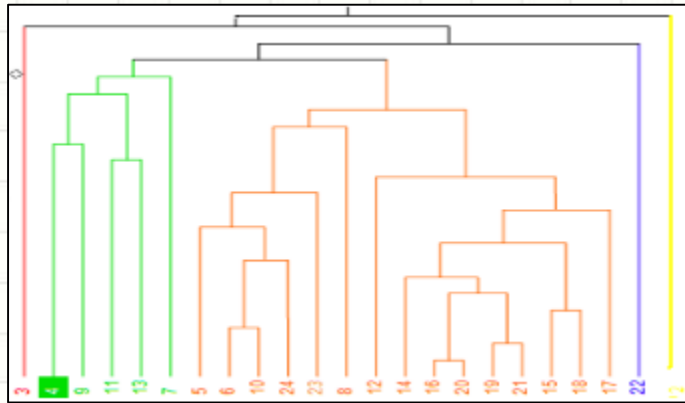
Profilurile zilnice de generare ale surselor D



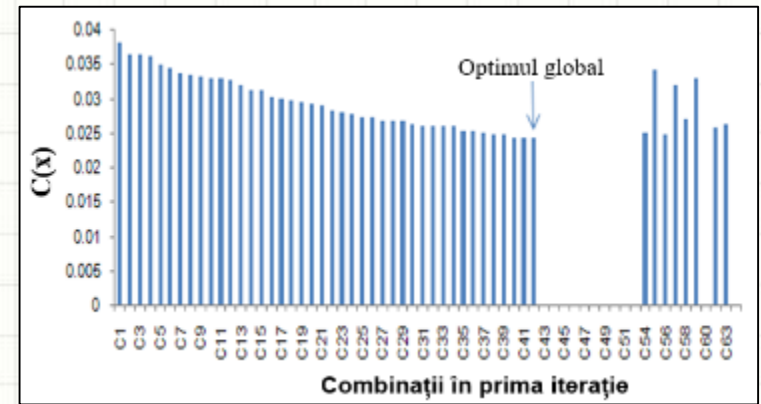
Profilurile orare ale sarcinilor din nodurile rețelei

INTEGRAREA SURSELOR DE ENERGIE REGENERABILĂ (SER) ÎN REȚELELE ELECTRICE

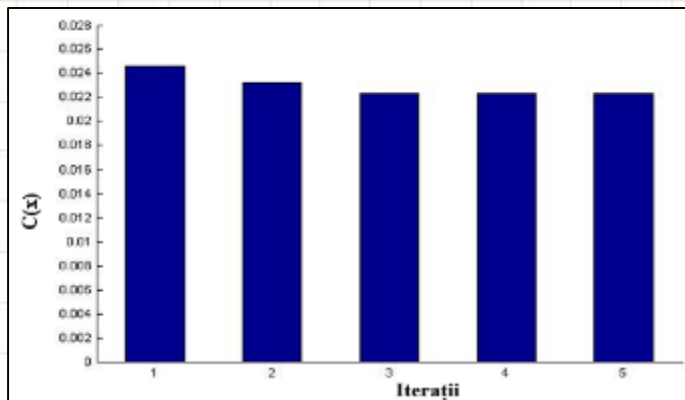
2. Integrarea surselor de energie regenerabilă în rețelele de distribuție



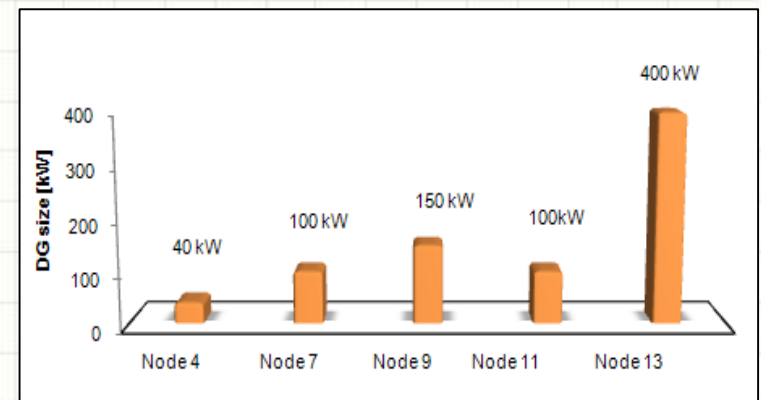
Dendrograma procesului de clustering (cazul de bază)



