

# **PROGNOZA CONSUMULUI DE ENERGIE ELECTRICĂ UTILIZÂND REȚELE NEURONALE ARTIFICIALE**

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea Politehnica Timișoara  
în domeniul INGINERIE ENERGETICĂ  
de către

**Ing. Antheia Deacu**

Președinte:	Prof.univ.dr.ing. Dumitru Toader
Conducător științific:	Prof.univ.dr.ing. Ștefan Kilyeni
Referenți științifici:	Prof.univ.em.dr.ing. Mircea Eremia Prof.univ.dr.ing. Ioan Felea Conf.univ.dr.ing. Gheorghe Vuc

Data susținerii tezei: 07.VII.2015

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- |   |  |
|---|--|
| 1. Automatică                               | 9. Inginerie Mecanică                      |
| 2. Chimie                                   | 10. Știința Calculatoarelor                |
| 3. Energetică                               | 11. Știința și Ingineria Materialelor      |
| 4. Inginerie Chimică                        | 12. Ingineria Sistemelor                   |
| 5. Inginerie Civilă                         | 13. Inginerie Energetică                   |
| 6. Inginerie Electrică                      | 14. Calculatoare și Tehnologia Informației |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 15. Ingineria materialelor                 |
| 8. Inginerie Industrială                    | 16. Inginerie și Management                |

Universitatea Politehnică Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnică – Timișoara, 2015

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității Politehnică Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,  
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221  
e-mail: editura@edipol.upt.ro

## PREFAȚĂ

Teza de doctorat este rodul activității de mai mulți ani sub îndrumarea permanentă, generoasă și plină de înțelegere a conducătorului științific, Prof.dr.ing. Ștefan Kilyeni, căruia îi adresez cele mai respectuoase și prețioase mulțumiri și pe această cale, atât pentru cultul rigurozității științifice imprimat, cât și pentru modul în care a știut să mă ghideze.

Lucrarea reprezintă o sinteză a rezultatelor de cercetare ale autorului, în perioada octombrie 2011 – iulie 2015, în cadrul studiilor doctorale cu frecvență în domeniul *Inginerie Energetică* la *Universitatea Politehnica Timișoara*, desfășurate în ultimul an în cadrul proiectului POSDRU "Creșterea atractivității și performanței programelor de formare doctorală și postdoctorală pentru cercetători în științe ingineresti – ATTRACTING", ID 137070.

În acești ani, am avut șansa să particip la soluționarea unor contracte de cercetare încheiate cu societăți de distribuție a energiei electrice și o serie de agenți economici, strâns legate de tema tezei de doctorat, în cadrul *Centrului de Cercetare pentru Analiza și Optimizarea Regimurilor Sistemelor Electroenergetice*, condus de Prof.dr.ing. Ștefan Kilyeni. Aceste activități de cercetare au avut o puternică influență asupra formării și orientării mele profesionale. În acest context, adresez alege mulțumiri Conf.dr.ing. Constantin Bărbulescu, pentru ajutorul acordat, pentru observațiile și sfaturile primite, mereu constructive, pentru îndrumarea și colaborarea permanentă.

Pentru sprijinul acordat în vederea finalizării tezei, doresc să adresez mulțumiri călduroase directorului Departamentului de Electroenergetică, Conf.dr.ing. Gheorghe Vuc, și fostului director, Prof.dr.ing. Flavius Dan Șurianu.

Mulțumesc cadrelor didactice din cadrul Universității Politehnica Timișoara, care au contribuit la formarea și dezvoltarea mea profesională. În mod special îmi exprim gratitudinea față de cei din Departamentul de Electroenergetică – m-au încurajat și mi-au oferit un real ajutor. Doresc să evidențiez în mod special colaborarea profitabilă pentru mine cu Prof.dr.ing. Bucur Luștea, Conf.dr.ing. Gheorghe Vuc, Șef lucr.dr.ing. Ioan Borlea, Șef lucr.dr.ing. Dan Jigoria-Oprea, Asist.dr.ing. Oana Dulca.

Pe parcursul elaborării tezei am avut o conlucrare deosebit de constructivă cu colegii mei, Dr.ing. Attila Simo, Dr.ing. Dan Cristian, Dr.ing. Florin Solomonesc, materializată și prin lucrări publicate împreună. Drd.ing. Gabriel Oros și Drd.ing. Raluca Șchiopu mi-au pus la dispoziție rezultatele obținute în lucrările lor de disertație, pentru care le adresez mulțumiri.

Doresc să remarc, alăturând recunoștința mea, ajutorul de care am beneficiat din partea unor specialiști din cadrul Enel Distribuție Banat prin asigurarea suportului pentru partea aplicativă a tezei: Ing. Vasile Dan Zaberca, Ing. Alin Daniel Crăciunescu.

Mulțumesc în mod deosebit, și pe această cale, membrilor comisiei de analiză a tezei de doctorat, Prof.em.dr.ing. Mircea Eremia (Universitatea Politehnica din București), Prof.dr.ing. Ioan Felea (Universitatea din Oradea) și Conf.dr.ing. Gheorghe Vuc (Universitatea Politehnica Timișoara), pentru atenția cu care au parcurs teza de doctorat, pentru criticile și aprecierile formulate, pentru sfaturile primite.

Nu în ultimul rând, doresc să adresez cele mai sincere mulțumiri părinților mei pentru sprijinul și înțelegerea acordate în toți acești ani.

Timișoara, iunie 2015

*Antheia Deacu*

Deacu, Antheia

**PROGNOZA CONSUMULUI DE ENERGIE ELECTRICĂ  
UTILIZÂND REȚELE NEURONALE ARTIFICIALE**

Teze de doctorat ale UPT, Seria 13, Nr. 12, Editura Politehnica, 2015,  
236 pagini, 196 figuri, 304 tabele

ISSN: 2069-8208

ISSN-L: 2069-8208

ISBN: 978-606-554-975-3

Cuvinte cheie: sisteme electroenergetice, consum de energie electrică,  
curbe de sarcină, prognoză, rețele neuronale artificiale

Rezumat: Tematica tezei se încadrează în preocupările actuale din domeniul managementului consumului de energie electrică. Teza are ca obiectiv principal elaborarea unei metode eficiente de prognoză a consumului de energie (putere) electrică și a curbelor de sarcină. S-au elaborat o serie de metode de prognoză utilizând rețelele neuronale artificiale. Deosebit de importantă este partea care se referă la prognosticarea calității prognozei pe baza analizei datelor disponibile, utilizând în acest scop tehnici bazate pe diferențele finite.

Metodologiile elaborate în cadrul tezei au la bază o abordare teoretică riguroasă, materializată prin realizarea și implementarea unor instrumente soft de aplicabilitate generală, utile atât operatorilor de distribuție și de transport din România cât și agenților economici cu preocupări în domeniul implementării surselor regenerabile distribuite de energie. Programele de calcul au fost realizate în mediul de programare Matlab. Ele utilizează cu eficiență posibilitățile oferite de mediile de programare avansate și de sistemele de calcul actuale.

Aplicațiile concrete se referă atât la ansamblul Enel Distribuție Banat cât și la principalele unități teritoriale rețea componente: Timișoara, Arad, Deva și Reșița. Au fost efectuate o serie de studii de prognoză dedicate stațiilor de transformare de 110 kV / m.t. din cadrul UTR Timișoara. Dintre aceste stații au fost selectate pentru prezentare în detaliu în cadrul tezei 5 stații semnificative de 110 / 20 kV: Victoria, Cetate, Pădurea Verde, Sânnicolau Mare și Lugoj.



# CUPRINS

<b>CUPRINS</b> .....	5
<b>ACRONIME</b> .....	9
<b>LISTA DE FIGURI</b> .....	11
<b>LISTA DE TABELE</b> .....	17
<b>1. INTRODUCERE</b> .....	29
<b>2. STADIUL ACTUAL AL EVOLUȚIEI SECTORULUI ENERGETIC ȘI AL SISTEMULUI ELECTROENERGETIC</b> .....	35
2.1. Contextul global, politica energetică a Uniunii Europene.....	35
2.2. Politica energetică a României.....	37
2.2.1. Considerații preliminare .....	37
2.2.2. Evoluția consumului și a producției de energie electrică .....	39
2.2.3. Piața de energie electrică din România .....	42
2.2.4. Conceptul de Smart Metering.....	50
2.3. Concluzii.....	52
<b>3. MODALITĂȚI DE SOLUȚIONARE A PROGNOZEI CONSUMULUI DE ENERGIE ELECTRICĂ</b> .....	53
3.1. Clasificarea metodelor de prognoză.....	53
3.2. Metode în funcție de natura variabilei independente .....	54
3.2.1. Metode directe .....	54
3.2.2. Metode indirecte.....	55
3.2.3. Metode analitice .....	55
3.2.4. Metoda Delphi .....	56
3.3. Metode în funcție de orizontul de timp al prognozei .....	56
3.3.1. Metode pentru prognoze pe termen mediu și lung.....	56
3.3.1.1. Considerații preliminare .....	56
3.3.1.2. Modelele de tip „end-use” .....	57
3.3.1.3. Metodele econometrice.....	57
3.3.1.4. Metodele mixte .....	57
3.3.1.5. Abordări moderne.....	57
3.3.2. Metode pentru prognoze pe termen scurt .....	58
3.3.2.1. Prezentare generală .....	58
3.3.2.2. Metoda zilei similare.....	59
3.3.2.3. Metoda regresiei.....	59
3.3.2.4. Metoda seriilor de timp .....	60
3.3.2.5. Metode bazate pe Rețele Neuronale Artificiale (RNA) .....	60
3.3.2.6. Metode care încorporează și logica fuzzy .....	61
3.3.2.7. Metode bazate pe sisteme expert.....	62
3.3.2.8. Metode care utilizează SVM (Support Vector Machine) .....	63
3.3.2.9. Metode hibride, care utilizează și tehnici de calcul evolutiv ....	64
3.4. Factorii care influențează consumul de energie electrică .....	66
3.5. Concluzii .....	68

---

<b>4. REȚELE NEURONALE ARTIFICIALE (RNA)</b> .....	69
4.1. Aspecte generale ale RNA .....	69
4.1.1. Considerații preliminar .....	69
4.1.2. Clasificarea RNA .....	71
4.1.3. Aplicații ale RNA .....	72
4.1.4. Avantaje și dezavantaje ale RNA .....	73
4.2. Modelul RNA.....	73
4.2.1. Modelul neuronului artificial.....	73
4.2.2. Structura unei RNA .....	75
4.2.3. Învățarea RNA .....	77
4.2.3.1. Considerații preliminar .....	77
4.2.3.2. Învățarea supervizată.....	78
4.2.3.3. Învățarea nesupervizată .....	81
4.3. Rețele neuronale de tip perceptron .....	82
4.3.1. RNA de tip perceptron cu un singur strat .....	82
4.3.2. RNA de tip perceptron cu mai multe straturi.....	83
4.3.2.1. RNA de tip perceptron cu mai multe straturi .....	83
4.3.2.2. Rețele neuronale Backpropagation.....	84
4.3.2.3. Alegerea parametrilor MLP .....	87
4.4. Concluzii .....	88
<b>5. METODE NUMERICE ȘI TEHNICI DE OPTIMIZARE</b> .....	89
5.1. Aproximarea numerică a funcțiilor .....	89
5.1.1. Considerații preliminar .....	89
5.1.2. Diferențe finite și puteri generalizate .....	90
5.1.3. Polinoame de interpolare Newton de prima speță .....	91
5.1.4. Aproximarea cu metoda celor mai mici pătrate.....	92
5.1.4.1. Considerații preliminar .....	92
5.1.4.2. Aproximarea liniară.....	92
5.1.4.3. Aproximarea parabolică .....	93
5.1.4.4. Aproximarea cu un polinom de grad oarecare .....	94
5.2. Tehnici de optimizare neliniară .....	95
5.2.1. Considerații preliminar .....	95
5.2.2. Optimizare neliniară fără restricții.....	96
5.2.2.1. Prezentarea problemei .....	96
5.2.2.2. Căutarea minimumului în lungul unei direcții .....	98
5.2.2.3. Metoda gradientului simplu .....	99
5.2.2.4. Metoda gradientilor conjugați (Fletcher - Reeves) .....	100
5.2.2.5. Metode de tip Newton .....	101
5.2.2.6. Metode de tip quasi Newton .....	102
5.2.3. Optimizare neliniară cu restricții .....	103
5.3. Concluzii .....	104
<b>6. MODELUL MATEMATIC ȘI INSTRUMENT SOFT PENTRU PROGNOZA CONSUMULUI DE ENERGIE ELECTRICĂ</b> .....	105
6.1. Prognoza curbelor de sarcină utilizând RNA .....	105
6.1.1. Prezentarea metodei elaborate.....	105
6.1.2. Prezentarea instrumentului soft.....	109
6.2. Prognoza puterii orare (lunare) cu metode clasice .....	110

---

6.3. Analiza calității prognozelor utilizând diferențe finite.....	111
6.3.1. Considerații preliminare .....	111
6.3.2. Curbe de sarcină orare .....	112
6.3.3. Curbe de sarcină lunare .....	113
6.4. Concluzii .....	115
<b>7. STUDII DE CAZ ȘI REZULTATE .....</b>	<b>117</b>
7.1. Enel Distribuție Banat și UTR componente.....	117
7.1.1. Considerații preliminare .....	117
7.1.2. UTR Reșița .....	118
7.1.3. UTR Arad .....	125
7.1.4. UTR Deva .....	127
7.1.5. UTR Timișoara .....	130
7.1.6. Enel Banat .....	133
7.1.7. Analiza comparativă a rezultatelor .....	140
7.2. Stații din cadrul Enel Distribuție Banat.....	141
7.2.1. Considerații preliminare .....	141
7.2.2. Stația Victoria.....	141
7.2.2.1. Ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 9 .....	141
7.2.2.2. Ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 21 .....	143
7.2.2.3. Prima zi de marți a fiecărei luni, ora 9.....	145
7.2.2.4. Prima zi de marți a fiecărei luni, ora 21.....	147
7.2.2.5. A doua zi de miercuri a fiecărei luni, ora 9.....	149
7.2.2.6. A doua zi de miercuri a fiecărei luni, ora 21 .....	151
7.2.3. Stația Cetate .....	152
7.2.3.1. Ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 9 .....	152
7.2.3.2. Ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 21 .....	154
7.2.3.3. Prima zi de marți a fiecărei luni, ora 9.....	156
7.2.3.4. Prima zi de marți a fiecărei luni, ora 21.....	158
7.2.3.5. A doua zi de miercuri a fiecărei luni, ora 9.....	160
7.2.3.6. A doua zi de miercuri a fiecărei luni, ora 21 .....	161
7.2.4. Stația Pădurea Verde .....	163
7.2.4.1. Ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 9 .....	163
7.2.4.2. Ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 21 .....	165
7.2.4.3. Prima zi de marți a fiecărei luni, ora 9.....	167
7.2.4.4. Prima zi de marți a fiecărei luni, ora 21.....	169
7.2.4.5. A doua zi de miercuri a fiecărei luni, ora 9.....	170
7.2.4.6. A doua zi de miercuri a fiecărei luni, ora 21 .....	172
7.2.5. Stația Sânnicolau Mare .....	174
7.2.5.1. Ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 9 .....	174
7.2.5.2. Ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 21 .....	176
7.2.5.3. Prima zi de marți a fiecărei luni, ora 9.....	178
7.2.5.4. Prima zi de marți a fiecărei luni, ora 21.....	179
7.2.5.5. A doua zi de miercuri a fiecărei luni, ora 9.....	181
7.2.5.6. A doua zi de miercuri a fiecărei luni, ora 21 .....	183
7.2.6. Stația Lugoj .....	185
7.2.6.1. Ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 9 .....	185
7.2.6.2. Ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 21.....	187
7.2.6.3. Prima zi de marți a fiecărei luni, ora 9.....	189

7.2.6.4. Prima zi de marți a fiecărei luni, ora 21 .....	190
7.2.6.5. A doua zi de miercuri a fiecărei luni, ora 9 .....	192
7.2.6.6. A doua zi de miercuri a fiecărei luni, ora 21 .....	194
7.2.7. Analiza comparativă a rezultatelor .....	196
7.3. Curbe de sarcină etalon .....	199
7.3.1. Considerații preliminare .....	199
7.3.2. Etalon 1 .....	199
7.3.3. Etalon 2 .....	202
7.4. Analiza calității prognozelor în funcție de gradul de corelare a datelor inițiale .....	206
7.4.1. Considerații preliminare .....	206
7.4.2. Exemplu de calcul privind diferențele finite .....	206
7.4.3. Analiza calității prognozelor pentru UTR .....	210
7.4.4. Analiza calității prognozelor pentru stații .....	212
7.5. Concluzii .....	218
<b>8. CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE .....</b>	<b>219</b>
<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>223</b>
<b>SINTEZA PRIVIND LUCRĂRILE PROPRII .....</b>	<b>235</b>
<b>ANEXE (Anexa 7.1, Anexa 7.2, Anexa 7.3, Anexa 7.4) .....</b>	<b>CD</b>

## ACRONIME

AE	- Algoritmi Evolutiv
AG	- Algoritmi Genetici
AMI	- Advanced Metering Infrastructure
AMM	- Advanced Metering Management
AMR	- Automated Meter Reading
ANFIS	- Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System
ARIMA	- Autoregressive Integrated Moving Average
ARIMAX	- Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous Variables
ARMA	- Autoregressive Moving Average
ARMAX	- Autoregressive Moving Average with Exogenous Variables
BAM	- Bidirecțional Asociativă Memorie
CMMP	- Celor Mai Mici Pătrate
CONEL	- Compania Națională de Energie Electrică
CPT	- Consum Propriu Tehnologic
EUNITE	- Europea Network on Intelligent TEchnologies for Smart Adaptive Systems
EXAA	- Energy Exchange Austria
FOB	- Funcție Obiectiv
IA	- Inteligență Artificială
MAE	- Mean Absolute Error
MAPE	- Mean Absolute Percent Error
MCP	- McCulloch-Pitts
MLP	- Multilayer Perceptron
MSE	- Mean Squared Error
NA	- Neuronul Artificial
OECD	- Organizația pentru Cooperare Economică și Dezvoltare (Organisation for Economic Co-operation and Development)
OPCOM	- Operatorul Pieței de Energie Electrică
PCA	- Principal Component Analysis

## 10 Acronime

---

PCCB	– Piața Centralizată a Contractelor Bilaterale
PI	– Piața Intrazilnică
PPC	– Problemă de Programare Convexă
PPN	– Probleme de Programare Neliniară
PPP	– Problemă de Programare Pătratică
PSO	– Particular Swarm Optimization
PZU	– Piața pentru Ziua Următoare
RMSE	– Root Mean Square Error
RNA	– Rețele Neuronale Artificiale
RR	– Relații de Restricție
SA	– Simulated Annealing
SEE	– Sisteme Electro Energetice
SEN	– Sistemul Electroenergetic Național al României
SVM	– Support Vector Machine
TS	– Tabu Search
UE	– Uniunea Europeană
UTR	– Unități Teritoriale Rețea
VLSI	– Very Large Scale Integration

## LISTA DE FIGURI

<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul figurii</b>	<b>Titlul figurii</b>
1.	Fig. 2.1.1.	Creșterea producției de energie electrică în lume și consumul total de energie pentru perioada 1990-2040
2.	Fig. 2.1.2.	Producția netă de energie electrică în țările OECD și non-OECD pentru anii 1990-2040 (TEp)
3.	Fig. 2.1.3.	Producția netă de energie electrică pe regiuni în țările non-OECD (TWh)
4.	Fig. 2.1.4.	Energia electrică generată la nivel mondial în funcție de sursele utilizate (TWh)
5.	Fig. 2.2.1.	Evoluția consumului brut de energie electrică [TWh] și a PIB [mil. Euro] în România, 2001-2013
6.	Fig. 2.2.2.	Structura consumului de energie electrică pe categorii de consumatori [TWh], 2008-2013
7.	Fig. 2.2.3.	Structura consumatorilor de energie electrică din România (anul 2013)
8.	Fig. 2.2.4.	Structura energiei electrice livrate de către producătorii deținători de unități dispecerizabile, pe tipuri de resurse [TWh] (2008-2013)
9.	Fig. 2.2.5.	Balanța import / export de energie electrică [TWh] (2009-2013)
10.	Fig. 2.2.6.	Evoluția capacității brute de producție în funcție de sursele primare (2009-2013)
11.	Fig. 2.2.7.	Evoluția numărului de consumatori racordați la rețeaua de distribuție (2009-2013)
12.	Fig. 2.2.8.	Structura schematică a pieței angro de energie electric
13.	Fig. 2.2.9.	Tipurile de resurse ale energiei electrice livrate în rețelele de producători
14.	Fig. 2.2.10.	Structura evoluției electrice livrare
15.	Fig. 2.2.11.	Evoluția lunară a volumelor tranzacționate pentru piața angro comparativ cu consumul intern estimat
16.	Fig. 2.2.12.	Evoluția lunară a exportului, importului și soldului export-import
17.	Fig. 2.2.13.	Evoluția lunară a prețului mediu și a volumului tranzacționat pe PZU
18.	Fig. 2.2.14.	Evaluarea lunară a energiei efectiv livrată pe piața de echilibrare
19.	Fig. 2.2.15.	Cotele de piață ale producătorilor cu unități dispecerizabile în funcție de energia livrată în rețea
20.	Fig. 2.2.16.	Prețuri spot orare
21.	Fig. 2.2.17.	Prețuri spot medii zilnice

<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul figurii</b>	<b>Titlul figurii</b>
22.	Fig. 2.2.18.	Structura schematică a pieței cu amănuntul
23.	Fig. 2.2.19.	Evoluția gradului de deschidere a pieței de energie electrică
24.	Fig. 2.2.20.	Numărul clienților alimentați în regim concurențial și a energiei electrice furnizate lor
25.	Fig. 2.2.21.	Numărul consumatorilor alimentați în regim concurențial și consumul lor
26.	Fig. 2.2.22.	Infrastructuri independente de comunicații, fără elemente de legătură
27.	Fig. 2.2.23.	Infrastructuri independente de comunicații, cu elemente de legătură
28.	Fig. 2.2.24.	Infrastructură comună de comunicații, fără elemente de legătură
29.	Fig. 2.2.25.	Infrastructură comună de comunicații, cu elemente de legătură
30.	Fig. 4.1.1.	Arhitectura generală a unei rețele neuronale
31.	Fig. 4.2.1.	Neuronul artificial (NA)
32.	Fig. 4.2.2.	RNA feedforward total conectat
33.	Fig. 4.2.3.	RNA feedforward parțial conectată
34.	Fig. 4.2.4.	RNA recurent
35.	Fig. 4.2.5.	RNA Hopfield
36.	Fig. 4.2.6.	Tipuri și algoritmi de învățare
37.	Fig. 4.2.7.	Arhitectura unui sistem cu învățare supervizată
38.	Fig. 4.2.8.	Sistemul de învățare de tip nesupervizat
39.	Fig. 4.3.1.	Arhitectura perceptronului simplu
40.	Fig. 4.3.2.	Structura unei rețele neuronale organizată pe mai multe straturi
41.	Fig. 5.2.1.	Figură explicativă pentru diferența dintre un minim local și minimul global
42.	Fig. 7.1.1.	Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW)
43.	Fig. 7.1.2.	Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)
44.	Fig. 7.1.3.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2011
45.	Fig. 7.1.4.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
46.	Fig. 7.1.5.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
47.	Fig. 7.1.6.	Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW)
48.	Fig. 7.1.7.	Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)
49.	Fig. 7.1.8.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2011
50.	Fig. 7.1.9.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
51.	Fig. 7.1.10.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
52.	Fig. 7.1.11.	Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW)
53.	Fig. 7.1.12.	Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)
54.	Fig. 7.1.13.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2011
55.	Fig. 7.1.14.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
56.	Fig. 7.1.15.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
57.	Fig. 7.1.16.	Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW)
58.	Fig. 7.1.17.	Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)
59.	Fig. 7.1.18.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2011



<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul figurii</b>	<b>Titlul figurii</b>
60.	Fig. 7.1.19.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
61.	Fig. 7.1.20.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
62.	Fig. 7.1.21.	Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW)
63.	Fig. 7.1.22.	Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)
64.	Fig. 7.1.23.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2011
65.	Fig. 7.1.24.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
66.	Fig. 7.1.25.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
67.	Fig. 7.2.1.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
68.	Fig. 7.2.2.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
69.	Fig. 7.2.3.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
70.	Fig. 7.2.4.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
71.	Fig. 7.2.5.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
72.	Fig. 7.2.6.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
73.	Fig. 7.2.7.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
74.	Fig. 7.2.8.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
75.	Fig. 7.2.9.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
76.	Fig. 7.2.10.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
77.	Fig. 7.2.11.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
78.	Fig. 7.2.12.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
79.	Fig. 7.2.13.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
80.	Fig. 7.2.14.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
81.	Fig. 7.2.15.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
82.	Fig. 7.2.16.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
83.	Fig. 7.2.17.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
84.	Fig. 7.2.18.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
85.	Fig. 7.2.19.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
86.	Fig. 7.2.20.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
87.	Fig. 7.2.21.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
88.	Fig. 7.2.22.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
89.	Fig. 7.2.23.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
90.	Fig. 7.2.24.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
91.	Fig. 7.2.25.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
92.	Fig. 7.2.26.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
93.	Fig. 7.2.27.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
94.	Fig. 7.2.28.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
95.	Fig. 7.2.29.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
96.	Fig. 7.2.30.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
97.	Fig. 7.2.31.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
98.	Fig. 7.2.32.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
99.	Fig. 7.2.33.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
100.	Fig. 7.2.34.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
101.	Fig. 7.2.35.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
102.	Fig. 7.2.36.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul figurii</b>	<b>Titlul figurii</b>
103.	Fig. 7.2.37.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
104.	Fig. 7.2.38.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
105.	Fig. 7.2.39.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
106.	Fig. 7.2.40.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
107.	Fig. 7.2.41.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
108.	Fig. 7.2.42.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
109.	Fig. 7.2.43.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
110.	Fig. 7.2.44.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
111.	Fig. 7.2.45.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
112.	Fig. 7.2.46.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
113.	Fig. 7.2.47.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
114.	Fig. 7.2.48.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
115.	Fig. 7.2.49.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
116.	Fig. 7.2.50.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
117.	Fig. 7.2.51.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
118.	Fig. 7.2.52.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
119.	Fig. 7.2.53.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
120.	Fig. 7.2.54.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
121.	Fig. 7.2.55.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
122.	Fig. 7.2.56.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
123.	Fig. 7.2.57.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
124.	Fig. 7.2.58.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
125.	Fig. 7.2.59.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
126.	Fig. 7.2.60.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
127.	Fig. 7.2.61.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
128.	Fig. 7.2.62.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
129.	Fig. 7.2.63.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
130.	Fig. 7.2.64.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
131.	Fig. 7.2.65.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
132.	Fig. 7.2.66.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
133.	Fig. 7.2.67.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
134.	Fig. 7.2.68.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
135.	Fig. 7.2.69.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
136.	Fig. 7.2.70.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
137.	Fig. 7.2.71.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
138.	Fig. 7.2.72.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
139.	Fig. 7.2.73.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
140.	Fig. 7.2.74.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
141.	Fig. 7.2.75.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
142.	Fig. 7.2.76.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
143.	Fig. 7.2.77.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
144.	Fig. 7.2.78.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
145.	Fig. 7.2.79.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul figurii</b>	<b>Titlul figurii</b>
146.	Fig. 7.2.80.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
147.	Fig. 7.2.81.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
148.	Fig. 7.2.82.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
149.	Fig. 7.2.83.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
150.	Fig. 7.2.84.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
151.	Fig. 7.2.85.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
152.	Fig. 7.2.86.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
153.	Fig. 7.2.87.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
154.	Fig. 7.2.88.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
155.	Fig. 7.2.89.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
156.	Fig. 7.2.90.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
157.	Fig. 7.2.91.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
158.	Fig. 7.2.92.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
159.	Fig. 7.2.93.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
160.	Fig. 7.2.94.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
161.	Fig. 7.2.95.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
162.	Fig. 7.2.96.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
163.	Fig. 7.2.97.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
164.	Fig. 7.2.98.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
165.	Fig. 7.2.99.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
166.	Fig. 7.2.100.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
167.	Fig. 7.2.101.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
168.	Fig. 7.2.102.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
169.	Fig. 7.2.103.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
170.	Fig. 7.2.104.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
171.	Fig. 7.2.105.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
172.	Fig. 7.2.106.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
173.	Fig. 7.2.107.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
174.	Fig. 7.2.108.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
175.	Fig. 7.2.109.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
176.	Fig. 7.2.110.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
177.	Fig. 7.2.111.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
178.	Fig. 7.2.112.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
179.	Fig. 7.2.113.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
180.	Fig. 7.2.114.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
181.	Fig. 7.2.115.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
182.	Fig. 7.2.116.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
183.	Fig. 7.2.117.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)
184.	Fig. 7.2.118.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)
185.	Fig. 7.2.119.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
186.	Fig. 7.2.120.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
187.	Fig. 7.3.1.	Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW)
188.	Fig. 7.3.2.	Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)

<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul figurii</b>	<b>Titlul figurii</b>
189.	Fig. 7.3.3.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2011
190.	Fig. 7.3.4.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
191.	Fig. 7.3.5.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013
192.	Fig. 7.3.6.	Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW)
193.	Fig. 7.3.7.	Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)
194.	Fig. 7.3.8.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2011
195.	Fig. 7.3.9.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012
196.	Fig. 7.3.10.	Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

## LISTA DE TABELE

<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul tabelului</b>	<b>Titlul tabelului</b>
1.	Tabelul 2.1.1.	Energia electrică generată în funcție de sursele primare utilizate (TWh)
2.	Tabelul 2.2.1.	Bilanțul energiei electrice
3.	Tabelul 2.2.2.	Intervalele de consum
4.	Tabelul 7.1.1.	Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW)
5.	Tabelul 7.1.2.	Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)
6.	Tabelul 7.1.3.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)
7.	Tabelul 7.1.4.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)
8.	Tabelul 7.1.5.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)
9.	Tabelul 7.1.6.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)
10.	Tabelul 7.1.7.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
11.	Tabelul 7.1.8.	Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW) (Anexa 7.1)
12.	Tabelul 7.1.9.	Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.1)
13.	Tabelul 7.1.10.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.1)
14.	Tabelul 7.1.11.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.1)
15.	Tabelul 7.1.12.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.1)
16.	Tabelul 7.1.13.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.1)
17.	Tabelul 7.2.14.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
18.	Tabelul 7.1.15.	Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW) (Anexa 7.1)
19.	Tabelul 7.1.16.	Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.1)
20.	Tabelul 7.1.17.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.1)
21.	Tabelul 7.1.18.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.1)
22.	Tabelul 7.1.19.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.1)
23.	Tabelul 7.1.20.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.1)
24.	Tabelul 7.1.21.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță

<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul tabelului</b>	<b>Titlul tabelului</b>
25.	Tabelul 7.1.22.	Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW) (Anexa 7.1)
26.	Tabelul 7.1.23.	Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.1)
27.	Tabelul 7.1.24.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.1)
28.	Tabelul 7.1.25.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.1)
29.	Tabelul 7.1.26.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.1)
30.	Tabelul 7.1.27.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.1)
31.	Tabelul 7.1.28.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
32.	Tabelul 7.1.29.	Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW)
33.	Tabelul 7.1.30.	Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)
34.	Tabelul 7.1.31.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)
35.	Tabelul 7.1.32.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)
36.	Tabelul 7.1.33.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)
37.	Tabelul 7.1.34.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)
38.	Tabelul 7.1.35.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
39.	Tabelul 7.1.36.	Indicii specifici de performanță
40.	Tabelul 7.2.1.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
41.	Tabelul 7.2.2.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
42.	Tabelul 7.2.3.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
43.	Tabelul 7.2.4.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
44.	Tabelul 7.2.5.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
45.	Tabelul 7.2.6.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
46.	Tabelul 7.2.7.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
47.	Tabelul 7.2.8.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
48.	Tabelul 7.2.9.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
49.	Tabelul 7.2.10.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
50.	Tabelul 7.2.11.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
51.	Tabelul 7.2.12.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)

<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul tabelului</b>	<b>Titlul tabelului</b>
52.	Tabelul 7.2.13.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
53.	Tabelul 7.2.14.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
54.	Tabelul 7.2.15.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
55.	Tabelul 7.2.16.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
56.	Tabelul 7.2.17.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
57.	Tabelul 7.2.18.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
58.	Tabelul 7.2.19.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
59.	Tabelul 7.2.20.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
60.	Tabelul 7.2.21.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
61.	Tabelul 7.2.22.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
62.	Tabelul 7.2.23.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
63.	Tabelul 7.2.24.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
64.	Tabelul 7.2.25.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
65.	Tabelul 7.2.26.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
66.	Tabelul 7.2.27.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
67.	Tabelul 7.2.28.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
68.	Tabelul 7.2.29.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
69.	Tabelul 7.2.30.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
70.	Tabelul 7.2.31.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
71.	Tabelul 7.2.32.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
72.	Tabelul 7.2.33.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
73.	Tabelul 7.2.34.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
74.	Tabelul 7.2.35.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
75.	Tabelul 7.2.36.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
76.	Tabelul 7.2.37.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
77.	Tabelul 7.2.38.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)

<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul tabelului</b>	<b>Titlul tabelului</b>
78.	Tabelul 7.2.39.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
79.	Tabelul 7.2.40.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
80.	Tabelul 7.2.41.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
81.	Tabelul 7.2.42.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
82.	Tabelul 7.2.43.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
83.	Tabelul 7.2.44.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
84.	Tabelul 7.2.45.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
85.	Tabelul 7.2.46.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
86.	Tabelul 7.2.47.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
87.	Tabelul 7.2.48.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
88.	Tabelul 7.2.49.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
89.	Tabelul 7.2.50.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
90.	Tabelul 7.2.51.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
91.	Tabelul 7.2.52.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
92.	Tabelul 7.2.53.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
93.	Tabelul 7.2.54.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
94.	Tabelul 7.2.55.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
95.	Tabelul 7.2.56.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
96.	Tabelul 7.2.57.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
97.	Tabelul 7.2.58.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
98.	Tabelul 7.2.59.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
99.	Tabelul 7.2.60.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
100.	Tabelul 7.2.61.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
101.	Tabelul 7.2.62.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
102.	Tabelul 7.2.63.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
103.	Tabelul 7.2.64.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)



<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul tabelului</b>	<b>Titlul tabelului</b>
104.	Tabelul 7.2.65.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
105.	Tabelul 7.2.66.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
106.	Tabelul 7.2.67.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
107.	Tabelul 7.2.68.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
108.	Tabelul 7.2.69.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
109.	Tabelul 7.2.70.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
110.	Tabelul 7.2.71.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
111.	Tabelul 7.2.72.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
112.	Tabelul 7.2.73.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
113.	Tabelul 7.2.74.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
114.	Tabelul 7.2.75.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
115.	Tabelul 7.2.76.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
116.	Tabelul 7.2.77.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
117.	Tabelul 7.2.78.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
118.	Tabelul 7.2.79.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
119.	Tabelul 7.2.80.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
120.	Tabelul 7.2.81.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
121.	Tabelul 7.2.82.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
122.	Tabelul 7.2.83.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
123.	Tabelul 7.2.84.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
124.	Tabelul 7.2.85.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
125.	Tabelul 7.2.86.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
126.	Tabelul 7.2.87.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
127.	Tabelul 7.2.88.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
128.	Tabelul 7.2.89.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
129.	Tabelul 7.2.90.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)

<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul tabelului</b>	<b>Titlul tabelului</b>
130.	Tabelul 7.2.91.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
131.	Tabelul 7.2.92.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
132.	Tabelul 7.2.93.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
133.	Tabelul 7.2.94.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
134.	Tabelul 7.2.95.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
135.	Tabelul 7.2.96.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
136.	Tabelul 7.2.98.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
137.	Tabelul 7.2.97.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
138.	Tabelul 7.2.99.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
139.	Tabelul 7.2.100.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
140.	Tabelul 7.2.101.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
141.	Tabelul 7.2.102.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
142.	Tabelul 7.2.103.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
143.	Tabelul 7.2.104.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
144.	Tabelul 7.2.105.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
145.	Tabelul 7.2.106.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
146.	Tabelul 7.2.107.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
147.	Tabelul 7.2.108.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
148.	Tabelul 7.2.109.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
149.	Tabelul 7.2.110.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
150.	Tabelul 7.2.111.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
151.	Tabelul 7.2.112.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
152.	Tabelul 7.2.113.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
153.	Tabelul 7.2.114.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
154.	Tabelul 7.2.115.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
155.	Tabelul 7.2.116.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)

<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul tabelului</b>	<b>Titlul tabelului</b>
156.	Tabelul 7.2.117.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
157.	Tabelul 7.2.118.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
158.	Tabelul 7.2.119.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
159.	Tabelul 7.2.120.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
160.	Tabelul 7.2.121.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
161.	Tabelul 7.2.122.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
162.	Tabelul 7.2.123.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
163.	Tabelul 7.2.124.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
164.	Tabelul 7.2.125.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
165.	Tabelul 7.2.126.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
166.	Tabelul 7.2.127.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
167.	Tabelul 7.2.128.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
168.	Tabelul 7.2.129.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
169.	Tabelul 7.2.130.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
170.	Tabelul 7.2.131.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
171.	Tabelul 7.2.132.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
172.	Tabelul 7.2.133.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
173.	Tabelul 7.2.134.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
174.	Tabelul 7.2.135.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
175.	Tabelul 7.2.136.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
176.	Tabelul 7.2.137.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
177.	Tabelul 7.2.138.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
178.	Tabelul 7.2.139.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
179.	Tabelul 7.2.140.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
180.	Tabelul 7.2.141.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
181.	Tabelul 7.2.142.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)

<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul tabelului</b>	<b>Titlul tabelului</b>
182.	Tabelul 7.2.143.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
183.	Tabelul 7.2.144.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
184.	Tabelul 7.2.145.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
185.	Tabelul 7.2.146.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
186.	Tabelul 7.2.147.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
187.	Tabelul 7.2.148.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
188.	Tabelul 7.2.149.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
189.	Tabelul 7.2.150.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
190.	Tabelul 7.2.151.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
191.	Tabelul 7.2.152.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
192.	Tabelul 7.2.153.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
193.	Tabelul 7.2.154.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
194.	Tabelul 7.2.155.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
195.	Tabelul 7.2.156.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
196.	Tabelul 7.2.157.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
197.	Tabelul 7.2.158.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
198.	Tabelul 7.2.159.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
199.	Tabelul 7.2.160.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
200.	Tabelul 7.2.161.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
201.	Tabelul 7.2.162.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
202.	Tabelul 7.2.163.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
203.	Tabelul 7.2.164.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
204.	Tabelul 7.2.165.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
205.	Tabelul 7.2.166.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
206.	Tabelul 7.2.167.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
207.	Tabelul 7.2.168.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
208.	Tabelul 7.2.169.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)

<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul tabelului</b>	<b>Titlul tabelului</b>
209.	Tabelul 7.2.170.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
210.	Tabelul 7.2.171.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
211.	Tabelul 7.2.172.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
212.	Tabelul 7.2.173.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
213.	Tabelul 7.2.174.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
214.	Tabelul 7.2.175.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
215.	Tabelul 7.2.176.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
216.	Tabelul 7.2.177.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
217.	Tabelul 7.2.178.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
218.	Tabelul 7.2.179.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
219.	Tabelul 7.2.180.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
220.	Tabelul 7.2.181.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
221.	Tabelul 7.2.182.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
222.	Tabelul 7.2.183.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
223.	Tabelul 7.2.184.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
224.	Tabelul 7.2.185.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
225.	Tabelul 7.2.186.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
226.	Tabelul 7.2.187.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
227.	Tabelul 7.2.188.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
228.	Tabelul 7.2.189.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
229.	Tabelul 7.2.190.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
230.	Tabelul 7.2.191.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
231.	Tabelul 7.2.192.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
232.	Tabelul 7.2.193.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
233.	Tabelul 7.2.194.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
234.	Tabelul 7.2.195.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
235.	Tabelul 7.2.196.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță

<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul tabelului</b>	<b>Titlul tabelului</b>
236.	Tabelul 7.2.197.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
237.	Tabelul 7.2.198.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
238.	Tabelul 7.2.199.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
239.	Tabelul 7.2.200.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
240.	Tabelul 7.2.201.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
241.	Tabelul 7.2.202.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
242.	Tabelul 7.2.203.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
243.	Tabelul 7.2.204.	Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
244.	Tabelul 7.2.205.	Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
245.	Tabelul 7.2.206.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
246.	Tabelul 7.2.207.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
247.	Tabelul 7.2.208.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
248.	Tabelul 7.2.209.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.2)
249.	Tabelul 7.2.210.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
250.	Tabelul 7.2.211.	Indicii specifici de performanță – analiză exhaustivă
251.	Tabelul 7.2.212.	Indicii specifici de performanță – stația Victoria (Anexa 7.2)
252.	Tabelul 7.2.213.	Indicii specifici de performanță – stația Cetate (Anexa 7.2)
253.	Tabelul 7.2.214.	Indicii specifici de performanță – stația Pădurea Verde (Anexa 7.2)
254.	Tabelul 7.2.215.	Indicii specifici de performanță – stația Sânnicolau Mare (Anexa 7.2)
255.	Tabelul 7.2.216.	Indicii specifici de performanță – stația Lugoj (Anexa 7.2)
256.	Tabelul 7.2.217.	Clasament stații
257.	Tabelul 7.2.218.	Indicii specifici de performanță – prima zi de marți a fiecărei luni (Anexa 7.2)
258.	Tabelul 7.2.219.	Indicii specifici de performanță – a doua zi de miercuri a fiecărei luni (Anexa 7.2)
259.	Tabelul 7.2.220.	Indicii specifici de performanță – ultima zi de joi a fiecărei luni (Anexa 7.2)
260.	Tabelul 7.2.221.	Clasament stații
261.	Tabelul 7.2.222.	Indicii specifici de performanță – ora 9 (Anexa 7.2)
262.	Tabelul 7.2.223.	Indicii specifici de performanță – ora 21 (Anexa 7.2)
263.	Tabelul 7.2.224.	Clasament ore
264.	Tabelul 7.3.1.	Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW) (Anexa 7.3)
265.	Tabelul 7.3.2.	Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.3)

<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul tabelului</b>	<b>Titlul tabelului</b>
266.	Tabelul 7.3.3.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.3)
267.	Tabelul 7.3.4.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.3)
268.	Tabelul 7.3.5.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.3)
269.	Tabelul 7.3.6.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.3)
270.	Tabelul 7.3.7.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
271.	Tabelul 7.3.8.	Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW) (Anexa 7.3)
272.	Tabelul 7.3.9.	Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.3)
273.	Tabelul 7.3.10.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.3)
274.	Tabelul 7.3.11.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.3)
275.	Tabelul 7.3.12.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.3)
276.	Tabelul 7.3.13.	Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW) (Anexa 7.3)
277.	Tabelul 7.3.14.	Valoarea comparativă a indicilor de performanță
278.	Tabelul 7.3.15.	Indicii specifici de performanță
279.	Tabelul 7.4.1.	Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW)
280.	Tabelul 7.4.2.	Diferențe finite anuale de ordinul 1, 2, ..., 12, aferente orei 1
281.	Tabelul 7.4.3.	Diferențe finite orare de ordinul 1, 2, ..., 13, aferente orei 1
282.	Tabelul 7.4.4.	Centralizarea diferențelor finite anuale și orare pentru UTR Reșița
283.	Tabelul 7.4.5.	Valorile indicilor pătratici globali caracteristici pentru UTR Reșița
284.	Tabelul 7.4.6.	Valorile indicilor pătratici globali caracteristici
285.	Tabelul 7.4.7.	Centralizarea diferențelor finite anuale și orare pentru UTR Arad (Anexa 7.4)
286.	Tabelul 7.4.8.	Valorile indicilor pătratici globali caracteristici pentru UTR Arad (Anexa 7.4)
287.	Tabelul 7.4.9.	Centralizarea diferențelor finite anuale și orare pentru UTR Deva (Anexa 7.4)
288.	Tabelul 7.4.10.	Valorile indicilor pătratici globali caracteristici pentru UTR Deva (Anexa 7.4)
289.	Tabelul 7.4.11.	Centralizarea diferențelor finite anuale și orare pentru UTR Timișoara (Anexa 7.4)
290.	Tabelul 7.4.12.	Valorile indicilor pătratici globali caracteristici pentru UTR Timișoara (Anexa 7.4)
291.	Tabelul 7.4.13.	Centralizarea diferențelor finite anuale și orare pentru UTR Banat (Anexa 7.4)
292.	Tabelul 7.4.14.	Valorile indicilor pătratici globali caracteristici pentru UTR Banat (Anexa 7.4)
293.	Tabelul 7.4.15.	Clasamente pe baza indicilor caracteristici
294.	Tabelul 7.4.16.	Indicii specifici (echivalenți) de performanță
295.	Tabelul 7.4.17.	Clasamente pe baza indicilor specifici (echivalenți) de performanță
296.	Tabelul 7.4.18.	Comparație clasamente

---

<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul tabelului</b>	<b>Titlul tabelului</b>
297.	Tabelul 7.4.19.	Comparație note
298.	Tabelul 7.4.20.	Valorile indicilor pătratici globali caracteristici
299.	Tabelul 7.4.21.	Indicii specifici (echivalenți) de performanță
300.	Tabelul 7.4.22.	Clasamente pe baza indicilor specifici (echivalenți) de performanță
301.	Tabelul 7.4.23.	Comparație clasamente
302.	Tabelul 7.4.24.	Comparație note
303.	Tabelul 7.4.25.	Analiza corelării calității prognozei cu indicii de caracteristici (anual + lunar)
304.	Tabelul 7.4.26.	Analiza corelării calității prognozei cu indicii de caracteristici (anual, lunar)



# 1. INTRODUCERE

Creșterea consumului de energie, în general, și de energie electrică în special, constituie o caracteristică esențială atât pentru țările dezvoltate, cât și pentru cele în curs de dezvoltare. În pofida unor posibile perioade de recesiune, trendul general rămâne. Se impune cercetarea unor noi tehnologii de conversie și de utilizare a energiei. Discrepanțele tot mai mari dintre cererea și producția de energie electrică ridică o serie de semnale de alarmă cu referire la disponibilitatea surselor de energie și efectele proceselor energetice asupra mediului. Ritmul de dezvoltare economică și de utilizare a capacităților existente în cel mai bun mod posibil este un factor care influențează producția de energie electrică.

Economia europeană se vrea o economie a consumurilor energetice scăzute, bazată pe surse de energie mai sigure, mai curate, mai competitive și sustenabile. Prioritățile energetice actuale vizează asigurarea unei piețe interne europene funcționale, stabile, securitatea strategică a surselor de energie, structuri ale balanței energetice care să asigure conservarea și protejarea mediului ambiant.

Liberalizarea pieței de energie și dereglementarea au condus la utilizarea și integrarea de modalități noi, mai eficiente, de producere și de management al energiei. Ca urmare, atât consumatorii cât și companiile de producere a energiei electrice caută căi de creștere a eficienței în condițiile instabilității prețului energiei, îmbătrânirii infrastructurii energetice și a modificărilor privind reglementările referitoare la protecția mediului.

În România, piața de energie s-a liberalizat complet relativ recent, lucru care a determinat apariția unei competiții în domeniu. Conectarea la sistemul național a producătorilor de energie din surse regenerabile și dezvoltarea industriei prin achiziția de echipamente noi, precum și dotarea populației cu echipamente electrice pentru confortul rezidențial, ridică probleme care necesită rezolvare urgentă, prin prisma acestor noi provocări. Tendința de a oferi consumatorului final posibilitate de alegere a furnizorului de energie electrică, tinde să devină o realitate. Astfel, furnizorii și distribuitorii de energie electrică devin tot mai mult interesați de dezvoltarea de noi strategii orientate către implementarea de soluții de control și asistență a deciziilor.

Sistemele clasice de producere centralizată a energiei electrice, cât și sistemele moderne, caracterizate de utilizarea și integrarea pe scară largă a surselor regenerabile de energie, sunt constrânse în activitatea lor decizională de cunoașterea evoluției consumului de energie electrică.

Proгноza consumului de energie electrică este o funcție principală a operatorilor de distribuție și furnizare a energiei electrice. Energia electrică nu poate fi stocată în mod eficient, la scară mare (raportat la cantitatea produsă), ceea ce înseamnă că pentru operatorii de distribuție și furnizare, estimarea cererii este un factor indispensabil în procesul de management al tranzacției într-un mod relativ rezonabil.

Consumatorii de energie electrică sunt sisteme complexe a căror cunoaștere din punct de vedere al factorilor care stau la baza modificărilor în structura consumului de energie electrică este esențială pentru operatorul de sistem, furnizorul de energie electrică și pentru consumatorul în cauză. Implementarea măsurilor de reducere a consumurilor de energie electrică aduce economii prin reducerea facturii, precum și încadrarea în legislația europeană și națională de optimizare a consumului total.

Istoricul consumului, prognoza valorilor lui și interpretarea corectă a acestora, reprezintă condiții necesare pentru realizarea deciziilor care vor sta la baza planificării extinderii rețelelor de transport al energiei electrice și a celor de distribuție, atât pe termen scurt cât și pe termen lung, care să determine îmbunătățiri la nivelul infrastructurii și funcționării întregului sistem. Cunoașterea trendului consumurilor, analiza factorilor de influență, politicile de constrângeri legislative, sunt instrumente indispensabile factorilor decizionali din sectorul energetic.

Prognoza consumului de putere și de energie electrică, în condițiile unei piețe deschise, are un rol foarte important în funcționarea eficientă și sigură a sistemului electroenergetic. Acest fapt este valabil și pentru sistemele clasice de producere centralizată a energiei electrice, dar mai ales pentru sistemele moderne, caracterizate de utilizarea și integrarea pe scară largă a surselor regenerabile de energie.

Un istoric al consumurilor energetice din ultimii 5 sau chiar 10 ani de activitate este necesar pentru estimarea (extrapolarea) tendințelor pentru momentul actual sau chiar pentru viitorul apropiat. Aceste date provin în general de la societățile de distribuție a energiei electrice sau, la nivel național, de la operatorul de transport și de sistem.

În acest context, tematica tezei de doctorat se încadrează în preocupările actuale din domeniul managementului sistemelor de producere, transport, distribuție și consum al energiei electrice. Teza urmărește două obiective esențiale: activitatea de prognoză (a curbelor de sarcină, a consumului de energie electrică și de putere) și utilizarea unor tehnici de inteligență artificială (în principal rețele neuronale artificiale) pentru obținerea prognozelor.

Metodele de analiză utilizate sunt finalizate prin tehnici originale de soluționare, implementate în instrumente soft proprii, care utilizează la maxim posibilitățile oferite de mediile de programare și de sistemele informatice actuale.

Aplicațiile prezentate în cadrul tezei de doctorat au pornit de la cazuri simple și baze de date test, utilizate pentru validarea metodelor propuse și pentru "calibrarea" instrumentelor soft, ca apoi să se treacă la situații reale, vizând principalii operatori de distribuție din România: Enel, Electrica, CEZ etc.

Pentru partea aplicativă propriu-zisă a tezei s-au selectat o serie de studii de caz referitoare la Enel Distribuție Banat. Ele se referă atât la ansamblul societății de distribuție cât și la principalele unități teritoriale rețea (UTR) componente: UTR Arad, UTR Deva, UTR Reșița și UTR Timișoara. De asemenea, se prezintă o serie de rezultate referitoare la stații de transformare de 110 kV/m.t. din cadrul UTR Timișoara (au fost selectate pentru prezentare în detaliu 5 stații semnificative de 110 / 20 kV: Victoria, Cetate, Pădurea Verde, Sânnicolau Mare și Lugoj).

Teza de doctorat, extinsă pe 236 de pagini, este structurată pe 8 capitole, prefață, 4 anexe (pe suport de informație electronic) și o listă bibliografică, conținând

un număr de 196 figuri, scheme, histograme și 304 tabele. Lista bibliografică cuprinde 191 titluri, semnalându-se prezența unor lucrări reprezentative, atât cele considerate deja clasice, cât și cele de dată relativ recentă, apărute în țară sau în reviste de prestigiu din străinătate.

Capitolul 1 are un caracter introductiv, prima parte cuprinzând încadrarea și justificarea tematicii care constituie obiectul tezei de doctorat, în contextul stadiului actual al evoluției sistemelor electroenergetice și al preocupărilor existente pe plan mondial și la noi în țară. Partea a doua cuprinde prezentarea succintă a conținutului fiecărui capitol al tezei. În încheierea capitolului se evidențiază atât modul de valorificare a cercetărilor efectuate în cadrul elaborării tezei de doctorat (publicații, contracte, instrumente soft), cât și perspectivele privind direcțiile ulterioare de continuare a investigațiilor. De asemenea, se subliniază utilitatea rezultatelor obținute pentru operatorii de distribuție și de transport, precum și pentru alți agenți economici.

Se menționează faptul că fiecare dintre capitolele următoare cuprinde un subcapitol final, care, alături de evidențierea concluziilor și a contribuțiilor originale, deschide calea pentru cele care urmează.

Obiectivul capitolului 2 constă în prezentarea unei sinteze privind evoluția sectorului energetic, în general și, a sistemelor electroenergetice, în particular.

Prima parte a capitolului cuprinde o evaluare a stadiului actual al evoluției sectorului energetic european. Sunt descrise principalele aspecte legate de situația energetică a Uniunii Europene (UE) și de evoluția sistemului electroenergetic european: evoluția pieței de energie, influența asupra altor sectoare, respectiv impactul asupra mediului, elaborarea unei politici comune în acest domeniu și a instrumentelor de implementare, adaptarea legislației comunitare, efectele extinderii UE în ultimul deceniu. Piața unică europeană de energie electrică a devenit o realitate care implică o dezvoltare și o extindere corespunzătoare a SEE European, a rețelei continentale de transport al energiei electrice.

A doua parte a capitolului este consacrată politicii energetice a României, pieței de energie electrică din România, cu un accent special asupra situației și evoluției producerii și consumului de energie electrică. În contextul discutat, se prezintă și o serie de elemente legate de conceptul de Smart Metering, de factorii motivați pentru implementarea contorizării inteligente a consumului de energie electrică.

Capitolul 3 realizează o prezentare sistematizată a aspectelor generale legate de prognoza consumului de energie electrică (putere de vârf sau orară, energie consumată, curbe de sarcină) și a metodelor de prognoză efectiv utilizate.

Prima parte a capitolului cuprinde o abordare mai generală a metodelor de prognoză, însoțită deja de referiri concrete la literatura recentă de specialitate (în partea care vizează metodele de tip Delphi).

În a doua parte este prezentarea propriu-zisă a metodelor, în funcție de orizontul de timp care se referă, prin prisma realizării unui studiu bibliografic referitor la lucrările de dată recentă publicate în acest domeniu. Sunt urmărite atât metodele "clasice", bazate pe modelarea matematică, cât și cele "moderne", utilizând tehnici de inteligență artificială, logică fuzzy, sisteme expert, "support vector machine" etc.

Ultima parte a capitolului abordează și o serie de aspecte legate de factorii care influențează "pattern-ul" (tiparul) de consum.

Capitolul 4 este destinat prezentării rețelelor neuronale artificiale (RNA). În prima parte a capitolului se trec în revistă o serie de aspecte generale legate de RNA: prezentarea terminologiei de bază și a structurii RNA, clasificarea RNA, domeniile de aplicație, avantajele și dezavantajele utilizării RNA. Un paragraf aparte este consacrat prezentării tipurilor de învățare specifice RNA, atât cea supravegheată cât și cea nesupravegheată.

Partea a doua a capitolului este focalizată asupra modelului neuronului și asupra structurii RNA. Un subcapitol aparte este consacrat rețelelor neuronale de tip perceptron, cu un singur strat și cu mai multe straturi, cu accent special pe cele de tip backpropagation.

Capitolul 5 are ca obiectiv prezentarea sintetică a metodelor numerice și a tehnicilor de optimizare utilizate în capitolul următor, la elaborarea modelului matematic și a metodei de soluționare a prognozei consumului de energie electrică (a curbelor de sarcină) folosind tehnici de inteligență artificială: procedee de optimizare neliniară utilizate la ameliorarea performanțelor rețelelor neuronale (cu un accent special asupra metodei gradientilor conjugați); metode de interpolare polinomială a funcțiilor (polinoame de tip Newton de speța 1), utilizate la metoda gradientilor conjugați; diferențe finite, utilizate la prognosticarea calității prognozei curbelor de sarcină în funcție de datele existente; procedee de aproximare polinomială bazate pe metoda celor mai mici pătrate, utilizate la prognoza clasică prin extrapolare liniară și parabolică

Capitolul 6 are ca obiectiv prezentarea modelului matematic al metodelor utilizate efectiv în lucrare pentru prognoza consumului de energie electrică (putere) și a curbelor de sarcină. Ele au fost elaborate pe baza elementelor teoretice prezentate în capitolele anterioare, atât în ceea ce privește RNA (capitolul 4) cât și metodele de calcul numeric și tehnicile de optimizare.

În prima parte a capitolului se detaliază metoda care utilizează RNA de tip perceptron cu mai multe straturi, cu algoritm de tip backpropagation. Se trec în revistă principalele etape ale algoritmului de calcul, care se poate utiliza atât pentru prognoza curbelor de sarcină, cât și pentru prognoza consumului de energie electrică, a puterii de vârf sau a puterii medii orare pentru un consumator individual sau o zonă de consum. Se evidențiază și elementele de noutate, legate de implementarea unor tehnici de optimizare neliniară, de evitare a blocării soluției într-un minim local, de tratare a altor situații speciale care pot să apară în derularea calculelor. La finalul primului subcapitol se prezintă pe scurt și instrumentul soft corespunzător algoritmului prezentat, cu observația că sunt incluse și metodele prezentate în subcapitolele următoare.

Al doilea subcapitol prezintă pe scurt metodele clasice de prognoză, bazate pe aproximarea valorii funcțiilor cunoscute prin puncte cu metoda celor mai mici pătrate, implementate la rândul lor în instrumentul soft elaborat.

Ultimul subcapitol prezintă un instrument de analiză (estimare) a calității prognozelor pentru curbele de sarcină în funcție de calitatea datelor cunoscute (gradul de corelare) pentru o anumită perioadă trecută (un anumit număr de ani). Acest instrument are la bază diferențele finite, cu ajutorul cărora se determină o serie de indici globali caracteristici.

Capitolului 7 constituie principala parte aplicativă a lucrării. În acest capitol se prezintă rezultatele obținute privind prognoza consumului de energie electrică și

a curbelor de sarcină utilizând tehnici bazate pe inteligența artificială (IA) - rețele neuronale artificiale (RNA).

Elementele teoretice, metodologiile de calcul elaborate și instrumentele soft dezvoltate, care au constituit obiectul capitolelor anterioare, au fost aplicate și utilizate la obținerea prognozelor menționate pentru o gamă largă de studii de caz.

Analizele efectuate au pornit de la cazuri simple și baze de date test, utilizate pentru validarea metodelor propuse și pentru "calibrarea" instrumentelor soft, ca apoi să se treacă la situații reale, vizând principalii operatori de distribuție din România: Enel Distribuție Banat, Electrica Muntenia Nord, Enel Distribuție Dobrogea, Electrica Transilvania Nord, CEZ Distribuție Oltenia etc.

Prima parte a capitolului se referă atât la ansamblul Enel Distribuție Banat cât și la principalele unități teritoriale rețea (UTR) componente: UTR Timișoara, UTR Arad, UTR Deva și UTR Reșița.

A doua parte a capitolului este dedicată stațiilor de transformare de 110 kV / m.t. din cadrul UTR Timișoara. Dintre aceste stații au fost selectate pentru prezentare în detaliu în cadrul acestui capitol 5 stații semnificative de 110 / 20 kV: Victoria, Cetate, Pădurea Verde, Sânnicolau Mare și Lugoj.

În ultima parte acestui capitol se analizează posibilitatea cuantificării gradului de corelare a curbelor de sarcină și influența gradului de corelare asupra calității prognozelor obținute. Se utilizează și două baze de date test (curbe de sarcină test), elaborate în acest scop.

Capitolul 8 cuprinde concluziile generale ale tezei și prezentarea sistematizată a contribuțiilor originale ale autorului, precum și relieful direcțiilor și perspectivele oferite de lucrarea de față pentru continuarea cercetărilor și aplicarea rezultatelor și a experienței obținute. Metodologiile și programele de calcul elaborate sunt de aplicabilitate generală, oferind un instrument eficient de lucru pentru operatorii de distribuție și de transport, pentru agenții economici cu preocupări în domeniul consumului și producerii de energie electrică.

Anexele oferă o serie de elemente și de rezultate de detaliu referitoare la prognozele efectuate în cadrul studiilor de caz prezentate în teza de doctorat.

Rezultatele obținute au fost și vor fi valorificate în cadrul unor contracte de cercetare științifică încheiate între Universitatea Politehnică Timișoara, Centrul de Cercetare pentru Analiza și Optimizarea Regimurilor SEE, și Operatorul Național de Transport și de Sistem, C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., operatorii de distribuție (Enel, Electrica, CEZ, Eon) și o serie de agenți economici care se ocupă de implementarea în sistem a resurselor regenerabile de energie. Contractele derulate și finalizate sunt prezentate în lista lucrărilor proprii de la finele tezei ( [UPT2013a], [UPT2013b], [UPT2013c], [UPT2013d], [UPT2013e], [UPT2013f], [UPT2014a], [UPT2014b], [UPT2014c], [UPT2014d], [UPT2014e]).

De asemenea, o parte a rezultatelor obținute în cadrul tezei au fost publicate și sunt în curs de publicare: 9 lucrări publicate până la ora actuală, 2 lucrări în curs de publicare, 2 referate științifice și un număr mare de contracte de cercetare. Așa cum rezultă din lista lucrărilor proprii de la finele tezei de doctorat, 4 au fost publicate în țară și 5 în străinătate. Se remarcă faptul că 2 lucrări sunt indexate ISI (o revistă și un volum de conferință), 5 lucrări sunt indexate în BDI – Scopus, Compendex,

Inspec, IEEE Explore etc. (dintre care 2 și în curs de indexare ISI) și 2 acceptate la conferințe indexate ISI (septembrie 2015).

Analizele teoretice și practice realizate în cadrul tezei de doctorat, precum și rezultatele obținute, deschid o serie de perspective și direcții de continuare și aprofundare ulterioară a cercetărilor în domeniul prognozei consumului de energie electrică și a curbelor de sarcină:

- rafinarea metodelor de soluționare bazate pe RNA, în scopul creșterii eficienței și ameliorării performanțelor acestora;
- implementarea unor alte clase de metode de soluționare bazate pe tehnici de inteligență artificială și logică fuzzy;
- elaborarea unor metode care să elimine sau să corecteze unele date evident eronate în istoricul consumului;
- introducerea în modelul matematic a unor factori suplimentari, pe lângă evoluția în timp a consumului: condițiile meteo, elemente legate de dezvoltarea economică, influența producerii distribuite etc.

## **2. STADIUL ACTUAL AL EVOLUȚIEI SECTORULUI ENERGETIC ȘI ELECTROENERGETIC**

În capitolul 2 este prezentată situația actuală a evoluției sectorului energetic și a sistemului electroenergetic, atât la modul general, cât și cel particular al României. O atenție specială se acordă consumului și producerii de energie electrică.

În prima parte este prezentat contextul global, politica energetică a Uniunii Europene, și obiectivele generale ale strategiei sectorului energetic.

A doua parte a capitolului este consacrată politicii energetice a României, pieței de energie electrică din România, cu un accent special asupra situației și evoluției producerii și consumului de energie electrică. În contextul discutat, se prezintă și o serie de elemente legate de conceptul de Smart Metering, de factorii motivați pentru implementarea contorizării inteligente a consumului de energie electrică.

### **2.1. Contextul global. Politica energetică a Uniunii Europene**

Cea mai importantă provocare pentru Uniunea Europeană se referă la modul în care poate asigura securitatea energetică "competitivă" și „curată”, ținând cont de schimbările climatice, de creșterea cererii globale de energie și de viitorul nesigur al accesului la resursele energetice [ESE2011].

Uniunea Europeană (UE) elaborează o politică energetică ambițioasă care acoperă toate sursele de energie, de la combustibili fosili (țigăi, gaz și cărbune) până la energia nucleară și cea regenerabilă (solară, eoliană, geotermală, hidro etc.), în încercarea de a declanșa o nouă revoluție industrială, care să ducă la o economie cu consum redus de energie și la limitarea schimbărilor climatice.

Politica Uniunii Europene pentru perioada următoare se bazează pe trei obiective fundamentale [SE2007] [ESE2011]:

- durabilitate – are ca obiectiv schimbările climatice prin reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, promovarea producerii energiei pe bază de resurse regenerabile, reducerea impactului negativ al sectorului energetic asupra mediului;
- competitivitatea – vizează asigurarea implementării efective a pieței interne de energie, dezvoltarea piețelor concurențiale de energie electrică, gaze naturale și servicii energetice, liberalizarea tranzitului de energie și asigurarea accesului nediscriminatoriu al participanților la piață la rețelele de transport internaționale;
- siguranța în alimentarea cu energie – reducerea vulnerabilității UE în privința importurilor de energie, a întreruperilor în alimentare, a posibilelor crize energetice și a nesiguranței privind alimentarea cu energie în viitor, în special prin încurajarea investițiilor în resurse proprii și prin diversificarea surselor de aprovizionare.

În conformitate cu Noua Politică Energetică a UE, elaborată în 2007, energia este un element esențial al dezvoltării la nivelul Uniunii, dar în aceeași măsură este o provocare în ceea ce privește impactul sectorului energetic asupra schimbărilor climatice, a creșterii dependenței de import de resurse energetice precum și a creșterii prețului energiei. În acest context, Comisia Europeană recomandă ca UE să promoveze o politică energetică comună, bazată pe securitate energetică, dezvoltare durabilă și competitivitate [SE2007].



În ceea ce privește securitatea alimentării cu resurse energetice, UE se așteaptă ca dependența de import de gaze naturale să crească de la 57% la 84% în anul 2030, iar petrolul de la 82% la 93% pentru aceeași perioadă.

Sectorul energetic european este unul din principalii producători de gaze cu efete de seră. Comisia Europeană are următoarele obiective:

- reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră cu 30% până în anul 2020;
- creșterea ponderii energiei regenerabile la 20% în 2020;
- creșterea ponderii biocombustibililor la 10% din totalul combustibililor utilizați în anul 2020;
- reducerea consumului global de energie primară cu 20% până în 2020.

Noua Politică Energetică Europeană include o serie de linii directoare ce urmează a fi implementate pentru întărirea securității în aprovizionare a UE, în contextul liberalizării piețelor naționale și a constituirii piețelor interne de energie [Guv2013].

În condițiile apartenenței României la UE, este importantă racordarea la cadrul general actual al politicii energetice comunitare.

UE își propune implementarea unei politici comune în domeniul energetic, caracterizată prin:

- dezvoltarea strategiei pieței comunitare integrare;
- elaborarea unui plan de acțiune pentru creșterea eficienței energetice;
- dezvoltarea unui plan de interconectare și facilitarea realizării proiectelor prioritare de infrastructură care să contribuie la diversificarea alimentării și integrarea piețelor de energie regenerabilă în piața internă a UE.

Cererea de energie electrică este în continuă creștere în raport cu cererea generală de energie la nivel mondial (fig. 2.1.1). Cererea de energie electrică a crescut cu 2,2 % pe an, comparativ cu 1,4 % pentru toate formele de energie [EIA2013].

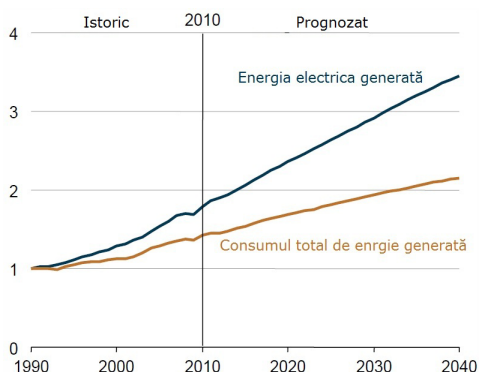


Fig. 2.1.1. Creșterea producției de energie electrică în lume și consumul total de energie pentru perioada 1990-2040

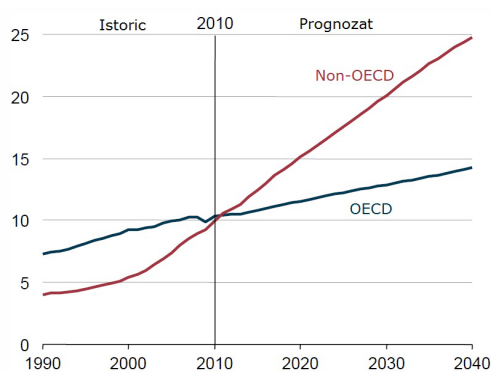


Fig. 2.1.2. Producția netă de energie electrică în țările OECD și non-OECD pentru anii 1990-2040 (TEp)

Țările non-OECD consumă la ora actuală aproximativ 50% din totalul de energie electrică (pe plan mondial), cu tendință de creștere în anii următori. Creșterea pentru țările din OCDE, unde piețele de energie electrică sunt stabile, este mai lentă decât în țările non-OECD, situația fiind diferită de la o zonă la alta (fig. 2.1.2 - 2.1.3).

În ultimele patru decenii, resursele primare utilizate pentru a genera energie electrică s-au schimbat în întreaga lume. Cărbunele continuă să fie combustibilul cel mai larg utilizat, deși producerea pe cale nucleară a crescut rapid între anii 1970 și 1980, iar utilizarea gazelor naturale între anii 1990 și 2000. Folosirea combustibilului lichid pentru a scăzut permanent de la sfârșitul anilor 1970 (fig. 2.1.4). În tabelul 2.1.1 se prezintă o situație comparativă detaliată (țări OECD și non-OECD).



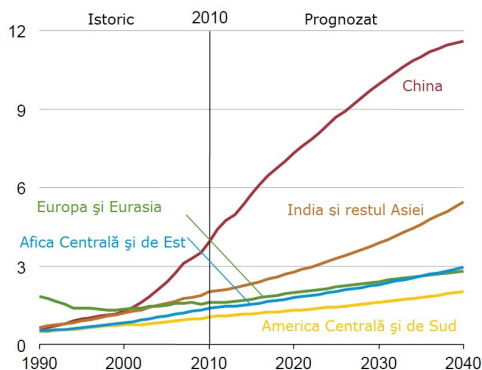


Fig. 2.1.3. Producția netă de energie electrică pe regiuni în țările non-OECD (TWh)

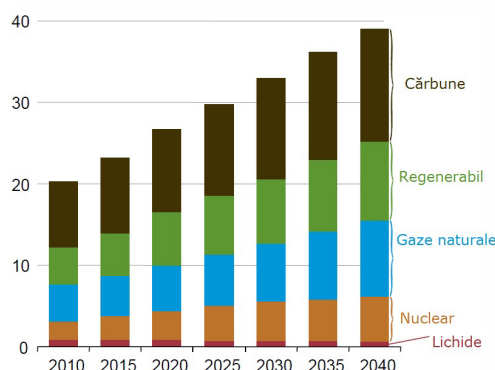


Fig. 2.1.4. Energia electrică generată la nivel mondial în funcție de sursele utilizate (TWh)

Tabelul 2.1.1. Energia electrică generată în funcție de sursele primare utilizate (TWh)

Regiune	Combustibil	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	Modificarea procentuală anuală
OECD	Lichid	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	-1,1
	Gaze naturale	2,4	2,7	2,9	3,1	3,5	3,9	4,3	2,0
	Cărbune	3,5	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	-0,2
	Nuclear	2,2	2,1	2,4	2,6	2,7	2,7	2,7	0,7
	Regenerabile	1,9	2,4	2,8	3,0	3,2	3,4	3,7	2,2
	Total	10,3	10,8	11,5	12,2	12,9	13,5	14,2	1,1
Non-OECD	Lichid	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	-1,0
	Gaze naturale	2,1	2,3	2,6	3,1	3,7	4,4	5,0	3,0
	Cărbune	4,6	5,9	6,9	8,0	9,0	9,9	10,8	2,9
	Nuclear	0,4	0,8	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	6,3
	Regenerabile	2,2	2,9	3,7	4,2	4,7	5,3	5,9	3,3
	Total	9,9	12,5	15,1	17,6	20,1	22,6	24,8	3,1
Mondial	Lichid	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	-1,0
	Gaze naturale	4,5	5,0	5,5	6,2	7,2	8,3	9,4	2,5
	Cărbune	8,1	9,2	10,1	11,3	12,3	13,2	13,9	1,8
	Nuclear	2,6	2,9	3,6	4,3	4,8	5,1	5,5	2,5
	Regenerabile	4,2	5,3	6,5	7,2	7,9	8,8	9,6	2,8
	Total	20,2	23,3	26,6	29,8	33,0	36,2	39,0	2,2

## 2.2. Politica energetică a României

### 2.2.1. Considerații preliminare

Obiectivul general al strategiei sectorului energetic îl constituie satisfacerea necesarului de energie atât în prezent, cât și pe termen mediu și lung, la prețul cel mai mic, suportabil pentru consumatori, adecvat unei economii moderne de piață și un standard de viață civilizată, în condiții de calitate, siguranță în alimentare, cu respectarea principiilor dezvoltării durabile [SEN2014].

O politică energetică echilibrată trebuie să aibă în vedere o gamă largă de obiective:

- stabilitatea economică și securitatea aprovizionării în condițiile de incertitudine a prețului resurselor energetice pe piața internațională;

- protecția mediului – prin orientarea către un mix energetic diversificat cu emisii reduse de carbon și introducerea de noi tehnologii cu impact redus asupra mediului și pentru reducerea efectelor schimbărilor climatice;
- producerea adecvată, securitatea în furnizare și bună funcționare a pieței interne de energie, garanție pentru competiția transparentă, nediscriminatorie și pentru integrarea în piața regională și europeană;
- identificarea mecanismelor / instrumentelor de piață adecvate pentru facilitarea tranziției / transformării sectorului energetic către un sistem energetic cu emisii reduse de carbon;
- dezvoltarea de noi tehnologii pentru producerea și consumul de energie, cu impact redus asupra mediului;
- tehnologii informatice și de comunicare moderne, care să asigure trecerea la procese și servicii cu consum redus de resurse, precum și la rețele de transport și distribuție inteligente și eficiente (smart grids și smart metering).

Directivile principale ale politicii energetice naționale se stabilesc în strânsă corelare cu dezvoltarea economică și socială a țării. Este important să se cunoască strategia dezvoltării durabile economice și sociale a României pe termen mediu și lung având în vedere că investițiile în domeniul energetic necesită fonduri importante și perioade de timp mai mari pentru implementare.

Directiile principale ale politicii energetice naționale vizează:

- creșterea eficienței energetice – utilizarea eficientă a resurselor energetice pe tot lanțul energetic – producere, transport, stocare, distribuire și consum final;
- decarbonizarea sectorului energetic la costuri minime, realizarea unui mix de energie care să răspundă acestui deziderat și care să asigure reducerea dependenței de import, rute sigure de aprovizionare cu energie, creșterea securității energetice și care să răspundă semnalelor pieței;
- încurajarea producerii din surse convenționale și neconvenționale indigene;
- interconectarea internațională;
- promovarea cogenerării de înaltă eficiență într-un cadru de eficiență a costurilor;
- promovarea resurselor regenerabile într-un cadru de eficiență a costurilor;
- dezvoltarea energiei nucleare în condiții de maximă siguranță și securitate;
- creșterea gradului de utilizare a deșeurilor pentru producerea de energie;
- creșterea competitivității piețelor de energie;
- realizarea poziției de lider a României pe piața europeană regională;
- dezvoltarea energiei rurale;
- reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră;
- dezvoltarea capitalului uman în vederea asigurării implementării strategiei energetice naționale;
- dezvoltarea conceptelor de „Smart Cities”, „Smart Grids” și „Smart Metering”;
- dezvoltarea cercetării și inovării în sectorul energetic;
- dezvoltarea politicilor sociale care să răspundă provocărilor generale de implementarea politicilor energetice, informarea corectă a populației privind impactul acestora și a măsurilor de protecție socială.

Previziunile privind sectorul energiei electrice în perioada 2014-2034-2050 au în vedere mai multe elemente:

- prognoza consumului de energie și a producerii de energie naționale pe surse și ramuri industriale de consum;
- necesarul de capacități noi de producere, de transport și de distribuția energie electrice, corelat cu estimarea adecvatei sistemului;
- scenarii de evoluție a prețurilor combustibililor și a energiei electrice din țară și de pe piața externă;

- direcții strategice pentru structura capacităților de producție, din punct de vedere al surselor primare, tehnologiei și localizării geografice, cu considerarea impactului actualelor scheme de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră;
- estimarea investițiilor necesare pentru proiectele energetice;
- analiza aspectelor asociate apariției unor zone cu dezechilibre mari între producție și consum, analiza impactului asupra pierderilor în rețea, direcții strategice pentru dezvoltarea rețelei de transport în corelare cu obiectivele politicii energetice;
- definirea unor proiecte energetice de interes național și estimarea investițiilor necesare pentru acestea;
- evaluarea producției de energie electrică, de gaze naturale și produse petroliere și de servicii de sistem tehnologice din România, în context regional și european pe perioada 2014-2035;
- direcții strategice privind asigurarea securității Sistemului Electroenergetic Național (SEN), evaluarea cerințelor de securitate corelate cu perspectiva transformării SEN într-un sistem bazat pe tehnologii cu emisii reduse de carbon și gestionarea eventualelor concentrări zonale ale producătorilor de energie electrică, analiza opțiunilor organizaționale privind asigurarea securității SEN în contextul diversificării surselor de producție și a operatorilor de pe piața de energie electrică, apreciind și diferența cost / beneficiu între sistemul unitar-ierarhizat și cel descentralizat, estimarea influenței cheltuielilor necesare asigurării securității SEN asupra costului final al energiei electrice, alegerea mix-ului energetic optim.

### 2.2.2. Evoluția consumului și a producției de energie electrică

Evoluția consumului de energie electrică a înregistrat fluctuații semnificative în ultimele două decenii, în România. În perioada 1989-2000, consumul intern de energie electrică s-a redus semnificativ, în principal din cauza scăderii consumului din sectorul industrial după anul 1989. Situația s-a stabilizat în anul 2000, când cererea de energie electrică a crescut pentru prima dată după un deceniu. După o creștere constantă, consumul de energie electrică în România a atins cel mai mare nivel în anul 2008. Evoluția consumului brut de energie electrică în România, în ultimul deceniu, corelată cu evoluția PIB, este reprezentată în figura 2.2.1 [Guv2014].

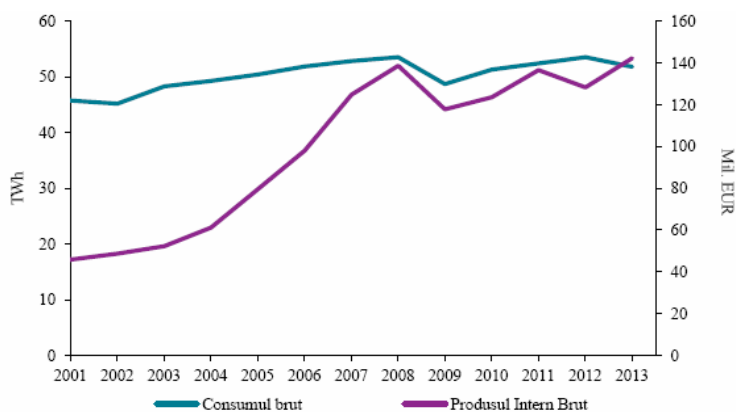


Figura 2.2.1. Evoluția consumului brut de energie electrică [TWh] și a PIB [mil. Euro] în România, 2001-2013

În perioada 2008-2013, consumul brut de energie electrică din România a scăzut cu 6%, în principal sub impactul crizei economice și al contractării sectorului industrial. Consumul de energie electrică la nivelul sectorului industrial, inclusiv în domeniul construcțiilor și sectorul energetic, a înregistrat o scădere de aproximativ

18% în perioada 2008-2013. Evoluția structurii consumului brut de energie electrică în această perioadă, este reprezentată în figura 2.2.2 [Guv2014].

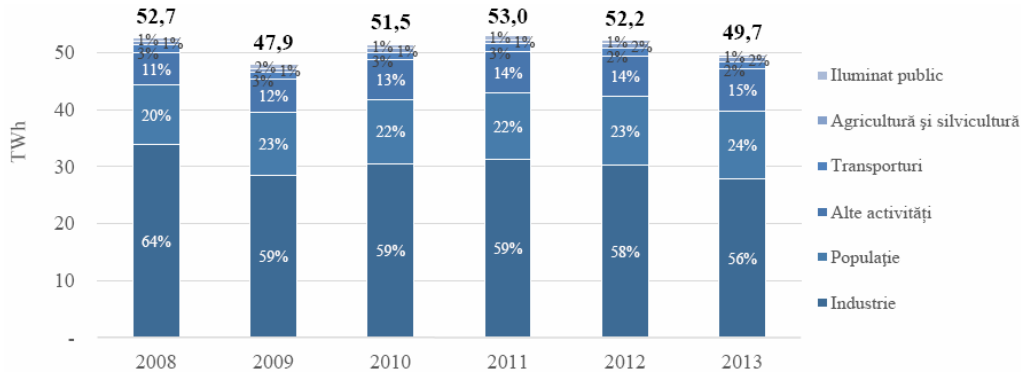


Figura 2.2.2. Structura consumului de energie electrică pe categorii de consumatori [TWh], 2008-2013

Consumul de energie electrică în anul 2013 a fost de 49,706 TWh, cu 4,8% mai mic decât cel înregistrat în anul 2012. Industria, care include sectorul construcțiilor și sectorul energetic (inclusiv CPT transport și alte pierderi ale rețelei), deține în continuare ponderea cea mai mare în structura consumului de energie electrică, respectiv 56,1%, urmată de consumul populației, cu 23,9%. Reduceri peste medie în consumul de energie electrică s-au înregistrat inclusiv la nivelul iluminatului public și sectorului transporturi, respectiv 12,7% și 8,3% comparativ cu anul 2012.

În anul 2013, numărul total de consumatori finali alimentați cu energie electrică a fost de 9.011.095, din care 8.991.881 (99,8%) au fost consumatori alimentați în regim reglementat și 19.214 (0,2%) au fost consumatori alimentați în regim concurențial (consumatorii care și-au exercitat dreptul de eligibilitate). Raportat la consumul final, consumul în regim concurențial a reprezentat 56,7%, în funcție de volum (fig. 2.2.3).

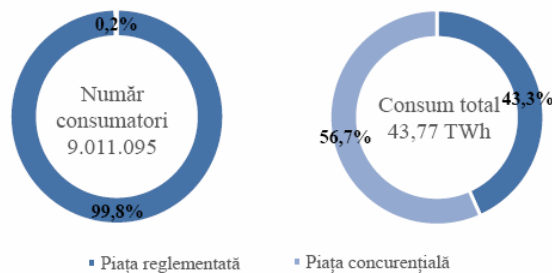


Figura 2.2.3. Structura consumatorilor de energie electrică din România (anul 2013)

Cantitatea de energie electrică produsă în România de către producătorii deținători de unități dispacherizabile a fost de 55,78 TWh în anul 2013, cantitatea totală de energie electrică livrată în rețele de către aceștia fiind de 51,70 TWh.

Structura energiei electrice livrate de producători, pe tipuri de resurse convenționale și neconvenționale, în perioada 2008-2013, este prezentată în fig. 2.2.4 [Guv2014].

Resursele de cărbune și cele hidro au avut un aport de 57,4% în producția de energie electrică, în timp ce producția nucleară – 20,6%, cantitatea rămasă fiind acoperită din sursele de gaze naturale, alți combustibili lichizi și alte resurse. Odată cu creșterea puterii instalate în centralele electrice eoliene, a crescut implicit și ponderea acestora în mixul de producție, la aproximativ 9% din totalul producției în anul 2013.

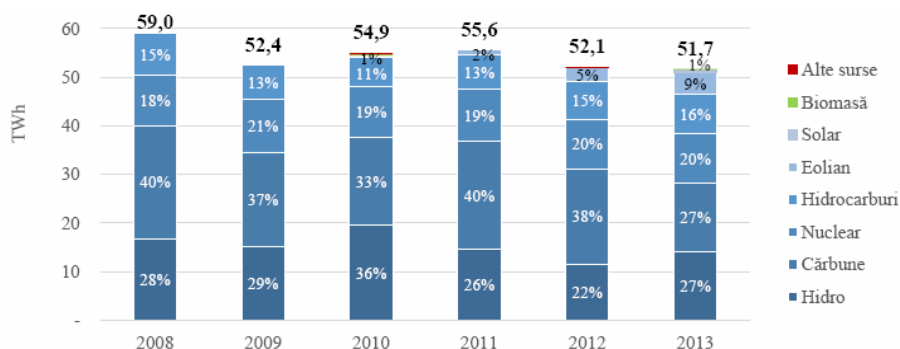


Figura 2.2.4. Structura energiei electrice livrate de către producătorii deținători de unități dispecerizabile, pe tipuri de resurse [TWh] (2008-2013)

Evoluția soldului schimburilor transfrontaliere realizate cu statele vecine în perioada 2009-2013 este prezentată în fig. 2.2.5. În 2013 soldul schimburilor transfrontaliere a fost un export net de 2,02 TWh, determinat în principal de producția mai mare în centralele hidro, respectiv cele eoliene și fotovoltaice. Una din direcțiile strategice la nivel național este ca România să rămână un exportator de energie electrică și să își mențină prezența ca jucător activ pe piața liberă din Europa Centrală și de Est.

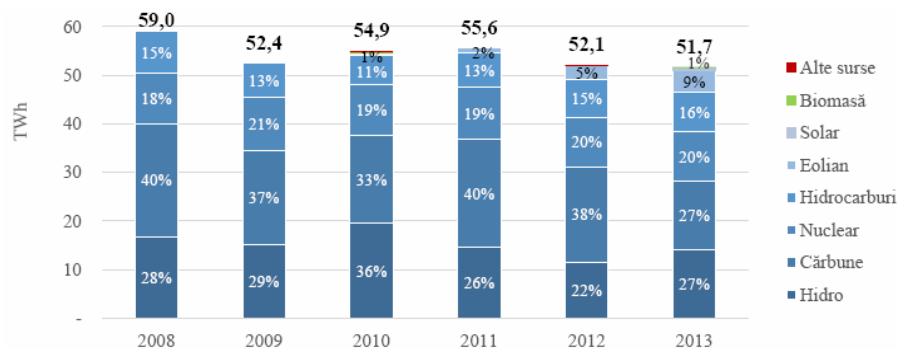


Figura 2.2.5. Balanța import/export de energie electrică [TWh] (2009-2013)

În anul 2013, puterea brută instalată a capacităților de producție a energiei electrice în România a depășit 23.000 MW în timp ce capacitatea netă de producție a fost aproximativ 18.000 MW (cea ce înseamnă prima poziție în Europa de Sud-Est privind puterea instalată). În fig. 2.2.6 este prezentată structura capacităților de producere pentru perioada 2008-2013, în funcție de sursele primare de energie.

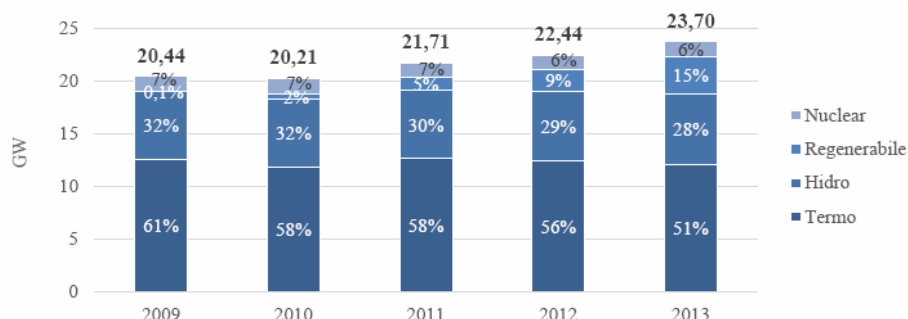


Figura 2.2.6. Evoluția capacității brute de producție în funcție de sursele primare (2009-2013)

Gradul de racordare a consumatorilor la rețeaua electrică de distribuție este relativ ridicat la nivel național (96,3%), însă există localități izolate, amplasate la distanțe mari de centrele urbane și dispersate pe teritoriul țării, neelectrificate încă (fig. 2.2.7). În vederea remedierii acestor probleme, a fost lansat și se derulează Programul Național de Electrificare 2012-2016 [Guv2014].

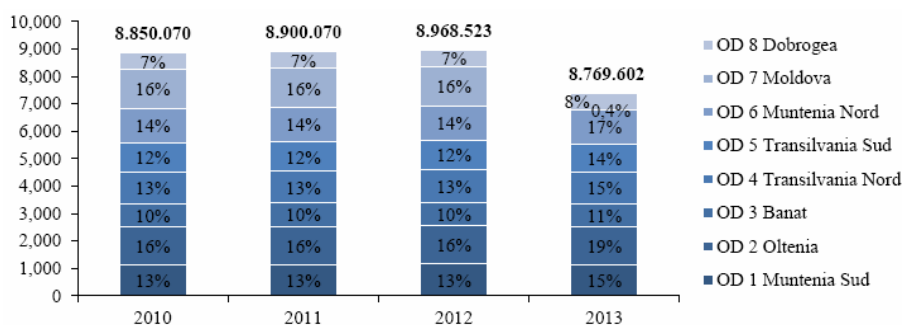


Figura 2.2.7. Evoluția numărului de consumatori racordați la rețeaua de distribuție (2009-2013)

### 2.2.3. Piața de energie electrică în România

Desființarea monopolului asupra energiei electrice și termice a avut loc în 1998 când, prin reorganizarea și desființarea Regiei Autonome de Electricitate, au fost înființate Compania Națională de Electricitate SA, Societatea Națională Nuclearelectrică SA, și Regia Autonomă pentru Activități Nucleare (HG 365/1998) [Conecini20004]

România a optat pentru modelul de piață descentralizată de energie electrică, în care participanții sunt liberi să încheie tranzacții de vânzare-cumpărare a energiei electrice: piața angro, în care energia electrică este cumpărată în vederea revânzării iar tranzacțiile se desfășoară între producători și furnizori; piața cu amănuntul, în care energia electrică este cumpărată în vederea consumului propriu, iar tranzacțiile se desfășoară între furnizori și consumatorii de energie.

Principalele momente ale dezvoltării pieței de energie electrică din România sunt următoarele [ANRE2014]:

- HG 365/1998 – ruperea monopolului integrat vertical prin constituirea unor societăți distincte de transport, distribuție și furnizare a energiei electrice (în cadrul CONEL) și a unora de producere a energiei electrice;
- HG 122/2000 – deschiderea pieței la 10%;
- HG 627/2000 – desființarea CONEL, filialele sale devenind proprietatea directă a statului, reprezentat de Ministerul Industriei și Comerțului, și înființarea CNTEE Transelectrica SA (operator de transport și sistem) și OPCOM SA (operator de administrare a pieței de energie electrică);
- septembrie 2000 – lansarea pieței spot obligatorii, administrată de OPCOM, filială a CNTEE Transelectrica SA, organizată pe principiul pool-ului;
- HG 1342/2001 - SC Electrica SA se împarte în 8 filiale de distribuție și furnizare;
- HG 1524/2002 – SC Termoelectrica SA se reorganizează în entități legale separate de producere a energiei electrice;
- iulie 2005 – lansarea noului model de piață, bazat pe existența: pieței spot voluntare (cu ofertare de ambele părți și decontare bilaterală), pieței de echilibrare obligatorii (având operatorul de sistem ca singură contraparte);
- HG 644/2005 – deschiderea pieței la 83,5%;
- noiembrie 2005 – introducerea pieței de certificate verzi;
- decembrie 2005 – introducerea pieței centralizate a contractelor bilaterale;
- martie 2007 – introducerea pieței centralizate a contractelor bilaterale parțial standardizate cu negociere continuă;

- HG 638/2007 – deschiderea integrală a pieței de energie electrică și gaze naturale;
- iulie 2007 – stabilirea regulilor pieței de capacități;
- iulie 2008 – introducerea mecanismului de debit direct și de garantare a tranzacțiilor cu energie electrică de pe piața pentru ziua următoare;
- august 2008 – finalizarea procesului de separare a activităților de distribuție de cele de furnizare a energiei electrice;
- octombrie 2010 – demararea procesului de alocare bilateral coordonată în urma licitațiilor a capacității de transfer pe liniile de interconexiune cu Ungaria și Bulgaria;
- iulie 2011 – introducerea pieței intrazilnice de energie electrică;
- iunie 2012 – intrarea pe piața de energie electrică a producătorului SC Complexul Energetic Oltenia SA, societate comercială înființată prin HG 1024/2011;
- iulie 2012 – intrarea în vigoare a Legii energiei electrice și a gazelor naturale nr. 123/2012;
- septembrie 2012 – aplicarea primei etape din calendarul de eliminare treptată a tarifelor reglementate de energie electrică la consumatorii finali care nu folosesc dreptul de eligibilitate;
- octombrie 2012 - intrarea în vigoare a Legii nr. 160/2012 privind organizarea și funcționarea Autorității Naționale de Reglementare în domeniul Energiei;
- noiembrie 2012 – intrarea pe piața de energie electrică a producătorului SC Complexul Energetic Hunedoara SA, societate comercială înființată prin HG 1023/2011;
- decembrie 2012 – introducerea cadrului organizat de contractare a energiei electrice pentru clienții finali mari;
- iulie 2013 – introducerea cadrului organizat de tranzacționare pe piața centralizată cu negociere dublă continuă a contractelor bilaterale de energie electrică;
- august 2013 – eliminarea tarifului pentru serviciul de transport – componenta de introducere a energiei electrice în rețea pentru import și a componentei de extragere de energie electrică pentru export;
- decembrie 2013 – certificarea condiționată a CNTEE Transelectrica SA ca operator de transport și sistem, după modelul operator de sistem independent.

În figura 2.2.8 este prezentată structura schematică a pieței angro de energie electrică din România [ANRE2014].

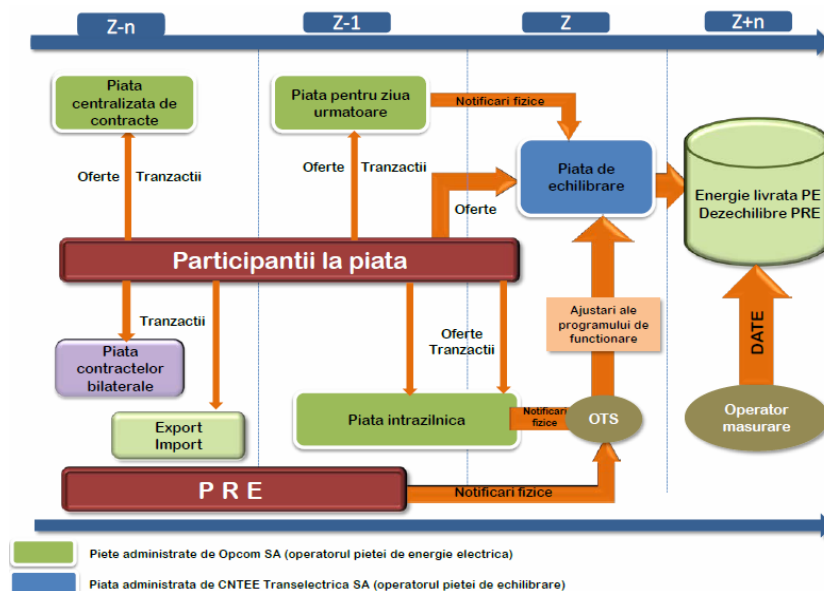


Fig. 2.2.8. Structura schematică a pieței angro de energie electrică

Principalii participanți la piața angro în luna ianuarie 2014 sunt prezentați pe următoarele categorii:

- producători de energie electrică din surse clasice;
- producători de energie electrică din surse eoliene;
- producători de energie electrică din surse fotovoltaice;
- producător de energie electrică din sursă hidro (SC Hidroelectrica SA);
- producător de energie electrică din sursă nucleară (SN Nuclearelectrica SA);
- operator de transport și de sistem (CNTEE Transelectrica SA);
- OPCOM SA;
- operatori de distribuție;
- furnizori de ultimă instanță;
- furnizori de energie electrică cu activitate exclusivă pe piața angro;
- furnizori de energie electrică cu activitate și pe piața cu amănuntul.