Evoluția funcției $C(x)$ în funcție de combinațiile dimensiunilor surselor, prima iterație



Soluțiile optime ale funcției $C(x)$ în fiecare iterație



Soluția optimă privind puterea surselor de GD

INTEGRAREA SURSELOR DE ENERGIE REGENERABILĂ (SER) ÎN REȚELELE ELECTRICE

3. Impactul generării distribuite asupra reglajului de tensiune

Modelul matematic

Funcția obiectiv

$$\min F([U],[\theta],[W]) = \Delta P([U],[\theta],[W])$$

Restricții

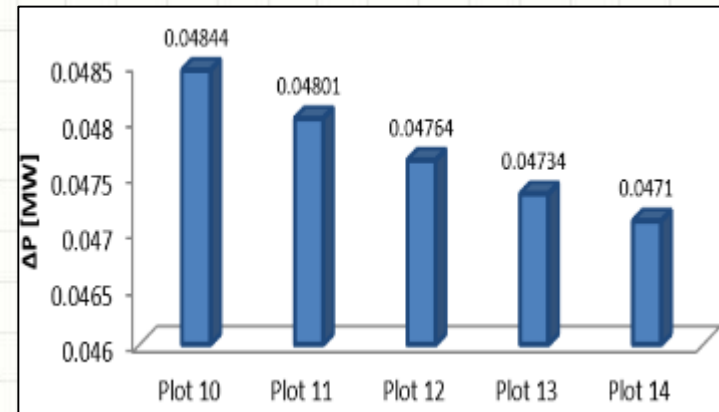
$$P_h^{(i)} + jQ_h^{(i)} = \bar{U}_h^{(i)} \bar{I}_h^{(i)*}$$

$$U_{h,\min}^{(i)} \leq U_{i,h} \leq U_{h,\max}^{(i)}$$

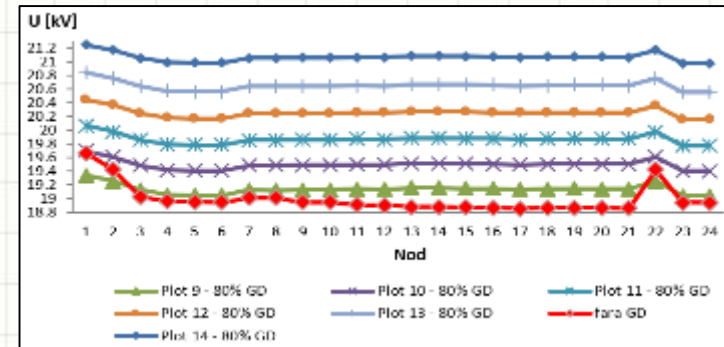
$$I_h^{(b)} \leq I_{h,\max}^{(b)}$$

$$Q_{h,\min}^{(i)} \leq Q_{i,h} \leq Q_{h,\max}^{(i)}$$

$$W_{\min}^{(r)} \leq W^{(r)} \leq W_{\max}^{(r)}$$



Valoarea funcției obiectiv (80 % din GD)



Variația tensiunii in nodurile rețelei test

Rezultatele finale ale procesului de optimizare

Grad maxim de penetrare	ΔP[kW]	Plot optim de funcționare	U [kV]		
			N1	N13	N21
Fără GD	103.53	10	19,66	18,87	18,85
80% din GD	47,1	14	21,25	21,08	21,06

INFLUENȚA ZONĂRII ÎN SUPRAVEGHEREA ȘI CONDUCEREA SISTEMELOR ELECTROENERGETICE

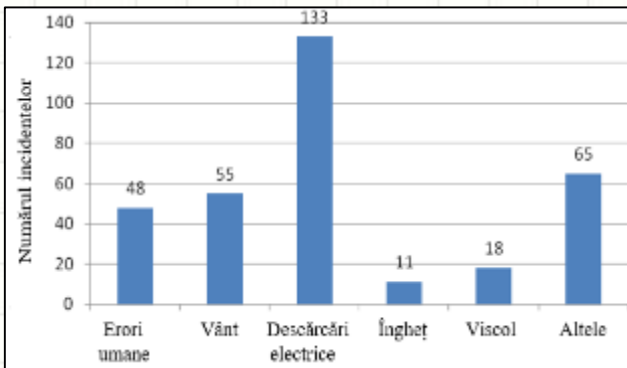
1. Monitorizarea incidentelor în rețelele electrice de transport

Scopul procesului de zonare - procesul de comparare a elementele dintr-o matrice de conectivitate binară A gruparea în clustere coerente astfel încât nodurile din același cluster să aparțină aceleiași zone. Elementele matricei de conectivitate binară A sunt definite astfel:

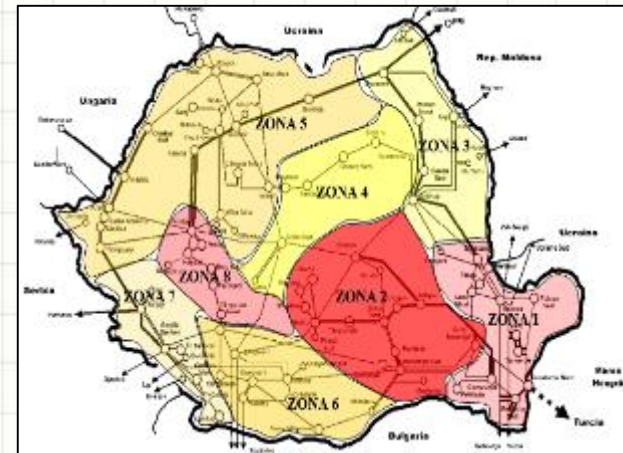
$$A_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{daca } i = j \\ 1 & \text{daca } i \text{ si } j \text{ sunt conectate} \\ 0 & \text{în caz contrar} \end{cases} \quad i, j = 1, \dots, N, i \neq j$$



Harta rețelei de transport



Distribuția incidentelor din rețeaua de transport în funcție de cauzele umane și factorii meteo (2000 – 2009)

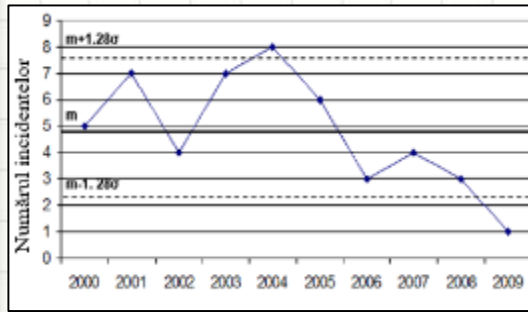


Zonarea rețelei de transport din România

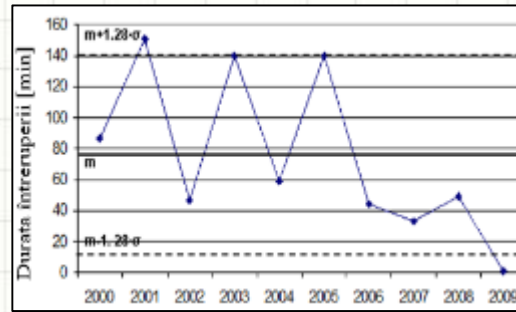
INFLUENȚA ZONĂRII ÎN SUPRAVEGHEREA ȘI CONDUCEREA SISTEMELOR ELECTROENERGETICE

1. Monitorizarea incidentelor în rețelele electrice de transport

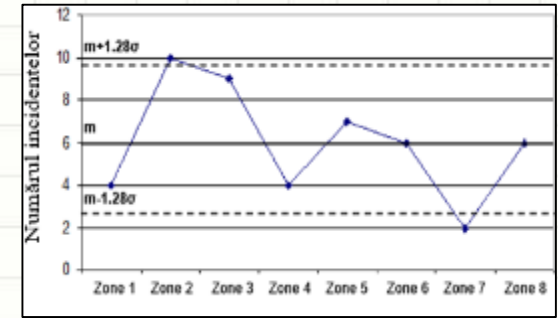
Monitorizarea incidentelor datorate factorului uman



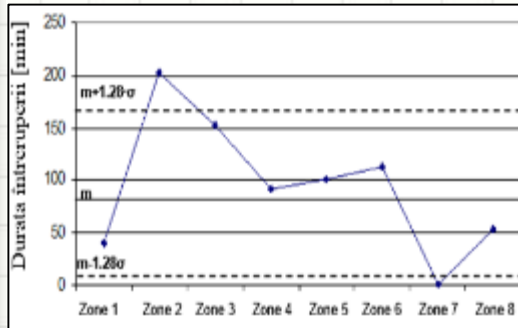
Distribuția incidentelor pe ani



Distribuția duratei de întrerupere pe ani (fără incidente majore)