Tipurile de resurse ale energiei electrice livrate în rețele de producători în ianuarie 2014 sunt: nuclear, eolian, solar, hidro, cărbune, gaz, păcură (fig. 2.3.9).

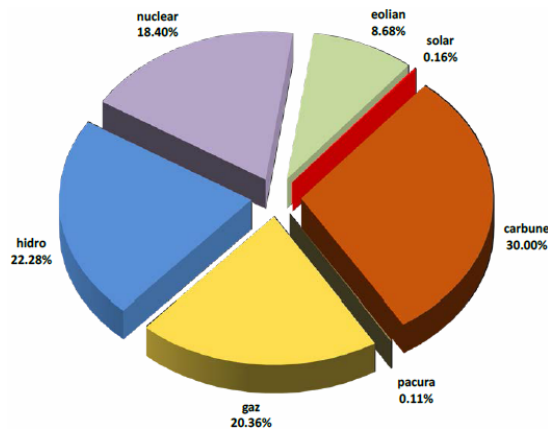


Fig. 2.2.9. Tipurile de resurse ale energiei electrice livrate în rețelele de producători

Evoluția structurii energiei electrice livrate în ultimii 3 ani este prezentată în fig. 2.3.10.

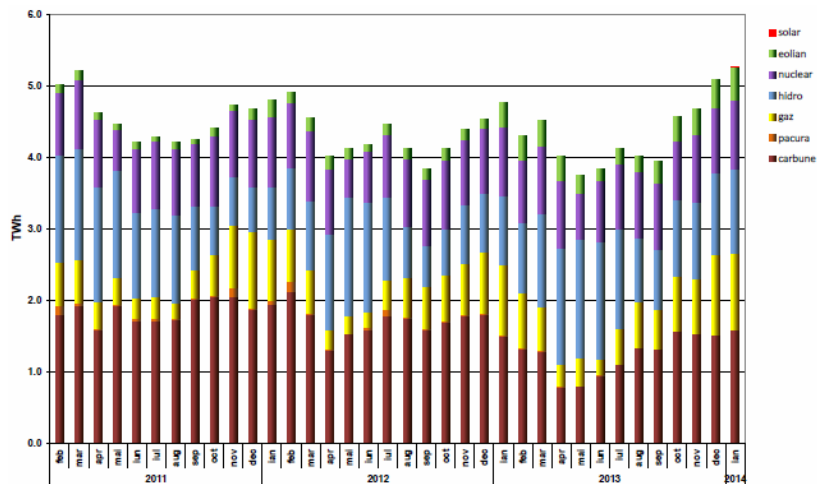


Fig. 2.2.10. Structura evoluției electrice livrare



În tabelul 2.2.1 este prezentat bilanțul energiei electrice corespunzător lunii ianuarie 2014 comparativ cu luna ianuarie 2013.

Tabelul 2.2.1. Bilanțul energiei electrice

Nr. crt.	Indicator	UM	Ianuarie 2013	Ianuarie 2014	%
1	Energia produsă	TWh	5,21	5,71	109,60
2	Energia livrată	TWh	4,77	5,27	110,48
3	Import	TWh	0,08	0,02	25,00
4	Export	TWh	0,09	0,56	622,22
5	Consum intern (2+3-4)	TWh	4,76	4,73	99,37
6	Consum clienți casnici alimentați în regim regenerabil	TWh	1,12	1,08	96,42
7	Consum clienți necasnici	TWh	2,81	2,74	96,08
7.1	Alimentați în regim neconcurențial	TWh	0,81	0,47	58,02
7.2	Alimentați în regim concurențial	TWh	2,00	2,27	58,02
8	Transport – TG	TWh	4,87	5,27	111,50
9	Transport – TL	TWh	4,94	5,27	106,68
10	CPT realizat transport	TWh	0,10	0,09	90,00
11	Energia termică produsă pentru livrare	Tcal	2183,85	2309,23	92,97
12	Energia termică produsă în cogenerare	Tcal	1872,37	1823,68	97,40

Totalitatea tranzacțiilor contribuie la dimensiunea pieței angro. Structura ei a fost modificată în urma intrării în vigoare a Legii 123/2012, care prevede ca toate tranzacțiile pe piața angro să se încheie în urma participării la una din piețele centralizate: PZU – piața pentru ziua următoare, PCCB – piața centralizată a contractelor bilaterale și PI – piața intrazilnică. Fig. 2.2.11 prezintă evoluția volumelor tranzacționate pe aceste piețe și a consumului intern estimat (februarie 2009 – ianuarie 2014).

Fig. 2.2.12 prezintă evoluția lunară a exportului, importului comercial și soldului export-import de energie electrică pe 24 luni (februarie 2012 – ianuarie 2014).

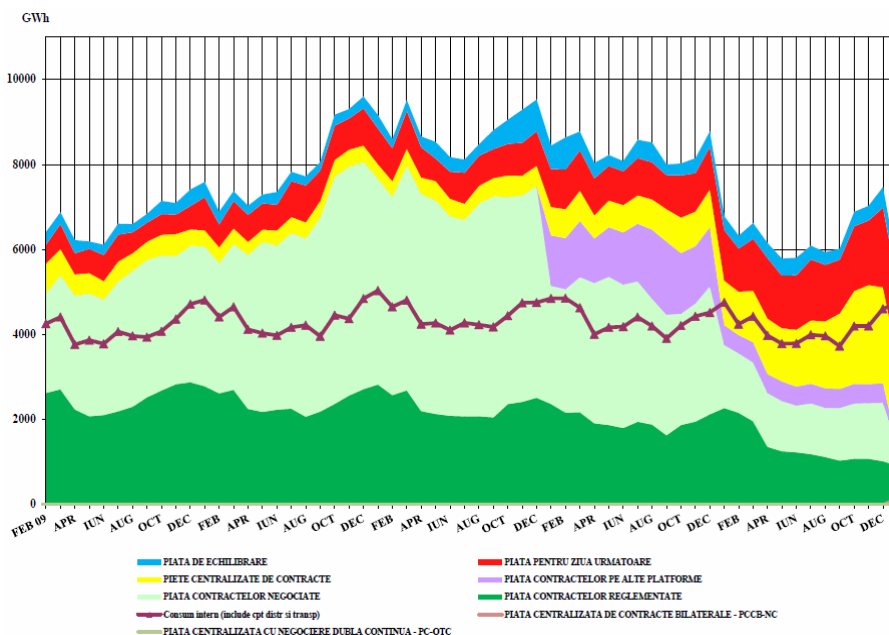


Fig. 2.2.11. Evoluția lunară a volumelor tranzacționate pentru piața angro comparativ cu consumul intern estimat

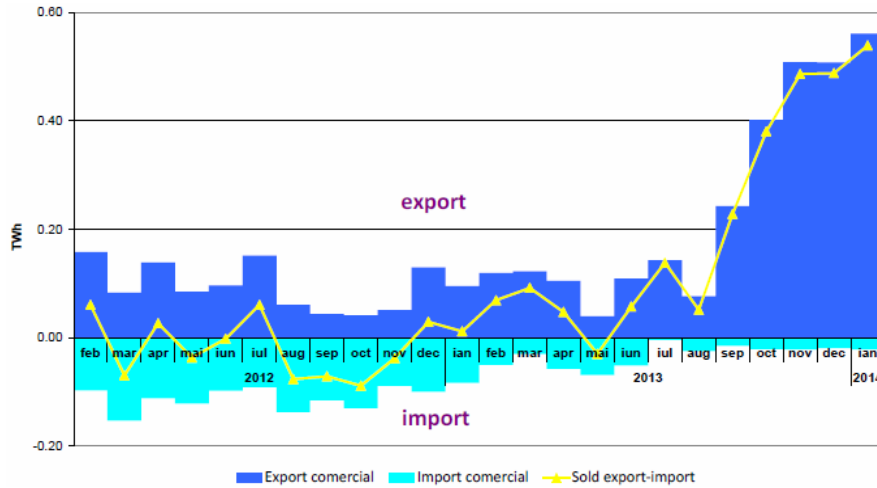


Fig. 2.2.12. Evoluția lunară a exportului, importului și soldului export-import

Tranzacțiile lunare încheiate pe piața pentru ziua următoare (PZU) începând cu anul 2006 sunt prezentate în fig. 2.2.13.

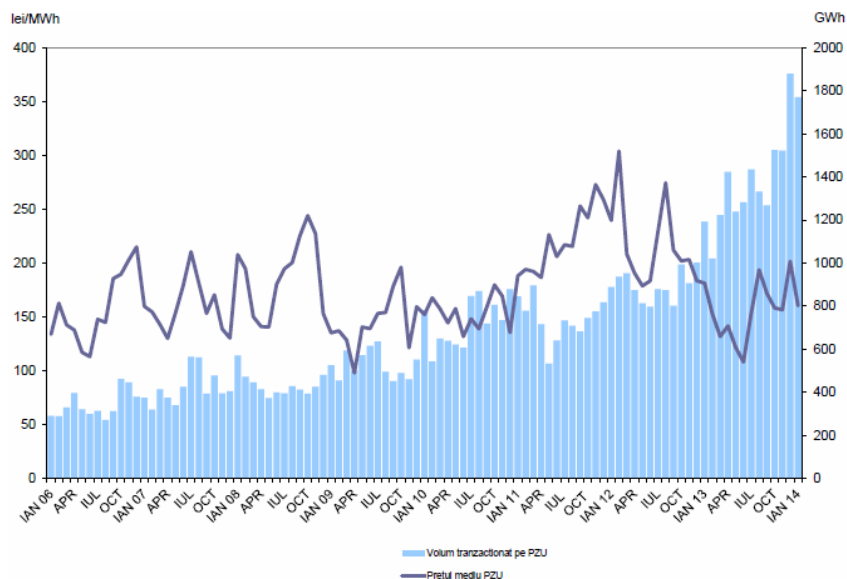


Fig. 2.2.13. Evoluția lunară a prețului mediu și a volumului tranzacționat pe PZU

Dispozițiile de dispecer (oferte acceptate) primite de producători determină energia angajată pe piața de echilibrare. După efectuarea calculelor de decontare, pe baza valorilor măsurate (aprobate) se determină energia efectiv livrată de producători pe piața de echilibrare. Structura pe fiecare tip de reglaj (secundar, terțiar rapid și lent) a energiei de echilibrare efectiv livrată este evidențiată în fig. 2.2.14 (iulie 2005 – ianuarie 2014).

Cotele de piață ale producătorilor de energie electrică, deținători de unități de producere dispecerizabile, realizate pe ansamblul componentelor pieței angro și stabilite de energia electrică livrată în rețea (ianuarie 2014) sunt prezentate în fig. 2.2.15.

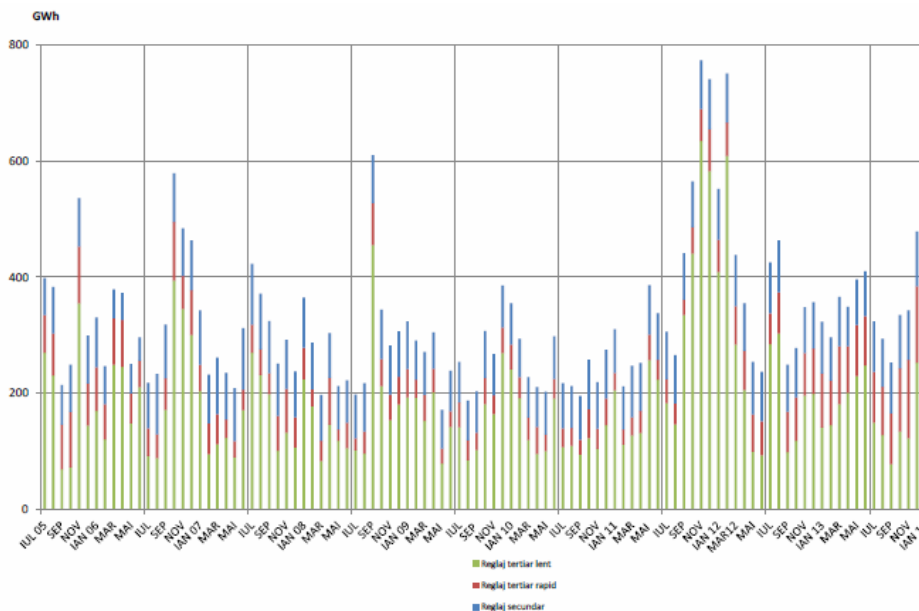


Fig. 2.2.14. Evaluarea lunară a energiei efectiv livrată pe piața de echilibrare

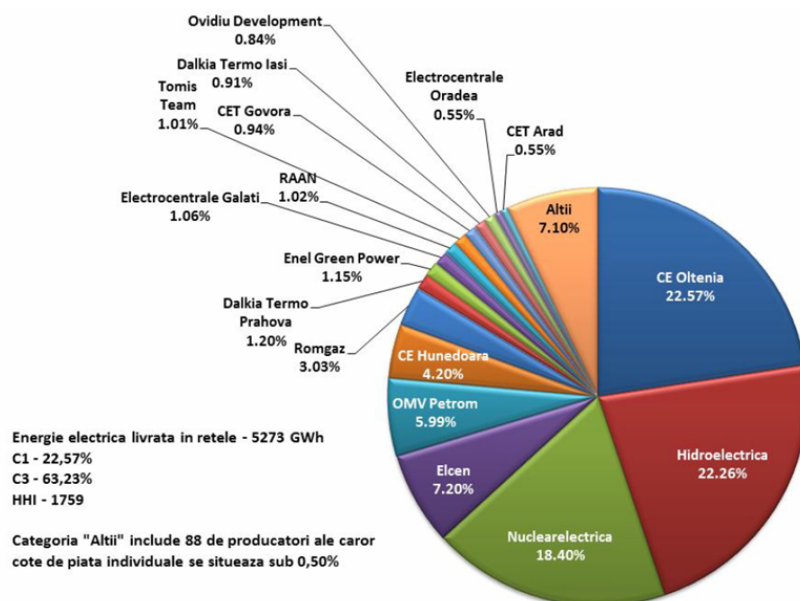


Fig. 2.2.15. Cotele de piață ale producătorilor cu unități dispecerizabile în funcție de energia livrată în rețea

Cea care administrează piața de energie electrică pentru ziua următoare este Opcom S.A. În fig. 2.2.16 este prezentată evoluția prețurilor orare pe PZU în ianuarie 2014, iar în fig. 2.2.17 evoluția prețurilor medii zilnice, comparativ cu evoluția prețurilor similare stabilite la bursa EXAA. Pentru a putea fi comparat cu prețul stabilit de bursele europene, prețul de închidere înregistrat la Opcom S.A. este exprimat în Euro.

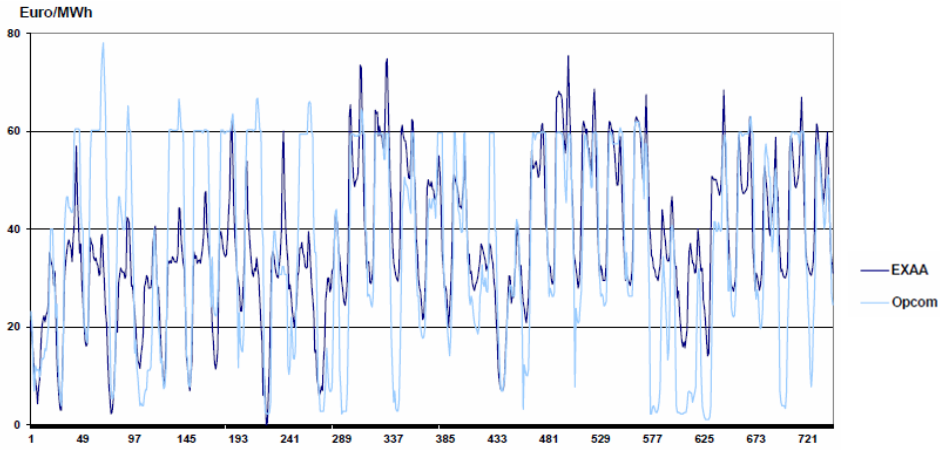


Fig. 2.2.16. Prețuri spot orare

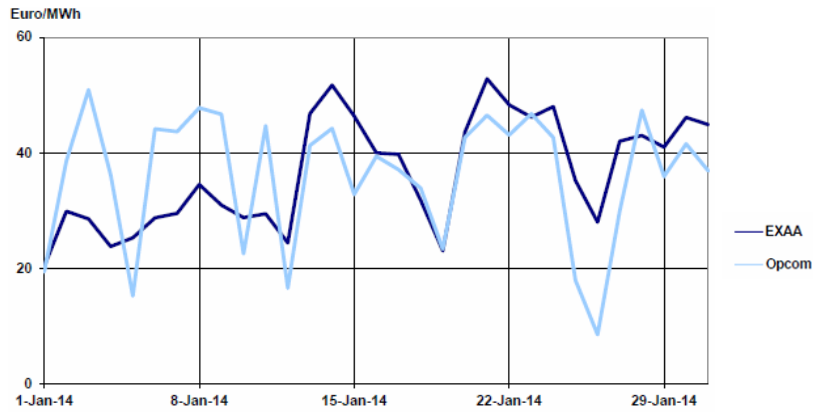


Fig. 2.2.17. Prețuri spot medii zilnice

În anul 2010 pe piața cu amănuntul au activat 55 de furnizori, din care 6 dețin și licență de producere, iar 7 sunt furnizori implicați. În fig. 2.2.18 este prezentată structura schematică a pieței cu amănuntul [ANRE2014].



Fig. 2.2.18. Structura schematică a pieței cu amănuntul

În perioada ianuarie 2004 – ianuarie 2014 consumul clienților finali care și-au schimbat furnizorul sau și-au negociat contractele cu furnizorii de ultimă instanță care îi alimentau, raportat la consumul total, a evoluat conform fig. 2.2.19 (valori lunare cumulate de la începutul procesului de deschidere a pieței).

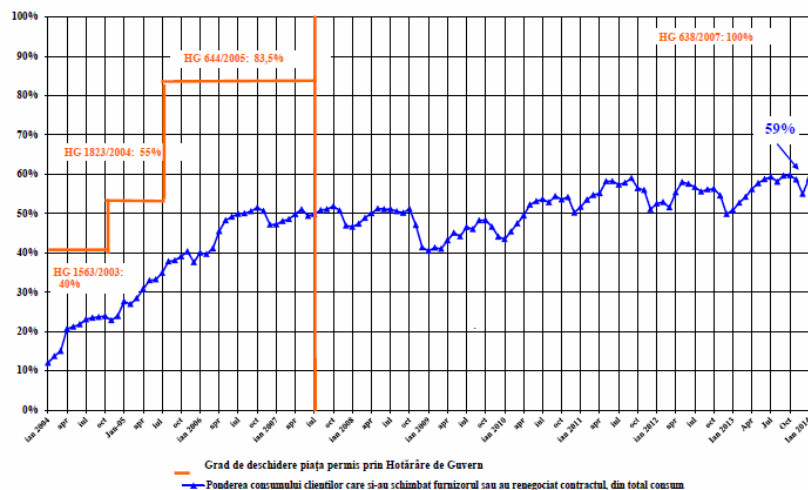


Fig. 2.2.19. Evoluția gradului de deschidere a pieței de energie electrică

Numărul clienților finali cărora li se furnizează energie în regim concurențial este prezentat ca valoare cumulată de la începutul procesului de deschidere a pieței. De asemenea, este prezentată structura pe categorii de clienți pentru ianuarie 2014, în conformitate cu prevederile Directivei europene nr. 2008/92/CE. Tabelul 2.2.2 detaliază intervalele de consum corespunzătoare fiecărei categorii în parte.

Tabelul 2.2.2. Intervalele de consum

Clienți necasnici	Consum anual cuprins în interval (MWh)	
<b>IA</b>	–	<20
<b>IB</b>	20	<500
<b>IC</b>	500	<2000
<b>ID</b>	2000	<20000
<b>IE</b>	20000	<70000
<b>IF</b>	70000	<=150000
<b>Alții</b>	>150000	–

În fig. 2.2.20 și 2.2.21 este prezentată evoluția numărului clienților alimentați în regim concurențial, respectiv cel al consumatorilor, aferenți luni ianuarie 2014.

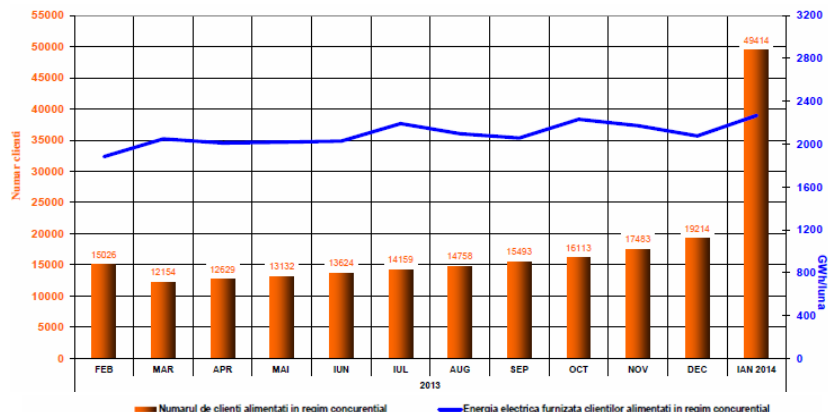


Fig. 2.2.20. Numărul clienților alimentați în regim concurențial și a energiei electrice furnizate lor

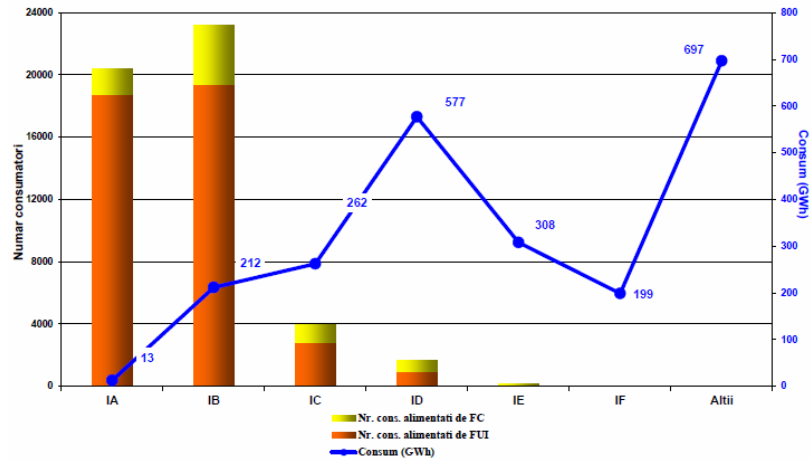


Fig. 2.2.21. Numărul consumatorilor alimentați în regim concurențial și consumul lor

#### 2.2.4. Conceptul de Smart Metering

Conceptul de Smart Metering (Măsurare Inteligentă) este discutat în contextul necesității obținerii unor date cât mai plauzibile pentru prognoza consumului de energie electrică. Față de contoarele obișnuite contoarele inteligente au mai multe funcții, care permit operatorilor să comunice cu aceste contoare în ambele direcții.

Contorul inteligent este un contor de utilități cu procesor electronic incorporat și capacitate de conectare la rețea. Acesta combină contorizarea electronică cu un terminal de comunicare programabil care poate interacționa cu mai multe rețele și dispozitive. Există trei tehnologii diferite [ANRE2012]:

- AMR (Automated Meter Reading) – oferă posibilitatea de a citi contoarele în mod automat și de la distanță într-o singură direcție;
- AMM (Advanced Metering Management) – managementul contorizării inteligente;
- AMI (Advanced Metering Infrastructure) – infrastructură care include contoare capabile să comunice în ambele direcții (între clienți, furnizori și operatori).

Există mai multe tipuri de contoare inteligente rezultate în urma analizei cost-beneficiu: modele fără elemente de legătură, modele cu infrastructură comună de comunicație. În fig. 2.2.22 - 2.2.25 sunt prezentate 4 tipuri de modele [ANRE2012].

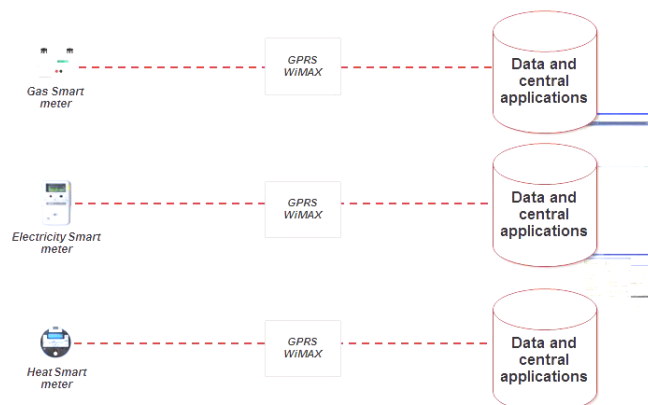


Fig. 2.2.22. Infrastructuri independente de comunicații, fără elemente de legătură

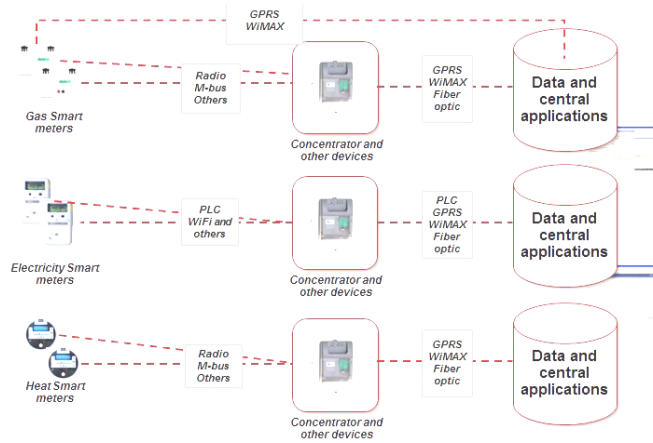


Fig. 2.2.23. Infrastructuri independente de comunicații, cu elemente de legătură

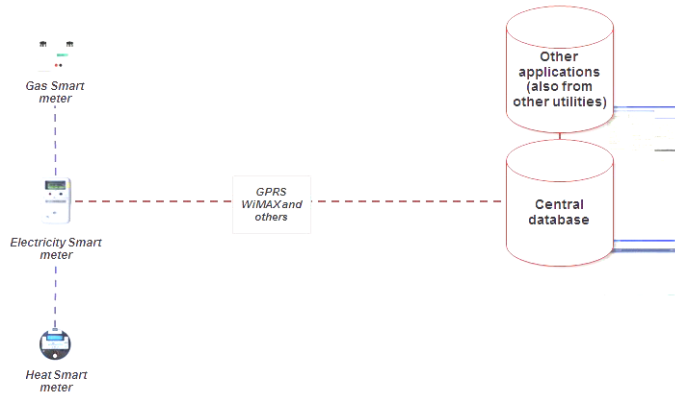


Fig. 2.2.24. Infrastructură comună de comunicații, fără elemente de legătură

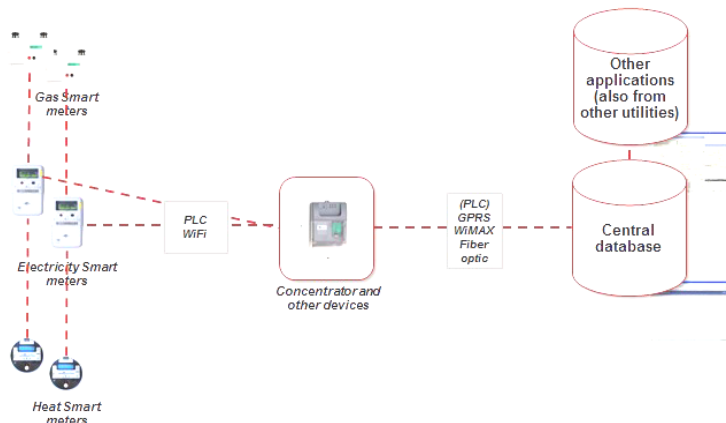


Fig. 2.2.25. Infrastructură comună de comunicații, cu elemente de legătură

Cele mai recomandate contoare pentru România în urma analizei cost-beneficiu sunt modelele care includ elemente de legătură. Segmentul de clienți vizați sunt consumatorii de la joasă tensiune (clienți casnici, clienți comerciali mici și mijlocii).

Principali factori motivați pentru contorizarea inteligentă [Anastasiu2012] sunt:

- creșterea fiabilității, eficienței și siguranței rețelei electrice simultan cu creșterea exploatarea surselor regenerabile de energie;
- favorizarea generării distribuite;
- asigurarea flexibilității clienților de a alege furnizorul de energie;
- tendința sectorului energetic de a exploata conceptul de contorizare inteligentă, pentru realizarea obiectivelor proprii;
- necesitatea promovării unor mecanisme eficiente și de încredere a sistemelor rezultate în urma liberalizării pieței de energie electrică;
- posibilitatea de a îmbunătăți exploatarea rețelelor de distribuție;
- abilitatea de a permite costuri reduse de citire a contoarelor ce deservește mai mulți furnizori de energie;
- controlul pierderilor non-tehnice în rețelele de distribuție.

Smart metering a fost implementat în mai multe DSO, în special în Europa. Situația arată în felul următor [Trygg2013]: complet (Suedia, Italia), 80% (Finlanda), obligatoriu (Danemarca), 2012-2017 (Marea Britanie), 2018 (Franța), discuție (Spania, Austria, Austria), amânat (Belgia, Olanda, Portugalia, Grecia).

### 2.3. Concluzii

Evoluția sectorului energetic, în general, și a sistemelor electroenergetice, în particular, prezintă o serie de particularități complexe. Sectorul energetic are o influență puternică asupra altor sectoare de activitate, ceea ce conduce la necesitatea unei dezvoltări durabile, ținând cont și de mediu. Problemele au fost abordate în cadrul acestui capitol atât la modul general, cât și cel particular al României. O atenție specială s-a acordat evoluției consumului și producerii de energie electrică.

În prima parte a capitolului s-au prezentat o serie de aspecte legate de contextul global și european, de politica energetică a Uniunii Europene și de obiectivele generale ale strategiei de dezvoltare a sectorului energetic. A doua parte a fost consacrată politicii energetice și pieței de energie electrică din România, cu un accent special privind situația și evoluția producerii și consumului de energie electrică. În contextul discutat, s-a prezentat și conceptul de Smart Metering, cu factorii motivați pentru implementarea contorizării inteligente a consumului de energie electrică.

O primă analiză a datelor prezentate și a altor informații din acest domeniu evidențiază evoluția de multe ori contradictorie a consumului de energie electrică și, evident, a producției. Dacă la cele menționate se adaugă și elementele suplimentare aduse de liberalizarea completă a pieței de energie electrică, de dereglementarea sectorului energetic, rezultă că activitatea de prognoză a consumului reprezintă o sarcină complexă și foarte dificilă la ora actuală, atât la nivel global, cât și la scara unei zone mai reduse de consum.

În continuare se prezintă o trecere în revistă a contribuțiilor originale din cadrul acestui capitol:

- realizarea unei sinteze documentate, în viziunea proprie a autorului, asupra stadiului actual al evoluției sectorului energetic, al pieței de energie și al SEE;
- prezentarea, într-o manieră sintetică, a unei game largi de aspecte legate de situația actuală și evoluția viitoare a SEN, de evoluția pieței de energie electrică din România, sursele de informații fiind cele "oficiale", furnizate în mare parte de guvern, ministerul de resort, ANRE, companiile de transport și de distribuție;
- prezentarea sistematizată a evoluției cadrului legal actual în domeniu, în concordanță cu legislația comunitară corespunzătoare;
- evidențierea necesității unei atenții sporite acordate activității de prognoză a consumului (și a producerii), în contextul unor evoluții de multe ori contradictorii (înregistrarea unor perioade de scădere, urmate de creștere).



### **3. MODALITĂȚI DE SOLUȚIONARE A PROGNOZEI CONSUMULUI DE ENERGIE ELECTRICĂ**

Obiectivul capitolului 3 constă în prezentarea sistematizată a aspectelor generale legate de prognoza consumului de energie electrică (putere de vârf sau orară, energie consumată, curbe de sarcină etc.) și a metodelor utilizate.

Prima parte a capitolului cuprinde o abordare mai generală a metodelor de prognoză, însoțită deja de referiri concrete la literatura recentă de specialitate (în partea care vizează metodele de tip Delphi).

Apoi se trece la prezentarea propriu-zisă a metodelor, în funcție de orizontul de timp care se referă, prin prisma realizării unui studiu bibliografic referitor la lucrările de dată recentă publicate în acest domeniu. Sunt urmărite atât metodele "clasice", bazate pe modelarea matematică, cât și cele "moderne", utilizând tehnici de inteligență artificială, logică fuzzy, sisteme expert, "support vector machine" (SVM) etc.

Ultima parte a capitolului abordează și o serie de aspecte legate de factorii care influențează consumul de energie electrică, prin prisma influenței lor asupra activității de prognoză.

#### **3.1. Clasificarea metodelor de prognoză**

Prognoza consumului de energie electrică și a puterii constituie activitatea științifică ce are drept scop previziunea consumului de energie și putere pe baza analizei calculului și interpretărilor unui ansamblu de date diversificate, astfel încât în final să se realizeze o concordanță cât mai exactă între consumurile estimate și cele efectiv realizate.

Prognoza consumului de energie poate fi clasificată după mai multe criterii [Luștreu2001], cu observația că părerile nu sunt întotdeauna unitare (mai ales în ceea ce privește orizontul de timp, în sensul pornirii de la un anumit număr de ore sau zile):

- după perioada pe care se referă:
  - foarte scurte – până la un an;
  - scurte – între 1-5 ani;
  - medii – între 5-10 ani;
  - lungi – între 10-25 ani;
  - foarte lungi – peste 25 de ani;
- după extinderea spațială:
  - consumatori individuali;
  - consumatori regionali;
  - consumatori zonali;
  - consumatori naționali;
  - consum mondial;

- după scop:
  - în profil teritorial;
  - pe ramuri economice;
  - la nivel național;
- după natura metodei matematice:
  - deterministe;
  - probabiliste;
- după tipul metodei:
  - explorative;
  - normative;
  - mixte;
- după natura variabilei independente:
  - directe / endogene;
  - indirecte / exogene / condiționale;
  - analitice;
  - de tip Delphi;
- după numărul de componente ale consumului:
  - globale / sintetice;
  - pe componente / analitice.

Conform [Mielezarski1998] și [Chow2004] prognozele pe termen scurt se referă la perioade cuprinse între o oră și o săptămână. Ele se utilizează la repartizarea operativă a puterii generate între centralele (la modul general – sursele de putere activă) ale sistemului electroenergetic.

Prognoza pe termen mediu se referă la perioade cuprinse între câteva zile și o lună, fiind utilizate planificarea pe termen relativ lung a funcționării (încărcării) centralelor electrice. Estimările consumului de energie și a vârfului de sarcină sunt necesare pentru a evalua necesarul de combustibil și de a verifica disponibilitatea și adecvarea surselor de putere activă.

Prognoza pe termen lung se referă la perioade cuprinse între un an și zece ani, fiind necesară pentru planificarea evoluției sistemului de transport al energiei electrice, al sistemelor de distribuție și al surselor de putere activă și reactivă.

## **3.2. Metode în funcție de natura variabilei independente**

### **3.2.1. Metode directe**

Metodele directe de prognoză au la bază ipoteza conform căreia cauzele, factorii și tendințele care au determinat evoluția consumului de energie sau de putere în perioada trecută se păstrează și cea viitoare, pe toată durata prognozei neintervenind schimbări dramatice, bruște care să influențeze evoluția consumului [Luștea2001]

Conform [Conecini2004], modelele extrapolative de prognoză pleacă de la ipoteza că pe durata de prognoză nu intervin evenimente imprevizibile majore în consumul de energie electrică. Din punct de vedere matematic problema constă în stabilirea celei mai veridice funcții care să estimeze variația consumului. În acest scop este necesară a stabilirea numărului de variabile, a formei funcției, evaluarea coeficienților funcției, verificarea modelului pentru date existente, corectarea modelului și validarea finală a modelului.

Etapele de lucru care se parcurg la prognoza sunt următoarele:

- a) stabilirea formei funcției ce aproximează cel mai bine trendul;
- b) calculul coeficienților care intervin în funcția respectivă;
- c) calculul consumurilor viitoare;
- d) aprecierea calității modelului matematic;
- e) efectuarea unor corecții ale valorilor prognozate dacă concluziile etapei precedente impun acest lucru.

Metodele de prognoză prin extrapolare sunt utilizate pe scară largă datorită calităților atractive pe care le posedă [Luștrea2001]:

- sunt relativ simple și foarte intuitive, putând fi transpuse destul de comod în cadrul unor programe adecvate de calcul, în cele mai diverse medii de programare, de la cele mai puțin evoluat până la cele mai moderne;
- rezultatele obținute sunt suficient de corecte dacă ipotezele de lucru își păstrează valabilitatea în viitor.

### 3.2.2. Metode indirecte

Metodele indirecte de prognoză a consumului de energie folosesc corelația existentă între consumul de energie sau de putere și factorii demografici, climatici, economici etc.[Luștrea2001].

Principalele problemele care trebuie rezolvate în cazul metodelor indirecte de prognoză sunt următoarele:

- alegerea factorilor care determină consumul de energie, unde un rol decisiv îl are orizontul de timp al prognozei:
  - pentru *prognozele pe termen scurt* sunt importanții factorii climatici – temperatura medie a zilei, viteza medie a vântului, umiditatea medie zilnică, durata zilei solare etc.;
  - pentru *prognozele medii* un rol deosebit îl joacă factorii globali – indicele demografic, producția industrială, volumul investițiilor etc.;
  - *Prognozele pe termen lung* sunt puternic influențate de factorii specifici – productivitatea muncii, produsul brut pe locuitor, prețul energiei etc.;
- stabilirea formei corelației între consumul de energie sau de putere și factorii de influență.

Rezultatele obținute folosind metodele indirecte pentru prognoza consumului oferă informații utile, comparabile cu cele furnizate de metodele directe de extrapolare, însă dificultățile pe care le ridică estimarea evoluției viitoare a variabilelor explicative, de care depinde consumul de energie electrică sau de putere, fac ca aceste metode să fie abordate mai rar decât cele directe de extrapolare [Luștrea2001]. Obținerea datelor referitoare la factorii climatici, economici sau demografici pune în general mari probleme.

### 3.2.3. Metode analitice

Metodele analitice de prognoză a consumului de energie se bazează pe ideea descompunerii consumului în componente, urmată de prognoza fiecărei componente în parte cu ajutorul uneia dintre metodele discutate anterior (directă, indirectă, prin comparare etc.).

Folosirea unei metode analitice pentru estimarea consumului de energie este foarte laborioasă și pare să introducă complicații inutile, pentru că ea presupune înlocuirea rezolvării problemei inițiale de prognoză a evoluției unui consumator prin mai multe probleme de prognoză referitoare la comportarea în timp a componentelor sale [Luștrea2001].

Metodele analitice de prognoză oferă în general rezultate bune în următoarele condiții:

- durate medii de timp (5 ani);
- compoziția consumului nu suferă modificări bruște în decursul timpului;
- între componentele sarcinii nu se manifestă influențe.

### 3.2.4. Metoda Delphi

Metoda Delphi, sau metoda anchetei iterative a fost elaborată de Olaf Helmer-Hirschberg [Helmer1967]. Ea s-a aplicat cu mult succes în prognoza consumului de energie, în situațiile când rezultatele obținute pe termen lung nu au fost satisfăcătoare din diverse motive: date inițiale insuficiente, ipotezele adoptate nu corespund realității, apariția unor modificări tehnologice, sociale etc. importante, dificil de a fi corect reprezentate în modele matematice etc.

Aplicarea metodei Delphi poate fi realizată pe două căi distincte [Luștea2001]:

- prognoza orientată, care se aplică când cele mai multe date despre viitor sunt cunoscute;
- metoda prospectivă, care se folosește când datele despre viitor sunt incerte, incomplete.

Metoda Delphi [Lilja2011] obține datele necesare pentru prognoză printr-un proces interactiv de consultare a specialiștilor (individual sau tip "panel"). Față de variantele inițiale, bazate pe consens, la ora actuală se preferă cele argumentative (numite și politica Delphi). Ele se bazează pe bazele de cunoștințe noi și diverse (în special cele "tacite"), supuse evaluării unui alt grup de specialiști (diferit de cel de la care provin). Cuvintele cheie ale metodei Delphi sunt experții (grup țintă sau panel), asigurarea caracterului anonim al informației și caracterul iterativ.

[Celiktaş2010] prezintă o evaluare a producției de energie electrică din Turcia utilizând o abordare de tip Delphi. În prima etapă au răspuns la chestionarul Delphi 382 de participanți, cu o rată de răspuns de 20,1 %, iar în a doua etapă 325, cu o rată de răspuns de 84,9%.

Rezultatele finale globale ale analizei au arătat că la nivelul anilor 2030-2035 jumătate din consumul de energie electrică din Turcia va fi acoperită din surse regenerabile. Principalele efecte benefice vor fi de natură economică și ecologică, la care se adaugă și cele sociale.

## 3.3. Metode în funcție de orizontul de timp al prognozei

### 3.3.1. Metode pentru prognoze pe termen mediu și lung

#### 3.3.1.1. Considerații preliminare

Modelele de tip "end-use" și modelele econometrice precum și combinațiile lor sunt cele mai des folosite, la modul general, în prognozele pe termen mediu și lung [Chow2004].

Obiceiurile și comportarea consumatorilor, factorii sociali etc. sunt de obicei incluse în modelele statistice și de simulare bazate pe abordarea de tip "end-use".

Modelele econometrice utilizează în plus o gamă largă de factori de natură economică.

Așa cum s-a menționat, utilizarea combinată a celor două categorii de metode are ca rezultat elaborarea unor metode "mixte" din acest punct de vedere.

În scopul simplificării prognozelor pe termen mediu, a creșterii gradului de încredere a rezultatelor și a evitării utilizării unor informații indisponibile, a fost elaborat un model statistic care "învață" parametri modelului din datele istorice [Feinberg2002], [Feinberg2003].

#### **3.3.1.2. Modelele de tip „end-use”**

Abordarea "end-use" estimează direct consumul de energie folosind o gamă largă de informații existente despre consumul final și utilizatorul final. Datele statistice de consum și dinamica schimbărilor stau la baza prognozei [Chow2004].

Modelul "end-use" se aplică în general la consumatorii rezidențiali și la cei comerciali, dar și la cei industriali. Aceste modele sunt bazate pe principiul că cererea de energie rezultă din necesitățile de consum pentru iluminat, climatizare, încălzire, frigider și congelatoare etc. În consecință modelele de tip "end-use" exprimă cererea de energie ca o funcție a solicitărilor pieței [Gellings1996].

În mod ideal această abordare ar fi foarte precisă. Totuși, în mod real, ea depinde foarte mult de acuratețea datelor inițiale. Faptul că informațiile nu trebuie să acopere o perioadă anterioară foarte lungă, ci se referă mai mult la calitatea echipamentelor și la obiceiurile de consum, reprezintă un avantaj incontestabil.

#### **3.3.1.3. Metodele econometrice**

Abordarea econometrică combină informațiile de natură economică și tehnicile statistice pentru prognoza consumului de energie electrică [Chow2004]. Această abordare estimează relația dintre consumul de energie (variabilă dependentă) și factorii ce influențează consumul (variabile independente). Estimarea se bazează pe metoda celor mai mici pătrate [Kilyeni2011] sau pe metoda seriilor temporale [Luștea2001].

În [Fu2003] se prezintă un model econometric bazat pe metoda regresiei, în care s-au inclus și tehnica rețelelor de tip wavelet. Identificarea parametrilor modelului de prognoză se realizează prin soluționarea unei probleme de optimizare neliniară secvențial pătratică [Kilyeni2010]. În final se include în model, într-o manieră probabilistică, și influența temperaturii asupra consumului de energie electrică.

#### **3.3.1.4. Metodele mixte**

Este posibilă și utilizarea combinată a celor două categorii de metode de mai sus, rezultând o serie de metode "mixte" din acest punct de vedere. O asemenea abordare este avantajoasă atunci când consumul de energie electrică din diverse sectoare (rezidențial, comercial, industrial etc.) se determină în funcție de date de natură economică, climatică, socială etc., în final prognozele fiind comparate cu cele obținute pe baza istoriei recente (câțiva ani anteriori) [Chow2004].

#### **3.3.1.5. Abordări moderne**

Pe lângă metodele "clasice" menționate anterior, se remarcă și o serie de abordări moderne, care utilizează tehnici de inteligență artificială (rețele neuronale, calcul evolutiv, abordări în manieră fuzzy etc.).

În [Fu2003], pe baza datelor unui sistem real, se dezvoltă și se evaluează în acuratețea unei game largi de modele matematice pentru prognoza pe termen lung a energiei cerute de sistem. Se utilizează un model econometric bazat pe analiza de regresie, completat cu funcții liniare de tip "smooth" ("netezite") și cu funcții de tip "wavelet".

[Farahat2004] utilizează o tehnică hibridă, rezultată din combinarea RNA cu logica fuzzy pentru inferență. Aplicația se referă la consumul industrial din orașul Ramadan (Egipt), eroarea de prognoză fiind sub 2% (rezultat care pare totuși a fi ușor nerealist).

În [He2006] prognoza se realizează cu ajutorul unei RNA recurente de tip Elman, la care se adaugă teoria entropiei și o abordare fuzzy, în scopul identificării factorilor de influență relevanți și a antrenării RNA.

[Amjady2008] prezintă o metodă de prognoză pe termen mediu a puterii de vârf zilnice (care se consideră a fi un "semnal" neliniar, volatil și nestăionar). Problema se complică și datorită volumului insuficient de informații. Se utilizează o tehnică hibridă, care se compune dintr-un model eficient al datelor inițiale, un mecanism de prognoză preliminară și o combinație care reunește RNA cu un algoritm de calcul evolutiv. Aplicația se referă atât la date test (EUNITE – European Network on Intelligent TEchnologies) cât și la sistemul electroenergetic din Iran, rezultatele fiind promițătoare.

Un algoritm de optimizare de tip PSO (Particle Swarm Optimization) este utilizat în [AlRashidi2010] în scopul minimizării erorii asociate parametrilor modelului estimat. Aplicația se referă la consumul de energie electrică aferent unor sisteme de distribuție din Kuweit și Egipt și la puterea de vârf. Rezultatele sunt comparate cu cele obținute cu metoda celor mai mici pătrate (în locul algoritmului PSO), concluzia fiind favorabilă noii metode.

În [Tao2013] prognoza pe termen mediu și lung se efectuează cu ajutorul unor serii de timp utilizate în manieră fuzzy. Aplicația concretă se referă la consumul de energie pentru provincia Jiangsu din China. Datele se cunosc pentru 12 ani: primii 10 ani se utilizează pentru efectuarea prognozei consumului pentru anii 11 și 12, erorile față de datele reale de consum fiind de 2-4 %. [Bolturk2012] se referă de asemenea la o utilizare a logicii fuzzy, aplicația concretă vizând o companie de distribuție a energiei electrice din Turcia.

### **3.3.2. Metode pentru prognoze pe termen scurt**

#### **3.3.2.1. Prezentare generală**

Metodele prezentate în acest subcapitol se pot utiliza pentru ambele accepțiuni referitoare la sintagma "termen scurt", prezentate în subcapitolul 3.1 ([Luștrea2001], respectiv [Mielezarski1998] și [Chow2004]), ceea ce înseamnă practic perioade de timp de la câteva zile la câțiva ani (evident, datele inițiale diferă în funcție de mărimea perioadei de prognoză).

În cele ce urmează se prezintă principalele metode (clase de metode) care se utilizează la prognoza pe termen scurt a consumului de energie electrică și a puterii:

- a) metoda zilei similare [Muto1996], [Senjyu1998], [Kim2000], [Ruzic2003];
- b) metoda regresiei [Gross1987], [Papalexopoulos1989], [Fan1994], [Haida1994], [Cho1995], [Chow1996], [Hyde1997], [Charytoniuk1998], [AlHamadi2005], [Rothe2009], [Jin2010], [Delgado2014];
- c) metoda seriilor de timp [Yang1996], [Yang1998], [Nogales2002], [Contreras2003], [Senjyu2004], [Senjyu2005], [Lu2004], [Romera2006], [Amjady2008], [Zhang2008], [Wang2008], [Areekul2010], [Wang2010], [Bolturk2012], [Fan2012], [Li2012], [Enayatifar2013], [Hong2013], [Martos2013], [Ramos2013];
- d) metode bazate pe RNA (Rețele Neuronale Artificiale) [Park1991], [Peng1992], [Papalexopoulos1993a], [Papalexopoulos1993b], [Papalexopoulos1994], [Mohammed

- 1995], [Zebulum1995], [Xiao1995], [Bakirtzis1996], [Chow1996], [AlFuhaid1997], [Khnotanzad1997], [Srivastava1997], [Knotanzad1998], [Papadakis1998], [Vermaak1998], [Yang1998], [Charytoniuk2000], [Kim2000], [Chen2001], [Hippert2001], [Shahidehpour2002], [Lu2004], [Manoj2014a], [Senjyu2004], [Arroyo2005], [Chauhan2005], [Farahat2005], [Niu2005], [Ramezani2005], [He2006], [Liu2006], [Dai2007], [Haque2007], [Chen2008], [Mahmoud2008], [Zhang2008], [Yun2008], [Osman2009], [Hu2009], [Xiao2009], [AlRashidi2010], [Areekul2010], [Qingle2010], [Xinhui2010], [Quaiyum2011], [Yi2011], [Badri2012], [Lauret2012], [Li2012], [Hong2013], [Ismail2013], [Moturi2013], [Ramos2013];
- e) metode care încorporează și logica fuzzy [Papadakis1998], [Senjyu1998], [Skarman1998], [Kiartzis2000], [Kim2000], [Miranda2000], [Senjyu2004], [Farahat2004], [Chauhan2005], [He2006], [Liao2006], [Seetha2007], [Hu2009], [Ji2009], [Badri2012], [Boulturk2012], [Buhari2012], [Rizwan2012], [Enayatifar2013], [Khamis2013], [Tao2013], [Manoj2014a], [Manoj2014b];
- f) metode bazate pe sisteme expert [Ho1990], [Kiartzis2000], [Pinto2013];
- g) metode care utilizează SVM (Support Vector Machine) [Gou2006], [Wang2007], [Zhang2008], [Hong2009], [AlRashidi2010], [Xinhui2010], [Zheng2010], [Hong2012], [Gelardoni2013], [Hu2013];
- h) metode hibride, care utilizează și tehnici de calcul evolutiv [Yang1998], [Niu2005] (algoritm evolutiv diferențial), [Mori2001] (căutare de tip "tabu"), [Liao2006] (algoritm de tip "Simulated Annealing" – "Recoacere Simulată"), [Dai2007] (Pattern Recognition), [Wang2007], [Wang2010] (algoritm de tip PSO), [Li2008] (tehnici de tip "data mining"), [Hong2012] (algoritm genetic), [Hu2013] (algoritm memetic).

### 3.3.2.2. Metoda zilei similare

Această abordare are la bază cercetarea datelor istorice pentru a găsi zile (în ultimii câțiva ani) cu caracteristici similare zilei pentru care se face prognoza. Caracteristici similare includ vremea, ziua în cadrul săptămânii și data. Curba de sarcină a unei zile similare este considerată ca o prognoză. În locul prognozei pe baza unei singure zile similare, se poate utiliza o combinație liniară sau o procedură de regresie care include mai multe zile similare.

[Senjyu1998] prezintă o abordare de tip fuzzy pentru obținerea curbei de sarcină a zilei următoare cu metoda zilei similare. Logica fuzzy se utilizează pentru aprecierea gradului de similaritate, determinându-se în primă fază o serie de coeficienți de corecție pentru curbele de sarcină aferente zilelor anterioare similare. După corectarea lor, curba de sarcină pentru ziua prognozată rezultă ca o medie a celor pentru zilele similare anterioare. Autorii au ilustrat această abordare cu ajutorul unei aplicații reale pentru Okinawa Electric Power Company Japan. Cercetarea este dezvoltată în continuare în [Senjyu2004], utilizând de data aceasta pentru găsirea "similarității" o rețea neuronală artificială. Aplicațiile concrete se referă tot la Okinawa Electric Power Company.

Metoda este utilizată, în cadrul unei analize de regresie adaptivă, în [Ruzic2003], pentru prognoza pe termen scurt a unor curbe de sarcină sensibile la condițiile meteo (valoarea temperaturii). Aplicația a fost implementată la Compania de Distribuție a energiei electrice din Serbia.

### 3.3.2.3. Metoda regresiei

Metoda regresiei este una dintre cele mai des folosite tehnici statistice. Pentru prognoza consumului de energie (putere) electrică asemenea abordări sunt utilizate pentru a modela legătura dintre consum și alți factori cum ar fi vremea,

tipul zilei, natura consumului etc. De regulă se utilizează regresia liniară, totuși influența temperaturii se modelează neliniar. Avantajele acestei metode sunt legate de implementarea relativ simplă, de înțelegerea facilă a legăturii dintre variabilele de intrare și cele de ieșire și de aprecierea ușoară a performanțelor metodei de prognoză [Hahn2009]. Totuși, datorită dependenței complexe neliniare între consumul de energie electrică și factorii de influență, apar probleme inerente legate de identificarea modelului corect [Kyriakides2007]. Se remarcă și utilizarea altor tipuri de funcții de regresie: regresie polinomială [Zivanovic2001], regresie neparametrică [Charytoniuk1998], regresie robustă [Jin2004].

[Park1991] combină metoda regresiei cu cea a seriilor de timp. RNA identifică pattern-ul consumului anterior și îl extrapolează pentru consumul viitor pe baza celor mai recente date de consum.

[Engle1992] au prezentat câteva modele de regresie pentru prognoza zilelor următoare. Modelele lor încorporează influențe deterministe cum ar fi sărbătorile, influențe stocastice ca sarcina medie și influențe exogene cum ar fi vremea. [Charytoniuk 1998], [Haida1994], [Hyde1997], [Ruzic2003] descriu alte aplicații ale modelelor regresiei pentru prognoza consumului de energie electrică.

În [Hor2005] se prezintă un model de regresie multiplă și se analizează influența variabilelor legate de vreme asupra consumului de energie electrică în Anglia și Țara Galilor.

#### **3.3.2.4. Metoda seriilor de timp**

Această metodă este bazată pe ipoteza că datele au o structură internă clară, cum ar fi autocorelarea, trendul sau variațiile sezonale. Metodele de prognoză bazate pe serii de timp detectează și explorează asemenea structuri. Serii de timp au fost folosite în domeniul economic și cel al procesării semnalelor digitale, dar și la prognoza consumului de electrică (cele mai vechi metode). Cele mai utilizate metode legate de seriile de timp sunt următoarele: ARMA (autoregressive moving average), ARIMA (autoregressive integrated moving average), ARMAX (autoregressive moving average with exogenous variables) și ARIMAX (autoregressive integrated moving average with exogenous variables). Modelele ARMA sunt de obicei folosite pentru procesele staționare în timp ce ARIMA este o extensie a ARMA pentru procesele nestaționare. ARMA și ARIMA folosesc timpul și consumul ca singuri parametri de intrare. Deoarece sarcina depinde în general de vreme și de timpul din zi ARIMAX este cel mai natural instrument pentru prognoza de sarcină printre modelele clasice de serii de timp.

[Jin2010] utilizează modelul ARIMA pentru a prognoza consumul de energie electrică pe termen scurt din New South Wales, Australia. [Fan1994] și [Cho1995] descriu implementarea modelelor ARIMAX pentru consumul de energie electrică. [Yang1996] utilizează o tehnică de calcul evolutiv pentru identificarea parametrilor modelelor ARMAX pentru o zi din săptămână, în scopul prognozei consumului orar.

#### **3.3.2.5. Metode bazate pe Rețele Neuronale Artificiale (RNA)**

RNA au fost utilizate la prognoza consumului de energie electrică începând cu anii '90 [Peng1992]. RNA sunt în esență circuite neliniare care au capacitatea demonstrată de a realiza aproximarea numerică a unor funcții neliniare. Mărimile de ieșire ale RNA sunt funcții liniare sau neliniare de mărimile de intrare. Mărimile de intrare pot fi și mărimile de ieșire ale altor rețele. Practic elementele RNA sunt dispuse într-un număr relativ redus de straturi, între mărimile de intrare și cele de ieșire. Uneori se utilizează și căi de reacție inversă [Chow2004].



Utilizarea RNA la prognoza consumului de energie electrică (putere) presupune selectarea unei anumite arhitecturi (Hopfield, BackPropagation, mașină Boltzman), a numărului și a modului de conectare a straturilor și a elementelor rețelei, a sensului legăturilor (uni-direcțional sau bi-direcțional), a tipului și formatului mărimilor de intrare și ieșire și a celor interne (binar sau real).

De regulă se utilizează RNA cu arhitectură BackPropagation, care utilizează funcții de variabile reale (cu variație continuă) și învățarea supervizată (ceea ce înseamnă că ponderile reale atribuite mărimilor de intrare se determină astfel încât să "lege" mărimile cunoscute (timp, vreme) de ieșirile dorite (consumurile aferente cunoscute) în cadrul unei sesiuni pre-operaționale de învățare.

În [Baklirtzls1996] se prezintă o metodă de prognoză pe termen scurt utilizând RNA, elaborată pentru serviciul de dispecer al sistemului electroenergetic din Grecia. Modelul adoptat utilizează o RNA cu trei straturi, complet conectată și cu parcurgere în sens direct. Antrenarea este realizată cu un algoritm de tip backpropagation. Variabilele de intrare cuprind datele orare de consum, temperaturile și zilele săptămânii, prognoza curbelor de sarcină fiind realizată pentru o săptămână.

[Papalexopoulos1994] utilizează un model asemănător, iar [Khotanzad1997] prezintă un sistem de prognoză utilizând strategii RNA multiple, pentru a surprinde cât mai bine diversele tendințe de consum. Metoda este dezvoltată în continuare în [Khotanyad1998], care include două RNA – prima pentru consumul de bază, iar a doua pentru modificările de consum. Prognoza finală rezultă prin combinarea adaptivă a celor două componente. Metoda a fost utilizată în cadrul a 35 de operatori de distribuție din SUA și Canada.

[Chen2001] utilizează de asemenea o RNA complet conectată, cu trei straturi, și algoritmul Backpropagation ca o metodă de antrenare.

În [Lu2004] se propune o abordare mixtă, utilizând o combinație între RNA și seriile de timp de tip ARIMA. Componenta liniară a datelor cunoscute de consum este tratată cu ARIMA, iar cea neliniară cu RNA. Studiile de caz prezentate, referitoare la date empirice, evidențiază calitățile unei asemenea abordări.

[Chauhan2005] folosește pentru prognoza pe termen scurt două modele: RNA cu algoritm backpropagation, respectiv un sistem hibrid neuro-fuzzy (RNA + abordare fuzzy). Studiul de caz se referă la consumul din zona New England, SUA, demonstrând superioritatea celui de-al doilea model. Calitatea prognozei se verifică prin suma abaterilor medii pătratice pentru o serie de consumuri cunoscute.

Aplicația concretă din [Ramezani2005] la consumul de la nivelul unei stații de înaltă tensiune / medie tensiune din Iran, iar cea din [Liu2006] la o zonă de consum din Ontario, Canada. [Osman2009] realizează o prognoză pentru consumul de la nivelul Egyptian Unified System.

[Qingle2010] aplică o metodă de prognoză bazată pe RNA pentru situațiile când gradul de corelare a datelor cunoscute este extrem de scăzut ("rough set").

La fel ca și [Chauhan2005], [Ismail2013] utilizează o tehnică mixtă – un sistem de inferență adaptiv neuro-fuzzy (ANFIS) – bazat pe sistemul de inferență fuzzy de tip Takagi–Sugeno.

### 3.3.2.6. Metode care încorporează și logica fuzzy

Logica fuzzy (termenul de "fuzzy" înseamnă „vag”, „neclar”, „estompat”) a fost definită în 1965 de către Lotfi Zadeh de la Universitatea Berkeley din California [Precup1999]. Spre deosebire de logica clasică, în care se lucrează cu două valori de adevăr exacte (notate de exemplu cu 0 pentru fals și 1 pentru adevărat), logica fuzzy folosește o plajă continuă de valori logice cuprinse în intervalul [0, 1], unde 0 indică falsitatea completă, iar 1 indică adevărul complet. Astfel, dacă în logica clasică un

obiect poate aparține (1) sau nu (0) unei mulțimi date, logica fuzzy lucrează cu gradul de apartenență al obiectului la mulțime, acesta putând lua valori între 0 și 1.

Bazate pe logica fuzzy, sistemele fuzzy sunt considerate un caz particular al sistemelor expert (motiv pentru care mai sunt denumite și sisteme expert fuzzy), oferind o metodă flexibilă pentru tratarea incertitudinii.

Avantajele logicii fuzzy, la modul general și la modul particular al prognozei consumului de energie electrică, sunt legate de absența necesității unui model matematic riguros care să "mapeze" mărimile de intrare cu cele de ieșire precum și de absența necesității unor semnale de intrare exacte (fără "zgomot").

Cu astfel de reguli generice de condiționare, sistemele cu logică fuzzy pot oferi un suport extrem de solid pentru activitatea de prognoză a consumului de energie electrică (mai ales când există o serie de incertitudini legate de datele de intrare). Evident, mărimile de ieșire trebuie să aibă un caracter determinist (o anumită valoare clară a puterii consumate). În aceste condiții, după prelucrarea logică a mărimilor de intrare fuzzy, este necesară "defuzificarea" rezultatului, pentru a obține mărimea de ieșire necesară.

[Senjyu1998] prezintă o abordare de tip fuzzy pentru obținerea curbei de sarcină a zilei următoare cu metoda zilei similare. Logica fuzzy se utilizează pentru aprecierea gradului de similaritate, determinându-se în primă fază o serie de coeficienți de corecție pentru curbele de sarcină aferente zilelor anterioare similare. După corectarea lor, curba de sarcină pentru ziua prognozată rezultă ca o medie a celor pentru zilele similare anterioare. Autorii au ilustrat această abordare cu ajutorul unei aplicații reale pentru Okinawa Electric Power Company Japan. Cercetarea este dezvoltată în continuare în [Senjyu2005], utilizând de data aceasta pentru găsirea "similarității" o rețea neuronală artificială. Aplicațiile concrete se referă tot la Okinawa Electric Power Company.

Pentru a contracara dezavantajele legate de metodele convenționale de prognoză a consumului, în [Hu2009] se prezintă o metodă bazată pe rețelele neuro-fuzzy (RNA + logica fuzzy) pentru prognoza pe termen scurt a puterii consumate. Acest model combină abilitatea ridicată de învățare a RNA cu capacitatea logicii fuzzy de a "mapa" funcțiile neliniare și de a găsi similaritatea într-un volum foarte mare de date. Aplicația se referă la curbele zilnice de sarcină aferente Combinatului de Aluminiu Alcoa din Shanghai, înregistrate în decursul câtorva luni din anul 2006, împreună cu condițiile meteo corespunzătoare. Două treimi din volumul de date au fost utilizate pentru procesul de antrenare a RNA, iar restul de o treime pentru verificarea prognozelor obținute.

### 3.3.2.7. Metode bazate pe sisteme expert

Sistemele expert înglobează reguli și proceduri folosite de operatorul uman în domeniul de interes (prognoza consumului de energie electrică în cazul de față) într-un instrument soft, care în final va avea capacitatea de a efectua automat prognoza (fără intervenția operatorului uman). Metoda de prognoză bazată pe reguli face uz de reguli, în general euristice, pentru a elabora o prognoză cât mai exactă.

Un sistem expert poate codifica sute sau mii de reguli, fiind eficient atunci când există o colaborare bună între expertul uman și specialiștii soft, în sensul de a exista capacitatea operatorului uman de a explica în mod corespunzător deciziile și logica sa programatorilor (cu alte cuvinte, cunoștințele expertului uman trebuie să răspundă necesităților de a fi codificate în reguli exprimabile în limbajul de programare utilizat).

În acest context, în [Ho1990] se prezintă un sistem expert bazat pe cunoștințe pentru prognoza pe termen scurt a consumului de energie electrică. Elaborarea

sistemului expert a fost realizată pe baza cunoștințelor și a urmării orare a consumului pentru sistemul electroenergetic din Taiwan timp de 5 ani, împreună cu condițiile meteo.

În [Rahman1996] se prezintă o tehnică general valabilă (aplicabilă oricărui consumator) de prognoză pe termen scurt a consumului. Cunoștințele generale despre consum și despre factorii care influențează consumul într-o bază parametrizată de reguli. Baza de reguli este completată de o bază de date parametrizată referitoare la consum, care diferă de la o prognoză la alta. Aplicațiile concrete vizează o serie de consumatori din SUA.

### 3.3.2.8. Metode care utilizează SVM (Support Vector Machine)

În ultima perioadă, mașinile vector suport (SVM) oferă un instrument performant pentru rezolvarea unor probleme de regresie sau de clasificare. Abordarea aceasta are la bază teoria de învățare statistică elaborată de Vapnik [Vapnik1995]. Spre deosebire de rețelele neuronale, care încearcă să definească funcții complexe în raport cu mărimile caracteristice de intrare, SVM execută o corelare (mapare) neliniară (folosind așa numitele funcții Kernel) ale datelor într-un spațiu (caracteristic) multidimensional. SVM utilizează funcții liniare simple pentru a crea limite (granițe) de decizie liniare în noul spațiu. Problema alegerii arhitecturii RNA este înlocuită aici cu alegerea unui "kernel" potrivit pentru SVM [Christiani2000].

SVM sunt modele cu învățare supervizată. Considerând un set de date de antrenare, fiecare dintre ele marcată ca aparținând uneia din două categorii posibile, algoritmul de învățare SVM construiește un model care asignează noile date ca aparținând uneia sau celeilalte categorii, rezultând de fapt un clasificator non-probabilistic liniar binar. Modelul SVM constituie de fapt o reprezentare a exemplurilor ca puncte într-un spațiu, mapate astfel încât exemplele categoriilor separate sunt despărțite de o zonă cât mai largă. Noile exemple sunt mapate în același spațiu și prognozate ca aparținând uneia sau alteia dintre cele două categorii dependent de poziția lor față de zona de graniță.

[Mohandes2002] aplică metoda SVM pentru prognoza pe termen scurt a consumului de energie electrică. Autorul compară performanțele sale cu o metodă autoregresivă, concluzia evidențiind superioritatea metodei care utilizează SVM.

[Chen2002] prezintă un model SVM pentru prognoza consumului zilnic, pe durata unei luni, în contextul competiției organizate de EUNITE (EUropea Network on Intelligent TEchnologies for Smart Adaptive Systems) în scopul prognozei puterilor zilnice de vârf pentru luna ianuarie 1999. Datele disponibile se refereau la perioada 1997-1998: puterile din jumătate în jumătate de oră, temperatura medie zilnică și datele zilelor de sărbătoare. Modelul prezentat a câștigat competiția. [Chen2004] prezintă o variantă extinsă a studiului EUNITE. De data aceasta SVM folosește doar informațiile pentru ultimele 7 zile ca variabile de intrare. Pentru antrenare s-au luat în considerare doar datele de "iarnă" – perioada octombrie-decembrie și ianuarie-martie – deoarece autorii au identificat "tipare" (pattern-uri) diferite pentru seriile de timp referitoare la perioada de iarnă, respectiv cea de vară. Eroarea maximă obținută a fost de 1,95 %.

[Gou2006] are ca obiect un model bazat pe SVM, utilizat la prognoza consumului de energie electrică din provincia Hebei (China). Rezultatele arată că modelul propus depășește ca performanțe modelul utilizând RNA în ceea ce privește acuratețea prognozei.

În [Zhang2008] se pornește de la faptul că modelul ARMA (autoregressive moving average) pentru metoda seriilor de timp nu oferă rezultate suficient de bune pentru tiparele de consum neliniare. Lucrarea prezintă o metodă hibridă, care adaugă

la modelul ARMA o tehnică de tip SVM, rezultatele obținute pentru aplicații concrete fiind promițătoare. În contextul tezei de doctorat, este foarte interesantă discuția asupra aprecierii, sau chiar a prezicerii, performanțelor diverselor metode de prognoză. În acest scop se utilizează eroarea medie absolută (MAE – mean absolute error), eroarea medie absolută procentuală (MAPE – mean absolute percent error), eroarea medie pătratică (MSE – mean squared error) și abaterea medie standard (RMSE – root mean square error):

$$MAE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |x_i^{prognozat} - x_i^{real}| \quad (3.3.1)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i^{prognozat} - x_i^{real}}{x_i^{real}} \cdot 100 \right| \quad (3.3.2)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i^{prognozat} - x_i^{real})^2 \quad (3.3.3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i^{prognozat} - x_i^{real})^2} \quad (3.3.4)$$

unde  $n$  reprezintă numărul de valori prognozate,  $x_i^{real}, i = 1, 2, \dots, n$  – valorile reale ale consumului și  $x_i^{prognizat}, i = 1, 2, \dots, n$  – valorile prognozate ale consumului Evident, MSE și RMSE pot fi exprimate și sub formă procentuală.

În [Xinhui2010] autorii studiază utilizarea SVM pentru prognoza consumului de energie electrică în situațiile în care numărul de eșantioane pentru procesul de antrenare este relativ redus. Se încearcă găsirea celor mai bune funcții kernel și acordarea corespunzătoare a valorii parametrilor variabili ai SVM. Rezultatele obținute pentru condițiile menționate sunt mai bune decât cele determinate cu RNA. Preocupări similare se remarcă și în [Zheng2010], încercându-se o ajustare automată a valorii parametrilor.

[Hong2012] combină o metodă de tip SVM cu un algoritm de calcul evolutiv. Motivația este legată de mai buna tratare a situațiilor când apar cicluri diferite de consum datorate unor activități economice sezonale sau condițiilor meteo. Dintre tehnicile de calcul evolutiv s-a ales un algoritm genetic haotic. Rezultatele obținute pentru o serie de aplicații practice adevărate calitățile modelului propus.

Lucrarea [Ghelardoni2013] folosește o metodă de descompunere empirică, pe baza căreia se obțin două seturi de componente: primul descrie trendul și al doilea oscilațiile locale ale valorilor consumului de energie. Aceste seturi sunt utilizate apoi la antrenarea SVM. Rezultatele experimentale obținute atât pentru un domeniu public cât și pentru o clădire de birouri validează metoda propusă.

### 3.3.2.9. Metode hibride, care utilizează și tehnici de calcul evolutiv

Există o serie de metode hibride (mixte), care combină una dintre metodele discutate în paragrafele anterioare cu o serie de tehnici de calcul evolutiv. Scopul urmărit este de a ameliora calitatea prognozelor obținute sau de a soluționa situații pe care modelele anterioare nu sunt capabile să le trateze.

Dintre tehnicile de calcul evolutiv utilizate se remarcă: algoritmi de calcul evolutiv diferențial, tehnici de căutare de tip "tabu", algoritmi de tip "Simulated Annealing", algoritmi de tip PSO, algoritmi genetici și memetici, tehnici de tip "data mining", tehnici de tip "pattern recognition" etc.

La modul general, o tehnică de calcul de tip evolutiv este o metodă iterativă de rezolvare a problemelor de optimizare bazată pe o tehnică de căutare prin analogie cu evoluția biologică (de tip darwinist) [Lee2008]. Pentru găsirea soluției se utilizează o populație de soluții potențiale care evoluează prin aplicarea iterativă a unor operatori stocastici. Elementele populației reprezintă soluții potențiale ale problemei. Pentru a ghida căutarea către soluția problemei asupra populației se aplică transformări specifice evoluției naturale: selecția (elementele populației care se apropie de soluția problemei sunt considerate adecvate și sunt favorizate în sensul că au mai multe șanse de a supraviețui în generația următoare precum și de a participa la generarea de urmași), încrucișarea (la fel ca la înmulțirea din natură pornind de la două sau mai multe elemente ale populației, numite părinți, se generează noi elemente, numite urmași). În funcție de calitatea acestora – valoarea corespunzătoare a unei funcții obiectiv – urmașii își pot înlocui părinții. Pentru a asigura variabilitatea populației, mutația, se aplică la fel ca în natură, realizând transformări cu caracter aleator asupra elementelor populației permițând apariția unor trăsături noi – gene – care doar prin încrucișare și selecție nu ar fi apărut în cadrul populației.

În funcție de modul în care este construită populația și cum este implementată evoluția, tehnicile de calcul evolutiv se încadrează într-una din categoriile:

- a) algoritmi genetici (AG), care se folosesc în special pentru rezolvarea unor probleme de optimizare discretă (combinatorie). Populația este reprezentată de stări din spațiul problemei codificate binar, iar principalii operatori sunt cei de încrucișare și selecție, cel de mutație având probabilitate mică de aplicare [Solomonesc2013];
- b) algoritmi evolutivi (AE), care au fost concepute inițial pentru a rezolva probleme de optimizare continuă. Populația este constituită din elemente din domeniul de definiție al funcției obiectiv. Operatorul principal este cel de mutație, dar este folosită și recombinarea. Pentru strategiile evolutive au fost dezvoltate scheme de adaptare a parametrilor de control (auto-adaptare).

Algoritmii de recoacere simulată (Simulated Annealing – SA) are la bază fenomenele termodinamice care apar la încălzirea unei bucăți de metal și răcirea controlată a acestuia, cu scopul de a crește dimensiunea cristalelor care îl compun, reducându-i astfel defectele. Căldură face ca atomii să se desprindă de pe pozițiile lor inițiale (un minim local al energiei interne), aceștia deplasându-se aleator către stări cu energie mai mare. Răcire lentă le dă mai multe șanse de a găsi configurații în care energia internă este mai mică decât cea inițială [Lee2008].

Căutarea de tip tabu (Tabu Search – TS) este o metodă iterativă de determinare a optimului, în care se pornește de la o soluție inițială fezabilă și se încearcă îmbunătățirea ei prin căutări locale succesive între „vecini”. Procesul de căutare se consideră terminat atunci când soluția nu se mai poate îmbunătăți. Drept „vecin” se consideră o soluție care prezintă deosebiri mici față de cea în jurul căreia se face căutarea [Lee2008].

Căutarea tabu are similitudini cu recoacerea simulată. Pornind de la starea curentă se generează mai mulți candidați, unul dintre ei devenind noua stare curentă. Se folosește istoria procesului de căutare pentru a clasa anumite mișcări ca fiind interzise (tabu). Lista tabu a căutării este dinamică și integrează componente de memorie lungă și de memorie de scurtă durată. Cele două componente ale memoriei tabu asigură un echilibru între explorarea spațiului soluțiilor (diversificarea căutării) și găsirea unor optime locale (intensificarea căutării sau explorarea soluțiilor deja găsite). Ea se aplică pentru probleme discrete de optimizare [Lee2008].

Modelul roiurilor de particule (Particular Swarm Optimization – PSO) a fost dezvoltat ca un algoritm de optimizare stocastic bazat pe modele de simulare sociale. El este caracterizat de o populație care se mișcă în spațiul de căutare, indivizii comunicând în permanență între ei. Modul de comunicare este determinat de o rețea socială fixă sau adaptivă, care joacă un rol esențial în privința convergenței [Cristian2013].

Memetic PSO (MPSO) este un algoritm de căutare hibrid care combină PSO cu tehnici locale de căutare. Acesta este compus din două elemente: unul global, care realizează o căutare globală în spațiul de soluții, și unul local, realizând o căutare mai fină în jurul unei soluții considerată acceptabilă [Cristian2013].

Metodele de tip "data mining" reprezintă tehnici de calcul care au ca scop identificarea de tipare ("pattern") în mulțimile de date de dimensiuni mari, folosind procedee aflate la granița dintre inteligența artificială, învățarea automată, baze de date și statistica matematică.

Metodele de tip "Pattern Search" sunt în esență tehnici de optimizare neliniară care nu utilizează derivatele funcției obiectiv [Kilyeni2010]. Ele pot fi utilizate și în cazul funcțiilor discontinue și a celor nederivabile. Ele mai sunt referite și sub denumirea de metode de căutare directă sau de tip "cutie neagră".

Dintre lucrările care se încadrează în contextul discutat în acest paragraf se remarcă următoarele:

- [Yang1998] și [Niu2005] – utilizează un algoritm evolutiv diferențial;
- [Mori2001] – căutare de tip "tabu";
- [Liao2006] – algoritm de tip "Simulated Annealing";
- [Wang2007] și [Wang2010] – algoritm de tip PSO;
- [Hu2013] – algoritm PSO memetic;
- [Hong2012] – algoritm genetic;
- [Dai2007] – tehnici de tip Pattern Recognition;
- [Li2008] – tehnici de tip "data mining".

### 3.4. Factorii care influențează consumul de energie electrică

Înainte de a începe efectuarea unui studiu de prognoză de consumului de energie electrică (putere) este necesară identificarea factori de care depinde acest consum.

Conform [Mielezarski1998] există patru categorii de factori:

a) Factorii legați de climă:

- temperatura: cercetările au arătat că cei mai importanți factori meteo de care depinde prognoza pe termen scurt sunt valorile orare medii ale temperaturii precum și cele minime și maxime. În funcție de sezon temperatura și consumul pot avea o relație directă sau indirectă; de asemenea temperaturile maxime și minime ale zilei anterioare au un efect semnificativ asupra consumului din ziua prognozată;
- umiditatea: în anumite zone geografice gradul de umiditate are un efect semnificativ asupra consumului și este necesar a fi luat în considerare;
- precipitațiile: indicatorul de ploaie pentru ziua prognozată și cantitatea de precipitații din ziua anterioară poate influența consumul;
- viteza vântului: viteza vântului sau factorul de răcire a vântului poate conduce la o percepție mult mai scăzută decât realitatea, mai ales în cazul temperaturilor negative;
- acoperirea cu nori: un cer încărcat cu nori poate cauza creșteri considerabile ale consumului de iluminat (public și rezidențial).

b) Factorii legați de tiparul (pattern-ul) consumului:

- zilele săptămânii: valorile de consum pentru zilele normale sunt funcții ale datelor istorice pe termen scurt și valorile prognozate ale parametrilor meteo. Șablonul de consum în zilele normale de luni până vineri (zile lucrătoare) rămâne de regulă

constant. Totuși consumul în zilele de luni și vineri este diferit față de celelalte zile ale săptămâni datorită vârfurilor de consum în diminețile de luni (întreprinderile pornesc lucrul) și al apropierei sfârșitului de săptămână.

- sâmbăta: modelul de consum în zilele de sâmbătă în multe țări este diferit față de restul zilelor din săptămână, cu o creștere așteptată a cererii de consum dimineața și o scădere bruscă după-amiază;
  - duminica: consumul în zilele de duminică în zonele urbane este mult mai scăzut decât în zilele săptămânii. Forma curbei de sarcină este determinată în principal de cerea de consum din zona rezidențială;
  - zilele libere: forma curbei de sarcină de sărbători este în general similară cu cea de duminică. Totuși unele sărbători au caracteristici proprii, care trebuie extrase din datele istorice;
  - zilele speciale: zilele speciale și ocaziile influențează puternic comportamentul consumatorului. Vârful de consum se reduce considerabil înainte și după sărbătorile publice importante. Pot exista și evenimente speciale care influențează consumul: concerte, emisiuni televizate, evenimente culturale și sportive;
  - modificări sezoniere: efectele de anotimp variază în funcție de zona geografică luată în considerare. Schimbările consumului sunt de natură ciclică în raport cu anotimpurile.
- c) Factorii legați de trend:
- consumul de-a lungul anului evoluează în conformitate cu anumite trend-uri;
  - pot exista trend-uri sezoniere (legate de anotimpuri) sau lunare (reflectând schimbările de consum de la o lună la alta);
  - există și alți factori de care trebuie să se țină cont (de exemplu vacanțele școlare).
- d) Factorii economici:
- cererea de energie electrică în majoritatea țărilor în curs de dezvoltare a fost într-o continuă creștere datorită dezvoltării economice;
  - în unele țări dezvoltate și puternic industrializate pot avea loc și scăderi ale consumului de energie electrică;
  - factorii economici influențează semnificativ doar prognozele pe termen lung.
- [Shahidehpour2002] discută factorii de influență în maniera următoare:
- factori economici: pot influența tiparul de consum prin tipului de consumatori, condițiile demografice, activitățile industriale etc. (mai ales în cazul prognozei pe termen scurt);
  - factorul timp: efecte de sezon (numărul de zile cu lumină), efecte săptămânale (consumul industrial este mult mai mare în zilele lucrătoare decât în cele libere) și sărbătorile (conduc în general la scăderea consumului);
  - factori meteo: temperatura (este cel mai influent factor meteo, intervine și prin creșterea consumului de energie electrică pentru încălzire pe perioada iernii, respectiv al celui pentru instalațiile de climatizare pe perioada verii), umiditatea (în special în zonele calde și umede), precipitațiile, furtunile, vântul și intensitatea luminoasă pe durata zilei;
  - perturbații aleatoare: mari consumatori industriali (de exemplu oțelăriile) pot cauza consumuri neașteptate de energie, la fel ca evenimentele culturale sau sportive;
  - factorul preț: pe piețele de energie electrică prețul energiei este volatil și ar putea prezenta o relație (destul de complicată) cu puterea consumată la nivelul întregului sistem;
  - alți factori: condițiile geografice (forma consumului pentru zonele rurale este diferită față de cea din zonele urbane), tipul de consumatori (consumul în zona rezidențială este diferit de cel din zona comercială și industrială) etc.



În [Chow2004] se consideră că factorul timp include perioada din an, ziua din săptămână și ora din zi. Sunt diferențe importante în consumul între zilele săptămânii și sfârșitul de săptămână. Consumul în diferite zile ale săptămâni poate de asemenea să fie diferit. De exemplu zilele de luni și vineri (adiacente la sfârșitul de săptămână) pot avea structuri diferite de consum comparativ cu zilele de marți până joi. Acest lucru este în de asemenea adevărat și pe perioada verii. Zilele de sărbătoare sunt mai dificil de prognozat decât cele normale.

Și factorii meteo influențează consumul. Parametrii meteo prognozați sunt cei mai importanți factori în prognoza pe termen scurt. Temperatura și umiditatea sunt elementele cele mai des folosite.

[Muto1996] a prezentat o metodă specială de prognoză de sarcină de vârf folosită în Japonia datorită zilelor speciale, pentru care consumul este de obicei mai redus decât cel al unei zile normale. Aceste vârfuri sunt influențate de variațiile anuale, data și ziua din săptămână. Metoda a fost utilizată la simulările efectuate pe datele reale de la Tokyo Electric Power Company.

### 3.5. Concluzii

În acest capitol s-a realizat o prezentare sistematizată a aspectelor generale legate de prognoza consumului de energie electrică (putere de vârf sau orară, energie consumată, curbe de sarcină etc.) și a metodelor utilizate. Prima parte cuprinde o abordare mai generală a metodelor de prognoză, însoțită deja de referiri concrete la literatura recentă de specialitate (în partea care vizează metodele de tip Delphi). Apoi se trece la prezentarea propriu-zisă a metodelor, în funcție de orizontul de timp care se referă, prin prisma realizării unui studiu bibliografic referitor la lucrările de dată recentă publicate în acest domeniu. Sunt urmărite atât metodele "clasice", bazate pe modelarea matematică, cât și cele "moderne", utilizând tehnici de inteligență artificială, logică fuzzy, sisteme expert, "support vector machine" (SVM) etc. Ultima parte a capitolului abordează și o serie de aspecte legate de factorii care influențează consumul de energie electrică, prin prisma influenței lor asupra activității de prognoză.

În continuare se prezintă o sinteză a contribuțiilor personale:

- realizarea unei sinteze documentate, în viziune proprie, bazată pe un amplu studiu bibliografic, a metodelor utilizate pentru prognoza consumului de energie electrică (putere de vârf sau orară, energie consumată, curbe de sarcină etc.), atât cele care la ora actuală pot fi considerate "clasice" (bazate pe modelarea matematică, cât și cele "moderne", utilizând tehnici de inteligență artificială, logică fuzzy, sisteme expert, "support vector machine" (SVM) etc.;
- prezentarea aspectelor caracteristice abordărilor actuale, în condițiile pieței libere a energiei electrice, a dereglementării și a pătrunderii pe scară largă a surselor regenerabile de energie;
- focalizarea unei atenții speciale asupra metodelor de soluționare bazate pe tehnici de inteligență artificială;
- pregătirea elementelor pentru capitolele următoare, care se referă la metodele concrete utilizate în lucrare și la studiile de caz realizate.



## 4. REȚELE NEURONALE ARTIFICIALE (RNA)

Capitolul 4 are ca obiect prezentarea rețelelor neuronale artificiale (RNA). Împreună cu capitolul următor, constituie baza teoretică pentru metoda aleasă de soluționare a prognozei consumului de energie electrică (prezentată în capitolul 6).

În prima parte a capitolului se trec în revistă o serie de aspecte generale legate de RNA: prezentarea terminologiei de bază și a structurii RNA, clasificarea RNA, domeniile de aplicație, avantajele și dezavantajele utilizării RNA. Un paragraf aparte este consacrat prezentării tipurilor de învățare specifice RNA – supravegheată, respectiv nesupravegheată.

În continuare atenția se focalizează asupra modelului neuronului și asupra structurii RNA. Un subcapitol aparte este consacrat rețelelor neuronale de tip perceptron, cu un singur strat și cu mai multe straturi, cu accent special pe cele de tip backpropagation.

### 4.1. Aspecte generale ale RNA

#### 4.1.1. Considerații preliminare

Rețelele neuronale artificiale (RNA), în limba engleză Artificial Neural Network (ANN), reprezintă un sistem de procesare a semnalelor, compus dintr-un număr mare de procesoare elementare interconectate, denumite neuroni artificiali sau noduri, care cooperează pentru rezolvarea unor sarcini specifice. Modalitatea de adaptare la condițiile specifice mediului constă în modificarea ponderilor asociate conexiunilor dintre neuroni și eventual a structurii RNA. Astfel de modele conexioniste oferă anumite avantaje, caracteristice doar sistemelor neuronale reale (biologice), neîntâlnite în cazul sistemelor de calcul tradiționale, secvențiale [Tiponut2002]:

- proprietatea de a învăța și de a se adapta;
- posibilitatea de a opera cu date imprecise;
- capacitatea de generalizare, în sensul în care RNA va opera corect și cu date de intrare care nu au fost prezentate în timpul procesului de antrenament;
- datorită gradului ridicat de paralelism, funcționarea defectuoasă sau chiar pierderea unui număr de neuroni nu afectează semnificativ performanța sistemului global – RNA reprezintă deci sisteme tolerante la erori;
- capacitatea de a aproxima orice funcție continuă neliniară cu gradul de acuratețe dorit – deci RNA pot fi folosite cu succes în modelarea sistemelor neliniare;
- datorită numărului mare de intrări și ieșiri, RNA modelează cu ușurință sistemele multivariabile;
- implementările hardware ale RNA, de exemplu prin intermediul circuitelor integrate VLSI, fac posibilă utilizarea RNA pentru aplicațiile în timp real.

RNA reprezintă un ansamblu complex interconectat de elemente de prelucrare a informației, denumite Neuroni Artificiali (NA) [Luștrea2004].

Orice rețea neuronală este definită prin:

- a) specificul unităților de calcul – fiecare NA are o anumită caracteristică de intrare / ieșire (I/O) cunoscută și realizează (implementează) un proces local de calcul sau

o funcție. În general, funcțiile caracteristice pentru diferiți neuroni pot fi diferite, dar se preferă (pentru ușurarea calculului) ca anumite grupuri de neuroni să aibă funcții caracteristice identice. Ieșirea fiecărui neuron depinde de caracteristica proprie de I/O, de interconexiunile cu alți neuroni și (posibil) de intrările externe;

- b) funcționarea rețelei – procesul prin care rețeaua transformă semnalele de intrare în semnale de ieșire (răspunsul rețelei);
- c) antrenarea rețelei – definește funcționalitatea globală a unei RNA. O rețea neuronală se poate antrena prin ajustarea valorilor conexiunilor (ponderilor) dintre elemente. Funcția rețelei este determinată de conexiunile dintre elemente;
- d) arhitectura rețelei – modul de aranjare a unităților de calcul (topologia) și interconectarea acestora.

O rețea neuronală poate fi reprezentată printr-un graf orientat [Kilyeni2010], în care vârfurile sunt neuronii, iar arcele orientate specifică fluxul informațional sau sensul de propagare a semnalelor de la unitățile de calcul de intrare către unitățile din stratul de ieșire [Tudor2012].

Rețelele neuronale artificiale sunt constituite din numeroși neuroni artificiali interconectați între ei. Neuronii constituenți sunt de obicei organizați în mulțimi distincte numite straturi (layers). Există și cazuri de rețele neuronale particulare, având o topologie specială, când neuronii nu sunt organizați pe straturi bine definite, ci pe anumite submulțimi de neuroni.

O rețea neuronală clasică constă dintr-o secvență de straturi de neuroni, cu conexiuni totale sau aleatoare între neuronii conținuți în straturi succesive. Întotdeauna vom avea pentru o rețea neuronală, cel puțin două straturi de neuroni, ce au rolul de a comunica cu mediul exterior [Enăchescu2008]:

- un strat de intrare, care are rolul de a prelua datele de intrare  $x_i, i = 0, 1, 2, \dots, n$  (cu termen bias) sau  $x_i = \pm 1, i = 1, 2, \dots, n$  (fără termen bias). Vectorul de intrare al rețelei neuronale este  $\mathbf{x} = (x_0, x_1, x_2, \dots, x_n)$  sau  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ;
- un strat de ieșire, unde se obțin rezultatele  $y_j, j = 1, 2, \dots, m$  furnizate de rețeaua neuronală, ca răspuns la vectorul de intrare prezentat la stratul de intrare și al propagării acestor date de la stratul de intrare către stratul de ieșire. Vectorul  $\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_m)$  se numește vector de ieșire al rețelei neuronale;
- toate celelalte straturi ale rețelei neuronale, dacă există, diferite de stratul de intrare și de stratul de ieșire, poartă denumirea de straturi ascunse (hidden layers).

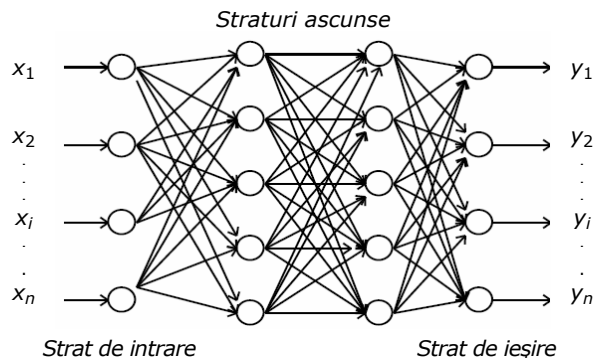


Fig. 4.1.1. Arhitectura generală a unei rețele neuronale

Neuronii din stratul de intrare au întotdeauna ca și funcție de activare funcția liniară, rolul lor fiind doar de a propaga către stratul următor vectorul de intrare. De aceea, stratul de intrare are doar rolul unei zone tampon, de preluare a datelor de intrare, fără a efectua nicio procesare a acestora. Ceilalți neuroni, din celelalte straturi, pot avea orice funcții de activare.

Inventate în anii '50, RNA au cunoscut o dezvoltare explozivă în ultimele decenii. RNA are ca punct de plecare, pe de o parte principiile ce stau la baza funcționării, iar pe de altă parte structura pe care o are sistemul nervos al viețuitoarelor. RNA se dorește și are ambiția de a fi un model tehnic, deci artificial, al sistemului nervos uman. RNA și-a găsit numeroase aplicații datorită calităților deosebite pe care le are [Luștrea2004]:

- capacitatea de memorare și învățare printr-un proces adecvat de antrenament – o problemă este descrisă și apoi rezolvată prin autoînvățare și nu prin program;
- posibilitatea de modelare a proceselor complexe, ale căror legi de funcționare sunt fie prea complicate pentru a fi descrise algoritmic, fie sunt echivoce, chiar necunoscute, spre a fi prezentate analitic;
- capacitatea de generalizare, cu alte cuvinte de a oferi răspunsuri corecte pentru situații diferite față de cele folosite în procesul de învățare;
- capacitatea de sinteză permite tragerea unor concluzii pentru situațiile în care RNA sunt confruntate cu situații speciale: informații incomplete, parțiale sau chiar ușor contradictorii, existența unor perturbații puternice datorate unui ridicat nivel al zgomotelor etc.

Aplicațiile posibile datorită prezenței RNA, sunt deosebit de utile și interesante, se adresează unor domenii foarte largi și tind să substituie activitatea specific umană, cum ar fi: recunoașterea vorbirii, a imaginilor, conducerea proceselor, diagnoze, prognoze din diverse domenii și ceea ce interesează lucrarea de față, din domeniul consumului de energie [Luștrea2004].

RNA prezintă și unele dezavantaje, cum ar fi:

- în general, procesul de învățare este complicat și de lungă durată necesitând folosirea unor mijloace de calcul deosebit de performante;
- pentru antrenament, RNA are nevoie de un volum extrem de mare de date inițiale;
- fenomenele care se petrec în cadrul unei RNA nu au putut încă să fie explicate satisfăcător din punct de vedere formal.

#### 4.1.2. Clasificarea RNA

Clasificarea RNA poate fi făcută după mai multe criterii [Luștrea2004]:

- După *numărul de straturi* (layers) pe care sunt organizați NA există RNA:
  - cu un singur strat;
  - cu două straturi: un strat de intrare și un strat de ieșire;
  - cu mai multe straturi, straturile situate între cel de intrare și cel de ieșire fiind denumite straturi ascunse.
- După *existența reacției* se disting RNA:
  - fără reacție (feedforward);
  - cu reacție:
    - rețele cu memorii asociative, la care pentru un vector de intrare (elementele vectorului sunt valorile intrărilor în primul strat de NA) se asociază un vector de ieșire (elementele sale sunt ieșirile RNA) în conformitate cu valorile coeficienților sinapselor, stabilite prin procesul de învățare; cea mai utilizată este memoria asociativă bidirecțională (Bidirecțional Associative Memory – BAM);

- rețele Hopfield – sunt un caz particular, cel discretizat, al memoriilor asociative, presupunând o topologie cu două nivele, în care ieșirile sunt reduse la intrări; dacă ieșirile sunt binare, atunci mulțimea tuturor ieșirilor posibile formează vârfurile unui hiper cub în spațiul  $n$  dimensional, iar ieșirea activă se stabilește prin parcurgerea vârfurilor hiper cubului până la atingerea unei valori stabile (funcția de energie a sistemului este minimă).
- După *tipul de învățare* se disting RNA cu:
  - învățare supravegheată (supervizată)– în acest caz mulțimea datelor de antrenare trebuie să conțină perechi intrare-ieșire, pe baza cărora algoritmul de învățare stabilește corecția ponderilor asociate legăturilor (sinapselor) dintre NA;
  - învățare nesupravegheată în scopul autoorganizării lor – acest tip de învățare este caracteristic rețelelor Kohonen, care evoluează autonom spre o stare de autoorganizare.
- După *modul de propagare* a corecțiilor coeficienților de ponderare a RNA:
  - cu retropropagare (backpropagation), care au mai multe straturi; valorile legăturilor (conexiunilor) dintre straturi se determină în cadrul procesului de învățare, prin propagarea înapoi (de la ieșire spre intrare) a corecțiilor necesare anulării diferenței dintre valoarea ieșirii cauzate de intrare și valoarea dorită a ieșirii, caracteristică procesului analizat și care trebuie obținută în urma procesului de învățare;
  - cu contrapropagare sau antrenare rapidă – RNA este formată din două straturi sinoptice (de legătură) existente între trei straturi de neuroni:
    - primul strat sinoptic, cuantizorul Kohonen, are ponderile legăturilor astfel alese încât, la orice combinație a intrărilor, doar un singur neuron de la ieșirea acestui strat este activat;
    - al doilea strat sinoptic, codorul Grossberg, generează vectorul de ieșire prin recodificarea rezultatului produs de cuantizorul Kohonen.

### 4.1.3. Aplicații ale RNA

RNA permit rezolvarea unor probleme complexe, pentru care nu există algoritmi secvențiali, ci doar exemple de soluții. În faza de învățare a rețelei neuronale, se folosesc exemplele cunoscute, care vor fi procesate pentru a rezolva probleme similare.

Tipurile de aplicații care pot fi rezolvate folosind rețele neuronale artificiale includ probleme de clasificare, de căutare, de ordonare, problem de recunoaștere a formelor obiectelor, mai ales înțelegerea vederii și a vorbirii, probleme care tratează date imperfecte, incomplete, fuzzy sau probabilistice.

La modul mai general, aplicațiile calculului neuronal vizează domenii precum [Tudor2012]:

- procesarea imaginilor - gruparea datelor, compresia datelor (maparea datelor dintr-un spațiu de dimensiune mare într-unul de dimensiune mai mică, astfel încât să fie conservate relațiile de vecinătate);
- recunoașterea formelor (inclusiv extragerea caracteristicilor formelor) și vederea artificială;
- aplicații în medicină – diagnoza automată, analiza celulelor canceroase, optimizarea timpului de transplant, crearea de hărți senzoriale;
- sisteme militare – recunoașterea țintelor-radar, introducerea de noi tipuri de senzori, bazați pe procesarea semnalelor radar, compresia datelor, identificarea imaginilor;
- aplicații de prognoză în diverse domenii;
- sisteme financiare – predicția pieței de acțiuni, a pieței imobiliare, a cursului valutar;

- la sisteme bancare – citirea și verificarea documentelor, la aplicații de evaluare a creditelor;
- verificarea activității cardurilor de credit;
- industria de petrol-gaze – explorări;
- în automată – controlul traiectoriei roboților;
- arhitectură – elaborarea de hărți topografice pentru suprafețe întinse (județe, orașe) etc.

#### 4.1.4. Avantaje și dezavantaje ale RNA

Avantajele utilizării RNA se evaluează în funcție de capacitatea acestora de a rezolva diverse tipuri de probleme de raționament automat sau în funcție de modul de procesare a informației, toleranța la defecte [Tudor2012]:

- calculele se efectuează în paralel (spre deosebire de modelul mașinii uniprocessor Von Neumann);
- datorită paralelismului, rețelele pot fi tolerante la defecte (dacă un neuron nu funcționează, funcția lui este preluată de alți neuroni);
- pentru a rezolva o problemă cu rețele neuronale, nu este nevoie de modelarea problemei, ci numai de a exprima problema prin intermediul unui set de antrenare (format din perechi de date de intrare și ieșire sau doar din date de intrare cunoscute);
- rețelele neuronale sunt adaptive, permițând modificări ulterioare.

Dezavantajele rețelelor neuronale artificiale:

- nu există reguli clare sau indicații de rezolvare pentru a anumită problemă;
- în unele cazuri, antrenarea poate fi dificilă sau imposibilă;
- este dificilă previziunea performanțelor rețelei.

## 4.2. Modelul RNA

### 4.2.1. Modelul neuronului artificial

Rețelele neuronale reprezintă sisteme compuse dintr-un număr mare de elemente de procesare ce operează în paralel, a căror funcționare este determinată de structura de rețea și puterea conexiunilor. O rețea artificială neuronală cuprinde o suită de unități simple de procesare care comunică între ele prin semnale care circulă printr-un număr mare de conexiuni ponderate. Fiecare unitate de procesare primește intrări de la unitățile vecine și cu acestea calculează semnalul de ieșire pe care-l trimite altor unități (microprocesoare care modelează neuronii). Simultan se ajustează ponderile sinaptice. Sistemul aplică procesarea paralelă (mai multe unități fac calcule în același timp) [Popper2010].

*Neuronul Artificial* (NA) este o copie mult simplificată a neuronului biologic, obținută prin adoptarea următoarelor ipoteze, în prezent unanim acceptate:

- activitatea neuronului este de tipul "totul sau nimic", adică ieșirea sa poate avea doar două valori: 0 – inactiv, 1- activ;
- pentru activitatea neuronului este necesar ca la un moment dat cel puțin una din sinapsele (legăturile) sale să fie activă;
- activarea neuronului este posibilă numai dacă valoarea cumulată a intrărilor active depășește un anumit prag minim de excitație;
- activarea oricărei sinapse inhibitoare determină trecerea neuronului receptor în stare inactivă;

- singura întârziere existentă în sistemul nervos este cea de la nivelul sinapselor. Aceasta permite modelarea funcționării NA în domeniul timpului eșantionat, folosind pași de timp egali cu durata necesară tranziției unei sinapse;
- structura rețelei de neuroni (topologia conexiunilor dintre neuroni) este invariabilă în timp.

Conform acestor ipoteze, neuronul artificial, model al neuronului biologic este descris prin schema din fig. 4.2.1, căreia i se asociază următoarele relații dintre mărimile atașate modelului [Luștrea2004]:

$$\tilde{y} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i \quad (4.2.1)$$

$$y = f(\tilde{y})$$

În relația 4.2.1  $x_i$  ( $0 \leq x_i \leq 1$ ) este mărimea de intrare aferentă sinapsei  $i$ , iar  $w_i$  *coeficientul de ponderare* asociat acestei intrări, cu care ea se multiplică (desigur, suma tuturor ponderile trebuie să fie 1);  $\tilde{y}$  este mărimea care măsoară efectul cumulat al intrărilor asupra NA;  $f$  este *funcția de activare*, iar  $y$  ieșirea NA.

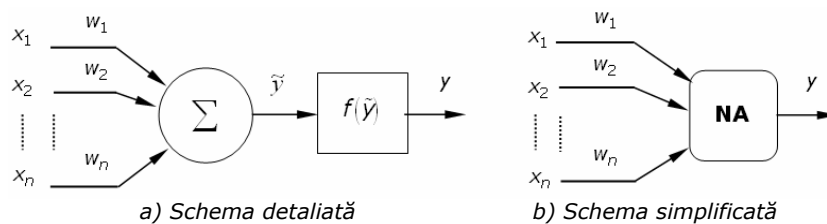


Fig. 4.2.1. Neuronul artificial (NA)

Inhibarea NA se poate face prin intermediul unei intrări suplimentare, special destinată blocării sale, caracterizată printr-o valoare a ponderii egală cu  $w_b = -1$ . Când ea este activată ( $x_b = 1$ ), indiferent de valoarea celorlalte intrări rezultă întotdeauna  $\tilde{y} \leq 0$  și, deci, NA este inhibat.

Funcția de activare a NA poate avea diverse forme, dintre cele mai utilizate fiind funcția treaptă (relația 4.2.2), cea sigmoidă (relația 4.2.3), funcția tangentă hiperbolică (relația 4.2.4) și funcția erorilor (4.5):

$$f(\tilde{y}) = \begin{cases} 1 & \text{pentru } \tilde{y} \geq \theta; \\ 0 & \text{pentru } \tilde{y} < \theta \end{cases} \quad (4.2.2)$$

$$f(\tilde{y}) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda \cdot \tilde{y}}} \quad (4.2.3)$$

$$f(\tilde{y}) = \tanh(\tilde{y}) = \frac{e^{\tilde{y}/2} - e^{-\tilde{y}/2}}{e^{\tilde{y}/2} + e^{-\tilde{y}/2}} \quad (4.2.4)$$

$$f(\tilde{y}) = \text{ERF}(\tilde{y}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\tilde{y}} e^{-z^2} \cdot dz \quad (4.2.5)$$

*Funcția treaptă* este cea mai simplă. *Funcție sigmoidă* prezintă avantaje în procesul de calcul al ponderilor sinapselor cu metoda retropropagării (backpropagation); în plus, coeficientul  $\lambda > 0$  acționează ca un control automat al câștigului: pentru valori mici ale semnalului funcția sigmoidă se apropie de cea treaptă, producând câștiguri

mari, iar pentru valori mari ale semnalului de intrare câștigul scade mult. Ultimele două forme ale funcției de activare (funcția tangentă hiperbolică și cea a erorilor) au o frecvență de folosire mult mai mică decât primele două.

În general, atunci când se modelează un proces fizic, inclusiv cu o RNA, se urmărește scalarea variabilelor, astfel ca domeniul lor după scalare să corespundă intervalului de valori  $[0, 1]$ . În acest caz crește precizia de calcul, crește capacitatea de control asupra convergenței calculelor iterative, pot fi comparate rezultatele unor procese similare între ele etc. Pentru RNA, procesul de scalare este obligatoriu, deoarece din ipotezele adoptate rezultă că ieșirea  $y$  a NA trebuie să fie  $0 \leq y \leq 1$

Pornind de la modelul prezentat în fig. 4.2.1, cunoscut sub numele de modelul McCulloch-Pitts sau modelul MCP, în 1957 Rosenblatt a introdus noțiunea de *perceptron* sau *neuron clasificator* având ca ecuații de funcționare.

$$\tilde{y} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i$$

$$y = f(\tilde{y}) = \begin{cases} 0 & \text{pentru } \tilde{y} \leq 0 \\ 1 & \text{pentru } \tilde{y} > 0 \end{cases} \quad (4.2.6)$$

#### 4.2.2. Structura unei RNA

Din punctul de vedere al structurii rețelelor neuronale artificiale se pot distinge două mari categorii [Tiponut2002]:

##### a) RNA feedforward (cu programare înainte)

Aceste RNA sunt caracterizate de prezența unui strat de neuroni de intrare, 0, 1, 2, ... straturi ascunse și un strat de ieșire. În figura 4.2.2 este prezentată arhitectura unei RNA feedforward cu un singur strat ascuns; se observă că un neuron primește semnale doar de la neuroni aflați în stratul (straturile) precedent (precedente). RNA este total conectată dacă fiecare neuron dintr-un anumit strat este conectat la fiecare neuron din stratul precedent.

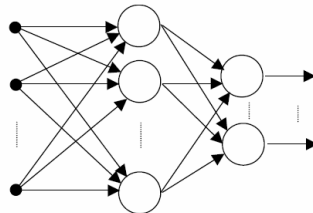


Fig. 4.2.2. RNA feedforward total conectat

Dacă anumite conexiuni sinaptice lipsesc, atunci se spune că RNA este parțial conectată (fig. 4.2.3).

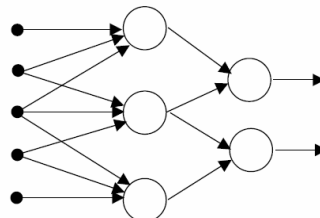


Fig. 4.2.3. RNA feedforward parțial conectat

RNA total conectate au un caracter general, în sensul în care pot fi folosite într-o gamă largă de probleme, dar rezultatele nu sunt întotdeauna cele mai bune [Todorean1994]. RNA parțial conectate introduc anumite restricții, care reprezintă tocmai cunoștințe apriorice despre problema de rezolvat și care reduc gradul de generalitate al RNA. Prin restrângerea câmpului de recepție al neuronului se efectuează o extragere a trăsăturilor locale, iar în straturile ce urmează acestea sunt combinate pentru a se forma trăsături de ordin superior. Astfel RNA parțial conectate pot da rezultate mai bune decât RNA total conectate în rezolvarea anumitor probleme, cu condiția extrapolării cunoștințelor apriorice despre problema dată.

### b) RNA recurent (feedback, cu propagare înapoi)

RNA recurente se individualizează prin existența unui semnal de reacție, din partea neuronului de ordin superior, pentru cei de ordin inferior sau chiar pentru propriile lor intrări (fig. 4.2.4).

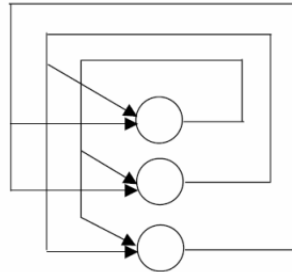


Fig. 4.2.4. RNA recurentă

Elementele caracteristice ale RNA recurente constau în faptul că unitățile de procesare sunt neliniare, conexiunile sinaptice sunt simetrice și feedback-ul este folosit intensiv. Din această categorie fac parte RAN Hopfield, având structura prezentată în fig.4.2.5.

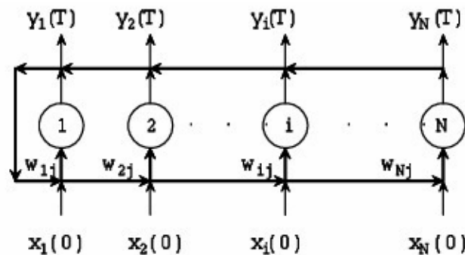


Fig. 4.2.5. RNA Hopfield

Abordarea lui Hopfield se referă la rețelele recurente care pot fi folosite la simularea memoriilor asociative și la rezolvarea problemelor de optimizare combinatorie. Memoriile asociative sunt sisteme dinamice ce permit stocarea și extragerea informațiilor prin intermediul parametrilor, pe baza unor exemple incomplete sau deteriorate. Stabilirea ponderilor conexiunilor dintre neuroni se realizează astfel încât informațiile de memorat să devină puncte fixe (stări staționare) ale dinamicii rețelei [Tudor2012].

O rețea Hopfield poate fi utilizată ca o memorie asociativă sau ca un optimizator. În cazul în care este utilizată ca o memorie asociativă vectorul de intrare  $\mathbf{x}$ , căruia îi corespunde  $m$  exemple de antrenare, are componente binare (+1 sau -1).



În cazul în care este utilizată ca un optimizator, vectorul de intrare are componente reale ce corespund unor variabile ce minimizează funcția dată.

Algoritmul de antrenare a unei rețele Hopfield se poate formula în modul următor [Eremia2006]:

a) se inițializează vectorul  $\mathbf{x}$  intrărilor cu  $\mathbf{x}(0)$ .

b) la un pas oarecare  $t$  ( $t = 0, 1, 2, \dots$ ) se calculează noile intrări ale celor  $n$  neuroni:

$$x_j(t+1) = y_j(t) + g \left( \sum_{i=1}^{j-1} [w_{ij} \cdot x_i(t+1)] + \sum_{i=1}^n [w_{ij} \cdot x_i(t)] \right), \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.2.7)$$

cu

$$g(h_j) = \begin{cases} -1 & \text{pentru } h_j \leq T_j \\ +1 & \text{pentru } h_j > T_j \end{cases} \quad (4.2.8)$$

c) condiția de terminare antrenării:

$$\text{Max}_j \{ |\Delta x_j(t)| \} = \text{Max}_j \{ |x_j(t+1) - x_j(t)| \} < \varepsilon, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.2.9)$$

### 4.2.3. Învățarea RNA

#### 4.2.3.1. Considerații preliminare

RNA achiziționează cunoștințele prin învățare. Învățarea presupune adaptarea parametrilor liberi ai RNA (ponderi, praguri, rată de învățare, uneori chiar forma funcției de activare sau structura rețelei) ca urmare a stimulilor mediului în care se găsește rețeaua [Tiponut2002].

Vectorii de instruire sunt prezentați RNA în mod secvențial, iar ponderile sinaptice, care memorează practic cunoștințele rețelei, sunt adaptate pentru a extrage informația pe care acești vectori o conțin. Tipul de învățare este determinat de maniera în care sunt ajustați parametrii liberi ai RNA. Deși în literatura RNA există o mare diversitate de opinii în ceea ce privește modul de clasificare al algoritmilor și tipul de învățare fig. 4.2.6 încearcă să sintetizeze principalele direcții.

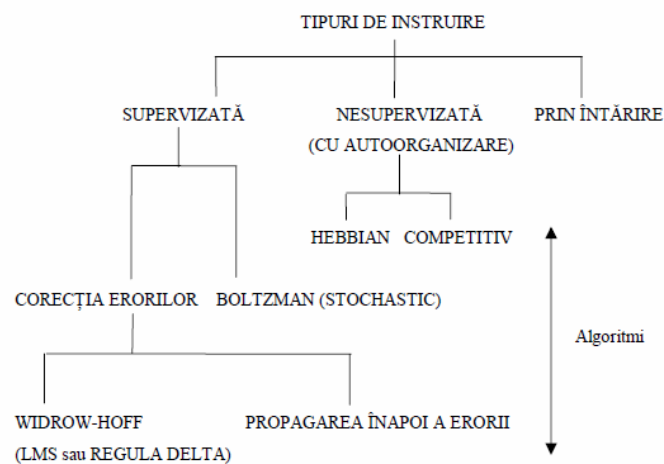


Fig. 4.2.6. Tipuri și algoritmi de învățare

Cunoștințele unei RNA sunt înglobate în valorile ponderilor aparținând sinapselor. Contrar programării clasice în care cunoștințele se transmit prin secvența de instrucțiuni care alcătuiesc acel program, la RNA valorile ponderilor pot fi stabilite numai în urma unui proces de învățare (antrenament).

Învățarea RNA se face prin modificarea continuă a ponderilor sinaptice, urmând o anumită regulă specifică fiecărui tip de RNA și metodă de învățare. Se poate face distincție între antrenamentul *supervizat* și cel *nesupervizat* [Luștea2004].

#### 4.2.3.2. Învățarea supervizată

Învățarea *supervizată* presupune existența perechilor exemplu intrări - ieșiri. Se adaptează ponderile sinaptice astfel ca la aplicarea intrărilor RNA să calculeze tocmai ieșirile pereche. Din punct de vedere matematic, problema constă în minimizarea unei funcții a erorilor definită pe baza diferențelor între ieșirile furnizate de RNA și cele "așteptate", funcție care depinde de ponderile sinapselor. Caracteristica generală a RNA este capacitatea lor de generalizare: furnizându-se RNA o intrare are nu face parte din mulțimea intrărilor de antrenament, ea este capabilă să stabilească ieșirea corectă.

Învățarea supervizată este caracterizată de prezența unui supervisor care cunoaște cu exactitate modul de asociere al intrărilor RNA cu ieșirile acestora fig. 4.2.7.

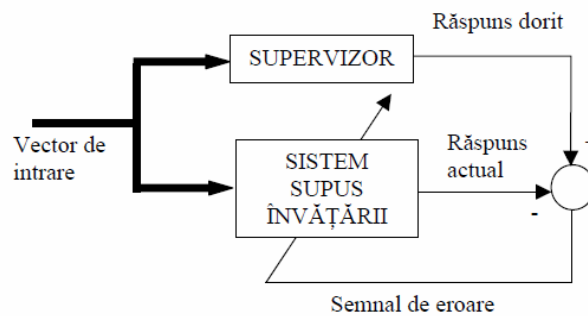


Fig. 4.2.7. Arhitectura unui sistem cu învățare supervizată

Parametrii RNA sunt modificați sub influența combinată a vectorilor de antrenament și a semnalului de eroare (diferența dintre răspunsul dorit și cel actual).

Pentru efectuarea antrenamentului, trebuie realizate câteva condiții esențiale [Tiponut2002]:

- Să se dispună de o bază de învățare (antrenament), adică o mulțime de perechi de valori mărimi de intrare - mărimi de ieșire ale procesului în discuție, *suficient de mare* pentru ca rezultatele antrenamentului să conducă la un bun rezultat. Este necesar ca numărul perechilor de date intrare-ieșire să depășească substanțial numărul de neuroni antrenați.
- Baza de învățare să fie reprezentativă (consistentă) pentru procesul stocastic considerat. Fiecare proces stocastic este caracterizat prin baza sa de generalizare, care reprezintă totalitatea valorilor pe care le pot lua perechile de date intrare-ieșire. Cu alte cuvinte, baza de generalizare corespunde populației statistice formate din valorile intrare-ieșire, iar baza de învățare este un eșantion reprezentativ al acesteia, suficient de mare. Condiția de reprezentativitate a bazei de învățare este asigurată dacă ea este o realizare aleatorie conformă, cu aceeași densitate de probabilitate, în raport cu baza de generalizare.
- Să existe un algoritm eficient de învățare care să conducă la soluția dorită, adică la diferențe neglijabile între:

- valorile reale ale ieșirilor RNA obținute atunci când sunt aplicate intrările din baza de învățare;
- valorile de ieșire existente în baza de învățare.
- Procesul de învățare să fie programat pe un calculator care să dispună de resursele hardware adecvate scopului propus.

Algoritmul standard de retropropagare a fost elaborat independent, de mai mulți autori, încă din anii '70. El este o metodă de tipul CMMP (celor mai mici pătrate), care minimizează funcția de eroare, când vectorul intrărilor parcurge baza de învățare. Procesul de minimizare constă dintr-o metodă de gradient. Corecția ponderilor sinapselor se face în sens contrar direcției gradientului funcției erorilor, corectându-le apoi, la nevoie, cu un factor de accelerare potrivit ales pentru micșorarea duratei de învățare.

Algoritmul de învățare a RNA cuprinde următoarele etape [Luștea2004]:

- a) Se inițializează parametrii RNA cu valori mici, aleatoare.
- b) Se alege o pereche de vectori intrare - ieșire din baza de antrenament.
- c) Se aplică vectorul de intrare și prin calcule succesive pentru fiecare strat de NA se determină ieșirile corespunzătoare, până la stabilirea ieșirilor de pe ultimul strat, care constituie de fapt ieșirile oferite de RNA. Acesta este *etapa de propagare înainte* a informației în RNA.
- d) Se calculează vectorul eroare ca diferență dintre vectorul ieșirilor obținute prin calcul și vectorul ieșirilor dorite, existent în baza de date. Cu ajutorul lui, folosind expresia gradientului funcției de eroare a ieșirilor și coeficienții de accelerare aleși adecvat, se determină corecțiile ponderilor legăturilor asociate ultimului strat. Din ele, pe o cale similară se stabilesc intrările dorite în ultimul strat, pentru ca folosind ponderile corectate să obținem ieșirile dorite, existente în baza de antrenament. Având valorile dorite ale intrărilor pentru ultimul strat, care trebuie să coincidă cu ieșirile de pe penultimul strat al RNA, printr-o metodologie identică cu cea aplicată ultimului strat de NA, se determină pentru penultimul strat corecțiile ponderilor sinaptice și intrările dorite la acest penultim strat. Se continuă procesul de corecție a ponderilor și determinare a erorilor pe straturile succesive situate anterior, până se ajunge la primul strat. Această etapă de calcul, constituie *propagarea înapoi (retropropagarea)* a erorilor și a corecțiilor corespunzătoare anulării erorilor. În acest moment coeficienții sinapselor RNA au valorile necesare pentru a obține rezultatele dorite în cazul perechii intrare-ieșire considerată în această etapă.
- e) Se revine la etapa de calcul cu numărul 3, însă pentru perechea următoare din baza de antrenament.
- f) După ce s-a parcurs în întregime baza de antrenament se revine și se reia din nou procesul de corecție a coeficienților RNA, începând cu etapa 2 de calcul. Acest lucru este necesar, deoarece prin parcurgerea vectorilor pereche din baza de învățare, coeficienții RNA au suferit modificări care îi fac să difere față de valorile obținute la pasul corespunzător parcurgerii anterioare a bazei de antrenament.
- g) Procesul de calcul se încheie atunci când, eroarea maximă obținută între vectorul calculat și cel dorit, pentru datele bazei de învățare, este mai mică decât un prag de eroare considerat acceptabil. În acest caz RNA oferă răspunsul corect (în limita erorii admise) pentru toate intrările existente în eșantionul de date de învățare și deci procesul de antrenament se consideră încheiat.
- h) După ce RNA a depășit procesul de învățare, se trece la *etapa de exploatare a rețelei*. Prin aplicare intrărilor corespunzătoare procesului considerat, ieșirile RNA vor trebuie să aproximeze, în limita pragului de eroare impus, ieșirile din procesul pentru care RNA a fost construită. Cu alte cuvinte, după terminarea antrenamentului, RNA este un model adecvat al procesului considerat.

Funcția de eroare, care se minimizează în procesul de antrenament al RNA are forma:

$$J(w_{i,j}^m) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_m} (y_i^m - \tilde{y}_i^m)^2 \quad (4.2.10)$$

$$\tilde{y}_i^m = \sum_{k=1}^{n_{m-1}} w_{k,i}^m \cdot x_k^m \quad (4.2.11)$$

$$\hat{y}_i^m = f_i^m(\tilde{y}_i^m)$$

Calculând derivata funcției de eroare  $J$  în raport cu ponderea unei sinapse de pe ultimul strat se obține:

$$\frac{\partial J}{\partial w_{i,j}^m} = \frac{\partial J}{\partial \tilde{y}_i^m} \cdot \frac{\partial \tilde{y}_i^m}{\partial w_{i,j}^m} = \frac{\partial J}{\partial \tilde{y}_i^m} \cdot \frac{\partial \sum_{k=1}^{n_{m-1}} w_{k,i}^m \cdot x_k^m}{\partial w_{i,j}^m} = \delta_i^m \cdot x_j^m \quad (4.2.12)$$

cu:

$$\delta_i^m = \frac{\partial J}{\partial \tilde{y}_i^m} = \frac{\partial J}{\partial \hat{y}_i^m} \cdot \frac{\partial \hat{y}_i^m}{\partial \tilde{y}_i^m} = -(y_i^m - \hat{y}_i^m) \cdot (f_i^m)' \quad (4.2.13)$$

Valoarea ponderii corectate, pentru NA din stratul de ieșire se determină cu următoarea formulă:

$$(w_{i,j}^m)_{\text{corectat}} = w_{i,j}^m + \eta \cdot \delta_i^m \cdot x_j^m = w_{i,j}^m - \eta \cdot (f_i^m)' \cdot x_j^m \cdot (y_i^m - \hat{y}_i^m) \quad (4.2.14)$$

iar pentru NA din stratul ascuns notat cu  $r$ , în locul erorii de la ieșire, trebuie introdusă eroarea de ieșire pentru stratul ascuns:

$$(w_{i,j}^r)_{\text{corectat}} = w_{i,j}^r - \eta \cdot (f_i^r)' \cdot x_j^r \cdot \sum_{k=1}^{n_{r+1}} \delta_k^{r+1} \cdot w_{k,i}^{r+1} \quad (4.2.15)$$

Stratul  $(r+1)$  este stratul imediat superior (mai aproape de ieșire) stratului  $r$ . Din acest motiv și ca urmare a direcției de propagare a calculelor, spre înapoi (spre intrare), toate mărimile din stratul superior sunt deja cunoscute.

$\eta$  se numește *rată de învățare* și ea poate fi aleasă constantă pentru întreg procesul iterativ, sau variabilă scăzător în funcție de numărul iterației. De alegerea ei depinde numărul de iterații necesar atingerii soluției. Valoarea se stabilește în general prin încercări, sau pe bază de experiență.

Expresia derivatei funcției sigmoide, folosite pentru activarea neuronului, este relativ simplă:

$$(Y)' = \frac{\partial f(\tilde{y})}{\partial \tilde{y}} = \frac{\partial}{\partial \tilde{y}} \cdot \left( \frac{1}{1 + e^{-\lambda \cdot \tilde{y}}} \right) = \frac{\lambda \cdot e^{-\lambda \cdot \tilde{y}}}{(1 + e^{-\lambda \cdot \tilde{y}})^2} = \lambda \cdot f(\tilde{y}) \cdot [1 - f(\tilde{y})] = \lambda \cdot y \cdot (1 - y) \quad (4.2.16)$$

ceea ce ușurează mult calculele în etapa de retropropagare.

Principalele probleme care pot apărea în decursul procesului de învățare a unei RNA sunt [Luștea2004]:

- *Paralizarea RNA* se produce atunci când ponderile sinapselor ajung la valori foarte mari, situație în care derivata funcției de activare este foarte mică. Deoarece corecția ponderilor este proporțională cu derivata funcției de activare, se poate ajunge la situația în care modificarea ponderilor de la o iterație la alta este nesemnificativă, ceea ce practic oprește ("paralizează") procesul de calcul.

Experimental s-a constatat că o rată de învățare mică micșorează mult probabilitatea de apariție a paralizării RNA.

- *Atingerea unui minim local* al funcției de eroare  $J$  poate "împotmoli" procesul de calcul. Ponderile sinapselor nu se modifică semnificativ de la o iterație la alta, iar eroarea globală la ieșire se situează peste limita impusă. Singura soluție de părăsire a "împotmolirii" într-un minim local este reluarea procesului de antrenare în condiții modificate: valorile inițiale ale ponderilor schimbate, rata de învățare modificată, funcția de activare schimbată etc. Totuși reluarea calculului în alte condiții nu este o garanție că nu se va ajunge din nou într-un (alt) minim local.

#### 4.2.3.3. Învățarea nesupervizată

Învățarea nesupervizată este caracterizată de absența unui semnal sau supervisor care să aprecieze corectitudinea asociațiilor intrare-ieșire fig. 4.2.8. RNA va descoperi singură legitățile conținute în datele de intrare printr-o reprezentare internă adecvată a trăsăturilor vectorului de intrare [Tiponut2002].

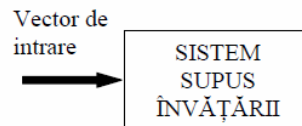


Fig. 4.2.8. Sistemul de învățare de tip nesupervizat

Învățarea nesupervizată poate fi utilizată doar atunci când în mulțimea datelor de intrare există redundanță. Fără redundanță este imposibil de a descoperi vreun model (patern) sau trăsătură în mulțimea datelor de intrare. Din acest punct de vedere redundanța asigură cunoașterea.

Tipurile de modele detectabile de către o rețea neuronală cu învățare nesupervizată depind de arhitectura rețelei neuronale. Analizând posibilitățile a ceea ce pot reprezenta datele de ieșire ale unei astfel de rețele neuronale, avem următoarele cazuri [Enăchescu2008]:

- **Similaritate.** Valoarea de ieșire reală generată de unicul neuron de ieșire al stratului de ieșire al rețelei neuronale ne poate furniza informații relativ la gradul de similaritate al unei noi date de intrare relativ la un model mediu prezentat rețelei neuronale în trecut. Rețeaua neuronală va învăța treptat ceea ce reprezintă un model mediu.
- **Analiza componentei principale (PCA – Principal Component Analysis).** Extinzând cazul precedent la situația rețelei neuronale cu mai mulți neuroni de ieșire în stratul de ieșire, ajungem la construcția unei mulțimi de axe în lungul cărora se măsoară gradul de similaritate relativ la date de antrenament prezentate anterior. Este folosită ca o metodă inspirată din statistică, numită *Analiza Componentei Principale*, în care se iau în considerare direcțiile vectorilor proprii ale matricei de corelație ale datelor de intrare.
- **Clustering.** O rețea neuronală cu valori de ieșire binare, având un unic neuron de ieșire activ (generând valoare binară 1) iar ceilalți neuroni de ieșire inactivi (generând valorile binare 0), va desemna cărei categorii aparține un vector de intrare. Apartenența la o anumită categorie trebuie efectuată de rețeaua neuronală pe baza informațiilor de corelare a vectorilor de intrare. Vectorii de intrare similari sau asemănători vor constitui o mulțime numită cluster (nor), fiind clasificați în aceeași clasă de ieșire, mai precis, același neuron din stratul de ieșire va fi activat.
- **Prototipuri.** În acest caz rețeaua neuronală va forma categorii ca și în cazul clusteringului, dar valoarea de ieșire nu va fi o unică valoare binară 1, ci un prototip sau exemplar reprezentativ al clasei sau categoriei corespunzătoare. Rețeaua neuronală se comportă în acest caz și ca o memorie asociativă.

- **Codificare.** Valoarea de ieșire al unei rețele neuronale poate să reprezinte versiunea codificată a datelor de intrare prezentate la stratul de intrare al rețelei neuronale, codificare făcută folosind un număr cât mai mic de biți, păstrând cât mai mult din relevanța informației originale. O astfel de codificare este necesară pentru o compresie a datelor, preliminară transmisiei acestora printr-un canal de transmisie cu bandă limitată (presupunând că la celălalt capăt al canalului de transmisie există o rețea neuronală decodificatoare, cu funcție inversă rețelei neuronale de codificare).
- **Hărți de trăsături** (Feature Mapping). Această situație apare în cazul când stratul de ieșire al rețelei neuronale posedă o arhitectură geometrică fixă (ca de exemplu o matrice bidimensională) și doar câte un neuron de ieșire este activ la un moment dat. În acest fel, vectorii de intrare prezentați la stratul de intrare al rețelei neuronale sunt aplicați la diferite puncte din schema (harta) reprezentată de stratul de ieșire, obținându-se o hartă topografică a vectorilor de intrare, vectorii de intrare asemănători fiind întotdeauna aplicați unor puncte apropiate ale hărții de trăsături reprezentată de stratul de ieșire.

La *învățarea nesupervizată* sau *prin competiție*, nu se impune ieșirea dorită, dar se lasă ca ponderile sinaptice să se organizeze singure într-un astfel de mod ca ele să reproducă similitudinile care pot să existe între intrări.

Un exemplu de rețea neuronală artificială care folosește învățarea nesupervizată este *rețeaua Kohonen*. După învățare, celulele RNA se organizează sub forma unei hărți în funcție de particularitățile punctelor comune descoperite ca urmare a mulțimii intrărilor care i-au fost aplicate. Din acest moment, când se introduce în RNA o intrare necunoscută ea este clasată în conformitate cu harta specifică rețelei neuronale artificiale.

În contextul preocupărilor din cadrul tezei de doctorat, rețeaua Kohonen nu prezintă interes.

### 4.3. Rețele neuronale de tip perceptron

#### 4.3.1. RNA de tip perceptron cu un singur strat

Arhitectura RNA de tip perceptron cu un singur strat (perceptron simplu) este prezentată în figura 4.3.1. Perceptronul simplu reprezintă în esență o particularizare a modelului McCulloch-Pittsal neuronului artificial pentru cazul în care funcția de activare este de tip treaptă unitate bipolară (relația 4.2.2, cu -1 în loc de 0) [Tiponuș2002].

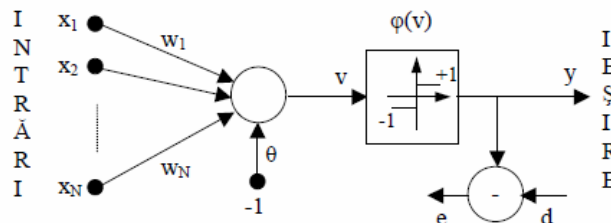


Fig. 4.3.1. Arhitectura perceptronului simplu

În funcționarea perceptronului simplu se disting două etape [Eremia2006]:

- etapa de învățare pe baza exemplelor;
- etapa de clasificare a exemplelor necunoscute.

Etapa de învățare are drept scop calculul ponderilor și al valorii pragului de activare pe baza unei mulțimi de  $M$  exemple. Pentru fiecare exemplu se specifică valorile de intrare  $x_1^j, x_2^j, \dots, x_n^j, j = 1, 2, \dots, M$  împreună cu ieșirea  $y$  corespunzătoare. Corecția ponderilor se efectuează în următoarea manieră:

- dacă pentru un exemplu perceptronul se activează când ar trebui să fie inactiv, se reduc ponderile  $w_i^j$  cu o cantitate proporțională cu  $x_i^j$ ;
- dacă perceptronul nu se activează deși ar trebui să o facă, se cresc ponderile  $w_i^j$  cu o cantitate proporțională cu  $x_i^j$ .

Algoritmul de antrenare al perceptronului simplu se poate formula în modul următor [Eremia2006]:

- a) se inițializează ponderile ( $w_i^j(0) = 0, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, M$ ) și valoarea pragului de activare  $T(0)$  la momentul de timp (pasul)  $t = 0$  cu valori aleatoare mici, de obicei în intervalul  $[-0,1; 0,1]$ ;
- b) se prezintă cele  $M$  exemple, fiecare exemplu  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, M$ ), fiind specificat prin valorile intrărilor  $x_1^j, x_2^j, \dots, x_n^j, j = 1, 2, \dots, M$  și valoarea ieșirii  $d_j$ ,  $y_j(0) = 0$  este valoarea ieșirii perceptronului la "momentul" (pasul)  $t = 0$ , pentru exemplul  $j$ ;
- c) la un pas oarecare  $t$  ( $t = 0, 1, 2, \dots$ ) se calculează noile valori ale ieșirii perceptronului pentru fiecare dintre cele  $M$  exemple:

$$y_j(t) = f\left(\sum_{i=1}^n w_i^j \cdot x_i^j - T\right), \quad j = 1, 2, \dots, M \quad (4.3.1)$$

- d) la același pas  $t$  se calculează noile valori ale ponderilor:

$$w_i^j(t+1) = w_i^j(t) + \eta \cdot [d_j - y_j(t)] \cdot x_i^j, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, M \quad (4.3.2)$$

unde

$$d_j = \begin{cases} 0 & \text{dacă exemplul aparține clasei A} \\ 1 & \text{dacă exemplul aparține clasei B} \end{cases} \quad (4.3.3)$$

și  $\eta$  este rata de învățare;

- e) condiția de terminare a antrenării:

$$y_j = d_j, \quad j = 1, 2, \dots, M \quad (4.3.4)$$

### 4.3.2. RNA de tip perceptron cu mai multe straturi

#### 4.3.2.1. RNA de tip perceptron cu mai multe straturi

Structura de principiu a unei Rețele Neuronale Artificiale de tip perceptron multistrat (Multilayer Perceptron – MLP) este prezentată în fig. 4.3.2. Ea cuprinde un strat de intrare, un strat de ieșire și mai multe straturi ascunse formate din NA (perceptroni) complex interconectați între ei. Fiecare strat folosește un anumit număr de NA, care se alege în funcție de natura problemei abordate, acest fapt constituind unul din aspectele importante ce trebuie rezolvate la proiectarea unei RNA.

În acest sens, nu există rețete general valabile, iar încercarea mai multor variante, care diferă prin numărul de NA pe strat, poate conduce prin compararea performanțelor diverselor tipuri de RNA analizate la stabilirea corectă a soluției optime.

O altă indicație în această direcție se referă la folosirea datelor din literatura de specialitate și la experiența acumulată în proiectarea RNA [Luștrea2004].

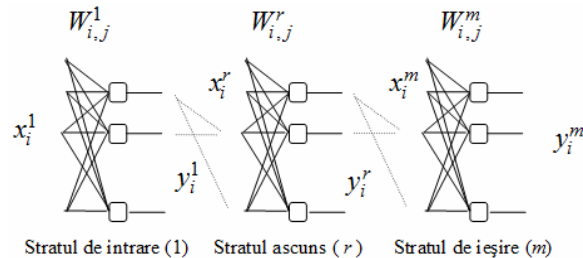


Fig. 4.3.2. Structura unei rețele neuronale organizată pe mai multe straturi

Numărul de NA pentru un strat poate diferi de cele ale straturilor învecinate. Pentru simplitate, fără a pierde mult din generalitate, se poate presupune că toate straturile au un număr identic de NA.

De regulă, fiecare NA de pe un anumit strat este conectat cu toți NA din stratul imediat următor, formând așa numitele *RNA conectate complet* (fully connected neural networks).

În general nu se admit legături între elementele care nu aparțin straturilor succesive. Există totuși excepții de la această regulă, așa numitele *conexiuni de scurtcircuitare* (short-cut connections) și anume atunci când se urmărește creșterea influenței anumitor intrări asupra ieșirilor RNA.

Numărul de straturi ascunse se alege prin încercări, în funcție de natura problemei abordate, însă practica a dovedit că în majoritatea situațiilor este suficientă prezența a unuia sau cel mult două straturi ascunse.

În RNA, semnalele de intrare se propagă de la stratul de intrare spre stratul de ieșire. Numai NA din straturile ascunse și eventual cei din stratul de ieșire realizează o prelucrare propriu-zisă a informației. Stratul de intrare are doar rolul de a distribui intrările primite din exterior, spre primul strat ascuns.

Odată stabilită structura RNA, numai ponderile  $W$  ale sinapselor pot fi modificate și în acest fel cu aceeași structură de rețea, numai prin fixarea adecvată a ponderilor pot fi rezolvate diverse probleme concrete.

După fixarea structurii sale, stabilirea ponderilor RNA se face printr-un proces de învățare (antrenare). Pe această cale, informația înglobată în valorile ponderilor legăturilor dintre neuroni, poate răspunde cu succes tuturor situațiilor concrete aparținând sistemului fizic pentru care a fost construită.

#### 4.3.2.2. Rețele neuronale Backpropagation

Perceptronii multistrat cu mai multe ieșiri și funcții de transfer sigmoide se mai numesc și rețele *backpropagation*, denumire care provine de la algoritmul de învățare utilizat de aceste structuri și algoritmul propagare înapoi a erorii [Eremia2006].

Intrărilor acestor rețele sunt valori reale cuprinse în intervalul  $[0, 1]$  și funcția de transfer trebuie să fie continuă și derivabilă pe domeniul de definiție. De obicei se utilizează funcția sigmoid, discutată în paragraful 4.2.1:

$$y = \frac{1}{1 + e^{-\sum_{i=1}^n x_i}} \quad (4.3.5)$$

Dacă suma intrărilor este 0, valoarea este  $y = 0,5$ . Dacă suma intrărilor crește, ieșirea tinde către +1. Dacă suma intrărilor scade, valoarea ieșirii tinde către 0. Datorită caracterului funcției de transfer, valorile ieșirilor nu vor putea fi niciodată 0 sau 1. Într-un proces de clasificare, fiecare ieșire corespunde unei regiuni de decizie sau unei



clase; pentru un exemplu necunoscut se selectează clasa corespunzătoare ieșirii cu cea mai mare valoare, de obicei aceea care tinde către 1.

Așa cum s-a precizat și pentru cazul perceptronului simplu, funcționarea unei rețele perceptron multistrat cuprinde două etape: *etapa de învățare* în care, pe baza mulțimii de exemple cunoscute, se sintetizează ponderile și valorile pragurilor de activare, și etapa de recunoaștere (testare), în care rețeaua este utilizată pentru a clasifica mulțimi de valori necunoscute.

Algoritmul de învățare al rețelelor backpropagation cuprinde două etape principale:

- *parcursere directă a rețelei*, de la intrări spre ieșiri, în care se activează rețeaua și se determină valorile ieșirilor;
- *parcursere înapoi a rețelei*, de la ieșiri spre intrări, în care ieșirile calculate se compară cu ieșirile din exemple și se determină o estimare a erorii, această estimare a erorii fiind propagată înapoi și utilizată la actualizarea ponderilor.

Sintetic, algoritmul rețelei Backpropagation se prezintă după cum urmează [Eremia2006]:

#### □ Inițializarea

Ponderile și pragurile rețelei sunt inițializate aleator cu valori nenule, distribuite într-un interval redus (de exemplu  $[-0,1; 0,1]$  sau  $\left[-\frac{2,4}{NI}; \frac{2,4}{NI}\right]$ , unde  $NI$  este numărul de intrări al rețelei backpropagation.

În situația în care toate valorile inițiale sunt nule, gradientii care vor fi calculați pe parcursul antrenării vor fi tot 0 și rețeaua nu va învăța. De aceea, este indicat să se realizeze mai multe antrenări, cu ponderi inițiale diferite, pentru a găsi cele mai bune valori pentru funcția obiectiv (minimumul erorii). Dacă valorile inițiale sunt mari, derivata funcției sigmoid este foarte mică, și astfel învățarea este foarte lentă.

#### □ Realizarea unei epoci de antrenare

O epocă reprezintă prelucrarea tuturor exemplelor din mulțimea de antrenare. În majoritatea cazurilor, antrenarea rețelei presupune mai multe epoci de antrenare, o singură epocă de antrenare nefiind suficientă.

Ponderile vor fi ajustate numai după ce toate exemplele ce constituie mulțimea de antrenare vor fi aplicate intrărilor. Astfel, se inițializează toți gradientii ponderilor și eroarea curentă cu 0:

$$\Delta w_{ij} = 0; E = 0 \quad (4.3.6)$$

#### □ Propagarea înainte

- La intrările rețelei se aplică un exemplu din setul de antrenare.
- Se calculează ieșirile neuronilor din stratul ascuns:

$$y_j(p) = f\left(\sum_{i=1}^n [x_i(p) \cdot w_{ij}(p) - T_j]\right), \quad j = 1, 2, \dots, b \quad (4.3.7)$$

unde  $n$  este numărul de intrări ale neuronului  $j$  din stratul ascuns, iar  $f$  este funcția de activare sigmoidă, iar  $p$  se referă la exemplul curent de învățare.

- Se calculează ieșirile reale ale rețelei:

$$y_k(p) = f\left(\sum_{j=1}^b [x_{jk}(p) \cdot w_{jk}(p) - T_k]\right), \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (4.3.8)$$

unde  $m$  este numărul de intrări ale neuronului  $k$  din stratul de ieșire.

- Se actualizează eroarea pe epocă:

$$E = E + \frac{[e_k(p)]^2}{2} \quad (4.3.9)$$

#### □ Propagarea erorilor înapoi și ajustarea ponderilor

- Se calculează gradientii erorilor pentru neuronii din stratul de ieșire:

$$\delta_k(p) = f' \cdot e_k(p) \quad (4.3.10)$$

unde:  $f'$  este derivata funcției de activare, iar eroarea:

$$e_k(p) = y_{d,k}(p) - y_k(p) \quad (4.3.11)$$

unde:  $y_{d,k}(p)$  - valoarea reală a ieșirii  $k$ ;

$y_k(p)$  - valoarea calculată a ieșirii  $k$ .

În cazul funcției sigmoid derivata acesteia este:

$$f'(p) = \frac{2 \cdot a \cdot e^{-a \cdot x}}{(1 + e^{-a \cdot x})^2} = \frac{a}{2} \cdot [1 - f(x)] \cdot [1 + f(x)] \quad (4.3.12)$$

iar gradientii erorilor pentru neuronii din stratul de ieșire devin:

$$\delta_k(p) = y_k(p) \cdot [1 - y_k(p)] \cdot e_k(p) \quad (4.3.13)$$

- Se actualizează gradientii ponderilor dintre stratul ascuns și stratul de ieșire:

$$\Delta w_{jk}(p) = \Delta w_{jk}(p) - y_j(p) \cdot \delta_k(p) \quad (4.3.14)$$

- Se calculează gradientii erorilor pentru neuronii din stratul ascuns:

$$\delta_i(p) = y_i(p) \cdot [1 - y_i(p)] \cdot \sum_{k=1}^m [\delta_k(p) \cdot w_{jk}(p)] \quad (4.3.15)$$

unde  $m$  - este numărul de ieșiri ale rețelei.

- Se actualizează gradientii ponderilor dintre stratul de intrare și stratul ascuns:

$$\Delta w_{jk}(p) = \Delta w_{jk}(p) + x_j(p) \cdot \delta_i(p), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, b \quad (4.3.16)$$

#### □ Trecerea la o nouă iterație

Dacă mai sunt vectori de test în epoca de antrenare curentă, se efectuează faza de *Propagarea înainte* și cea de *Propagarea erorilor înapoi și ajustarea ponderilor*, până la epuizarea tuturor exemplelor.

#### □ Verificarea condiției de terminare

Dacă s-a încheiat o epocă de antrenare, se actualizează ponderile tuturor conexiunilor pe baza gradientilor ponderilor ( $\eta$  - rata de învățare):

$$w_{ij}(p) = w_{ij}(p) + \eta \cdot \Delta w_{ij}(p), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, b \quad (4.3.17)$$

Se testează dacă s-a îndeplinit criteriul de terminare ( $E < E_{max}$ ) sau dacă s-a atins un număr maxim de epoci de antrenare (s-a depășit numărul maxim de iterații). Dacă nici una din cele două condiții nu este satisfăcută, se trece la realizarea unei noi epoci de antrenare.

În situația în care este satisfăcut criteriul de terminare, algoritmul a reușit (rețeaua a învățat), în caz contrar, rețeaua nu a învățat. Pentru a putea găsi o soluție, fie se modifică viteza de antrenare, fie se aleg alte valori inițiale pentru ponderi (sau se aplică ambele măsuri).

Algoritmul de învățare backpropagation poate fi "văzul", la fel ca în cazul perceptronului, ca un proces de căutare, spațiul de căutare fiind reprezentat de toate

combinațiile posibile de ponderi și valori de deplasare. Un algoritm backpropagation poate ajunge să calculeze un set de ponderi care nu rezolvă problema (nu clasifică corect exemplele). Cu alte cuvinte, nu există un analog al teoremei de convergență a perceptronului pentru perceptronii multistrat.

S-a constatat că aceste rețele neuronale se comportă bine de cele mai multe ori, mai ales pentru un număr mare de ponderi, deci de legături. Rețelele de tip backpropagation, deși mult utilizate la ora actuală, prezintă dezavantajul că timpul de instruire este relativ ridicat în principal datorită unui factor de învățare stabilit interactiv. Chiar și pentru cazuri simple, numărul de etape necesar pentru calcularea unor ponderi corecte este extrem de mare. În plus, numărul de exemple necesar crește relativ exponențial cu dimensiunea rețelei.

Metoda de antrenare utilizată în cadrul RNA de tip backpropagation, este o *metodă supervizată*, pentru fiecare exemplu  $x$  al mulțimii de antrenare cunoscându-se ieșirea  $y$  corespunzătoare acestuia.

#### 4.3.2.3. Alegerea parametrilor perceptronului cu mai multe straturi

În general, este acceptată ideea că perceptronului multistrat poate aproxima cu o precizie foarte bună orice funcție continuă neliniară, însă cu prețul creșterii dimensiunilor rețelei. Teorema lui Kolmogorov dă și numărul unui asemenea MLP:  $M$ ,  $2M+1$ ,  $N$ .  $M$  și  $N$  reprezintă numărul de elemente din primul strat (care nu efectuează procesări), respectiv din ultimul strat [Eremia2006].

Se consideră utile următoarele recomandări pentru construcția rețelei MLP:

- *Numărul neuronilor din stratul de intrare* depinde de specificul problemei, în particular, de numărul de intrări considerate în aplicația respectivă.
- *Dimensiunile stratului de ieșire* depind, de asemenea, de specificul problemei, precum și de alți factori, cum ar fi: tipul mărimilor de ieșire (analogice sau binare), existența sau absența unei ieșiri speciale pentru semn etc. Cu alte cuvinte, numărul neuronilor din stratul de ieșire depinde de forma și de structura în care se doresc a fi prezentate estimările pentru mărimile de ieșire.
- *Numărul neuronilor din stratul ascuns* – în principiu, se recomandă să se utilizeze un număr cât mai mic de neuroni ascunși, deoarece fiecare neuron multiplică numărul conexiunilor. Totodată, numărul neuronilor din stratul ascuns poate fi apreciat de dimensiunile exemplelor de intrare.
- O posibilitate de dezvoltare a rețelei, cunoscută sub numele de *Cascade Correlation*, pornește de la un singur neuron ascuns și, pe durata antrenării, creează neuroni suplimentari, în măsura în care aceștia contribuie la îmbunătățirea performanțelor.
- Un alt parametru, care influențează într-o mare măsură performanțele RNA este *rata de învățare*  $\eta$ . De obicei, inițial se adoptă valori mici, de ordinul 0,05 până la 0,25, pentru a asigura orientarea și apropierea rețelei de soluția problemei. Asemenea valori ale ratei de învățare conduc la un număr mare de iterații, dar cel mai adesea, acesta este "prețul" pentru obținerea performanțelor dorite. În unele cazuri, este necesară creșterea valorii lui  $\eta$  în cursul antrenării. Mărirea ratei de învățare, pe măsură ce eroarea rețelei scade, contribuie adesea la accelerarea convergenței. Nu se recomandă, utilizarea unor valori prea mari, deoarece acestea ar putea conduce la oscilații în jurul valorii de minim.
- O altă posibilitate de creștere a vitezei de convergență constă în *actualizarea ponderilor*, folosind un termen adițional, numit "*momentum*", care ține seama de corecția ponderilor în iterația anterioară.

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta \cdot \delta_j \cdot y_j + \alpha \cdot \Delta w_{ij}(t) \quad (4.3.18)$$

Metoda definită de această relație se numește *retropropagare cu moment*, fiind vorba de fapt despre o variantă a metodei gradientului conjugat – tehnică de optimizare neliniară [Kilyeni2010].

După cum s-a arătat după ce rețeaua s-a "așezat" pe un minim, indiferent dacă acesta este local sau global, potrivit criteriului de oprire, algoritmul de învățare se întrerupe. Totuși, dacă este vorba de un minim local, este foarte probabil ca eroarea la ieșirea rețelei să fie inacceptabil de mare. Dacă însă RNA furnizează o soluție acceptabilă, din punct de vedere al erorii, nu contează dacă minimul este local sau global, și nici măcar dacă antrenarea a fost oprită într-un anumit punct, înainte ca un minim adevărat să fie atins.

Dacă nu există informații pertinente asupra ordinului de mărime al ponderilor, se recomandă inițializarea acestuia cu valori mici, în intervalul  $[-0,5; +0,5]$ .

- Alegerea *seturilor de învățare (antrenare) și generalizare pentru MLP*. În acest sens se menționează că, criteriul de minimizare folosit în algoritmul de învățare backpropagation prezintă un inconvenient major: acest algoritm urmărește minimizarea funcției eroare folosind baza de învățare, în timp ce performanțele reale ale RNA trebuie apreciate pentru baza de generalizare. De aceea, o învățare performantă implică existența unei legături între baza de învățare și baza de generalizare. Astfel, se presupune că cele două baze sunt realizări aleatorii conforme, cu aceeași densitate de probabilitate.
- *Scalarea variabilelor de intrare și ieșire ale RNA*, astfel ca valorile acestora să se găsească între 0 și 1; în acest sens, se raportează parametrii de intrare și de ieșire la mărimi de bază corespunzătoare.

#### 4.4. Concluzi

În acest capitol s-au prezentat rețelele neuronale artificiale (RNA). Împreună cu capitolul următor, constituie baza teoretică pentru metoda aleasă de soluționare a prognozei consumului de energie electrică (prezentată în capitolul 6).

În prima parte s-au trecut în revistă o serie de aspecte generale legate de RNA: prezentarea terminologiei de bază și a structurii RNA, clasificarea RNA, domeniile de aplicație, avantajele și dezavantajele utilizării RNA. Un paragraf aparte a fost consacrat prezentării tipurilor de învățare specifice RNA – supravegheată, respectiv nesupravegheată.

În continuare atenția s-a focalizat asupra modelului neuronului și asupra structurii RNA. Un subcapitol aparte a fost consacrat rețelelor neuronale de tip perceptron, cu un singur strat și cu mai multe straturi, cu accent special pe cele de tip backpropagation.

În continuare se prezintă o sinteză a contribuțiilor personale:

- realizarea unei sinteze originale asupra unei game largi de aspecte legate de rețelele neuronale artificiale;
- pregătirea elementelor teoretice necesare pentru modelul de prognoză utilizat în cadrul tezei: RNA cu structură perceptron multistrat, algoritm de învățare de tip backpropagation;
- evidențierea parametrilor "reglabili" ai perceptronului cu mai multe straturi, în vederea sporirii performanțelor de aplicare în problema prognozei consumului de energie electrică.

## 5. METODE NUMERICE ȘI TEHNICI DE OPTIMIZARE

Capitolul 5 are ca obiectiv prezentarea sintetică a metodelor numerice și a tehnicilor de optimizare utilizate în capitolul următor, la elaborarea modelului matematic și a metodei de soluționare a prognozei consumului de energie electrică (a curbelor de sarcină) folosind tehnici de inteligență artificială: procedee de optimizare neliniară utilizate la ameliorarea performanțelor rețelelor neuronale (cu un accent special asupra metodei gradientilor conjugați); metode de interpolare polinomială a funcțiilor (polinoame de tip Newton de speța 1), utilizate la metoda gradientilor conjugați; diferențe finite, utilizate la prognosticarea calității prognozei curbelor de sarcină în funcție de datele existente; procedee de aproximare polinomială bazate pe metoda celor mai mici pătrate, utilizate la prognoza clasică prin extrapolare liniară și parabolică.

### 5.1. Aproximarea numerică a funcțiilor

#### 5.1.1. Considerații preliminare

În formularea cea mai generală a problemei aproximării numerice a funcțiilor, se consideră o funcție reală  $y = f(x): [a, b] \rightarrow \mathfrak{R}$ , ea fiind definită prin  $n+1$  puncte distincte cunoscute [Kilyeni2011]:

$$(x_0, y_0); (x_1, y_1); (x_2, y_2); \dots; (x_n, y_n) \quad (5.1.1)$$

adică:

$$(x_i, y_i), \quad y_i = f(x_i), \quad i = 0, 1, 2, \dots, n \quad (5.1.2)$$

În cazul cel mai general, cele  $n+1$  puncte distincte pot fi oarecare în intervalul  $[a, b]$ . În majoritatea aplicațiilor din domeniul electroenergeticii ele sunt echidistante, cu pasul de discretizare  $h$ , primul și ultimul punct corespunzând limitelor intervalului  $[a, b]$ , adică  $x_0 = a$  și  $x_n = b$ .

$$x_{i+1} - x_i = h, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (5.1.3)$$

Se cere să se determine o altă funcție  $g(x)$ , având o expresie relativ simplă, care să aproximeze cât mai bine funcția  $f(x)$  în intervalul considerat ( $x \in [a, b]$ ).

Se menționează că în situațiile practice nu este neapărat necesară determinarea explicită a expresiei funcției de aproximare  $g(x)$ , fiind suficientă doar găsirea valorii lui  $g(x)$  pentru  $\forall x \in [a, b]$ . Dacă valorile lui  $x$  pentru care se aproximează funcția  $f(x)$  aparțin intervalului  $[a, b]$ , atunci se utilizează termenul de "interpolare", iar dacă problema se extinde și în afara intervalului  $[a, b]$ , atunci termenul de "extrapolare".

Datorită avantajelor prezentate, de regulă se utilizează funcții de aproximare polinomială [Kilyeni2011].

$$g(x) = P_n(x) = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + \dots + a_n \cdot x^n \quad (5.1.4)$$

Se cunosc următoarele tipuri de metode de aproximare sau, cu alte cuvinte, de determinare, explicită sau implicită, a coeficienților polinomului de aproximare  $P(x)$ :

- a) metode care utilizează polinoame de aproximare  $P_n(x)$  de grad  $n$  determinat de numărul de puncte în care se cunoaște valoarea funcției  $f(x)$ , numite polinoame de interpolare, pentru care coeficienții  $a_i, i = 0, 1, 2, \dots, n$ , rezultă din condițiile (5.1.5),

$$P_n(x_i) = y_i = f(x_i) \quad (5.1.5)$$

adică polinomul de interpolare "trece prin punctele date";

- b) metode care utilizează polinoame de aproximare  $P_m(x)$ , de grad  $m$  mult mai mic  $n$ , ai căror coeficienți rezultă prin aplicarea metodei celor mai mici pătrate, în sensul definit de relația (5.1.6),

$$S = \sum_{i=0}^n [P_m(x_i) - f(x_i)]^2 = \text{Minim} \quad (5.1.6)$$

ceea ce conduce la condițiile exprimate de relația (5.1.7),

$$\frac{\partial S}{\partial a_j} = 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, m \quad (5.1.7)$$

adică polinomul de aproximare  $P_m(x)$  "trece printre puncte", realizând "cea mai bună aproximare" a funcției  $f(x)$ ;

- c) metode bazate pe funcțiile "spline" polinomiale, care, în locul polinoamelor de interpolare unice pentru  $x \in [a, b]$ , folosesc "polinoame pe porțiuni", de grad relativ mai redus.

### 5.1.2. Diferențe finite și puteri generalizate

La majoritatea polinoamelor de interpolare se utilizează calculul cu diferențe, aplicate asupra mulțimii de puncte definite de relația (5.1.1). Există o mare varietate a tipurilor de diferențe, prezentându-se doar cele finite directe ("la dreapta", "înainte").

Diferențele finite directe de ordinul 1, calculate atât pentru  $x$  cât și pentru  $y$  sunt definite de relațiile (5.1.8) - (5.1.9) [Kilyeni2011]:

$$\Delta y_i = y_{i+1} - y_i, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (5.1.8)$$

$$\Delta x_i = x_{i+1} - x_i, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (5.1.9)$$

cu mențiunea că în cazul punctelor echidistante  $\Delta x_i = h, i = 0, 1, 2, \dots, n-1$ . Similar se definesc diferențele directe de ordinul 2 și cele de ordinul 3 (relațiile doar pentru  $y$  - în cazul punctelor echidistante diferențele de ordin superior pentru  $x$  au valoare nulă):

$$\Delta^2 y_i = \Delta y_{i+1} - \Delta y_i = \Delta(\Delta y_i), \quad i = 0, 1, 2, \dots, n-2 \quad (5.1.10)$$

$$\Delta^3 y_i = \Delta^2 y_{i+1} - \Delta^2 y_i = \Delta(\Delta(\Delta y_i)), \quad i = 0, 1, 2, \dots, n-3 \quad (5.1.11)$$

Pe baza relațiilor anterioare rezultă simplu relația generală de definire a diferențelor directe de ordinul  $k, k = 1, 2, 3, \dots, n$ , care este de forma (5.1.12).

$$\Delta^k y_i = \Delta^{k-1} y_{i+1} - \Delta^{k-1} y_i, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n-k \quad (5.1.12)$$

Polinoamele de interpolare se scriu mai simplu dacă se definește noțiunea de putere generalizată. Se înțelege prin putere generalizată de ordinul  $k, k = 0, 1, 2, \dots$ , a unei valori numerice  $x$ , notată cu  $x^{[k]}$ , produsul de  $k$  factori de formă (5.1.13),

$$x^{[k]} = x \cdot (x - h) \cdot (x - 2 \cdot h) \cdot (x - 3 \cdot h) \cdot \dots \cdot [x - (k - 1) \cdot h] \quad (5.1.13)$$

unde  $h$  este o constantă cunoscută. Pentru  $k = 0$  rezultă  $x^{[0]} = 1$ , iar pentru  $k = 1$  rezultă  $x^{[1]} = x$ . Dacă  $h = 0$  atunci noțiunea de putere generalizată conduce la cea de putere clasică.

### 5.1.3. Polinoame de interpolare Newton de prima speță

Polinomul de interpolare de tip Newton de speța întâi este de forma (5.1.14) [Kilyeni2011], fiind necesară determinarea coeficienților  $a_k$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots, n$ .

$$P_n(x) = a_0 + a_1 \cdot (x - x_0)^{[1]} + a_2 \cdot (x - x_0)^{[2]} + \dots + a_n \cdot (x - x_0)^{[n]} \quad (5.1.14)$$

În acest scop, condițiile (5.1.5) se pun sub forma echivalentă (5.1.15).

$$\Delta^k P_n(x_0) = \Delta^k y_0, \quad k = 0, 1, 2, \dots, n \quad (5.1.15)$$

Ținând cont de relația (5.1.3), care exprimă echidistanța, cu pasul de discretizare  $h$ , a punctelor  $x_i$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots, n$ , puterile generalizate din relația (5.1.13) se pot aduce la forma indicată de relația (5.1.16):

$$(x - x_0)^{[k]} = (x - x_0) \cdot (x - x_1) \cdot (x - x_2) \cdot \dots \cdot (x - x_{k-1}), \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (5.1.16)$$

Aplicând relația (5.1.15) pentru  $k = 0$ , primul coeficient rezultă simplu:

$$P_n(x_0) = a_0 = y_0 \quad (5.1.17)$$

Continuând pentru  $k = 1$ , se obține:

$$\Delta P_n(x_0) = P_n(x_1) - P_n(x_0) = a_0 + a_1 \cdot (x_1 - x_0) - a_0 = a_1 \cdot h = \Delta y_0 \quad (5.1.18)$$

rezultând expresia coeficientului  $a_1$ :

$$a_1 = \frac{\Delta y_0}{1! \cdot h} \quad (5.1.19)$$

Procedând similar pentru  $k = 2$ , se obține expresia coeficientului  $a_2$ :

$$\begin{aligned} \Delta^2 P_n(x_0) &= P_n(x_2) - P_n(x_1) - P_n(x_1) + P_n(x_0) = a_0 + a_1 \cdot (x_2 - x_0) + \\ &+ a_2 \cdot (x_2 - x_0) \cdot (x_2 - x_1) - 2 \cdot a_0 - 2 \cdot a_1 \cdot (x_1 - x_0) + a_0 = 2 \cdot a_2 \cdot h^2 = \Delta^2 y_0 \end{aligned} \quad (5.1.20)$$

$$a_2 = \frac{\Delta^2 y_0}{2! \cdot h^2} \quad (5.1.21)$$

Generalizând procedura de mai sus, coeficienții din relația (5.1.14) se pot exprima sub forma

$$a_k = \frac{\Delta^k y_0}{k! \cdot h^k}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, n \quad (5.1.22)$$

cu observația că pentru  $k = 0$  rezultă  $a_0 = y_0$ .

În aceste condiții, polinomul de interpolare Newton de speța întâi devine:

$$P_n(x) = y_0 + \sum_{k=1}^n \frac{\Delta^k y_0}{k! \cdot h^k} \cdot (x - x_0)^{[k]} \quad (5.1.23)$$

Pentru cazul punctelor echidistante se definește, de regulă,  $q$ , care indică "numărul de pași" necesari pentru a ajunge de la  $x_0$  la  $x$ ,

$$q = \frac{x - x_0}{h} \quad (5.1.24)$$

polinomul de interpolare Newton de prima speță ajungând la forma (5.1.25).

$$P_n(q) = y_0 + q \cdot \Delta y_0 + \frac{q \cdot (q-1)}{2!} \cdot \Delta^2 y_0 + \dots + \frac{q \cdot (q-1) \cdot (q-2) \cdot \dots \cdot (q-n+1)}{n!} \cdot \Delta^n y_0 \quad (5.1.25)$$

Pentru  $n = 1$  relația (5.1.23) conduce la formula de interpolare liniară:

$$P_1(q) = y_0 + q \cdot \Delta y_0 \quad (5.1.26)$$

sau

$$P_1(x) = y_0 + \frac{x - x_0}{h} \cdot (y_1 - y_0) = y_0 + \frac{(x - x_0)}{x_1 - x_0} \cdot (y_1 - y_0) \quad (5.1.27)$$

Pentru  $n = 2$  relația (5.1.23) conduce la formula de interpolare parabolică:

$$P_2(q) = y_0 + q \cdot \Delta y_0 + \frac{q \cdot (q-1)}{2} \cdot \Delta^2 y_0 \quad (5.1.28)$$

sau

$$P_2(x) = y_0 + \frac{x - x_0}{h} \cdot (y_1 - y_0) + \frac{(x - x_0) \cdot (x - x_1)}{2 \cdot h^2} \cdot (y_2 - 2 \cdot y_1 + y_0) \quad (5.1.29)$$

#### 5.1.4. Aproximarea cu metoda celor mai mici pătrate

##### 5.1.4.1. Considerații preliminare

Așa cum s-a precizat în paragraful 5.1.1, se cere să se determine polinomul  $P_m(x)$ , de gradul  $m \ll n$ , de forma dată în relația (5.1.4), care să "aproximeze cel mai bine" funcția  $f(x)$ , trecând "printre punctele date", adică să satisfacă condiția (5.1.30),

$$S = \sum_{i=0}^n [P_m(x_i) - y_i]^2 = \text{Minim} \quad (5.1.30)$$

cea ce înseamnă minimizarea sumei pătratelor diferențelor dintre valorile approximate și cele "exacte" în cele  $n+1$  puncte unde există informații [Kilyeni2011].

Coeficienții  $a_j$ ,  $j = 0, 1, 2, \dots, m$ , ai polinomului de aproximare  $P_m(x)$  se rezultă prin soluționarea sistemului liniar de ecuații de ordinul  $m$  definit de relațiile (5.1.31).

$$\frac{\partial S}{\partial a_j} = 0, \quad j = 0, 1, 2, \dots, m \quad (5.1.31)$$

În continuare se prezintă aproximarea polinomială cu metoda celor mai mici pătrate pentru cazul  $m = 1$  (aproximarea liniară), pentru  $m = 2$  (aproximarea parabolică) și pentru cazul general, de valoare oarecare pentru  $m$ .

##### 5.1.4.2. Aproximarea liniară

Cazul  $m = 1$  corespunde unei funcții polinomiale de aproximare liniară (regresie liniară) de forma (5.1.32),

$$P_1(x) = a_0 + a_1 \cdot x \quad (5.1.32)$$



rezultând următoarele expresii pentru derivatele parțiale, definite de relațiile (5.1.31), ale sumei pătratelor abaterilor [Kilyeni2011]:

$$\frac{\partial S}{\partial a_0} = 2 \cdot \sum_{i=0}^n [(a_0 + a_1 \cdot x_i - y_i) \cdot 1] \quad (5.1.33)$$

$$\frac{\partial S}{\partial a_1} = 2 \cdot \sum_{i=0}^n [(a_0 + a_1 \cdot x_i - y_i) \cdot x_i] \quad (5.1.34)$$

Introducând notațiile (5.1.35) - (5.1.39),

$$s_0 = n + 1 \quad (5.1.35)$$

$$t_0 = \sum_{i=0}^n y_i \quad (5.1.36)$$

$$s_1 = \sum_{i=0}^n x_i \quad (5.1.37)$$

$$t_1 = \sum_{i=0}^n (y_i \cdot x_i) \quad (5.1.38)$$

$$s_2 = \sum_{i=0}^n x_i^2 \quad (5.1.39)$$

se obține sistemul linear de ordinul 2 definit de relația (5.1.40),

$$\begin{cases} s_0 \cdot a_0 + s_1 \cdot a_1 = t_0 \\ s_1 \cdot a_0 + s_2 \cdot a_1 = t_1 \end{cases} \quad (5.1.40)$$

de unde se calculează simplu expresiile coeficienților  $a_0$  și  $a_1$ .

### 5.1.4.3. Aproximarea parabolică

Cazul  $m = 2$  corespunde unei funcții polinomiale de aproximare parabolică (regresie parabolică) de forma (5.1.41),

$$P_2(x) = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 \quad (5.1.41)$$

rezultând următoarele expresii pentru derivatele parțiale, definite de relațiile (5.1.31), ale sumei pătratelor abaterilor [Kilyeni2011]:

$$\frac{\partial S}{\partial a_0} = 2 \cdot \sum_{i=0}^n [(a_0 + a_1 \cdot x_i + a_2 \cdot x_i^2 - y_i) \cdot 1] \quad (5.1.42)$$

$$\frac{\partial S}{\partial a_1} = 2 \cdot \sum_{i=0}^n [(a_0 + a_1 \cdot x_i + a_2 \cdot x_i^2 - y_i) \cdot x_i] \quad (5.1.43)$$

$$\frac{\partial S}{\partial a_2} = 2 \cdot \sum_{i=0}^n [(a_0 + a_1 \cdot x_i + a_2 \cdot x_i^2 - y_i) \cdot x_i^2] \quad (5.1.44)$$

Utilizând notațiile (5.1.35) - (5.1.39), la care se adaugă cele din relațiile (5.1.45) - (5.1.47),

$$t_2 = \sum_{i=0}^n (y_i \cdot x_i^2) \quad (5.1.45)$$

$$s_3 = \sum_{i=0}^n x_i^3 \quad (5.1.46)$$

$$s_4 = \sum_{i=0}^n x_i^4 \quad (5.1.47)$$

se obține sistemul liniar de ordinul 3 definit de relația (5.1.48),

$$\begin{cases} s_0 \cdot a_0 + s_1 \cdot a_1 + s_2 \cdot a_2 = t_0 \\ s_1 \cdot a_0 + s_2 \cdot a_1 + s_3 \cdot a_2 = t_1 \\ s_2 \cdot a_0 + s_3 \cdot a_1 + s_4 \cdot a_2 = t_2 \end{cases} \quad (5.1.48)$$

de unde se calculează simplu expresiile coeficienților  $a_0$ ,  $a_1$  și  $a_2$ .

#### 5.1.4.4. Aproximarea cu un polinom de grad oarecare

Cazul general corespunde unei funcții polinomiale de aproximare (regresie) de gradul  $m$  de forma prezentată în relația (5.1.49),

$$P_m(x) = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + \dots + a_m \cdot x^m \quad (5.1.49)$$

pentru care rezultă următoarea expresie generală a derivatelor parțiale, definite de relațiile (5.1.31), ale sumei pătratelor abaterilor [Kilyeni2011]:

$$\frac{\partial S}{\partial a_j} = 2 \cdot \sum_{i=0}^n (a_0 + a_1 \cdot x_i + a_2 \cdot x_i^2 + \dots + a_m \cdot x_i^m - y_i) \cdot x_i^j, \quad j = 0, 1, 2, \dots, m \quad (5.1.50)$$

Adaptând notații de tipul celor definite de relațiile (5.1.35) - (5.1.39) și (5.1.45) - (5.1.47), rezultă formele generale (5.1.51) - (5.1.52) ale acestora.

$$s_j = \sum_{i=0}^n x_i^j, \quad j = 0, 1, 2, \dots, 2m \quad (5.1.51)$$

$$t_j = \sum_{i=0}^n (y_i \cdot x_i^j), \quad j = 0, 1, 2, \dots, m \quad (5.1.52)$$

Se obține sistemul liniar de ordinul  $m$  definit de relația (5.1.53),

$$\begin{cases} s_0 \cdot a_0 + s_1 \cdot a_1 + s_2 \cdot a_2 + \dots + s_m \cdot a_m = t_0 \\ s_1 \cdot a_0 + s_2 \cdot a_1 + s_3 \cdot a_2 + \dots + s_{m+1} \cdot a_m = t_1 \\ s_2 \cdot a_0 + s_3 \cdot a_1 + s_4 \cdot a_2 + \dots + s_{m+2} \cdot a_m = t_2 \\ \dots \\ s_m \cdot a_0 + s_{m+1} \cdot a_1 + s_{m+2} \cdot a_2 + \dots + s_{m+m} \cdot a_m = t_m \end{cases} \quad (5.1.53)$$

de unde se calculează simplu expresiile coeficienților  $a_j$ ,  $j = 0, 1, 2, \dots, m$ .

Se menționează că matricea coeficienților sistemului (5.1.53) este de formă Töplitz: elementele diagonalei secundare și cele ale codiagonalelor secundare sunt respectiv egale [Kilyeni2011].

## 5.2. Tehnici de optimizare neliniară

### 5.2.1. Considerații preliminare

Forma cea mai generală a unei probleme de programare neliniară (PPN) se poate defini în maniera următoare: se consideră un set de  $n$  variabile independente  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , pentru care se caută acele valori care conduc la extremul dorit al funcției obiectiv (FOB) neliniare  $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , cu respectarea unor relații de restricție (RR) neliniare [Kilyeni2010]:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \text{Extrem (Minim sau Maxim)} \quad (5.2.1)$$

$$g_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \begin{cases} \leq \\ = \\ \geq \end{cases} 0, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (5.2.2)$$

Utilizând notația

$$\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^t \quad (5.2.3)$$

problema devine:

$$F(\mathbf{x}) = \text{Extrem (Minim sau Maxim)} \quad (5.2.4)$$

$$g_j(\mathbf{x}) \begin{cases} \leq \\ = \\ \geq \end{cases} 0, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (5.2.5)$$

Se menționează că în categoria RR intră și cele de limitare inferioară (superioară) a valorii unor variabile:

$$x_i \geq x_i^{\min} \Rightarrow x_i^{\min} - x_i \leq 0 \quad (5.2.6)$$

$$x_i \leq x_i^{\max} \Rightarrow x_i - x_i^{\max} \leq 0 \quad (5.2.7)$$

"Standardizarea", în sensul extremului FOB de tip *Minim* și al RR de tip  $=$  (sau  $\leq$ ) se poate face simplu, prin înmulțirea relațiilor respective cu  $-1$ , respectiv prin introducerea unor variabile suplimentare de tip ecart [Kilyeni2010].

Se menționează următoarele forme particulare de PPN:

- RR liniare, FOB neliniară;
- RR liniare, FOB pătratică (cea mai simplă neliniaritate) – problemă de programare pătratică (PPP);
- RR neliniare, FOB liniară (mai rar);
- RR convexe (definind un domeniu convex), FOB convexă – problemă de programare convexă (PPC);
- PPN în numere întregi (toate variabilele de tip întreg, cu variație discretă) sau mixte (și variabile de tip real, și variabile de tip întreg).

Pe fondul imposibilității rezolvării algoritmice complete, există o mare varietate de metode de soluționare a PPN, aplicabile la forme mai mult sau mai puțin particulare. Marea majoritate a acestor metode sunt iterative, cu convergență teoretic infinită și practic finită (numai pentru PPP există metode cu număr finit de operații aritmetice elementare) [Kilyeni2010].

Există două categorii mari de metode [Kilyeni2010]:

- a) metode "directe" – soluționează PPN cu considerarea distinctă, explicită, a RR (numai pentru forme particulare mai simple);
- b) metode "indirecte" – transformă PPN cu restricții într-o problemă de optimizare neliniară fără restricții și o soluționează pe aceasta din urmă.

În domeniul ingineriei energetice metodele indirecte au ponderea cea mai mare, deci este justificată tratarea într-un paragraf separat a problemei de optimizare neliniară fără restricții.

### 5.2.2. Optimizare neliniară fără restricții

#### 5.2.2.1. Prezentarea problemei

Se consideră problema

$$F(\mathbf{x}) = F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \text{Minim} \tag{5.2.8}$$

unde  $F(\mathbf{x})$  este o funcție neliniară de cea mai generală formă. Se cunoaște că funcția  $F(\mathbf{x})$  continuă, cu derivatele parțiale  $\partial F/\partial x_i$  continue în domeniul de interes, are un minim local în punctul  $\mathbf{x}_M$  dacă în vecinătatea acestui punct este satisfăcută relația  $F(\mathbf{x}_M) \leq F(\mathbf{x})$  pentru  $\forall \mathbf{x}$ .

Condițiile necesare de minim [Kilyeni2010]:

- anularea tuturor derivatelor parțiale ale funcției:

$$\frac{\partial F}{\partial x_i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \tag{5.2.9}$$

- matricea hessiană (a derivatelor parțiale de ordinul 2)  $\mathbf{H}$  să fie pozitiv definită.

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 F}{\partial x_1 \partial x_1} & \frac{\partial^2 F}{\partial x_1 \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 F}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 F}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 F}{\partial x_2 \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 F}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial^2 F}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 F}{\partial x_n \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 F}{\partial x_n \partial x_n} \end{bmatrix} \tag{5.2.10}$$

Se menționează diferența dintre un minim local și minimul global (prin exemplul din figura 5.2.1).

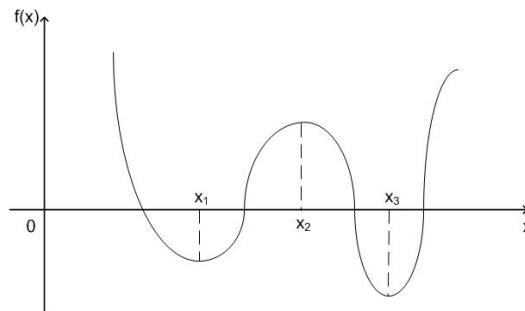


Fig. 5.2.1. Figură explicativă pentru diferența dintre un minim local și minimul global

Condițiile anterioare se pot utiliza practic direct numai dacă se cunoaște expresia analitică a funcției  $F(\mathbf{x})$  și a derivatelor sale, este posibilă soluționarea sistemului neliniar de ecuații definit de condiția anulării derivatelor parțiale de ordinul 1 și se poate verifica pozitivitatea matricei  $\mathbf{H}$ .

Aceste condiții nu sunt îndeplinite în general în aplicațiile din domeniul ingineriei energetice. Soluționarea problemei se poate efectua numai cu metode iterative, care

localizează minimumul pe baza informațiilor rezultate din calculul valorii FOB în diverse puncte și, eventual, a valorilor derivatelor parțiale. După modul de utilizare a acestor informații există trei categorii mari de metode [Kilyeni2010]:

- **Metode de explorare exhaustivă** – se calculează FOB într-un număr de puncte și se alege cel în care valoarea FOB este minimă, cu următoarele comentarii:
  - ⇒ punctele pot fi nodurile unei rețele rectangulare, cu pasul  $h$ ;
  - ⇒ aplicarea metodei se poate face în mai multe trepte, cu reducerea domeniului de căutare și a valorii pasului;
  - ⇒ metoda se poate combina cu un procedeu final de interpolare;
  - ⇒ metoda este aplicabilă la număr redus de variabile și calculatoare cu posibilități grafice extinse, rezultând minimumul global.
- **Metode de eliminare** – aplicabile pentru funcții fără minime locale, în următoarea manieră:
  - ⇒ se reduce succesiv domeniul explorat prin "eliminarea" unor regiuni ale domeniului de variație a variabilelor, ca fiind neinteresante pentru minim, pe baza comparării valorilor funcției în diverse puncte;
  - ⇒ eliminarea poate fi uni sau multidimensională;
  - ⇒ în final, în urma eliminărilor, domeniul de căutare devine atât de restrâns, încât orice punct al său poate fi considerat ca fiind soluția problemei.
- **Metode de coborâre (urcare)** – metode iterative de determinare a optimului, utilizate în maniera:
  - ⇒ la fiecare pas al metodei se caută un nou punct, în care valoarea FOB este mai bună ca la pasul anterior (dependent de tipul extremului urmărit);
  - ⇒ la fiecare pas se acumulează și alte informații pentru pașii următori;
  - ⇒ relația caracteristică pasului curent:

$$\mathbf{x}^k = \mathbf{x}^{k-1} + \alpha^{k-1} \cdot \mathbf{d}^{k-1} \quad (5.2.11)$$

adică

$$\mathbf{x}^{nou} = \mathbf{x}^{vechi} + \alpha^{vechi} \cdot \mathbf{d}^{vechi} \quad (5.2.12)$$

unde  $\mathbf{d}$  este vectorul direcție de deplasare, iar scalarul  $\alpha$  indică mărimea deplasării după această direcție;

- ⇒ metodele particulare se diferențiază între ele prin modul de determinare a direcției de deplasare și a valorii scalarului  $\alpha$ .

În majoritatea aplicațiilor din domeniul ingineriei energetice se utilizează metode de coborâre. Ele de coborâre se pot clasifica în modul următor [Kilyeni2010]:

a) metode care utilizează derivatele parțiale ale funcției  $F(\mathbf{x})$ :

- ⇒ derivatele de ordinul 1:
  - gradient simplu;
  - gradient conjugat (direcții conjugate);
- ⇒ derivatele de ordinul 2:
  - de tip Newton (calculează explicit aceste derivate);
  - de tip quasi Newton (aproximează aceste derivate).

b) metode care nu utilizează derivatele parțiale ale funcției  $F(\mathbf{x})$ :

- ⇒ metode de căutare aleatoare;
- ⇒ metode de căutare unidimensională;
- ⇒ metode de tip "pattern search" (Hooke-Jeeves, Powell etc.).

Înainte de a trece la prezentarea propriu-zisă a metodelor de coborâre, se abordează problema determinării valorii scalarului  $\alpha$  din relația (5.2.11), care indică mărimea deplasării după o direcție cunoscută (element comun pentru toate metodele care utilizează derivatele parțiale ale funcției  $F$ ).

### 5.2.2.2. Căutarea minimului în lungul unei direcții

La fiecare iterație a metodelor de coborâre noile valori ale variabilelor (noua valoare a componentelor vectorului  $\mathbf{x}$ ) se calculează cu relația:

$$\mathbf{x}^k = \mathbf{x}^{k-1} + \alpha^{k-1} \cdot \mathbf{d}^{k-1} \quad (5.2.13)$$

unde  $\mathbf{d}$  este vectorul direcție de deplasare, iar scalarul  $\alpha$  indică mărimea deplasării după această direcție. Valorile componentelor lui  $\mathbf{x}^{k-1}$  și  $\mathbf{d}^{k-1}$  sunt cunoscute, căutându-se cea valoare a scalarului  $\alpha$  pentru care  $F(\mathbf{x}^k)$  este minimă:

$$F(\mathbf{x}^k) = F(\mathbf{x}^{k-1} + \alpha^{k-1} \cdot \mathbf{d}^{k-1}) = \text{Minim} \Rightarrow f(\alpha) = \text{Minim} \quad (5.2.14)$$

Se pune deci problema minimizării unei funcții de o singură variabilă (la mai multe iterații – o succesiune de asemenea minimizări).

Dificultatea problemei rezidă în faptul că funcția  $f(\alpha)$  este cunoscută (definită) prin puncte, excluzându-se din start metodele bazate pe soluționarea ecuației rezultate din condiția anulării derivatei de ordinul 1 ( $\partial f / \partial \alpha = 0$ ).

Pentru minimizarea funcției  $f(\alpha)$  se utilizează metode de interpolare, metode de căutare cu pas variabil sau alte metode (algoritmul Brent). Se prezintă în continuare o metodă de interpolare parabolică, utilizată în cadrul tezei de doctorat. Ea are la bază elementele teoretice prezentate în subcapitolul 5.1 [Kilyeni2010].

Metodele de interpolare înlocuiesc funcția  $f(\alpha)$  cu un polinom de aproximare prin interpolare  $P(\alpha)$  (în maniera prezentată în subcapitolul 5.1), pentru care minimul rezultă simplu din anularea valorii derivatei de ordinul 1:

$$\frac{dP(\alpha)}{d\alpha} = 0 \quad (5.2.15)$$

De regulă se utilizează polinoame de interpolare de gradul 2 (interpolare polinomială parabolică):

$$P(\alpha) = a \cdot \alpha^2 + b \cdot \alpha + c \quad (5.2.16)$$

pentru care minimul rezultă simplu:

$$\frac{dP(\alpha)}{d\alpha} = 2 \cdot a \cdot \alpha + b = 0 \Rightarrow \alpha_{\text{optim}} = -\frac{b}{2 \cdot a} \quad (5.2.17)$$

Cele 3 puncte cunoscute, necesare pentru aproximarea polinomială parabolică, sunt:  $\alpha_0, f_0$ ;  $\alpha_1, f_1$ ;  $\alpha_2, f_2$ .

Valorile coeficienților  $a, b, c$  (și implicit valoarea optimă pentru  $\alpha$ ) rezultă din soluționarea sistemului liniar:

$$\begin{cases} a \cdot \alpha_0^2 + b \cdot \alpha_0 + c = f_0 \\ a \cdot \alpha_1^2 + b \cdot \alpha_1 + c = f_1 \\ a \cdot \alpha_2^2 + b \cdot \alpha_2 + c = f_2 \end{cases} \quad (5.2.18)$$

Se obține pentru  $a$  și  $b$ :

$$\begin{cases} a = \frac{f_0 \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) + f_1 \cdot (\alpha_2 - \alpha_0) + f_2 \cdot (\alpha_0 - \alpha_1)}{\alpha_0^2 \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) + \alpha_1^2 \cdot (\alpha_2 - \alpha_0) + \alpha_2^2 \cdot (\alpha_0 - \alpha_1)} \\ b = \frac{f_0 \cdot (\alpha_2^2 - \alpha_1^2) + f_1 \cdot (\alpha_0^2 - \alpha_2^2) + f_2 \cdot (\alpha_1^2 - \alpha_0^2)}{\alpha_0^2 \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) + \alpha_1^2 \cdot (\alpha_2 - \alpha_0) + \alpha_2^2 \cdot (\alpha_0 - \alpha_1)} \end{cases} \quad (5.2.19)$$

rezultând pentru  $\alpha_{optim}$  expresia:

$$\alpha_{optim} = -\frac{b}{2 \cdot a} = \frac{f_0 \cdot (\alpha_1^2 - \alpha_2^2) + f_1 \cdot (\alpha_2^2 - \alpha_0^2) + f_2 \cdot (\alpha_0^2 - \alpha_1^2)}{2 \cdot [f_0 \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) + f_1 \cdot (\alpha_2 - \alpha_0) + f_2 \cdot (\alpha_0 - \alpha_1)]} \quad (5.2.20)$$

În mod uzual, în aplicațiile din domeniul ingineriei energetice cele trei puncte sunt echidistante, cu pasul  $h$ , iar  $\alpha_0 = 0$  (corespunde ultimei valori calculate a funcției la iterația anterioară):

$$\alpha_0 = 0, \alpha_1 = h, \alpha_2 = 2 \cdot h \quad (5.2.21)$$

Înlocuind în sistemul (5.2.11) rezultă succesiv:

$$\begin{cases} c = f_0 \\ a \cdot h^2 + b \cdot h + c = f_1 \\ 4 \cdot a \cdot h^2 + 2 \cdot b \cdot h + c = f_2 \end{cases} \quad (5.2.22)$$

$$\begin{cases} a = \frac{(f_1 - f_0) \cdot 2 \cdot h - (f_2 - f_0) \cdot h}{h^2 \cdot 2 \cdot h - h \cdot 4 \cdot h^2} = \frac{f_0 - 2 \cdot f_1 + f_2}{2 \cdot h^2} \\ b = \frac{h^2 \cdot (f_2 - f_0) - 4 \cdot h^2 \cdot (f_1 - f_0)}{h^2 \cdot 2 \cdot h - h \cdot 4 \cdot h^2} = \frac{-3 \cdot f_0 + 4 \cdot f_1 - f_2}{2 \cdot h} \end{cases} \quad (5.2.23)$$

$$\alpha_{optim} = -\frac{b}{2 \cdot a} = \frac{h}{2} \cdot \frac{3 \cdot f_0 - 4 \cdot f_1 + f_2}{f_0 - 2 \cdot f_1 + f_2} \quad (5.2.24)$$

Evident, pentru ca  $\alpha_{optim}$  să corespundă unui minim, trebuie satisfăcută condiția:

$$\frac{d^2 P(\alpha)}{d\alpha^2} > 0, \text{ pentru } \alpha = \alpha_{optim} \quad (5.2.25)$$

ceea ce conduce simplu la:

$$f_0 + f_2 > 2 \cdot f_1 \quad (5.2.26)$$

Se evidențiază următoarele aspecte practice privind aplicarea acestei metode:

- $\alpha$  aproximează poziția minimului în măsura în care  $f(\alpha)$  este mai apropiată de o funcție pătratică;
- alegerea valorii pasului  $h$  constituie un element hotărâtor pentru succesul metodei (experiența arată că pasul trebuie ales astfel încât optimul să fie în intervalul  $(0; 2 \cdot h)$ , fără a fi prea aproape de limitele intervalului);
- procesul de interpolare poate fi repetat (cu punctele  $\alpha_0, \alpha_{optim}, \alpha_1$  sau  $\alpha_1, \alpha_{optim}, \alpha_2$ );
- se poate continua cu o căutare unidimensională în jurul optimului;
- se pot utiliza și alte funcții de aproximare prin interpolare [Kilyeni2010].

### 5.2.2.3. Metoda gradientului simplu

Metodele care utilizează și derivatele funcției  $F(\mathbf{x})$  sunt în general foarte eficiente. Ele au la bază informațiile locale oferite de derivatele de ordinul 1 (și eventual 2) ale funcției  $F(\mathbf{x})$ , continuă și derivabilă, cu derivatele continue în domeniul de interes. Ele determină un minim local al funcției.

Prima metodă din această clasă de metode este cea a gradientului simplu (forma clasică a metodei de gradient), care utilizează doar derivatele de ordinul 1.

Pentru o funcție  $F(\mathbf{x})$  continuă și derivabilă vectorul gradient, calculat ca mărime locală pentru un anumit punct  $\mathbf{x}$ , se definește sub forma:

$$\mathbf{g} = \nabla F(\mathbf{x}) = \left[ \frac{\partial F}{\partial x_1}, \frac{\partial F}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial F}{\partial x_n} \right]^t \quad (5.2.27)$$

unde

$$\mathbf{g} = [g_1, g_2, \dots, g_n]^t \quad (5.2.28)$$

Gradientul indică direcția celei mai mari creșteri a valorii lui  $F(\mathbf{x})$ . Geometric, gradientul reprezintă vectorul ortogonal la conturul lui  $F(\mathbf{x})$ , care trece printr-un anumit punct  $\mathbf{x}$ . Cea mai accentuată descreștere (se caută minimumul) a valorii lui  $F(\mathbf{x})$  este dată de  $-\mathbf{g}$ .

În aceste condiții algoritmul metodei este următorul [Kilyeni2010]:

- se inițializează valoarea lui  $\mathbf{x}$  cu  $\mathbf{x}^0$  (având componentele  $x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0$ ), ales pe baza experienței sau a informațiilor legate de suportul "fizic" al problemei;
- la o iterație oarecare  $k$ ,  $k = 1, 2, \dots$ , se calculează valoarea lui  $F$  în punctul curent

$$F^{k-1} = F(\mathbf{x}^{k-1}) \quad (5.2.29)$$

valorile componentelor vectorului gradient  $\mathbf{g}^{k-1}$

$$\mathbf{g}^{k-1} = \left[ \frac{\partial F}{\partial x_1}, \frac{\partial F}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial F}{\partial x_n} \right]^t_{\mathbf{x}=\mathbf{x}^{k-1}} \quad (5.2.30)$$

ale vectorului direcției de deplasare  $\mathbf{d}^{k-1}$

$$\mathbf{d}^{k-1} = -\mathbf{g}^{k-1} \quad (5.2.31)$$

și noul punct  $\mathbf{x}^k$  (în maniera indicată de relațiile (5.2.11) și (5.2.12)):

$$\mathbf{x}^k = \mathbf{x}^{k-1} + \alpha^{k-1} \cdot \mathbf{d}^{k-1} \quad (5.2.32)$$

unde scalarul  $\alpha^{k-1}$  se determină în maniera prezentată în paragraful 5.2.2.2;

- calculul se consideră terminat când este îndeplinită una dintre condițiile:

$$\text{Max}_i |g_i^{k-1}| < \varepsilon_1 \quad \text{sau} \quad |\mathbf{g}^{k-1}| < \varepsilon_2 \quad \text{sau} \quad \text{chiar} \quad |F^{k-1} - F^{k-2}| < \varepsilon_3 \quad (5.2.33)$$

Asupra metodei gradientului simplu se pot face următoarele comentarii:

- se poate face normalizarea vectorului direcție

$$\mathbf{d}^{k-1} = -\frac{\mathbf{g}^{k-1}}{\sqrt{\mathbf{g}^{k-1} \cdot (\mathbf{g}^{k-1})^t}} \quad (5.2.34)$$

ceea ce poate duce și la o condiție de oprire de forma

$$\alpha^{k-1} < \varepsilon_4 \quad (5.2.35)$$

- ortogonalitatea direcțiilor de deplasare la două iterații succesive are ca efect o mișcare în zig-zag către minim, are ca efect o convergență relativ lentă în apropierea minimumului ("ciclare" în jurul minimumului), ceea ce constituie un dezavantaj.

#### 5.2.2.4. Metoda gradientilor conjugați (Fletcher - Reeves)

Metoda gradientilor conjugați elimină dezavantajul menționat mai sus – mișcarea în zig-zag în jurul minimumului la versiunea clasică a metodei de gradient [Kilyeni2010].

Algoritmul metodei este similar cu cel al gradientului simplu, singura deosebire fiind legată de determinarea direcției de deplasare, care acum este de forma

$$\mathbf{d}^{k-1} = -\mathbf{g}^{k-1} + \beta^{k-1} \cdot \mathbf{d}^{k-2} \quad (5.2.36)$$



unde coeficientul  $\beta^k$  ține cont de "istoria" anterioară ("mixează" în direcția de la pasul curent o corecție ponderată funcție de direcția de deplasare de la pasul anterior), având expresia

$$\beta^{k-1} = \frac{\mathbf{g}^{k-1} \cdot (\mathbf{g}^{k-1})^t}{\mathbf{g}^{k-2} \cdot (\mathbf{g}^{k-2})^t} = \frac{(\mathbf{g}^{k-1})^2}{(\mathbf{g}^{k-2})^2} = \frac{(g_1^{k-1})^2 + (g_2^{k-1})^2 + \dots + (g_n^{k-1})^2}{(g_1^{k-2})^2 + (g_2^{k-2})^2 + \dots + (g_n^{k-2})^2} \quad (5.2.37)$$

Asupra metodei gradientilor conjugați se pot face următoarele comentarii:

- convergența este de regulă mult sporită, mai ales în apropierea minimumului;
- la prima iterație  $\beta = 0$  (nu există istorie anterioară);
- după un anumit număr de iterații se recomandă intercalarea unui pas de gradient simplu [Kilyeni2010].