Distribuția incidentelor pe zone



Distribuția duratei de întrerupere pe zone (fără incidente majore)

Sinteza analizei statistice pe ani și zone

Tipul analizei (numărul de incidente / durata întreruperii)			Indicatorii statistici				
			m	σ	max	min	
Numărul incidentelor	Ani	Cu incidente majore	48	4.8	2.2	8 (2004)	1 (2009)
		Fără incidente majore	45	4.5	2.5	8 (2004)	1 (2009)
	Zone	Cu incidente majore	48	6	2.7	10 (Zone 2)	2 (Zone 7)
		Fără incidente majore	45	5.6	2.5	9 (Zone 2)	2 (Zone 7)
Durata întreruperii [min]	Ani	Cu incidente majore	1829	182.9	195.5	665 (2006)	1 (2009)
		Fără incidente majore	753	75.3	51.9	151 (2001)	1 (2009)
	Zone	Cu incidente majore	1829	228.6	255.9	733 (Zone 6)	2 (Zone 7)
		Fără incidente majore	753	94.1	64.0	203 (Zone 2)	2 (Zone 7)

Cauze:

lipsa de instruire, oboseală, probleme psihologice.

INFLUENȚA ZONĂRII ÎN SUPRAVEGHEREA ȘI CONDUCEREA SISTEMELOR ELECTROENERGETICE

1. Monitorizarea incidentelor în rețelele electrice de transport

Monitorizarea incidentelor datorate condițiilor meteo

Numărul total de incidente pe zone

Zone	Vânt		Descărcări electrice		Îngheț		Viscol		Altele		Total		
	Linii	Stații	Linii	Stații	Linii	Stații	Linii	Stații	Linii	Stații	Linii	Stații	Linii+Stații
1	6	10	8	0	1	3	3	3	0	2	18	18	36
2	5	8	20	18	0	0	4	0	7	9	36	35	71
3	1	1	2	3	2	0	0	0	0	16	5	20	25
4	4	0	6	1	0	0	0	0	0	3	10	4	14
5	2	4	7	2	3	0	1	0	2	4	15	10	25
6	4	0	7	4	0	0	0	0	4	12	15	16	31
7	4	1	3	3	0	0	0	0	2	1	8	5	14
8	3	2	47	2	2	0	7	0	0	3	59	7	66
Total	29	26	100	33	8	3	15	3	15	50	167	115	282
	55		133		11		18		65		282		

Numărul total de incidente pe ani

An	Vânt		Descărcări electrice		Îngheț		Viscol		Altele		Total		
	Linii	Stații	Linii	Stații	Linii	Stații	Linii	Stații	Linii	Stații	Linii	Stații	Linii+Stații
2000	1		3	2			1		2		5	4	9
2001	1	3	8	7	2		1		2	6	14	16	30
2002	3	2	10		1	1	1		1	10	16	13	29
2003	2	1	12				2		1	7	17	8	25
2004	3	3	12	2			1	1	1	1	17	7	24
2005	3		13				1		7	7	24	7	31
2006	1	3	7	9			2		1	7	11	19	30
2007	6	11	20	12	1		5	2	1	5	33	30	63
2008	8	2	5		4	1	1			1	18	4	22
2009	1	1	10	1		1			1	4	12	7	19
Total	29	26	100	33	8	3	15	3	15	50	167	115	282
	55		133		11		18		65		282		