### 5.2.2.5. Metode de tip Newton

Metoda gradientului simplu corespunde, de fapt, cu aproximarea liniară a lui  $F(\mathbf{x})$  în jurul punctului curent (dezvoltare în serie Taylor și reținerea doar a termenului care conține derivata de ordinul întâi) [Kilyeni2010]. Evident, o aproximare cu reținerea inclusiv a termenului conținând derivata de ordinul doi este superioară:

$$F(\mathbf{x}) = F(\mathbf{x}^{k-1}) + \nabla F(\mathbf{x}^{k-1}) \cdot \Delta \mathbf{x}^{k-1} + \frac{1}{2!} (\Delta \mathbf{x}^{k-1})^t \cdot \nabla^2 F(\mathbf{x}^{k-1}) \cdot \Delta \mathbf{x}^{k-1} \quad (5.2.38)$$

unde

$$\Delta \mathbf{x}^{k-1} = \mathbf{x} - \mathbf{x}^{k-1} \quad (5.2.39)$$

Minimumul lui  $F(\mathbf{x})$  după direcția lui  $\Delta \mathbf{x}^{k-1}$  se obține prin derivarea lui  $F$  în raport cu componentele lui  $\Delta \mathbf{x}^{k-1}$  și anularea acestor derivate, rezultând

$$\Delta \mathbf{x}^{k-1} = - \frac{\nabla F(\mathbf{x}^{k-1})}{\nabla^2 F(\mathbf{x}^{k-1})} \quad (5.2.40)$$

Relația (5.2.40) se poate scrie și sub forma

$$\Delta \mathbf{x}^{k-1} = -(\mathbf{H}^{k-1})^{-1} \cdot \nabla F(\mathbf{x}^{k-1}) = -(\mathbf{H}^{k-1})^{-1} \cdot \mathbf{g}^{k-1} \quad (5.2.41)$$

unde  $\mathbf{H}^{k-1}$  este matricea hessiană (calculată pentru  $\mathbf{x} = \mathbf{x}^{k-1}$ ).

$$\mathbf{H}^{k-1} = \nabla^2 F(\mathbf{x}^{k-1}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 F(\mathbf{x})}{\partial x_1 \partial x_1} & \frac{\partial^2 F(\mathbf{x})}{\partial x_1 \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 F(\mathbf{x})}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 F(\mathbf{x})}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 F(\mathbf{x})}{\partial x_2 \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 F(\mathbf{x})}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial^2 F(\mathbf{x})}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 F(\mathbf{x})}{\partial x_n \partial x_3} & \dots & \frac{\partial^2 F(\mathbf{x})}{\partial x_n \partial x_n} \end{bmatrix}_{\mathbf{x}=\mathbf{x}^{k-1}} \quad (5.2.42)$$

Algoritmul metodei Newton este în principiu similar cu cel al metodei de gradient simplu, cu observația că direcția de deplasare este cea definită de relația (5.2.41):

- se inițializează valoarea lui  $\mathbf{x}$  cu  $\mathbf{x}^0$  (având componentele  $x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0$ ), ales pe baza experienței sau a informațiilor legate de suportul "fizic" al problemei;
- la o iterație oarecare  $k$ ,  $k = 1, 2, \dots$ , se calculează valoarea lui  $F$  în punctul curent

$$F^{k-1} = F(\mathbf{x}^{k-1}) \quad (5.2.43)$$

valorile componentelor vectorului gradient  $\mathbf{g}^{k-1}$

$$\mathbf{g}^{k-1} = \left[ \frac{\partial F}{\partial x_1}, \frac{\partial F}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial F}{\partial x_n} \right]^t_{\mathbf{x}=\mathbf{x}^{k-1}} \quad (5.2.44)$$

valorile elementelor matricei hessiene  $\mathbf{H}^{k-1}$

$$\mathbf{H}^{k-1} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 F(\mathbf{x})}{\partial x_1 \partial x_1} & \frac{\partial^2 F(\mathbf{x})}{\partial x_1 \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 F(\mathbf{x})}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 F(\mathbf{x})}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 F(\mathbf{x})}{\partial x_2 \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 F(\mathbf{x})}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial^2 F(\mathbf{x})}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 F(\mathbf{x})}{\partial x_n \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 F(\mathbf{x})}{\partial x_n \partial x_n} \end{bmatrix}_{\mathbf{x}=\mathbf{x}^{k-1}} \quad (5.2.45)$$

ale vectorului direcției de deplasare  $\mathbf{d}^{k-1}$

$$\mathbf{d}^{k-1} = -(\mathbf{H}^{k-1})^{-1} \cdot \mathbf{g}^{k-1} \quad (5.2.46)$$

și noul punct  $\mathbf{x}^k$  (în maniera indicată de relațiile (5.2.11) și (5.2.12)):

$$\mathbf{x}^k = \mathbf{x}^{k-1} + \alpha^{k-1} \cdot \mathbf{d}^{k-1} \quad (5.2.47)$$

unde scalarul  $\alpha^{k-1}$  se determină în maniera prezentată în paragraful 5.2.2.2;

c) calculul se consideră terminat când este îndeplinită una dintre condițiile:

$$\max_i |g_i^{k-1}| < \varepsilon_1 \quad \text{sau} \quad |\mathbf{g}^{k-1}| < \varepsilon_2 \quad \text{sau} \quad \text{chiar} \quad |F^{k-1} - F^{k-2}| < \varepsilon_3 \quad (5.2.48)$$

Asupra metodei Newton se pot face următoarele comentarii:

- se poate face normalizarea vectorului direcție

$$\mathbf{d}^{k-1} = - \frac{(\mathbf{H}^{k-1})^{-1} \cdot \mathbf{g}^{k-1}}{|(\mathbf{H}^{k-1})^{-1} \cdot \mathbf{g}^{k-1}|} \quad (5.2.49)$$

ceea ce poate duce și la o condiție de oprire de forma

$$\alpha^{k-1} < \varepsilon_4 \quad (5.2.50)$$

- aplicarea metodei Newton este posibilă numai dacă la fiecare pas  $\mathbf{H}$  este pozitiv definită;
- convergența în apropierea optimului este mult sporită față de metodele de gradient, dar apare dezavantajul volumului mare de calcule: determinarea valorii derivatelor de ordinul doi și, mai ales, inversarea matricei  $\mathbf{H}$ .

### 5.2.2.6. Metode de tip quasi Newton

În paragraful 5.2.2.5. s-a arătat că unul dintre principalele dezavantaje ale metodei de tip Newton constă în volumul mare de calcule, datorat în principal necesității inversării matricei Hessiene la fiecare iterație (relația 5.2.45). Pentru eliminarea acestui dezavantaj s-au elaborat o serie de metode, care nu calculează inversa, ci numai o aproximează. Dintre ele se remarcă algoritmul Davidon-Fletcher-Powell, ca unul dintre cele mai performante algoritme care utilizează derivatele parțiale ale funcției  $F(\mathbf{x})$ , precum și metodele Broyden, Pearson, Zoutendijk, Fletcher etc. [Kilyeni2010].

Algoritmul Davidon-Fletcher-Powell debutează cu o iterație de gradient simplu, la pașii următori modificându-se treptat direcția gradientului către cea a metodei Newton, ceea ce asigură combinarea părților avantajoase ale celor două metode (departe de

optim metoda de gradient simplu este mai rapidă, iar aproape de optim – metoda Newton). Pentru o funcție pătratică, în limita a  $n$  iterații se ajunge de la aproximarea lui  $\mathbf{H}^{-1}$  cu  $\mathbf{I}$  (matricea unitate de ordin corespunzător) la valoarea exactă a lui  $\mathbf{H}^{-1}$ .

Etapele de aplicare a algoritmului Davidon-Fletcher-Powell sunt similare cu cele ale metodei Newton, cu observația că primul pas este un pas de gradient simplu, iar pentru pașii următori  $(\mathbf{H}^{k-1})^{-1}$  se aproximează cu  $\tilde{\mathbf{H}}^{k-1}$ , determinat în modul următor:

$$\tilde{\mathbf{H}}^{k-1} = \tilde{\mathbf{H}}^{k-2} + \mathbf{A}^{k-1} - \mathbf{B}^{k-1} \quad (5.2.51)$$

unde:

$$\mathbf{A}^{k-1} = \frac{\Delta \mathbf{x}^{k-1} \cdot (\Delta \mathbf{x}^{k-1})^t}{(\Delta \mathbf{x}^{k-1})^t \cdot \Delta \mathbf{g}^{k-1}} \quad (5.2.52)$$

$$\mathbf{B}^{k-1} = \frac{\tilde{\mathbf{H}}^{k-1} \cdot \Delta \mathbf{g}^{k-1} \cdot (\Delta \mathbf{g}^{k-1})^t \cdot (\tilde{\mathbf{H}}^{k-1})^t}{(\Delta \mathbf{g}^{k-1})^t \cdot \tilde{\mathbf{H}}^{k-1} \cdot \Delta \mathbf{g}^{k-1}} \quad (5.2.53)$$

$$\Delta \mathbf{x}^{k-1} = \mathbf{x}^{k-1} - \mathbf{x}^{k-2} \quad (5.2.54)$$

$$\Delta \mathbf{g}^{k-1} = \mathbf{g}^{k-1} - \mathbf{g}^{k-2} \quad (5.2.55)$$

Rolul lui  $\mathbf{A}^{k-1}$  este asigurarea convergenței  $\tilde{\mathbf{H}} \rightarrow \mathbf{H}^{-1}$ , în timp ce  $\mathbf{B}^{k-1}$  are rolul anulării treptate a efectului alegerii inițiale a lui  $\mathbf{H}^0$  (dacă primul pas este de gradient simplu,  $\mathbf{H}^0 = \mathbf{I}$ ).

Algoritmul descris este foarte eficace și are o bună stabilitate. Condiția ca deplasarea să se facă către minim este ca matricea  $\tilde{\mathbf{H}}^{k-1}$  să fie pozitiv definită, element influențat puternic de precizia de determinare a valorii lui  $\alpha^{k-1}$  (pasul cu care se merge pe o anumită direcție). Dacă la o iterație nu este satisfăcută această condiție, se recomandă înlocuirea matricei  $\tilde{\mathbf{H}}^{k-1}$  cu  $\mathbf{I}$  și continuarea procesului de calcul ca și cum ar porni de la un nou punct de start.

Celelalte metode de tip quasi-Newton se deosebesc de algoritmul Davidon-Fletcher-Powell numai prin modul de calcul a matricei  $\tilde{\mathbf{H}}^{k-1}$  [Kilyeni2010].

Se poate afirma, în concluzie, că metodele de tip quasi-Newton reprezintă la ora actuală cele mai bune metode de optimizare neliniară fără restricții, din punct de vedere al timpului total de calcul, memoriei necesare, convergenței și stabilității.

### 5.2.3. Optimizare neliniară cu restricții

Revenind la formularea generală a problemei de optimizare neliniară, prezentată în paragraful 5.2.1, se menționează că în modelele matematice din cadrul tezei de doctorat RR sunt în exclusivitate de forma (5.2.6) - (5.2.7), referindu-se doar la variabilele de optimizare.

În aceste condiții, se pot utiliza fără probleme metodele prezentate în paragraful 5.2.2, cu următoarea modificare (exemplificată pentru metoda gradientului conjugat – paragraful 5.2.2.4 (împreună cu paragraful 5.2.2.3): după calculul noului punct  $\mathbf{x}^k$  – relația (5.2.32), se verifică respectarea RR de forma (5.2.6) - (5.2.7), luându-se măsurile care se impun la eventuala încălcare a RR.

$$\mathbf{x}_i^k = \begin{cases} x_i^k & \text{dacă } x_i^{\min} \leq x_i^k \leq x_i^{\max} \\ x_i^{\min} & \text{dacă } x_i^k < x_i^{\min} \\ x_i^{\max} & \text{dacă } x_i^k > x_i^{\max} \end{cases}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5.2.56)$$

Se recomandă și verificarea posibilității eventualei reveniri între limite pentru variabilele aflate în limitare (inferioară sau superioară) la pasul curent:

- dacă pentru o variabilă aflată în limitare inferioară componenta corespunzătoare a vectorului direcție  $\mathbf{d}$  este negativă, ea rămâne în continuare în limitare;
- dacă pentru o variabilă aflată în limitare inferioară componenta corespunzătoare a vectorului  $\mathbf{d}$  este pozitivă, variabila respectivă "se eliberează" din limitare;
- dacă pentru o variabilă aflată în limitare superioară componenta corespunzătoare a vectorului  $\mathbf{d}$  este pozitivă, ea rămâne în continuare în limitare;
- dacă pentru o variabilă aflată în limitare superioară componenta corespunzătoare a vectorului  $\mathbf{d}$  este negativă, variabila respectivă "se eliberează" din limitare.

Se menționează suplimentar că variabilele aflate în limitare (inferioară sau superioară) se omit la calculul coeficientul  $\beta^k$ , definit de relația (5.2.37), respectiv la verificarea condițiilor de terminare (5.2.33).

### 5.3. Concluzii

În cadrul acestui capitol s-au prezentat sintetic metodele numerice și tehnicile de optimizare utilizate la elaborarea modelului matematic și a metodei de soluționare a prognozei consumului de energie electrică (a curbelor de sarcină) folosind tehnici de inteligență artificială: procedee de optimizare neliniară utilizate la ameliorarea performanțelor rețelelor neuronale (cu un accent special asupra metodei gradientilor conjugați); metode de interpolare polinomială a funcțiilor (polinoame de tip Newton de speța 1), utilizate la metoda gradientilor conjugați; diferențe finite, utilizate la prognosticarea calității prognozei curbelor de sarcină în funcție de datele existente; procedee de aproximare polinomială bazate pe metoda celor mai mici pătrate, utilizate la prognoza clasică prin extrapolare liniară și parabolică.

În continuare se prezintă o trecere în revistă a contribuțiilor originale din cadrul acestui capitol:

- realizarea prezentări sintetice a metodelor numerice și a tehnicilor de optimizare necesare pentru elaborarea și soluționarea modelului matematic al problemei studiate, prezentat în capitolul următor;
- alegerea celor mai potrivite metode și tehnici pentru scopul propus;
- adaptarea metodelor numerice și tehnicilor de optimizare discutate în acest capitol pentru a fi utilizate la elaborarea și soluționarea modelului matematic aferent prognozei consumului de energie electrică (curbelor de sarcină).

## **6. MODEL MATEMATIC ȘI INSTRUMENT SOFT PENTRU PROGNOZA CONSUMULUI DE ENERGIE ELECTRICĂ**

Capitolul 6 are ca obiectiv prezentarea modelului matematic al metodelor utilizate efectiv în lucrare pentru prognoza consumului de energie electrică (putere) și a curbelor de sarcină. Ele au fost elaborate pe baza elementelor teoretice prezentate în capitolele anterioare, atât în ceea ce privește RNA (capitolul 4) cât și metodele de calcul numeric și tehnicile de optimizare.

În prima parte a capitolului se detaliază metoda care utilizează RNA de tip perceptron cu mai multe straturi, cu algoritm de tip backpropagation. Se trec în revistă principalele etape ale algoritmului de calcul, care se poate utiliza atât pentru prognoza curbelor de sarcină, cât și pentru prognoza consumului de energie electrică, a puterii de vârf sau a puterii medii orare pentru un consumator individual sau o zonă de consum. Se evidențiază și elementele de noutate, legate de implementarea unor tehnici de optimizare neliniară, de evitare a blocării soluției într-un minim local, de tratare a altor situații speciale care pot să apară în derularea calculelor. La finalul primului subcapitol se prezintă pe scurt și instrumentul soft corespunzător algoritmului prezentat, cu observația că sunt incluse și metodele prezentate în subcapitolele următoare.

Al doilea subcapitol prezintă pe scurt metodele clasice de prognoză, bazate pe aproximarea valorii funcțiilor cunoscute prin puncte cu metoda celor mai mici pătrate, implementate la rândul lor în instrumentul soft elaborat.

Ultimul subcapitol, în întregime original, prezintă un instrument de analiză (estimare) a calității prognozelor pentru curbele de sarcină în funcție de calitatea datelor cunoscute (gradul de corelare) pentru o anumită perioadă trecută (un anumit număr de ani). Acest instrument are la bază diferențele finite prezentate în paragraful 5.1.2, cu ajutorul cărora se determină o serie de indici globali caracteristici. El va fi verificat (validat) în cadrul studiilor de caz, pentru date test și date reale de consum, care fac obiectul capitolului 7. Estimarea calității se referă atât la prognoza curbelor de sarcină orare pentru o anumită zi a anului cât și la cele lunare aferente unei anumite ore a unei zile anume.

### **6.1. Prognoza curbelor de sarcină utilizând RNA**

#### **6.1.1. Prezentarea metodei elaborate**

Pentru efectuarea prognozelor se utilizează un RNA de tip perceptron multistrat, cu algoritm de tip backpropagation (prezentat în paragraful 4.3.2). Numărul de straturi ascunse, respectiv numărul de neuroni de pe straturile ascunse, poate fi oarecare. Pentru simplitatea prezentării metodei utilizate, se ia în considerare un singur strat ascuns. Pentru mai multe straturi ascunse modelul se modifică în principal doar "cantitativ", fără schimbări "calitative".

Se consideră cunoscute, ca date de intrare, curbele de sarcină orare (lunare) pentru o anumită zi a anului (pentru o anumită oră a unei zile anume) pe o perioadă de  $n$  ani. Se notează cu  $P_i^j$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, \dots, np$ , puterea aferentă orei  $j$  a curbei de sarcină din anul  $i$ ,  $np$  fiind numărul de puncte al curbelor de sarcină (de exemplu 24 la curbele zilnice orare, 12 la curbele de sarcină lunare etc.).

Pentru cazul particular al prognozei efectuate doar pentru o anumită oră (sau pentru o anumită lună), numărul de puncte  $np = 1$ , metoda fiind utilizabilă în totalitate și pentru asemenea situații.

Se cere să se efectueze prognoza pentru anul (anii) care urmează după ultimul an cunoscut (anul  $n$ ), adică pentru anul  $n+1$ , respectiv anii  $n+1$ ,  $n+2$ , ...

Se prezintă în continuare, sintetic, algoritmul metodei elaborate, cu observația că o serie de detalii "tehnice" se regăsesc în textul sursă al programului de calcul (descriș în paragraful următor):

1) se introduc datele inițiale:

- numărul de intrări  $ni$  și numărul de ieșiri  $no$  ale RNA, ( $no$  este dat de  $np$  – numărul de puncte al curbelor de sarcină – 24 pentru curbele de sarcină orare, 12 pentru cele lunare, 1 pentru prognoza "singulară" pentru o anumită oră sau o anumită lună –, iar  $ni$  este egal cu 1, intrările  $[1; 2; \dots; nm]^t$ ;
- curbele de sarcină cunoscute ( $P_i^j$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, \dots, np$ ), care constituie mulțimea datelor de antrenare, numărul de modele (exemple)  $nm$  fiind dat de numărul  $n$  de ani cunoscuți (pentru mărimile cunoscute se adoptă notațiile  $Y_{im,io}$ ,  $im = 1, 2, \dots, nm$ ;  $io = 1, 2, \dots, no$ );
- numărul de neuroni de pe stratul ascuns –  $na$ ;
- alte elemente caracteristice legate de RNA și de procesele de calcul iterativ: rata de învățare ( $\eta$ ), intervalul  $[a; b]$  în care se vor genera valorile pentru variabilele de antrenare – de regulă  $[-1; +1]$ , eroarea maximă admisă ( $\epsilon$ ), numărul maxim de iterații ( $itermax$ ) – valoarea limită pentru numărul de epoci pentru procesul de antrenare (învățare);

2) se generează în mod aleator valorile ponderilor neuronilor dintre stratul de intrare și cel ascuns:

$$po1_{ia,ii} = a + (b - a) \cdot rand ; \quad ia = 1, 2, \dots, na ; \quad ii = 1, 2, \dots, ni \quad (6.1.1)$$

unde  $rand$  este funcția de apelare a generatorului de numere aleatoare din mediul Matlab (evident, în intervalul  $[a; b]$ );

3) se generează în mod aleator valorile ponderilor neuronilor dintre stratul ascuns și cel de ieșire:

$$po2_{io,ia} = a + (b - a) \cdot rand ; \quad io = 1, 2, \dots, no ; \quad ia = 1, 2, \dots, na \quad (6.1.2)$$

4) se determină pragul de activare pentru neuronii de pe stratul de intrare:

$$pai_{ij} = a + (b - a) \cdot rand ; \quad ii = 1, 2, \dots, ni \quad (6.1.3)$$

unde  $rand$  este funcția de apelare a generatorului de numere aleatoare din mediul Matlab (evident, în intervalul  $[a; b]$ );

5) se determină pragul de activare pentru neuronii de pe stratul de ieșire:

$$pao_{io} = a + (b - a) \cdot rand ; \quad io = 1, 2, \dots, no \quad (6.1.4)$$

6) se inițializează contorul  $nep$  al epocii de antrenare

$$nep = 1 \quad (6.1.5)$$

și se trece la pasul 7, unde începe ciclul de calcul pentru o epocă de antrenare;

7) se inițializează contorul  $im$  al modelelor:

$$im = 1 \quad (6.1.6)$$

8) se parcurge ciclul *forward* pentru valoarea curentă a epocii:

8.1) se calculează valorile  $ya_{ia,im}$  ale neuronilor de pe stratul ascuns:

$$sa_{ia,im} = \sum_{ii=1}^{ni} po1_{ia,ii} \cdot x_{im,ii} , \quad ia = 1, 2, \dots, na \quad (6.1.7)$$

$$ya_{ia,im} = \frac{1}{1 + e^{(sa_{ia,im} - pa_{ia})}} ; \quad ia = 1, 2, \dots, na \quad (6.1.8)$$

8.2) se calculează valorile  $yo_{io,im}$  ale neuronilor de pe stratul de ieșire:

$$so_{io,im} = \sum_{ia=1}^{na} po2_{io,ia} \cdot ya_{ia,im} , \quad io = 1, 2, \dots, no \quad (6.1.9)$$

$$yo_{io,im} = \frac{1}{1 + e^{(so_{io,im} - pa_{io})}} ; \quad io = 1, 2, \dots, no \quad (6.1.10)$$

8.3) se calculează eroarea pătratică pe epocă pentru fiecare ieșire:

$$erep_{io} = \sum_{im=1}^{nm} (y_{im,io} - yo_{io,im})^2 , \quad io = 1, 2, \dots, no \quad (6.1.11)$$

9) se parcurge ciclul *backward* pentru valoarea curentă a epocii:

9.1) se calculează valorile gradientilor erorilor pentru neuronii de pe stratul de ieșire,  $ge_{io}$  :

$$ge_{io} = \frac{e^{-so_{io,im}}}{(1 + e^{-so_{io,im}})^2} \cdot erep_{io} ; \quad io = 1, 2, \dots, no \quad (6.1.12)$$

9.2) se calculează valorile gradientilor erorilor pentru neuronii de pe stratul ascuns,  $ge_{ia}$  :

$$ga_{ia} = \frac{e^{-sa_{ia,im}}}{(1 + e^{-sa_{ia,im}})^2} \cdot \sum_{io=1}^{no} po2_{io,ia} \cdot ge_{io} , \quad ; \quad ia = 1, 2, \dots, na \quad (6.1.13)$$

10) se parcurge etapa de *ajustare* pentru valoarea curentă a epocii:

10.1) se calculează valorile gradientilor ponderilor pentru neuronii dintre stratul de intrare și cel ascuns,  $gpa_{ia,ii}$  :

$$gpa_{ia,ii} = \eta \cdot \sum_{ia=1}^{na} \sum_{ii=1}^{ni} ga_{ia} \cdot x_{im,ii} ; \quad io = 1, 2, \dots, no \quad (6.1.14)$$

unde  $\eta$  este valoarea ratei de învățare;

10.1) se calculează valorile gradientilor ponderilor pentru neuronii dintre stratul ascuns și cel de ieșire,  $gp_{ao,ij}$ :

$$gp_{io,ia} = \eta \cdot \sum_{io=1}^{no} \sum_{ia=1}^{na} ge_{io} \cdot ya_{ia,im}; \quad io = 1, 2, \dots, no \quad (6.1.15)$$

unde  $\eta$  este valoarea ratei de învățare;

- 11) se verifică valoarea contorului de modele: dacă  $im < nm$ , atunci se mărește contorul  $im$  cu 1 și se sare la punctul 8) al algoritmului; în caz contrar, dacă au fost epuizate toate modelele ( $im = nm$ ), atunci se continuă cu punctul 12);
- 12) dacă algoritmul s-a blocat cumva într-un minim local (condiție verificată pe baza analizei valorilor modulelor gradientilor, atunci se iese complet din ciclul de calcul și se sare la punctul 2), reluându-se procedura pentru noi ponderi și praguri de activare generate în mod aleator; în caz contrar, dacă lucrurile sunt în ordine din acest punct de vedere, se trece la punctul 13);
- 13) pentru ameliorarea performanțelor RNA, se aplică metoda gradientului conjugat (prezentată în subcapitolul 5.2.2) pentru determinarea direcțiilor de deplasare și a mărimii deplasării;
  - 13.1) se determină valoarea scalarului  $\beta$ , care corectează direcția de deplasare în funcție de "istoria" anterioară cu o relație de tipul (5.2.37) ("mixează" o corecție la direcția dată de gradientul luat cu semn schimbat);
  - 13.2) se determină direcțiile de deplasare pentru ponderile neuronilor dintre stratul de intrare și cel ascuns, respectiv al celor dintre stratul ascuns și cel de ieșire cu relații de tipul 5.2.36;
  - 13.3) se aplică o metodă de interpolare parabolică pentru găsirea poziției minimumului în lungul direcțiilor determinate, în maniera prezentată în subparagraful 5.2.2.2, rezultând în final valoarea lui  $\alpha_{optim}$  (conform relației (5.2.26));
  - 13.4) se recalculază valorile finale ale tuturor ponderilor cu relații de tipul (5.2.32);
- 14) se calculează, cu relațiile (6.1.7) - (6.1.11), valorile  $ya_{ia,im}$  ale neuronilor de pe stratul ascuns, valorile  $yo_{io,im}$  ale neuronilor de pe stratul de ieșire și se determină eroarea pătratică pe epocă pentru fiecare ieșire;
- 15) pe baza sumei erorilor pătratice se verifică îndeplinirea condiției de terminare a procesului de calcul:
  - dacă suma erorilor este sub eroarea maximă admisă  $\epsilon$ , atunci calculul este terminat, etapa de antrenare fiind încheiată; se poate trece la punctul 16);
  - dacă suma erorilor depășește eroarea maximă admisă  $\epsilon$ , atunci calculul nu este terminat, verificându-se depășirea numărului maxim de iterații  $itermax$ :
    - dacă s-a depășit  $itermax$  ( $nep \geq itermax$ ), se procedează ca și la punctul 12, cu reluarea completă a calculelor (se sare la punctul 2), reluându-se procedura pentru noi ponderi și praguri de activare generate în mod aleator);
    - dacă ( $nep \geq itermax$ ) se mărește valoarea contorului de iterații și se sare la punctul 7) al algoritmului.
- 16) pe baza rezultatelor obținute, se poate efectua prognoza pentru anii următori, utilizând ultimele valori determinate pentru ponderi, folosind relații de forma (6.1.7) - (6.1.10).



Algoritmii mai cuprind o serie de elemente de verificare, de genul celui menționat la punctul 12), extrem de importante din punct de vedere practic pentru a obține rezultate corespunzătoare. Ele sunt implementate în instrumentul soft care va fi prezentat în paragraful următor.

### 6.1.2. Prezentarea instrumentului soft

Instrumentul soft care implementează toate metodele de prognoză prezentate în acest capitol, a fost conceput în mediul Matlab. Se utilizează din plin toate facilitățile (de interfață și portabilitate) specifice sistemelor de operare și mediilor informatice actuale. Matlab (Matrix Laboratory) reprezintă un software matematic produs de firma The MathWorks, Inc., dedicat calculului numeric și reprezentărilor grafice în știință și inginerie [Matlab].

Elementul de bază cu care operează Matlab este matricea. Structural, Matlab este realizat sub forma unui nucleu de bază, cu interpretor propriu, în jurul căruia sunt construite așa-numitele toolbox-uri. Acestea din urmă sunt colecții extinse de funcții Matlab (fișiere M, adică fișiere cu extensia .m) care dezvoltă mediul de programare de la o versiune la alta, pentru a rezolva probleme din diverse domenii. O astfel de structură este specifică și altor medii de programare utilizate ca software matematic.

Nu s-au utilizat instrumente predefinite existente în mediul Matlab, deoarece nu se cunoaște în totalitate algoritmul și modelul matematic pe care se bazează partea respectivă de program. De asemenea, există posibilități foarte reduse de "acordare" corespunzătoare a algoritmului, în scopul obținerii unor performanțe superioare de utilizare

Accesând meniul *Fișier*, se realizează toate operațiunile legate de fișierele de baze de date: încărcare, actualizare, salvare, salvare cu alt nume etc. Se menționează că opțiunea *Încărcare curbe de sarcină* din cadrul meniului *Fișier* oferă utilizatorului și opțiunea de a importa curbele de sarcină din fișiere Microsoft Excel.

Opțiunea *Metodă* permite selectarea diverselor metode de efectuare a prognozei: RNA curbă de sarcină, RNA orar, regresie parabolică, regresie liniară. Există și opțiunea de analiză a datelor inițiale, în scopul formulării unui prognostic privind calitatea așteptată prognozelor care urmează a fi realizate.

Pentru cazul utilizării metodelor bazate pe RNA, există și opțiunea de *Configurare a structurii RNA*. Utilizatorului i se oferă posibilitatea să introducă datele de configurare ale RNA. Acestea se referă la:

- numărul de intrări și numărul de ieșiri (numărul de neuroni pentru stratul de intrare și pentru cel de ieșire);
- numărul de straturi ascunse;
- numărul de neuroni considerați pe straturile ascunse;
- numărul de modele (curbe de sarcină cunoscute) luat în considerare în mulțimea de antrenare;
- intervalul în cadrul căruia se vor genera valorile variabilelor aleatoare (în mod uzual [-1;+1]);
- valoarea considerată pentru rata de învățare;
- ș.a.m.d.

Referitor la procesele iterative de calcul, se solicită valorile erorilor maxime admise, ale numărului maxim de iterații etc. Se menționează că programul recomandă

întotdeauna niște valori, oferind posibilitatea utilizatorului de a le modifica. Afirmarea este valabilă și pentru unele elemente de configurare a structurii și modului de lucru pentru RNA.

În ceea ce privește opțiunea de a lucra cu RNA, există două posibilități care pot fi accesate de utilizator:

- *Antrenare RNA*

Procesul de antrenare I RNA este demarat accesând această opțiune. RNA folosește pentru antrenare curbele de sarcină importate la pasul anterior. Valorile ponderilor și ale pragurilor de activare ale neuronilor de pe fiecare strat sunt inițializate aleator. Se calculează valorile de ieșire ale neuronilor de pe fiecare strat, pentru modele din mulțimea de antrenare. Pentru fiecare model în parte se calculează eroarea pentru epoca respectivă de lucru. În cadrul epocii următoare calculul se reia utilizând însă valorile ponderilor și ale pragurilor de activare ale neuronilor calculate la epoca anterioară. Procesul de antrenare a RNA se consideră finalizat când eroarea pe epocă este mai mică decât precizia impusă inițial. Pe parcursul procesului de antrenare a RNA, în momentul în care algoritmul "sesizează" divergența în evoluția calculului, procesul de calcul curent este întrerupt. Acesta se reia în mod automat prin regenerarea aleatoare a valorilor ponderilor și a pragurilor de activare.

- *Prognoză*

Această opțiune se poate accesa doar după finalizarea procesului de antrenare. În acest moment RNA este capabilă să efectueze prognoze. La apelarea acestei opțiuni utilizatorul este solicitat să precizeze numărul de ani pentru care dorește să efectueze prognoza. Rezultatul prognozei este afișat în două moduri: sub formă grafică utilizatorul poate să vizualizeze curbele prognozate și, de asemenea, aplicația software permite exportul tuturor valorilor prognozate sub formă de fișier Microsoft Excel.

Aplicațiile soluționate în cadrul capitolului 7 și rezultatele obținute evidențiază cu prisosință calitățile instrumentului soft elaborat.

## 6.2. Prognoza puterii orare (lunare) cu metode clasice

Procedura "clasică" se referă la utilizarea aproximării funcțiilor cu metoda celor mai mici pătrate, discutată în capitolul 5, paragrafele 5.1.1 și 5.1.4. Se utilizează atât regresia liniară (subparagraful 5.1.4.1) cât și cea parabolică (subparagraful 5.1.4.2).

În ceea ce privește curbele de sarcină orare, se consideră cunoscute cele pentru o anumită zi a anului pentru o perioadă de  $n$  ani. Cu  $P_i^j, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, 24$ , se notează puterea aferentă orei  $j$  a curbei de sarcină din anul  $i$ .

Correspondența cu formularea problemei aproximării numerice a funcțiilor reale  $y = f(x)$  definite prin  $n+1$  puncte echidistante distincte cunoscute (pasul fiind  $h$ ):

$$(x_0, y_0); (x_1, y_1); (x_2, y_2); \dots; (x_n, y_n) \quad (6.2.1)$$

adică:

$$(x_i, y_i), \quad y_i = f(x_i), \quad i = 0, 1, 2, \dots, n \quad (6.2.2)$$

$$x_{i+1} - x_i = h, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (6.2.3)$$

se poate exprima, pentru o anumită oră  $j$ , în maniera următoare:

$$x_i = i, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (6.2.4)$$

$$y_i = P_i^j, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (6.2.5)$$

$$x_{i+1} - x_i = i+1 - i = 1, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (6.2.6)$$

Prognoza se efectuează separat, pentru fiecare oră  $j$  a curbei de sarcină,  $j = 1, 2, \dots, 24$ , atât prin regresie liniară cât și prin regresie parabolică.

În ceea ce privește curbele de sarcină lunare, se consideră cunoscute cele pentru o anumită oră a unei zile anume, pentru o perioadă de  $n$  ani. Se notează cu  $P_i^j, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, 12$ , puterea aferentă lunii  $j$  a curbei de sarcină din anul  $i$ .

Correspondența cu formularea problemei aproximării numerice a funcțiilor reale  $y = f(x)$  definite prin  $n+1$  puncte echidistante distincte cunoscute, cu pasul  $h$  (relațiile 6.3.1 - 6.3.3) se poate exprima, pentru o anumită lună  $j$ , în maniera următoare:

$$x_i = i, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (6.2.7)$$

$$y_i = P_i^j, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (6.2.8)$$

$$x_{i+1} - x_i = i+1 - i = 1, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (6.2.9)$$

Prognoza se efectuează separat, pentru fiecare lună  $j$  a curbei de sarcină,  $j = 1, 2, \dots, 12$ , atât prin regresie liniară cât și prin regresie parabolică.

### 6.3. Analiza calității prognozelor utilizând diferențe finite

#### 6.3.1. Considerații preliminare

În acest subcapitol se prezintă un instrument de analiză (estimare) a calității prognozelor pentru curbele de sarcină în funcție de calitatea (gradul de corelare) datelor cunoscute pentru o anumită perioadă trecută (un anumit număr de ani). Acest instrument are la bază diferențele finite prezentate în paragraful 5.1.2, cu ajutorul cărora se determină o serie de indici globali caracteristici. El va fi verificat (validat) în cadrul studiilor de caz, pentru date test și date reale de consum, care fac obiectul capitolului 7.

Analiza se referă atât la cazul curbelor de sarcină orare pentru o anumită zi a anului cât și la cele lunare corespunzătoare unei anumite ore a unei zile anume. După calculul unor diferențe finite orare și anuale, respectiv lunare și anuale, se definesc o serie de indici globali de calitate (utilizând diferențele finite determinate anterior). Toate măsurile discutate se exprimă atât în unități absolute, cât și în unități relative.

Pentru aprecierea comparativă a unei game largi de curbe de sarcină, exprimarea în unități relative are un grad sporit de relevanță (este eliminată dependența de nivelul consumului).

Se prezintă în continuare varianta pentru curbele de sarcină orare pentru o anumită zi (paragraful 6.4.2), urmată de cea pentru curbele de sarcină lunare aferente unei anumite ore a unei zile anume (paragraful 6.4.3).

### 6.3.2. Curbe de sarcină orare

Se consideră cunoscute curbele de sarcină orare pentru o anumită zi a anului pentru o perioadă de  $n$  ani. Se notează cu  $P_i^j$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, \dots, 24$ , puterea aferentă orei  $j$  a curbei de sarcină din anul  $i$ .

Se definesc diferențele finite anuale absolute de ordinul 1 aferente orei 1:

$$\Delta_a^1 P_i^1 = P_{i+1}^1 - P_i^1, \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (6.3.1)$$

În exprimare relativă (raportată) înseamnă:

$$\Delta_{ar}^1 P_i^1 = \frac{P_{i+1}^1 - P_i^1}{P_i^1} = \frac{\Delta_a^1 P_i^1}{P_i^1}, \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (6.3.2)$$

Diferențele finite absolute de ordinul  $k$ ,  $k = 2, 3, \dots, n-1$ , în număr de  $(n - k)$ , se determină cu relația:

$$\Delta_a^k P_i^1 = \Delta_a^{k-1} P_{i+1}^1 - \Delta_a^{k-1} P_i^1, \quad i = 1, 2, \dots, n-k \quad (6.3.3)$$

În exprimare relativă (raportată) înseamnă:

$$\Delta_{ar}^k P_i^1 = \Delta_{ar}^{k-1} P_{i+1}^1 - \Delta_{ar}^{k-1} P_i^1, \quad i = 1, 2, \dots, n-k \quad (6.3.4)$$

Evident, pentru ordinul  $n-1$  rezultă o singură valoare:

$$\Delta_a^{n-1} P_1^1 = \Delta_a^{n-2} P_2^1 - \Delta_a^{n-2} P_1^1 \quad (6.3.5)$$

În exprimare relativă (raportată) înseamnă:

$$\Delta_{ar}^{n-1} P_1^1 = \Delta_{ar}^{n-2} P_2^1 - \Delta_{ar}^{n-2} P_1^1 \quad (6.3.6)$$

Generalizând relațiile anterioare, se poate scrie expresia diferențelor finite anuale absolute de ordinul  $k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n-1$ , aferente orei  $j$ ,  $j = 1, 2, \dots, 23$ :

$$\Delta_a^k P_i^j = \Delta_a^{k-1} P_{i+1}^j - \Delta_a^{k-1} P_i^j, \quad i = 1, 2, \dots, n-k \quad (6.3.7)$$

Evident:

$$\Delta_a^0 P_i^j = P_i^j, \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, 24 \quad (6.3.8)$$

În exprimare relativă (raportată) înseamnă:

$$\Delta_{ar}^k P_i^j = \Delta_{ar}^{k-1} P_{i+1}^j - \Delta_{ar}^{k-1} P_i^j, \quad i = 1, 2, \dots, n-k \quad (6.3.9)$$

Se definește în final indicele global de calitate anual  $IC_a$  pentru setul de date inițiale menționate la începutul paragrafului:

$$IC_a = \sum_{j=1}^{23} (\Delta_a^{n-1} P_1^j)^2 \quad (6.3.10)$$

În exprimare relativă rezultă indicele global de calitate anual  $IC_{ar}$  are expresia:

$$IC_{ar} = \sum_{j=1}^{23} (\Delta_{ar}^{n-1} P_1^j)^2 \quad (6.3.11)$$

În continuare se procedează analog în privința diferențelor finite orare. Se definesc diferențele finite orare absolute de ordinul 1 aferente orei 1:

$$\Delta_o^1 P_i^1 = P_i^2 - P_i^1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.3.12)$$

În exprimare relativă (raportată) înseamnă:

$$\Delta_{or}^1 P_i^1 = \frac{P_i^2 - P_i^1}{P_i^1} = \frac{\Delta_o^1 P_i^1}{P_i^1}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.3.13)$$

Diferențele finite absolute de ordinul  $k$ ,  $k = 2, 3, \dots, n$  – în număr de  $n - (k - 1)$  – se determină cu relația:

$$\Delta_o^k P_i^1 = \Delta_o^{k-1} P_{i+1}^1 - \Delta_o^{k-1} P_i^1, \quad i = 1, 2, \dots, n - k + 1 \quad (6.3.14)$$

Pentru diferența finită relativă rezultă:

$$\Delta_{or}^k P_i^1 = \Delta_{or}^{k-1} P_{i+1}^1 - \Delta_{or}^{k-1} P_i^1, \quad i = 1, 2, \dots, n - k + 1 \quad (6.3.15)$$

Evident, diferența finită de ordinul  $n$  (evident, una singură) este cea care ne interesează:  $\Delta_o^n P_1^1$ , respectiv  $\Delta_{or}^n P_1^1$ .

Generalizând relațiile anterioare, se poate scrie expresia diferențelor finite orare absolute de ordinul  $k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ , aferente orei  $j$ ,  $j = 1, 2, \dots, 23$ :

$$\Delta_o^k P_i^j = \Delta_o^{k-1} P_{i+1}^j - \Delta_o^{k-1} P_i^j, \quad i = 1, 2, \dots, n - k + 1 \quad (6.3.16)$$

În exprimare relativă (raportată) înseamnă:

$$\Delta_{or}^k P_i^j = \Delta_{or}^{k-1} P_{i+1}^j - \Delta_{or}^{k-1} P_i^j, \quad i = 1, 2, \dots, n - k + 1 \quad (6.3.17)$$

Se definește în final indicele global de calitate orar  $IC_o$  pentru setul de date inițiale menționate la începutul paragrafului:

$$IC_o = \sum_{j=1}^{23} (\Delta_o^n P_1^j)^2 \quad (6.3.18)$$

În exprimare relativă rezultă indicele global de calitate orar  $IC_{or}$  are expresia:

$$IC_{or} = \sum_{j=1}^{23} (\Delta_{or}^n P_1^j)^2 \quad (6.3.19)$$

Pentru aprecierea comparativă a unei game largi de curbe de sarcină, exprimarea în unități relative are un grad sporit de relevanță (este eliminată dependența de nivelul consumului), cu alte cuvinte prezintă interes  $IC_{ar}$ , determinat cu relația (6.3.9), respectiv  $IC_{or}$ , determinat cu relația (6.3.17).

### 6.3.3. Curbe de sarcină lunare

Se cunosc curbele de sarcină lunare aferente unei anumite ore a unei zile anume, pentru o perioadă de  $n$  ani. Se notează cu  $P_i^j$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, \dots, 12$ , puterea aferentă lunii  $j$  a curbei de sarcină din anul  $i$ .

Se definesc diferențele finite anuale absolute de ordinul 1 aferente lunii 1 (ianuarie):

$$\Delta_a^1 p_i^1 = p_{i+1}^1 - p_i^1, \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (6.4.20)$$

În exprimare relativă (raportată) înseamnă:

$$\Delta_{ar}^1 p_i^1 = \frac{p_{i+1}^1 - p_i^1}{p_i^1} = \frac{\Delta_a^1 p_i^1}{p_i^1}, \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (6.4.21)$$

Diferențele finite absolute de ordinul  $k$ ,  $k = 2, 3, \dots, n-1$ , în număr de  $(n - k)$ , se determină cu relația:

$$\Delta_a^k p_i^1 = \Delta_a^{k-1} p_{i+1}^1 - \Delta_a^{k-1} p_i^1, \quad i = 1, 2, \dots, n-k \quad (6.4.22)$$

În exprimare relativă (raportată) înseamnă:

$$\Delta_{ar}^k p_i^1 = \Delta_{ar}^{k-1} p_{i+1}^1 - \Delta_{ar}^{k-1} p_i^1, \quad i = 1, 2, \dots, n-k \quad (6.4.23)$$

Evident, pentru ordinul  $n-1$  rezultă o singură valoare:

$$\Delta_a^{n-1} p_1^1 = \Delta_a^{n-2} p_2^1 - \Delta_a^{n-2} p_1^1 \quad (6.4.24)$$

În exprimare relativă (raportată) înseamnă:

$$\Delta_{ar}^{n-1} p_1^1 = \Delta_{ar}^{n-2} p_2^1 - \Delta_{ar}^{n-2} p_1^1 \quad (6.4.25)$$

Generalizând relațiile anterioare, se poate scrie expresia diferențelor finite anuale absolute de ordinul  $k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n-1$ , aferente lunii  $j$ ,  $j = 1, 2, \dots, 11$ :

$$\Delta_a^k p_i^j = \Delta_a^{k-1} p_{i+1}^j - \Delta_a^{k-1} p_i^j, \quad i = 1, 2, \dots, n-k \quad (6.4.26)$$

Evident:

$$\Delta_a^0 p_i^j = p_i^j, \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, 12 \quad (6.4.27)$$

În exprimare relativă (raportată) înseamnă:

$$\Delta_{ar}^k p_i^j = \Delta_{ar}^{k-1} p_{i+1}^j - \Delta_{ar}^{k-1} p_i^j, \quad i = 1, 2, \dots, n-k \quad (6.4.28)$$

Se definește în final indicele global de calitate anual  $IC_a$  pentru setul de date inițiale menționate la începutul paragrafului:

$$IC_a = \sum_{j=1}^{11} (\Delta_a^{n-1} p_1^j)^2 \quad (6.4.29)$$

În exprimare relativă rezultă indicele global de calitate anual  $IC_{ar}$  are expresia:

$$IC_{ar} = \sum_{j=1}^{11} (\Delta_{ar}^{n-1} p_1^j)^2 \quad (6.4.30)$$

În continuare se procedează analog în privința diferențelor finite lunare. Se definesc diferențele finite lunare absolute de ordinul 1 aferente lunii 1 (ianuarie):

$$\Delta_i^1 p_i^1 = p_i^2 - p_i^1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.3.31)$$

În exprimare relativă (raportată) înseamnă:

$$\Delta_{lr}^1 P_i^1 = \frac{P_i^2 - P_i^1}{P_i^1} = \frac{\Delta_i^1 P_i^1}{P_i^1}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.3.32)$$

Diferențele finite absolute de ordinul  $k$ ,  $k = 2, 3, \dots, n$  – în număr de  $n - (k - 1)$  – se determină cu relația:

$$\Delta_i^k P_i^1 = \Delta_i^{k-1} P_{i+1}^1 - \Delta_i^{k-1} P_i^1, \quad i = 1, 2, \dots, n - k + 1 \quad (6.3.33)$$

Pentru diferența finită relativă rezultă:

$$\Delta_{lr}^k P_i^1 = \Delta_{lr}^{k-1} P_{i+1}^1 - \Delta_{lr}^{k-1} P_i^1, \quad i = 1, 2, \dots, n - k + 1 \quad (6.3.34)$$

Diferența finită de ordinul  $n$  (evident, una singură) este cea care ne interesează:  $\Delta_i^n P_1^1$ , respectiv  $\Delta_{lr}^n P_1^1$ .

Generalizând relațiile anterioare, se poate scrie expresia diferențelor finite lunare absolute de ordinul  $k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ , aferente lunii  $j$ ,  $j = 1, 2, \dots, 11$ :

$$\Delta_o^k P_i^j = \Delta_o^{k-1} P_{i+1}^j - \Delta_o^{k-1} P_i^j, \quad i = 1, 2, \dots, n - k + 1 \quad (6.3.35)$$

În exprimare relativă (raportată) înseamnă:

$$\Delta_{or}^k P_i^j = \Delta_{or}^{k-1} P_{i+1}^j - \Delta_{or}^{k-1} P_i^j, \quad i = 1, 2, \dots, n - k + 1 \quad (6.3.36)$$

Se definește în final indicele global de calitate lunar  $IC_j$  pentru setul de date inițiale menționate la începutul paragrafului:

$$IC_j = \sum_{j=1}^{11} (\Delta_i^n P_1^j)^2 \quad (6.3.37)$$

În exprimare relativă rezultă indicele global de calitate lunar  $IC_{lr}$  are expresia:

$$IC_{lr} = \sum_{j=1}^{11} (\Delta_{lr}^n P_1^j)^2 \quad (6.3.38)$$

Pentru aprecierea comparativă a unei game largi de curbe de sarcină, exprimarea în unități relative are un grad sporit de relevanță (este eliminată dependența de nivelul consumului), cu alte cuvinte prezintă interes  $IC_{ar}$ , determinat cu relația (6.3.30), respectiv  $IC_{lr}$ , determinat cu relația (6.3.38).

## 6.4. Concluzii

Capitolul 6 are ca obiectiv prezentarea modelului matematic al metodelor utilizate efectiv în lucrare pentru prognoza consumului de energie electrică (putere) și a curbelor de sarcină. Ele au fost elaborate pe baza elementelor teoretice prezentate în capitolele anterioare, atât în ceea ce privește RNA (capitolul 4) cât și metodele de calcul numeric și tehnice de optimizare.

În prima parte a capitolului se detaliază metoda care utilizează RNA de tip perceptron cu mai multe straturi, cu algoritm de tip backpropagation. Se trec în revistă

principalele etape ale algoritmului de calcul, care se poate utiliza atât pentru prognoza curbelor de sarcină, cât și pentru prognoza consumului de energie electrică, a puterii de vârf sau a puterii medii orare pentru un consumator individual sau o zonă de consum. Se evidențiază și elementele de noutate, legate de implementarea unor tehnici de optimizare neliniară, de evitare a blocării soluției într-un minim local, de tratare a altor situații speciale care pot să apară în derularea calculelor. La finalul primului subcapitol se prezintă pe scurt și instrumentul soft corespunzător algoritmului prezentat, cu observația că sunt incluse și metodele prezentate în subcapitolele următoare.

Al doilea subcapitol prezintă pe scurt metodele clasice de prognoză, bazate pe aproximarea valorii funcțiilor cunoscute prin puncte cu metoda celor mai mici pătrate, implementate la rândul lor în instrumentul soft elaborat.

Ultimul subcapitol, în întregime original, prezintă un instrument de analiză (estimare) a calității prognozelor pentru curbele de sarcină în funcție de calitatea datelor cunoscute (gradul de corelare) pentru o anumită perioadă trecută (un anumit număr de ani). Acest instrument are la bază diferențele finite prezentate în paragraful 5.1.2, cu ajutorul cărora se determină o serie de indici globali caracteristici.

În continuare se prezintă o sinteză a contribuțiilor personale, în contextul în care capitolul este în întregime original, reprezentând principala parte aplicativă a tezei:

- adaptarea și utilizarea unei RNA de tip perceptron cu mai multe straturi, împreună cu un algoritm backpropagation, pentru prognoza curbelor de sarcină și a puterii (energiei) consumate;
- implementarea unor tehnici de optimizare neliniară, în scopul evitării blocării soluției într-un minim local, și a unor metode de tratare a altor situații speciale care pot să apară în derularea calculelor;
- elaborarea unei metode de analiză (estimare) a calității prognozelor pentru curbele de sarcină în funcție de calitatea datelor cunoscute (gradul de corelare) pentru o anumită perioadă trecută (un anumit număr de ani), având la bază metoda diferențelor finite, cu ajutorul căreia se determină o serie de indici globali caracteristici;
- realizarea unui instrument soft performant, cu multiple posibilități de utilizare pentru prognoza curbelor de sarcină, a consumului de energie electrică (putere).



## 7. STUDII DE CAZ ȘI REZULTATE

Capitolului 7 constituie principala parte aplicativă a lucrării. În acest capitol se prezintă rezultatele obținute privind prognoza consumului de energie electrică și a curbelor de sarcină utilizând tehnici bazate pe inteligența artificială (IA) – rețele neuronale artificiale (RNA).

Elementele teoretice, metodologiile de calcul elaborate și instrumentele soft dezvoltate, care au constituit obiectul capitolelor anterioare, au fost aplicate și utilizate la obținerea prognozelor menționate pentru o gamă largă de studii de caz.

Analizele efectuate au pornit de la cazuri simple și baze de date test, utilizate pentru validarea metodelor propuse și pentru "calibrarea" instrumentelor soft, ca apoi să se treacă la situații reale, vizând principalii operatori de distribuție din România: Enel, Electrica, CEZ etc.

Pentru acest capitol, din motive de spațiu, s-au selectat doar două baze de date test și o serie de studii de caz referitoare la Enel Distribuție Banat. Se menționează că o parte din rezultate sunt prezentate în detaliu în cadrul capitolului, restul doar în sinteză (detaliile fiind regăsite în Anexele 7.1, 7.2, 7.3 și 7.4, sub formă electronică).

De asemenea, o bună parte din rezultatele obținute și pentru alte sisteme de distribuție a energiei electrice sunt prezente și au fost utilizate în cadrul unor contracte derulate în ultimii 3 ani prin Centrul de Cercetare pentru Analiza și Optimizarea regiunilor SEE din cadrul Universității Politehnica din Timișoara (director prof.dr.ing. Ștefan Kilyeni), beneficiarii fiind operatori de distribuție de România (Enel Distribuție Banat, Electrica Muntenia Nord, Enel Distribuție Dobrogea) și o serie de agenți economici cu preocupări domeniul implementării resurselor regenerabile de energie (UPT2009a] - [UPT 2009c], [UPT2012], [UPT2013a] - [UPT2013f], [UPT2014a] - [UPT 2014f].

Prima parte a capitolului se referă atât la ansamblul Enel Distribuție Banat cât și la principalele unități teritoriale rețea (UTR) componente: UTR Timișoara, UTR Arad, UTR Deva și UTR Reșița.

A doua parte a capitolului este dedicată stațiilor de transformare de 110 kV/ m.t. din cadrul UTR Timișoara. Au fost selectate pentru prezentare în detaliu 5 stații semnificative de 110 / 20 kV: Victoria, Cetate, Pădurea Verde, Sănnicolau Mare și Lugoj.

În ultima parte se analizează posibilitatea cuantificării gradului de corelare a curbelor de sarcină și influența asupra calității prognozelor obținute. Se utilizează și două baze de date test (curbe de sarcină test), elaborate în acest scop.

La finele fiecărui subcapitol în parte și la sfârșitul capitolului se prezintă o serie de comentarii și concluzii, cu caracter particular sau mai general, atât legat de rezultatele concrete ale prognozelor cât și de RNA utilizate.

### 7.1. Enel Distribuție Banat și UTR componente

#### 7.1.1. Considerații preliminare

Primul subcapitol se referă la operatorul de distribuție Enel Distribuție Banat. Analizele efectuate vizează atât ansamblul cât și principalele UTR componente: Reșița, Arad, Deva și Timișoara.

Dintre analizele efectuate s-a selectat pentru acest capitol prognoza curbelor de sarcină pentru ziua cea mai semnificativă de vară – 21 iunie, utilizând valorile cunoscute din oră în oră (ora 1, ora 2, ..., ora 23, ora 24). Se menționează că s-au

considerat de fapt zilele de joi cele mai apropiate de ziua de 21 iunie, cu alte cuvinte în exclusivitate zile lucrătoare: 2001 – 21 iunie, 2002 – 20 iunie, 2003-19 iunie, 2004 – 24 iunie, 2005 – 23 iunie, 2006 – 22 iunie, 2007 – 21 iunie, 2008 – 19 iunie, 2009 – 18 iunie, 2010 – 24 iunie, 2011 – 23 iunie, 2012 – 21 iunie, 2013 – 20 iunie.

Primii 10 ani (dintre cei 13 pentru care se cunosc datele de consum), 2001-2010, s-au utilizat pentru realizare efectivă a prognozei, iar ultimii 3 ani, 2011-2013, pentru verificare prognozelor obținute. Se menționează că toate datele referitoare la curbele de sarcină au fost obținute de la Enel Distribuție Banat.

Pentru prognoza curbelor de sarcină s-au utilizat atât metode numerice clasice cât și tehnici bazate pe RNA:

a) metode numerice clasice:

- regresie liniară (aplicată pentru fiecare oră în parte);
- regresie parabolică (aplicată pentru fiecare oră în parte);

b) tehnici bazate pe RNA:

- RNA pentru toată curba de sarcină (24 ore);
- RNA pentru fiecare oră în parte.

La finele subcapitolului cât și la sfârșitul capitolului se prezintă o serie de comentarii și concluzii, cu caracter particular sau mai general, atât legat de rezultatele concrete ale prognozelor cât și de RNA utilizate. O atenție specială se acordă comparării rezultatelor obținute cu diverse metode, evidențierii calității metodelor utilizate, aprecierii gradului de corelare a curbelor de sarcină cunoscute și a influenței gradului de corelare asupra calității prognozelor realizate.

### 7.1.2. UTR Reșița

În tabelul 7.1.1, respectiv figura 7.1.1, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 10 ani (2001-2010), pentru ziua cea mai semnificativă de vară (în condițiile menționate în paragraful 7.1.1). Aceste curbe de sarcină vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor, în scopul obținerii curbelor de sarcină pentru anii 2011, 2012, 2013.

Tabelul 7.1.1. Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW)

Anul / Ora	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	80.20	71.20	96.60	77.40	68.90	62.70	73.80	69.10	60.40	56.10
2	67.20	76.60	94.60	79.60	78.00	55.40	59.90	70.50	59.20	54.20
3	63.80	71.70	78.20	77.70	81.50	54.70	61.90	66.90	57.70	54.10
4	57.20	87.40	91.90	80.40	74.50	55.20	68.20	52.30	59.70	54.00
5	70.30	82.10	99.20	79.90	76.80	56.30	69.10	60.20	61.70	53.10
6	78.80	70.30	91.60	82.60	71.90	56.50	64.30	69.00	59.50	52.30
7	76.20	85.00	93.10	80.30	68.40	55.80	50.80	62.60	58.90	51.60
8	81.50	94.60	66.50	101.1	72.10	63.10	71.90	62.10	58.90	63.10
9	86.60	100.4	31.00	111.7	92.40	67.20	73.00	60.00	59.10	68.40
10	73.30	112.3	38.00	104.7	90.40	68.50	67.70	57.20	59.90	66.40
11	74.60	108.7	31.50	103.5	94.00	69.80	63.30	58.40	58.40	62.90
12	72.80	98.70	89.20	100.7	83.90	72.60	71.90	59.00	58.60	63.20
13	70.00	100.3	98.70	98.00	81.40	70.60	57.10	61.30	58.70	63.90
14	80.30	115.5	98.00	87.50	79.50	69.60	50.00	62.40	58.10	65.00
15	77.70	107.4	91.50	95.50	81.50	69.10	50.50	58.50	58.20	61.30
16	68.70	90.20	81.50	95.50	74.50	72.40	59.00	49.60	58.70	60.80
17	84.20	75.00	90.10	94.40	72.80	76.30	64.10	58.40	55.60	59.70
18	73.40	87.70	89.50	94.60	62.00	77.30	66.60	57.20	58.20	57.00
19	72.50	81.00	89.60	89.10	55.80	80.70	56.90	58.10	60.10	57.20
20	61.30	70.00	75.60	85.10	52.30	79.30	48.50	45.60	60.20	57.90
21	70.90	76.60	81.70	83.90	56.80	71.70	50.00	50.40	59.90	56.30
22	79.10	79.90	84.00	90.90	67.00	78.80	57.20	52.00	59.80	56.10
23	92.70	95.00	105.80	90.50	79.70	87.90	78.70	57.30	56.30	57.60
24	89.10	87.30	95.30	89.00	81.70	88.10	56.30	57.80	58.40	56.30

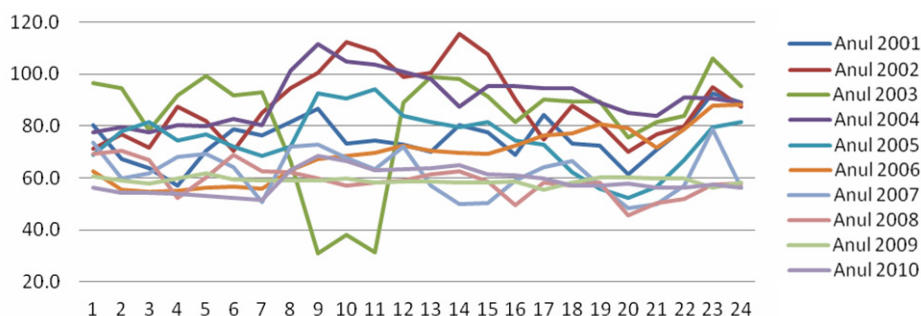


Figura 7.1.1. Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW)

În tabelul 7.1.2, respectiv figura 7.1.2, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 3 ani (2011-2013), pentru ziua cea mai semnificativă de vară (în condițiile menționate în paragraful 7.1.1). Aceste date vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2011, 2012, 2013.

Tabelul 7.1.2. Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)

Anul / Ora	2011	2012	2013	Anul / Ora	2011	2012	2013
1	59.40	56.80	54.20	13	59.50	60.10	58.10
2	57.70	55.60	54.90	14	58.60	62.40	57.80
3	57.90	56.80	56.10	15	60.50	58.30	55.20
4	57.60	55.30	56.10	16	53.80	54.70	57.30
5	60.40	58.60	57.80	17	59.40	60.60	62.60
6	53.60	52.00	53.20	18	59.80	58.40	57.60
7	53.30	49.90	53.20	19	55.30	54.40	51.90
8	60.10	55.10	53.40	20	49.30	48.30	47.10
9	59.20	57.90	56.20	21	50.20	51.40	54.10
10	62.50	60.70	57.20	22	58.10	56.90	53.60
11	62.50	61.10	61.80	23	64.60	65.80	66.10
12	62.20	60.90	61.80	24	64.10	62.80	60.40

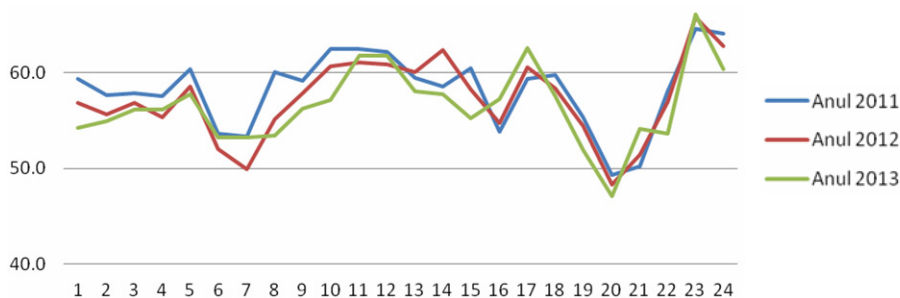


Figura 7.1.2. Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)

Analiza sumară a datelor prezentate în tabelele 7.1.1 și 7.1.2, respectiv figurile 7.1.1 și 7.1.2, evidențiază de la bun început următoarele concluzii:

- pentru perioada 2001-2010 nu există o tendință clară de creștere sau de scădere a puterii pe ansamblu;
- curbele de sarcină "se intersectează" între ele, cu alte cuvinte forma lor diferă;
- observațiile anterioare sunt valabile și pentru anii 2011-2013;
- curba de sarcină pentru anul 2003 are o formă cu totul aparte între orele 7 și 12, când, probabil, un mare consumator nu a fost în funcțiune;
- gradul de corelare a curbelor de sarcină este relativ redus, atât din punctul de vedere al evoluției în timp, cât și al formei pe durata unei zile.

În cele ce urmează se prezintă rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză.

#### □ Regresie liniară, orar

În tabelul 7.1.3 se prezintă rezultatele obținute (în MW) prin extrapolare liniară (pentru fiecare oră în parte), diferențele relative față de valorile cunoscute (în %) și abaterile pătratice. În partea de jos a tabelului este dată valoarea indicelui global de performanță ( $s_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 3 ani și cele 24 de valori orare ( $s_{2011}$ ,  $s_{2012}$ ,  $s_{2013}$  – indici parțiali de performanță). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.1.3 - 7.1.5 (comparativ, pentru toate metodele utilizate).

Tabelul 7.1.3. Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)

2011					2012					2013				
Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă
1	59.4	56.7	-4.5	20.1	1	56.8	54.0	-4.9	23.8	1	54.2	51.3	-5.3	28.2
2	57.7	54.8	-5.0	24.9	2	55.6	52.1	-6.2	38.6	2	54.9	49.5	-9.9	97.7
3	57.9	56.3	-2.8	7.8	3	56.8	54.4	-4.3	18.3	3	56.1	52.5	-6.5	42.2
4	57.6	52.2	-9.4	88.1	4	55.3	49.3	-10.8	117.5	4	56.1	46.4	-17.3	298.0
5	60.4	52.7	-12.8	163.1	5	58.6	49.4	-15.7	247.5	5	57.8	46.1	-20.3	411.5
6	53.6	53.1	-0.9	0.9	6	52.0	50.1	-3.7	13.6	6	53.2	47.1	-11.5	132.7
7	53.3	46.3	-13.0	170.2	7	49.9	42.4	-15.1	228.3	7	53.2	38.4	-27.9	776.6
8	60.1	55.7	-7.3	53.9	8	55.1	52.4	-4.8	23.1	8	53.4	49.2	-7.8	61.5
9	59.2	60.0	1.4	1.9	9	57.9	57.3	-1.1	1.1	9	56.2	54.6	-2.9	8.5
10	62.5	58.3	-6.7	44.9	10	60.7	55.5	-8.6	73.7	10	57.2	52.7	-7.9	62.8
11	62.5	56.9	-8.9	79.7	11	61.1	54.1	-11.5	131.8	11	61.8	51.3	-17.1	291.4
12	62.2	56.5	-9.1	83.0	12	60.9	52.8	-13.3	176.9	12	61.8	49.1	-20.6	424.4
13	59.5	53.8	-9.6	92.4	13	60.1	49.7	-17.2	297.1	13	58.1	45.7	-21.3	455.5
14	58.6	48.6	-17.1	291.6	14	62.4	43.5	-30.3	917.1	14	57.8	38.4	-33.5	1125
15	60.5	48.3	-20.2	406.2	15	58.3	43.4	-25.5	650.4	15	55.2	38.6	-30.2	909.1
16	53.8	52.3	-2.7	7.4	16	54.7	48.9	-10.6	111.5	16	57.3	45.5	-20.6	423.2
17	59.4	53.0	-10.8	116.6	17	60.6	49.3	-18.6	345.4	17	62.6	45.7	-27.0	729.9
18	59.8	52.9	-11.6	134.2	18	58.4	49.3	-15.5	241.1	18	57.6	45.8	-20.5	420.3
19	55.3	53.0	-4.2	17.4	19	54.4	49.9	-8.3	68.9	19	51.9	46.8	-9.9	97.6
20	49.3	52.5	6.5	42.5	20	48.3	50.5	4.6	20.8	20	47.1	48.5	2.9	8.7
21	50.2	49.4	-1.5	2.3	21	51.4	46.5	-9.6	92.6	21	54.1	43.5	-19.6	385.7
22	58.1	50.6	-12.9	167.5	22	56.9	47.0	-17.5	305.1	22	53.6	43.3	-19.1	366.1
23	64.6	51.6	-20.1	405.0	23	65.8	46.4	-29.5	868.4	23	66.1	41.2	-37.6	1417
24	64.1	50.0	-21.9	481.1	24	62.8	45.3	-27.8	773.6	24	60.4	40.6	-32.7	1071
$s_{2011}$	2902.56				$s_{2012}$	5786.26				$s_{2013}$	10045.51			
$s_{total} = 18734.32$														

#### □ Regresie parabolică, orar

În tabelul 7.1.4 se prezintă rezultatele obținute (în MW) prin extrapolare parabolică (pentru fiecare oră în parte), diferențele relative față de valorile cunoscute (în %) și abaterile pătratice. În partea de jos a tabelului este dată valoarea indicelui global de performanță ( $s_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 3 ani și cele 24 de valori orare ( $s_{2011}$ ,  $s_{2012}$ ,  $s_{2013}$  – indici parțiali de performanță). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.1.3 - 7.1.5 (comparativ, pentru toate metodele utilizate).

Tabelul 7.1.4. Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)

2011					2012					2013				
Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abateri relativă [%]	Abateri pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abateri relativă [%]	Abateri pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abateri relativă [%]	Abateri pătratică relativă
1	59.4	51.3	-13.6	183.7	1	56.8	45.7	-19.5	382.0	1	54.2	39.6	-27.0	729.8
2	57.7	45.1	-21.9	480.4	2	55.6	37.1	-33.4	1112	2	54.9	28.2	-48.7	2371
3	57.9	44.4	-23.3	542.7	3	56.8	36.0	-36.6	1338	3	56.1	26.5	-52.7	2775
4	57.6	39.9	-30.7	943.2	4	55.3	30.3	-45.2	2040	4	56.1	19.6	-65.0	4229
5	60.4	43.5	-28.1	787.2	5	58.6	35.1	-40.1	1606	5	57.8	25.9	-55.1	3040
6	53.6	47.4	-11.6	134.9	6	52.0	41.2	-20.7	428.4	6	53.2	34.6	-35.0	1225
7	53.3	47.1	-11.7	136.2	7	49.9	43.5	-12.8	164.8	7	53.2	40.0	-24.9	618.0
8	60.1	54.5	-9.3	85.7	8	55.1	50.7	-8.0	64.6	8	53.4	46.7	-12.5	157.3
9	59.2	57.1	-3.5	12.2	9	57.9	52.8	-8.7	76.3	9	56.2	48.3	-14.1	198.1
10	62.5	52.9	-15.4	237.7	10	60.7	47.1	-22.5	504.4	10	57.2	40.8	-28.7	824.4
11	62.5	49.7	-20.4	417.6	11	61.1	43.0	-29.7	880.4	11	61.8	35.6	-42.5	1802
12	62.2	43.1	-30.7	944.6	12	60.9	32.0	-47.4	2249	12	61.8	19.7	-68.1	4635
13	59.5	44.5	-25.3	639.4	13	60.1	35.3	-41.2	1698	13	58.1	25.4	-56.4	3176
14	58.6	52.7	-10.0	100.2	14	62.4	49.9	-20.0	401.0	14	57.8	47.4	-17.9	320.7
15	60.5	46.2	-23.6	558.2	15	58.3	40.2	-31.1	965.4	15	55.2	34.0	-38.5	1478
16	53.8	43.4	-19.4	374.9	16	54.7	35.1	-35.8	1285	16	57.3	26.0	-54.7	2986
17	59.4	45.0	-24.2	587.4	17	60.6	37.0	-38.9	1516	17	62.6	28.3	-54.8	3007
18	59.8	43.4	-27.4	749.2	18	58.4	34.7	-40.5	1641	18	57.6	25.2	-56.3	3165
19	55.3	47.1	-14.9	222.5	19	54.4	40.7	-25.2	634.2	19	51.9	33.8	-34.9	1215
20	49.3	46.4	-5.8	33.5	20	48.3	41.1	-14.9	220.6	20	47.1	35.3	-25.2	632.7
21	50.2	48.5	-3.5	11.9	21	51.4	45.0	-12.5	157.0	21	54.1	41.4	-23.5	554.1
22	58.1	44.5	-23.4	547.5	22	56.9	37.6	-34.0	1153	22	53.6	30.1	-43.9	1924
23	64.6	40.2	-37.8	1425	23	65.8	28.8	-56.2	3161	23	66.1	16.4	-75.2	5661
24	64.1	41.3	-35.5	1260	24	62.8	31.9	-49.2	2423	24	60.4	21.6	-64.2	4117
$S_{2011}$	11417.18				$S_{2012}$	26106.83				$S_{2013}$	50847.75			
$S_{total} = 88371.76$														

#### □ RNA, curba de sarcină

În tabelul 7.1.5 se prezintă rezultatele obținute (în MW) prin utilizarea RNA pentru întreaga curbă de sarcină, diferențele relative față de valorile cunoscute (în %) și abaterile pătratică. În partea de jos a tabelului este dată valoarea indicelui global de performanță ( $s_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 3 ani și cele 24 de valori orare ( $S_{2011}$ ,  $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$  – indici parțiali de performanță). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.1.3 - 7.1.5 (comparativ, pentru toate metodele). Ele au fost obținute în condițiile utilizării unui număr de 100.000 de eșantioane.

Tabelul 7.1.5. Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)

2011					2012					2013				
Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abateri relativă [%]	Abateri pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abateri relativă [%]	Abateri pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abateri relativă [%]	Abateri pătratică relativă
1	59.4	57.7	-2.9	8.5	1	56.8	55.7	-1.9	3.4	1	54.2	53.8	-0.7	0.5
2	57.7	58.2	0.9	0.8	2	55.6	56.5	1.6	2.5	2	54.9	54.7	-0.3	0.1
3	57.9	59.9	3.5	11.9	3	56.8	58.6	3.1	9.7	3	56.1	57.2	2.0	4.0
4	57.6	57.4	-0.3	0.1	4	55.3	55.6	0.5	0.2	4	56.1	53.7	-4.3	18.2
5	60.4	61.1	1.1	1.2	5	58.6	59.3	1.2	1.5	5	57.8	57.6	-0.4	0.1

2011					2012					2013				
Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă
6	53.6	53.6	0.1	0.0	6	52.0	51.4	-1.1	1.2	6	53.2	49.2	-7.5	55.9
7	53.3	55.1	3.4	11.5	7	49.9	53.3	6.7	45.1	7	53.2	51.4	-3.4	11.3
8	60.1	63.9	6.3	39.8	8	55.1	62.3	13.1	170.4	8	53.4	60.7	13.7	186.7
9	59.2	61.2	3.4	11.6	9	57.9	59.3	2.5	6.0	9	56.2	57.4	2.2	4.7
10	62.5	60.7	-2.9	8.6	10	60.7	58.3	-3.9	15.0	10	57.2	56.0	-2.0	4.1
11	62.5	62.1	-0.6	0.4	11	61.1	60.9	-0.3	0.1	11	61.8	59.6	-3.5	12.3
12	62.2	65.7	5.6	31.3	12	60.9	63.5	4.2	17.8	12	61.8	61.3	-0.9	0.8
13	59.5	58.2	-2.1	4.4	13	60.1	55.9	-6.9	48.2	13	58.1	53.7	-7.7	58.5
14	58.6	61.7	5.3	27.9	14	62.4	59.5	-4.6	21.4	14	57.8	57.3	-0.8	0.7
15	60.5	58.2	-3.8	14.1	15	58.3	56.0	-4.0	15.7	15	55.2	53.8	-2.6	6.6
16	53.8	59.5	10.7	114.2	16	54.7	58.0	6.1	37.3	16	57.3	56.5	-1.4	1.9
17	59.4	63.1	6.2	38.2	17	60.6	61.5	1.5	2.2	17	62.6	59.9	-4.3	18.2
18	59.8	59.6	-0.3	0.1	18	58.4	57.8	-1.0	1.1	18	57.6	56.0	-2.8	7.9
19	55.3	55.2	-0.2	0.1	19	54.4	53.0	-2.5	6.2	19	51.9	50.9	-1.8	3.4
20	49.3	51.7	4.9	24.4	20	48.3	50.2	3.9	15.4	20	47.1	48.7	3.3	10.9
21	50.2	55.9	11.4	130.8	21	51.4	54.4	5.8	33.5	21	54.1	52.8	-2.4	5.7
22	58.1	57.2	-1.5	2.4	22	56.9	55.1	-3.2	10.1	22	53.6	53.0	-1.1	1.3
23	64.6	66.8	3.4	11.8	23	65.8	64.6	-1.8	3.2	23	66.1	62.5	-5.5	30.1
24	64.1	63.1	-1.6	2.6	24	62.8	60.9	-3.0	9.0	24	60.4	58.8	-2.6	7.0
$S_{2011}$	496.58				$S_{2012}$	476.33				$S_{2013}$	450.67			
$S_{total} = 1423.59$														

#### □ RNA, orar

În tabelul 7.1.6 se prezintă rezultatele obținute (în MW) prin utilizarea RNA pentru fiecare oră în parte, diferențele relative față de valorile cunoscute (în %) și abaterea pătratică. În partea de jos a tabelului este dată valoarea indicelui global de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 3 ani și cele 24 de valori orare ( $S_{2011}$ ,  $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$  - indici parțiali de performanță). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.1.3 - 7.1.5 (comparativ, pentru toate metodele). Ele au fost obținute în condițiile utilizării unui număr de 10.000 de eșantioane.

Tabelul 7.1.6. Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)

2011					2012					2013				
Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă
1	59.4	57.4	-3.3	11.1	1	56.8	56.4	-0.7	0.5	1	55.4	53.8	2.2	4.8
2	57.7	56.5	-2.0	4.0	2	55.6	55.7	0.1	0.0	2	54.8	54.7	-0.1	0.0
3	57.9	57.7	-0.3	0.1	3	56.8	57.1	0.5	0.2	3	56.5	57.2	0.6	0.4
4	57.6	57.0	-1.0	1.1	4	55.3	56.4	2.0	3.9	4	55.8	53.7	-0.6	0.3
5	60.4	59.5	-1.5	2.2	5	58.6	58.8	0.3	0.1	5	58.0	57.6	0.4	0.2
6	53.6	53.2	-0.8	0.6	6	52.0	53.0	1.8	3.4	6	52.7	49.2	-0.9	0.8
7	53.3	52.2	-2.1	4.5	7	49.9	52.1	4.4	19.1	7	52.0	51.4	-2.3	5.2
8	60.1	57.3	-4.7	22.2	8	55.1	56.2	2.0	4.1	8	55.2	60.7	3.3	11.0
9	59.2	59.6	0.6	0.4	9	57.9	57.8	-0.2	0.0	9	56.1	57.4	-0.3	0.1
10	62.5	60.8	-2.7	7.1	10	60.7	59.7	-1.7	2.8	10	58.5	56.0	2.4	5.5
11	62.5	62.7	0.2	0.1	11	61.1	61.9	1.3	1.6	11	61.1	59.6	-1.1	1.2
12	62.2	61.8	-0.6	0.4	12	60.9	61.7	1.2	1.5	12	61.5	61.3	-0.5	0.2

2011					2012					2013				
Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă
13	59.5	60.1	1.0	0.9	13	60.1	59.3	-1.3	1.6	13	58.6	53.7	0.9	0.7
14	58.6	60.2	2.8	7.7	14	62.4	59.7	-4.4	19.2	14	59.1	57.3	2.3	5.2
15	60.5	59.2	-2.1	4.6	15	58.3	57.9	-0.7	0.5	15	56.6	53.8	2.6	6.5
16	53.8	55.2	2.5	6.4	16	54.7	55.4	1.2	1.4	16	55.6	56.5	-3.0	9.2
17	59.4	60.1	1.1	1.3	17	60.6	60.8	0.3	0.1	17	61.5	59.9	-1.7	3.1
18	59.8	59.5	-0.5	0.3	18	58.4	58.7	0.4	0.2	18	57.8	56.0	0.4	0.2
19	55.3	55.1	-0.4	0.2	19	54.4	53.9	-0.9	0.7	19	52.8	50.9	1.8	3.1
20	49.3	48.8	-1.0	1.0	20	48.3	48.1	-0.4	0.1	20	47.5	48.7	0.7	0.6
21	50.2	51.6	2.7	7.3	21	51.4	52.2	1.6	2.5	21	52.9	52.8	-2.3	5.2
22	58.1	57.1	-1.8	3.2	22	56.9	56.1	-1.5	2.2	22	55.1	53.0	2.8	7.6
23	64.6	65.6	1.5	2.3	23	65.8	65.6	-0.3	0.1	23	65.6	62.5	-0.8	0.6
24	64.1	63.4	-1.0	1.1	24	62.8	62.3	-0.8	0.7	24	61.1	58.8	1.2	1.4
$S_{2011}$	89.87				$S_{2012}$	66.56				$S_{2013}$	73.09			
$S_{total} = 229.52$														

#### □ Analiza comparativă a rezultatelor obținute prin diverse metode

Rezultatele obținute prin utilizarea diverselor metode sunt prezentate comparativ în figurile 7.1.3 - 7.1.5 (anii 2011, 2012, 2013). Aceste figuri au fost obținute prin utilizarea valorilor din tabelele 7.1.3 - 7.1.6.

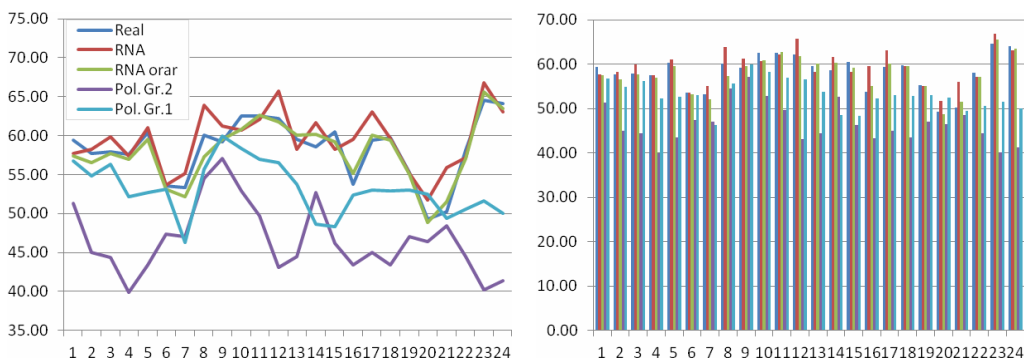


Figura 7.1.3. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2011

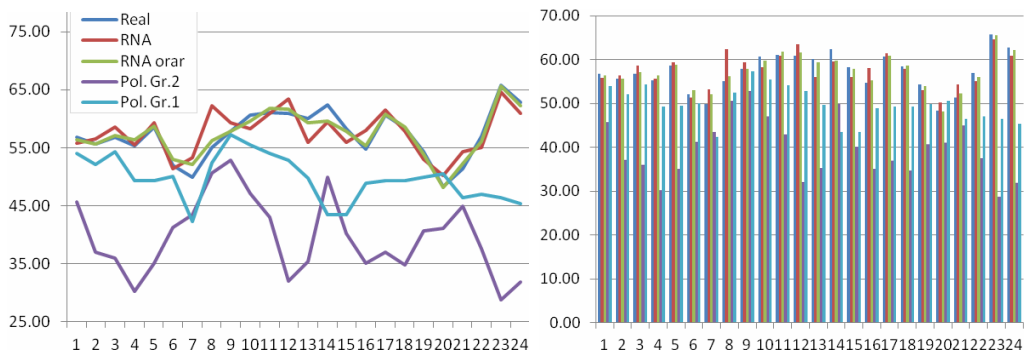


Figura 7.1.4. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

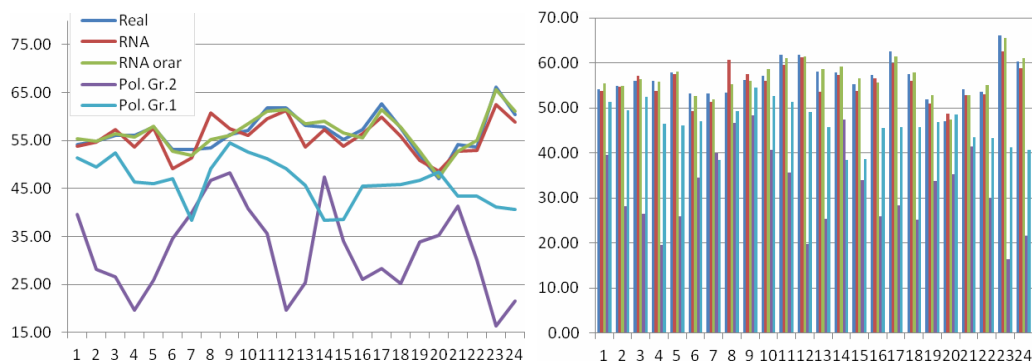


Figura 7.1.5. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.1.7 s-au reunit indicii de performanță cu cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.1.7. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, orar	Parabolic, orar	RNA, curba de sarcină	RNA, orar
<b>S<sub>2011</sub></b>	2902.6	11417.2	496.58	89.87
<b>S<sub>2012</sub></b>	5786.3	26106.8	476.33	66.56
<b>S<sub>2013</sub></b>	10045.5	50847.8	450.67	73.09
<b>S<sub>total</sub></b>	18734.4	88371.8	1423.59	229.52

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză evidențiază următoarele concluzii:

- rezultatele confirmă în totalitate observațiile făcute la analiza curbelor de sarcină pentru perioada 2001-2010, respectiv 2011-2013;
- metodele clasice de prognoză sunt total inadecvate, așa cum rezultă pe baza valorii indicelui global de performanță (ultima linie a tabelului 7.1.7);
- datorită corelării foarte slabe a datelor (în ceea ce privește evoluția orară a consumului), calitatea extrapolării parabolice este mai slabă decât a celei liniare (indice global de performanță 88371.8, față de 18734.4);
- analiza comparativă a valorii indicilor anuali de performanță ( $S_{2011}$ ,  $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ) evidențiază o creștere accentuată de la  $S_{2011}$  la  $S_{2013}$ , cu alte cuvinte metodele clasice nu reușesc să "prindă" evoluția consumului;
- rezultatele clar mai bune sunt obținute cu prognoza orară utilizând RNA față de cele cu prognoza ansamblului curbei de sarcină cu RNA (indice global de performanță 229.52, față de 1423.59) se explică prin slaba corelare a formei curbelor de sarcină;
- analiza comparativă a valorii indicilor anuali de performanță ( $S_{2011}$ ,  $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ) pentru cazul RNA evidențiază valori de același ordin de mărime – cu alte cuvinte aceste metode reușesc să "prindă" mai bine evoluția consumului (în pofida gradului redus de corelare a datelor inițiale);
- în spiritul concluziei anterioare, la curbele de culoare roșie din figurile 7.1.3 - 7.1.5 (prognoza ansamblului curbei de sarcină cu RNA) se observă o serie de "vârfuri", datorate slabei corelări a formei curbelor de sarcină din anii 2001-2010, care conduc la o valoare mai slabă a lui  $S_{total}$  comparativ cu RNA orar;
- zonele orare ale acestor vârfuri sunt legate de zonele orare similare ale curbelor de sarcină reale din perioada 2001-2010 (figura 7.1.1), respectiv perioada 2011-2013 (figura 7.1.2).



### 7.1.3. UTR Arad

În tabelul 7.1.8 (Anexa A7.1), respectiv figura 7.1.6, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 10 ani (2001-2010), pentru ziua cea mai semnificativă de vară (în condițiile menționate în paragraful 7.1.1). Aceste curbe de sarcină vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor, în scopul obținerii celor pentru anii 2011, 2012, 2013.

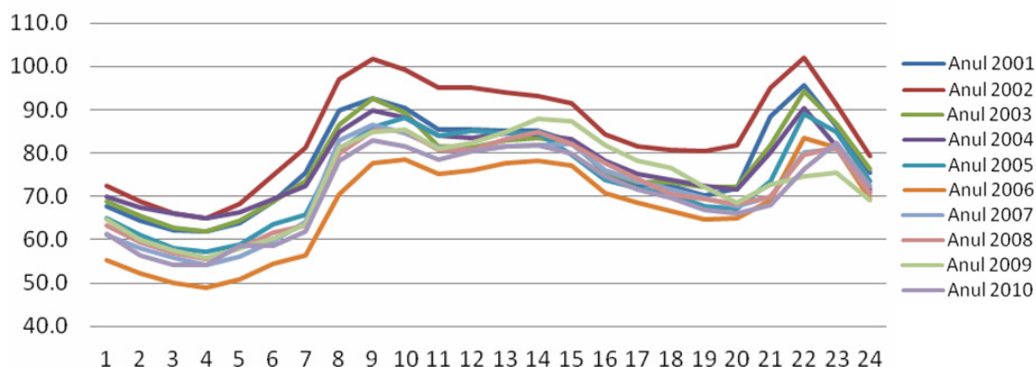


Figura 7.1.6. Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW)

În tabelul 7.1.9 (Anexa A71), respectiv figura 7.1.7, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 3 ani (2011-2013), pentru ziua cea mai semnificativă de vară (în condițiile menționate în paragraful 7.1.1). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2011, 2012, 2013.

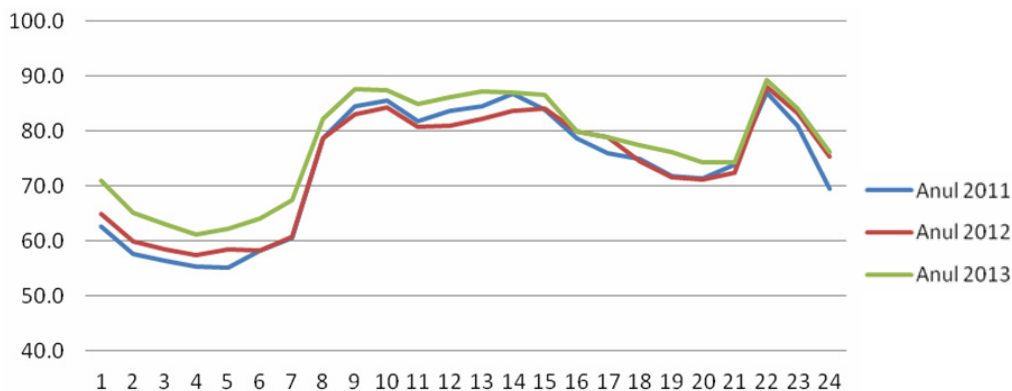


Figura 7.1.7. Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)

Analiza datelor prezentate în tabelele 7.1.8 și 7.1.9, respectiv figurile 7.1.6 și 7.1.7, evidențiază de la bun început următoarele concluzii:

- pentru perioada 2001-2010 nu există o tendință clară de creștere sau de scădere a puterii pe ansamblu;
- curbele de sarcină "se intersectează" între ele, cu alte cuvinte forma lor diferă, dar mai puțin decât cele pentru UTR Reșița, ceea ce înseamnă o corelare relativ mai bună "pe orizontală";
- pentru perioada 2011-2013 există practic un trend crescător al puterii pe ansamblu (cu mici abateri), ceea ce, corelat cu prima observație, poate conduce la probleme în obținerea prognozelor;

- gradul de corelare a curbelor de sarcină este relativ redus (evoluție în timp și forma pe durata unei zile), dar superior celui de la UTR Reșița.

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.1: regresie liniară, lunar (tabelul 7.1.10), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.1.11), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.1.12) și RNA, lunar (tabelul 7.1.13). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 3 ani și cele 24 de valori orare ( $S_{2011}$ ,  $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$  – indici parțiali de performanță). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.1.8 - 7.1.10 (comparativ, pentru toate metodele utilizate).

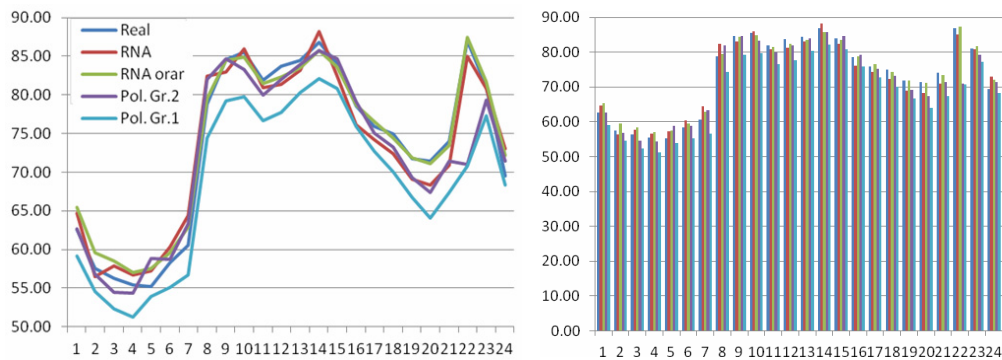


Figura 7.1.8. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2011

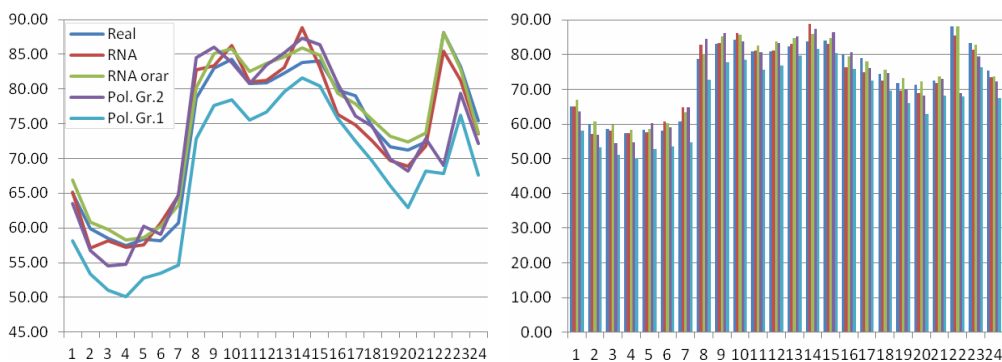


Figura 7.1.9. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

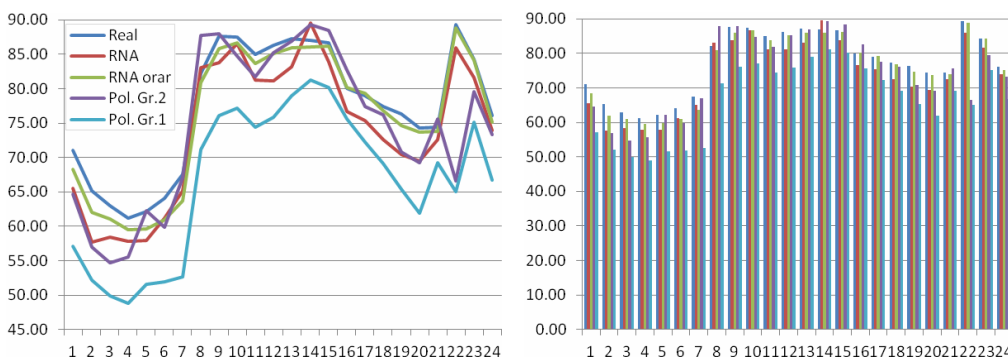


Figura 7.1.10. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.1.14 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.1.14. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, orar	Parabolic, orar	RNA, curba de sarcină	RNA, orar
<b>S<sub>2011</sub></b>	1193.6	527.7	243.4	54.18
<b>S<sub>2012</sub></b>	2132.6	825.8	254.2	93.91
<b>S<sub>2013</sub></b>	5498.4	1434.0	690.1	70.19
<b>S<sub>total</sub></b>	8824.6	2787.5	1187.7	218.28

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază următoarele concluzii:

- rezultatele confirmă în totalitate observațiile făcute la analiza curbelor de sarcină pentru perioada 2001-2010, respectiv 2011-2013;
- metodele clasice de prognoză sunt inadecvate, așa cum rezultă pe baza valorii indicelui global de performanță (ultima linie a tabelului 7.1.14), cu două diferențe față de UTR Reșița – de data aceasta prognoza prin regresie parabolică este mai bună decât cea liniară, respectiv indicii globali de performanță nu mai au valori "catastrofale" la metodele clasice (8824.6 și 2787.5, față de 18734.4 și 88371.8);
- analiza comparativă a valorii indicilor anuali de performanță ( $S_{2011}$ ,  $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ) evidențiază o creștere accentuată de la  $S_{2011}$  la  $S_{2013}$ , la fel ca la UTR Reșița, cu alte cuvinte metodele clasice nu reușesc să "prindă" corespunzător evoluția consumului;
- rezultatele clar mai bune sunt obținute cu prognoza orară utilizând RNA față de cele cu prognoza ansamblului curbei de sarcină cu RNA (indice global de performanță 218.28, față de 1187.7) se explică prin slaba corelare a formei curbelor de sarcină, la fel ca la UTR Reșița;
- analiza comparativă a valorii indicilor anuali de performanță ( $S_{2011}$ ,  $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ) pentru cazul RNA evidențiază valori de același ordin de mărime (cu o singură "sincopă" –  $S_{2013} = 690.1$  la RNA, curba de sarcină) – cu alte cuvinte aceste metode reușesc să "prindă" mai bine evoluția consumului (în pofida gradului relativ redus de corelare a datelor inițiale);
- în spiritul concluziei anterioare, la curbele de culoare roșie din figurile 7.1.8 - 7.1.10 (prognoza ansamblului curbei de sarcină cu RNA) se observă o serie de zone unde diferența este relativ mai mare față de cele de culoare albastră și verde (consumul real, respectiv cel prognozat cu RNA orar), datorate slabei corelări a formei curbelor de sarcină din anii 2001-2010, care conduc la o valoare mai slabă a lui  $S_{total}$  comparativ cu RNA orar.

#### 7.1.4. UTR Deva

În tabelul 7.1.15 (Anexa A7.1), respectiv figura 7.1.11, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 10 ani (2001-2010), pentru ziua cea mai semnificativă de vară (în condițiile menționate în paragraful 7.1.1). Aceste curbe de sarcină vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor, în scopul obținerii celor pentru anii 2011, 2012, 2013.

În tabelul 7.1.16 (Anexa A7.1), respectiv figura 7.1.12, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 3 ani (2011-2013), pentru ziua cea mai semnificativă de vară (în condițiile menționate în paragraful 7.1.1). Aceste date vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2011, 2012, 2013.

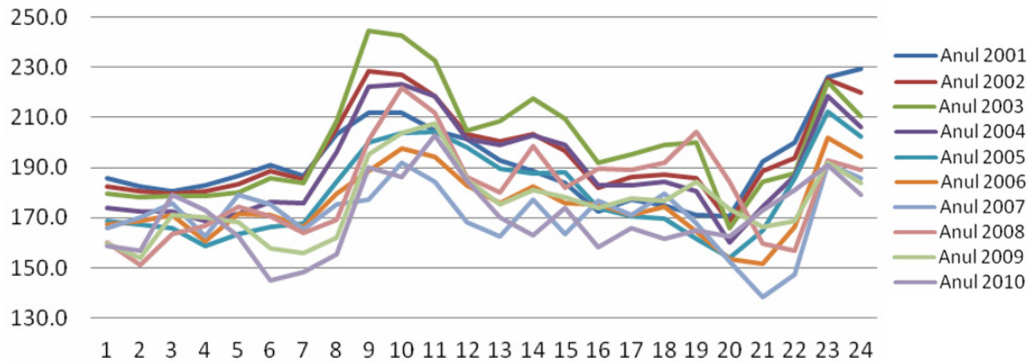


Figura 7.1.11. Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW)

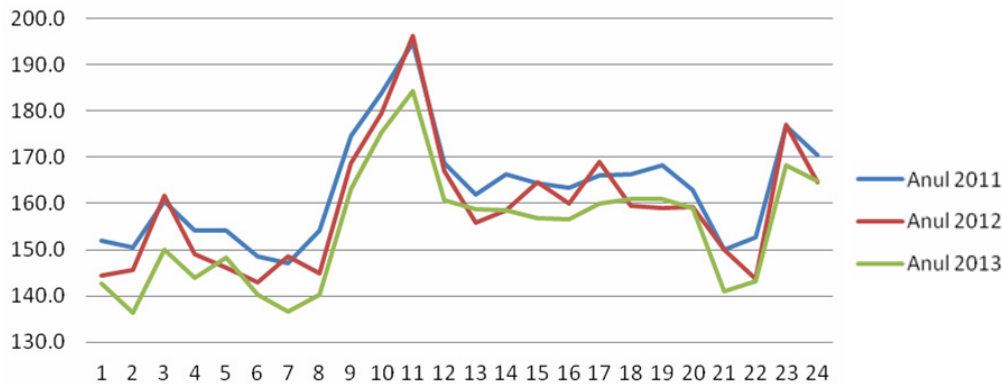


Figura 7.1.12. Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)

Analiza datelor prezentate în tabelele 7.1.15 și 7.1.16 evidențiază de la bun început următoarele concluzii:

- pentru perioada 2001-2010 există o tendință destul de clară de scădere a puterii pe ansamblu;
- curbele de sarcină "se intersectează" între ele, cu alte cuvinte forma lor diferă, dar mai puțin decât cele pentru UTR Reșița și cam în aceeași măsură ca la UTR Arad, ceea ce înseamnă o corelare relativ mai acceptabilă "pe orizontală";
- pentru perioada 2011-2013 continuă practic trendul descrescător al puterii pe ansamblu, ceea ce, corelat cu prima observație, prefigurează posibilitatea obținerii unor prognoze mai bune decât în cazurile anterioare;
- gradul de corelare a curbelor de sarcină este relativ redus din punctul de vedere al formei pe durata unei zile, dar superior celui de la UTR Reșița și de același ordin de mărime cu UTR Arad.

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.1: regresie liniară, lunar (tabelul 7.1.17), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.1.18), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.1.19) și RNA, lunar (tabelul 7.1.20). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 3 ani și cele 24 de valori orare ( $S_{2011}$ ,  $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$  – indici parțiali de performanță). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.1.13 - 7.1.15 (comparativ, pentru toate metodele utilizate).

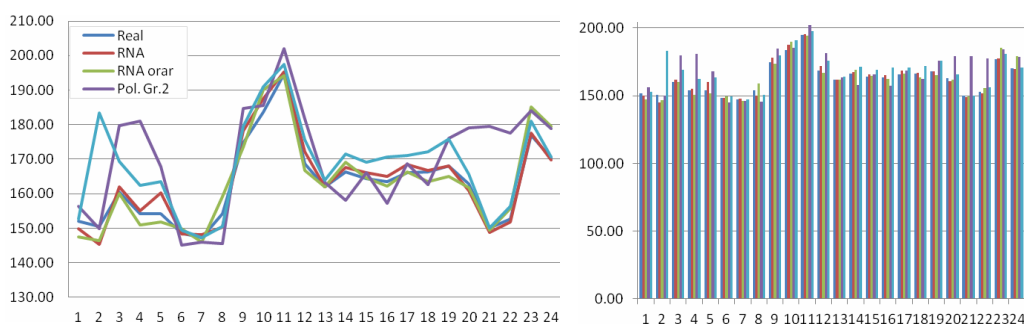


Figura 7.1.13. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2011

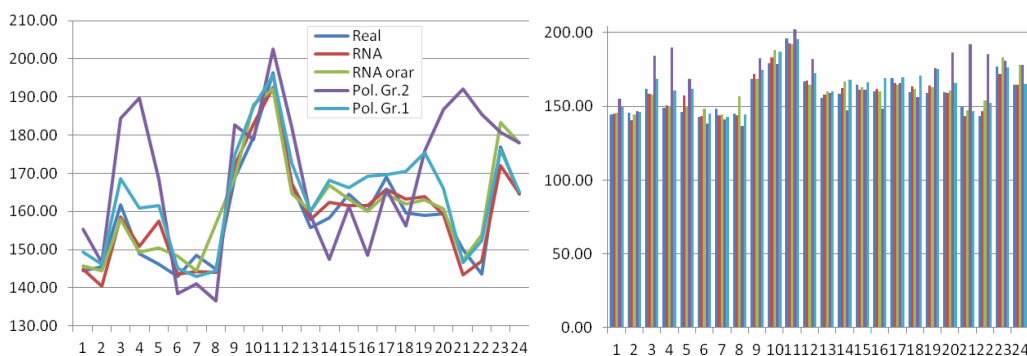


Figura 7.1.14. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

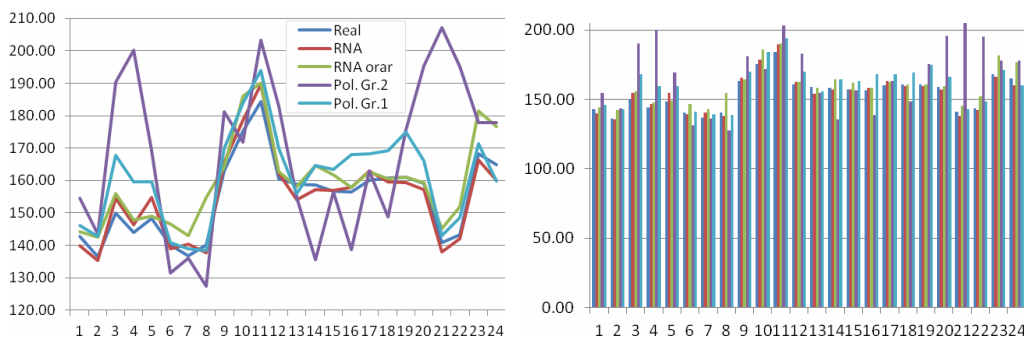


Figura 7.1.15. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.1.21 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.1.21. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, orar	Parabolic, orar	RNA, curba de sarcină	RNA, orar
<b>S<sub>2011</sub></b>	720.97	1542.2	58.51	30.78
<b>S<sub>2012</sub></b>	560.31	3676.8	165.40	67.50
<b>S<sub>2013</sub></b>	718.65	7715.2	94.23	87.85
<b>S<sub>total</sub></b>	1999.93	12934.2	318.14	186.13

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză evidențiază următoarele concluzii:

- rezultatele confirmă în totalitate observațiile făcute la analiza curbelor de sarcină pentru perioada 2001-2010, respectiv 2011-2013;
- metodele clasice de prognoză sunt inadecvate, așa cum rezultă pe baza valorii indicelui global de performanță (ultima linie a tabelului 7.1.21);
- datorită corelării slabe a datelor (în ceea ce privește evoluția orară a consumului), calitatea extrapolării parabolice este mai slabă decât a celei liniare (indice global de performanță 12934.2, față de 1999.93);
- analiza comparativă a valorii indicilor anuali de performanță ( $s_{2011}$ ,  $s_{2012}$ ,  $s_{2013}$ ) evidențiază o creștere accentuată de la  $s_{2011}$  la  $s_{2013}$ , la extrapolarea parabolică, cu alte cuvinte ea nu reușește să "prindă" evoluția consumului (la extrapolarea liniară ele sunt de același ordin de mărime);
- rezultatele clar mai bune sunt obținute cu prognoza orară utilizând RNA față de cele cu prognoza ansamblului curbei de sarcină cu RNA (indice global de performanță 186.13, față de 318.14) se explică prin relativ slaba corelare a formei curbelor de sarcină (dar mai bună decât în cazul UTR Reșița și UTR Arad);
- analiza comparativă a valorii indicilor anuali de performanță ( $s_{2011}$ ,  $s_{2012}$ ,  $s_{2013}$ ) pentru cazul RNA evidențiază valori de același ordin de mărime (cu o singură "sincopă" –  $s_{2012} = 165.40$  la RNA, curba de sarcină) – cu alte cuvinte aceste metode reușesc să "prindă" mai bine evoluția consumului;
- în spiritul concluziei anterioare, la curbele de culoare roșie din figurile 7.1.13 - 7.1.15 (prognoza ansamblului curbei de sarcină cu RNA) se observă două ore unde diferența este relativ mai mare față de cele de culoare albastră și verde (consumul real, respectiv cel prognozat cu RNA orar), ora 5 și ora 13, element legat de forma curbelor de sarcină din anii 2001-2010 (la acele ore nu este respectată tendința generală de scădere a consumului de la celelalte ore);
- prognoza cu RNA orar, care consideră consumurile la diverse ore independente între ele, reușește să soluționeze mai bine aceste situații.

### 7.1.5. UTR Timișoara

În tabelul 7.1.22 (Anexa A7.1), respectiv figura 7.1.16, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 10 ani (2001-2010), pentru ziua cea mai semnificativă de vară (în condițiile menționate în paragraful 7.1.1). Aceste curbe de sarcină vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor, în scopul obținerii celor pentru anii 2011, 2012, 2013.

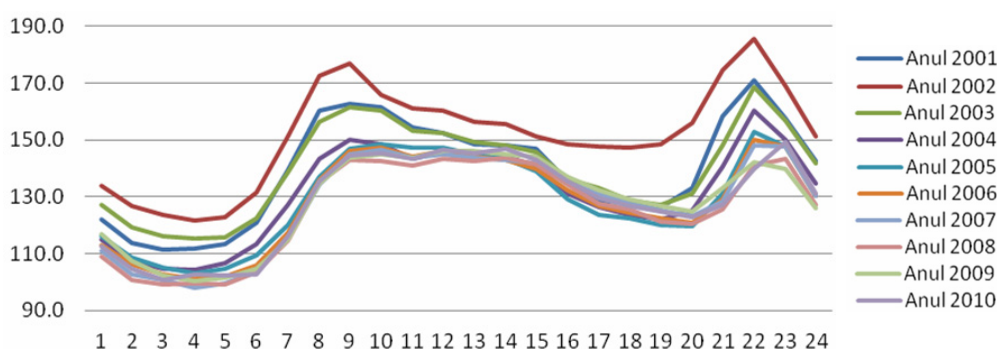


Figura 7.1.16. Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW)

În tabelul 7.1.23 (Anexa A7.1), respectiv figura 7.1.17, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 3 ani (2011-2013), pentru ziua cea mai semnificativă de vară (în condițiile menționate în paragraful 7.1.1). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2011, 2012, 2013.

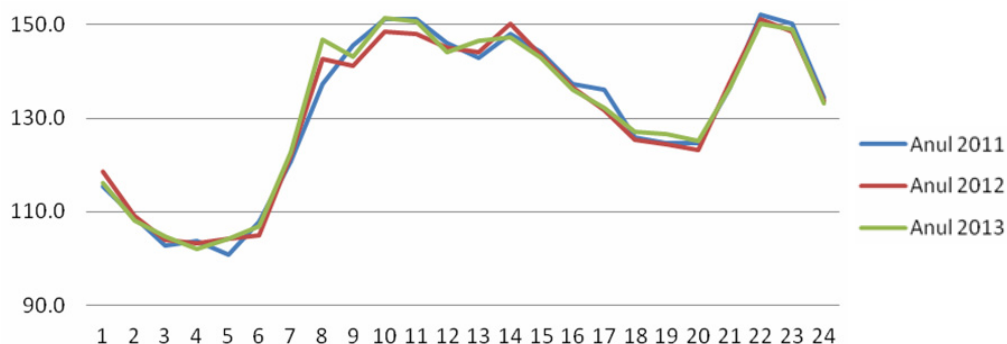


Figura 7.1.17. Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)

Analiza sumară a datelor prezentate în tabelele 7.1.22 și 7.1.23, respectiv figurile 7.1.16 și 7.1.17, evidențiază de la bun început următoarele concluzii:

- pentru perioada 2001-2010 există o tendință destul de neclară de evoluție a consumului pe ansamblu (alternarea unor perioade de creștere, respectiv de scădere, într-o plajă relativ îngustă de valori);
- curbele de sarcină nu "se intersectează" prea mult între ele, cu alte cuvinte forma lor este destul de asemănătoare, ceea ce înseamnă o corelare relativ mai bună "pe orizontală";
- pentru perioada 2011-2013 continuă practic trendul destul de neclar, la fel ca și pentru perioada 2001-2010, dar din nou cu o formă destul de asemănătoare (între ele, respectiv cu cea din perioada 2001-2010);
- în concluzie, gradul de corelare a curbelor de sarcină este relativ bun din punctul de vedere al formei pe durata unei zile, dar superior celui de la UTR Reșița, UTR Arad și UTR Deva, ceea ce prefigurează posibilitatea obținerii unor prognoze mai bune, mai ales cu metodele utilizând RNA.

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.1: regresie liniară, lunar (tabelul 7.1.24), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.1.25), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.1.26) și RNA, lunar (tabelul 7.1.27). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 3 ani și cele 24 de valori orare ( $S_{2011}$ ,  $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$  – indici parțiali de performanță). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.1.18 - 7.1.20 (comparativ, pentru toate metodele utilizate).

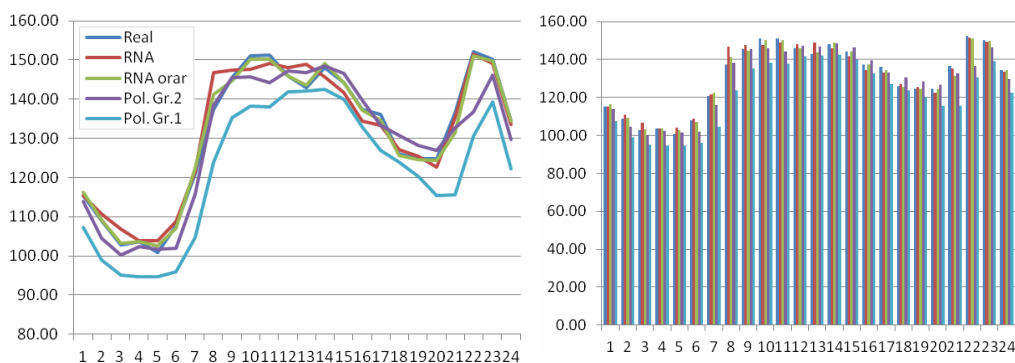


Figura 7.1.18. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2011



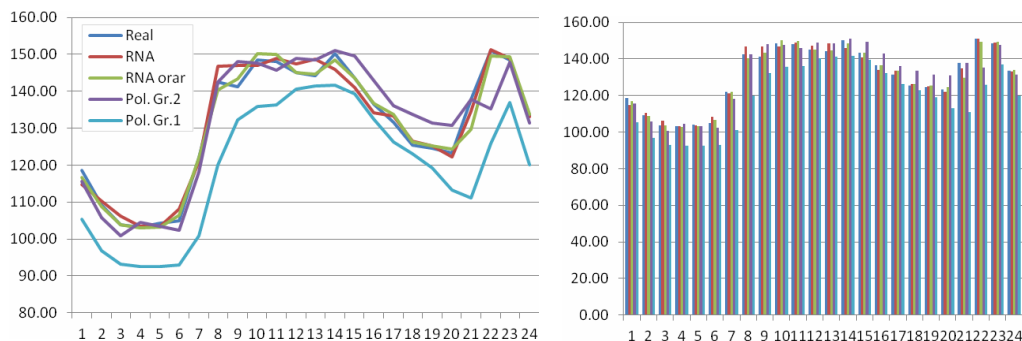


Figura 7.1.19. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

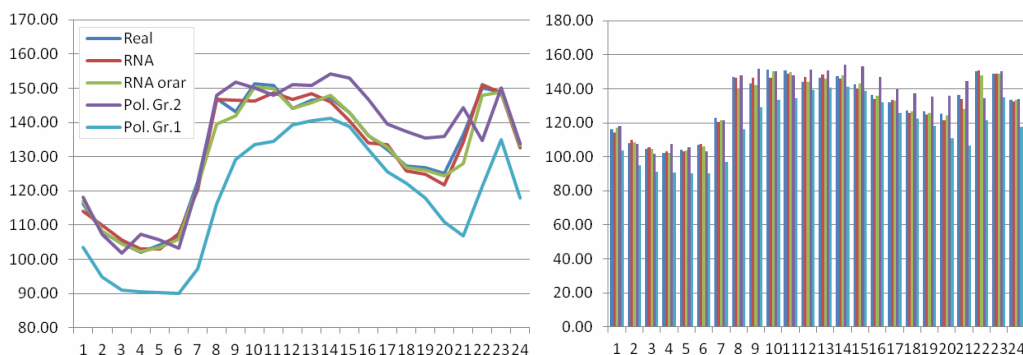


Figura 7.1.20. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.1.28 s-au reunit indicii de performanță cu cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.1.28. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, orar	Parabolic, orar	RNA, curba de sarcină	RNA, orar
<b>S<sub>2011</sub></b>	1630.2	282.17	123.80	16.41
<b>S<sub>2012</sub></b>	2421.1	361.62	88.24	15.65
<b>S<sub>2013</sub></b>	3545.8	614.01	58.58	8.33
<b>S<sub>total</sub></b>	7597.1	1257.8	270.62	40.39

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză evidențiază următoarele concluzii:

- rezultatele confirmă în mare măsură observațiile făcute la analiza curbelor de sarcină pentru perioada 2001-2010, respectiv 2011-2013;
- metodele clasice de prognoză sunt inadecvate, așa cum rezultă pe baza valorii indicelui global de performanță (ultima linie a tabelului 7.1.28), cu observația că de data aceasta prognoza prin regresie parabolică este mai bună decât cea liniară (indice global de performanță 1257.8, față de 7597.1);
- observația anterioară este legată de tendința destul de neclară de evoluție a consumului (alternarea unor perioade de creștere, respectiv de scădere);
- analiza comparativă a valorii indicilor anuali de performanță ( $S_{2011}$ ,  $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ) evidențiază valori de același ordin de mărime);
- rezultatele clar mai bune sunt obținute cu prognoza orară utilizând RNA față de cele cu prognoza ansamblului curbei de sarcină cu RNA (indice global de performanță



- 40.39, față de 270.62) se explică prin existența unor probleme de corelare a formei curbelor de sarcină (situație totuși mai bună decât în cazurile anterioare);
- analiza comparativă a valorii indicilor anuali de performanță ( $S_{2011}$ ,  $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ) pentru cazul RNA evidențiază valori de același ordin de mărime (cu o singură "sincopă" -  $S_{2011} = 123.80$  la RNA, curba de sarcină) – cu alte cuvinte aceste metode reușesc să "prindă" mai bine evoluția consumului;
  - în spiritul concluziei anterioare, la curba de culoare roșie din figura 7.1.18 (prognoza ansamblului curbei de sarcină cu RNA, anul 2011 ) se observă trei ore unde diferența este relativ mai mare față de cele de culoare albastră și verde (consumul real, respectiv cel prognozat cu RNA orar), ora 3, 8 și 13 (în tabelul 7.1.26 valorile aferente ale abaterii pătratice relative sunt cele mai mari – 14.8, 46.5 și 16.6); cauza se regăsește în figura 7.1.17, unde se observă că graficul albastru (anul 2011) are o tendință diferită față de cel roșu și cel verde (anii 2012, 2013);
  - prognoza cu RNA orar, care consideră consumurile la diverse ore independente între ele, reușește să soluționeze mai bine aceste situații.

### 7.1.6. Enel Banat

În tabelul 7.1.29, respectiv figura 7.1.21, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 10 ani (2001-2010), pentru ziua cea mai semnificativă de vară (în condițiile precizate în paragraful 7.1.1), pentru ansamblul Enel Distribuție Banat (obținute prin însumarea datelor referitoare la cele patru UTR analizate anterior). Aceste curbe de sarcină vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor, în scopul obținerii curbelor de sarcină pentru anii 2011, 2012, 2013.

În tabelul 7.1.30, respectiv figura 7.1.22, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 3 ani (2011-2013), pentru ziua cea mai semnificativă de vară (în condițiile menționate în paragraful 7.1.1), pentru ansamblul Enel Distribuție Banat (obținute prin însumarea datelor referitoare la cele patru UTR analizate anterior). Aceste date vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor obținute cu diverse metode pentru anii 2011, 2012, 2013.

Tabelul 7.1.29. Curbele de sarcină pentru perioada 201-2010 (puterile în MW)

Anul / Ora	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	455.5	460.2	472.1	436.3	418.7	398.4	411.6	401.7	401.7	388.6
2	427.8	452.8	457.7	427.3	415.0	382.6	390.8	381.4	380.6	372.2
3	417.9	441.0	436.1	421.0	410.6	378.5	394.7	386.6	389.0	387.8
4	413.9	454.8	447.6	418.4	393.8	365.7	382.7	374.7	385.8	384.1
5	434.4	456.8	459.3	424.5	404.1	380.7	403.8	391.4	389.8	376.5
6	459.4	465.2	469.0	441.7	411.6	388.1	403.5	404.8	382.1	358.6
7	477.9	503.0	489.1	455.6	422.1	396.2	395.5	404.5	393.6	377.7
8	534.9	570.2	517.9	525.6	473.9	449.2	464.4	446.3	437.0	432.3
9	554.1	607.2	529.7	574.0	525.4	479.5	481.7	489.0	483.4	486.0
10	536.9	604.8	530.5	564.6	530.8	492.4	490.5	506.5	494.3	479.4
11	519.1	583.5	499.0	549.3	529.6	483.5	472.7	492.0	490.5	487.8
12	512.3	557.3	527.7	531.5	514.1	477.6	465.7	469.2	472.6	474.8
13	496.2	551.3	539.4	525.2	500.5	468.6	445.1	467.3	464.9	460.9
14	502.0	567.3	547.0	518.9	495.3	473.4	452.3	489.4	472.0	456.7
15	491.1	546.9	529.1	518.6	488.2	462.2	438.2	463.9	467.6	458.5
16	452.2	505.2	485.6	487.7	451.3	450.6	447.0	451.2	451.7	428.9
17	462.9	490.6	492.0	479.3	439.1	442.8	440.0	449.3	443.6	426.8
18	448.5	502.7	490.6	476.5	424.6	443.0	445.4	445.5	440.9	414.9
19	440.4	495.6	488.9	464.3	405.2	432.4	419.4	453.3	443.5	413.5
20	436.8	476.2	445.0	442.2	393.6	418.9	392.2	418.8	427.2	409.2
21	510.1	534.7	496.2	479.5	426.3	421.5	386.5	405.2	432.0	424.6
22	545.3	561.3	534.7	528.4	494.5	478.9	432.7	429.4	445.7	453.3
23	562.8	580.5	573.5	540.3	524.9	518.9	498.9	475.3	463.7	480.3
24	536.7	538.0	524.1	501.8	488.1	482.1	443.3	444.7	437.5	438.7

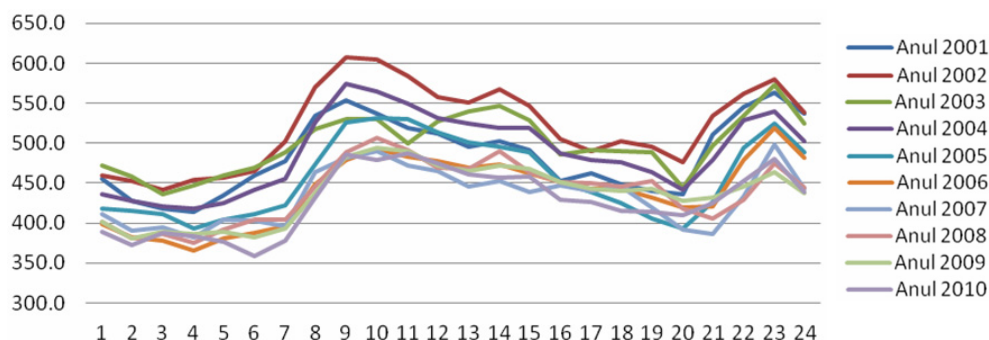


Figura 7.1.21. Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW)

Tabelul 7.1.30. Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)

Anul / Ora	2011	2012	2013	Anul / Ora	2011	2012	2013
1	389.4	384.8	384.2	13	449.0	442.3	450.7
2	374.7	370.3	364.6	14	459.8	454.9	450.5
3	377.4	380.9	373.9	15	453.0	450.5	441.4
4	370.8	364.9	363.3	16	433.3	431.1	430.0
5	370.6	367.4	372.5	17	437.5	440.2	433.8
6	368.2	358.1	364.3	18	427.2	418.0	423.0
7	382.0	381.3	380.1	19	419.9	409.6	415.9
8	430.4	421.4	422.7	20	408.3	402.2	405.6
9	464.1	450.9	449.9	21	410.9	411.6	406.0
10	482.8	472.9	471.2	22	450.0	439.8	436.4
11	490.3	486.2	481.9	23	472.6	474.6	467.7
12	460.6	453.9	452.7	24	438.6	439.4	434.6

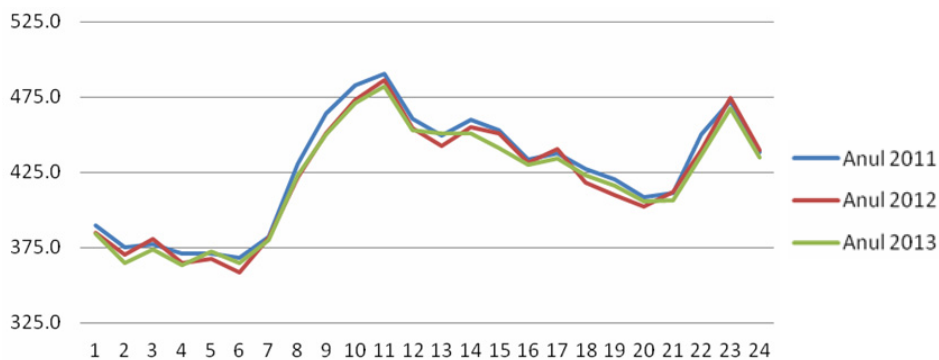


Figura 7.1.22. Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)

Analiza sumară a datelor prezentate în tabelele 7.1.29 și 7.1.30, respectiv figurile 7.1.21 și 7.1.22, evidențiază de la bun început următoarele concluzii:

- pentru perioada 2001-2010 există o tendință destul de neclară de evoluție a consumului pe ansamblu (alternarea unor perioade de creștere, respectiv de scădere, într-o plajă relativ îngustă de valori);
- curbele de sarcină nu "se intersectează" prea mult între ele, cu alte cuvinte forma lor este destul de asemănătoare, ceea ce înseamnă o corelare relativ mai bună "pe orizontală";
- pentru perioada 2011-2013 continuă practic trendul destul de neclar, la fel ca și pentru perioada 2001-2010, dar din nou cu o formă destul de asemănătoare a curbelor (între ele, respectiv cu cea din perioada 2001-2010);

- în concluzie, gradul de corelare a curbilor de sarcină este relativ bun din punctul de vedere al formei pe durata unei zile, asemănător celui din cazul UTR Timișoara, ceea ce prefigurează posibilitatea obținerii unor prognoze mai bune (comparativ cu primele trei UTR), mai ales cu metodele utilizând RNA.

În cele ce urmează se prezintă rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză.

#### □ Regresie liniară, orar

În tabelul 7.1.31 se prezintă rezultatele obținute (în MW) prin extrapolare liniară (pentru fiecare oră în parte), diferențele relative față de valorile cunoscute (în %) și abaterile pătratice. În partea de jos a tabelului este dată valoarea indicelui global de performanță ( $s_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 3 ani și cele 24 de valori orare ( $s_{2011}$ ,  $s_{2012}$ ,  $s_{2013}$  – indici parțiali de performanță). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.1.23 - 7.1.25 (comparativ, pentru toate metodele utilizate).

Tabelul 7.1.31. Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)

2011					2012					2013				
Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abateri relativă [%]	Abateri pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abateri relativă [%]	Abateri pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abateri relativă [%]	Abateri pătratică relativă
1	389.4	375.9	-3.5	12.1	1	384.8	367.0	-4.6	21.3	1	384.2	358.2	-6.8	45.6
2	374.7	357.8	-4.5	20.2	2	370.3	348.6	-5.9	34.5	2	364.6	339.3	-6.9	48.2
3	377.4	373.2	-1.1	1.2	3	380.9	367.2	-3.6	12.9	3	373.9	361.2	-3.4	11.6
4	370.8	360.5	-2.8	7.8	4	364.9	352.9	-3.3	10.9	4	363.3	345.3	-5.0	24.6
5	370.6	365.0	-1.5	2.3	5	367.4	356.4	-3.0	9.0	5	372.5	347.8	-6.6	44.0
6	368.2	353.5	-4.0	16.0	6	358.1	341.7	-4.6	21.1	6	364.3	329.9	-9.5	89.5
7	382.0	355.0	-7.1	50.1	7	381.3	341.0	-10.6	111.6	7	380.1	327.1	-13.9	194.1
8	430.4	404.4	-6.0	36.5	8	421.4	389.8	-7.5	56.4	8	422.7	375.1	-11.3	126.9
9	464.1	454.1	-2.1	4.6	9	451.0	442.0	-2.0	4.0	9	449.9	429.8	-4.5	20.0
10	482.8	467.3	-3.2	10.3	10	472.9	457.2	-3.3	11.0	10	471.2	447.0	-5.1	26.4
11	490.3	469.2	-4.3	18.4	11	486.2	461.7	-5.0	25.4	11	481.9	454.2	-5.7	33.0
12	460.6	451.7	-1.9	3.7	12	453.9	442.9	-2.4	5.9	12	452.7	434.1	-4.1	16.9
13	449.0	440.1	-2.0	4.0	13	442.3	430.7	-2.6	7.0	13	450.7	421.2	-6.5	42.7
14	459.8	444.6	-3.3	10.9	14	454.9	435.0	-4.4	19.2	14	450.5	425.4	-5.6	31.1
15	453.0	438.4	-3.2	10.4	15	450.6	429.6	-4.6	21.5	15	441.4	420.9	-4.6	21.5
16	433.3	431.8	-0.3	0.1	16	431.1	426.5	-1.1	1.1	16	430.0	421.2	-2.0	4.2
17	437.5	423.9	-3.1	9.6	17	440.2	418.0	-5.0	25.4	17	433.8	412.0	-5.0	25.1
18	427.2	418.7	-2.0	3.9	18	418.0	412.5	-1.3	1.8	18	423.0	406.2	-4.0	15.9
19	419.9	415.9	-1.0	0.9	19	409.6	410.5	0.2	0.0	19	415.9	405.1	-2.6	6.7
20	408.3	397.8	-2.6	6.7	20	402.2	392.6	-2.4	5.6	20	405.6	387.5	-4.5	19.9
21	410.9	377.4	-8.2	66.5	21	411.6	363.9	-11.6	134.4	21	406.0	350.4	-13.7	187.1
22	450.0	408.2	-9.3	86.1	22	439.8	393.3	-10.6	111.8	22	436.4	378.3	-13.3	177.0
23	472.6	449.2	-4.9	24.4	23	474.6	436.0	-8.1	66.1	23	467.7	422.8	-9.6	92.4
24	438.6	411.4	-6.2	38.5	24	439.4	398.3	-9.4	87.8	24	434.6	385.1	-11.4	129.4
$s_{2011}$	445.11				$s_{2012}$	805.72				$s_{2013}$	1433.85			
$S_{total} = 2684.68$														

#### □ Regresie parabolică, orar

În tabelul 7.1.32 se prezintă rezultatele obținute (în MW) prin extrapolare parabolică (pentru fiecare oră în parte), diferențele relative față de valorile cunoscute (în %) și abaterile pătratice. În partea de jos a tabelului este dată valoarea indicelui global de performanță ( $s_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 3 ani și cele 24 de valori orare ( $s_{2011}$ ,  $s_{2012}$ ,  $s_{2013}$  – indici parțiali de performanță). Grafic,

aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.1.23 - 7.1.25 (comparativ, pentru toate metodele utilizate).

Tabelul 7.1.32. Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)

2011					2012					2013				
Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă
1	389.4	384.4	-1.3	1.6	1	384.8	380.2	-1.2	1.4	1	384.2	376.8	-1.9	3.6
2	374.7	356.4	-4.9	23.7	2	370.3	346.4	-6.5	41.8	2	364.6	336.2	-7.8	60.7
3	377.4	378.9	0.4	0.1	3	380.9	375.9	-1.3	1.7	3	373.9	373.5	-0.1	0.0
4	370.8	377.6	1.8	3.4	4	364.9	379.4	4.0	15.7	4	363.3	382.7	5.3	28.4
5	370.6	371.9	0.4	0.1	5	367.4	367.2	-0.1	0.0	5	372.5	363.0	-2.5	6.5
6	368.2	353.0	-4.1	17.0	6	358.1	340.9	-4.8	23.0	6	364.3	328.8	-9.7	94.9
7	382.0	372.2	-2.6	6.6	7	381.3	367.7	-3.6	12.8	7	380.1	364.7	-4.0	16.4
8	430.4	420.4	-2.3	5.5	8	421.4	414.4	-1.7	2.8	8	422.7	409.8	-3.1	9.3
9	464.1	472.2	1.7	3.1	9	451.0	469.9	4.2	17.6	9	449.9	469.2	4.3	18.3
10	482.8	467.4	-3.2	10.2	10	472.9	457.3	-3.3	10.9	10	471.2	447.2	-5.1	26.1
11	490.3	475.9	-2.9	8.6	11	486.2	472.0	-2.9	8.5	11	481.9	468.7	-2.7	7.4
12	460.6	454.0	-1.4	2.0	12	453.9	446.5	-1.6	2.7	12	452.7	439.1	-3.0	9.0
13	449.0	438.5	-2.3	5.5	13	442.3	428.2	-3.2	10.2	13	450.7	417.8	-7.3	53.3
14	459.8	445.1	-3.2	10.1	14	454.9	435.8	-4.2	17.7	14	450.5	426.5	-5.3	28.4
15	453.0	443.5	-2.1	4.4	15	450.6	437.6	-2.9	8.3	15	441.4	432.1	-2.1	4.4
16	433.3	419.5	-3.2	10.2	16	431.1	407.4	-5.5	30.1	16	430.0	394.3	-8.3	69.1
17	437.5	422.2	-3.5	12.2	17	440.2	415.4	-5.6	31.7	17	433.8	408.3	-5.9	34.3
18	427.2	410.0	-4.0	16.1	18	418.0	399.0	-4.5	20.7	18	423.0	387.2	-8.5	71.9
19	419.9	420.7	0.2	0.0	19	409.6	418.0	2.0	4.2	19	415.9	415.6	-0.1	0.0
20	408.3	419.9	2.8	8.0	20	402.2	426.9	6.1	37.7	20	405.6	435.8	7.5	55.6
21	410.9	431.7	5.0	25.5	21	411.6	447.8	8.8	77.0	21	406.0	468.8	15.5	239.6
22	450.0	430.3	-4.4	19.2	22	439.8	427.3	-2.8	8.0	22	436.4	426.4	-2.3	5.2
23	472.6	449.7	-4.8	23.5	23	474.6	436.7	-8.0	63.8	23	467.7	423.7	-9.4	88.4
24	438.6	421.2	-4.0	15.6	24	439.4	413.5	-5.9	34.8	24	434.6	406.7	-6.4	41.2
$S_{2011}$	232.34				$S_{2012}$	483.14				$S_{2013}$	972.05			
$S_{total} = 1687.53$														

#### □ RNA, curba de sarcină

În tabelul 7.1.33 se prezintă rezultatele obținute (în MW) prin utilizarea RNA pentru întreaga curbă de sarcină, diferențele relative față de valorile cunoscute (în %) și abaterile pătratice. În partea de jos a tabelului este dată valoarea indicelui global de performanță ( $s_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 3 ani și cele 24 de valori orare ( $S_{2011}$ ,  $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$  – indici parțiali de performanță). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.1.23 - 7.1.25 (comparativ, pentru toate metodele). Ele au fost obținute în condițiile utilizării unui număr de 100.000 de eşantioane.

Tabelul 7.1.33. Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)

2011					2012					2013				
Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă
1	389.4	394.9	1.40	1.95	1	384.8	390.1	1.37	1.87	1	384.2	385.5	0.34	0.12
2	374.7	381.1	1.71	2.91	2	370.3	375.8	1.46	2.15	2	364.6	370.5	1.63	2.64
3	377.4	382.8	1.42	2.03	3	380.9	378.9	-0.53	0.28	3	373.9	375.1	0.32	0.10

2011					2012					2013				
Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă
4	370.8	371.0	0.07	0.00	4	364.9	366.0	0.30	0.09	4	363.3	361.2	-0.58	0.33
5	370.6	379.3	2.35	5.50	5	367.4	374.2	1.85	3.41	5	372.5	369.4	-0.84	0.71
6	368.2	370.1	0.52	0.27	6	358.1	362.5	1.21	1.47	6	364.3	355.2	-2.49	6.22
7	382.0	385.0	0.77	0.60	7	381.3	378.2	-0.82	0.67	7	380.1	371.9	-2.16	4.67
8	430.4	431.8	0.31	0.10	8	421.4	423.5	0.49	0.24	8	422.7	415.7	-1.65	2.71
9	464.1	471.5	1.60	2.57	9	451.0	463.4	2.77	7.65	9	449.9	455.9	1.32	1.74
10	482.8	493.9	2.29	5.26	10	472.9	487.8	3.14	9.89	10	471.2	481.8	2.24	5.02
11	490.3	488.8	-0.31	0.09	11	486.2	485.6	-0.12	0.01	11	481.9	482.7	0.18	0.03
12	460.6	460.8	0.05	0.00	12	453.9	453.7	-0.06	0.00	12	452.7	446.9	-1.28	1.64
13	449.0	452.5	0.78	0.61	13	442.3	445.9	0.80	0.63	13	450.7	439.6	-2.47	6.09
14	459.8	464.0	0.93	0.86	14	454.9	458.7	0.82	0.67	14	450.5	453.5	0.66	0.44
15	453.0	457.6	1.02	1.03	15	450.6	453.4	0.64	0.41	15	441.4	449.6	1.87	3.50
16	433.3	446.5	3.03	9.21	16	431.1	444.5	3.11	9.68	16	430.0	442.8	2.97	8.83
17	437.5	433.1	-1.00	1.01	17	440.2	429.4	-2.45	5.99	17	433.8	425.9	-1.81	3.28
18	427.2	425.0	-0.51	0.26	18	418.0	420.4	0.58	0.34	18	423.0	416.1	-1.63	2.65
19	419.9	425.8	1.39	1.93	19	409.6	421.8	2.98	8.88	19	415.9	417.9	0.49	0.24
20	408.3	409.7	0.34	0.12	20	402.2	407.7	1.38	1.89	20	405.6	405.9	0.07	0.01
21	410.9	407.5	-0.84	0.70	21	411.6	401.0	-2.58	6.67	21	406.0	395.0	-2.69	7.24
22	450.0	437.6	-2.74	7.52	22	439.8	429.4	-2.36	5.57	22	436.4	421.5	-3.40	11.5
23	472.6	473.3	0.15	0.02	23	474.6	465.8	-1.85	3.43	23	467.7	458.7	-1.93	3.72
24	438.6	438.2	-0.08	0.01	24	439.4	431.7	-1.75	3.08	24	434.6	425.6	-2.07	4.27
$S_{2011}$	44.58				$S_{2012}$	74.98				$S_{2013}$	77.74			
$S_{total} = 197.30$														

#### □ RNA, orar

În tabelul 7.1.34 se prezintă rezultatele obținute (în MW) prin utilizarea RNA pentru fiecare oră în parte, diferențele relative față de valorile cunoscute (în %) și abaterile pătratice. În partea de jos a tabelului este dată valoarea indicelui global de performanță ( $s_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 3 ani și cele 24 de valori orare ( $S_{2011}$ ,  $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$  – indici parțiali de performanță). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.1.23 - 7.1.25 (comparativ, pentru toate metodele). Ele au fost obținute în condițiile utilizării unui număr de 10.000 de eșantioane.

Tabelul 7.1.34. Curbele de sarcină prognozate pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)

2011					2012					2013				
Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă
1	389.4	388.9	-0.14	0.02	1	384.8	385.3	0.13	0.02	1	384.2	381.7	-0.63	0.40
2	374.7	374.6	-0.02	0.00	2	370.3	370.0	-0.09	0.01	2	364.6	365.5	0.24	0.06
3	377.4	379.3	0.49	0.24	3	380.9	377.4	-0.93	0.86	3	373.9	375.5	0.41	0.17
4	370.8	370.0	-0.22	0.05	4	364.9	365.6	0.18	0.03	4	363.3	361.2	-0.59	0.34
5	370.6	374.6	1.09	1.19	5	367.4	370.6	0.87	0.75	5	372.5	366.5	-1.61	2.59
6	368.2	369.6	0.39	0.15	6	358.1	363.3	1.44	2.08	6	364.3	357.3	-1.93	3.72
7	382.0	387.2	1.36	1.85	7	381.3	382.1	0.20	0.04	7	380.1	377.6	-0.64	0.41
8	430.4	428.8	-0.38	0.15	8	421.4	424.2	0.67	0.45	8	422.7	420.3	-0.56	0.31
9	464.1	462.7	-0.29	0.08	9	451.0	455.3	0.97	0.94	9	449.9	448.7	-0.28	0.08
10	482.8	481.4	-0.30	0.09	10	472.9	475.3	0.51	0.26	10	471.2	469.4	-0.38	0.15
11	490.3	490.3	0.01	0.00	11	486.2	486.0	-0.05	0.00	11	481.9	481.7	-0.02	0.00

2011					2012					2013				
Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă	Ora	Valoare cunoscută	Valoare prognozată	Abatere relativă [%]	Abatere pătratică relativă
12	460.6	460.1	-0.10	0.01	12	453.9	455.6	0.37	0.14	12	452.7	451.2	-0.33	0.11
13	449.0	453.5	0.99	0.97	13	442.3	448.2	1.33	1.76	13	450.7	443.0	-1.70	2.89
14	459.8	460.0	0.06	0.00	14	454.9	455.0	0.02	0.00	14	450.5	450.1	-0.08	0.01
15	453.0	454.4	0.31	0.09	15	450.6	448.5	-0.45	0.20	15	441.4	442.6	0.29	0.09
16	433.3	434.1	0.19	0.04	16	431.1	432.2	0.26	0.07	16	430.0	430.3	0.06	0.00
17	437.5	438.5	0.23	0.05	17	440.2	436.8	-0.76	0.58	17	433.8	435.1	0.30	0.09
18	427.2	426.1	-0.25	0.06	18	418.0	423.5	1.31	1.71	18	423.0	420.9	-0.51	0.26
19	419.9	418.4	-0.37	0.14	19	409.6	414.9	1.30	1.68	19	415.9	411.4	-1.06	1.13
20	408.3	406.5	-0.45	0.21	20	402.2	405.4	0.80	0.64	20	405.6	404.3	-0.33	0.11
21	410.9	412.1	0.28	0.08	21	411.6	409.3	-0.56	0.31	21	406.0	407.3	0.33	0.11
22	450.0	449.4	-0.12	0.01	22	439.8	442.0	0.51	0.26	22	436.4	435.2	-0.27	0.07
23	472.6	475.9	0.71	0.51	23	474.6	471.2	-0.71	0.51	23	467.7	466.8	-0.20	0.04
24	438.6	443.2	1.06	1.12	24	439.4	437.9	-0.34	0.11	24	434.6	432.8	-0.41	0.17
$S_{2011}$	7.12				$S_{2012}$	13.41				$S_{2013}$	13.30			
$S_{total} = 33.82$														

#### □ Analiza comparativă a rezultatelor obținute prin diverse metode

Rezultatele obținute prin utilizarea diverselor metode sunt prezentate comparativ în figurile 7.1.23 - 7.1.25 (anii 2011, 2012, 2013). Aceste figuri au fost obținute prin utilizarea valorilor din tabelele 7.1.31 - 7.1.34.

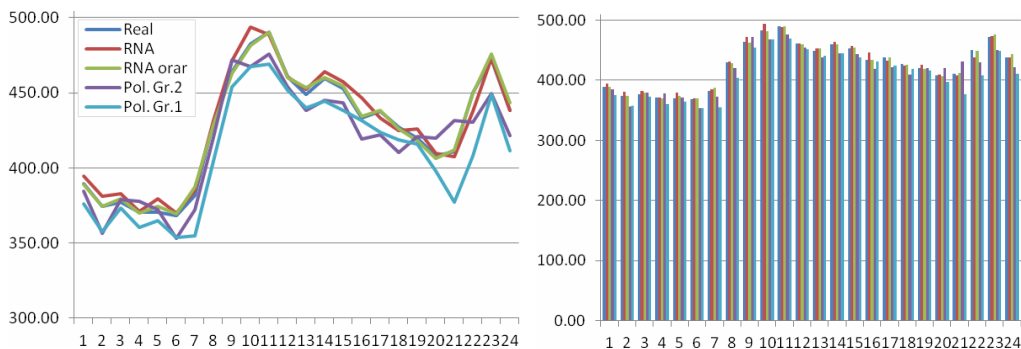


Figura 7.1.23. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2011

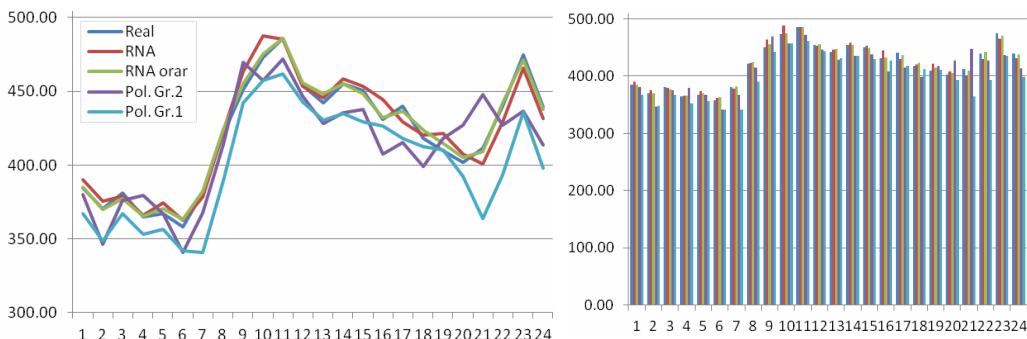


Figura 7.1.24. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

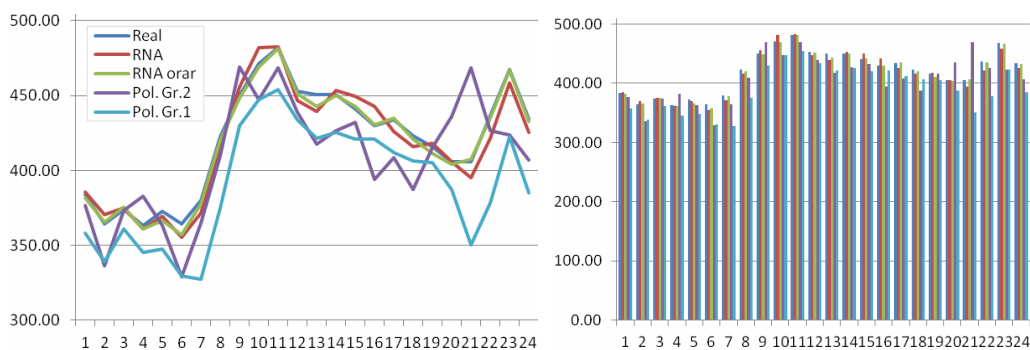


Figura 7.1.25. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.1.35 s-au reunit indicii de performanță cu cele 4 metode de prognoză.

Tabelul 7.1.35. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, orar	Parabolic, orar	RNA, curba de sarcină	RNA, orar
<b>S<sub>2011</sub></b>	445.11	232.34	44.58	7.12
<b>S<sub>2012</sub></b>	805.72	483.14	74.98	13.41
<b>S<sub>2013</sub></b>	1433.85	972.05	77.74	13.30
<b>S<sub>total</sub></b>	2684.68	1687.53	197.30	33.82

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză evidențiază următoarele concluzii:

- rezultatele confirmă în mare măsură observațiile făcute la analiza curbelor de sarcină pentru perioada 2001-2010, respectiv 2011-2013;
- metodele clasice de prognoză sunt inadecvate, așa cum rezultă pe baza valorii indicelui global de performanță (ultima linie a tabelului 7.1.35), cu observația că de data aceasta prognoza prin regresie parabolică este mai bună decât cea liniară (indice global de performanță 1687.53, față de 2684.68);
- observația anterioară este legată de tendința destul de neclară de evoluție a consumului (alternarea unor perioade de creștere, respectiv de scădere);
- analiza comparativă a valorii indicilor anuali de performanță ( $S_{2011}$ ,  $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ) evidențiază valori discrepante pentru 2013, cauza regăsindu-se în figura 7.1.22: 2013 – curba de culoare verde, față de 2011 – albastru și 2012 – roșu);
- rezultatele mai bune sunt obținute cu prognoza orară utilizând RNA față de cele cu prognoza ansamblului curbei de sarcină cu RNA (indice global de performanță 33.82, față de 197.30) se explică prin existența unor probleme de corelare a formei curbelor de sarcină (mai bună decât la Reșița, Arad și Deva, similară cu Timișoara);
- o analiză atentă sugerează ipoteza "anulării" reciproce a unor necorelări existente în cazul UTR Reșița, Arad și Deva, rezultând o situație asemănătoare cu UTR Timișoara;
- analiza comparativă a valorii indicilor anuali de performanță ( $S_{2011}$ ,  $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ) pentru cazul RNA evidențiază valori de același ordin de mărime (cu un "plus" pentru  $S_{2011}$  în ambele situații, la fel ca la metodele de regresie) – cu alte cuvinte aceste metode reușesc să "prindă" suficient de bine evoluția consumului;
- în spiritul concluziei anterioare, la curbele de culoare roșie și verde din figurile 7.1.24 și 7.1.25 (prognozele RNA, anii 2012, 2013) se observă trei zone unde diferența este relativ mai mare față de cele de culoare albastră (consumul real), orele 5-6, 13 și 18-19 (în tabelele 7.1.33 și 7.1.34 valorile abaterii pătratice relative sunt cele mai mari); cauza se regăsește în figura 7.1.22 – graficul albastru (2011) are o tendință diferită față de cel roșu și cel verde (2012, 2013);
- prognoza cu RNA orar, care consideră consumurile la diverse ore independente între ele, reușește totuși să soluționeze mai bine aceste situații.



### 7.1.7. Analiza comparativă a rezultatelor

În cadrul acestui paragraf se efectuează o analiză comparativă a rezultatelor obținute, pe baza valorii indicelui global (total) de performanță. Se iau în considerare pentru fiecare caz cele mai bune rezultate, obținute de regulă prin prognoza orară utilizând RNA, alături de cele utilizând RNA pentru ansamblul curbei de sarcină.

În tabelul 7.1.36 se prezintă rezultatele analizei, centralizând rezultatele pentru cele 4 UTR și ansamblul Enel Banat. Clasamentul s-a întocmit pe baza valorii indicelui echivalent de performanță, obținut prin împărțirea valorii indicelui global de performanță la 24 (3 ani x 24 ore = 72). Utilizarea unui indice specific oferă și posibilitatea comparării calității rezultatelor referitoare la UTR (subcapitolul 7.1) cu cele obținute pentru stații (subcapitolul 7.2).

Tabelul 7.1.36. Indicii specifici de performanță

Nr. crt.	UTR	RNA curbă de sarcină		RNA orar		Raport indici specifici
		Total	Specific	Total	Specific	
1	Enel Banat	197	2.7	34	0.47	5.7
2	UTR Timișoara	271	3.8	40	0.56	6.8
3	UTR Deva	318	4.4	186	2.58	1.7
4	UTR Arad	1188	16.5	218	3.03	5.5
5	UTR Reșița	1424	19.8	230	3.20	6.2

Analiza rezultatelor comparative prezentate mai sus evidențiază o serie de concluzii, unele cu caracter particular, altele cu caracter general:

- clasamentul din tabelul 7.1.36 are pe primul loc stația ansamblul Enel Banat, urmat îndeaproape de UTR Timișoara și la o distanță relativ mai mare de celelalte UTR;
- rezultatul menționat este logic – prin însumare erorile se pot atenua, datorită semnelor contrare;
- indicii specifici de performanță acoperă o plajă relativ largă de valori, de la 0.47 (Enel Banat) până la 3.20 (UTR Reșița);
- valoarea indicelui specific de performanță este determinată de datele inițiale (2001-2010), de gradul de corelare a curbelor de sarcină, de evoluția reală a consumului în anii 2011-2013 (pentru care s-a efectuat confruntarea cu prognoza) și de păstrarea formei curbelor de sarcină comparativ cu perioada 2001-2010;
- valorile mari ale indicelui specific de performanță (peste 1) semnaleză prezența unor date probabil eronate de consum (total "discrepanțe"), prin eliminarea ("corectarea") cărora s-ar ajunge la o situație mai plauzibilă;
- un clasament întocmit după valoarea indicelui specific de performanță pentru prognoza ansamblului curbei de sarcină folosind RNA (RNA curbă de sarcină) ar coincide cu cel făcut pentru RNA lunar (așa cum se observă în tabelul 7.1.36);
- referitor la cele două clasamente menționate mai sus, o analiză mai atentă a raportului dintre cei doi indici specifici de performanță (RNA curbă de sarcină / RNA orar) este efectuată în ultima coloană a tabelului 7.3.1.36;
- explicația pentru cele două concluzii anterioare – gradul de corelare a curbelor de sarcină din punctul de vedere al formei, respectiv al valorilor, constituie două elemente distincte, cu influențe diferite asupra rezultatelor prognozei;
- se observă că pentru UTR Deva valoarea raportului (1.7) este mult mai mică decât pentru celelalte cazuri (5.5-6.8), ceea ce înseamnă un grad de corelare a curbelor de sarcină din punctul de vedere al formei, respectiv din punctul de vedere al valorilor, de același ordin de mărime (nu neapărat foarte bună);
- în sprijinul concluziei de mai sus s-a efectuat și o analiză modificării valorii indicelui de performanță (calculat pentru 2011-2013) pentru situația în care prognoza s-ar fi realizat cu datele din perioada 2001-2013 – pentru UTR Deva valoarea a rămas neschimbată, iar pentru celelalte a crescut de 1.0-2.4 ori.



## 7.2. Stații din cadrul Enel Distribuție Banat

### 7.2.1. Considerații preliminare

A doua parte a capitolului este dedicată stațiilor de transformare de 110 kV/m.t. din cadrul UTR Timișoara: Cetate, Dumbrăvița, Bucovina, Pădurea Verde, Victoria, IMT, Muzicescu, Fratelia, Freidorf, Azur, Venus, Giulvăz, Gătaia, Deta, Orțișoara, Călacea, Satchinez, Cărpiniș, Jimbolia, Lovrin, Sânnicolau Mare, Buziaș, Lugoj, IURT, Făget, Nădrag.

Dintre acestea au fost selectate pentru prezentare în detaliu în cadrul acestui capitol cinci stații semnificative de 110 / 20 kV: Victoria, Cetate, Pădurea Verde, Sânnicolau Mare și Lugoj.

Analizele efectuate vizează prognoza unor curbe de sarcină definite de valorile puterii consumate la o anumită oră a unei anumite zile pentru fiecare dintre cele 12 luni ale anului. Rezultatele prezentate în cadrul acestui subcapitol se referă la ora 9 și la ora 21 a ultimei zile de joi a fiecărei luni, la aceleași ore ale primei zile de marți, respectiv a celei de a doua zile de miercuri.

Primii 6 ani (dintre cei 8 pentru care se cunosc datele de consum), 2006-2011, s-au utilizat pentru realizare efectivă a prognozei, iar ultimii 2 ani, 2012 și 2013, pentru verificare prognozelor obținute. Se menționează că toate datele referitoare la consumuri au fost obținute de la Enel Distribuție Banat.

Pentru prognoza acestor curbe de sarcină s-au utilizat atât metode numerice clasice cât și tehnici bazate pe RNA:

a) metode numerice clasice:

- regresie liniară (aplicată pentru fiecare lună în parte);
- regresie parabolică (aplicată pentru fiecare lună în parte);

b) tehnici bazate pe RNA:

- RNA pentru toată curba de sarcină (12 luni);
- RNA pentru fiecare lună în parte.

La finele subcapitolului cât și la sfârșitul capitolului se prezintă o serie de comentarii și concluzii, cu caracter particular sau mai general, atât legat de rezultatele concrete ale prognozelor cât și de RNA utilizate. O atenție specială se acordă comparării rezultatelor obținute cu diverse metode, evidențierii calității metodelor utilizate, aprecierii gradului de corelare a curbelor de sarcină cunoscute și a influenței gradului de corelare asupra calității prognozelor realizate.

### 7.2.2. Stația Victoria

#### 7.2.2.1. Ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 9

În tabelul 7.2.1 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.1, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Aceste curbe de sarcină vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor, în scopul obținerii curbelor de sarcină pentru anii 2012 și 2013.

În tabelul 7.2.2 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.2, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

Analiza sumară a datelor prezentate în tabelele 7.2.1 și 7.2.2 evidențiază de la bun început următoarele concluzii:

- pentru perioada 2006-2011 se observă o tendință generală de scădere a consumului, alternată cu creșteri momentane destul de însemnate;

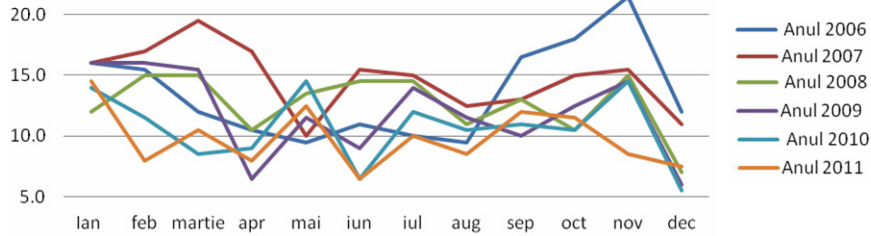


Figura 7.2.1. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

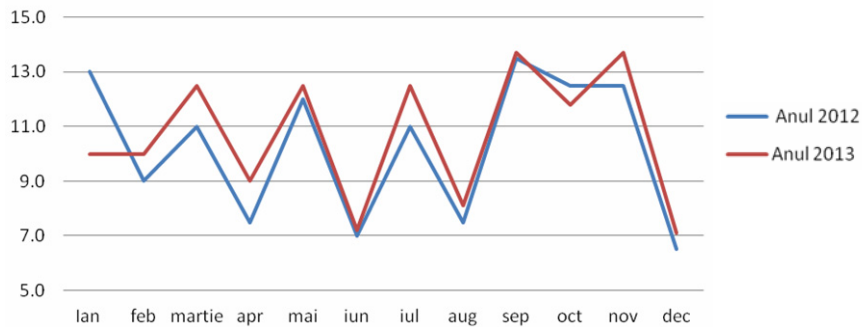


Figura 7.2.2. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

- pentru 2012-2013 tendința generală este de creștere (excepție lunile ianuarie și octombrie);
- forma curbelor este destul de diferită, cu multe "intersecții", evidențiindu-se totuși minime relative pentru lunile aprilie, iunie, august și decembrie, respectiv maxime relative pentru noiembrie și, parțial, mai și iulie;
- în concluzie, gradul de corelare a curbelor de sarcină este relativ redus, atât din punctul de vedere al evoluției în timp, cât și al formei pe durata unui an.

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.3), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.4), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.5) și RNA, lunar (tabelul 7.2.6). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.3 - 7.2.4.

În tabelul 7.2.7 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode utilizate.

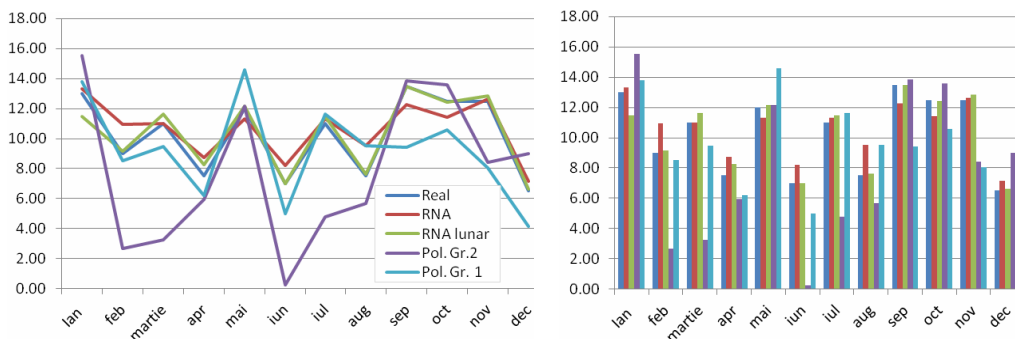


Figura 7.2.3. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

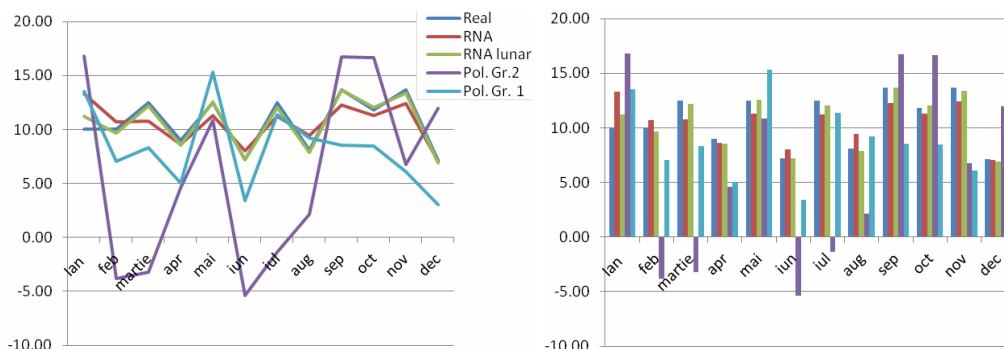


Figura 7.2.4. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

Tabelul 7.2.7. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	68514	8025	1746	314
<b>S<sub>2013</sub></b>	2348675	28177	1881	221
<b>S<sub>total</sub></b>	2417189	36202	3627	535

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază următoarele concluzii:

- rezultatele confirmă în totalitate observațiile făcute la analiza curbelor de sarcină pentru perioada 2006-2011, respectiv 2012-2013;
- metodele clasice de prognoză (mai ales regresia liniară) sunt total inadecvate, așa cum rezultă pe baza valorii indicelui global de performanță;
- rezultatele obținute cu metodele utilizând RNA sunt relativ mai bune;
- prognoza lunară utilizând RNA conduce la rezultate mai bune decât prognoza ansamblului curbei de sarcină cu RNA (indice global de performanță 535, față de 3627), explicabilă prin slaba corelare a formei curbelor de sarcină;
- analiza comparativă a valorii indicilor anuali de performanță ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ) pentru cazul RNA evidențiază valori de același ordin de mărime – cu alte cuvinte aceste metode reușesc să "prindă" relativ mai bine evoluția consumului (în pofida gradului redus de corelare a datelor inițiale);
- analiza curbelor de culoare roșie din fig. 7.2.3 și 7.2.4 arată că prognoza utilizând RNA pentru ansamblul curbei de sarcină, care ține cont de valorile pentru toate lunile, "nu prinde vârfurile" (variațiile mari de la o lună la alta), fiind mai aplatizată decât cea albastră (consumul real) sau cea verde (prognoza pe luni cu RNA).

#### 7.2.2.2. Ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 21

În tabelul 7.2.8 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.5, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

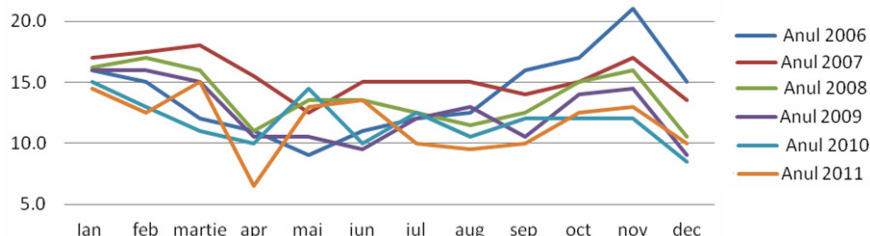


Figura 7.2.5. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.9 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.6, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

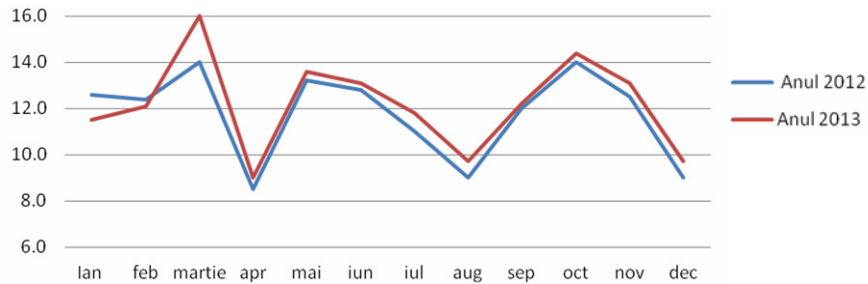


Figura 7.2.6. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza sumară a datelor prezentate în tabelele 7.2.8 și 7.2.9 evidențiază de la bun început următoarele concluzii:

- pentru perioada 2006-2011 se observă o tendință generală de scădere a consumului, alternată cu creșteri momentane destul de însemnate;
- pentru 2012-2013 tendința generală este de creștere sau de menținere aproximativ constantă;
- forma curbelor este destul de diferită, cu multe "intersecții", evidențiindu-se doar un minim relativ în aprilie, respectiv un maxim relativ în noiembrie;
- în concluzie, gradul de corelare a curbelor de sarcină este relativ redus, atât din punctul de vedere al evoluției în timp, cât și al formei pe un an, cu observația că ele par a fi "mai grupate" decât cele de la ora 9 (paragraful anterior).

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.10), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.11), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.12) și RNA, lunar (tabelul 7.2.13). În partea de jos a tabelului este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.7 - 7.2.8.

În tabelul 7.2.14 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază următoarele concluzii:

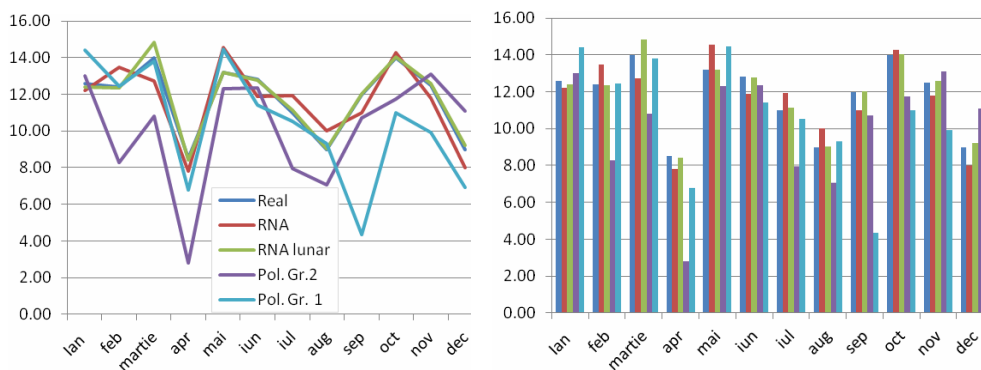


Figura 7.2.7. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

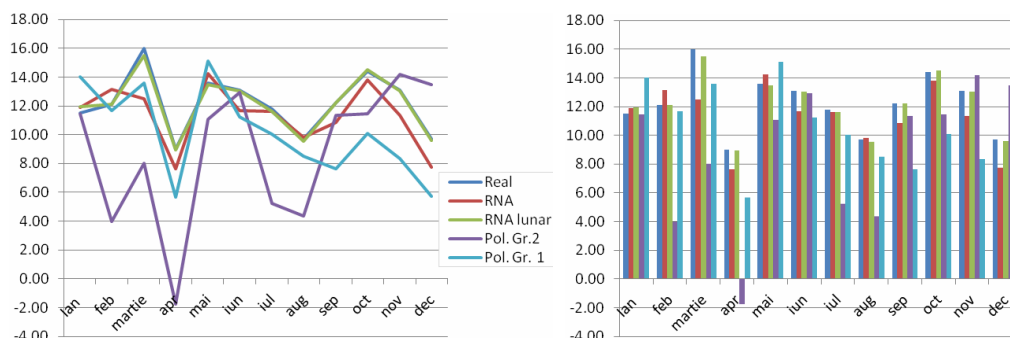


Figura 7.2.8. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

Tabelul 7.2.14. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	15009	11422	820	43
<b>S<sub>2013</sub></b>	116810	11505	1971	33
<b>Total</b>	1318189	22927	2791	76

- rezultatele confirmă în totalitate observațiile făcute la analiza curbelor de sarcină pentru perioada 2006-2011, respectiv 2012-2013;
- metodele clasice de prognoză (mai ales regresia liniară) sunt total inadecvate, așa cum rezultă pe baza valorii indicelui global de performanță;
- rezultatele obținute cu metodele utilizând RNA sunt relativ mai bune;
- prognoza lunară utilizând RNA conduce la rezultate mai bune decât prognoza curbei de sarcină cu RNA (indice global de performanță 76, față de 2791);
- analiza comparativă a valorii indicilor anuali de performanță ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ) pentru cazul RNA evidențiază valori de același ordin de mărime pentru RNA lunar (cu "probleme" în ianuarie și martie), respectiv ușor diferite pentru RNA referitor la curbele de sarcină (datorită lunilor martie, aprilie, noiembrie și decembrie 2013);
- metodele utilizând RNA reușesc să "prindă" relativ mai bine evoluția consumului (în pofida gradului redus de corelare a datelor inițiale);
- analiza curbelor de culoare verde (RNA lunar) din fig. 7.2.7 și 7.2.8 arată că ele sunt practic suprapuse peste cele albastre (consumul real), deci prognoza utilizând RNA lunar este foarte bună (tabelul 7.2.13 evidențiază abaterii mai mici de 4%, cu o singură excepție – 5,68% în martie 2012).

### 7.2.2.3. Prima zi de marți a fiecărei luni, ora 9

În tabelul 7.2.15 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.9, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

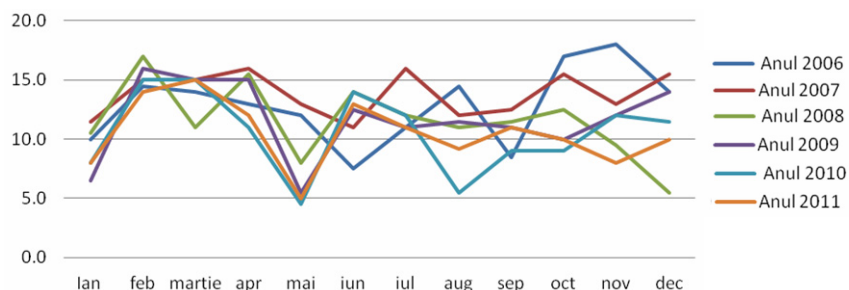


Figura 7.2.9. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.16 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.10, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

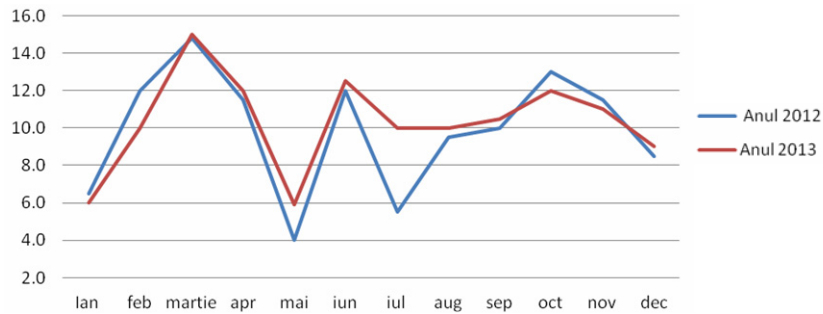


Figura 7.2.10. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza sumară a datelor din tabelele 7.2.15 și 7.2.16 evidențiază concluzii similare cu cele prezentate în paragraful 7.2.2.1, cu completarea că gradul de corelare a curbelor de sarcină pare a fi și mai redus (așa cum se vede din figura 7.2.9).

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.17), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.18), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.19) și RNA, lunar (tabelul 7.2.20). În partea de jos a tabelului este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.11 - 7.2.12.

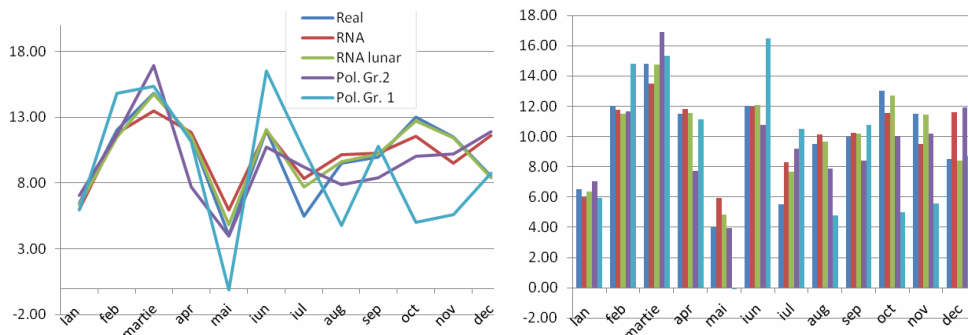


Figura 7.2.11. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

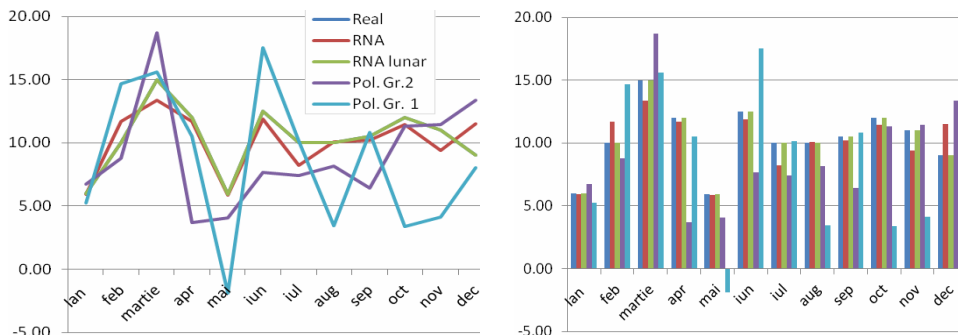


Figura 7.2.12. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.2.21 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.2.21. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S2012</b>	7024	66786	4859	1515
<b>S2013</b>	20809	185346	1646	771
<b>Stotal</b>	27833	252132	6505	2286

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază concluzii similare cu cele prezentate în paragraful 7.2.2.1, cu completarea că valoarea indicilor globali de performanță este mai proastă (datorită gradului mai redus de corelare a curbelor de sarcină, menționat și anterior).

#### 7.2.2.4. Prima zi de marți a fiecărei luni, ora 21

În tabelul 7.2.22 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.13, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

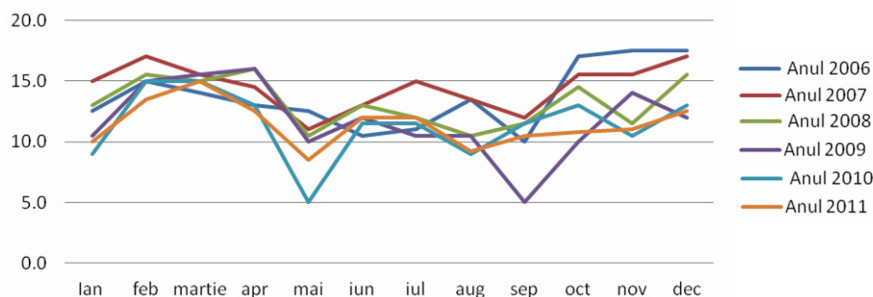


Figura 7.2.13. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.23 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.14, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

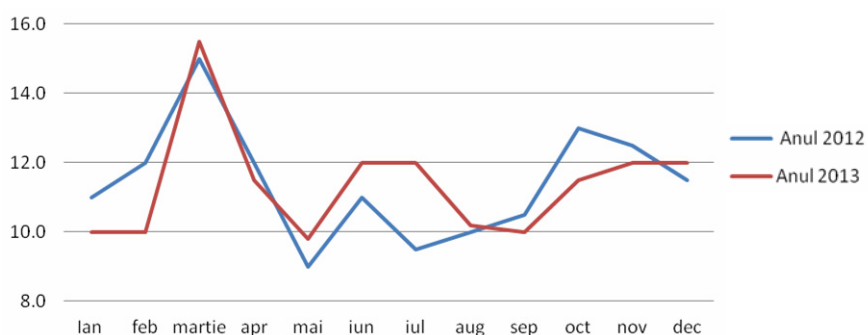


Figura 7.2.14. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza datelor prezentate în tabelele 7.2.22 și 7.2.23 evidențiază concluzii similare cu cele prezentate în paragraful 7.2.2.2, cu completarea că gradul de corelare a curbelor de sarcină pare a fi mai redus (așa cum se vede din figurile 7.2.13 și 7.2.14), situația din acest punct de vedere fiind asemănătoare cu cea din paragraful 7.2.2.1.



Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.24), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.25), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.26) și RNA, lunar (tabelul 7.2.27). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.15 - 7.2.16.

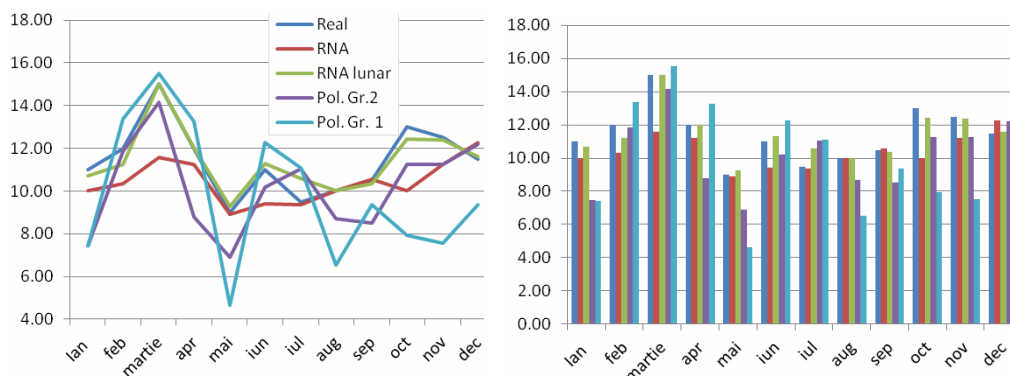


Figura 7.2.15. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

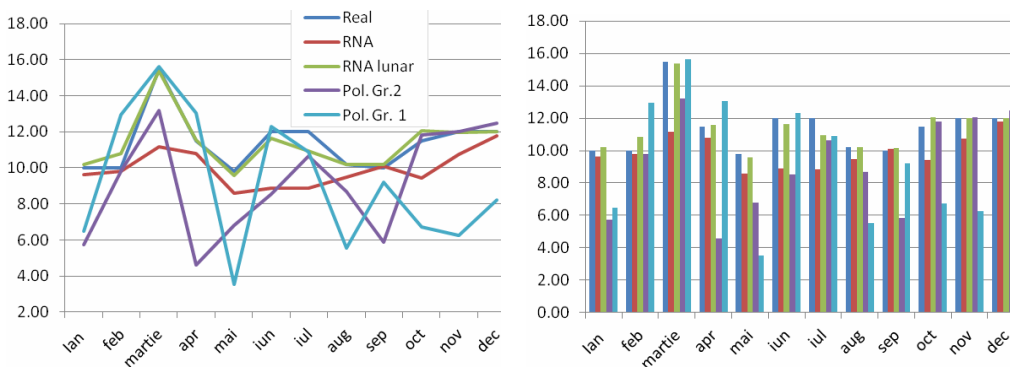


Figura 7.2.16. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.2.28 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.2.28. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
$S_{2012}$	4436	13276	2103	204
$S_{2013}$	16161	23291	3664	191
$S_{total}$	20597	36567	5767	395

Analiza rezultatelor obținute cu cele 4 metode utilizate evidențiază concluzii asemănătoare cu cele din paragraful 7.2.2.1, cu completarea că valoarea indicelui global de performanță pentru prognoza lunară utilizând RNA este ceva mai bună: 395 față de 535. Datele din tabelul 7.2.27 indică abateri mai mici de 8%, cu excepția lunii iulie – 10,68% în 2012, 9,08 în 2013 (în paragraful 7.2.2.1 mai mici de 9%, cu excepția lunii ianuarie – 12,27% în 2012, 11,38 în 2013).



### 7.2.2.5. A doua zi de miercuri a fiecărei luni, ora 9

În tabelul 7.2.29 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.17, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

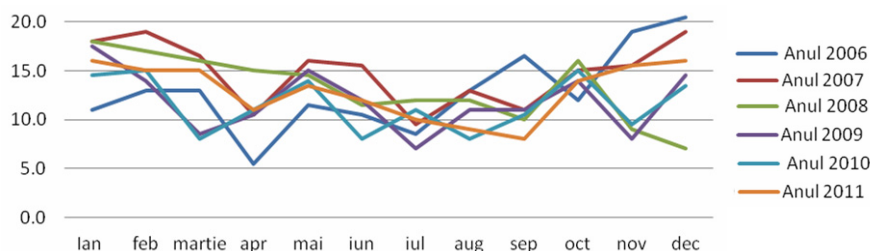


Figura 7.2.17. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.30 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.18, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

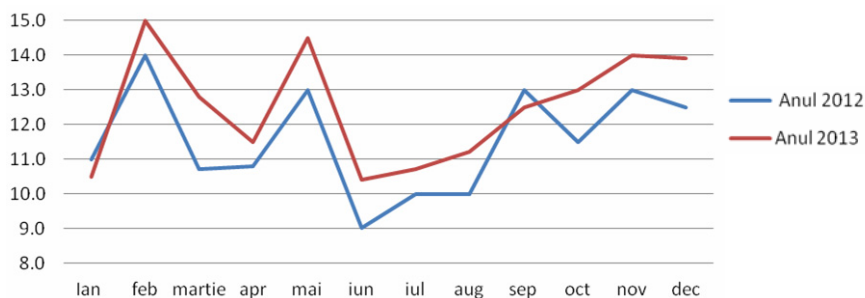


Figura 7.2.18. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza sumară a datelor prezentate în tabelele 7.2.29 și 7.2.30 evidențiază de la bun început următoarele concluzii:

- pentru perioada 2006-2011 se observă o tendință inițială de creștere, urmată de o scădere destul de accentuată;
- pentru 2012-2013 tendința generală este de creștere, cu foarte mici excepții;
- forma curbelor este destul de diferită, cu multe "intersecții", evidențiindu-se unele "sincopă" care vor pune probleme mari la efectuarea prognozelor: aprilie 2006, martie 2009 și 2010, iunie 2010, iulie 2006, 2007 și 2009, noiembrie 2008-2010, decembrie 2008 (câte 2 luni cu valori "discrepante" în fiecare an);
- în concluzie, gradul de corelare a curbelor de sarcină este relativ redus, atât din punctul de vedere al evoluției în timp, cât și al formei pe durata unui an.

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.31), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.32), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.33) și RNA, lunar (tabelul 7.2.34). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.19 - 7.2.20.

În tabelul 7.2.35 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

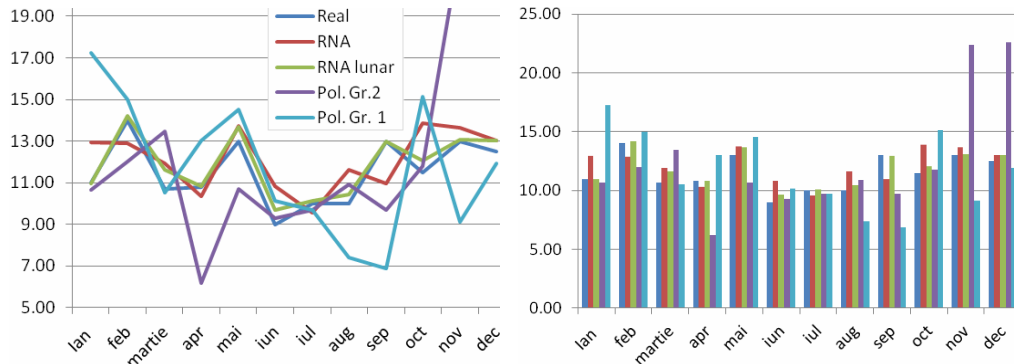


Figura 7.2.19. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

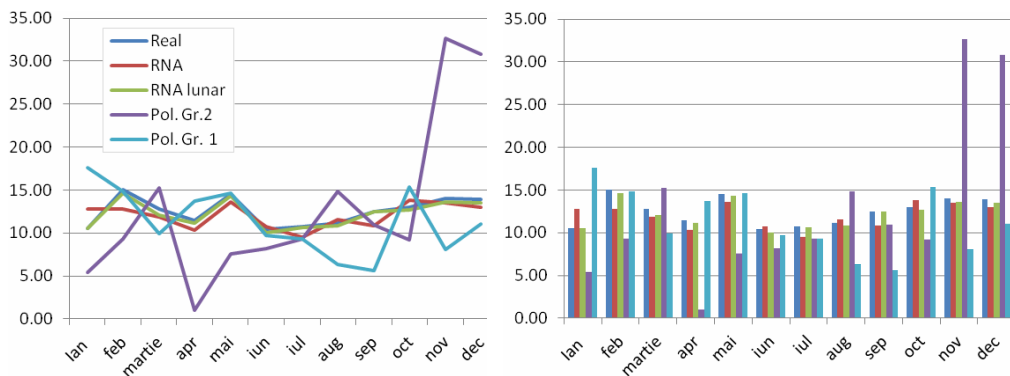


Figura 7.2.20. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

Tabelul 7.2.35. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	11128	9342	1767	212
<b>S<sub>2013</sub></b>	53488	16241	1309	96
<b>S<sub>total</sub></b>	64616	25583	3076	308

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază următoarele concluzii:

- rezultatele confirmă în totalitate observațiile făcute la analiza curbelor de sarcină pentru perioada 2006-2011, respectiv 2012-2013;
- metodele clasice de prognoză sunt total inadecvate, așa cum rezultă pe baza valorii indicelui global de performanță (datorită inexistenței unui trend constant de creștere sau scădere, respectiv datorită "sincopelor" menționate);
- rezultatele obținute cu metodele utilizând RNA sunt relativ mai bune;
- prognoza lunară utilizând RNA conduce la rezultate mai bune decât prognoza ansamblului curbei de sarcină cu RNA (indice global de performanță 308, față de 3076), datorită slabei corelări a curbelor de sarcină și "sincopelor" menționate;
- analiza comparativă a valorii indicilor anuali de performanță ( $s_{2012}$ ,  $s_{2013}$ ) pentru cazul RNA evidențiază valori mai mari pentru  $s_{2012}$ , tabelul 7.2.34 indicând cauzele: lunile martie, mai, iunie, august, octombrie și decembrie (într-o măsură mai redusă, același aspect apare și la  $s_{2013}$ , fără luna mai, dar cu noiembrie în plus);
- valorile din tabelul 7.2.34 indică erori de prognoză sub 6%, considerate acceptabile;

- analiza curbelor de culoare roșie din fig. 7.2.19 și 7.2.20 arată că prognoza utilizând RNA pentru ansamblul curbei de sarcină (curba roșie), care ține cont de valorile pentru toate lunile, urmărește mai greu "discontinuitățile" ("salturile") din consumul real (curba albastră) decât prognoza pe luni cu RNA (curba verde).

#### 7.2.2.6. A doua zi de miercuri a fiecărei luni, ora 21

În tabelul 7.2.36 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.21, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

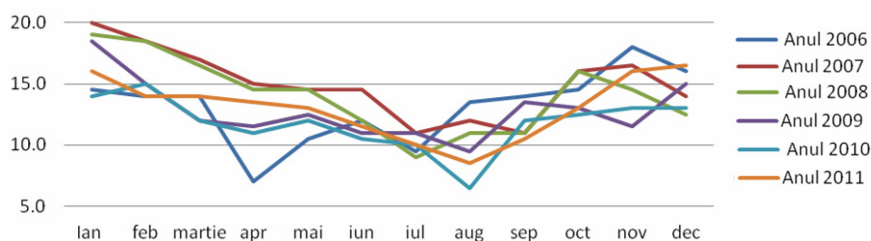


Figura 7.2.21. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.37 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.22, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

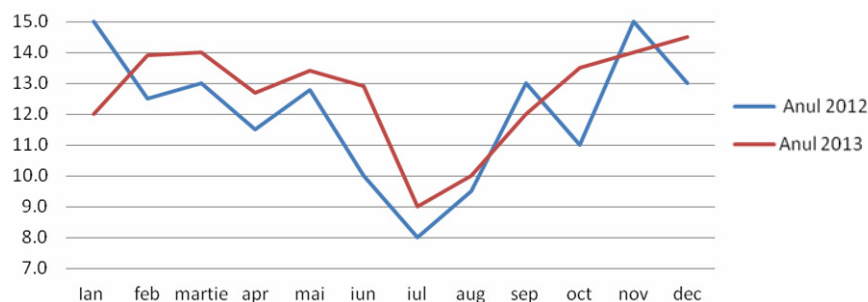


Figura 7.2.22. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza sumară a datelor prezentate în tabelele 7.2.36 și 7.2.37 evidențiază concluzii asemănătoare cele din paragraful anterior, cu mențiunea că tendințele de creștere sau de scădere a consumului sunt mai contradictorii, mai diferite de la un an la altul, ceea ce determină, la o primă vedere calitativă, un grad de corelare mai redus a curbelor de sarcină.

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.38), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.39), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.40) și RNA, lunar (tabelul 7.2.41). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.23 - 7.2.24.

În tabelul 7.2.42 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază concluzii asemănătoare cu cele din paragraful anterior. Gradul mai

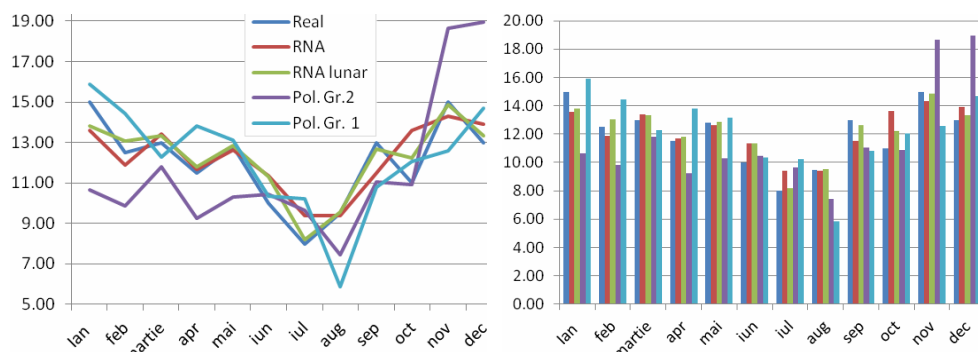


Figura 7.2.23. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

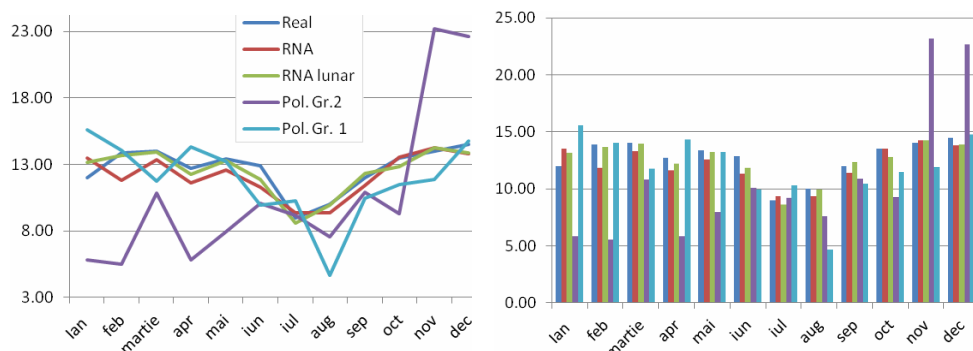


Figura 7.2.24. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

Tabelul 7.2.42. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	5821	4356	1219	387
<b>S<sub>2013</sub></b>	28178	8076	819	244
<b>S<sub>total</sub></b>	33999	12432	2038	631

scăzut de corelare față de curbele de sarcină de dimineața se reflectă și în valoarea mai mare a indicelui global de performanță pentru cazul cel mai bun (RNA lunar): 631 față de 308. Valorile din tabelul 7.2.41 indică erori de prognoză mai mici de 9%, considerate încă acceptabile (cu două excepții în 2012 – 12,5% în iunie și 10,6% în octombrie).

### 7.2.3. Stația Cetate

#### 7.2.3.1. Ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 9

În tabelul 7.2.43 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.25, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

În tabelul 7.2.44 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.26, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

Analiza sumară a datelor prezentate în tabelele 7.2.43 și 7.2.44 evidențiază de la bun început următoarele concluzii:

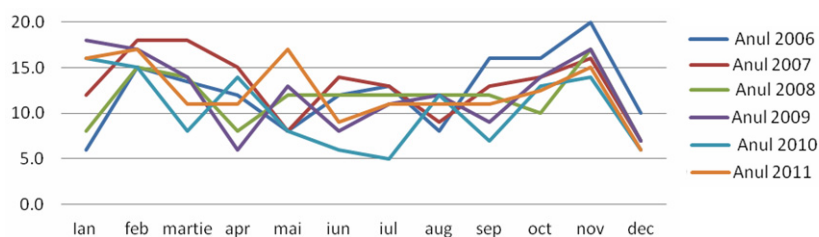


Figura 7.2.25. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

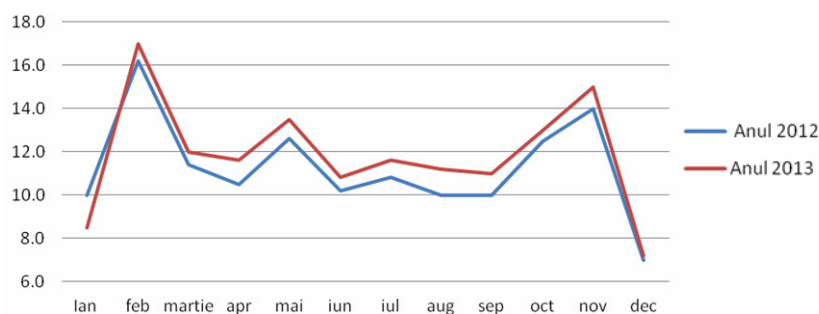


Figura 7.2.26. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

- pentru perioada 2006-2011 nu se poate defini o tendință generală de evoluție valabilă pentru fiecare lună (în figura 7.2.25 ordinea curbelor de diverse culori se modifică de la o lună la alta, cu foarte multe intersecții);
- se observă unele "sincopice" care vor pune probleme mari la efectuarea prognozelor utilizând ansamblul curbei de sarcină: ianuarie 2006 și 2008, martie 2010, aprilie 2008 și 2009, mai 2006, 2007 și 2010, iunie 2009 și 2010, iulie 2010, august 2006 și 2007, septembrie 2009 și 2010 (2-3 luni cu valori "discrepante" în fiecare an);
- pentru 2012-2013 tendința generală este de creștere, cu foarte mici excepții;
- în concluzie, gradul de corelare a curbelor de sarcină este relativ redus, atât din punctul de vedere al evoluției în timp, cât și al formei pe durata unui an.

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.45), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.46), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.47) și RNA, lunar (tabelul 7.2.48). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.27 - 7.2.28.