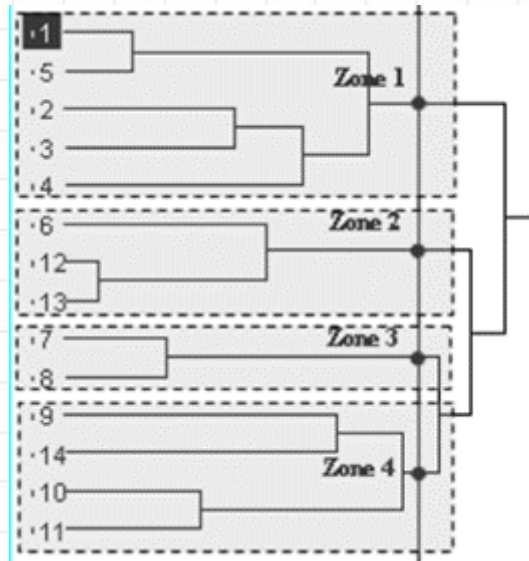
INFLUENȚA ZONĂRII ÎN SUPRAVEGHEREA ȘI CONDUCEREA SISTEMELOR ELECTROENERGETICE

2. Amplasarea optimă a dispozitivelor de măsură fazoriale în rețelele de transport

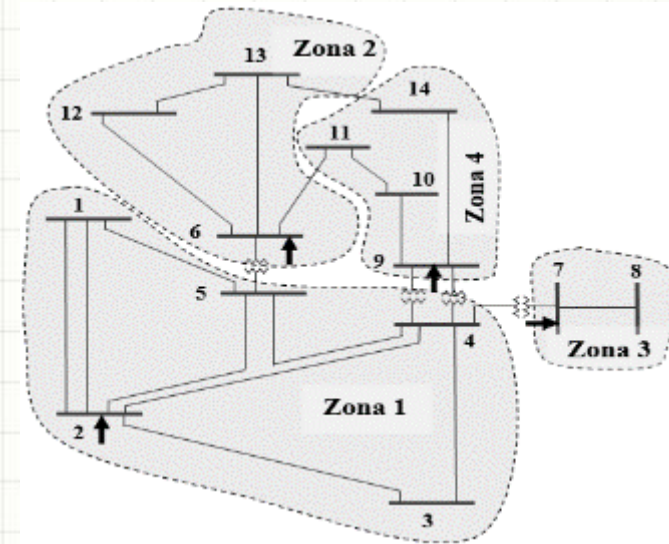
ETAPA 2. Identificarea zonele în care dispozitivele DMF să fie amplasate

(câte un dispozitiv în fiecare zonă)

ETAPA 2. Amplasarea dispozitivele DMF.



Dendrograma procesului de clustering
(sistemul test IEEE-14)

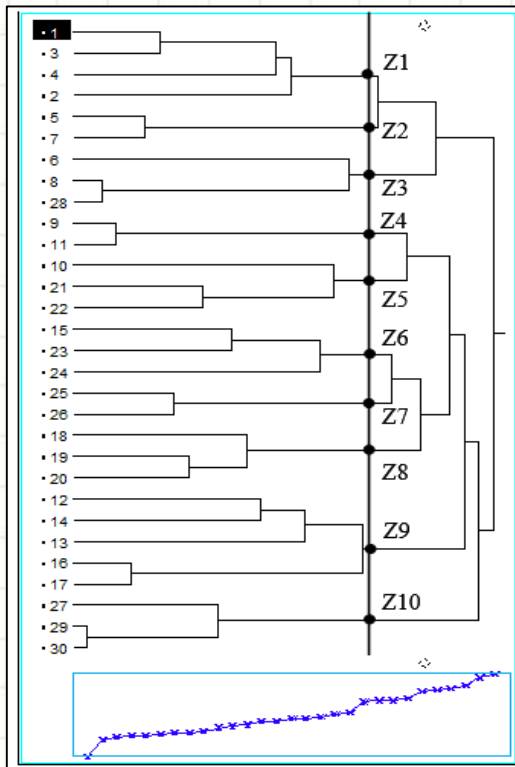


Zonele și nodurile în care au fost amplasate
dispozitivele PMU

Zona	Număr noduri	Nodurile zonei	Nodurile amplasării PMU	
			Clustering	Branch and Bound
1	5	1, 2, 3, 4, 5	2	2
2	3	6, 12, 13	6	6
3	2	7, 8	7	7
4	4	9, 10, 11, 14	9	9

INFLUENȚA ZONĂRII ÎN SUPRAVEGHEREA ȘI CONDUCEREA SISTEMELOR ELECTROENERGETICE

2. Amplasarea optimă a dispozitivelor de măsură fazoriale în rețelele de transport



Dendrograma procesului de clustering
(sistemul test IEEE-30)

Rezultatele obținute în cazul sistemului test IEEE-30

Zona	Număr noduri	Nodurile zonei	Nodurile amplasării PMU	
			Clustering	Branch and Bound
1	4	1, 2, 3, 4	1	1
2	2	5, 7	5	5
3	3	6, 8, 28	8	6
4	2	9, 11	9	9
5	3	10, 21, 22	10	10
6	3	15, 23, 24	15	15
7	2	25, 26	25	25
8	3	18, 19, 20	18	19
9	5	12, 13, 14, 16, 17	12	12
10	3	27, 29, 30	27	29