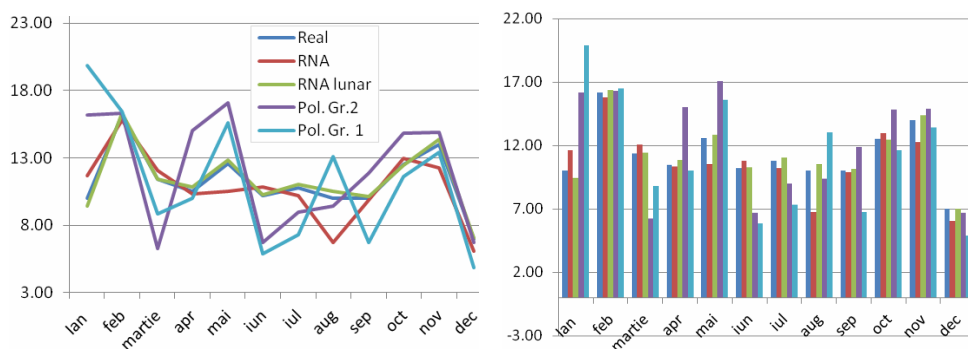


Figura 8.2.27. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

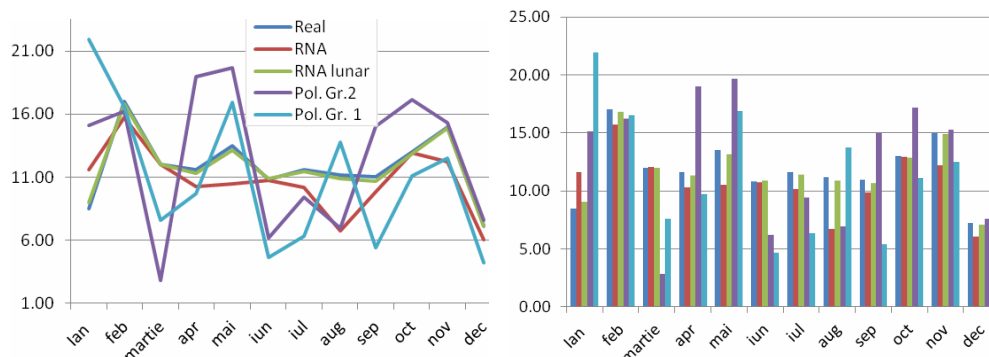


Figura 7.2.28. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.2.49 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.2.49. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	10549	13459	2567	86
<b>S<sub>2013</sub></b>	29564	28783	5291	72
<b>S<sub>total</sub></b>	40113	42242	7858	158

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază următoarele concluzii:

- rezultatele confirmă în totalitate observațiile făcute la analiza curbelor de sarcină pentru perioada 2006-2011, respectiv 2012-2013;
- metodele clasice de prognoză sunt total inadecvate, așa cum rezultă pe baza valorii indicelui global de performanță;
- rezultatele obținute cu metodele utilizând RNA sunt relativ mai bune;
- prognoza lunară utilizând RNA conduce la rezultate mai bune decât prognoza curbei de sarcină cu RNA (indice global de performanță 158, față de 7858), ceea ce era previzibil de la analiza datelor inițiale;
- analiza comparativă a valorii indicilor anuali de performanță ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ) pentru cazul RNA lunar evidențiază valori de același ordin de mărime;
- metodele utilizând RNA lunar reușesc să "prindă" relativ bine evoluția consumului (în pofida gradului redus de corelare a datelor inițiale);
- analiza curbelor de culoare verde (RNA lunar) din fig. 7.2.27 și 7.2.28 arată că ele sunt practic suprapuse peste cele albastre (consumul real), deci prognoza utilizând RNA lunar este foarte bună (tabelul 7.2.18 evidențiază abaterii mai mici de 6%, rezultat cu totul acceptabil).

### 7.2.3.2. Ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 21

În tabelul 7.2.50 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.29, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

În tabelul 7.2.51 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.30, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

Analiza sumară a datelor prezentate în tabelele 7.2.50 și 7.2.51 evidențiază concluzii asemănătoare celor din paragraful anterior, cu mențiunea că tendințele de

creștere sau de scădere a consumului sunt mai contradictorii, mai diferite de la un an la altul, ceea ce determină, la o primă vedere calitativă, un grad de corelare ușor mai redus a curbelor de sarcină.

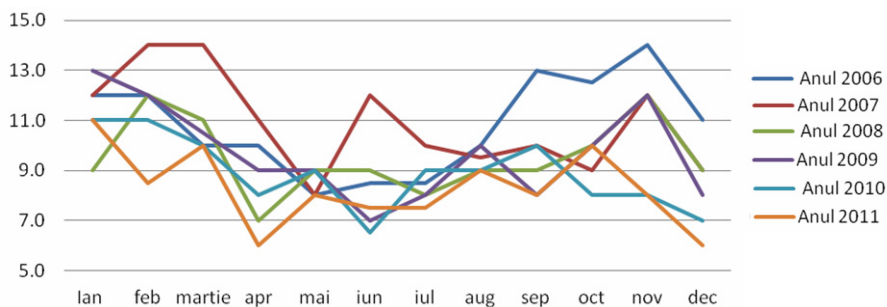


Figura 7.2.29. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

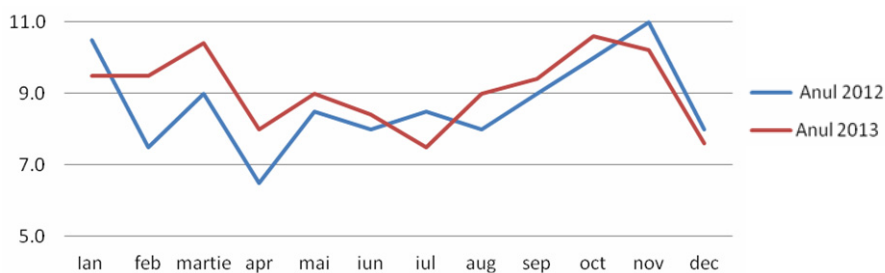


Figura 7.2.30. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.52), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.53), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.54) și RNA, lunar (tabelul 7.2.55). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.31 - 7.2.32.

În tabelul 7.2.56 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

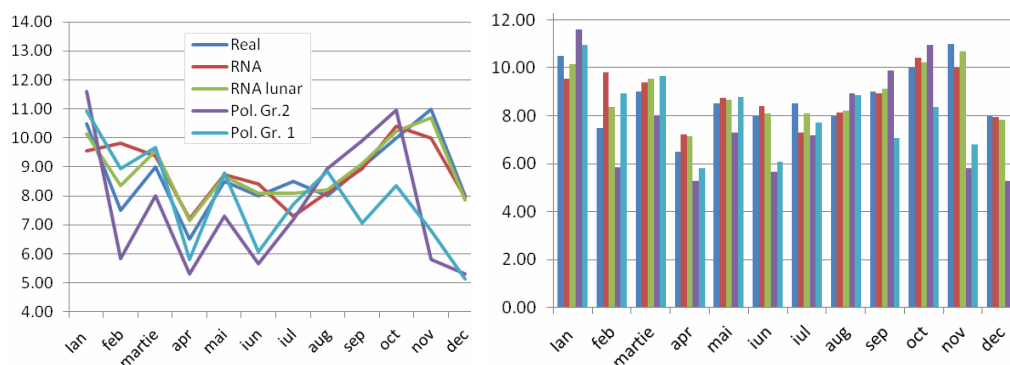


Figura 7.2.31. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012



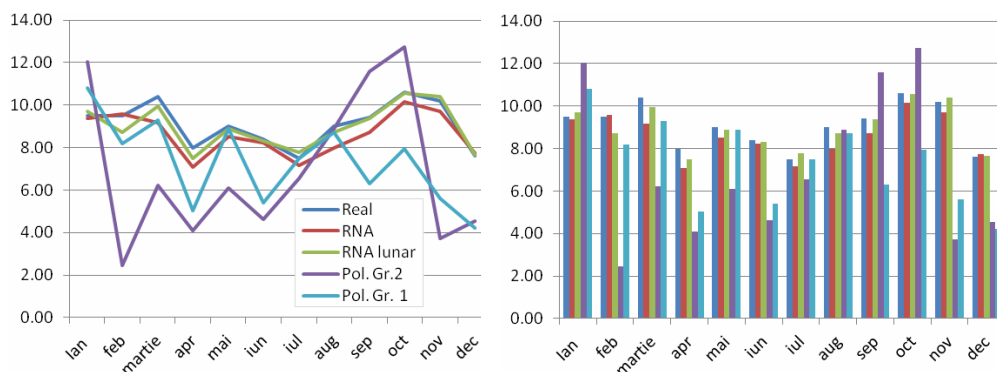


Figura 7.2.32. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

Tabelul 7.2.56. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	8732	6500	1311	309
<b>S<sub>2013</sub></b>	38120	13536	612	173
<b>S<sub>total</sub></b>	46852	20036	1923	482

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază concluzii asemănătoare cu cele din paragraful anterior. Gradul mai scăzut de corelare față de curbele de sarcină de dimineața se reflectă și în valoarea mai mare a indicelui global de performanță pentru cazul cel mai bun (RNA lunar): 482 față de 158. Valorile din tabelul 7.2.55 indică erori de prognoză mai mici de 10%, considerate încă acceptabile (cu o excepție în - 10,7% în februarie 2012).

### 7.2.3.3. Prima zi de marți a fiecărei luni, ora 9

În tabelul 7.2.57 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.33, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

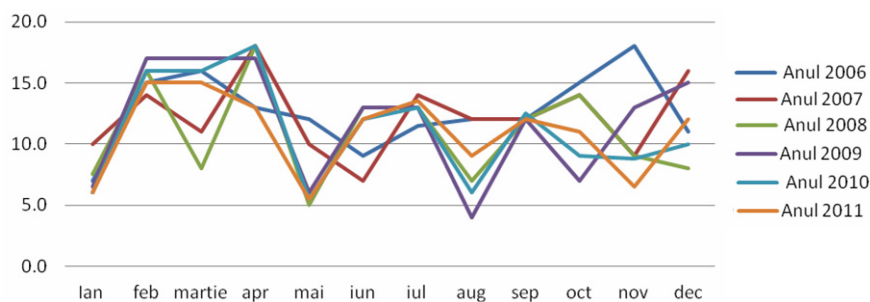


Figura 7.2.33. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.58 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.34, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

Analiza datelor din tabelele 7.2.57 și 7.2.58 evidențiază de la bun început o corelare extrem de redusă a curbelor de sarcină, atât pentru perioada 2006-2011, cât și pentru anii 2012-2013. Figurile 7.2.33 și 7.2.34 ilustrează convingător acest aspect.



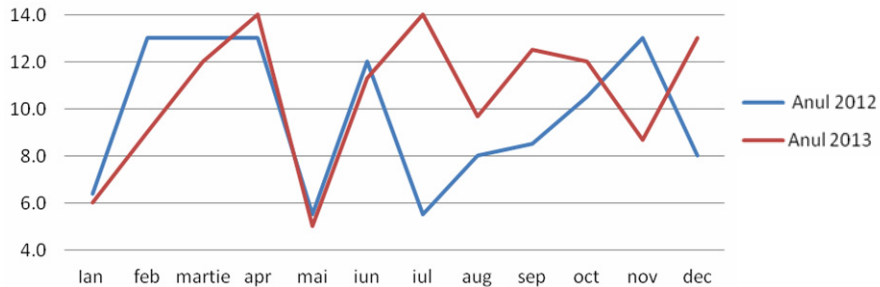


Figura 7.2.34. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.59), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.60), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.61) și RNA, lunar (tabelul 7.2.62). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.35 - 7.2.36.

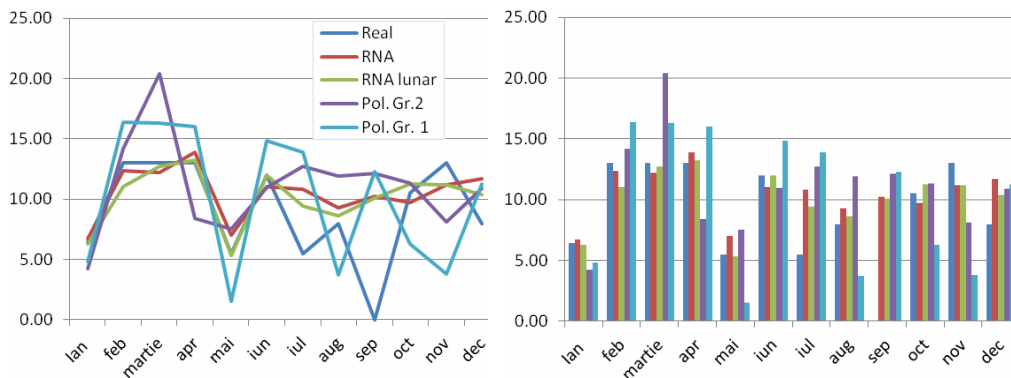


Figura 7.2.35. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

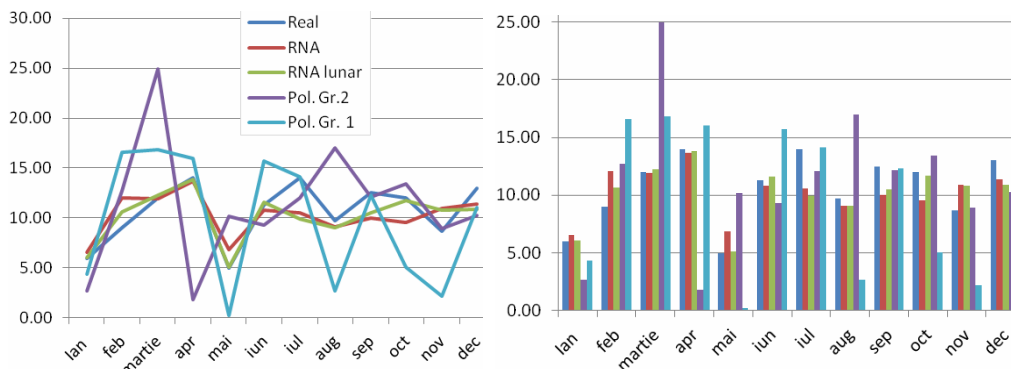


Figura 7.2.36. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.2.63 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.2.63. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	18845	45302	7247	4358
<b>S<sub>2013</sub></b>	44716	73224	4440	2598
<b>S<sub>total</sub></b>	63561	118526	11687	6956

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază, așa cum se aștepta, rezultate de foarte proastă calitate cu metodele clasice de extrapolare, respectiv mai bune cu metodele utilizând RNA, dar mult mai slabe decât cele din paragraful anterior. Gradul extrem de redus de corelare a curbelor de sarcină conduce, chiar și la prognoza lunară utilizând RNA, la erori de până la 35% (cu un maxim pentru iulie 2012 de 52.78 %). Valoarea foarte proastă a indicelui global de calitate (6956, tabelul 7.2.63) conduce la aceeași concluzie.

Pe fondul general al unui grad relativ mai scăzut de încredere pentru datele referitoare la stații (comparativ cu cele referitoare la UTR, subcapitolul 7.1), se poate afirma cu certitudine că unele dintre datele din acest paragraf sunt eronate.

#### 7.2.3.4. Prima zi de marți a fiecărei luni, ora 21

În tabelul 7.2.64 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.37, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

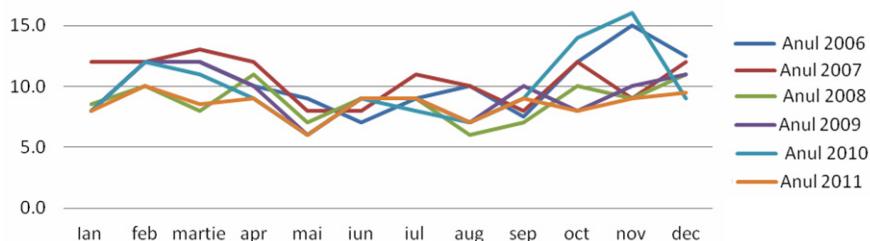


Figura 7.2.37. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.65 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.38, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

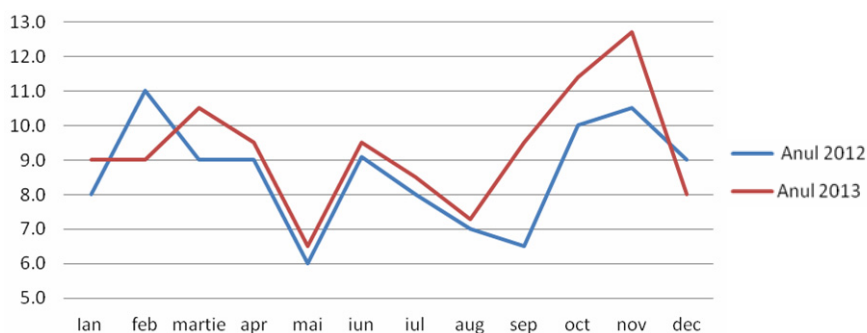


Figura 7.2.38. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza sumară a datelor prezentate în tabelele 7.2.64 și 7.2.65 evidențiază concluzii asemănătoare cu cele din paragraful precedent, dar cu o nuanță mai puțin critică. Și de data aceasta există suspiciunea unor valori eronate de consum.

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.66), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.67), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.68) și RNA, lunar (tabelul 7.2.69). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.39 - 7.2.40.

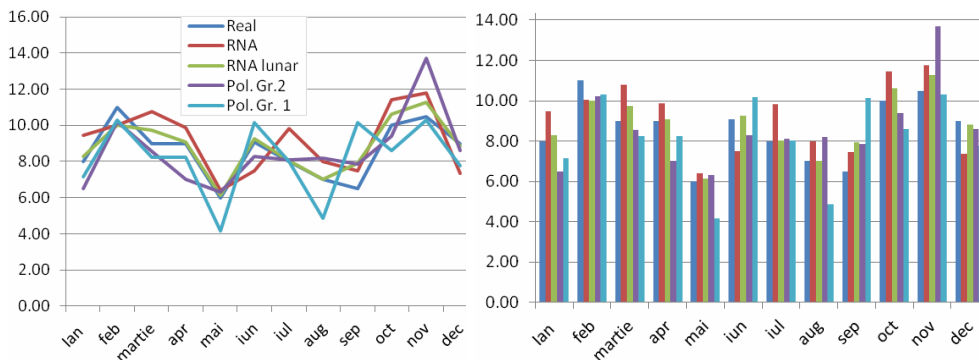


Figura 7.2.39. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

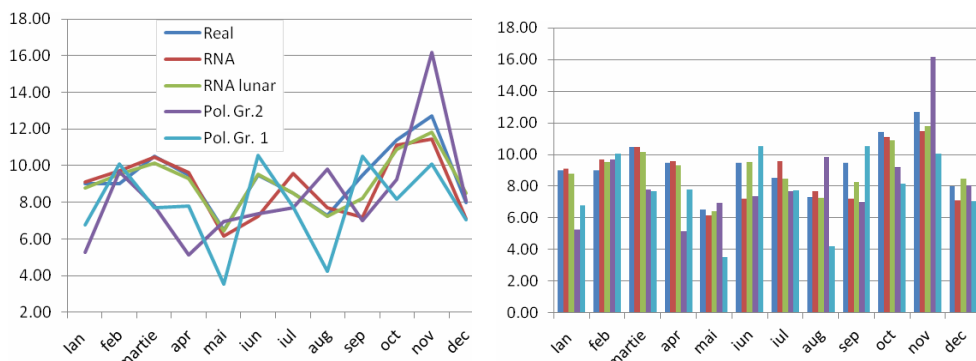


Figura 7.2.40. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.2.70 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.2.70. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b><math>S_{2012}</math></b>	2608	5396	2684	653
<b><math>S_{2013}</math></b>	10755	10673	2001	362
<b><math>S_{total}</math></b>	13363	16069	4685	1015

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză evidențiază concluzii calitative similare cu cele din paragraful precedent, dar din punct de vedere cantitativ lucrurile stau relativ mai bine – element semnalat deja la analiza datelor inițiale. Valoarea indicelui global de performanță pentru metoda care oferă cele mai bune rezultate (RNA lunar) este sensibil mai redusă (1015 față de 6956). Erorile sunt în general sub 10%, cu două "sincope" pentru luna septembrie (unde există suspiciuni asupra datelor inițiale): 19,7% pentru 2012, 14,1% pentru 2013.

### 7.2.3.5. A doua zi de miercuri a fiecărei luni, ora 9

În tabelul 7.2.71 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.41, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

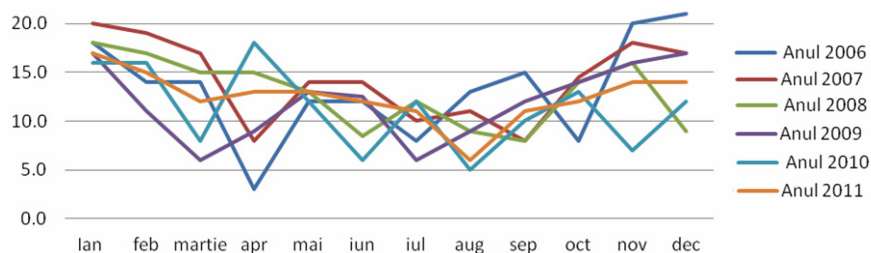


Figura 7.2.41. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.72 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.42, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

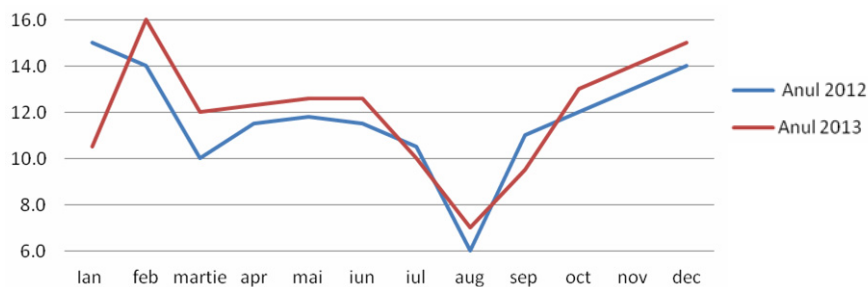


Figura 7.2.42. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza datelor prezentate în tabelele 7.2.71 și 7.2.72 evidențiază concluzii foarte asemănătoare cu cele din paragraful precedent: tendințe contradictorii de evoluție a puterilor consumate, grad relativ scăzut de corelare a curbelor de sarcină, rezerve asupra unor date (martie 2009, 2010, aprilie 2006, 2007, iunie 2008, 2010, iulie 2006, 2009, septembrie 2007, 2008, octombrie 2006, noiembrie 2010 și decembrie 2008).

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.73), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.74), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.75) și RNA, lunar (tabelul 7.2.76). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.43 - 7.2.44.

În tabelul 7.2.77 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză evidențiază concluzii calitative și cantitative similare cu cele din paragraful precedent – element prefațat de analiza datelor inițiale. Valoarea indicelui global de performanță pentru metoda care oferă cele mai bune rezultate (RNA lunar) este de același ordin de mărime (822 față de 1015). Erorile sunt în general sub 8%, cu două "sincope" pentru luna ianuarie (unde există suspiciuni asupra tendinței valorilor cunoscute): 17,3% pentru 2012, 13,9% pentru 2013.

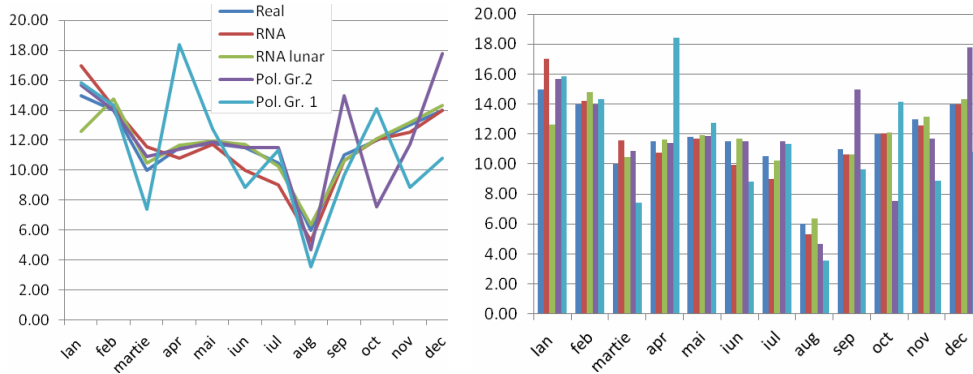


Figura 7.2.43. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012



Figura 7.2.44. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

Tabelul 7.2.77. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	4471	9071	1024	414
<b>S<sub>2013</sub></b>	32654	28948	4587	408
<b>S<sub>total</sub></b>	37125	38018	5611	822

**7.2.3.6. A doua zi de miercuri a fiecărei luni, ora 21**

În tabelul 7.2.78 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.45, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

În tabelul 7.2.79, respectiv figura 7.2.46, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

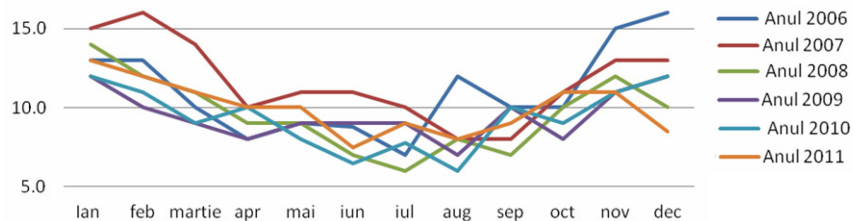


Figura 7.2.45. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

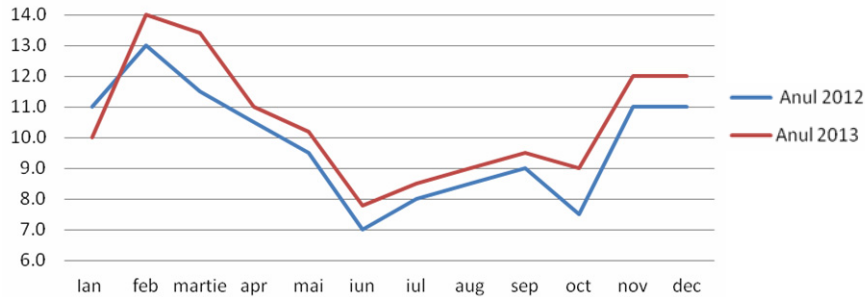


Figura 7.2.46. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza sumară a datelor prezentate în tabelele 7.2.78 și 7.2.79 evidențiază concluzii asemănătoare cu cele din paragraful precedent, dar cu o nuanță mai puțin critică. Tendința pentru anii 2012 și 2013 este de creștere (cu excepția lunii ianuarie). Și de data aceasta există suspiciunea unor valori eronate de consum, dar mai puține decât în paragraful precedent (martie 2009, 2010, iunie 2010, iulie 2008, august 2010).

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.80), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.81), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.82) și RNA, lunar (tabelul 7.2.83). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.47 - 7.2.48.

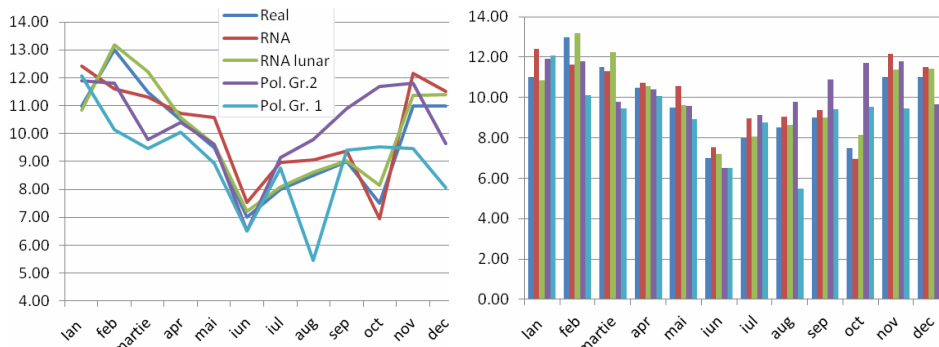


Figura 7.2.47. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

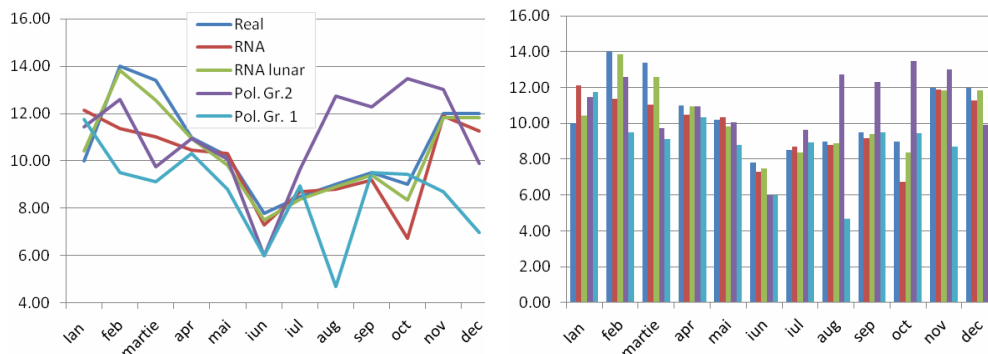


Figura 7.2.48. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.2.84 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.2.84. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S2012</b>	3345	4918	817	149
<b>S2013</b>	6005	11948	2151	151
<b>Stotal</b>	9350	16866	2968	300

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză evidențiază concluzii calitative și cantitative superioare celor din paragraful precedent – element prefațat de analiza datelor inițiale. Valoarea indicelui global de performanță pentru metoda care oferă cele mai bune rezultate (RNA lunar) este sensibil mai bună (300 față de 822). Erorile sunt în general sub 6%, cu două "sincope" pentru luna octombrie (8,3% pentru 2012, 7,4% pentru 2013), ceea ce face ca rezultatele să fie considerate acceptabile.

## 7.2.4. Stația Pădurea Verde

### 7.2.4.1. Ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 9

În tabelul 7.2.85 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.49, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Aceste curbe de sarcină vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor, în scopul obținerii celor pentru anii 2012 și 2013.

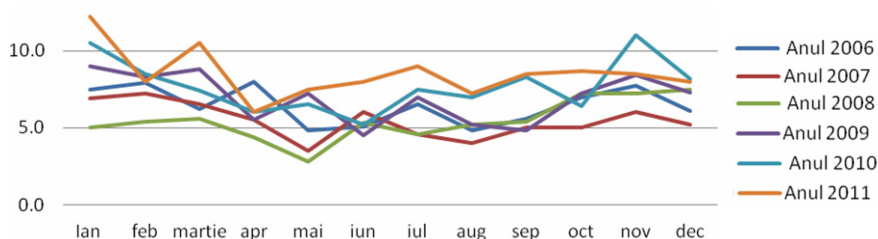


Figura 7.2.49. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.86 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.50, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

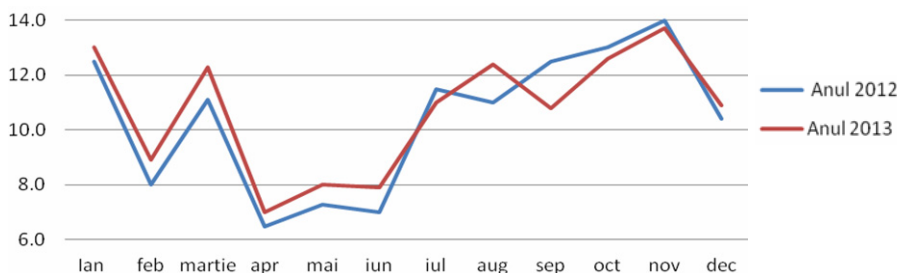


Figura 7.2.50. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza sumară a datelor prezentate în tabelele 7.2.85 și 7.2.86 evidențiază de la bun început următoarele concluzii:

- pentru perioada 2006-2011 se observă o tendință generală de scădere a consumului, alternată cu ușoare momente de creștere;
- pentru 2012-2013 tendința este de creștere pe finalul anului (o descreștere se observă în lunile februarie și iunie);
- forma curbelor este destul de diferită, cu multe "intersecții", evidențiindu-se totuși minime relative pentru luna mai, respectiv maxime relative pentru lunile ianuarie, martie, iulie, septembrie și noiembrie și parțial aprilie;
- în concluzie, gradul de corelare a curbelor de sarcină este relativ redus, atât din punctul de vedere al evoluției în timp, cât și al formei pe durata unui an, dar acceptabil în comparație cu multe cazuri prezentate anterior.

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.87), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.88), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.89) și RNA, lunar (tabelul 7.2.90). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.51 - 7.2.52.

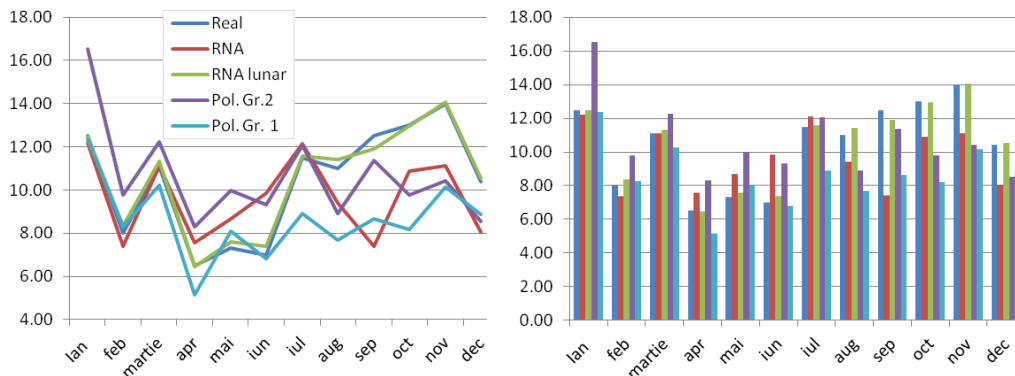


Figura 7.2.51. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

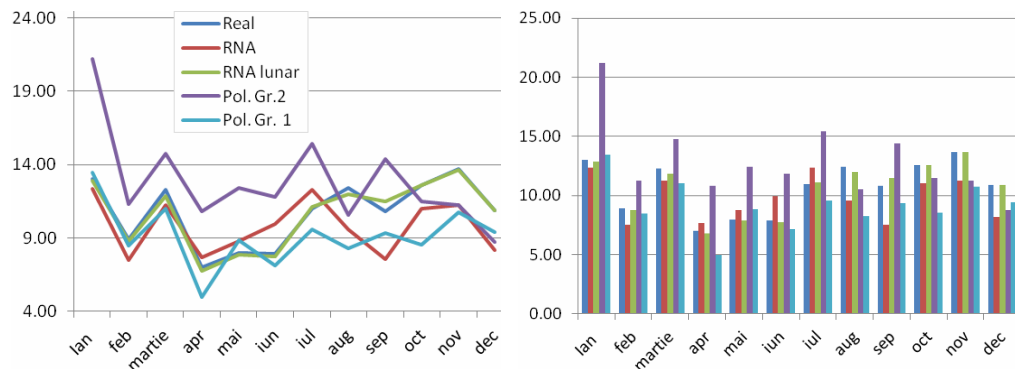


Figura 7.2.52. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.2.91 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază următoarele concluzii:



Tabelul 7.2.91. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	6258	7300	6111	106
<b>S<sub>2013</sub></b>	11604	5820	4528	86
<b>S<sub>total</sub></b>	17862	13120	10639	192

- rezultatele confirmă în totalitate observațiile făcute la analiza curbelor de sarcină pentru perioada 2006-2011, respectiv 2012-2013;
- metodele clasice de prognoză (mai ales regresia liniară) sunt total inadecvate, așa cum rezultă pe baza valorii indicelui global de performanță (ultima linie a tabelului 7.2.91);
- rezultatele obținute cu metodele utilizând RNA sunt relativ mai bune;
- prognoza lunară utilizând RNA conduce la rezultate mai bune decât prognoza ansamblului curbei de sarcină cu RNA (indice global de performanță 192, față de 10639), explicabilă prin slaba corelare a formei curbelor de sarcină;
- analiza comparativă a valorii indicilor anuali de performanță ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ) pentru cazul RNA evidențiază valori de același ordin de mărime – cu alte cuvinte aceste metode reușesc să "prindă" relativ mai bine evoluția consumului (în pofida gradului relativ redus de corelare a datelor inițiale);
- analiza curbelor de culoare roșie din fig. 7.2.51 și 7.2.52 (prognoza utilizând RNA pentru ansamblul curbei de sarcină, care ține cont de valorile pentru toate lunile), arată că ele sunt mai îndepărtate de cele albastre (valorile reale) decât cele verzi (prognoza pentru fiecare lună în parte utilizând RNA);
- tabelul 7.2.90, referitor la rezultatele prognozei lunare utilizând RNA, evidențiază că erorile sunt sub 6%, ceea ce este cu totul acceptabil.

#### 7.2.4.2. Ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 21

În tabelul 7.2.92 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.53, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Aceste curbe de sarcină vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor, în scopul obținerii celor pentru anii 2012 și 2013.

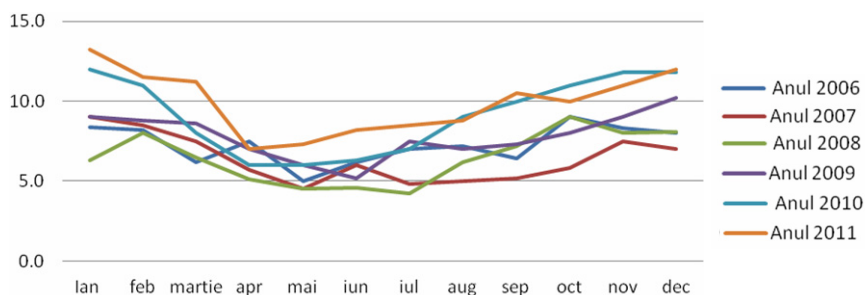


Figura 7.2.53. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.93 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.54, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

Analiza datelor prezentate în tabelele 7.2.92 și 7.2.93 evidențiază concluzii asemănătoare calitativ cu cele din paragraful precedent, cu un semiton mai jos în ceea ce privește gradul de corelare a curbelor de sarcină.

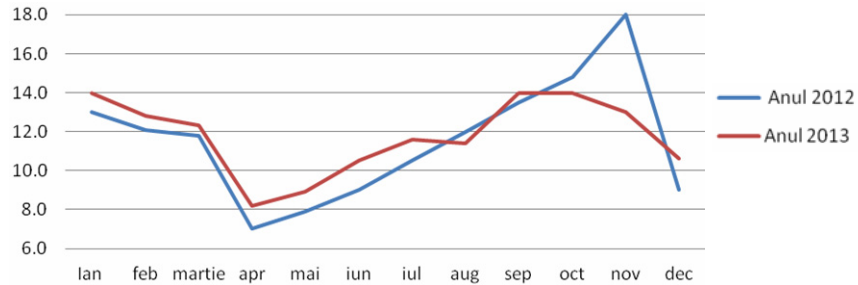


Figura 7.2.54. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.94), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.95), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.96) și RNA, lunar (tabelul 7.2.97). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.55 - 7.2.56.

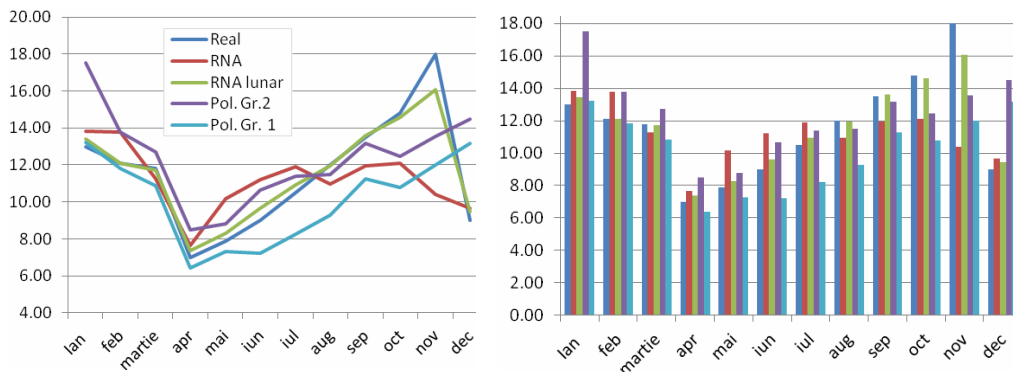


Figura 7.2.55. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

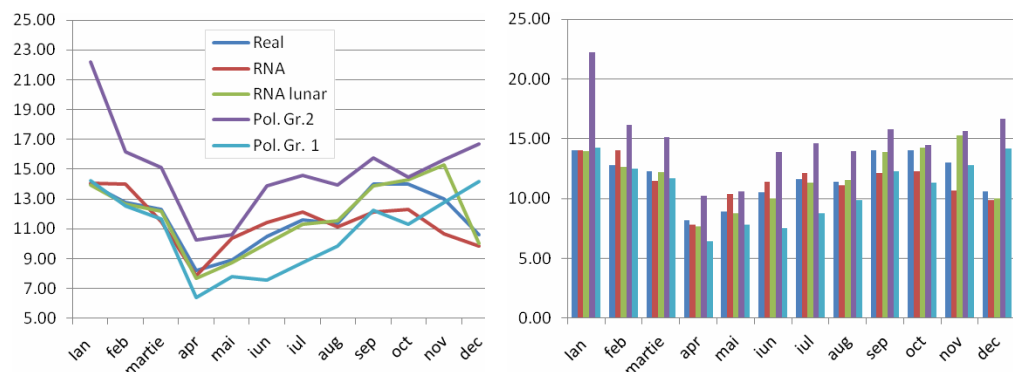


Figura 7.2.56. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.2.98 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.2.98. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	5243	62589	5104	281
<b>S<sub>2013</sub></b>	8012	4328	1303	378
<b>S<sub>total</sub></b>	13255	10587	6407	659

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază următoarele concluzii asemănătoare cu cele din paragraful precedent. Și acum prognoza valorilor lunare utilizând RNA este cea mai bună, valoarea indicelui total de performanță (659, față de 192 în paragraful precedent) este "alterată" de luna noiembrie 2012 și 2013 (care, conform tabelului 7.2.97, au o "contribuție" de  $131 + 263 = 394$  la valoarea indicelui total). Fără aceste două date, erorile ar fi practic sub 6% (pentru noiembrie sunt de 11%, respectiv 16%). La fel ca în alte situații, și aici se poate pune un semn de întrebare asupra veridicității unor date.

#### 7.2.4.3. Prima zi de marți a fiecărei luni, ora 9

În tabelul 7.2.99 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.57, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Aceste curbe de sarcină vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor, în scopul obținerii celor pentru anii 2012 și 2013.

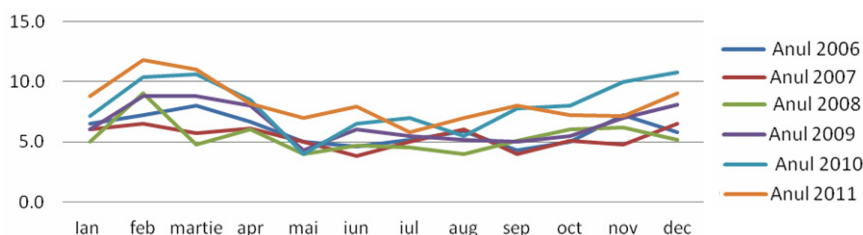


Figura 7.2.57. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.23 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.58, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

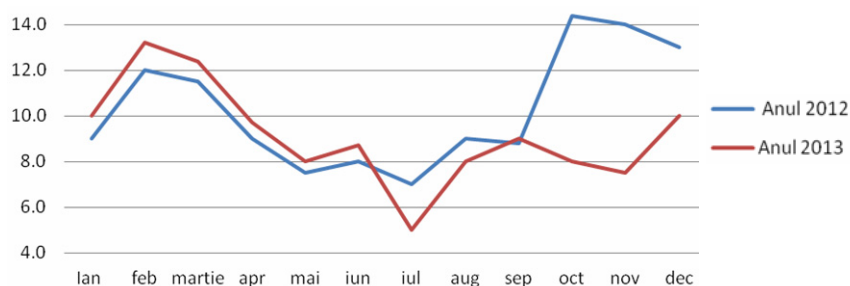


Figura 7.2.58. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza sumară a datelor pentru perioada 2006-2011 evidențiază o scădere inițială a puterii, urmată de o tendință de creștere, cu excepția lunilor iulie, octombrie, noiembrie și decembrie. Aceleași trend neclar se manifestă și în anii 2012-2013 – continuarea creșterii în primele șase luni, evoluții contradictorii în următoarele 6 luni (cu "salturi" foarte mari în ultimele 3 luni din 2012). Se prefigurează rezultate slabe, cu o dificultate suplimentară pentru prognoza ansamblului curbei de sarcină cu RNA.

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.101), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.102), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.103) și RNA, lunar (tabelul 7.2.104). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.59 - 7.2.60.

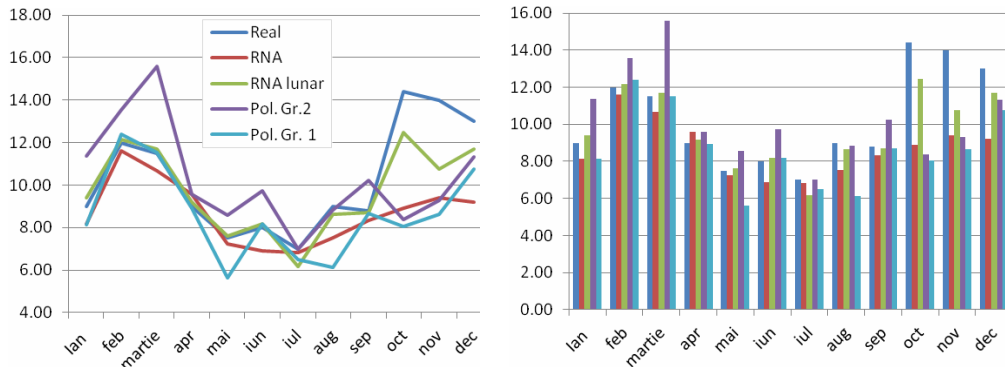


Figura 7.2.59. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

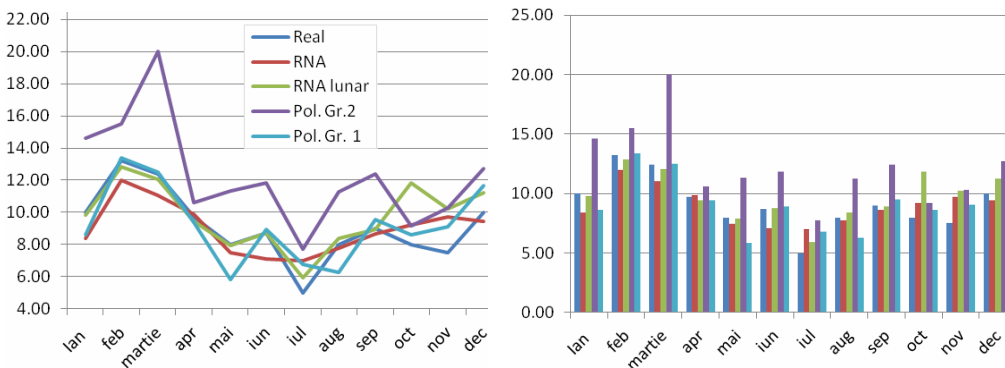


Figura 7.2.60. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.2.105 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.2.105. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	7059	8249	5729	1214
<b>S<sub>2013</sub></b>	11817	3435	3050	2904
<b>S<sub>total</sub></b>	18876	11684	8779	4118

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază următoarele concluzii:

- rezultatele confirmă în totalitate observațiile făcute la analiza curbelor de sarcină pentru perioada 2006-2011, respectiv 2012-2013;
- metodele clasice de prognoză sunt inadecvate, așa cum rezultă pe baza valorii indicelui global de performanță (ultima linie a tabelului 7.2.105);

- rezultatele obținute cu metodele utilizând RNA sunt relativ mai bune, dar slabe în comparație cu alte zile și luni prezentate pentru această stație;
- prognoza lunară utilizând RNA conduce la rezultate mai bune decât prognoza ansamblului curbei de sarcină cu RNA (indice global de performanță 4118, față de 8779), explicabilă prin slaba corelare a formei curbelor de sarcină;
- curbele de culoare verde (RNA lunar) din fig. 7.2.59 și 7.2.60 sunt practic suprapuse peste cele albastre (consumul real), cu excepția lunilor "cu probleme", menționate deja la analiza preliminară a curbelor de sarcină – 13% și 17% pentru iulie, 14% și 39% pentru octombrie, 26% și 31% pentru noiembrie, 10% și 12% pentru decembrie (în rest, erorile de prognoză se situează sub 5%).

#### 7.2.4.4. Prima zi de marți a fiecărei luni, ora 21

În tabelul 7.2.106 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.61, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor, în scopul obținerii curbelor de sarcină pentru anii 2012 și 2013.

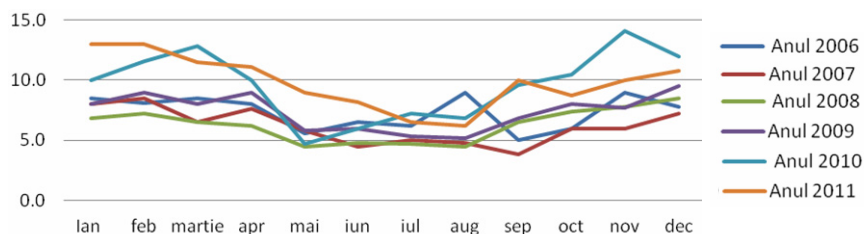


Figura 7.2.61. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.23 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.62, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

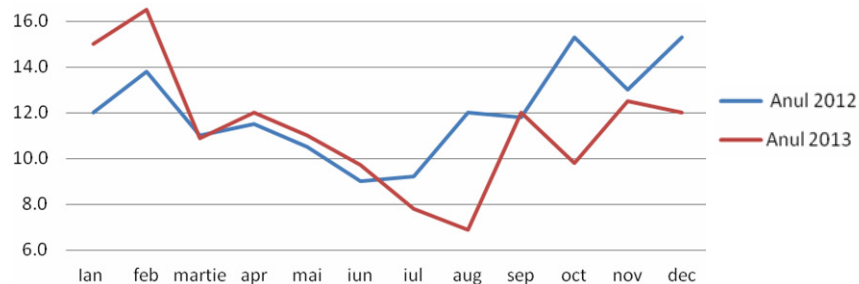


Figura 7.2.62. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza datelor prezentate în tabelele 7.2.106 și 7.2.107 evidențiază că forma curbelor este destul de diferită, cu multe "intersecții" și tendințe contradictorii, aproape la fel ca în paragraful precedent. De data aceasta lunile "cu probleme" sunt august, octombrie și decembrie (și, parțial, ianuarie și iulie).

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.108), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.109), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.110) și RNA, lunar (tabelul 7.2.111). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.63 - 7.2.64.

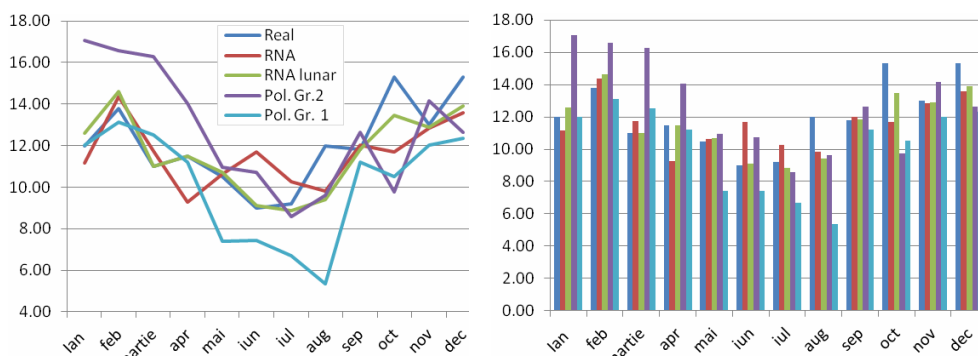


Figura 7.2.63. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

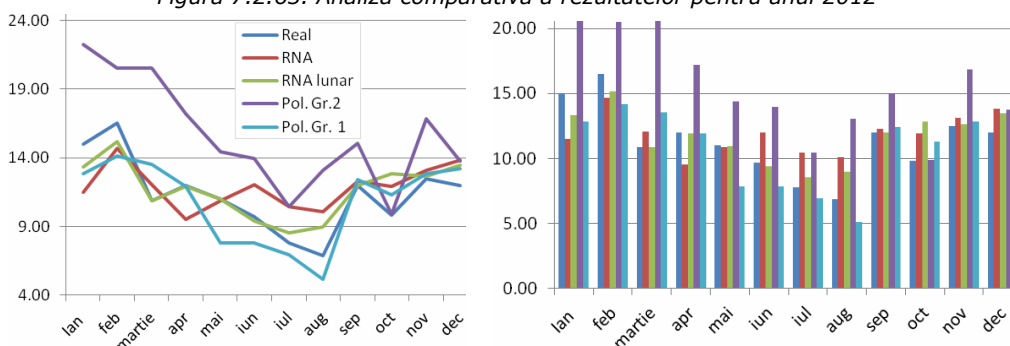


Figura 7.2.64. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.2.112 s-au reunit indicii de performanță cu cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.2.112. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	6742.	10548	2648	917
<b>S<sub>2013</sub></b>	15268	3829	4795	1864
<b>S<sub>total</sub></b>	22010	14377	7443	2781

Analiza comparativă (cu paragraful precedent) a rezultatelor evidențiază concluzii similare calitativ (cu un "semiton" mai bune cantitativ). Pentru cea mai bună metodă (RNA lunar) erorile sunt în general sub 6%, cu 3 excepții pentru 2012 și 5 pentru 2013 (eroarea maximă se înregistrează pentru luna octombrie 2013 – 27%).

#### 7.2.4.5. A doua zi de miercuri a fiecărei luni, ora 9

În tabelul 7.2.113 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.65, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

În tabelul 7.2.114 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.66, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

Analiza datelor prezentate în tabelele 7.2.113 și 7.2.114 evidențiază că forma curbelor este destul de diferită, cu multe "intersecții" și tendințe contradictorii, similar cu situația din cele două paragrafe precedente, cu "probleme" pentru lunile august, noiembrie și decembrie (și parțial aprilie).

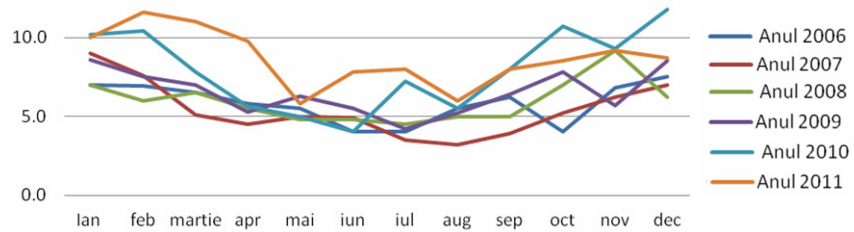


Figura 7.2.65. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

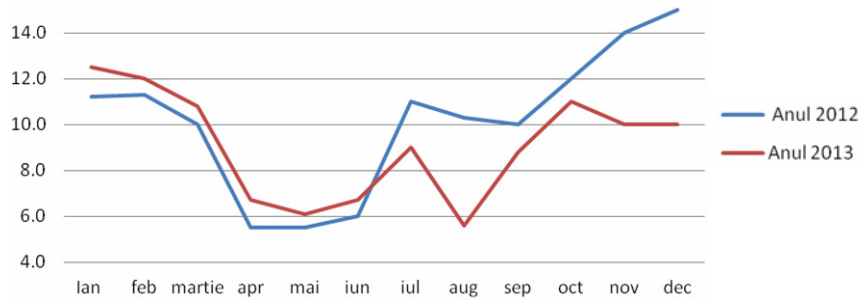


Figura 7.2.66. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.115), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.116), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.117) și RNA, lunar (tabelul 7.2.118). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.67 - 7.2.68.

În tabelul 7.2.119 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.2.119. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	12825	8470	4753	1190
<b>S<sub>2013</sub></b>	20013	1585	4567	1978
<b>S<sub>total</sub></b>	32838	10055	9320	3170

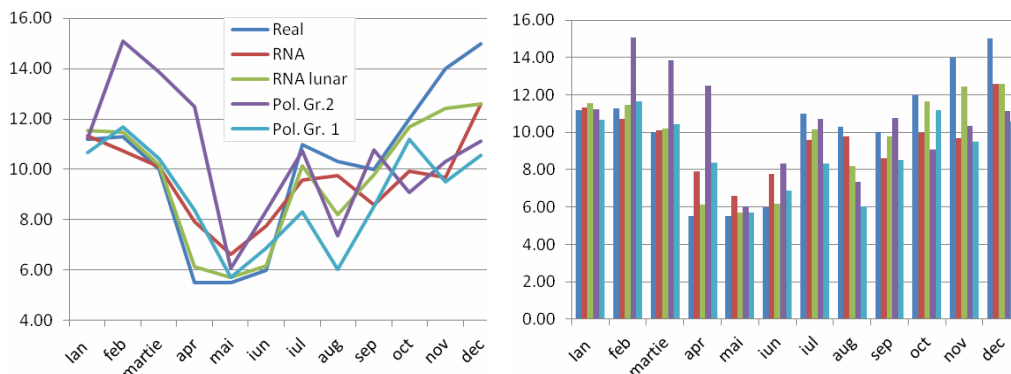


Figura 7.2.67. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

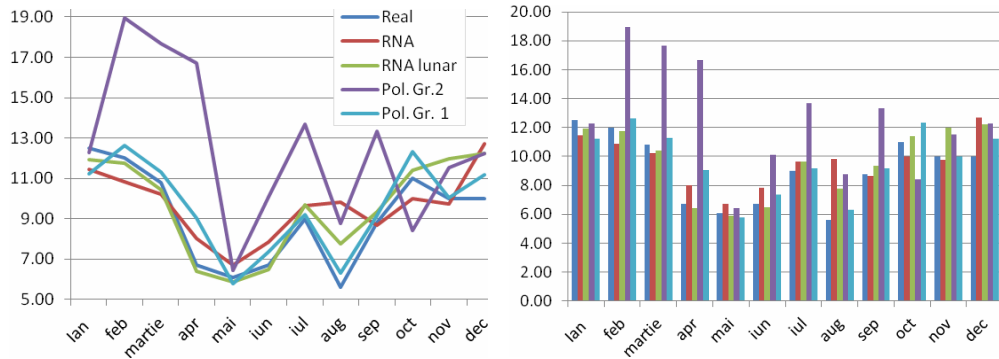


Figura 7.2.68. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază concluzii similare calitativ cu cele din paragrafele anterioare. Prognoza ansamblului curbei de sarcină cu RNA duce la eșec. Pentru cea mai performantă metodă (RNA lunar) erorile sunt în general sub 8%, cu 4 excepții pentru 2012 și 3 pentru 2013, lunile cu "probleme" fiind august, noiembrie, decembrie și parțial aprilie (eroarea maximă se înregistrează pentru luna august 2013 – 33%). Se mențin și aici temerile legate de corectitudinea unor date.

#### 7.2.4.6. A doua zi de miercuri a fiecărei luni, ora 21

În tabelul 7.2.120 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.69, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

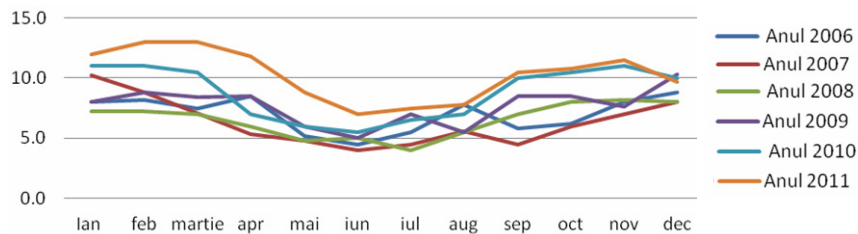


Figura 7.2.69. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.121 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.70, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

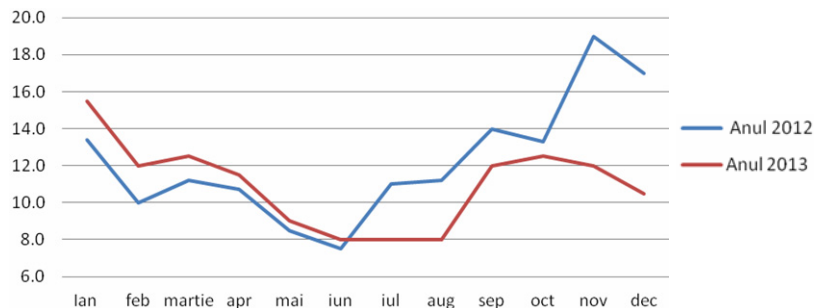


Figura 7.2.70. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)



Analiza datelor prezentate în tabelele 7.2.120 și 7.2.121 evidențiază concluzii similare cu cele din paragraful anterior (ora 9 dimineața pentru aceeași zi), atât calitativ, cât și cantitativ. Se așteaptă ca și prognozele să fie pe măsură.

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.122), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.123), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.124) și RNA, lunar (tabelul 7.2.125). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.71 - 7.2.72.

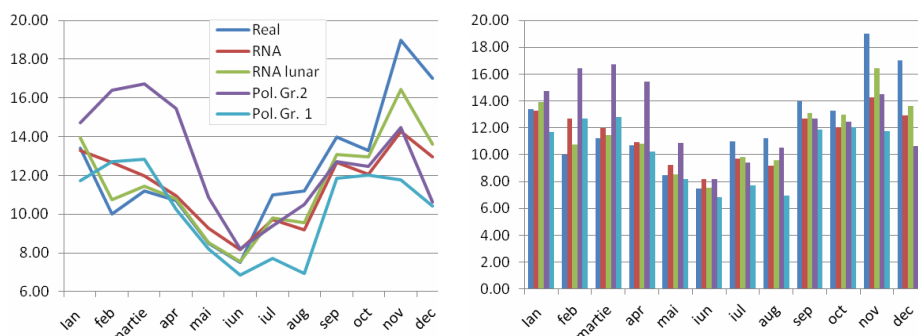


Figura 7.2.71. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

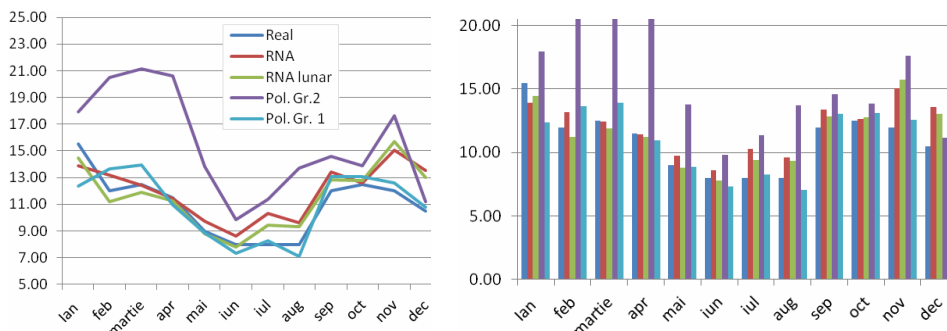


Figura 7.2.72. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.2.126 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.2.126. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	9291	9335	3034	1199
<b>S<sub>2013</sub></b>	16972.	1166	2566	1874
<b>S<sub>total</sub></b>	26263	10501	5600	3073

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază, așa cum se aștepta, rezultate de slabă calitate, similare cu cele din cele trei paragrafe precedente (valoarea indicilor de performanță din tabelul 7.2.126 susține această concluzie). Lunile cu probleme sunt iulie, august, noiembrie și decembrie, eroarea maximă fiind de 27% (noiembrie 2013). În rest, erorile sunt sub 7%. Analiza figurilor 7.2.71 și 7.2.72 – poziția curbei verzi (RNA lunar) și a celei roșii (RNA curba de sarcină) – nu face decât să întărească concluziile, pe fondul, totuși, al unei rezerve față de o parte din datele de consum.

## 7.2.5. Stația Sânnicolau Mare

### 7.2.5.1. Ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 9

În tabelul 7.2.127 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.73, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

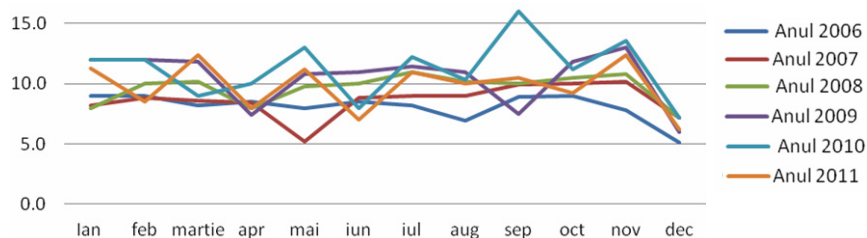


Figura 7.2.73. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.128 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.74, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

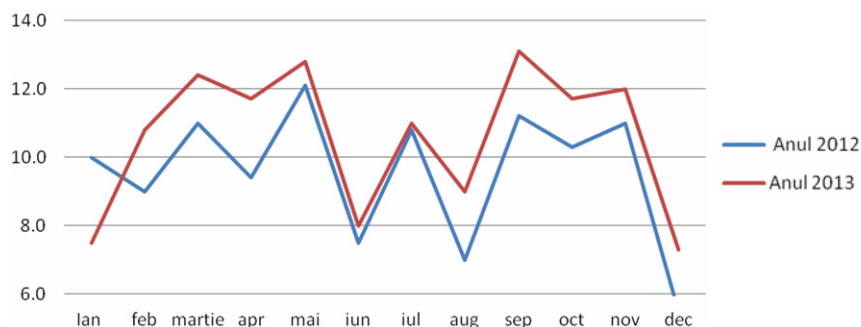


Figura 7.2.74. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza datelor prezentate în tabelele 7.2.127 și 7.2.128 evidențiază de la bun început următoarele concluzii:

- pentru perioada 2006-2011 se observă o tendință generală inițială de scădere a consumului, urmată de o creștere și din nou o scădere. Se observă "sincopă" (tabelul 7.2.127) – septembrie, martie, mai 2010, septembrie 2009 etc. (cea mai "bizară" evoluție: septembrie 2008-2011);
- pentru 2012-2013 tendința generală este de creștere (excepție – luna ianuarie);
- figura 7.2.73 sugerează o corelare relativ redusă a formei curbelor de sarcină (numeroase "intersecții" și modificări de tendințe), ceea ce va conduce la dificultăți pentru metoda utilizând RNA (ansamblul curbei de sarcină).

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.129), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.130), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.131) și RNA, lunar (tabelul 7.2.132). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.75 - 7.2.76.

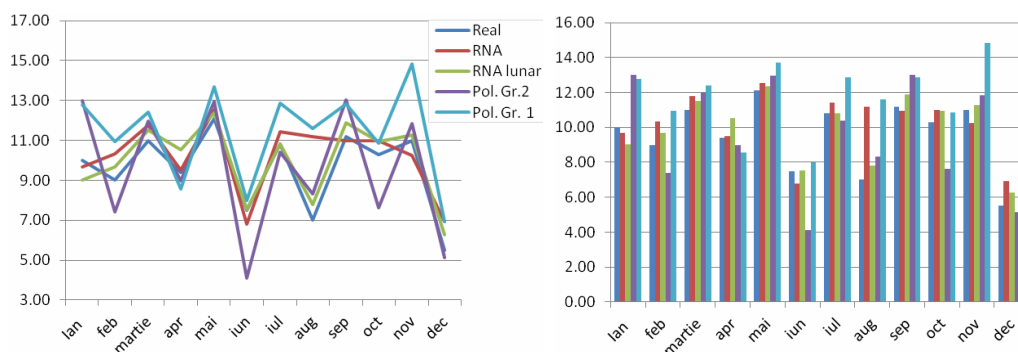


Figura 7.2.75. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

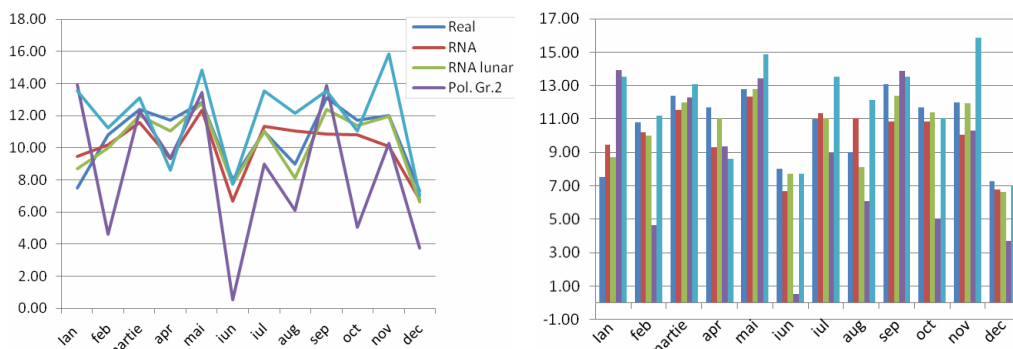


Figura 7.2.76. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.2.133 se dau indicii de performanță pentru cele 4 metode discutate.

Tabelul 7.2.133. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	6123	5769	3134	674
<b>S<sub>2013</sub></b>	53957	6655	2679	580
<b>S<sub>total</sub></b>	60080	12424	5813	1254

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză evidențiază următoarele concluzii:

- rezultatele confirmă în totalitate observațiile făcute la analiza curbelor de sarcină pentru perioada 2006-2011, respectiv 2012-2013;
- metodele clasice de prognoză sunt total inadecvate, așa cum rezultă pe baza valorii indicelui global de performanță (ultima linie a tabelului 7.2.133);
- rezultatele obținute cu metodele utilizând RNA sunt relativ mai bune, dar slabe în comparație cu alte analize prezentate în acest subcapitol;
- prognoza lunară utilizând RNA conduce la rezultate mai bune decât prognoza ansamblului curbei de sarcină cu RNA (indice global de performanță 1254, față de 5813), explicabilă prin slaba corelare a formei curbelor de sarcină;
- curbele de culoare verde (RNA lunar) din fig. 7.2.75 și 7.2.76 sunt foarte apropiate de cele albastre (consumul real), cu excepția lunilor ianuarie (menționată și la analiza preliminară a curbelor de sarcină) – 10% pentru anul 2012 și 15% pentru anul 2013, parțial aprilie – 11% pentru anul 2012, august – 12% și 11%, decembrie – 13% și 10% (în rest, erorile de prognoză se situează sub 7,5%).

### 7.2.5.2. Ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 21

În tabelul 7.2.134 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.77, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor, în scopul obținerii curbelor de sarcină pentru anii 2012 și 2013.

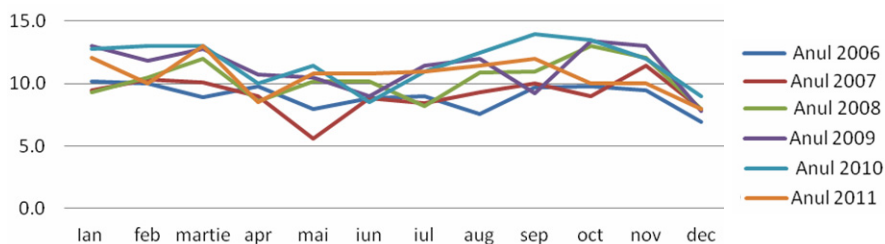


Figura 7.2.77. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.135 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.78, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

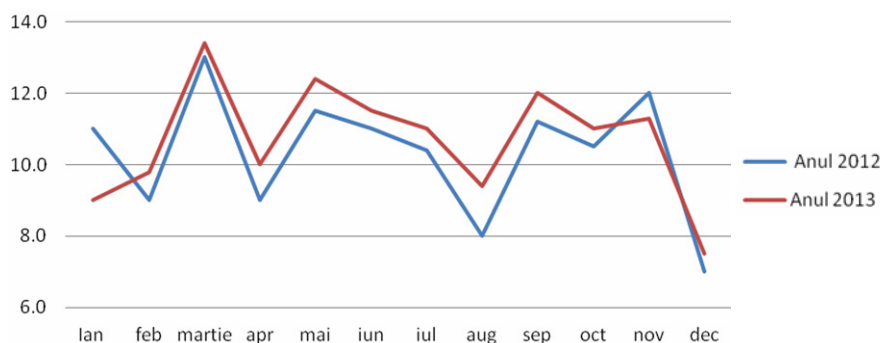


Figura 7.2.78. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza datelor prezentate în tabelele 7.2.134 și 7.2.135 evidențiază următoarele concluzii:

- pentru perioada 2006-2011 se observă o tendință generală de creștere, cu câteva excepții (cele mai pregnante – mai 2007, septembrie 2009 etc.);
- pentru 2012-2013 tendința generală este de creștere, cu excepția lunilor ianuarie și noiembrie;
- forma curbelor este destul de diferită, cu multe "intersecții", gradul de corelare fiind parcă mai acceptabil (cu "sincopete" menționate).

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.136), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.137), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.138) și RNA, lunar (tabelul 7.2.139). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.79 - 7.2.80.

În tabelul 7.2.140 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

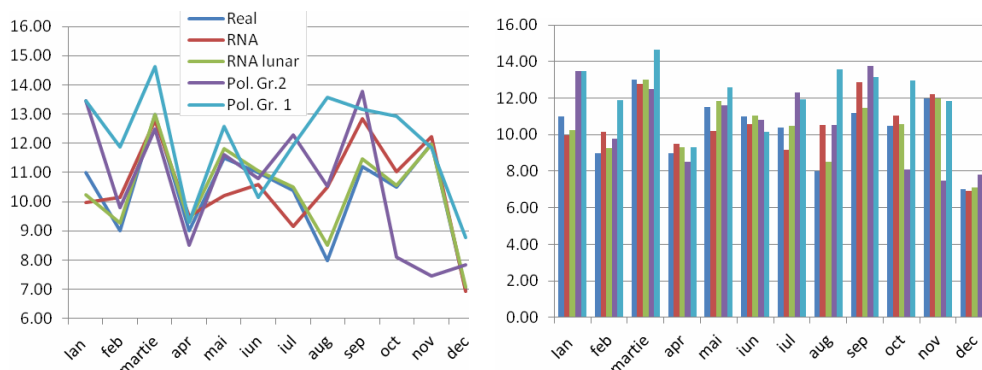


Figura 7.2.79. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

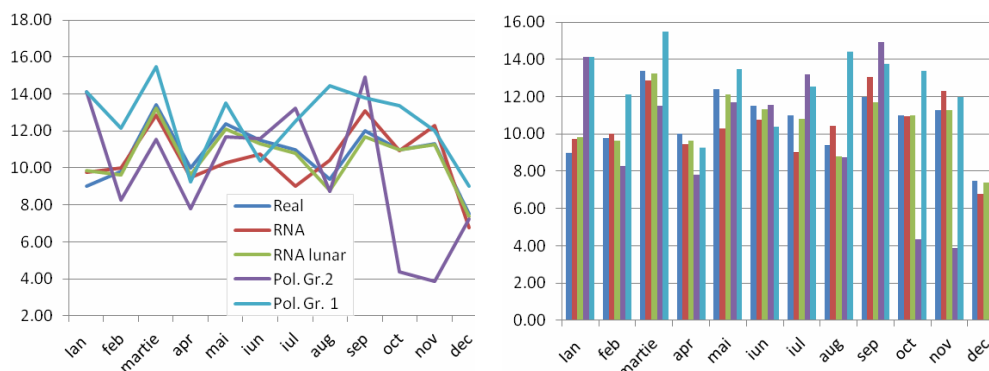


Figura 7.2.80. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

Tabelul 7.2.140. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	4934	5529	1537	127
<b>S<sub>2013</sub></b>	21096	5761	1253	163
<b>S<sub>total</sub></b>	26030	11290	2790	290

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză evidențiază o serie de concluzii:

- rezultatele confirmă observațiile făcute la analiza curbelor de sarcină;
- metodele clasice de prognoză sunt inadecvate, așa cum rezultă pe baza valorii indicelui global de performanță (datorită inexistenței unui trend constant de creștere sau scădere, respectiv datorită "sincopelor" menționate);
- rezultatele obținute cu metodele utilizând RNA sunt relativ mai bune;
- prognoza lunară utilizând RNA conduce la rezultate mai bune decât prognoza ansamblului curbei de sarcină (indice global de performanță 290, față de 2790);
- analiza comparativă a valorii indicilor anuali de performanță ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ) pentru cazul RNA evidențiază valori de același ordin de mărime, cu alte cuvinte nu există "discontinuități" exagerate în datele inițiale;
- valorile din tabelul 7.2.139 indică erori de prognoză sub 7%, considerate acceptabile, cu o singură excepție – ianuarie 2013, 8,9%;
- analiza curbelor de culoare roșie din fig. 7.2.79 și 7.2.80 arată că prognoza utilizând RNA pentru ansamblul curbei de sarcină (curba roșie), care ține cont de valorile pentru toate lunile, urmărește mai greu "discontinuitățile" ("salturile") din consumul

real (curba albastră) decât prognoza pe luni cu RNA (curba verde – practic suprapusă peste cea albastră).

### 7.2.5.3. Prima zi de marți a fiecărei luni, ora 9

În tabelul 7.2.141 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.81, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

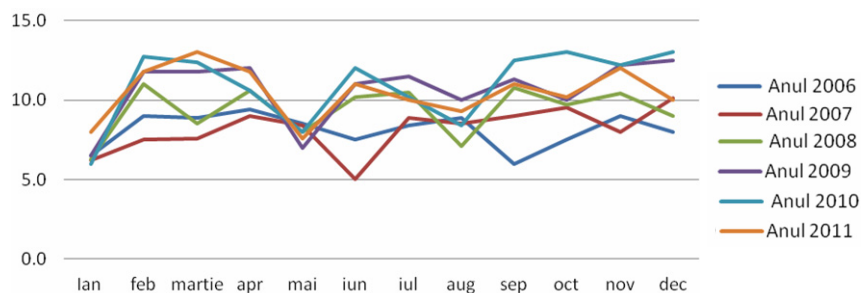


Figura 7.2.81. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.142 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.82, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

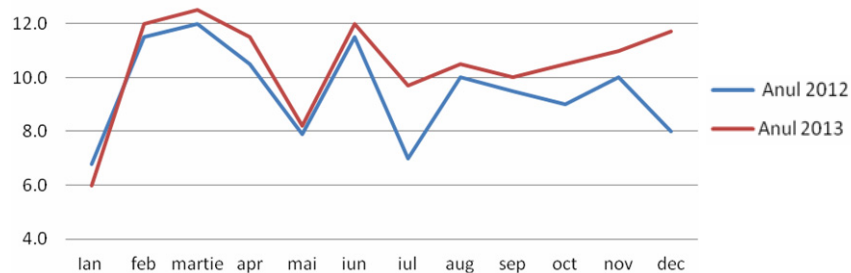


Figura 7.2.82. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza datelor din tabelele 7.2.141 și 7.2.142 evidențiază concluzii similare cu cele din paragraful 7.2.5.1 (ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 9). Tendința pentru anii 2012-2013 este de creștere (neuniformă totuși pe luni).

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.143), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.144), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.145) și RNA, lunar (tabelul 7.2.146). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.83 - 7.2.84.

În tabelul 7.2.147 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.2.147. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	2993	8690	2546	675
<b>S<sub>2013</sub></b>	8891.69	5267	1529	445
<b>S<sub>total</sub></b>	11885	1395	4075	1120

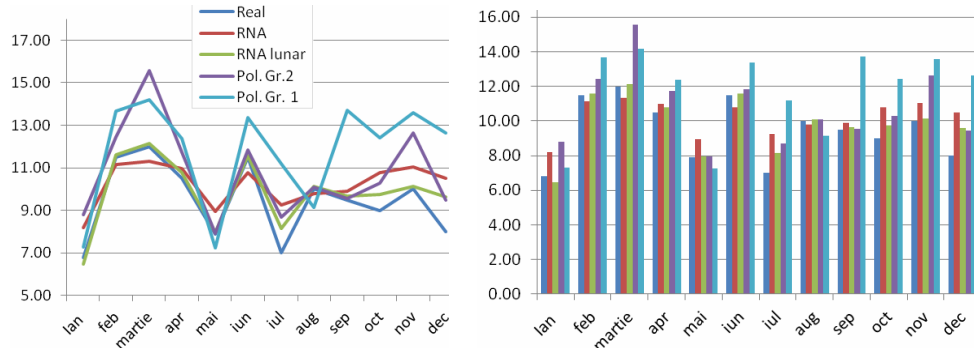


Figura 7.2.83. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

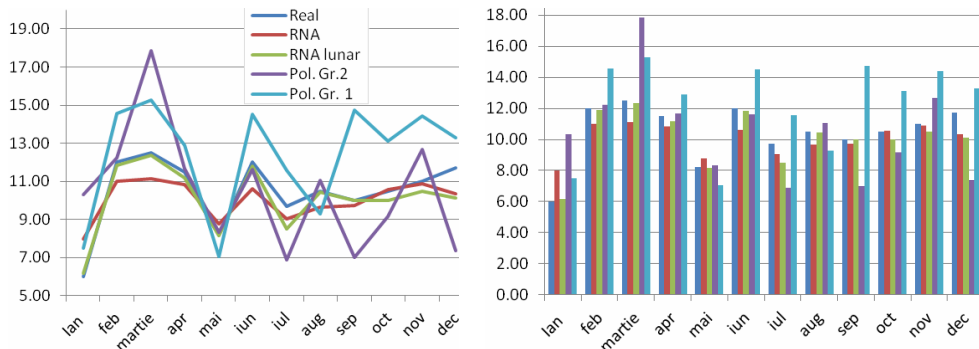


Figura 7.2.84. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază concluzii asemănătoare cu cele din paragraful 7.2.5.1 (ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 9). Această constatare este întărită și de compararea valorii indicilor de performanță (1120 față de 1254 – RNA față de 5813 – RNA lunar, respectiv 4075 față de 5813 – RNA curbe de sarcină). În consecință, și erorile maxime de prognoză sunt similare – sub 7,8%, cu excepția lunilor iulie și decembrie (când ajung până la 18%).

#### 7.2.5.4. Prima zi de marți a fiecărei luni, ora 21

În tabelul 7.2.148 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.85, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor, în scopul obținerii curbelor de sarcină pentru anii 2012 și 2013.

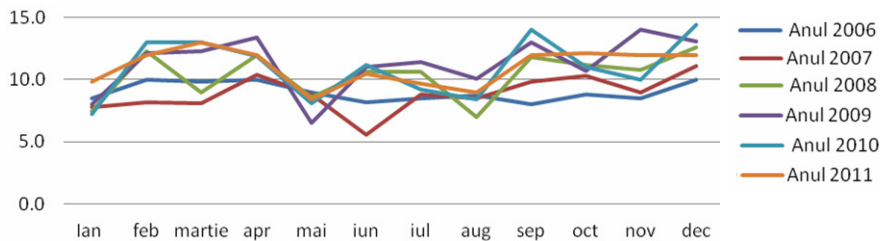


Figura 7.2.85. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.149 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.86, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013).



Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

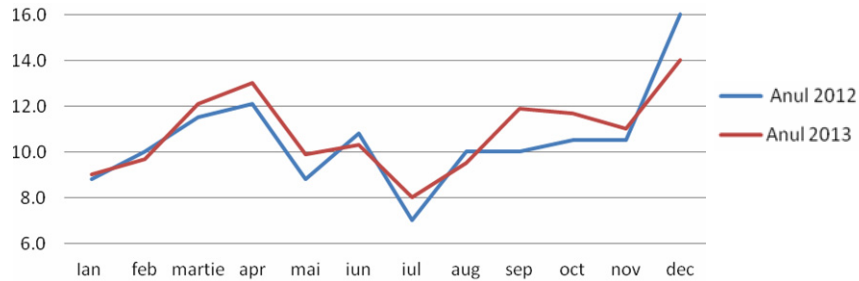


Figura 7.2.86. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza sumară a datelor evidențiază concluzii mai încurajatoare decât cele din multe paragrafe anterioare. Se observă o tendință de creștere relativ constantă pentru perioada 2006-2009 (tabelul 7.2.148 – cu mici "sincope") și una relativ mai contradictorie pentru 2012 și 2013 (tabelul 7.2.149 – fără "sincope" deranjante).

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.150), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.151), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.152) și RNA, lunar (tabelul 7.2.153). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.87 – 7.2.88.

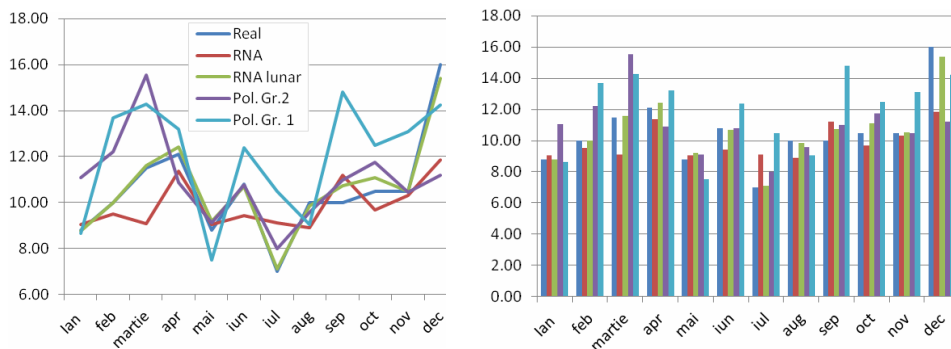


Figura 7.2.87. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

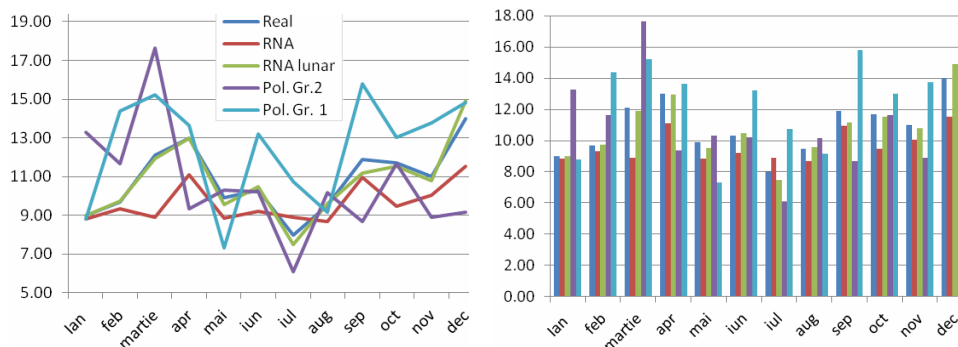


Figura 7.2.88. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013



În tabelul 7.2.154 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode.

Tabelul 7.2.154. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	3606	6068	2716	131
<b>S<sub>2013</sub></b>	8244	5877	2598	148
<b>S<sub>total</sub></b>	11850	11945	5314	279

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază următoarele concluzii:

- rezultatele confirmă în totalitate observațiile făcute la analiza curbelor de sarcină pentru perioada 2006-2011, respectiv 2012-2013;
- metodele clasice de prognoză (mai ales regresia liniară) sunt total inadecvate, așa cum rezultă pe baza valorii indicelui global de performanță (ultima linie a tabelului 7.2.154);
- rezultatele obținute cu metodele utilizând RNA sunt mai bune (mai ales RNA lunar);
- prognoza lunară utilizând RNA conduce la rezultate mai bune decât prognoza ansamblului curbei de sarcină cu RNA (indice global de performanță 279, față de 5314), explicabilă prin problemele de corelare a formei curbelor de sarcină;
- analiza comparativă a valorii indicilor anuali de performanță ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ) pentru cazul RNA evidențiază valori de același ordin de mărime – aceste metode reușesc să "prindă" relativ mai bine evoluția consumului pentru anii 2012-2013;
- pentru RNA lunar erorile de prognoză sunt cu totul acceptabile (tabelul 7.2.153) – în general sub 5%, cu 4 excepții (valori situate între 5% și 7%).

#### 7.2.5.5. A doua zi de miercuri a fiecărei luni, ora 9

În tabelul 7.2.155 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.89, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

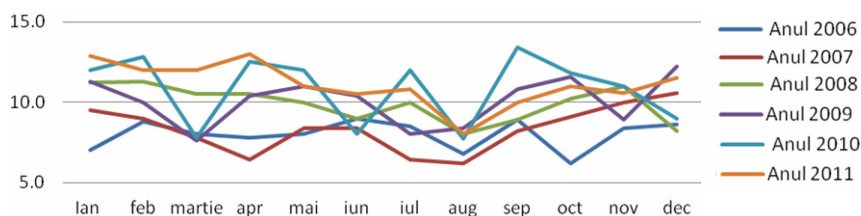


Figura 7.2.89. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.156 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.90, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

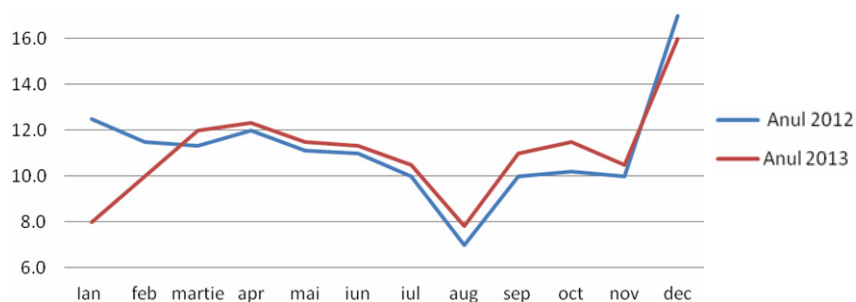


Figura 7.2.90. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza datelor prezentate în tabelele 7.2.155 și 7.2.156 evidențiază concluzii foarte asemănătoare cu cele prezentate în paragraful 7.2.5.3 (prima zi de marți a fiecărei luni, ora 9). Așa cum se observă și în figura 7.2.90, luna ianuarie este diferită față de celelalte în privința tendinței (scădere accentuată, față de creștere moderată). Gradul de corelare a curbelor de sarcină va influența cu certitudine în sens negativ rezultatele obținute pentru prognoza cu RNA a ansamblului curbei de sarcină.

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.157), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.158), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.159) și RNA, lunar (tabelul 7.2.160). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.91 - 7.2.92.

În tabelul 7.2.161 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

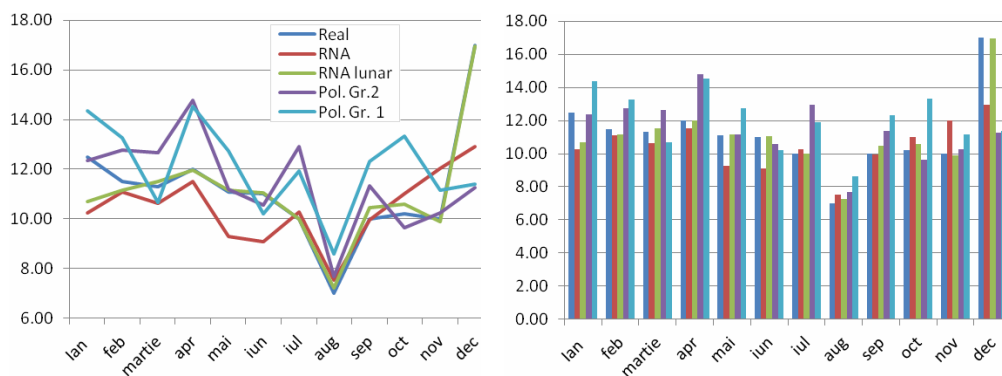


Figura 7.2.91. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

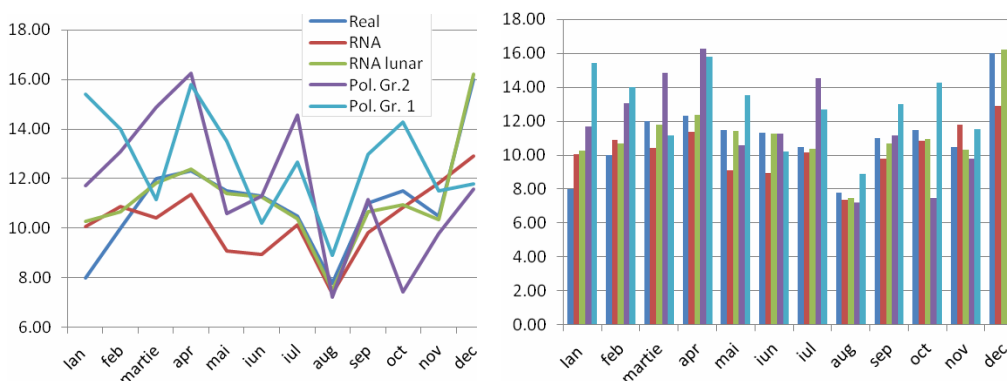


Figura 7.2.92. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

Tabelul 7.2.161. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b><math>S_{2012}</math></b>	3264	4597.	2327	303
<b><math>S_{2013}</math></b>	7435	8441	2754	724
<b><math>S_{total}</math></b>	10699	13038	5081	1027

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază concluzii asemănătoare cu cele din paragraful 7.2.5.1 (ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 9) și din paragraful 7.2.5.3 (prima zi de marți a fiecărei luni, ora 9). Această constatare este întărită și de compararea valorii indicilor de performanță (1027 față de 1120 și 1254 – RNA lunar, respectiv 5081 față de 4075 și 5813 – RNA curbe de sarcină). În consecință, și erorile maxime de prognoză sunt similare – sub 7%, cu excepția lunii ianuarie (când ajung până la 25%).

Se exprimă rezerve privind corectitudinea datelor pentru ianuarie 2012 și 2013. În condiții "normale" din acest punct de vedere, indicele global de performanță pentru RNA lunar ajungea în jurul valorii de 200.

#### 7.2.5.6. A doua zi de miercuri a fiecărei luni, ora 21

În tabelul 7.2.162 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.93, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor, în scopul obținerii curbelor de sarcină pentru anii 2012 și 2013.

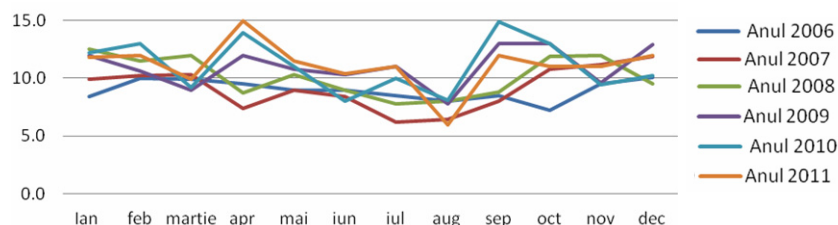


Figura 7.2.93. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.163 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.94, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

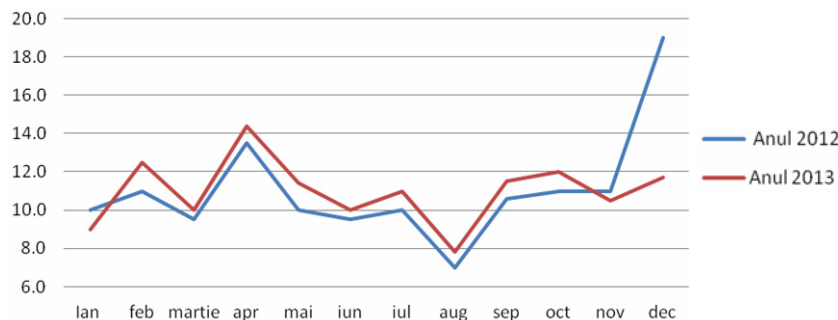


Figura 7.2.94. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza datelor prezentate în tabelele 7.2.155 și 7.2.156 evidențiază concluzii foarte asemănătoare cu cele din paragraful anterior. De data aceasta luna decembrie este diferită față de celelalte în privința tendinței pentru anii 2012-2013 (în paragraful anterior luna ianuarie). Gradul de corelare a curbelor de sarcină pentru perioada 2006-2011 pare a fi ceva mai bun (figura 7.2.93, comparativ cu figura 7.2.89) – prognoza cu RNA a ansamblului curbei de sarcină probabil va fi mai reușită.

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.164), regresie

parabolică, lunar (tabelul 7.2.165), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.166) și RNA, lunar (tabelul 7.2.167). În partea de jos a tabelului este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.95 - 7.2.96.