Rezultatele obținute în cazul sistemului test IEEE-57

Zona	Număr noduri	Nodurile zonei	Nodurile amplasării PMU	
			Clustering	Branch and Bound
1	4	1, 2, 16, 17	1	1
2	4	3, 15, 44, 45	15	15
3	4	9, 10, 12, 13	9	9
4	3	14, 46, 47	46	47
5	3	38, 48, 49	38	38
6	2	50, 51	50	51
7	3	4, 5, 6	5	6
8	2	7, 8	7	7
9	4	18, 19, 20, 21	19	19
10	3	22, 23, 24	23	22
11	4	26, 27, 28, 29	27	28
12	4	52, 53, 54, 55	53	53
13	3	25, 30, 31	30	25
14	2	32, 33	32	32
15	4	34, 35, 36, 40	36	36
16	3	37, 39, 57	39	57
17	5	11, 41, 42, 43, 56	41	41

INFLUENȚA ZONĂRII ÎN SUPRAVEGHEREA ȘI CONDUCEREA SISTEMELOR ELECTROENERGETICE

3. Determinarea nodurilor pilot în reglajul secundar de tensiune

Scopul procesului de zonare - procesul de comparare a elementele din matricea distanțelor electrice (**D**) și gruparea în clustere coerente astfel încât nodurile din același cluster să aparțină aceleiași zone. Elementele

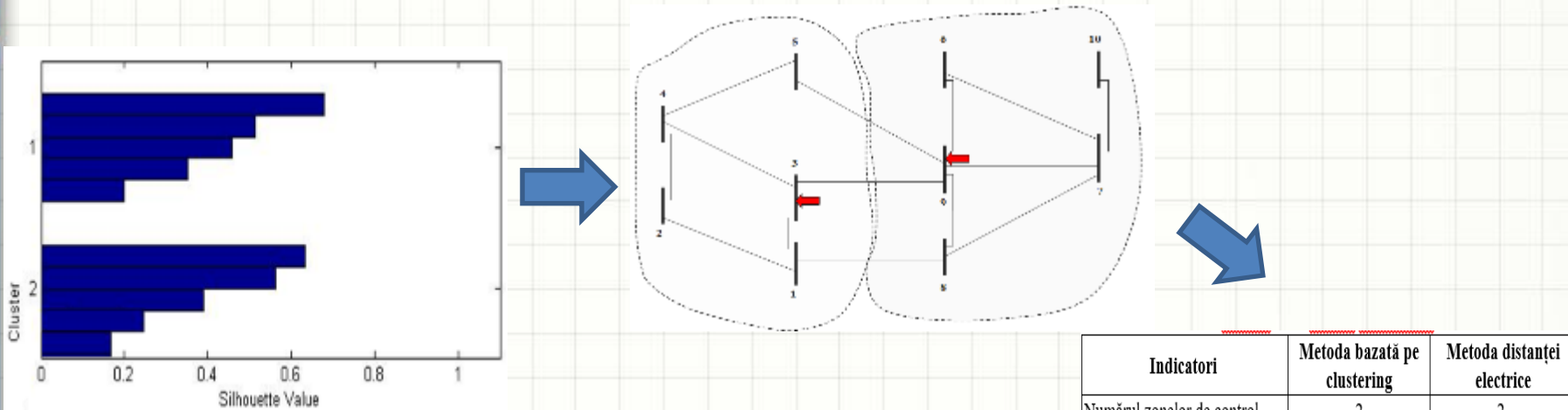
$$D_{i,j} = \begin{cases} d_{ij} = d_{ji} & \text{if } i \neq j \\ 0 & \text{if } i = j \end{cases}$$

ETAPA 1. Determinarea zonelor de control.

ETAPA 2. Identificarea nodurilor pilot.

$$\min_k \left(\sum_{i, k \in A_k} D_{ik} \right)$$

Ae - numărul de noduri din zona de control, iar k este nodul pilot.



Reprezentarea IGF pentru $K_{opt} = 2$

Zonarea și selectarea nodurilor pilot

Indicatori	Metoda bazată pe clustering	Metoda distanței electrice
Numărul zonelor de control	2	2
Nodurile din zona de control	Zona 1: 1, 2, 3, 4, 5 Zona2: 6, 7, 8, 9, 10	Zona 1: 1, 2, 3, 4, 5 Zona 2: 6, 7, 8, 9, 10
Nodurile pilot	Zona 1: 3 Zona 2: 9	Zona 1: 3 Zona 2: 9