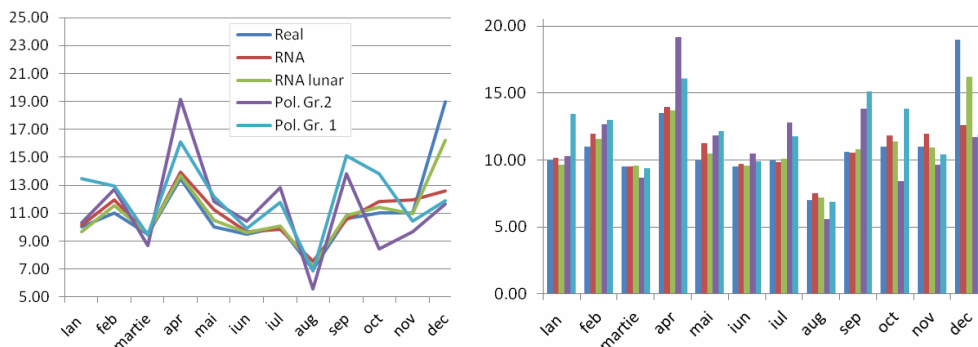


Figura 7.2.95. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

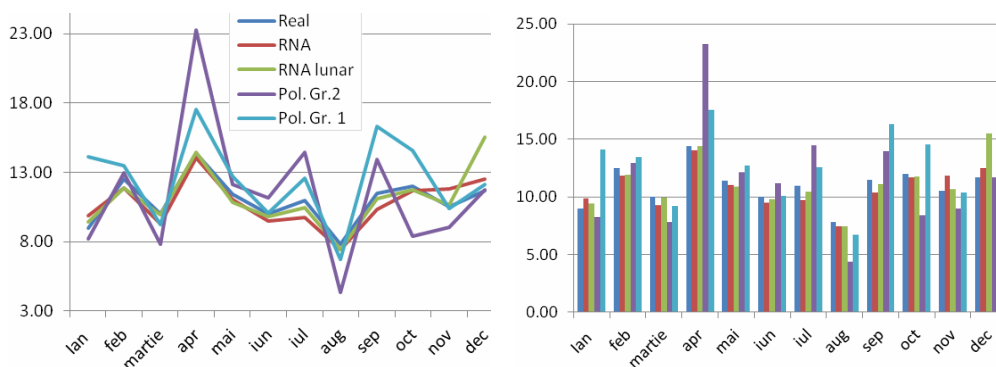


Figura 7.2.96. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.2.168 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.2.168. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	6845	6032	2052	340
<b>S<sub>2013</sub></b>	8851	4585	694	921
<b>S<sub>total</sub></b>	15696	10617	2746	1261

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază concluzii asemănătoare cu cele din paragraful precedent, în ton cu comentariile efectuate asupra datelor inițiale. Fără consumul de 19 MW aferent lunii decembrie 2012 (cifră suspectată de a fi eronată, valoarea corectă era probabil 12) ambele prognoze cu RNA erau mult mai bune. Calculele efectuate au condus la o ameliorare substanțială a indicilor de performanță: 989 pentru RNA curba de sarcină (în loc de 2746), respectiv 328 pentru RNA lunar (în loc de 1261). Chiar și în aceste condiții, făcând abstracție de valoarea din luna decembrie, erorile de prognoză sunt de sub 10% la RNA curba de sarcină, respectiv 5 % la RNA lunar – rezultate cu totul acceptabile.

## 7.2.6. Stația Lugoj

### 7.2.6.1. Ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 9

În tabelul 7.2.169 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.97, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

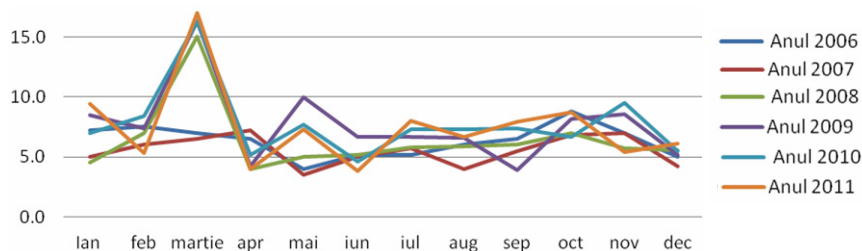


Figura 7.2.97. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.170 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.98, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

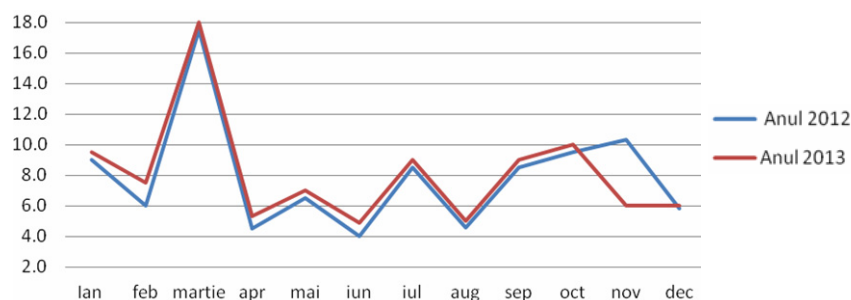


Figura 7.2.98. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza sumară a datelor prezentate în tabelele 7.2.169 și 7.2.170 evidențiază de la bun început următoarele concluzii:

- pentru perioada 2006-2011 se observă tendințe contradictorii în ceea ce privește evoluția puterii (nu se poate vorbi clar de perioade de creștere sau de scădere);
- în figura 7.2.98 se remarcă două elemente majore, care vor pune serioase probleme prognozelor – valorile pentru luna martie (6-7 MW în primii doi ani, 15-17 MW în anii următori) și cele pentru luna mai – pe lângă o serie de "sincope" punctuale (mai 2009, august 2007, noiembrie 2011);
- pentru 2012-2013 tendința generală este de ușoară creștere (excepție – luna noiembrie, cu o scădere drastică, de la 10 la 6 MW);
- figura 7.2.97 sugerează o corelare redusă a formei curbelor de sarcină (numeroase "intersecții" și modificări de tendințe), ceea ce va conduce la dificultăți pentru metoda utilizând RNA (ansamblul curbei de sarcină).

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.171), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.172), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.173) și RNA, lunar (tabelul 7.2.174). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță

( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.99 - 7.2.100.

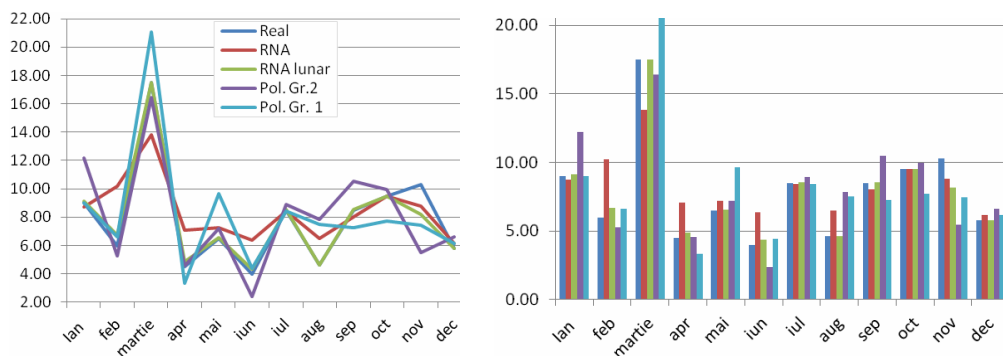


Figura 7.2.99. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

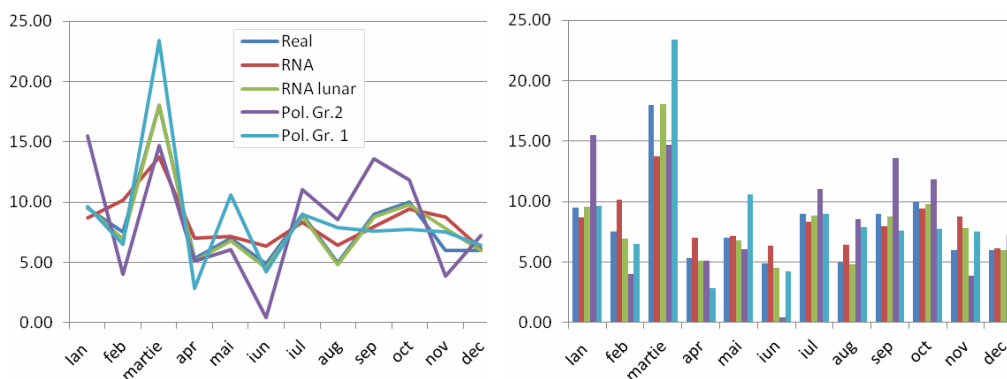


Figura 7.2.100. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.2.175 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.2.175. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	10921	6946	8949	797
<b>S<sub>2013</sub></b>	41638	10003	5446	866
<b>S<sub>total</sub></b>	52559	16948	14395	1663

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază următoarele concluzii:

- rezultatele confirmă în totalitate observațiile făcute la analiza curbelor de sarcină pentru perioada 2006-2011, respectiv 2012-2013;
- metodele clasice de prognoză sunt inadecvate, așa cum rezultă pe baza valorii indicelui global de performanță (ultima linie a tabelului 7.2.175);
- așa cum era de așteptat, metoda utilizând RNA pentru ansamblul curbei de sarcină conduce la rezultate total inadecvate (din motivele arătate la analiza datelor);
- prognoza lunară utilizând RNA conduce la rezultate mult mai bune decât cea a ansamblului curbei de sarcină cu RNA (indice global de performanță 1663, față de 14395), datorită foarte slabei corelări a formei curbelor de sarcină;

- curbele de culoare verde (RNA lunar) din fig. 7.2.99 și 7.2.100 sunt practic supra-puse peste cele albastre (consumul real), cu excepția lunii noiembrie, unde erorile sunt de 23% și 27% (în rest, erorile de prognoză se situează sub 8%, cu două excepții între 8 și 11%);
- dacă s-ar face abstracție de valorile cunoscute din luna noiembrie (2012 și 2013), rezultatele obținute cu RNA lunar ar fi "onorabile" – indice global de performanță în jur de 400.

### 7.2.6.2. Ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 21

În tabelul 7.2.176 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.101, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor, în scopul obținerii curbelor de sarcină pentru anii 2012 și 2013.

În tabelul 7.2.177 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.102, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

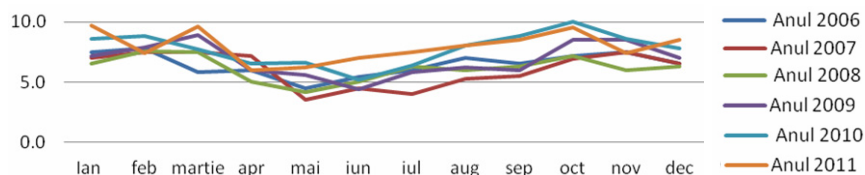


Figura 7.2.101. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

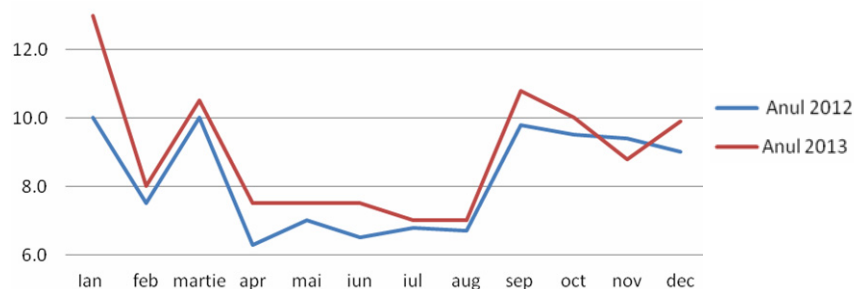


Figura 7.2.102. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza datelor prezentate în tabelele 7.2.176 și 7.2.177 evidențiază de la bun început următoarele concluzii:

- pentru perioada 2006-2011 nu se poate observa o tendință generală de creștere sau de scădere (se modifică de la o lună la alta), cu o remarcă pentru numărul mai redus de "sincopă";
- pentru 2012-2013 tendința generală este de creștere, cu foarte mici excepții (luna noiembrie), remarcându-se valori mult diferite pentru luna ianuarie;
- în perioada 2006-2011 forma curbelor este destul de diferită, cu multe "intersecții";
- în consecință, gradul de corelare a curbelor de sarcină este relativ redus, atât din punctul de vedere al evoluției în timp, cât și al formei pe durata unui an, ceea ce va pune probleme serioase metodei cu RNA pentru ansamblul curbei de sarcină.

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.178), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.179), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.180) și RNA, lunar (tabelul 7.2.181). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță

( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.103 - 7.2.104.

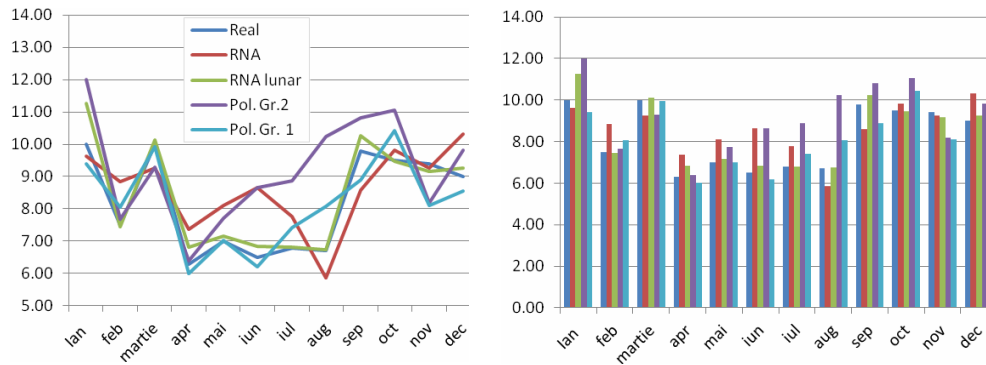


Figura 7.2.103. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

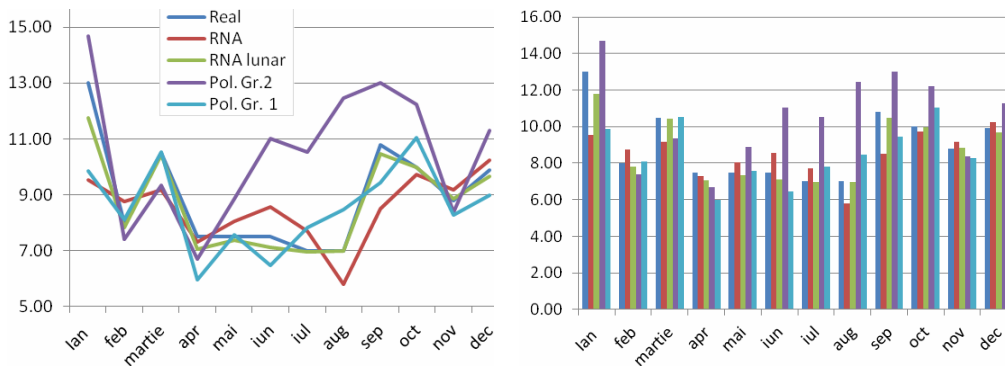


Figura 7.2.104. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.2.182 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.2.182. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	4322	981	2341	244
<b>S<sub>2013</sub></b>	7903	2374	2490	256
<b>S<sub>total</sub></b>	12225	3355	4831	500

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază următoarele concluzii:

- rezultatele confirmă în totalitate observațiile făcute la analiza curbelor de sarcină pentru perioada 2006-2011, respectiv 2012-2013;
- metodele clasice de prognoză sunt inadecvate, așa cum rezultă pe baza valorii indicelui global de performanță (datorită inexistenței unui trend constant de creștere sau scădere), cu mențiunea că de data aceasta extrapolarea parabolică furnizează rezultate mai bune decât RNA la nivelul curbelor de sarcină (situație cu totul de excepție);
- prognoza lunară utilizând RNA conduce la rezultatele cele mai bune, cu o valoare superioară cu un ordin de mărime a indicelui de performanță (tabelul 7.2.182) –



500 (calitate superioară a prognozei comparativ cu paragraful precedent, dar inferioară celor din analizele unde ordinul de mărime era 100);

- analiza comparativă a valorii indicilor anuali de performanță ( $s_{2012}$ ,  $s_{2013}$ ) pentru cazul RNA evidențiază valori de același ordin de mărime, rezultat consonant cu forma curbelor de sarcină din figura 7.2.102;
- valorile din tabelul 7.2.181 indică erori de prognoză considerate acceptabile – în general sub 6%, cu trei excepții având valori între 8% și 13% (ianuarie 2012 și 2013, aprilie 2012).

### 7.2.6.3. Prima zi de marți a fiecărei luni, ora 9

În tabelul 7.2.183 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.105, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor, în scopul obținerii curbelor de sarcină pentru anii 2012 și 2013.

În tabelul 7.2.184 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.106, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

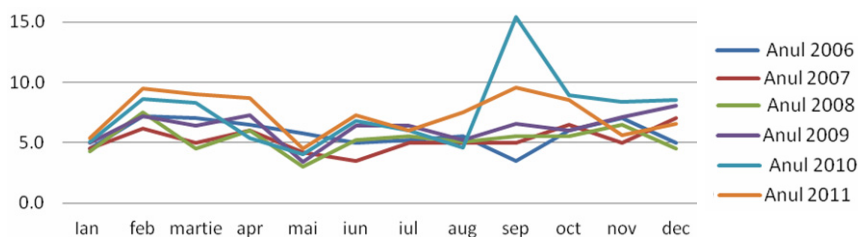


Figura 7.2.105. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

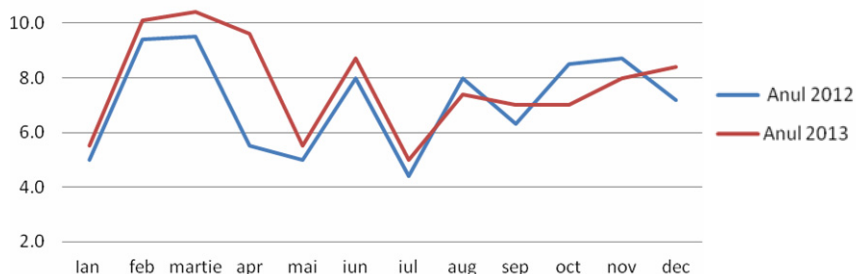


Figura 7.2.106. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza datelor din tabelele 7.2.183 și 7.2.184 evidențiază concluzii similare cu cele prezentate în paragraful 7.2.6.1 (ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 9). Se evidențiază totuși valoarea "singulară" cu totul exagerată pentru septembrie 2010 (15,40 MW), probabil eronată, diferența "discrepantă" pentru aprilie 2012 și 2013 și trendul neclar pentru a doua parte a anilor 2012 și 2013 (în prima parte a fost crescător).

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.185), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.186), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.187) și RNA, lunar (tabelul 7.2.188). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $s_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $s_{2012}$ ,  $s_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.107 - 7.2.108.

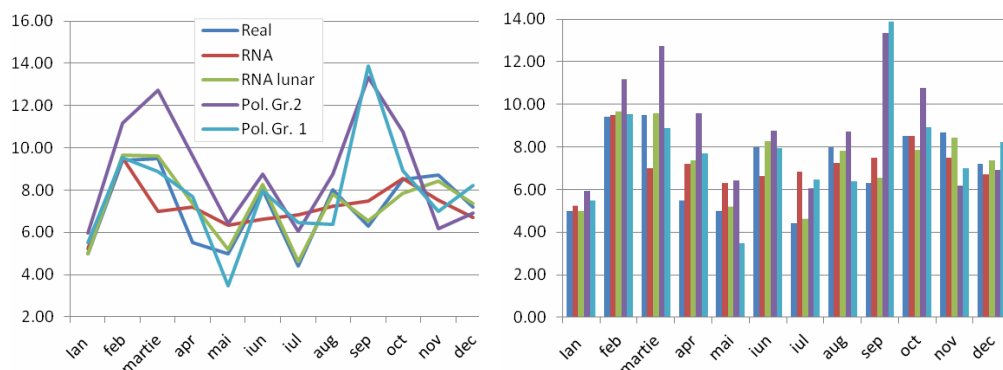


Figura 7.2.107. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

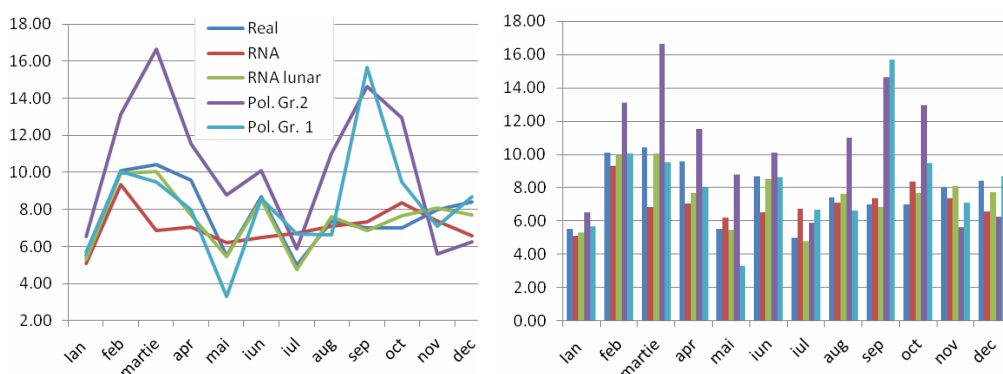


Figura 7.2.108. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.2.189 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.2.189. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	13020	10827	5085	1004
<b>S<sub>2013</sub></b>	18232	10851	5561	709
<b>S<sub>total</sub></b>	31252	21678	10646	1713

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază concluzii asemănătoare cu cele din paragraful 7.2.6.1 (ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 9). Se remarcă suplimentar "eleganța" cu care metodele utilizând RNA soluționează problema valorii "singulare" cu totul exagerate pentru septembrie 2010. Pentru RNA lunar erorile de prognoză sunt în general sub 5%, cu câteva excepții – aprilie 2012 și 2013 (29%, 22%), octombrie 2012 și 2013 (8%, 9%) și decembrie 2013 (8%).

#### 7.2.6.4. Prima zi de marți a fiecărei luni, ora 21

În tabelul 7.2.190 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.109, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor, în scopul obținerii curbelor de sarcină pentru anii 2012 și 2013.

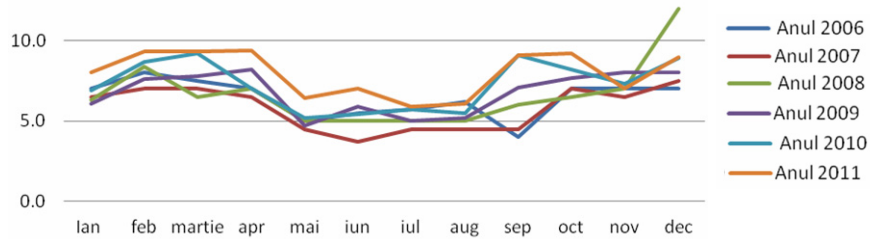


Figura 7.2.109. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.191 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.110, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

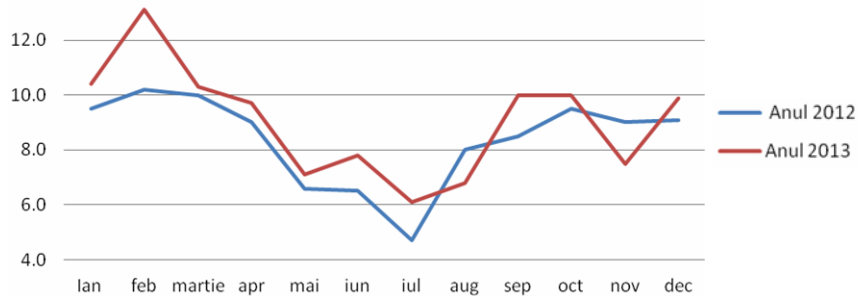


Figura 7.2.110. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza datelor prezentate în tabelele 7.2.190 și 7.2.191 evidențiază concluzii asemănătoare cu cele din paragraful 7.2.6.2 (ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 21). Se evidențiază totuși valoarea "singulară" cu totul exagerată pentru decembrie 2008 (12 MW), probabil eronată, diferența "discrepantă" pentru februarie 2012 și 2013 și trendul neclar pentru a doua parte a anilor 2012 și 2013 (în prima parte crescător).

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.192), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.193), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.194) și RNA, lunar (tabelul 7.2.195). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.111 - 7.2.112.

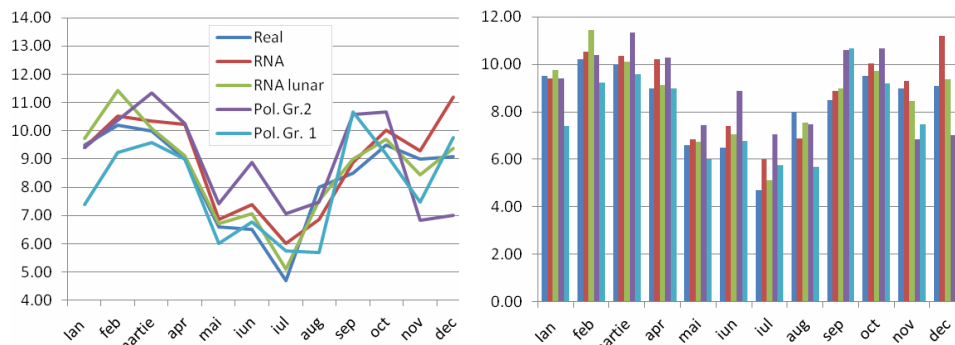


Figura 7.2.111. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

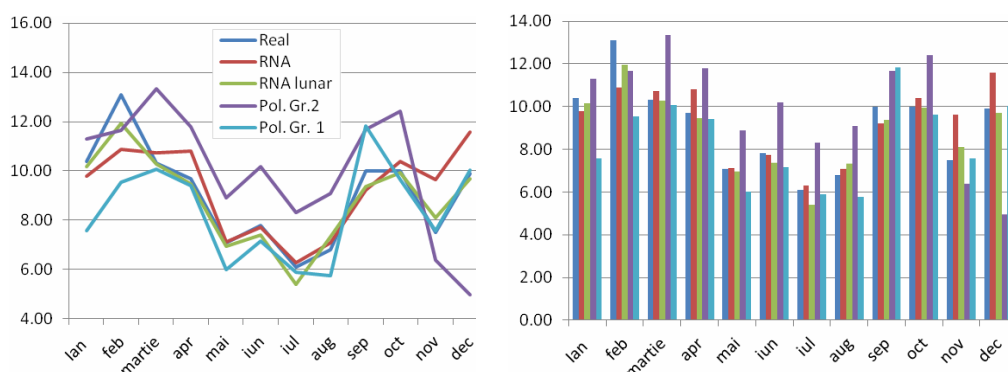


Figura 7.2.112. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.2.196 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.2.196. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S<sub>2012</sub></b>	5128	3306	1682	403
<b>S<sub>2013</sub></b>	9565	2917	1490	449
<b>S<sub>total</sub></b>	14693	6223	3172	852

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază concluzii asemănătoare cu cele din paragraful 7.2.6.2 (ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 21). Se remarcă suplimentar "eleganța" cu care metodele utilizând RNA soluționează problema valorii "singulare" exagerate pentru decembrie 2008. Pentru RNA lunar erorile de prognoză sunt în general sub 8,5%, cu câteva excepții – februarie 2012 și 2013 (11%, 9% – era de așteptat) și iulie 2013 (12%).

#### 7.2.6.5. A doua zi de miercuri a fiecărei luni, ora 9

În tabelul 7.2.197 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.113, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor, în scopul obținerii curbelor de sarcină pentru anii 2012 și 2013.

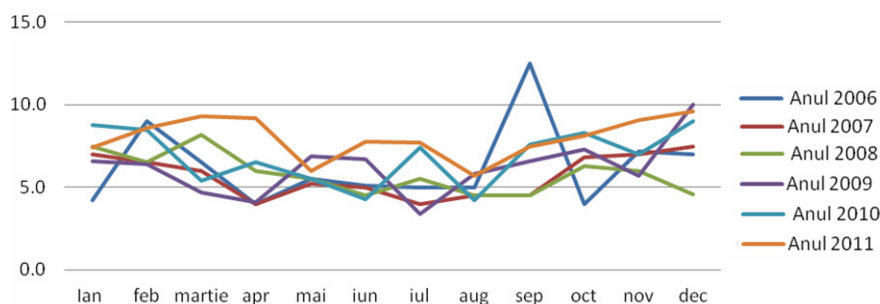


Figura 7.2.113. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.198 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.114, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

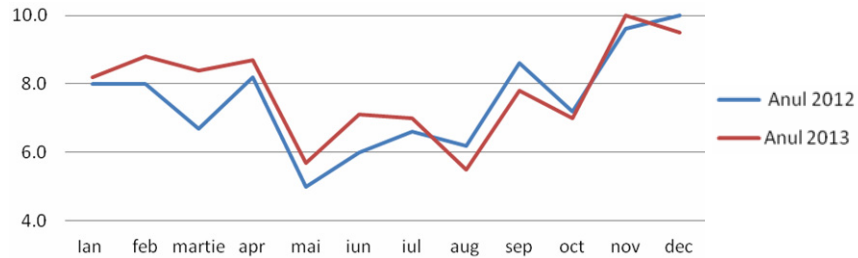


Figura 7.2.114. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza datelor prezentate în tabelele 7.2.197 și 7.2.198 evidențiază concluzii asemănătoare cu cele din paragraful 7.2.6.2 (ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 21). Se evidențiază totuși valoarea "singulară" cu totul exagerată pentru septembrie 2006 (12,5 MW), probabil eronată, diferența "discrepantă" pentru luna martie 2012 și 2013 și trendul neclar pentru a doua parte a anilor 2012 și 2013 (în prima parte crescător).

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.199), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.200), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.201) și RNA, lunar (tabelul 7.2.202). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.115 - 7.2.116.

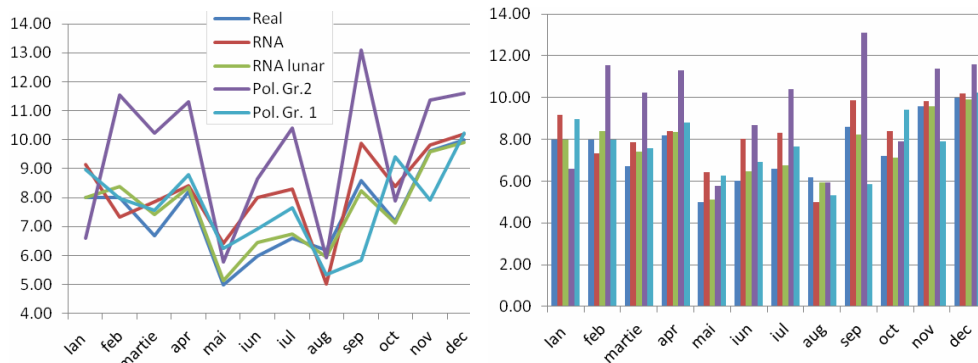


Figura 7.2.115. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

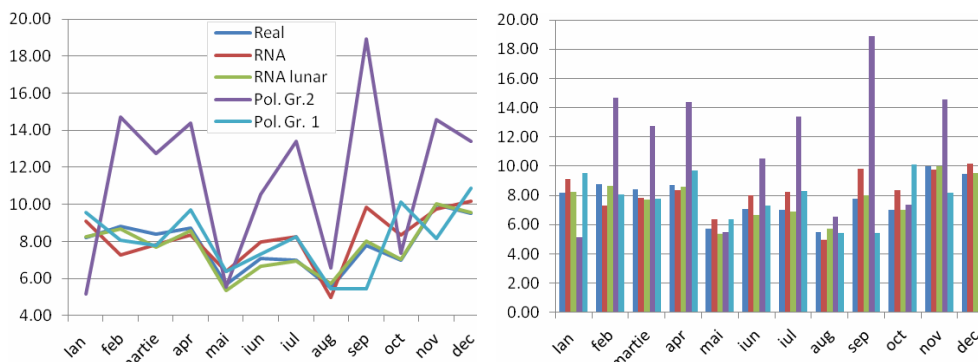


Figura 7.2.116. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.2.203 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.2.203. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b>S2012</b>	10282	4000	3371	226
<b>S2013</b>	23981	4080	2056	175
<b>Stotal</b>	34263	8080	5427	401

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază concluzii asemănătoare cu cele din paragraful 7.2.6.2 (ultima zi de joi a fiecărei luni, ora 21). Se remarcă suplimentar "eleganța" cu care metodele utilizând RNA soluționează problema valorii "singulare" exagerate pentru septembrie 2006. Pentru RNA lunar erorile de prognoză sunt în general sub 5%, cu câteva excepții – martie 2012 și 2013 (10%, 9% – era de așteptat), iunie 2012 și 2013 (8%, 7%) și mai 2013 (6%).

#### 7.2.6.6. a doua zi de miercuri a fiecărei luni, ora 21

În tabelul 7.2.204 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.117, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 6 ani (2006-2011). Ele vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor, în scopul obținerii curbelor de sarcină pentru anii 2012 și 2013.

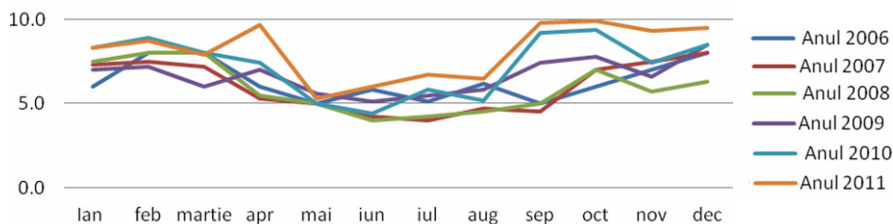


Figura 7.2.117. Curbele de sarcină pentru perioada 2006-2011 (puterile în MW)

În tabelul 7.2.205 (Anexa A7.2), respectiv figura 7.2.118, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 2 ani (2012-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2012 și 2013.

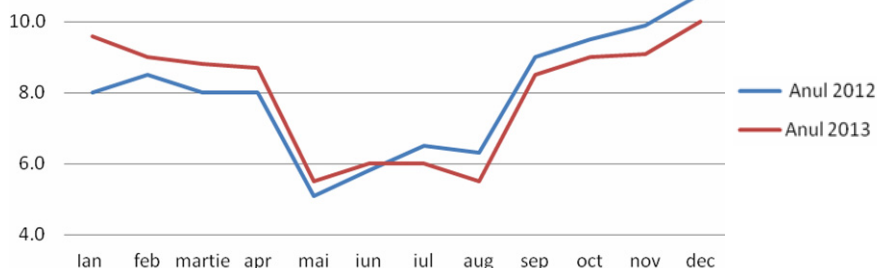


Figura 7.2.118. Curbele de sarcină pentru perioada 2012-2013 (puterile în MW)

Analiza datelor prezentate în tabelele 7.2.204 și 7.2.205 evidențiază de la bun început următoarele concluzii:

- pentru perioada 2006-2011 se observă o tendință generală de creștere a consumului, alternată cu scăderi de scurtă durată;

- pentru 2012-2013 tendința generală este de creștere pentru primele șase luni, respectiv de descreștere pentru ultimele șase luni;
- forma curbelor este destul de diferită, cu multe "intersecții", evidențiindu-se unele salturi mai ieșite din comun în anii 2010 și 2011;
- în concluzie, gradul de corelare a curbelor de sarcină este relativ redus, atât din punctul de vedere al evoluției în timp, cât și al formei pe un an, cu observația că ele par a fi "mai grupate" decât cele din paragrafele anterioare.

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.2: regresie liniară, lunar (tabelul 7.2.206), regresie parabolică, lunar (tabelul 7.2.207), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.2.208) și RNA, lunar (tabelul 7.2.209). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 2 ani și cele 12 valori lunare ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.2.119 - 7.2.120.

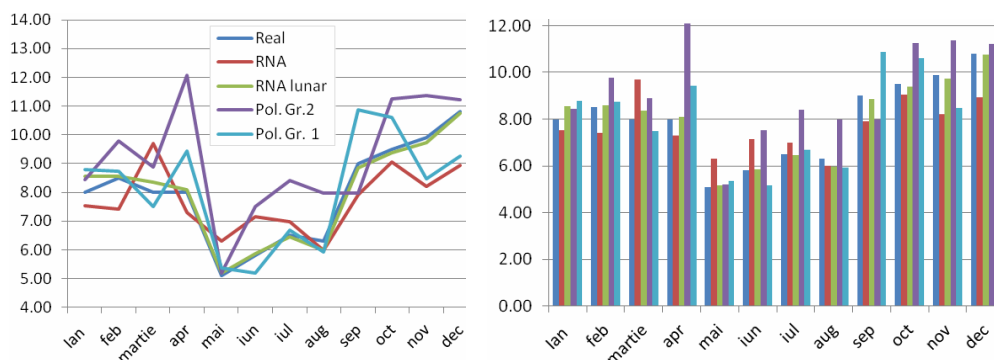


Figura 7.2.119. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

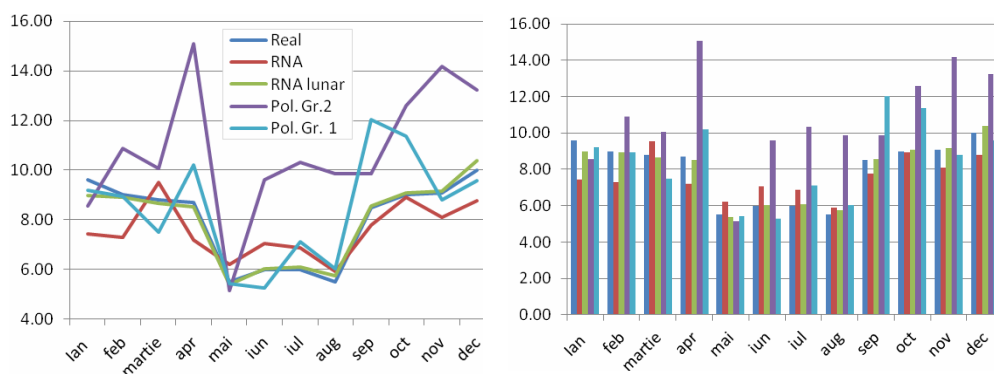


Figura 7.2.120. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.2.210 s-au reunit indicii de performanță pentru cele 4 metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.2.210. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, lunar	Parabolic, lunar	RNA, curba de sarcină	RNA, lunar
<b><math>S_{2012}</math></b>	4511	1568	2529	106
<b><math>S_{2013}</math></b>	15794	2824	2540	100
<b><math>S_{total}</math></b>	20305	4392	5069	206

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază următoarele concluzii:

- rezultatele confirmă în totalitate observațiile făcute la analiza curbelor de sarcină pentru perioada 2006-2011, respectiv 2012-2013;
- metodele clasice de prognoză sunt inadecvate, așa cum rezultă pe baza valorii indicelui global de performanță (datorită inexistenței unui trend constant de creștere sau scădere), cu mențiunea că de data aceasta extrapolarea parabolică furnizează rezultate mai bune decât RNA la nivelul curbelor de sarcină (situație cu totul de excepție);
- rezultatele obținute cu metodele utilizând RNA lunar sunt cele mai bune (indice global de performanță 206 – valoare relativ bună, comparativ cu paragrafele anterioare);
- analiza comparativă a valorii indicilor anuali de performanță ( $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ) indică valori de același ordin de mărime pentru RNA lunar ( $106 + 100 = 206$ );
- analiza curbelor de culoare verde (RNA lunar) din fig. 7.2.7 și 7.2.8 arată că ele sunt practic suprapuse peste cele albastre (consumul real), deci prognoza utilizând RNA lunar este foarte bună (tabelul 7.2.209 evidențiază abaterii mai mici de 5%, cu două excepții – circa 7% în ianuarie 2012 și 2013).

### 7.2.7. Analiza comparativă a rezultatelor

În cadrul acestui paragraf se efectuează o analiză comparativă a rezultatelor obținute, pe baza valorii indicelui global (total) de performanță. Se iau în considerare pentru fiecare caz cele mai bune rezultate, obținute de regulă prin prognoza lunară utilizând RNA (RNA lunar).

Analiza se efectuează atât exhaustiv, cât și pentru fiecare stație în parte, fiecare zi în parte și fiecare oră în parte.

În tabelul 7.2.211 se prezintă rezultatele analizei exhaustive (fiecare stație, fiecare zi și fiecare oră). Clasamentul s-a întocmit pe baza valorii indicelui echivalent de performanță, obținut prin împărțirea valorii indicelui global de performanță la 24 (2 ani x 12 luni = 24). Utilizarea unui indice specific oferă și posibilitatea comparării calității rezultatelor referitoare la stații (subcapitolul 7.2) cu cele obținute pentru UTR (subcapitolul 7.1).

Tabelul 7.2.211. Indicii specifici de performanță – analiză exhaustivă

Nr. crt.	Stația, ziua, ora	RNA curbă de sarcină		RNA lunar	
		Total	Specific	Total	Specific
1	Victoria, joi, ora 21	2791	116	76	3.2
2	Cetate, joi, ora 9	7858	327	158	6.6
3	Pădurea Verde, joi, ora 9	10639	443	192	8.0
4	Lugoj, miercuri, ora 21	5069	211	206	8.6
5	Sănnicolau Mare, marți, ora 21	5314	221	279	11.6
6	Sănnicolau Mare, joi, ora 21	2790	116	290	12.1
7	Cetate, miercuri, ora 21	2968	124	300	12.5
8	Victoria, miercuri, ora 9	3076	128	308	12.8
9	Victoria, marți, ora 21	5767	240	395	16.5
10	Lugoj, miercuri, ora 9	5427	226	401	16.7
11	Cetate, joi, ora 21	1923	80.1	482	20.1
12	Lugoj, joi, ora 21	4831	201	500	20.8
13	Victoria, joi, ora 9	3627	151	535	22.3
14	Victoria, miercuri, ora 21	2038	84.9	631	26.3
15	Pădurea Verde, joi, ora 21	6407	267	659	27.5
16	Cetate, miercuri, ora 9	5611	234	822	34.3
17	Lugoj, marți, ora 21	3172	132	852	35.5
18	Cetate, marți, ora 21	4685	195	1015	42.3



Nr. crt.	Stația, ziua, ora	RNA curbă de sarcină		RNA lunar	
		Total	Specific	Total	Specific
19	Sânnicolau Mare, miercuri, ora 9	5081	212	1027	42.8
20	Sânnicolau Mare, marți, ora 9	4075	170	1120	46.7
21	Sânnicolau Mare, joi, ora 9	5813	242	1254	52.3
22	Sânnicolau Mare, miercuri, ora 21	2746	114	1261	52.5
23	Lugoj, joi, ora 9	14395	600	1663	69.3
24	Lugoj, marți, ora 9	10646	444	1713	71.4
25	Victoria, marți, ora 9	6505	271	2286	95.3
26	Pădurea Verde, marți, ora 21	7443	310	2781	116
27	Pădurea Verde, miercuri, ora 21	5600	233	3073	128
28	Pădurea Verde, miercuri, ora 9	9320	388	3170	132
29	Pădurea Verde, marți, ora 9	8779	366	4118	172
30	Cetate, marți, ora 9	11687	487	6956	290

În tabelele 7.2.212 - 7.2.216 (Anexa 7.2) se prezintă rezultatele extrase pe stații. Clasamentul s-a întocmit tot pe baza valorii indicelui echivalent de performanță. Practic, din tabelul 7.2.211 s-au extras liniile aferente unei anumite stații (pentru toate zilele și toate orele), coloana a doua indicând și poziția liniei respective în clasamentul general. Ultima linie a fiecărui tabel însușește valoarea indicilor de calitate, oferind baza pentru întocmirea unui clasament general pentru stații (tabelul 7.2.217). Coloana 2 oferă un indicator relativ de calitate suplimentar – suma pozițiilor ocupate în tabelul 7.2.211.

Tabelul 7.2.217. Clasament stații

Nr. crt.	Sumă poziții	Stația	RNA curbă de sarcină		RNA lunar	
			Total	Specific	Total	Specific
1	70	Victoria	23804	990.9	4231	176.4
2	93	Sânnicolau Mare	25819	1075	5231	218.0
3	90	Lugoj	43540	1814	5335	222.3
4	84	Cetate	34732	1447	9733	405.8
5	128	Pădurea Verde	48188	2007	13993	583.5

În tabelele 7.2.218 - 7.2.220 (Anexa 7.2) se prezintă rezultatele extrase pe zile. Clasamentul s-a întocmit tot pe baza valorii indicelui echivalent de performanță. Practic, din tabelul 7.2.211 s-au extras liniile aferente unei anumite zile (pentru toate stațiile și toate orele), coloana a doua indicând și poziția liniei respective în clasamentul general. Ultima linie a fiecărui tabel însușește valoarea indicilor de calitate, oferind baza pentru întocmirea unui clasament general pentru zile (tabelul 7.2.221). Coloana 2 oferă un indicator relativ de calitate suplimentar – suma pozițiilor ocupate în tabelul 7.2.211.

Tabelul 7.2.221. Clasament zile

Nr. crt.	Sumă poziții	Ziua	RNA curbă de sarcină		RNA lunar	
			Total	Specific	Total	Specific
1	107	Joi	61074	2543	5809	242.2
2	155	Miercuri	46936	1955	11199	466.5
3	203	Marți	68073	2836	21515	897.3

În tabelele 7.2.222 - 7.2.223 (Anexa 7.2) se prezintă rezultatele extrase pe ore. Clasamentul s-a întocmit tot pe baza valorii indicelui echivalent de performanță. Practic, din tabelul 7.2.211 s-au extras liniile aferente unei anumite ore (pentru toate stațiile și toate zilele), coloana a doua indicând și poziția liniei respective în clasamentul general. Ultima linie a fiecărui tabel însușește valoarea indicilor de calitate, oferind baza pentru întocmirea unui clasament general pentru ore (tabelul 7.2.224). Coloana 2 oferă un indicator relativ de calitate suplimentar – suma pozițiilor ocupate în tabelul 7.2.211.

Tabelul 7.2.224. Clasament ore

Nr. crt.	Sumă poziții	Ora	RNA curbă de sarcină		RNA lunar	
			Total	Specific	Total	Specific
1	194	21	63544	2645	12800	533.5
2	271	9	112539	4689	25723	1072.5

Analiza rezultatelor comparative prezentate mai sus evidențiază o serie de concluzii, unele cu caracter particular, altele cu caracter general:

- indicii specifici de performanță acoperă o plajă largă de valori, de la unități până la sute, cu observația că sunt cu un ordin de mărime mai mari decât cei de la UTR (ceea ce înseamnă curbe de sarcină mult mai slab corelate);
- valoarea indicelui specific de performanță este determinată de datele inițiale (perioada 2006-2011), de gradul de corelare a curbelor de sarcină, de evoluția reală a consumului în anii 2012 și 2013 (pentru care s-a efectuat confruntarea cu valorile prognozate) și de păstrarea formei curbelor de sarcină comparativ cu perioada 2006-2011;
- valorile mari ale indicelui specific de performanță (peste 30) semnalez prezența unor valori probabil eronate de consum (total "discrepante"), prin eliminarea ("corectarea") cărora s-ar ajunge la o situație mai plauzibilă;
- un clasament întocmit după valoarea indicelui specific de performanță pentru prognoza ansamblului curbei de sarcină folosind RNA (RNA curbă de sarcină) ar diferi substanțial de cel făcut pentru RNA lunar (așa cum se observă analizând tabelul 7.2.211);
- cazurile unde valorile indicelui specific de performanță sunt cele mai bune (80.1, 84.9, 114) se situează în clasament pe pozițiile 11, 14, 22;
- explicația pentru cele două concluzii anterioare – gradul de corelare a curbelor de sarcină din punctul de vedere al formei, al valorilor, constituie două elemente distincte, cu influențe diferite asupra rezultatelor prognozei;
- totuși, pentru poziția 1 din clasament (stația Victoria, joi, ora 21) și valoarea indicelui specific pentru RNA curbă de sarcină este relativ bună (116), iar pentru ultima poziție din clasament (stația Cetate, marți, ora 9) și valoarea indicelui specific pentru RNA curbă de sarcină este cea mai proastă (487);
- clasamentul pe stații (tabelul 7.2.217) are pe primul loc stația Victoria, cu observația că pentru primele trei stații (Victoria, Sânnicolau Mare și Lugoj) valorile sunt relativ apropiate;
- criteriul indicelui de performanță specific pentru RNA lunar și al celui pentru RNA curbă de sarcină conduc la un rezultat ușor diferit – se inversează ordinea stațiilor Lugoj și Cetate (similar cu clasamentul obținut pe baza punctajelor din a doua coloană a tabelului 7.2.217);
- referitor la cele două clasamente menționate mai sus, o analiză a raportului dintre cei doi indici specifici de performanță (RNA curbă de sarcină / RNA lunar) ar indica următoarele valori: Victoria – 5.6, Sânnicolau Mare – 4.9, Lugoj – 8.2, Cetate – 3.6, Pădurea Verde – 3.4 (rezultând și o explicație pentru concluzia de la punctul anterior – valoarea mult mai mare pentru Lugoj comparativ cu Cetate);
- clasamentul pe zile (tabelul 7.2.221) are pe primul loc ziua de joi, cu observația că diferențele dintre zile sunt relativ mari;
- referitor la ansamblul zilelor, criteriul indicelui de performanță specific pentru RNA lunar și al celui pentru RNA curbă de sarcină conduc la același clasament;
- clasamentul pe ore (tabelul 7.2.224) are pe primul loc ora 21, cu observația că diferența dintre ora 21 și ora 9 este clară;
- referitor la ansamblul orelor, criteriul indicelui de performanță specific pentru RNA orar și al celui pentru RNA curbă de sarcină conduc la același clasament.

## 7.3. Curbe de sarcină etalon

### 7.3.1. Considerații preliminare

Acest subcapitol are ca obiect definirea unor curbe de sarcină "etalon", având "structura" celor din subcapitolul 1 (referitoare la UTR și ansamblul Enel Distribuție Banat). Ele vor servi atât la o apreciere comparativă a calității prognozelor elaborate în subcapitolele anterioare, cât și la formularea unui pronostic apriori asupra calității prognozelor obținute în funcție de un set de date (curbe de sarcină) cunoscute (subcapitolul 7.4).

Au fost definite două seturi de curbe de sarcină etalon, cu un grad bun de corelare între curbele pentru anii luați în considerare:

- "etalon 1", pentru care evoluția consumului se face în progresie aritmetică (rație constantă pozitivă pentru toate orele), cu alte cuvinte se acceptă o variație crescătoare liniară a consumului;
- "etalon 2", pentru care evoluția consumului se face în progresie geometrică (rație constantă pozitivă pentru toate orele), cu alte cuvinte se acceptă o variație crescătoare neliniară a consumului.

La fel ca în subcapitolul 7.1, primii 10 ani (dintre cei 13 pentru care se s-au definit curbele de sarcină etalon) (2001-2010) s-au utilizat pentru realizare efectivă a prognozei, iar ultimii 3 ani (2011-2013) pentru verificare prognozelor obținute.

Pentru prognoza curbelor de sarcină s-au utilizat atât metode numerice clasice cât și tehnici bazate pe RNA:

a) metode numerice clasice:

- regresie liniară (aplicată pentru fiecare oră în parte);
- regresie parabolică (aplicată pentru fiecare oră în parte);

b) tehnici bazate pe RNA:

- RNA pentru toată curba de sarcină (24 ore);
- RNA pentru fiecare oră în parte.

La finele subcapitolului cât și la sfârșitul capitolului se prezintă o serie de comentarii și concluzii, cu caracter particular sau mai general, atât legat de rezultatele concrete ale prognozelor cât și de RNA utilizate. O atenție specială se acordă comparării rezultatelor obținute cu diverse metode, evidențierii calității metodelor utilizate și a influenței gradului de corelare asupra calității prognozelor realizate.

### 7.3.2. Etalon 1

În tabelul 7.3.1 (Anexa A7.3), respectiv figura 7.3.1, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 10 ani (2001-2010). Aceste curbe de sarcină vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor, în scopul obținerii curbelor de sarcină pentru anii 2011, 2012 și 2013.

În tabelul 7.3.2 (Anexa A7.3), respectiv figura 7.3.2, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 3 ani (2011-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2011, 2012 și 2013.

Analiza datelor prezentate în tabelele 7.3.1 și 7.3.2, respectiv a figurilor 7.3.1 și 7.3.2 evidențiază următoarele concluzii:

- toate curbele de sarcină au fost obținute pornind de la cea aferentă anului 2001 și adăugând anual (pentru fiecare oră) o rată constantă de creștere de 0.5 MW (cu alte cuvinte, consumurile pentru fiecare oră sunt în progresie aritmetică);
- toate curbele de sarcină sunt "paralele" între ele, ceea ce înseamnă un grad de corelare foarte bun din toate punctele de vedere (calitativ și cantitativ).

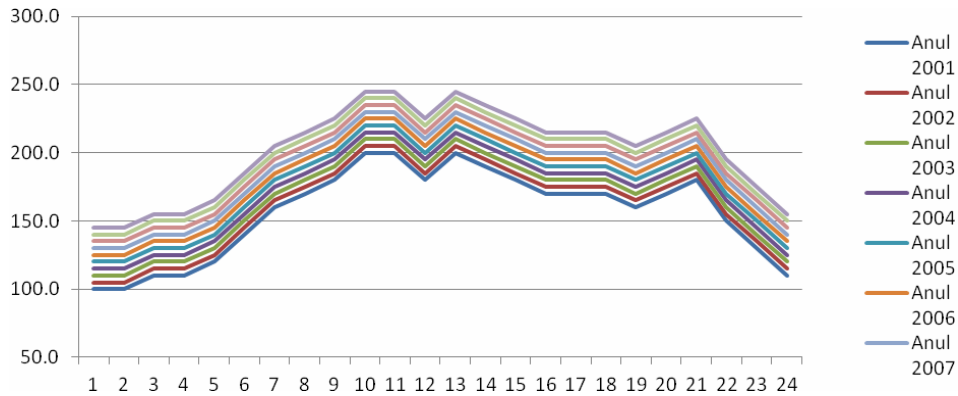


Figura 7.3.1. Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW)

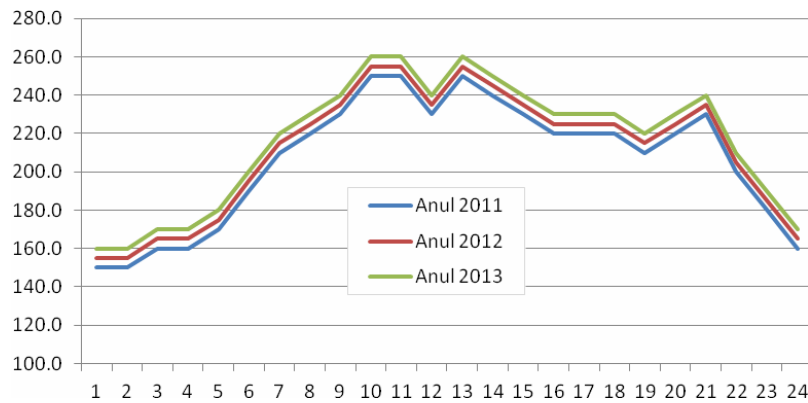


Figura 7.3.2. Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.3: regresie liniară, orar (tabelul 7.3.3), regresie parabolică, orar (tabelul 7.3.4), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.3.5) și RNA, orar (tabelul 7.3.6). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 3 ani și cele 24 valori orare ( $S_{2011}, S_{2012}, S_{2013}$ ). Grafic, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.3.3 - 7.3.5.

În tabelul 7.3.7 s-au reunit valorile indicilor de performanță pentru cele patru metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.3.7. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, orar	Parabolic, orar	RNA, curba de sarcină	RNA, orar
<b>S<sub>2011</sub></b>	0.00	0.00	1.07	0.005
<b>S<sub>2012</sub></b>	0.00	0.00	1.29	0.004
<b>S<sub>2013</sub></b>	0.00	0.00	2.09	0.005
<b>S<sub>total</sub></b>	0.00	0.00	4.45	0.014

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază următoarele concluzii:

- rezultatele confirmă în totalitate observațiile făcute la analiza curbelor de sarcină pentru perioada 2001-2010, respectiv 2011-2013;

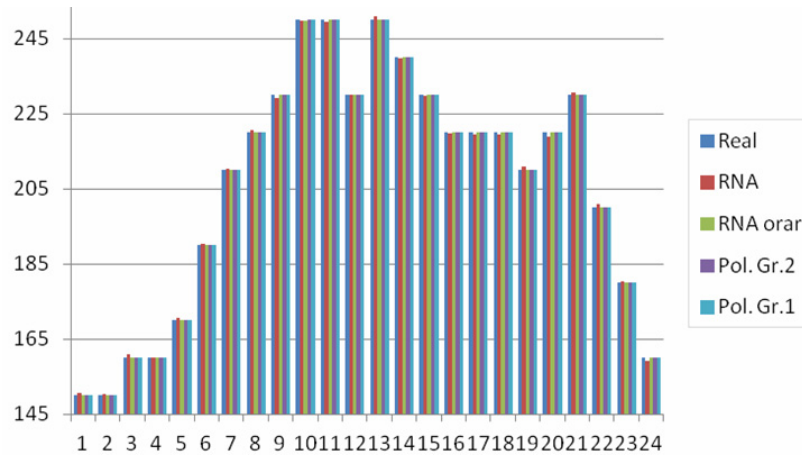


Figura 7.3.3. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2011

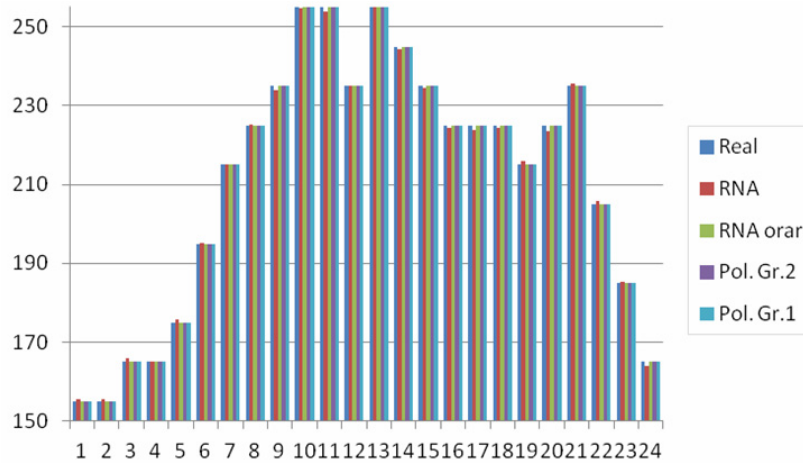


Figura 7.3.4. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

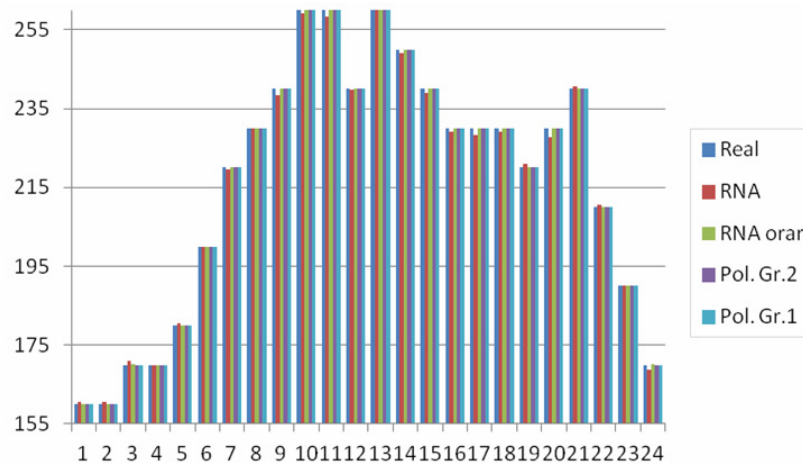


Figura 7.3.5. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

- variația puterilor orare consumate fiind liniară, metodele de prognoză bazate pe regresia liniară și cea parabolică dau valorile exacte (eroare nulă) pentru perioada 2011-2013;
- metoda utilizând RNA pentru fiecare oră în parte (RNA orar) conduce la rezultate foarte bune, care validează în fapt algoritmul utilizat și instrumentul soft elaborat: eroarea maximă este de 0,03%, ceea ce înseamnă 0.07 MW la puteri consumate de ordinul de mărime a 150-260 MW;
- concluzia anterioară înseamnă practic o prognoză aproape perfectă, în limitele unor toleranțe absolut rezonabile (reducerea erorii maxim admise utilizate în programul de calcul conducea la rezultate și mai bune);
- metoda utilizând RNA pentru ansamblul curbei de sarcină (RNA curbă de sarcină) conduce la rezultate cu totul acceptabile, care validează în fapt algoritmul utilizat și instrumentul soft elaborat: eroarea maximă este de 0,5%, ceea ce înseamnă circa 1 MW la puteri consumate de ordinul de mărime a 150-260 MW;
- analiza atentă a valorilor din tabelul 7.3.5 și a figurilor 7.3.3 - 7.3.5 (valoare reală – albastru, valoare prognozată cu RNA curbă de sarcină – roșu) arată că tendința acestei metode este de a "estompa" maximele și minimele relative ale curbei de sarcină (valorile relativ mici sunt "împinse" în sus, iar cele relativ mari în jos);
- elementele semnalate în cele două concluzii anterioare se pot ameliora în viitor printr-o "acordare" și mai fină a parametrilor caracteristici ai algoritmului de prognoză utilizând RNA pentru ansamblul curbei de sarcină (prin modificări cu totul minore în instrumentul soft).

### 7.3.3. Etalon 2

În tabelul 7.3.8 (Anexa A7.3), respectiv figura 7.3.6, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 10 ani (2001-2010). Aceste curbe de sarcină vor fi utilizate pentru efectuarea prognozelor, în scopul obținerii curbelor de sarcină pentru anii 2011, 2012 și 2013.

În tabelul 7.3.9 (Anexa A7.3), respectiv figura 7.3.7, sunt prezentate datele referitoare la curbele de sarcină pentru o perioadă de 3 ani (2011-2013). Ele vor fi utilizate pentru verificarea rezultatelor prognozelor pentru anii 2011, 2012 și 2013.

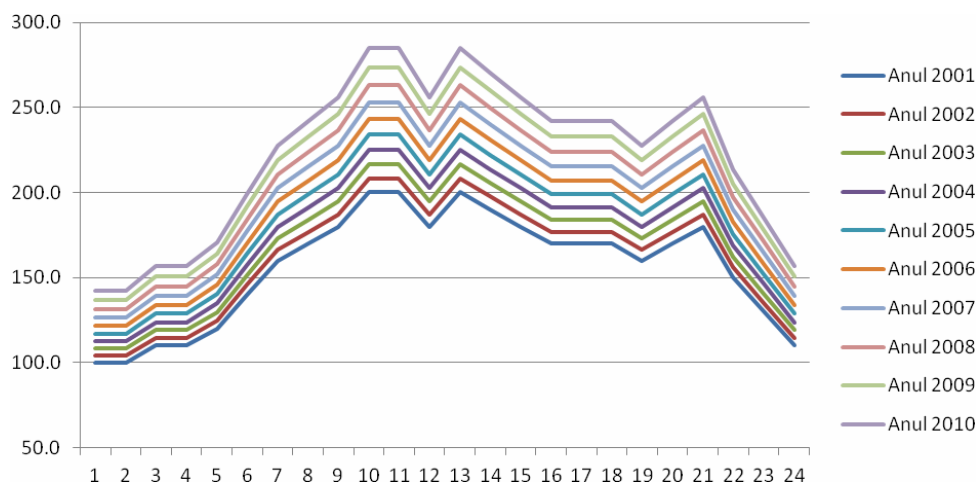


Figura 7.3.6. Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW)

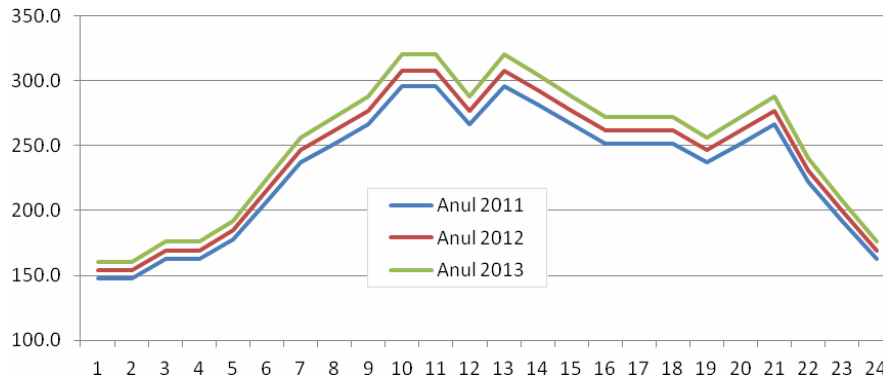


Figura 7.3.7. Curbele de sarcină pentru perioada 2011-2013 (puterile în MW)

Analiza datelor prezentate în tabelele 7.3.8 și 7.3.9, respectiv a figurilor 7.3.6 și 7.3.7 evidențiază următoarele concluzii:

- toate curbele de sarcină au fost obținute pornind de la cea aferentă anului 2001 și adăugând anual (pentru fiecare oră) o rată constantă de creștere de circa 4% (cu observația că valorile obținute au fost rotunjite la patru cifre semnificative, adică scrise cu o singură zecimală) – cu alte cuvinte, consumurile pentru fiecare oră sunt în progresie geometrică (rata fiind 1.04);
- toate curbele de sarcină sunt aproape "paralele" între ele, ceea ce înseamnă un grad de corelare bun din toate punctele de vedere (calitativ și cantitativ), dar mai redus (mai ales cantitativ) comparativ cu Etalon 1 (paragraful 7.3.2).

Rezultatele obținute cu diverse metode de prognoză – valorile prognozate, diferențele față de valorile cunoscute (în MW și procentual) și abaterea pătratică relativă – sunt prezentate în Anexa 7.3: regresie liniară, orar (tabelul 7.3.10), regresie parabolică, orar (tabelul 7.3.11), RNA, curba de sarcină (tabelul 7.3.12) și RNA, orar (tabelul 7.3.13). În partea de jos a tabelelor este dată valoarea indicelui de performanță ( $S_{total}$ ), definit ca suma pătratelor abaterilor pentru cei 3 ani și cele 24 valori orare ( $S_{2011}$ ,  $S_{2012}$ ,  $S_{2013}$ ). Sub formă grafică, aceste rezultate sunt prezentate în figurile 7.3.8 - 7.2.10.

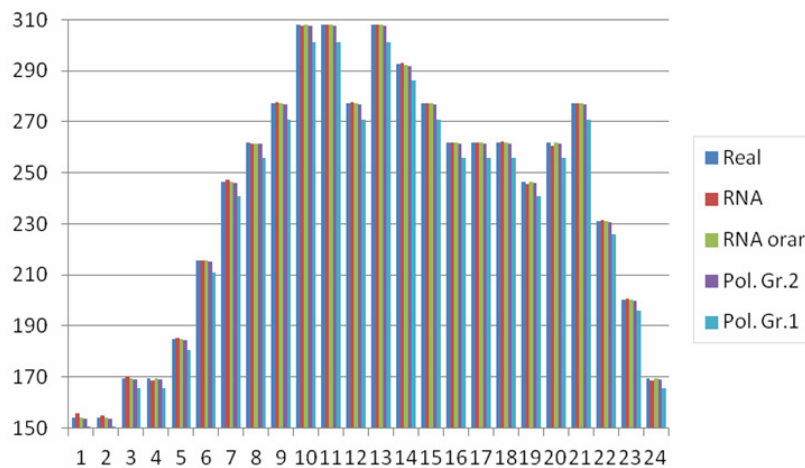


Figura 7.3.8. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2011

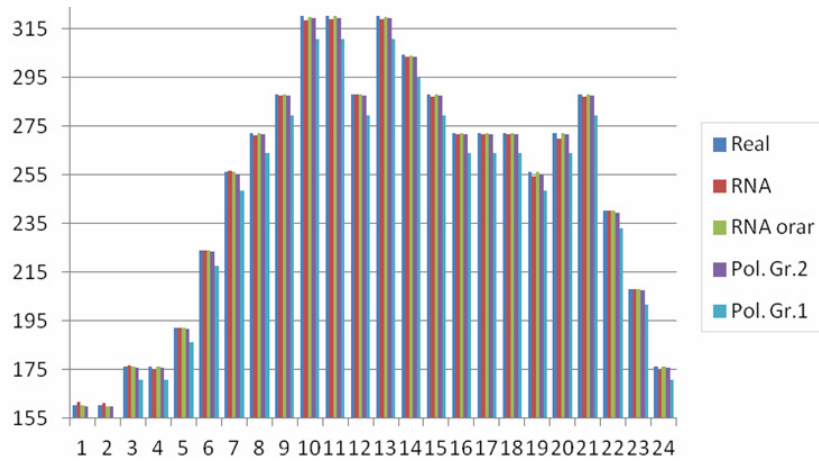


Figura 7.3.9. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2012

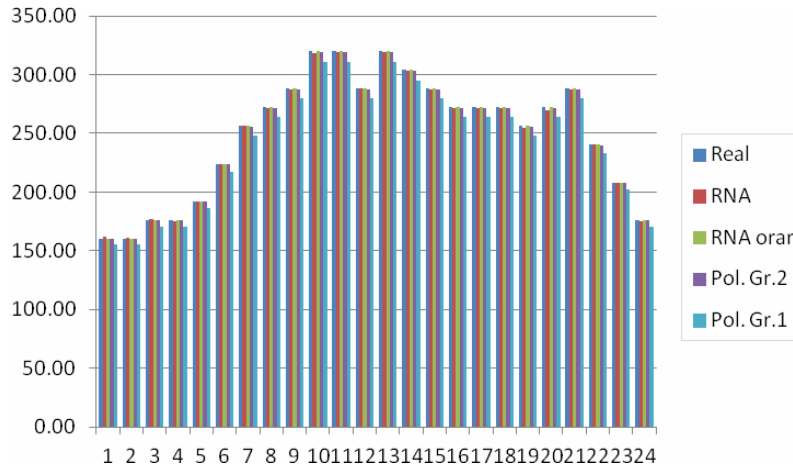


Figura 7.3.10. Analiza comparativă a rezultatelor pentru anul 2013

În tabelul 7.3.14 s-au reunit valorile indicilor de performanță pentru cele patru metode de prognoză utilizate.

Tabelul 7.3.14. Valoarea comparativă a indicilor de performanță

	Liniar, orar	Parabolic, orar	RNA, curba de sarcină	RNA, orar
<b>S2011</b>	48.4	0.08	2.67	0.043
<b>S2012</b>	112.9	0.47	2.75	0.014
<b>S2013</b>	216.9	1.54	4.16	0.052
<b>Stotal</b>	378.2	2.09	9.58	0.11

Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 4 metode de prognoză utilizate evidențiază următoarele concluzii:

- rezultatele confirmă observațiile făcute la analiza curbelor de sarcină pentru perioada 2001-2010, respectiv 2011-2013;
- variația puterilor orare consumate fiind neliniară (în progresie geometrică practic), prognoza utilizând regresia liniară este cu totul inadecvată pentru acest tip de curbe de sarcină etalon (erorile depășesc chiar 3%, ceea ce acum este cam mult);



- prognoza utilizând regresia parabolică conduce la rezultate mult mai bune decât cea liniară (valoarea indicelui total de performanță este 2.09 față de 378.2), aproximarea pătratică fiind, în anumite limite, mai adecvată pentru niște valori în progresie geometrică;
- metoda utilizând RNA pentru fiecare oră în parte (RNA orar) conduce la rezultate excepționale, care validează în fapt algoritmul utilizat și instrumentul soft elaborat: eroarea maximă este de 0.09%, ceea ce înseamnă circa 0.2 MW la puteri de ordinul de mărime a 150-260 MW;
- concluzia anterioară înseamnă practic o prognoză aproape perfectă, în limitele unor toleranțe absolut rezonabile (reducerea erorii maxim admise utilizate în programul de calcul conduce la rezultate și mai bune);
- metoda utilizând RNA pentru ansamblul curbei de sarcină (RNA curbă de sarcină) conduce la rezultate acceptabile, care validează în fapt algoritmul utilizat și instrumentul soft elaborat în cadrul tezei: eroarea maximă este de sub 1%, ceea ce înseamnă aproximativ 1,5-2.6 MW la puteri consumate de ordinul de mărime a 150-260 MW;
- analiza atentă a valorilor din tabelul 7.3.12 și a figurilor 7.3.8 - 7.3.10 (valoare reală – albastru, valoare prognozată cu RNA curbă de sarcină – roșu) conduce la o concluzie similară cu cea din paragraful precedent – tendința acestei metode este de a "estompa" maximele și minimele relative ale curbei de sarcină (valorile relativ mici sunt "împinse" în sus, iar cele relativ mari în jos);
- elementele semnalate în cele două concluzii anterioare se pot ameliora în viitor printr-o "acordare" și mai fină a parametrilor caracteristici ai algoritmului de prognoză utilizând RNA pentru ansamblul curbei de sarcină (prin modificări cu totul minore în instrumentul soft).

În tabelul 7.3.15 se efectuează o analiză comparativă a rezultatelor obținute, pe baza valorii indicelui global (total) de performanță, pentru prognoza orară utilizând RNA (RNA orar), alături de cea utilizând RNA pentru ansamblul curbei de sarcină (RNA curbă de sarcină).

La fel ca în paragraful 7.1.7, s-a calculat și valoare indicelui echivalent de performanță, obținut prin împărțirea valorii indicelui global de performanță la 24 (3 ani x 24 ore = 72). Utilizarea unui indice specific oferă și posibilitatea comparării calității rezultatelor referitoare la UTR (subcapitolul 7.1) cu cele obținute pentru stații (subcapitolul 7.2) și pentru curbele de sarcină etalon.

Tabelul 7.3.15. Indicii specifici de performanță

Nr. crt.	Curba de sarcină	RNA curbă de sarcină		RNA orar	
		Total	Specific	Total	Specific
1	Etalon 1	10.6	0.15	0.006	0
2	Etalon 2	12.7	0.18	0.13	0.002

Așa cum s-a menționat și în concluziile anterioare și așa cum era de așteptat, rezultatele obținute pentru curba de sarcină Etalon 1 sunt superioare celor obținute pentru curba de sarcină Etalon 2. De asemenea, prognozele realizate utilizând RNA orar sunt mai bune decât cele realizate cu RNA utilizat pentru ansamblul curbei de sarcină (concluzie similară cu cele din subcapitolele precedente).

Indicele specific (echivalent) de performanță pentru RNA orar, curba de sarcină Etalon 1, are practic valoarea 0.

## 7.4. Analiza calității prognozelor în funcție de gradul de corelare a datelor inițiale

### 7.4.1. Considerații preliminare

Acest subcapitol are ca obiect analiza posibilității formulării unui pronostic apriori asupra calității prognozelor obținute în funcție de datele (curbele de sarcină) cunoscute.

Pe lângă datele reale referitoare la UTR și prognozele aferente (subcapitolul 7.1) și datele reale referitoare la stații și prognozele aferente (subcapitolul 7.2), vor fi luate în considerare și curbele de sarcină etalon și prognozele aferente (subcapitolul 7.3).

Pronosticul apriori asupra calității rezultatelor prognozelor va fi realizat pe baza diferențelor finite, în maniera prezentată în capitolul 6. Vor fi utilizate atât diferențele finite orare (lunare) cât și cele anuale, calculate pentru fiecare UTR (stație) în parte. În cazul stațiilor analizele vor viza toate zilele discutate (marți, joi și miercuri) și cele două ore considerate pentru fiecare zi (9 și 21).

Se vor întocmi clasamente comparative, în scopul stabilirii unei legături între calitatea prognozelor obținute și valorile cumulate ale diferențelor finite. Calitatea prognozelor obținute se referă, evident, la rezultatele obținute prin utilizarea RNA (pentru ansamblul curbei de sarcină, respectiv orar sau lunar).

La finele subcapitolului cât și la sfârșitul capitolului se prezintă o serie de comentarii și concluzii, cu caracter particular sau mai general, atât legat de rezultatele concrete ale prognozelor cât și de RNA utilizate. O atenție specială se acordă comparării rezultatelor obținute cu diverse metode, evidențierii calității metodelor utilizate și a influenței gradului de corelare asupra calității prognozelor realizate, respectiv analizei posibilității de "previzionare" a calității prognozei în funcție de datele inițiale (curbele de sarcină) cunoscute.

### 7.4.2. Exemplu de calcul privind diferențele finite

În acest paragraf se prezintă în detaliu maniera de calcul pentru ambele categorii de diferențe finite – orare (lunare), respectiv anuale. Exemplificarea în detaliu se face pentru UTR Reșița (paragraful 7.1.2), ora 1.

Datele de consum (curbele de sarcină) cunoscute pentru cei 13 ani (2001-2010 – 10 ani și 2011-2013 – 3 ani) sunt prezentate în tabelul 7.4.1 (obținut prin "unirea" tabelelor 7.2.1 și 7.2.2).

Tabelul 7.4.1. Curbele de sarcină pentru perioada 2001-2010 (puterile în MW)

Anul / Ora	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
1	80.20	71.20	96.60	77.40	68.90	62.70	73.80	69.10	60.40	56.10	59.40	56.80	54.20
2	67.20	76.60	94.60	79.60	78.00	55.40	59.90	70.50	59.20	54.20	57.70	55.60	54.90
3	63.80	71.70	78.20	77.70	81.50	54.70	61.90	66.90	57.70	54.10	57.90	56.80	56.10
4	57.20	87.40	91.90	80.40	74.50	55.20	68.20	52.30	59.70	54.00	57.60	55.30	56.10
5	70.30	82.10	99.20	79.90	76.80	56.30	69.10	60.20	61.70	53.10	60.40	58.60	57.80
6	78.80	70.30	91.60	82.60	71.90	56.50	64.30	69.00	59.50	52.30	53.60	52.00	53.20
7	76.20	85.00	93.10	80.30	68.40	55.80	50.80	62.60	58.90	51.60	53.30	49.90	53.20
8	81.50	94.60	66.50	101.1	72.10	63.10	71.90	62.10	58.90	63.10	60.10	55.10	53.40
9	86.60	100.4	31.00	111.7	92.40	67.20	73.00	60.00	59.10	68.40	59.20	57.90	56.20
10	73.30	112.3	38.00	104.7	90.40	68.50	67.70	57.20	59.90	66.40	62.50	60.70	57.20
11	74.60	108.7	31.50	103.5	94.00	69.80	63.30	58.40	58.40	62.90	62.50	61.10	61.80
12	72.80	98.70	89.20	100.7	83.90	72.60	71.90	59.00	58.60	63.20	62.20	60.90	61.80
13	70.00	100.3	98.70	98.00	81.40	70.60	57.10	61.30	58.70	63.90	59.50	60.10	58.10
14	80.30	115.5	98.00	87.50	79.50	69.60	50.00	62.40	58.10	65.00	58.60	62.40	57.80

Anul / Ora	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
15	77.70	107.4	91.50	95.50	81.50	69.10	50.50	58.50	58.20	61.30	60.50	58.30	55.20
16	68.70	90.20	81.50	95.50	74.50	72.40	59.00	49.60	58.70	60.80	53.80	54.70	57.30
17	84.20	75.00	90.10	94.40	72.80	76.30	64.10	58.40	55.60	59.70	59.40	60.60	62.60
18	73.40	87.70	89.50	94.60	62.00	77.30	66.60	57.20	58.20	57.00	59.80	58.40	57.60
19	72.50	81.00	89.60	89.10	55.80	80.70	56.90	58.10	60.10	57.20	55.30	54.40	51.90
20	61.30	70.00	75.60	85.10	52.30	79.30	48.50	45.60	60.20	57.90	49.30	48.30	47.10
21	70.90	76.60	81.70	83.90	56.80	71.70	50.00	50.40	59.90	56.30	50.20	51.40	54.10
22	79.10	79.90	84.00	90.90	67.00	78.80	57.20	52.00	59.80	56.10	58.10	56.90	53.60
23	92.70	95.00	105.80	90.50	79.70	87.90	78.70	57.30	56.30	57.60	64.60	65.80	66.10
24	89.10	87.30	95.30	89.00	81.70	88.10	56.30	57.80	58.40	56.30	64.10	62.80	60.40

Se notează cu  $P_{2001}^1, P_{2002}^1, P_{2003}^1, \dots, P_{2013}^1$  puterile aferente orei 1, respectiv cu  $\Delta_a^1 P_i^1$  diferența finită anuală de ordinul  $j$  pentru anul  $i$ . Diferențele finite absolute de ordinul 1 (în număr de  $13 - 1 = 12$ ) se determină cu relația:

$$\Delta_a^1 P_i^1 = P_{i+1}^1 - P_i^1, \quad i = 2001, 2002, \dots, 2012 \quad (7.4.1)$$

În valoare relativă (raportată) rezultă:

$$\Delta_{ar}^1 P_i^1 = \frac{P_{i+1}^1 - P_i^1}{P_i^1} = \frac{\Delta_a^1 P_i^1}{P_i^1}, \quad i = 2001, 2002, \dots, 2012 \quad (7.4.2)$$

Diferențele finite absolute de ordinul  $k, k = 2, 3, \dots, 12$  – în număr de  $12 - (k - 1)$  – se determină cu relația:

$$\Delta_k P_i^1 = \Delta_a^{k-1} P_{i+1}^1 - \Delta_a^{k-1} P_i^1, \quad i = 2001, 2002, \dots, 2013 - k \quad (7.4.3)$$

Pentru diferența finită relativă rezultă:

$$\Delta_{ar}^k P_i^1 = \Delta_{ar}^{k-1} P_{i+1}^1 - \Delta_{ar}^{k-1} P_i^1, \quad i = 2001, 2002, \dots, 2013 - k \quad (7.4.4)$$

Evident, ultima diferență finită este  $\Delta_a^{12} P_{2001}^1$ , respectiv  $\Delta_{ar}^{12} P_{2001}^1$ .

În tabelul 7.4.2 se prezintă rezultatele calculului diferențelor finite anuale de ordinul 1, 2, ..., 12, aferente orei 1.

Tabelul 7.4.2. Diferențe finite anuale de ordinul 1, 2, ..., 12, aferente orei 1

Ordin diferență	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	An
	80.20	71.20	96.60	77.40	68.90	62.70	73.80	69.10	60.40	56.10	59.40	56.80	54.20	Ora 1
1	-9.00	25.40	-19.20	-8.50	-6.20	11.10	-4.70	-8.70	-4.30	3.30	-2.60	-2.60	-	abs.
	-0.112	0.357	-0.199	-0.110	-0.090	0.177	-0.064	-0.126	-0.071	0.059	-0.044	-0.044	-	rel.
2	34.40	-44.60	10.70	2.30	17.30	-15.80	-4.00	4.40	7.60	-5.90	0.00	-	-	abs.
	0.469	-0.555	0.089	0.020	0.267	-0.241	-0.062	0.055	0.130	-0.103	0.00	-	-	rel.
3	-79.00	55.30	-8.40	15.00	-33.10	11.80	8.40	3.20	-13.50	5.90	-	-	-	abs.
	-1.024	0.644	-0.069	0.247	-0.508	0.179	0.117	0.075	-0.233	0.103	-	-	-	rel.
4	134.3	-63.70	23.40	-48.10	44.90	-3.40	-5.20	-16.70	19.40	-	-	-	-	abs.
	1.669	-0.714	0.316	-0.755	0.686	-0.062	-0.042	-0.308	0.330	-	-	-	-	rel.
5	-198.0	87.10	-71.50	93.00	-48.30	-1.80	-11.50	36.10	-	-	-	-	-	abs.
	-2.382	1.030	-1.071	1.441	-0.748	0.020	-0.266	0.638	-	-	-	-	-	rel.
6	285.1	-158.6	164.5	-141.3	46.50	-9.70	47.60	-	-	-	-	-	-	abs.
	3.412	-2.101	2.512	-2.189	0.768	-0.286	0.904	-	-	-	-	-	-	rel.
7	-443.7	323.1	-305.8	187.8	-56.20	57.30	-	-	-	-	-	-	-	abs.
	-5.513	4.613	-4.701	2.957	-1.054	1.190	-	-	-	-	-	-	-	rel.
8	766.8	-628.9	493.6	-244.0	113.5	-	-	-	-	-	-	-	-	abs.
	10.13	-9.315	7.658	-4.011	2.244	-	-	-	-	-	-	-	-	rel.

Ordin dife- rență	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	An
	80.20	71.20	96.60	77.40	68.90	62.70	73.80	69.10	60.40	56.10	59.40	56.80	54.20	<b>Ora 1</b>
9	-1396	1123	-737.6	357.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	abs.
	-19.44	16.97	-11.67	6.255	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rel.
10	2518	-1860	1095	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	abs.
	36.41	-28.64	17.93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rel.
11	-4378	2955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	abs.
	-65.06	46.57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rel.
12	7334	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	abs.
	111.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rel.

Se notează cu  $P_{2001}^1, P_{2002}^1, P_{2003}^1, \dots, P_{2013}^1$  puterile aferente orei 1 și cu  $P_{2001}^2, P_{2002}^2, P_{2003}^2, \dots, P_{2013}^2$  puterile aferente orei 2, respectiv cu  $\Delta_o^1 P_i^1$  diferența finită orară de ordinul  $j$  pentru anul  $i$ . Diferențele finite absolute de ordinul 1 (în număr de 13) se determină cu relația:

$$\Delta_o^1 P_i^1 = P_i^2 - P_i^1, \quad i = 2001, 2002, \dots, 2013 \quad (7.4.5)$$

În valoare relativă (raportată) rezultă:

$$\Delta_{or}^1 P_i^1 = \frac{P_i^2 - P_i^1}{P_i^1} = \frac{\Delta_o^1 P_i^1}{P_i^1}, \quad i = 2001, 2002, \dots, 2013 \quad (7.4.6)$$

Diferențele finite absolute de ordinul  $k, k = 2, 3, \dots, 13$  – în număr de  $13 - (k - 1)$  – se determină cu relația:

$$\Delta_o^k P_i^1 = \Delta_o^{k-1} P_{i+1}^1 - \Delta_o^{k-1} P_i^1, \quad i = 2001, 2002, \dots, 2014 - k \quad (7.4.7)$$

Pentru diferența finită relativă rezultă:

$$\Delta_{or}^k P_i^1 = \Delta_{or}^{k-1} P_{i+1}^1 - \Delta_{or}^{k-1} P_i^1, \quad i = 2001, 2002, \dots, 2014 - k \quad (7.4.8)$$

Evident, ultima diferență finită este  $\Delta_o^{13} P_{2001}^1$ , respectiv  $\Delta_{or}^{13} P_{2001}^1$ .

În tabelul 7.4.3 se prezintă rezultatele calculului diferențelor finite orare de ordinul 1, 2, ..., 13, aferente orei 1.

Tabelul 7.4.3. Diferențe finite orare de ordinul 1, 2, ..., 13, aferente orei 1

Ordin dife- rență	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	An
	80.20	71.20	96.60	77.40	68.90	62.70	73.80	69.10	60.40	56.10	59.40	56.80	54.20	<b>Ora 1</b>
	67.20	76.60	94.60	79.60	78.00	55.40	59.90	70.50	59.20	54.20	57.70	55.60	54.90	<b>Ora 2</b>
1	-13.00	5.40	-2.00	2.20	9.10	-7.30	-13.90	1.40	-1.20	-1.90	-1.70	-1.20	0.70	abs.
	-0.162	0.076	-0.021	0.028	0.132	-0.116	-0.188	0.020	-0.020	-0.034	-0.029	-0.021	0.013	rel.
2	18.40	-7.40	4.20	6.90	-16.40	-6.60	15.30	-2.60	-0.70	0.20	0.50	1.90	-	abs.
	0.238	-0.097	0.049	0.104	-0.249	-0.072	0.209	-0.040	-0.014	0.005	0.007	0.034	-	rel.
3	-25.80	11.60	2.70	-23.30	9.80	21.90	-17.90	1.90	0.90	0.30	1.40	-	-	abs.
	-0.334	0.146	0.055	-0.352	0.177	0.281	-0.249	0.026	0.019	0.002	0.027	-	-	rel.
4	37.40	-8.90	-26.00	33.10	12.10	-39.80	19.80	-1.00	-0.60	1.10	-	-	-	abs.
	0.480	-0.091	-0.407	0.529	0.104	-0.529	0.275	-0.007	-0.017	0.024	-	-	-	rel.
5	-46.30	-17.10	59.10	-21.00	-51.90	59.60	-20.80	0.40	1.70	-	-	-	-	abs.
	-0.571	-0.316	0.935	-0.425	-0.633	0.804	-0.282	-0.010	0.041	-	-	-	-	rel.
6	29.20	76.20	-80.10	-30.90	111.5	-80.40	21.20	1.30	-	-	-	-	-	abs.
	0.256	1.251	-1.360	-0.208	1.437	-1.086	0.272	0.051	-	-	-	-	-	rel.
7	47.00	-156.3	49.20	142.4	-191.9	101.6	-19.90	-	-	-	-	-	-	abs.
	0.995	-2.611	1.152	1.646	-2.523	1.357	-0.220	-	-	-	-	-	-	rel.
8	-203.3	205.5	93.20	-334.3	293.5	-121.5	-	-	-	-	-	-	-	abs.
	-3.606	3.763	0.494	-4.169	3.881	-1.578	-	-	-	-	-	-	-	rel.

Ordin diferență	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	An
	80.20	71.20	96.60	77.40	68.90	62.70	73.80	69.10	60.40	56.10	59.40	56.80	54.20	<b>Ora 1</b>
	67.20	76.60	94.60	79.60	78.00	55.40	59.90	70.50	59.20	54.20	57.70	55.60	54.90	<b>Ora 2</b>
9	408.8	-112.3	-427.5	627.8	-415.0	-	-	-	-	-	-	-	-	abs.
	7.369	-3.269	-4.663	8.050	-5.458	-	-	-	-	-	-	-	-	rel.
10	-521.1	-315.2	1055	-1043	-	-	-	-	-	-	-	-	-	abs.
	-10.64	-1.394	12.71	-13.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rel.
11	205.9	1371	-2098	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	abs.
	9.244	14.11	-26.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rel.
12	1165	-3469	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	abs.
	4.862	-40.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rel.
13	-4633	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	abs.
	-45.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rel.

Procedând similar, se obțin diferențele finite anuale și orare, absolute și relative, pentru toate orele  $k$ ,  $k = 1, 2, \dots, 23$ , rezultatele fiind centralizate în tabelul 7.4.4.

Tabelul 7.4.4. Centralizarea diferențelor finite anuale și orare pentru UTR Reșița

Ora (k)	$\Delta_o^{13}P_{2001}^k$	$\Delta_{or}^{13}P_{2001}^k$	$\Delta_a^{12}P_{2001}^k$	$\Delta_{ar}^{12}P_{2001}^k$
1	$-4.63 \times 10^3$	$-0.452 \times 10^2$	$7.33 \times 10^3$	$1.116 \times 10^2$
2	$5.66 \times 10^3$	$0.850 \times 10^2$	$2.70 \times 10^3$	$0.242 \times 10^2$
3	$14.65 \times 10^3$	$2.359 \times 10^2$	$8.36 \times 10^3$	$1.103 \times 10^2$
4	$-3.15 \times 10^3$	$-0.777 \times 10^2$	$23.01 \times 10^3$	$3.634 \times 10^2$
5	$-16.22 \times 10^3$	$-2.455 \times 10^2$	$19.85 \times 10^3$	$2.982 \times 10^2$
6	$-8.29 \times 10^3$	$-1.321 \times 10^2$	$3.63 \times 10^3$	$0.644 \times 10^2$
7	$7.36 \times 10^3$	$1.943 \times 10^2$	$-4.67 \times 10^3$	$-1.004 \times 10^2$
8	$3.58 \times 10^3$	$0.515 \times 10^2$	$2.69 \times 10^3$	$0.587 \times 10^2$
9	$-1.83 \times 10^3$	$-0.128 \times 10^2$	$6.28 \times 10^3$	$-0.054 \times 10^2$
10	$-4.36 \times 10^3$	$-0.812 \times 10^2$	$4.44 \times 10^3$	$0.140 \times 10^2$
11	$4.81 \times 10^3$	$1.607 \times 10^2$	$0.09 \times 10^3$	$-0.843 \times 10^2$
12	$-14.23 \times 10^3$	$-2.057 \times 10^2$	$4.90 \times 10^3$	$0.710 \times 10^2$
13	$-6.11 \times 10^3$	$-1.183 \times 10^2$	$-9.33 \times 10^3$	$-1.392 \times 10^2$
14	$3.88 \times 10^3$	$0.695 \times 10^2$	$-15.44 \times 10^3$	$-2.634 \times 10^2$
15	$8.32 \times 10^3$	$1.898 \times 10^2$	$-11.57 \times 10^3$	$-1.868 \times 10^2$
16	$-6.17 \times 10^3$	$-1.194 \times 10^2$	$-3.2 \times 10^3$	$-0.015 \times 10^2$
17	$-1.20 \times 10^3$	$-0.007 \times 10^2$	$-9.4 \times 10^3$	$-1.152 \times 10^2$
18	$-13.50 \times 10^3$	$-2.065 \times 10^2$	$-10.61 \times 10^3$	$-1.280 \times 10^2$
19	$1.16 \times 10^3$	$0.099 \times 10^2$	$-24.11 \times 10^3$	$-3.359 \times 10^2$
20	$6.66 \times 10^3$	$0.754 \times 10^2$	$-22.95 \times 10^3$	$-2.880 \times 10^2$
21	$3.84 \times 10^3$	$1.105 \times 10^2$	$-16.29 \times 10^3$	$-2.183 \times 10^2$
22	$14.38 \times 10^3$	$2.558 \times 10^2$	$-12.45 \times 10^3$	$-1.283 \times 10^2$
23	$-19.21 \times 10^3$	$-2.379 \times 10^2$	$1.93 \times 10^3$	$0.297 \times 10^2$

În continuare se calculează valorile indicilor pătratici globali caracteristici  $IC_a, IC_{ar}, IC_o, IC_{or}$ , definiți de relațiile:

$$IC_a = \sum_{j=1}^{23} (\Delta_a^{12}P_1^j)^2 \quad (7.4.9)$$

$$IC_{ar} = \sum_{j=1}^{23} (\Delta_{ar}^{12}P_{2001}^j)^2 \quad (7.4.10)$$

$$IC_o = \sum_{j=1}^{23} (\Delta_o^{13}P_{2001}^j)^2 \quad (7.4.11)$$

$$IC_{or} = \sum_{j=1}^{23} (\Delta_{or}^{13}P_{2001}^j)^2 \quad (7.4.12)$$

Se observă că  $IC_a$  și  $IC_{ar}$  caracterizează global diferențele finite anuale, respectiv anuale relative, iar  $IC_o$  și  $IC_{or}$  – diferențele finite orare, respectiv orare relative.

Valorile obținute sunt prezentate în tabelul 7.4.5.

Tabelul 7.4.5. Valorile indicilor pătratici globali caracteristici pentru UTR Reșița

$IC_a$	$IC_{ar}$	$IC_o$	$IC_{or}$
$1905 \times 10^6$	$516 \times 10^3$	$3382 \times 10^6$	$690 \times 10^3$

### 7.4.3. Analiza calității prognozelor pentru UTR

Pentru fiecare UTR și pentru ansamblul Enel Banat s-au calculat valorile indicilor pătratici globali caracteristici  $IC_a, IC_{ar}, IC_o, IC_{or}$ , în maniera prezentată în paragraful precedent. Aceleași calcule s-au efectuat și pentru curbele de sarcină etalon, prezentate în subparagraful 7.3. Rezultatele, rotunjite la valori întregi (nu prezintă interes valoarea exactă, ci ordinul de mărime și comparația între diversele situații), sunt centralizate în tabelul 7.4.6. Se menționează că în tabelele 7.4.7 - 7.4.14 (Anexa 7.4) se prezintă centralizarea diferențelor și valorii indicilor globali pentru celelalte UTR și Enel Banat.

Tabelul 7.4.6. Valorile indicilor pătratici globali caracteristici

Nr. crt.	UTR	$IC_a$	$IC_{ar}$	$IC_o$	$IC_{or}$
1	Reșița	$1905 \times 10^6$	$516 \times 10^3$	$3382 \times 10^6$	$690 \times 10^3$
2	Arad	$89 \times 10^6$	$17 \times 10^3$	$615 \times 10^6$	$126 \times 10^3$
3	Deva	$777 \times 10^6$	$25 \times 10^3$	$2968 \times 10^6$	$98 \times 10^3$
4	Timișoara	$92 \times 10^6$	$6 \times 10^3$	$197 \times 10^6$	$13 \times 10^3$
5	Banat	$2726 \times 10^6$	$15 \times 10^3$	$7283 \times 10^6$	$14 \times 10^3$
6	Etalon 1	0	0	0	0
7	Etalon 2	$0.03 \times 10^6$	0	$0.04 \times 10^6$	0

Legat de valorile din tabelul 7.4.6 se impun două comentarii:

- pentru curbele etalon indicii caracteristici au valorile așteptate, cu o idee mai proaste pentru etalon 2 (consumurile în progresie geometrică) față de etalon 1 (consumurile în progresie aritmetică);
- pentru o apreciere comparativă, valorile indicilor relativi (raportați) au relevanță (valorile indicilor absoluți depind și de nivelul consumului).

În tabelul 7.4.15 se prezintă o apreciere comparativă a indicilor relativi, rezultând și niște clasamente pe baza acestui criteriu (curbele de sarcină etalon nu s-au mai introdus – ele ar ocupa clar primele două poziții).

Tabelul 7.4.15. Clasamente pe baza indicilor caracteristici

Nr. crt.	UTR	$IC_{ar}$	Clasament $IC_{ar}$	$IC_{or}$	Clasament $IC_{or}$	$IC_{ar} + IC_{or}$	Clasament $IC_{ar} + IC_{or}$	Clasament final
1	Reșița	$516 \times 10^3$	5	$690 \times 10^3$	5	$1206 \times 10^3$	5	5
2	Arad	$17 \times 10^3$	3	$126 \times 10^3$	4	$143 \times 10^3$	4	4
3	Deva	$25 \times 10^3$	4	$98 \times 10^3$	3	$123 \times 10^3$	3	3
4	Timișoara	$6 \times 10^3$	1	$13 \times 10^3$	1	$19 \times 10^3$	1	1
5	Banat	$15 \times 10^3$	2	$14 \times 10^3$	2	$29 \times 10^3$	2	2

În tabelul 7.4.16 se prezintă o apreciere comparativă a indicilor globali ( $S_{total}$ ) și a celor specifici (echivalenți) de performanță ( $S_{specific}$ ) pentru prognozele realizate utilizând RNA (datele extrase din tabelul 7.1.36 pentru UTR, respectiv din tabelul 7.3.15 – curbe de sarcină etalon).

Tabelul 7.4.16. Indicii specifici (echivalenți) de performanță

Nr. crt.	UTR	RNA curbă de sarcină		RNA orar	
		<i>S<sub>total</sub></i>	<i>S<sub>specific</sub></i>	<i>S<sub>total</sub></i>	<i>S<sub>specific</sub></i>
1	UTR Reșița	1424	19.8	230	3.20
2	UTR Arad	1188	16.5	218	3.03
3	UTR Deva	318	4.4	186	2.58
4	UTR Timișoara	271	3.8	40	0.56
5	Enel Banat	197	2.7	34	0.47
6	Etalon 1	10.6	0.15	0.006	0
7	Etalon 2	12.7	0.18	0.13	0.002

În tabelul 7.4.17 se prezintă o apreciere comparativă a valorii indicilor specifici (echivalenți) de performanță, rezultând și niște clasamente pe baza acestui criteriu (curbele de sarcină etalon nu s-au mai introdus – ele ar ocupa clar primele două poziții).

Tabelul 7.4.17. Clasamente pe baza indicilor specifici (echivalenți) de performanță

Nr. crt.	UTR	RNA curbă de sarcină		RNA orar		Sumă <i>S<sub>specific</sub></i>	Clasament	Clasament final
		<i>S<sub>specific</sub></i>	Clasament	<i>S<sub>specific</sub></i>	Clasament			
1	Reșița	19.8	5	3.20	5	23.0	5	5
2	Arad	16.5	4	3.03	4	19.5	4	4
3	Deva	4.4	3	2.58	3	7.0	3	3
4	Timișoara	3.8	2	0.56	2	3.4	2	2
5	Banat	2.7	1	0.47	1	3.2	1	1

În tabelul 7.4.18 s-au reunit clasamentele din tabelele și 7.4.7 și 7.4.9.

Tabelul 7.4.18. Comparație clasamente

Nr. crt.	UTR	Indici caracteristici				Indici specifici de performanță			
		<i>IC<sub>ar</sub></i>	<i>IC<sub>or</sub></i>	Sumă	Final	RNA c.s.	RNA orar	Sumă	Final
1	Reșița	5	5	5	5	5	5	5	5
2	Arad	3	4	4	4	4	4	4	4
3	Deva	4	3	3	3	3	3	3	3
4	Timișoara	1	1	1	1	2	2	2	2
5	Banat	2	2	2	2	1	1	1	1

În tabelul 7.4.19 s-a realizat o ierarhizare pe baza acordării unor note calculate cu relația:

$$Nota = \frac{Indice\ maxim - Indice\ curent}{Indice\ maxim - Indice\ minim} \cdot 10 \quad (7.4.13)$$

Tabelul 7.4.19. Comparație note

Nr. crt.	UTR	Indici caracteristici				Indici specifici de performanță			
		<i>IC<sub>ar</sub></i>	<i>IC<sub>or</sub></i>	Sumă	Medie	RNA c.s.	RNA orar	Sumă	Medie
1	Reșița	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Arad	9.78	8.33	8.96	9.02	1.92	0.62	1.77	1.43
3	Deva	9.63	8.74	9.12	9.16	9.01	2.27	8.08	6.45
4	Timișoara	10	10	10	10	9.36	9.67	9.90	9.64
5	Banat	9.82	9.99	9.99	9.93	10	10	10	10

Analiza celor două clasamente (tabelul 7.4.18) și a detaliilor din tabelele 7.4.15 și 7.4.17, respectiv a notelor (tabelul 7.4.10), scoate în evidență următoarele concluzii:

- cele două clasamente indică o foarte bună corespondență între valorile indicilor specifici de performanță ai prognozelor și cele ale indicilor pătratici globali caracteristici (obținuți pe baza calculului diferențelor finite anuale și orare);
- singura deosebire – la calitatea prognozelor Enel Banat este pe locul 1 și UTR Timișoara pe locul 2, iar la diferențe finite Enel Banat este pe locul 2 și UTR Timișoara pe locul 1 (au schimbat locurile între ele);

- observația anterioară este explicabilă pe baza valorilor foarte apropiate ale tuturor indicatorilor pentru Enel Banat și UTR Timișoara, comparativ și cu ordinul de mărime pentru celelalte UTR;
- o observație interesantă este legată de UTR Deva – calitatea relativ mai bună a prognozei utilizând RNA pentru curbele de sarcină (valoarea de 4.4 în tabelul 7.4.17) era previzibilă și prin prisma valorii aferente a  $IC_{or}$  din tabelul 7.4.15;
- analiza comparativă a notelor din tabelul 7.4.19 întărește concluziile anterioare, cu observația că nivelul mai ridicat pentru indicii caracteristici se datorează valorii foarte proaste a acestor indici pentru UTR Reșița (fiind explicabilă și prin maniera de calcul a notelor – relația 7.4.13).

În final se poate formula o ipoteză mai generală: indicii de calitate determinați pe baza diferențelor finite pot ajuta foarte bine la previzionarea calității prognozelor. Analizele din paragraful următor (referitoare la stații) pot să confirme (într-o măsură mai mare sau mai redusă) sau să infirme (parțial sau în totalitate) această ipoteză.

#### 7.4.4. Analiza calității prognozelor pentru stații

Pentru fiecare stație în parte, pentru fiecare zi și pentru fiecare oră s-au calculat valorile indicilor pătratici globali caracteristici anuali  $IC_a, IC_{ar}$  și ai celor lunari  $IC_l, IC_{lr}$  (în locul celor orari), în maniera prezentată în paragraful 7.4.2 pentru UTR Reșița:

$$IC_a = \sum_{j=1}^{11} (\Delta_a^7 P_{2006}^j)^2 \quad (7.4.9)$$

$$IC_{ar} = \sum_{j=1}^{11} (\Delta_{ar}^7 P_{2006}^j)^2 \quad (7.4.10)$$

$$IC_l = \sum_{j=1}^{11} (\Delta_l^8 P_{2006}^j)^2 \quad (7.4.11)$$

$$IC_{lr} = \sum_{j=1}^{11} (\Delta_{lr}^8 P_{2006}^j)^2 \quad (7.4.12)$$

Se observă că  $IC_a$  și  $IC_{ar}$  caracterizează global diferențele finite anuale, respectiv anuale relative, iar  $IC_l$  și  $IC_{lr}$  – diferențele finite lunare, respectiv lunare relative.

Rezultatele, rotunjite la valori întregi (nu prezintă interes valoarea exactă, ci ordinul de mărime și comparația între diversele situații) sunt centralizate în tabelul 7.4.20. Tot acolo se prezintă o apreciere comparativă a indicilor relativi, rezultând și niște clasamente pe baza acestui criteriu.

Tabelul 7.4.20. Valorile indicilor pătratici globali caracteristici

Nr. crt.	Stația, ziua, ora	$IC_{ar}$	Clasament $IC_{ar}$	$IC_l$	Clasament $IC_l$	$IC_{ar} + IC_{lr}$	Clasament $IC_{ar} + IC_{lr}$	Medie clasament	Clasament final
1	Victoria, joi, 9	51	12	57	10	108	11	11.00	11
2	Victoria, joi, 21	32	6	47	7	79	5	6.00	5
3	Victoria, ma, 9	110	22	76	16	186	19	19.00	19
4	Victoria, ma, 21	63	15	120	21	183	18	18.00	17
5	Victoria, mi, 9	61	13	37	3	98	9	8.33	7
6	Victoria, mi, 21	15	2	23	1	38	1	1.33	1
7	Cetate, joi, 9	175	27	105	18	280	24	23.00	23
8	Cetate, joi, 21	27	4	38	4	65	2	3.33	2
9	Cetate, ma, 9	244	29	164	24	408	29	27.33	27
10	Cetate, ma, 21	14	1	120	19	134	14	11.33	12



Nr. crt.	Stația, ziua, ora	$IC_{ar}$	Clasament $IC_{ar}$	$IC_{lr}$	Clasament $IC_{lr}$	$IC_{ar} + IC_{lr}$	Clasament $IC_{ar} + IC_{lr}$	Medie clasament	Clasament final
11	Cetate, mi, 9	134	24	88	17	222	20	20.33	20
12	Cetate, mi, 21	28	5	65	14	93	7	8.67	8
13	Pădurea V, joi, 9	86	18	220	29	306	26	24.33	25
14	Pădurea V, joi, 21	33	8	120	20	153	16	14.67	15
15	Pădurea V, ma, 9	156	26	250	30	406	28	28.00	29
16	Pădurea V, ma, 21	68	16	190	27	258	22	21.67	22
17	Pădurea V, mi, 9	190	28	200	28	390	27	27.67	28
18	Pădurea V, mi, 21	101	20	171	26	272	23	23.00	24
19	Sănnicolau, joi, 9	98	19	150	22	248	21	20.67	21
20	Sănnicolau, joi, 21	22	3	44	5	66	3	3.67	3
21	Sănnicolau, ma, 9	62	14	46	6	108	10	10.00	10
22	Sănnicolau, ma, 21	68	17	59	11	127	13	13.67	14
23	Sănnicolau, mi, 9	110	23	69	15	179	17	18.33	18
24	Sănnicolau, mi, 21	32	7	63	13	95	8	9.33	9
25	Lugoj, joi, 9	270	30	170	25	440	30	28.33	30
26	Lugoj, joi, 21	41	10	48	8	89	6	8.00	6
27	Lugoj, ma, 9	138	25	160	23	298	25	24.33	26
28	Lugoj, ma, 21	38	9	32	2	70	4	5.00	4
29	Lugoj, mi, 9	102	21	48	9	150	15	15.00	16
30	Lugoj, mi, 21	46	11	62	12	108	12	11.67	13

În tabelul 7.4.21 se prezintă o apreciere comparativă a indicilor globali ( $S_{total}$ ) și a celor specifici (echivalenți) de performanță ( $S_{specific}$ ) pentru prognozele realizate utilizând RNA (tabelul 7.2.211).

Tabelul 7.4.21. Indicii specifici (echivalenți) de performanță

Nr. crt.	Stația, ziua, ora	RNA curbă de sarcină		RNA lunar	
		Total	Specific	Total	Specific
1	Victoria, joi, ora 9	3627	151	535	22.3
2	Victoria, joi, ora 21	2791	116	76	3.2
3	Victoria, marți, ora 9	6505	271	2286	95.3
4	Victoria, marți, ora 21	5767	240	395	16.5
5	Victoria, miercuri, ora 9	3076	128	308	12.8
6	Victoria, miercuri, ora 21	2038	84.9	631	26.3
7	Cetate, joi, ora 9	7858	327	158	6.6
8	Cetate, joi, ora 21	1923	80.1	482	20.1
9	Cetate, marți, ora 9	11687	487	6956	290
10	Cetate, marți, ora 21	4685	195	1015	42.3
11	Cetate, miercuri, ora 9	5611	234	822	34.3
12	Cetate, miercuri, ora 21	2968	124	300	12.5
13	Pădurea Verde, joi, ora 9	10639	443	192	8.0
14	Pădurea Verde, joi, ora 21	6407	267	659	27.5
15	Pădurea Verde, marți, ora 9	8779	366	4118	172
16	Pădurea Verde, marți, ora 21	7443	310	2781	116
17	Pădurea Verde, miercuri, ora 9	9320	388	3170	132
18	Pădurea Verde, miercuri, ora 21	5600	233	3073	128
19	Sănnicolau Mare, joi, ora 9	5813	242	1254	52.3
20	Sănnicolau Mare, joi, ora 21	2790	116	290	12.1
21	Sănnicolau Mare, marți, ora 9	4075	170	1120	46.7
22	Sănnicolau Mare, marți, ora 21	5314	221	279	11.6
23	Sănnicolau Mare, miercuri, ora 9	5081	212	1027	42.8
24	Sănnicolau Mare, miercuri, ora 21	2746	114	1261	52.5
25	Lugoj, joi, ora 9	14395	600	1663	69.3
26	Lugoj, joi, ora 21	4831	201	500	20.8
27	Lugoj, marți, ora 9	10646	444	1713	71.4
28	Lugoj, marți, ora 21	3172	132	852	35.5
29	Lugoj, miercuri, ora 9	5427	226	401	16.7
30	Lugoj, miercuri, ora 21	5069	211	206	8.6

În tabelul 7.4.22 se prezintă o apreciere comparativă a valorii indicilor specifici (echivalenți) de performanță, rezultând și niște clasamente pe baza acestui criteriu.

Tabelul 7.4.22. Clasamente pe baza indicilor specifici (echivalenți) de performanță

Nr. crt.	Stația, ziua, ora	RNA curbă sarcină		RNA lunar		Sumă <i>S<sub>specific</sub></i>	Clasa- ment	Medie clasament	Clasament final
		<i>S<sub>specific</sub></i>	Clasament	<i>S<sub>specific</sub></i>	Clasament				
1	Victoria, joi, 9	151	9	22.3	13	173.3	9	10.33	8
2	Victoria, joi, 21	116	4	3.2	1	119.2	3	2.67	1
3	Victoria, ma, 9	271	22	95.3	25	366.3	23	23.33	24
4	Victoria, ma, 21	240	19	16.5	9	256.5	17	15.00	16
5	Victoria, mi, 9	128	7	12.8	8	140.8	6	7.00	6
6	Victoria, mi, 21	84.9	2	26.3	14	111.2	2	6.00	4
7	Cetate, joi, 9	327	24	6.6	2	333.6	21	15.67	17
8	Cetate, joi, 21	80.1	1	20.1	11	100.2	1	4.33	2
9	Cetate, ma, 9	487	29	290	30	777	30	29.67	30
10	Cetate, ma, 21	195	11	42.3	18	237.3	14	14.33	15
11	Cetate, mi, 9	234	18	34.3	16	268.3	18	17.33	19
12	Cetate, mi, 21	124	6	12.5	7	136.5	5	6.00	5
13	Pădurea V, joi, 9	443	27	8.0	3	451	25	18.33	20
14	Pădurea V, joi, 21	267	21	27.5	15	294.5	20	18.67	21
15	Pădurea V, ma, 9	366	25	172	29	538	28	27.33	29
16	Pădurea V, ma, 21	310	23	116	26	426	24	24.33	25
17	Pădurea V, mi, 9	388	26	132	28	520	27	27.00	27
18	Pădurea V, mi, 21	233	17	128	27	361	22	22.00	23
19	Sănnicolau, joi, 9	242	20	52.3	21	294.3	19	20.00	22
20	Sănnicolau, joi, 21	116	5	12.1	6	128.1	4	5.00	3
21	Sănnicolau, ma, 9	170	10	46.7	20	216.7	10	13.33	13
22	Sănnicolau, ma, 21	221	15	11.6	5	232.6	13	11.00	10
23	Sănnicolau, mi, 9	212	14	42.8	19	254.8	16	16.33	18
24	Sănnicolau, mi, 21	114	3	52.5	22	166.5	7	10.67	9
25	Lugoj, joi, 9	600	30	69.3	23	669.3	29	27.33	28
26	Lugoj, joi, 21	201	12	20.8	12	221.8	12	12.00	12
27	Lugoj, ma, 9	444	28	71.4	24	515.4	26	26.00	26
28	Lugoj, ma, 21	132	8	35.5	17	167.5	8	11.00	11
29	Lugoj, mi, 9	226	16	16.7	10	242.7	15	13.67	14
30	Lugoj, mi, 21	211	13	8.6	4	219.6	11	9.33	7

În tabelul 7.4.23 s-au reunit clasamentele din tabelele și 7.4.7 și 7.4.9.

Tabelul 7.4.23. Comparare clasamente

Nr. crt.	Stația, ziua, ora	Indici caracteristici				Indici specifici de performanță			
		<i>IC<sub>ar</sub></i>	<i>IC<sub>lr</sub></i>	Sumă	Final	RNA c.s.	RNA lunar	Sumă	Final
1	Victoria, joi, 9	12	10	11	11	9	13	9	8
2	Victoria, joi, 21	6	7	5	5	4	1	3	1
3	Victoria, ma, 9	22	16	19	19	22	25	23	24
4	Victoria, ma, 21	15	21	18	17	19	9	17	16
5	Victoria, mi, 9	13	3	9	7	7	8	6	6
6	Victoria, mi, 21	2	1	1	1	2	14	2	4
7	Cetate, joi, 9	27	18	24	23	24	2	21	17
8	Cetate, joi, 21	4	4	2	2	1	11	1	2
9	Cetate, ma, 9	29	24	29	27	29	30	30	30
10	Cetate, ma, 21	1	19	14	12	11	18	14	15
11	Cetate, mi, 9	24	17	20	20	18	16	18	19
12	Cetate, mi, 21	5	14	7	8	6	7	5	5
13	Pădurea V, joi, 9	18	29	26	25	27	3	25	20
14	Pădurea V, joi, 21	8	20	16	15	21	15	20	21
15	Pădurea V, ma, 9	26	30	28	29	25	29	28	29
16	Pădurea V, ma, 21	16	27	22	22	23	26	24	25
17	Pădurea V, mi, 9	28	28	27	28	26	28	27	27
18	Pădurea V, mi, 21	20	26	23	24	17	27	22	23

Nr. crt.	Stația, ziua, ora	Indici caracteristici				Indici specifici de performanță			
		$IC_{ar}$	$IC_{lr}$	Sumă	Final	RNA c.s.	RNA lunar	Sumă	Final
19	Sănnicolau, joi, 9	19	22	21	21	20	21	19	22
20	Sănnicolau, joi, 21	3	5	3	3	5	6	4	3
21	Sănnicolau, ma, 9	14	6	10	10	10	20	10	13
22	Sănnicolau, ma, 21	17	11	13	14	15	5	13	10
23	Sănnicolau, mi, 9	23	15	17	18	14	19	16	18
24	Sănnicolau, mi, 21	7	13	8	9	3	22	7	9
25	Lugoj, joi, 9	30	25	30	30	30	23	29	28
26	Lugoj, joi, 21	10	8	6	6	12	12	12	12
27	Lugoj, ma, 9	25	23	25	26	28	24	26	26
28	Lugoj, ma, 21	9	2	4	4	8	17	8	11
29	Lugoj, mi, 9	21	9	15	16	16	10	15	14
30	Lugoj, mi, 21	11	12	12	13	13	4	11	7

În tabelul 7.4.24 s-a realizat o ierarhizare pe baza acordării unor note calculate cu relația 7.4.13.

Tabelul 7.4.24. Comparație note

Nr. crt.	Stația, ziua, ora	Indici caracteristici					Indici specifici de performanță				
		$IC_{ar}$	$IC_{lr}$	Sumă	Medie	Clasament	RNA c.s.	RNA lunar	Sumă	Medie	Clasament
1	Victoria, joi, 9	8.55	8.50	8.26	8.44	11	8.64	9.33	8.92	8.96	7
2	Victoria, joi, 21	9.30	8.94	8.98	9.07	5	9.31	10.00	9.72	9.68	2
3	Victoria, ma, 9	6.25	7.67	6.32	6.74	18	6.33	6.79	6.07	6.40	22
4	Victoria, ma, 21	8.09	5.73	6.39	6.74	19	6.92	9.54	7.69	8.05	16
5	Victoria, mi, 9	8.16	9.38	8.51	8.68	9	9.08	9.67	9.40	9.38	6
6	Victoria, mi, 21	9.96	10.00	10.00	9.99	1	9.91	9.19	9.84	9.65	3
7	Cetate, joi, 9	3.71	6.39	3.98	4.69	24	5.25	9.88	6.55	7.23	21
8	Cetate, joi, 21	9.49	9.34	9.33	9.39	2	10.00	9.41	10.00	9.80	1
9	Cetate, ma, 9	1.02	3.79	0.80	1.87	28	2.17	0.00	0.00	0.72	30
10	Cetate, ma, 21	10.00	5.73	7.61	7.78	14	7.79	8.64	7.97	8.13	15
11	Cetate, mi, 9	5.31	7.14	5.42	5.96	20	7.04	8.92	7.52	7.82	18
12	Cetate, mi, 21	9.45	8.15	8.63	8.74	7	9.16	9.68	9.46	9.43	5
13	Pădurea V, joi, 9	7.19	1.32	3.33	3.95	26	3.02	9.83	4.82	5.89	24
14	Pădurea V, joi, 21	9.26	5.73	7.14	7.37	16	6.41	9.15	7.13	7.56	19
15	Pădurea V, ma, 9	4.45	0.00	0.85	1.77	29	4.50	4.11	3.53	4.05	28
16	Pădurea V, ma, 21	7.89	2.64	4.53	5.02	22	5.58	6.07	5.19	5.61	25
17	Pădurea V, mi, 9	3.13	2.20	1.24	2.19	27	4.08	5.51	3.80	4.46	27
18	Pădurea V, mi, 21	6.60	3.48	4.18	4.75	23	7.06	5.65	6.15	6.28	23
19	Sănnicolau, joi, 9	6.72	4.41	4.78	5.30	21	6.89	8.29	7.13	7.44	20
20	Sănnicolau, joi, 21	9.69	9.07	9.30	9.36	3	9.31	9.69	9.59	9.53	4
21	Sănnicolau, ma, 9	8.13	8.99	8.26	8.46	10	8.27	8.48	8.28	8.34	13
22	Sănnicolau, ma, 21	7.89	8.41	7.79	8.03	13	7.29	9.71	8.04	8.35	12
23	Sănnicolau, mi, 9	6.25	7.97	6.49	6.91	17	7.46	8.62	7.72	7.93	17
24	Sănnicolau, mi, 21	9.30	8.24	8.58	8.71	8	9.35	8.28	9.02	8.88	9
25	Lugoj, joi, 9	0.00	3.52	0.00	1.17	30	0.00	7.70	1.59	3.10	29
26	Lugoj, joi, 21	8.95	8.90	8.73	8.86	6	7.67	9.39	8.20	8.42	11
27	Lugoj, ma, 9	5.16	3.96	3.53	4.22	25	3.00	7.62	3.87	4.83	26
28	Lugoj, ma, 21	9.06	9.60	9.20	9.29	4	9.00	8.87	9.01	8.96	8
29	Lugoj, mi, 9	6.56	8.90	7.21	7.56	15	7.19	9.53	7.89	8.21	14
30	Lugoj, mi, 21	8.75	8.28	8.26	8.43	12	7.48	9.81	8.24	8.51	10

În scopul comparării calității prognozelor cu valorile indicilor caracteristici calculați pe baza diferențelor finite, în tabelele 7.4.25 și 7.4.26 s-au comparat clasamentele realizate mai sus. Tabelul 7.4.25 utilizează suma indicilor (anual și lunar), iar tabelul 7.4.26 – separat indicii anuali și lunari. În ceea ce privește indicii de performanță pentru prognoze, s-au utilizat cei pentru RNA curbă de sarcină și RNA orar (împreună, respectiv separat).

Tabelul 7.4.25. Analiza corelării calității prognozei cu indicii de caracteristici (anual + lunar)

Nr. crt.	Stația, ziua, ora	Loc clasament indici caracteristici	Loc clasament indici de performanță	Diferență (valoare absolută)	Loc clasament note indici caracteristici	Loc clasament note indici de performanță	Diferență (valoare absolută)	Loc clasament note indici caracteristici	Loc clasament indici de performanță RNA CS	Diferență (valoare absolută)	Loc clasament note indici caracteristici	Loc clasament indici de performanță RNA lunar	Diferență (valoare absolută)
1	Victoria, joi, 9	11	8	3	11	7	4	11	9	2	11	13	2
2	Victoria, joi, 21	5	1	4	5	2	3	5	4	1	5	1	3
3	Victoria, ma, 9	19	24	5	18	22	4	18	22	4	18	25	7
4	Victoria, ma, 21	17	16	1	19	16	3	19	19	0	19	9	10
5	Victoria, mi, 9	7	6	1	9	6	3	9	7	2	9	8	1
6	Victoria, mi, 21	1	4	3	1	3	2	1	2	1	1	14	13
7	Cetate, joi, 9	23	17	6	24	21	3	24	24	0	24	2	22
8	Cetate, joi, 21	2	2	0	2	1	1	2	1	1	2	11	9
9	Cetate, ma, 9	27	30	3	28	30	2	28	29	1	28	30	2
10	Cetate, ma, 21	12	15	3	14	15	1	14	11	3	14	18	5
11	Cetate, mi, 9	20	19	1	20	18	2	20	18	2	20	16	4
12	Cetate, mi, 21	8	5	3	7	5	2	7	6	1	7	7	0
13	Pădurea V, joi, 9	25	20	5	26	24	2	26	27	1	26	3	23
14	Pădurea V, joi, 21	15	21	6	16	19	3	16	21	5	16	15	1
15	Pădurea V, ma, 9	29	29	0	29	28	1	29	25	4	29	29	0
16	Pădurea V, ma, 21	22	25	3	22	25	3	22	23	1	22	26	4
17	Pădurea V, mi, 9	28	27	1	27	27	0	27	26	1	27	28	1
18	Pădurea V, mi, 21	24	23	1	23	23	0	23	17	6	23	27	4
19	Sânnicolau, joi, 9	21	22	1	21	20	1	21	20	1	21	21	0
20	Sânnicolau, joi, 21	3	3	0	3	4	1	3	5	2	3	6	3
21	Sânnicolau, ma, 9	10	13	3	10	13	3	10	10	0	10	20	10
22	Sânnicolau, ma, 21	14	10	4	13	12	1	13	15	2	13	5	8
23	Sânnicolau, mi, 9	18	18	0	17	17	1	17	14	3	17	19	2
24	Sânnicolau, mi, 21	9	9	0	8	9	1	8	3	5	8	22	14
25	Lugoj, joi, 9	30	28	2	30	29	1	30	30	0	30	23	7
26	Lugoj, joi, 21	6	12	6	6	11	5	6	12	6	6	12	6
27	Lugoj, ma, 9	26	26	0	25	26	1	25	28	3	25	24	1
28	Lugoj, ma, 21	4	11	7	4	8	4	4	8	4	4	17	13
29	Lugoj, mi, 9	16	14	2	15	14	1	15	16	1	15	10	5
30	Lugoj, mi, 21	13	7	6	12	10	2	12	13	1	12	4	8
		Suma	80		Suma	61		Suma	64		Suma	188	

Tabelul 7.4.26. Analiza corelării calității prognozei cu indicii de caracteristici (anual, lunar)

Nr. crt.	Stația, ziua, ora	Loc clasament indici caracteristici anuali	Loc clasament indici de performanță RNA CS	Diferență (valoare absolută)	Loc clasament indici caracteristici anuali	Loc clasament indici de performanță RNA lunar	Diferență (valoare absolută)	Loc clasament indici caracteristici lunari	Loc clasament indici de performanță RNA CS	Diferență (valoare absolută)	Loc clasament indici caracteristici lunari	Loc clasament indici de performanță RNA lunar	Diferență (valoare absolută)
1	Victoria, joi, 9	12	9	3	12	13	1	10	9	1	10	13	3
2	Victoria, joi, 21	6	4	2	6	1	5	7	4	3	7	1	6
3	Victoria, ma, 9	22	22	0	22	25	3	16	22	6	16	25	9
4	Victoria, ma, 21	15	19	4	15	9	6	21	19	2	21	9	12
5	Victoria, mi, 9	13	7	6	13	8	5	3	7	4	3	8	5
6	Victoria, mi, 21	2	2	0	2	14	12	1	2	1	1	14	13
7	Cetate, joi, 9	27	24	3	27	2	25	18	24	6	18	2	16
8	Cetate, joi, 21	4	1	3	4	11	7	4	1	3	4	11	7

Nr. crt.	Stația, ziua, ora	Anual			Lunar			Anual			Lunar		
		Loc clasament indici caracteristici anuali	Loc clasament indici de performanță RNA CS	Diferență (valoare absolută)	Loc clasament indici caracteristici anuali	Loc clasament indici de performanță RNA lunar	Diferență (valoare absolută)	Loc clasament indici caracteristici lunari	Loc clasament indici de performanță RNA CS	Diferență (valoare absolută)	Loc clasament indici caracteristici lunari	Loc clasament indici de performanță RNA lunar	Diferență (valoare absolută)
9	Cetate, ma, 9	29	29	0	29	30	1	24	29	5	24	30	6
10	Cetate, ma, 21	1	11	10	1	18	17	19	11	7	19	18	1
11	Cetate, mi, 9	24	18	6	24	16	8	17	18	1	17	16	1
12	Cetate, mi, 21	5	6	1	5	7	2	14	6	8	14	7	7
13	Pădurea V, joi, 9	18	27	9	18	3	15	29	27	2	29	3	26
14	Pădurea V, joi, 21	8	21	13	8	15	7	20	21	1	20	15	5
15	Pădurea V, ma, 9	26	25	1	26	29	3	30	25	5	30	29	1
16	Pădurea V, ma, 21	16	23	7	16	26	10	27	23	4	27	26	1
17	Pădurea V, mi, 9	28	26	2	28	28	0	28	26	2	28	28	0
18	Pădurea V, mi, 21	20	17	3	20	27	7	26	17	9	26	27	1
19	Sănnicolau, joi, 9	19	20	1	19	21	2	22	20	2	22	21	1
20	Sănnicolau, joi, 21	3	5	2	3	6	3	5	5	0	5	6	1
21	Sănnicolau, ma, 9	14	10	4	14	20	6	6	10	4	6	20	14
22	Sănnicolau, ma, 21	17	15	2	17	5	12	11	15	4	11	5	6
23	Sănnicolau, mi, 9	23	14	9	23	19	4	15	14	1	15	19	4
24	Sănnicolau, mi, 21	7	3	4	7	22	15	13	3	10	13	22	9
25	Lugoj, joi, 9	30	30	0	30	23	7	25	30	5	25	23	3
26	Lugoj, joi, 21	10	12	2	10	12	2	8	12	4	8	12	5
27	Lugoj, ma, 9	25	28	3	25	24	1	23	28	5	23	24	1
28	Lugoj, ma, 21	9	8	1	9	17	8	2	8	6	2	17	15
29	Lugoj, mi, 9	21	16	5	21	10	11	9	16	7	9	10	1
30	Lugoj, mi, 21	11	13	2	11	4	7	12	13	1	12	4	8
	Suma	108			Suma	212		Suma	119		Suma	188	

Analiza rezultatelor prezentate permite formularea următoarelor concluzii:

- așa cum era de așteptat pe baza rezultatelor din subcapitolul 7.2, datorită gradului de corelare mult mai redus a datelor de consum (curbelor de sarcină), situația nu mai este atât de univocă (comparativ cu UTR);
- clasamentele absolute și comparative (tabelele 7.4.14 - 7.4.18) evidențiază clar existența unei corespondențe (corelări) între valorile indicilor specifici de performanță ai prognozelor și cele ale indicilor pătratici globali caracteristici (obținuți pe baza calculului diferențelor finite anuale și lunare);
- primele două comparații din tabelul 7.4.17 arată o corespondență acceptabilă spre bună între calitatea prognozei și indicii caracteristici calculați cu diferențe finite (gradul de corespondență se poate urmări atât pe baza diferenței dintre locurile ocupate în clasament, cât și pe baza sumei valorilor absolute ale acestor diferențe – ultima linie a tabelului);
- gradul de corelare cel mai bun a rezultat la compararea clasamentelor obținute pe baza notelor (a doua comparație din tabelul 7.4.17), suma valorilor absolute ale diferențelor dintre locurile ocupate în clasament fiind 61 (față de 80 la prima comparație);
- cifra de 61 înseamnă de fapt o diferență medie de 2 locuri într-un clasament cu 30 de locuri (suplimentar, se observă că există 1 diferență de 5 locuri, 3 de 4 locuri, 7 de 3 locuri, 6 de 2 locuri, 11 de 1 loc și 2 coincidențe de loc);
- ultimele două comparații din tabelul 7.4.17 arată un grad de corelare mult mai mare între calitatea prognozelor obținute cu RNA folosind curbele de sarcină față de cele obținute cu RNA folosind consumurile lunare (64 față de 188);

- cele 4 comparații din tabelul 7.4.18, unde în loc de însumarea indicilor caracteristici s-au utilizat separat indici anuali și cei lunari, întăresc concluzia de mai sus, cu observația că totuși este recomandată folosirea sumei indicilor.

În final se apreciază că ceea ce s-a menționat la finele paragrafului precedent (referitor la UTR) rămâne valabil (cu nuanțările precizate mai sus): indicii de calitate determinați pe baza diferențelor finite pot ajuta foarte bine la previzionarea calității prognozelor.

## 7.5. Concluzii

Capitolului 7 constituie principala parte aplicativă a lucrării. În acest capitol se prezintă rezultatele obținute privind prognoza curbelor de sarcină utilizând rețele neuronale artificiale. Analizele efectuate au pornit de la cazuri simple și baze de date test, utilizate pentru validarea metodelor propuse și pentru "calibrarea" instrumentelor soft, ca apoi să se treacă la situații reale, vizând principalii operatori de distribuție din România: Enel, Electrica, CEZ etc.

Pentru acest capitol, din motive de spațiu, s-au selectat doar două baze de date test și o serie de studii de caz referitoare la Enel Distribuție Banat. O bună parte din rezultatele obținute pentru alte sisteme de distribuție a energiei electrice au fost utilizate în cadrul unor contracte derulate în ultimii 3 ani prin Centrul de Cercetare pentru Analiza și Optimizarea Regimurilor SEE din cadrul Universității Politehnica din Timișoara, beneficiarii fiind operatori de distribuție de România (Enel Distribuție Banat, Electrica Muntenia Nord, Enel Distribuție Dobrogea) și o serie de agenți economici cu preocupări domeniul implementării resurselor regenerabile de energie.

Prima parte a capitolului se referă atât la ansamblul Enel Distribuție Banat cât și la principalele unități teritoriale rețea (UTR) componente: UTR Timișoara, UTR Arad, UTR Deva și UTR Reșița. A doua parte este dedicată stațiilor de transformare de 110 kV / m.t. din cadrul UTR Timișoara. Au fost selectate pentru prezentare în detaliu 5 stații semnificative de 110 / 20 kV: Victoria, Cetate, Pădurea Verde, Sânnicolau Mare și Lugoj. În ultima parte se analizează posibilitatea cuantificării gradului de corelare a curbelor de sarcină și influența asupra calității prognozelor obținute. Se utilizează și două baze de date test (curbe de sarcină test), elaborate în acest scop.

La finele fiecărui subcapitol sunt formulate o serie de comentarii și concluzii, cu caracter particular sau mai general, atât legat de rezultatele concrete ale prognozelor cât și de RNA utilizate.

În continuare se prezintă o sinteză a contribuțiilor personale, în contextul în care capitolul este în întregime original, reprezentând principala parte aplicativă a tezei:

- realizarea unei baze de date cuprinzătoare cuprinzând consumurile de energie electrică (putere) la nivelul Enel Distribuție Banat, a UTR componente și a stațiilor electrice de 110 kV / m.t.;
- elaborarea unor curbe de sarcină test pentru validarea metodelor propuse și a instrumentelor soft aferente, de utilitate generală;
- implementarea și testarea unei tehnici originale de analiză a datelor de consum, în scopul formulării unui prognostic privind calitatea așteptată a prognozei;
- realizarea unor studii extinse de prognoză pentru Enel Distribuție Banat și pentru alți operatori de distribuție și agenți economici;
- formularea unor concluzii practice utile operatorilor de distribuție și operatorului național de transport și de sistem (C.N.T.E.E. Transelectrica S.A.), atât în ceea ce privește metodologia de efectuare a prognozelor și instrumentele soft necesare cât și rezultatele obținute pentru cazurile concrete analizate.

## 8. CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII PERSONALE

Acest ultim capitol sintetizează o serie de concluzii generale rezultate în urma elaborării tezei de doctorat, contribuțiile originale aduse în cadrul tezei, modul de valorificare a rezultatelor obținute și direcțiile posibile de continuare și aprofundare a cercetărilor în domeniul abordat.

Elementele teoretice și practice prezentate în cadrul tezei de doctorat evidențiază următoarele concluzii și comentarii cu caracter mai general:

- Pe baza analizei evoluției sectorului energetic și al SEE, cu referire și la sistemul electroenergetic al României se pot afirma următoarele:
  - evoluția sectorului energetic, în general, și a sistemelor electroenergetice, în particular, prezintă o serie de particularități complexe. Asigurarea securității cu energie "curată", ținând cont de influența puternică a sectorului energetic asupra altor sectoare, de limitarea schimbărilor climatice, escaladarea cererii globale de energie și de viitorul nesigur al accesului la resursele energetice devine provocarea majoră pentru Uniunea Europeană;
  - necesitatea dezvoltării unui sistem energetic puternic și fiabil care să fie în concordanță cu problemele de mediu și care să asigure accesul consumatorilor la sursele de energie la prețuri accesibile, siguranță în alimentare și face față cererii de energie electrică în continuă creștere, reprezintă cerințele minime ale secolului XXI;
  - prognoza consumului de energie electrică constituie o preocupare extrem de importantă, atât în contextul planificării dezvoltării rețelei de transport și a celei de distribuție a energiei electrice cât și în cel al existenței unei piețe complet liberalizate a energiei, atât la nivelul Uniunii Europene, cât și al României;
  - datele privind evoluția consumului acoperă o plajă largă de valori prognozate, cu diferențe sensibil mari între valorile "pesimiste" și cele "optimiste". De asemenea, în cazul noilor capacități "verzi" de producere a energiei electrice, unele sunt mai realiste, altele ușor "fanteziste".
- Elaborarea modelului matematic destinat prognozei consumului de energie (putere) electrică și a curbelor sarcină și utilizarea lui a condus la următoarele concluzii:
  - s-a realizat un model matematic eficient al prognozei consumului de energie electrică și al curbelor de sarcină, utilizând rețele neuronale artificiale de tip perceptron multistrat, cu algoritmul backpropagation;
  - gradul slab de corelare a datelor de prognoză poate pune probleme foarte serioase în privința gradului de credibilitate a rezultatelor obținute;
  - este extrem de importantă testarea metodelor elaborate pentru un număr foarte mare de aplicații practice, rezultând o serie de concluzii privind posibilitățile de îmbunătățire;
  - din punctul de vedere al convergenței tehnicilor de calcul iterativ și al acurateții rezultatelor obținute, completarea modelului RNA cu o serie de tehnici de optimizare neliniară este binevenită;

- este absolut necesară o analiză atentă a datelor de consum disponibile, pentru eliminarea unor informații clar eronate. Mai mult, este de dorit să se știe de la bun început, pe baza analizei datelor existente, care pot fi așteptările legate de calitatea prognozelor elaborate.
- Din punct de vedere al instrumentelor soft dezvoltate pentru scopul propus, se pot evidenția următoarele concluzii:
- în literatura de specialitate se remarcă o mare diversitate de preocupări legate de prognoza consumului, pe termen scurt mediu și lung;
  - o atenție aparte se acordă utilizării tehnicilor de inteligență artificială și abordării fuzzy, utilizându-se instrumente soft corespunzătoare;
  - în condițiile actuale ale performanțelor sistemelor de calcul și a mediilor de programare implementarea modelului pentru soluționarea tuturor aspectelor legate de prognoză trebuie să devină o practică comună;
  - majoritatea instrumentelor soft utilizează pachete de programe standard, de regulă de utilitate mai generală, fără a ține cont întotdeauna de elementele specifice prognozei consumului de energie electrică;
  - în teza cadrului tezei de doctorat s-a preferat elaborarea unor instrumente soft proprii, care să permită optimizarea performanțelor RNA utilizate pentru cazul particular al prognozei consumului de energie.
- În continuare se prezintă sinteza principalelor contribuții originale, teoretice și aplicative, cuprinse în cadrul tezei de doctorat.
- Obiectivul capitolului 2 constă în realizarea unei sinteze privind stadiul actual și perspectivele evoluției sectorului energetic, în general, și a sistemelor electro-energetice, în particular, o atenție specială fiind acordată consumului și producerii de energie electrică. Se evidențiază următoarele contribuții:
- realizarea unei sinteze documentate, în viziunea proprie a autorului, asupra stadiului actual al evoluției sectorului energetic, al pieței de energie și al SEE;
  - prezentarea, într-o manieră sintetică, a unei game largi de aspecte legate de situația actuală și evoluția viitoare a SEN, de evoluția pieței de energie electrică din România, sursele de informații fiind cele "oficiale", furnizate în mare parte de guvern, ministerul de resort, ANRE, companiile de transport și de distribuție;
  - prezentarea sistematizată a evoluției cadrului legal actual în domeniu, în concordanță cu legislația comunitară corespunzătoare;
  - evidențierea necesității unei atenții sporite acordate activității de prognoză a consumului (și a producerii), în contextul unor evoluții de multe ori contradictorii (înregistrarea unor perioade de scădere, urmate de creștere).
- Obiectivul capitolului 3 constă în prezentarea sistematizată a aspectelor generale legate de prognoza consumului de energie electrică (putere de vârf sau orară, energie consumată, curbe de sarcină etc.) și a metodelor utilizate în activitatea de prognoză. Contribuțiile aduse sunt următoarele:
- realizarea unei sinteze documentate, în viziune proprie, bazată pe un amplu studiu bibliografic, a metodelor utilizate pentru prognoza consumului de energie electrică (putere de vârf sau orară, energie consumată, curbe de sarcină etc.), atât cele care la ora actuală pot fi considerate "clasice" (bazate pe modelarea matematică, cât și cele "moderne", utilizând tehnici de inteligență artificială, logică fuzzy, sisteme expert, "support vector machine" (SVM) etc.;
  - prezentarea aspectelor caracteristice abordărilor actuale, în condițiile pieței libere a energiei electrice, a dereglementării și a pătrunderii pe scară largă a surselor regenerabile de energie;



- focalizarea unei atenții speciale asupra metodelor de soluționare bazate pe tehnici de inteligență artificială;
  - pregătirea elementelor pentru capitolele următoare, care se referă la metodele concrete utilizate în lucrare și la studiile de caz realizate.
- Capitolul 4 are ca obiect prezentarea rețelelor neuronale artificiale. O atenție specială se acordă rețelelor neuronale de tip perceptron, cu un singur strat și cu mai multe straturi, împreună cu algoritmi de antrenare de tip backpropagation. Pot fi enumerate următoarele contribuții:
- realizarea unei sinteze originale asupra unei game largi de aspecte legate de rețelele neuronale artificiale;
  - pregătirea elementelor teoretice necesare pentru modelul de prognoză utilizat în cadrul tezei: RNA cu structură perceptron multistrat, algoritm de învățare de tip backpropagation;
  - evidențierea parametrilor "reglabili" ai perceptronului cu mai multe straturi, în vederea sporirii performanțelor de aplicare în problema prognozei consumului de energie electrică.
- Capitolul 5 are ca obiectiv prezentarea sintetică a metodelor numerice și a tehnicilor de optimizare utilizate la elaborarea modelului matematic și a metodei de soluționare a prognozei consumului de energie electrică (a curbelor de sarcină) folosind tehnici de inteligență artificială: procedee de optimizare neliniară utilizate la ameliorarea performanțelor rețelelor neuronale, metode de interpolare polinomială a funcțiilor, diferențe finite, utilizate la prognosticarea calității prognozei curbelor de sarcină în funcție de datele existente, procedee de aproximare polinomială bazate pe metoda celor mai mici pătrate. Contribuțiile aduse sunt următoarele:
- realizarea prezentării sintetice a metodelor numerice și a tehnicilor de optimizare necesare pentru elaborarea și soluționarea modelului matematic al problemei studiate, prezentat în capitolul următor;
  - alegerea celor mai potrivite metode și tehnici pentru scopul propus;
  - adaptarea metodelor numerice și tehnicilor de optimizare discutate în acest capitol pentru a fi utilizate la elaborarea și soluționarea modelului matematic aferent prognozei consumului de energie electrică (curbelor de sarcină).
- Capitolul 6 are ca obiectiv prezentarea modelului matematic al metodelor utilizate efectiv în lucrare pentru prognoza consumului de energie electrică (putere) și a curbelor de sarcină: metoda care utilizează RNA de tip perceptron cu mai multe straturi, cu algoritm de tip backpropagation; tehnici de regresie clasice, cu metoda celor mai mici pătrate. În final se prezintă un instrument de analiză (estimare) a calității prognozelor pentru curbele de sarcină în funcție de calitatea datelor cunoscute, realizat pe baza diferențelor finite. Se evidențiază următoarele contribuții:
- adaptarea și utilizarea unei RNA de tip perceptron cu mai multe straturi, împreună cu un algoritm backpropagation, pentru prognoza curbelor de sarcină și a puterii (energiei) consumate;
  - implementarea unor tehnici de optimizare neliniară, în scopul evitării blocării soluției într-un minim local, și a unor metode de tratare a altor situații speciale care pot să apară în derularea calculelor;
  - elaborarea unei metode de analiză (estimare) a calității prognozelor pentru curbele de sarcină în funcție de calitatea datelor cunoscute (gradul de corelare) pentru o anumită perioadă trecută (un anumit număr de ani), având la bază metoda diferențelor finite, cu ajutorul căreia se determină o serie de indici globali caracteristici;
  - realizarea unui instrument soft performant, cu multiple posibilități de utilizare pentru prognoza curbelor de sarcină, a consumului de energie electrică (putere).

- Capitolul 7 este în întregime original, constituind principala parte aplicativă a tezei. Prima parte a capitolului se referă atât la ansamblul Enel Distribuție Banat cât și la principalele UTR componente: Timișoara, Arad, Deva și Reșița. A doua parte este dedicată stațiilor de transformare de 110 kV / m.t. din cadrul UTR Timișoara. Au fost selectate pentru prezentare în detaliu 5 stații semnificative de 110 / 20 kV: Victoria, Cetate, Pădurea Verde, Sânnicolau Mare și Lugoj. În ultima parte se analizează posibilitatea cuantificării gradului de corelare a curbelor de sarcină și influența asupra calității prognozelor. Se pot evidenția următoarele contribuții:
- realizarea unei baze de date cuprinzătoare cuprinzând consumurile de energie electrică (putere) la nivelul Enel Distribuție Banat, a UTR componente și a stațiilor electrice de 110 kV / m.t.;
  - elaborarea unor curbe de sarcină test pentru validarea metodelor propuse și a instrumentelor soft aferente, de utilitate generală;
  - implementarea și testarea unei tehnici originale de analiză a datelor de consum, în scopul formulării unui prognostic privind calitatea așteptată a prognozei;
  - realizarea unor studii extinse de prognoză pentru Enel Distribuție Banat și pentru alți operatori de distribuție și agenți economici;
  - formularea unor concluzii practice utile operatorilor de distribuție și operatorului național de transport și de sistem (C.N.T.E.E. Transelectrica S.A.), atât în ceea ce privește metodologia de efectuare a prognozelor și instrumentele soft necesare cât și rezultatele obținute pentru cazurile concrete analizate.

Rezultatele obținute au fost și vor fi valorificate în cadrul unor contracte de cercetare științifică încheiate între Universitatea Politehnică Timișoara, Centrul de Cercetare pentru Analiza și Optimizarea Regimurilor SEE, și Operatorul Național de Transport și de Sistem, C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., operatorii de distribuție (Enel, Electrica, CEZ, Eon) și o serie de agenți economici care se ocupă de implementarea în sistem a resurselor regenerabile de energie. Contractele derulate și finalizate sunt prezentate în lista lucrărilor proprii de la finele tezei ( [UPT2013a], [UPT2013b], [UPT2013c], [UPT2013d], [UPT2013e], [UPT2013f], [UPT2014a], [UPT2014b], [UPT2014c], [UPT2014d], [UPT2014e]).

De asemenea, o parte a rezultatelor obținute în cadrul tezei au fost publicate și sunt în curs de publicare: 9 lucrări publicate până la ora actuală, 2 lucrări în curs de publicare, 2 referate științifice și un număr mare de contracte de cercetare. Așa cum rezultă din lista lucrărilor proprii de la finele tezei de doctorat, 4 au fost publicate în țară și 5 în străinătate. Se remarcă faptul că 2 lucrări sunt indexate ISI (o revistă și un volum de conferință), 5 lucrări sunt indexate în BDI – Scopus, Compendex, Inspec, IEEE Explore etc. (dintre care 2 și în curs de indexare ISI) și 2 acceptate la conferințe indexate ISI (septembrie 2015).

Analizele teoretice și practice realizate în cadrul tezei de doctorat, precum și rezultatele obținute, deschid o serie de perspective și direcții de continuare și aprofundare ulterioară a cercetărilor în domeniul prognozei consumului de energie electrică și a curbelor de sarcină:

- rafinarea metodelor de soluționare bazate pe RNA, în scopul creșterii eficienței și ameliorării performanțelor acestora;
- implementarea unor alte clase de metode de soluționare bazate pe tehnici de inteligență artificială și logică fuzzy;
- elaborarea unor metode care să elimine sau să corecteze unele date evident eronate în istoricul consumului;
- introducerea în modelul matematic a unor factori suplimentari, pe lângă evoluția în timp a consumului: condițiile meteo, elemente legate de dezvoltarea economică, influența producerii distribuite etc.

## BIBLIOGRAFIE

1. [AlFuhaid1997] AlFuhaid A.S., El-Sayed M.A., Mahmoud M.S., Cascaded Artificial Neural Networks for Short-Term Load Forecasting, IEEE Transactions on Power Systems, vol.12, no.4, November 1997, pp.1524-1529
2. [AlHamadi2005] Al-Hamadi H.M., Soliman S.A., Long-term/mid-term electric load forecasting based on short-term correlation and annual growth, Elsevier Science Direct Electric Power Systems Research, 2005, pp.353-361
3. [AlRashidi2010] AlRashidi M.R., El-Naggar K.M., Long term electric load forecasting based on particle swarm optimization, Elsevier ScienceDirect Applied Energy, 2010, pp.320-326
4. [Amjady2008] Amjady N., Keynia F., Mid-term load forecasting of power systems by a new prediction method, Elsevier ScienceDirect Energy Conversion and Management, 2008, pp.2678-2687
5. [Anastasiu2012] Anastasiu M., Milandru A., Vintea A., Smart Regions, Foaie de parcurs pentru servicii de contorizare inteligentă și consumul final pentru România, 2012
6. [ANRE2012] Contoare inteligente în România, ANRE, Septembrie 2012, <http://www.anre.ro/ro/energie-electrica/legislatie/smart-metering>
7. [ANRE2014] Raport privind rezultatele monitorizării pieței de energie electrică în luna ianuarie 2014, Autoritatea Națională de reglementare în domeniul energiei, ANRE, 2014
8. [Areekul2010] Areekul P., Senjyu T., Urasaki N., Yona A., Nest Day Price Forecast in Deregulated Market by Combination of Artificial Neural Network and ARIMA Time Series Models, IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 2010, pp.1451-1456
9. [Arroyo2005] Arroyo D., Skov K., Moraten B., Huynh Q., Accurate Electricity Load Forecasting with Artificial Neural Networks, IEEE International Conference on Computational Intelligence for Modelling, 2005, pp.94-99
10. [Badri2012] Badri A., Ameli Z., Birjandi A., Motie B., Application of Artificial Neural Networks and Fuzzy logic Methods for Short Term Load Forecasting, Elsevier SciVerse ScienceDirect, Energy Procedia, 2012, pp.1883-1888
11. [Bakirtzis1996] Bakirtzis A.G., Petrakis V., Klartzis S.J., Alexiadis M.C., Malssis A.H., A Neural Network Short Term Load Forecasting Model For the Greek Power System, IEEE Transaction on Power System, vol.11, no.2, May 1996, pp.858-863
12. [Bărbulescu2013] Bărbulescu C., Kilyeni Șt., Simo A., Pop O., Oros C., Șchiopu R., Deacu A., ANN techniques for power consumption forecasting, Proceedings of the IEEE International Conference PowerTech 2013, Grenoble, France, 2013, pp.1-6
13. [Bolturk2012] Bolturk E., Oztay B., Sari I.U., Electricity Consumption Forecasting Using Fuzzy, Time Series, 13<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, Budapest, Hungary, 2012, pp. 245-249
14. [Brenden2009] Rubyna K., Brenden, Wajeeh H., Ganesh S., Sony K., Wind Energy Roadmap, Portland International Conference on Management of Engineering & Technology, 2009, pp.2548-2562

15. [Buhari2012] Buhari M., Adamu S.S., Short-Term Load Forecasting Using Artificial Neural Network, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientist, vol.1, March 2012, pp.1-6
16. [Celiktas2010] Celiktas M.S., Kocar G., From potential forecast to foresight of Turkey's renewable energy with Delphi approach, Energy, Elsevier, 2010, pp. 1973-1980
17. [Charytoniuk1998] Charytoniuk W., Chen M.S., Van Olinda P., Nonparametric Regression Based Short-Term Load Forecasting, IEEE Transaction on Power Systems, vol.13, no.3, August 1998, pp.735-730
18. [Charytoniuk2000] Charytoniuk W., Chen Mo-Shing, Very Short-Term Load Forecasting using Artificial Neural Networks, IEEE Transactions on Power Systems, vol.15, no.1, February 2000, pp.263-268
19. [Chauhan2005] Chauhan B.K., Sharma A., Hanmandlu M., Neuro-Fuzzy Approach Based Short Term Electric Load Forecasting, IEEE Transmission and Distribution Conference and Exhibition, 2005, pp.1-5
20. [Chen2001] Chen H., Claudio A., Canizares A.C., Ajit S. ANN- based short- Term Load Forecasting in Electricity markets, Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference, vol.2, 2001, pp.411-415
21. [Chen2002] Chen B.J., Chang M.W., Lin C.J., Load Forecasting using Support Vector Machines: A Study on EUNITE Competition 2001, Technical report, Department of Computer Science and Information Engineering, National Taiwan University, 2002, pp.1-6
22. [Chen2004] Chen B.J., Chang M.W., Lin C.J., Load forecasting using support vector machines: A study on EUNITE competition 2001, IEEE Transactions on Power Systems nr.4, 2004, pp. 1821-1830
23. [Chen2008] Chen D., York M., Neural Network Based Approaches to Very Short Term Load Prediction, IEEE Power and Energy Society General Meeting Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21<sup>st</sup> Century, 2008, pp.1-8
24. [Chernel2000] Christiani N., Taylor J.S., An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-Based Learning Methods, Cambridge University Press, Cambridge, 2000, pp.1-6
25. [Cho1995] Cho M.Z., Hwang J.C., Chen C.S., Customer Short Term Load Forecasting by Using ARIMA Transfer Function Model, Proceedings of the International Conference on Energy Management and Power Delivery, vol.1, 1995, pp.317-322
26. [Chow1996] Chow T.W.S., Leung C.T., Nonlinear autoregressive integrated neural network model for short-term load forecasting, IEEE Generation, Transmission and Distribution, vol.143, 1996, pp.500-506
27. [Chow2004] Chow J. H., Wu F. F., Momoh J. A., Applied mathematics for restructured electric power systems, Optimization, Control, and Computational Intelligence, Springer's Power Electronics and Power Systems Series, Series Editors: M.A. Pai and Alex M. Stankovic, 2004
28. [Christiani2000] Christiani N., Taylor J.S., An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-Based Learning Methods, Cambridge University Press, Cambridge, 2000
29. [Conecini2004] Conecini I., Golovanov N., Dumbravă V., Lungu I., Piața de energie electrică, Ed. Agir, București, 2004
30. [Contreras2003] Contreras J., Espinola R., Nogales F. J., Conejo A. J., ARIMA Models to Predict Next-Day Electricity Prices, IEEE Transaction on Power Systems, vol.18, no.3, August 2003, pp.1014-1020

31. [Cristian2013] Cristian D., Planificarea extinderii sistemelor electroenergetice complexe utilizând tehnici de inteligență artificială, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara, 2013
32. [Dai2007] Dai W., Wang P., Application of Pattern Recognition and Artificial Neural Network to Load Forecasting in Electric Power System, 3<sup>th</sup> International Conference on Natural Computation, vol.1, August 2007, pp.381-385
33. [David1994] David B., An Introduction to Simulated Evolutionary Optimization, IEEE Transaction on Neural Networks, vol.5, no.1, January, 1994, pp.3-14
34. [Deacu2013] Deacu A., Raport științific nr.1 cu rezultate intermediare ale cercetării, Universitatea Politehnica Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Departamentul de Electroenergetică, Timișoara, 2013
35. [Deacu2014] Deacu A., Raport științific nr.2 cu rezultate intermediare ale cercetării, Universitatea Politehnica Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Departamentul de Electroenergetică, Timișoara, 2014
36. [Deacu2015] Deacu A., Kilyeni St., Barbulescu C., Simo A., ANN Backpropagation Power Consumption Forecasting, Proceedings of the IEEE International Conference EUROCON 2015, 8-11 Septembrie 2015, Salamanca, Spania (acceptată pentru publicare)
37. [Deacu2015a] Deacu A., Kilyeni St., Barbulescu C., Schiopu R., Oros C., ANN based Load Forecasting, Proceedings of the 50th International Universities' Power Engineering Conference, 1-4 Septembrie 2015, Staffordshire, UK (acceptată pentru publicare)
38. [Delgado2014] Delgado R., Gil P. Selecting and Combining Models with Self-Organizing Maps for Long-Term Forecasting of Chaotic Time Series, IJCNN International Joint Conference on Neural Networks, 2014, pp.2616-2623
39. [EIA2013] International Energy Outlook 2013, Energy Information Administration, Office of Independent Forecasting and Analysis, U.S. Department of Energy, 2013
40. [Enayatifar2013] Enayatifar R., Sadaei H.J., Abdullah A.H., Gani A., Imperialist competitive algorithm combined with refined high-order weighted fuzzy time series (RHAWFTS-ICA) for short term load forecasting, Elsevier ScienceDirect Energy Conversion and Management, 2014, pp.1104-1116
41. [Enăchescu2008] Calculul neuronal, Editura Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca 2008
42. [EnerNex2006] EnerNex, Electric Power Research, engineering and consulting, Corporation In Collaboration with The Midwest Independent System Operator – Final Report - 2006 Minnesota Wind Integration Study, Vol I, 2006
43. [Engle1992] Engle R.F., Mustafa C., and Rice J., Modeling Peak Electricity Demand, Journal of Forecasting, vol.11, 1992, pp.241-251
44. [Eremia2006] Eremia M., Cârțină G., Petrică D., Bulac A.I., Bulac C., Triștiu I., Grigoraș G., Tehnici de inteligență artificială în conducerea sistemelor electroenergetice, Academia de științe tehnice din România, Ed. Agir, 2006
45. [Eremia2007] Eremia M., Electric Power Systems. Vol I: Electric networks, Ed. Academiei Române, București, 2006
46. [ESE2011] Elemente de strategie energetică pentru perioada 2011-2035, Direcții și obiective strategice în sectorul energie electrice, Ministerul Economiei Comerțului și Mediului de Afaceri
47. [Fan1994] Fan J.Y., McDonald J.D., A Real-Time Implementation of Short-Term Load Forecasting for Distribution Power System. IEEE Transaction on Power Systems, vol.9, no.9, May 1994, pp.988-994
48. [Fan2012] Fan S., Hyndman I.R., Short-Term Load Forecasting Based on a Semi-Parametric Additive Model, IEEE Transactions on Power Systems, vol.27, no.1, February 2012, pp.134-141

49. [Farahat2004] Farahat M. A., Long-Term industrial load forecasting and planning using neural networks technique and fuzzy interference method, UPEC, 39<sup>th</sup> International Universities Power Engineering Conference, vol.1, 2004, pp.368-372
50. [Feinberg2002] Feinberg E.A., Hajagos J.T., Genethliou D., Load Pocket Modeling, Proceedings of the 2<sup>nd</sup> IASTED International Conference: Power and Energy Systems, Crete, 2002, pp. 50-54
51. [Feinberg2003] Feinberg E.A., Hajagos J.T., and Genethliou D., Statistical Load Modeling. Proceedings of the 7<sup>th</sup> IASTED International Multi- Conference: Power and Energy Systems, Palm Springs, CA, 2003, pp. 88-91
52. [Felea2000] Felea I., Coroiu N., Fiabilitatea și mentenanța echipamentelor electrice, Ed. Tehnică, București, 2000
53. [Felea2006] Felea I., Dzițac S., Fiabilitatea echipamentelor și sistemelor energetice. Aplicații, Ed. Universității din Oradea, Oradea, 2006
54. [Fu2003] Fu C.W., Nguyen T.T., Models for Long-Term Energy Forecasting, Power Engineering Society General Meeting, Vol.1, 2003, pp.1-6
55. [Gellings1996] Gellings C.W., Demand Forecasting for Electric Utilities, The Fairmont Press, Lilbrun, GA, 1996
56. [Ghelardoni2013] Ghelardoni L., Ghio A., Anguita D., Energy Load Forecasting Using Empirical Mode Decomposition and Support Vector Regression, IEEE Transaction on Smart Grid, vol.4, no.1, March 2013, pp.549-556
57. [Gou2006] Gou Y.G., Niu D.X., Chen Y.X., Support Vector Machine Model in Electricity Load Forecasting, IEEE Conference on Machine Learning and Cybernetics, 2006, pp.2892-2896
58. [Gross1987] Gross G., Galiana F. D., Short Term Load Forecasting, Proceedings of IEEE, vol.75, no.12, December 1987, pp.1558-1573
59. [Guv2013] Guvernul României, Departamentul pentru Energie, <http://www.cdep.ro>
60. [Guv2014] Guvernul României, Departamentul pentru Energie, Strategia Energetică a României, 2014
61. [Hahn2009] Hahn H., Meyer-Nieberg S., Pickl S., Electric Load Forecasting methods: Tools for decision making Elsevier ScienceDirect European Journal of Operational Research, 2009, pp.902-907
62. [Haida1994] Haida T., Muto S., Regression Based Load Forecasting Using a Transformation Technique, IEEE Transaction on Power Systems, vol.9, no.4, November 1994, pp.1788-1794
63. [Haque2007] Haque M.T., Kashtiban A.M., Application of Neural Networks in Power Systems, International Journal of Electrical, Electronic Science and Engineering, vol.1, no.6, 2007, pp.767-771
64. [He2006] He Y.J., Zhu Y.C., Duan D.X., Sun W., Application of Neural Network Model Based on combination of Fuzzy Classification and Input Selection in Short Term Load Forecasting, IEEE International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 1987, pp. 3152-3156
65. [Helmer1967] Helmer-Hirschberg, Olaf, Analysis of the Future. The Delphi Method, Santa Monica, CA, USA, RAND Corporation, 1967, pp.1-11
66. [Hippert2001] Hippert H.S., Pedreira C.E., Souza R.C., Neural networks for short-term load forecasting: a review and evaluation, IEEE Transactions Power Systems, vol.1, issue1, 2001, pp.44-55
67. [Ho1990] Ho K.I., Hsu Y.I., Chen C.F., Lee T.E., Liang C.C., Lai T.S., Chen K.K., Short Term Load Forecasting of Taiwan Power System Using a Knowledge Based expert System, IEEE Transactions on Power Systems, vol.5, no.4, November 1990, pp.1214-1221
68. [Hong2009] Hong W.C., Electric Load Forecasting by Support Vector Model, Elsevier ScienceDirect Applied Mathematical Modelling, 2009, pp.2444-2454



69. [Hong2012] Hong W.C., Dong Y., Chen L.Y., Wei S.Y., Seasonal Support vector Regression with Chaotic Genetic Algorithm in Electric Load, ICGEC 6<sup>th</sup> International Conference on Genetic and Evolutionary Computing, August 2012, pp.124-127
70. [Hong2013] Hong Y., Xia C., Zhang S., Wu L., Zhu H., Load Forecasting Using Elastic Gradient Descent, ICNC 9<sup>th</sup> International Conference on Natural Computation, 2013, pp.247-251
71. [Hor2005] Hor C.L., Watson S.J., Majithia S., Analyzing the Impact of Weather Variables on Monthly Electricity Demands, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 20, nr. 4, p. 2078-2085
72. [Hu2009] Hu Y., Ji H., Song X., To Forecast Short-term Load in Electric Power System Based on FNN, IEEE 6<sup>th</sup> International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 2009, pp.474-478
73. [Hu2013] Hu Z., Bao Y., Xiong T., Electric Load Forecasting using Support Vector Regression with Memetic Application, The Scientific World Journal, 2013
74. [Hyde1997] Hyde O., Hodnett P.F., An Adaptable Automated Procedure for Short-Term Electricity Load Forecasting, IEEE Transaction on Power Systems, vol.12, no.1, February 1997, pp.84-93
75. [Ismail2013] Ismail M.M., Hassan M.A.M., Artificial Neural Network Based Approach Compared with Stochastic Modelling for Electrical Load Forecasting, Proceeding of International Conference on Modelling, Identification & Control, 2013, pp.112-118
76. [Ji2009] Ji A.B., Qiao Y.H., Qiu H.J., Combination Forecasting of Fuzzy Forecast, IEEE 6<sup>th</sup> International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 2009, pp.262-266
77. [Jigoria2009a] Jigoria-Oprea D., Lustrea B., Borlea I., Kilyeni Șt., Barbulescu C., Short term daily load forecasting using recursive ANN, Proceedings of the IEEE International Conference EUROCON, Saint-Petersburg, Russia, May 18-23, 2009, p.646-65
78. [Jigoria2009b] Jigoria-Oprea D., Lustrea B., Kilyeni Șt., Barbulescu C., Kilyeni A., Simo A., 2009, Daily load forecasting using recursive artificial neural network vs. classic forecasting approaches, Proceedings of the 5th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI), May 28-29, 2009, Timisoara, Romania, p.487-490
79. [Jigoria2011] Jigoria-Oprea D., Kilyeni Șt., Dan F., 2011, Electric energy forecast for residential user, Journal of Sustainable Energy, nr.2, 2011, p.85-90
80. [Jin2004] Jin L., Lai Y.J., Long T.X., Peak Load Forecasting Based on Robust Regression, Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, Ames, USA, 2004, pp. 123-128
81. [Jin2010] Jin X., Dong Z., Wu J., Wang J., An Improved Combined Forecasting Method for Electric Power Load Based on Autoregressive Integrated Moving Average Model, IEEE International Conference of Information Science and Management Engineering, vol.2, 2010, pp.476-480
82. [Khamis2013] Khamis M.F.I. Baharudin Z., Hamid N.H., Abdullah M F., Nordin F.T., Short Term Load Forecasting for Small Scale Power System Using Fuzzy Logic, International Journal of Advanced Computer Science, vol.3, no.4, Apr. 2013, pp.149-153
83. [Khotanyad1998] Khotanzad A., Alkami-Roani R., Maratukulam D., ANNSTLF-Artificial Neural Network Short-Term Load Forecasting, IEEE Transaction on Power Systems, vol.13, no.4 November 1998, pp.1413-1422

84. [Khotanzad1997] Khotanzad A., Afkhami-Rohani R., Lu T.L., Abaye A., Malcomlm D., Dominic J.M., ANNSTLEF – A Neural Network-Based Electric Load Forecasting System, IEEE Transaction on Neural Networks, vol.8, no.4, Julz 1997, pp.835-845
85. [Kiartzis2000] Kiartzis S.J., Bakirtzis A.G., A Fuzzy Expert System for Peak Load Forecasting: Application to the Greek Power System, Proceedings of the 10<sup>th</sup> Mediterranean Electrotechnical Conference, MeleCon 2000, vol.3, 2000, pp.1097-1100
86. [Kilyeni2009] Kilyeni Șt., Tehnici numerice de analiză asistată de calculator a regimurilor de funcționare a sistemelor electroenergetice, Ed. a 2-a, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2009
87. [Kilyeni2010] Tehnici de optimizare in ingineria energetică. Metode clasice, Editura Orizonturi Universitare, Timisoara, 2010
88. [Kilyeni2011] Kilyeni St., Metode numerice. Algoritme, programe de calcul, aplicații în energetică, Ed. a 4-a, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2011
89. [Kilyeni2014] Kilyeni St., Barbulescu C., Oros C., Deacu A., GA Based Distribution Network Expansion. Part 2. Case study: IEEE-30 Test System, Proceedings of the International Conference on Applied and Theoretical Electricity, 23-25 Octombrie, 2014, Craiova, Romania, pp. 1-6
90. [Kim2000] Kim K.H., Youn H.S., Kang Y.C., Short-Term Load Forecasting for Special Days in Anomalous Load Conditions Using Neural Networks anf Fuzzy Inference Method, IEEE Transactions on Power Sytems, vol.15, no.2, May 2000, pp.559-565
91. [Kim2000] Kim K.H., Youn H.S., Kang Y.C., Short-Term load Forecasting for Special Days in Anomalous Load Conditions Using Neural Networks and Fuzzy Inference Method, IEEE Transalation on Power Systems, vol.15, no.2, May 2000, pp.559-565
92. [Kyriakides2007] Kyriakides E., Polycarpou M., 2007. Short Term Electric Load Forecasting: A tutorial, in Chen, K., Wang, L. (Eds.), Trends in Neural Computation, Studies in Computational Intelligence, vol. 35. Springer, Chapter 16
93. [Lauret2012] Lauret P., Mathieu D., Didier C., Nonliniar Models for Short-Time Load Forecasting, Elsevier SciVerse ScienceDirect Energy Procedia, 2012, pp.1404-1409
94. [Lee2008] Lee K.Y., El-Sharkawi M., Modern Heuristic Optimization Techniques, Theory and Applications to Power Systems, John Wiley & Sons, 2008
95. [Lerch2007] Lerc E., Storage of fluctuating Wind Energy, IEEE European Conference on Power Electronics and Applications, 2007, pp.1-8
96. [Li2003] Li Y.,Fang T., Wavelet and Support Vector Machines for Short-Term Electrical Load Forecasting. Proceedings of International Conference on Wavelet Analysis and Applications, vol.1, 2003, pp.399- 404
97. [Li2008] Li J., Niu Cheng-lin, Liu J., Gu J., The application of Data Mininig in Electric Short-Term Load Forecasting, IEEE 1<sup>st</sup> International Conference on Fuzzy Systems and Knowlwdge Discovery, 2008, pp.519-522
98. [Li2012] Li Y., Hu N., Li G., Yao X., Forecasting Mineral Commodity Prices with ARIMA-Markov Chain, IEEE 4<sup>th</sup> International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, 2012, pp.49-52
99. [Liao2006] Liao G.C., Peng T., Application of a Fuzzy Neural Network Combined with a Chaos Genetic Algorithm and Simulated Annealing to Short-Term Load Forecasting, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol.10, no.3, June 2006, pp.330-340
100. [Lilja2011] Lilja K.K., Laakso K., Polomaki J., Using the Delphi Method, IEEE Technology Management in the Energy Smart World, 2011, pp.1-10



101. [Liu2006] Liu F., Findlay D.R., Song Q., A Neural Network Based Short Term Electric Load Forecasting in Ontario Canada, IEEE International Conference on Computation intelligence for Modelling Control and Automation, and International Conference on Intelligent Agent, 2006, pp.1-7
102. [Lu2004] Lu J.C., Niu D.X., Jia Z.Y., A study of Short-Term Load Forecasting Bades on ARIMA-ANN, Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Intrenational Cnference on Machine Learning and Cybernetics, August 2004, pp.3183-3187
103. [Lu2005] Lu J.C., Zhang X., Sun W., A Real-Time Adaptive Forecasting Algorithm for Electric Power Load, IEEE Transmission and Distribution Conferince & Exhibition: Asia and Pacific, 2005, pp.1-9
104. [Luștrea2001] Luștrea B., Prognoza consumului de energie, Ed.Agir, 2001
105. [Luștrea2004] Luștrea B., Elemente de inteligență artificială cu aplicații în energetică, Universitatea Politehnica Timișoara, 2004
106. [Mahmoud2008] Mahmoud H.M., Elkhodary S.M., ElDebeiky S., Special Features of Energz Forcast Methodology in Fast Growing countries, IEEE 12<sup>th</sup> International Middle-East Power System Conference, 2008, pp. 555-558
107. [Manoj2014a] Manoj P.P., Shah A.P., Competitive study of Fuzzy Logic and ANN for Short Term Load Forecasting, International Journal of Research in Engineering and Technology, vol.3, issue.4, 2014, pp.448-454
108. [Manoj2014b] Manoj P.P., Shah A.P., Fuzzy Logic Methodology for Short Term Load Forecasting, International Journal of Research in Engineering and Technology, vol.3, issue4, 2014, pp.322-328
109. [Martos2013] Martos C., Sanchez M.J., A Dynamic Factor Model for Mid-term Forecasting of Wind Power Generation, EEM 10<sup>th</sup> International Conference on the European Energy market, 2013, pp.1-7
110. [Matlab] Users guide, <http://www.mathworks.com/>
111. [Mettas2001] Mettas A., Savva M., System Reliability Analysis: The Advantages of Using Analytical Methods to Analyze Non-Repairable Systems, Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2001, pp.80-85
112. [Mielezarski1998] Wladyslaw Mielezarski, Fuzzy Logic Techniques in Power Systems, Editura Springer, 1998
113. [Miranda2000] Miranda V., Monteiro C., Fuzzy Inference in Spatial Load Forecasting, Proceedings of IEEE Power Engineering Winter Meeting, vol.2, 2000, pp.1063-1068
114. [Mohammed1995] Mohammed O., Park D., Merchant R., Dinh T., Tong C., Azeem A., Partical Experiences with an Adaptive Neural Network Short-Term Load Forecasting System, IEEE Transactions on Power Systems, vol.10, no.1, February 1995, pp.254-265
115. [Mohandes2002] Mohandes M., Support Vector Machines for Short-Term Electrical Load Forecasting. International Journal of Energy Research, vol.26, 2002, pp.335-345.
116. [Mori2001] Mori H., Kesemnura N., Optmal Regression Tree Based Rule Discovery for Short-term Load Forecasting, IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, vol.2, 2001, pp.421-426
117. [Moturi2013] Moturi C.A., Kioko F.K., Use of Artificial Neural Networks for Short-Term Electricity Load Forecasting of Kenya National Grid Power System, International Journal of Computer Applications, vol.63, no.2, Februaru 2013, pp.25-30
118. [Muto1996] Muto S., A Special Period Peak Load Forecasting Method Based on Order Relations, International Intelligent Systems Application to Power Systems, 1996, pp.120-125
119. [Niu2005] Niu D.X., Wang H.Q., Gu Z.H., Short-Term Load Forecasting using General Regression Neural Network, Proceeding of the 4<sup>th</sup> International Conference on MachinLearning Cybernetics, August 2005, pp.4076-4082

120. [Nogales2002] Nogales J. Francisco, Conejo J. Antonio, Espinola Rosario, Forecasting Next-Day Electricity Prices by Time Series Models, *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.17, no.2, May 2002, pp.342-348
121. [Osman2009] Osman Zainab, Awad L. Mohamed, Mahmoud K. Tawfik, Neural Network Based Approach for Short-Term Load Forecasting, *IEEE Power Systems Conference and Exposition*, 2009, pp.1-8
122. [Papadakis1998] Papadakis S. E., Theocharis J. B., Kiartzis S. J., Bakirtzis A. G., Anovel approach to Short-Term Load Forecasting using Fuzzy Neural Networks, *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.13, no.2, May 1998, pp.480-492
123. [Papalexopoulos1993a] Papalexopoulos D.A., Hao S., Peng T.M., Application of Neural Networks Tehnology to Short-Term System Load Forecasting, *IEEE Planning, Operational and Control of Today's Electric Power Systems*, 1993, pp.796-800
124. [Papalexopoulos1993b] Papalexopoulos A.D., Hao S., Peng T.M., Short-Term System Load Forecasting using Artificial Neural Network, *IEEE Transaction on Power System*, 1993, pp.239-244
125. [Papalexopoulos1994] Papalexopoulos A.D., Hao S., Peng T.M., An Implementation of a Neural Network Based Load Forecasting Model for the Ems, *IEEE Transaction on Power System*, vol.9, no.7, May 1994, pp.1956-1962
126. [Papalexopoulos1989] Papalexopoulos D.A., Hesterberg C.T., A Refress-Based Approach to Short-Term System Load Forecasting, *IEEE Transaction on Power System*, 1989, pp.416-423
127. [Park1991] Dong C.P., Osama M., Artificial Neural Network Based Electric Peak Load Foercasting, *IEEE Southeastcon*, vol.1, 1998, pp.225-228
128. [Park1991] Park D.C., El-Sharkaw M.A., Marks II M.J., Electric Load Forecasting Using an Artifivial Neural Network, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.6, no.2, May 1991, pp.442-449
129. [Peng1992] Peng T.M., Hubele N.F., Karady G.G., Advancement in the Application of Neural Networks for Short-Term Load Forecasting, *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.7, no,1, February 1992, pp.250-257
130. [Peng1992] Peng T.M., Hubele N.F., Karadz G.C., Advancement in the Application of Neural Networks for Short. Term Load FOrecasting. *IEEE Transaction on Power System*, vol.7, no.1, February 1992, pp.250-257
131. [Pinto2013] Pinto R., Gaiardeelli P., Setting Forecasting Model Parameters using Unconstrained Direct Search Methods: An empirical evaluation, *Expert Systems with Applications*, Elsevier, 2013, pp.5331-5340
132. [Pop2012] Pop O., Simo A., Barbulescu C., Kilyeni S., Deacu A., 2012, Inter-connected Power System Optimal Power Exchanges, *Proceedings of the 47th International Universities' Power Engineering Conference (UPEC)*, September 5-8, 2012, London, UK, p.1-6
133. [Pop2014a] Pop O., Barbulescu C., Kilyeni St., Deacu A., Contingency-constrained Congestion Management and Transmission Cost Allocation, *Acta Polytechnica Hungarica*, vol. 11, nr. 7, 2014, pp.83-102
134. [Pop2014s] Pop O., Barbulescu C., Kilyeni St., Deacu A., Schiopu R., Renghea S., Probabilistic Network Usage by means of Equivalent Bilateral Exchanges. Case Study for the Romanian Power System, *Proceedings of the 49th International Universities' Power Engineering Conference*, 2-5 Septembrie 2014, Cluj-Napoca, România, pp.1-6
135. [Pop2014] Pop O., Kilyeni St., Barbulescu C., Surianu F.D., Deacu A., Schiopu R., Distribution Factors Transmission Cost Allocation in Case of Indirect Power Transfers, *Journal of Sustainable Energy*, vol.5, nr.2, 2014, pp. 61-67

136. [Popper2010] Popper M., Sisteme Neuro-Geno-Expert aplicabile echipamentelor energetice de mare putere, Rezumatul tezei de doctorat, Universitatea „Transilvania” din Braşov, Facultatea de Inginerie Electrică şi Ştiinţa calculatoarelor, Catedra de automatică, Braşov, 2010
137. [Precup1999] Precup R.E., Preitl St., Fuzzy controllers, Editura Orizonturi Universitare Timişoara, 1999
138. [Qingle2010] Qingle P., Min Z., Very Short-Term Load Forecasting Based on Neural Network and Rough Set, Intrenationl Conference on Intelligent Technology and Automation, 2010, pp.1132-1135
139. [Quaiyum2011] Quaiyum S., Khan Y.I., Rahman S., Barman P., Artificial Neural Network based Short Term Load Forecasting of Power System, International Journal of Computer Application, vol.30, no.4, September 2011, pp.1-7
140. [Rahman1996] Rahman S., Hazim O., Load Forecasting for Multiple Sites: Development of an Expert System-Based Technique, Electric Power Systems Research, nr. 3, 1996, p. 161-169
141. [Ramezani2005] Ramezani M., Falaghi H., Haghifam M.R., Short-Term Electric Load Forecasting Using Neural Networks, The International Computer as a Tool, EUROCON, vol.2, 2005, pp.1525-1528
142. [Ramos2013] Ramos S., Doares J., Vale Z., Ramos S., Shoet-Term Load Forecasting Based on Load profiling, IEEE Power and Energy Society General Meeting, July 2013, pp.1-5
143. [Rizwan2012] Rizwan M., Kumar D., Kumar R., Fuzzy Logic Approach for Short Term Electrical Foad Forecasting, Electrical and Engineering Frontier, vol.1, iss.1, 2012, pp.8-12
144. [Romera2006] Romera E., Moran-Jaramillo A.M., Carmona-Fernandez D., Monthly Electric Energy Demand Forecasting Based on Trend Extraction, IEEE Transactions on Power Systems, vol.21, no.4, November 2006, pp.1946-1953
145. [Rothe2009] Rothe J. P., Wadhvani A. K., Wadhvani S., Short term Load Forecasting Using Multi Parameter Regression, International Journal of Computer Science and Information Security, vol.6, no.2, 2009, pp.303-306
146. [Ruzic2003] Ruzic S., Vuckovic A., Nikolic N., Weather Sensitive Method for Short Team Load Forecasting in Electric Power Utilitz of Serbia, IEEE Transaction on Power Systems, vol.18, no.4, November 2003, pp.1581-1586
147. [SE2007] Strategia Energetică a Românie în perioada 2007-2020, Ministerul Economie, Comerţului şi Turismului, varianta 16, Mai 2007 <http://www.minind.ro>
148. [Seetha2007] Seetha H., Saravanan R., Short Term Electric Load Prediction Using Fuzzy BP, Journal of Computong and Information Technology, vol.3, pp.267-282
149. [SEN2014] Strategia Energiei Naţionale, Servicii de consultanţă specializate necesare pentru elaborarea Strategiei Energetice Naţionale pentru perioada 2014-2035 şi perspective pentru 2050, <http://energie.gov.ro>
150. [Senjyu1998] Senjyu T., Higa S., Uezato K., Future Load Curve Shaping Based on Similarity Using Fuzzy Logic Approach, IEEE Generation, Transmission and Distribution, vol.145, 1998, pp.375-380
151. [Senjyu2004] Senjyu T., Mandal P., Uezato K., Funabashi T., Next Day Load Curve Forecasting using Recurent Neural Network Structure, IEEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution, vol.151, Issue 3, May 2004, pp.388-394
152. [Senjyu2005] Senjyu T., Mandal P., Uezato K., Funabashi T., IEEE Transalation on Power Systems, vol.20, no.1, February 2005, pp.102-109

153. [Shahidehpour2002] Shahidehpour M., Hatim Z., Li Y., Market Operation in Electric Power System, Forecasting, Scheduling, and Risk Management, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, publication A John Wiley & Sons, 2002
154. [Simo2014] Simo A., Bărbulescu C., Kilyeni Șt., Deacu A., PSO based transmission network expansion planning, Proceedings of the 17th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, MELECON, April 13-16, Beirut, Lebanon, 2014, pp.1-6
155. [Skarman1998] Skarman S.E. Georgiopoulos M., Short-Term Electrical Load Forecasting using a Fuzzy ARTMAP Neural Network. Proceedings of SPIE, 1998, pp. 181-191
156. [Solomonesc2013] Solomonesc F., Planificarea extinderii sistemelor rețelelor de transport al energiei electrice utilizând tehnici de calcul evolutiv, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara, 2013
157. [Srivastava1997] Srivastava S.C., Veankataraman D., Short-Term Load Forecasting using Recurrent Neural Networks, Proceeding of the 4<sup>th</sup> International Conference on Advances in Power System Control, Operational and Management, 1997, pp.145-150
158. [Tao2013] Tao Z., Zhong T., Shuyan R., Medium and Long Term Load Forecasting Based on Fuzzy Time Series, IEEE Proceedings of the 2013 International Conference on Advanced Mechatronic Systems, September 2013, pp.671-673
159. [Tiponuț2002] Tiponuț V., Căleanu C.D., Rețele neuronale Arhitecturi și Algoritmi, Ed.Politehnica, Timișoara, 2002
160. [Tractebel2009] Tractebel Engineering, Studiu privind prognoza producției de energie electrică a CEE, Fundamentarea posibilităților de prognoză a producției de energie electrică a CEE în SEN, Studiu de sinteză CNTEE Transelectrica S.A., București, 2009
161. [Trygg2013] Trygg P., Alternation in Business Models of Electricity Distribution Companies – A Case of Smart Metering, Tampereen Teknillinen Yliopisto, Tampere University of Technology, 2013
162. [Tudor2012] Tudor N. L., Rețele neuronale artificiale, Aplicații Matlab, Ed. MATRIX ROM București, 2012
163. [UPT2013a] Contract UPT 43/2013, Analiza și optimizarea regimurilor de funcționare pentru rețeaua electrică de distribuție din zona Electrică Muntenia Nord, Electrica Muntenia Nord
164. [UPT2013b] Contract UPT 64,70,77,79,80,86/2013, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralelor fotovoltaice din zona Timișoara, Enel Distribuție Banat
165. [UPT2013c] Contract UPT 72,97,98/2013, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralelor fotovoltaice din zona Sănnicolau-Jimbolia, Enel Distribuție Banat
166. [UPT2013d] Contract UPT 71,76/2013, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralelor fotovoltaice din zona Lugoj-Făget, Enel Distribuție Banat
167. [UPT2013e] Contract UPT 78,87/2013, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralelor fotovoltaice din zona Caraș-Severin, Enel Distribuție Banat
168. [UPT2013f] Contract UPT 58,96/2013, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralelor fotovoltaice din zona Arad, Enel Distribuție Banat

169. [UPT2014a] Contract UPT 45/2014, Analiza și optimizarea regimurilor de funcționare pentru rețeaua electrică de 110 kV din zona Dobrogea, Enel Distribuție Dobrogea
170. [UPT2014b] Contract UPT 11,12,13/2013, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralelor fotovoltaice din zona Lugoj-Făget, Enel Distribuție Banat
171. [UPT2014c] Contract UPT 24,32,84/2014, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralelor fotovoltaice din zona Timișoara, Enel Distribuție Banat
172. [UPT2014d] Contract UPT 70/2014, Studiu privind racordarea la SEN a micro-hidrocentralei MHC3, Topleț, Enel Distribuție Banat
173. [UPT2014e] Contract UPT 93/2014, Studiu privind integrarea în sistemul electro-energetic a centralei cu biomasă din localitatea Ghiroda, Enel Distribuție Banat, CNTEE Transelectrica SA
174. [Vapnik1995] Vapnik V.N., The Nature of Statistical Learning Theory. New York, Springer Verlag, 1995
175. [Vermaak1998] Vermaak J., Botha E.C., Recurrent Neural Networks for Short-term Load Forecasting, IEEE Transactions on Power Systems, vol.13, no.1, February 1998, pp.126-132
176. [Wang2007] Wang J., Zhou Y., Chen X., Electricity Load Forecasting Based on Support Vector Machines and Simulated Annealing Particle Swarm Optimization Algorithm, Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, 2007, pp.2836-2841
177. [Wang2008] Wang W., Cheng C., Qiu L., Genetic Programming with Rough Sets Theory for Modeling Short-term Load Forecasting, IEEE 4<sup>th</sup> International Conference on Natural Computation, 2008, pp.306-310
178. [Wang2010] Wang J., Zhu S., Zhang W., Lu h., Combined Modeling for Electric Load Forecasting with Adaptive particle Swarm Optimization, Elsevier Energy, 2010, pp.1671-1678
179. [WindLogics2006] WindLogics, Inc. – Final Report - 2006 Minnesota Wind Integration Study, vol II -Characterizing the Minnesota Wind Resource, 2006
180. [Xiao1995] Xiao B., McLaren G.P., An Artificial Neural Network for Short Term Load Forecasting, IEEE WESCANEX PROCEEDINGS, pp.129-132
181. [Xiao2009] Xiao Z., Ye S.J., Zhong B., Sun C.X., BP Neural Network with rough set for Short Term Load Forecasting, Elsevier ScienceDirect Expert Systems with Applications, 2009, pp.273-279
182. [Xinhui2010] Xinhui D., Liang W., Jiancheng S., Yan Z., Application of Neural Network and Support Vector Machines to Power System Short-term Load Forecasting, IEEE International Conference on Computational Aspects of Social Networks, 2010, pp.729-732
183. [Yang1998] Yang H.T., Huang C.M., A New Short- Term Load Forecasting Approach Using Self-Organizing Fuzzy ARMAX Model, IEEE Transaction on Power Systems, vol.13, no.1, Februarz 1998, pp.217-225
184. [Yi2011] Yi M., Fan Y., Caiping W., Application of BP Network to Short-term Power Load Forecasting Considering Weather Factor, International Conference on Electric Information and Control Engineering, pp.172-175
185. [You2012] You Y., Liu H., Evaluation on Comprehensive Benefit of Wind Power Generation and Utilization of Wind Energy, IEEE 3rd International Conference on Software Engineering and Service Science, 2012, pp.635-638
186. [Yun2008] Yun Z., Quan Z., Caixin S., Shaolan L., Yuming L., Yang S., RBF Neuronal Network and ANFIS-Based Short-Term Load Forecasting Approach in

- Real Time Price Environment, IEEE Transactions on Power Systems, vol.23, no.3, August 2008, pp.853-858
187. [Zebulum1995] Zebulum S.R., Vellasco M., Pachecot A.M., Guedes K., A Multi-step Hourly Load Forecasting System using Neural Nets, Proceedings of the 38<sup>th</sup> Midwest Symposium on Circuits and Systems, vol.1, August 1995, pp.461-464
188. [Zang1996] Zang H.T., Huang C.M., Huang C.L., Identification of ARMAX Model for Short Term Load Forecasting: an Evolutionary Programming Approach, IEEE Transactions on Power Systems, vol.11, no.1, February 1996, pp.403-408
189. [Zhang2008] Zhang D., Song H., Chen P., Stock Market Forecasting Model Based on A Hybrid ARMA and Support Vector Machines, IEEE 15<sup>th</sup> International Conference on Management Science & Engineering, USA, September 2008, pp.1312-1317
190. [Zheng2010] Zheng X., Electric Load Forecasting Using Bayesian Least Squares Support Vector Machine, ICNC, 6<sup>th</sup> International Conference on Natural Computation, 2010, pp.880-883
191. [Zivanovic2001] Zivanovic R., Local Regression-Based Short-Term Load Forecasting, Journal of Intelligent and Robotic Systems, nr. 1, 2001; pp. 115-127

## SINTEZĂ PRIVIND LUCRĂRILE PROPRII

1. [Bărbulescu2013] Bărbulescu C., Kilyeni Șt., Simo A., Pop O., Oros C., Șchiopu R., **Deacu A.**, ANN techniques for power consumption forecasting, Proceedings of the IEEE International Conference PowerTech 2013, Grenoble, France, 2013, pp.1-6 (BDI)
2. [Deacu2013] **Deacu A.**, Raport științific nr.1 cu rezultate intermediare ale cercetării, Universitatea Politehnică Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Departamentul de Electroenergetică, Timișoara, 2013
3. [Deacu2014] **Deacu A.**, Raport științific nr.2 cu rezultate intermediare ale cercetării, Universitatea Politehnică Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Departamentul de Electroenergetică, Timișoara, 2014
4. [Deacu2015] **Deacu A.**, Kilyeni St., Barbulescu C., Simo A., ANN Backpropagation Power Consumption Forecasting, Proceedings of the IEEE International Conference EUROCON 2015, 8-11 Septembrie 2015, Salamanca, Spania (ISI) (acceptată pentru publicare)
5. [Deacu2015a] **Deacu A.**, Kilyeni St., Barbulescu C., Schiopu R., Oros C., ANN based Load Forecasting, Proceedings of the 50th International Universities' Power Engineering Conference, 1-4 Septembrie 2015, Staffordshire, UK (ISI) (acceptată pentru publicare)
6. [Kilyeni2014] Kilyeni St., Barbulescu C., Oros C., **Deacu A.**, GA Based Distribution Network Expansion. Part 2. Case study: IEEE-30 Test System, Proceedings of the International Conference on Applied and Theoretical Electricity, 23-25 Octombrie, 2014, Craiova, Romania, pp. 1-6 (ISI)
7. [Pop2012] Pop O., Simo A., Barbulescu C., Kilyeni S., **Deacu A.**, 2012, Inter-connected Power System Optimal Power Exchanges, Proceedings of the 47th International Universities' Power Engineering Conference (UPEC), September 5-8, 2012, London, UK, p.1-6 (BDI)
8. [Pop2014] Pop O., Barbulescu C., Kilyeni St., **Deacu A.**, Contingency-constrained Congestion Management and Transmission Cost Allocation, Acta Polytechnica Hungarica, vol. 11, nr. 7, 2014, pp.83-102 (ISI)
9. [Pop2014] Pop O., Barbulescu C., Kilyeni St., **Deacu A.**, Schiopu R., Renghea S., Probabilistic Network Usage by means of Equivalent Bilateral Exchanges. Case Study for the Romanian Power System, Proceedings of the 49th International Universities' Power Engineering Conference, 2-5 Septembrie 2014, Cluj-Napoca, România, pp.1-6 (BDI)
10. [Pop2014] Pop O., Kilyeni St., Barbulescu C., Surianu F.D., **Deacu A.**, Schiopu R., Distribution Factors Transmission Cost Allocation in Case of Indirect Power Transfers, Journal of Sustainable Energy, vol.5, nr.2, 2014, pp. 61-67 (BDI)
11. [Simo2014] Simo A., Bărbulescu C., Kilyeni Șt., **Deacu A.**, PSO based transmission network expansion planning, Proceedings of the 17th IEEE Mediterranean Electro-technical Conference, MELECON, April 13-16, Beirut, Lebanon, 2014, pp.1-6 (BDI)



12. [UPT2013a] Contract UPT 43/2013, Analiza și optimizarea regimurilor de funcționare pentru rețeaua electrică de distribuție din zona Electrica Muntenia Nord, Electrica Muntenia Nord
13. [UPT2013b] Contract UPT 64,70,77,79,80,86/2013, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralelor fotovoltaice din zona Timișoara, Enel Distribuție Banat
14. [UPT2013c] Contract UPT 72,97,98/2013, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralelor fotovoltaice din zona Sănnicolau-Jimbolia, Enel Distribuție Banat
15. [UPT2013d] Contract UPT 71,76/2013, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralelor fotovoltaice din zona Lugoj-Făget, Enel Distribuție Banat
16. [UPT2013e] Contract UPT 78,87/2013, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralelor fotovoltaice din zona Caraș-Severin, Enel Distribuție Banat
17. [UPT2013f] Contract UPT 58,96/2013, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralelor fotovoltaice din zona Arad, Enel Distribuție Banat
18. [UPT2014a] Contract UPT 45/2014, Analiza și optimizarea regimurilor de funcționare pentru rețeaua electrică de 110 kV din zona Dobrogea, Enel Distribuție Dobrogea
19. [UPT2014b] Contract UPT 11,12,13/2013, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralelor fotovoltaice din zona Lugoj-Făget, Enel Distribuție Banat
20. [UPT2014c] Contract UPT 24,32,84/2014, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralelor fotovoltaice din zona Timișoara, Enel Distribuție Banat
21. [UPT2014d] Contract UPT 70/2014, Studiu privind racordarea la SEN a microhidrocentralei MHC3, Topleț, Enel Distribuție Banat
22. [UPT2014e] Contract UPT 93/2014, Studiu privind integrarea în sistemul electroenergetic a centralei cu biomasă din localitatea Ghiroda, Enel Distribuție Banat, CNTEE Transelectrica SA