

PROCESAREA CUNOȘTINȚELOR ȘI CALCUL INTELIGENT - PCCI

aplicații ale PCCI în energetică

Obiectivele cursului PCCI

- Prezentarea teoretică a conceptelor și algoritmilor de calcul inteligent, cu aplicații în electroenergetică.
- Calculul inteligent este un subdomeniu al inteligenței artificiale.

Calcul inteligent în electroenergetică

Algoritmele de calcul inteligent sunt instrumente puternice pentru rezolvarea unei largi game de probleme care apar în mod curent în

- ❑ proiectarea
- ❑ planificarea funcționării
- ❑ exploatarea

rețelelor electrice

Sunt algoritme puternice, flexibile și, în anumite condiții, rapide, folosite atât în cercetarea științifică, cât și în practică, sub forma unor module de calcul integrate în programe informatice specializate.

Recapitulare: TDEE, SEE, matematică

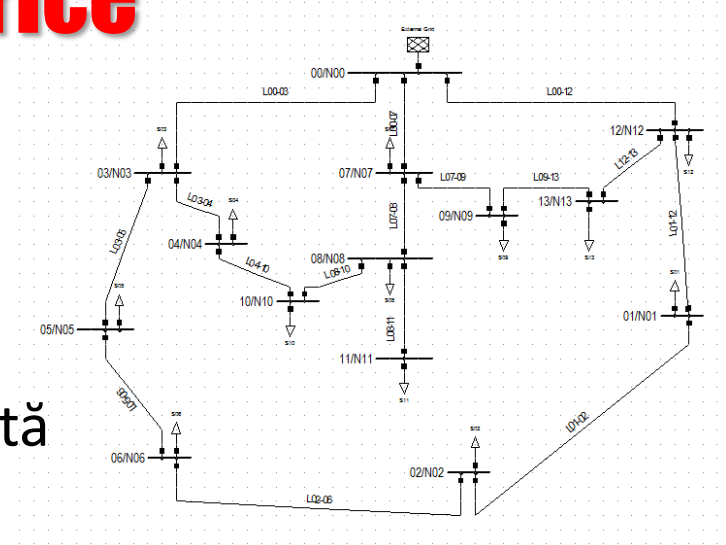
- Bazele calculului rețelelor electrice – de la Transportul și Distribuția Energiei Electrice și Sisteme Electroenergetice (EN, an III, IV)
 - ❑ structura și elementele componente ale unei rețele electrice
 - ❑ calculul regimului permanent de funcționare al rețelelor electrice
- Matematică:
 - ❑ lucrul cu vectori și matrice
 - ❑ ecuații și sisteme de ecuații
 - ❑ funcții și grafice de funcții
 - ❑ derivate (inclusiv derivate parțiale)

Recapitulare: rețele electrice

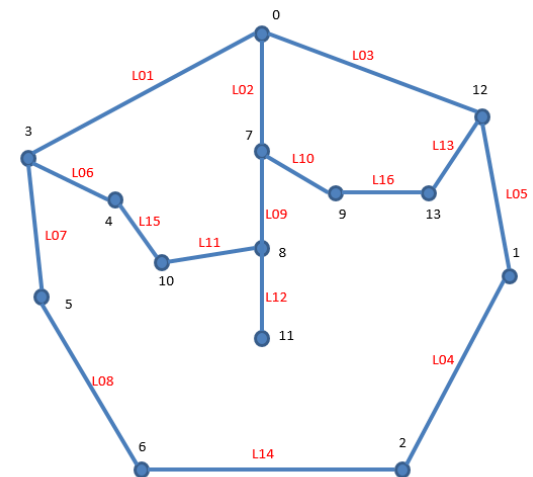
- Principalele elemente componente ale unei rețele electrice sunt:
 - ❑ Noduri (locuri de consum al energiei electrice)
 - Sarcini electrice (consumatori)
 - ❑ Laturi
 - linii (aerene sau subterane)
 - transformatoare
 - elemente de compensare a puterii reactive (baterii de condensatoare, bobine de reactanță, SVC)
 - ❑ Generatoare (producție de energie electrică)
 - termocentrale, hidrocentrale, centrale nucleare
 - parcuri eoliene, centrale fotovoltaice mari și mici
 - ❑ Echipamente de protecție și automatizare, întrerupătoare

Recapitulare: rețele electrice

- Se reprezintă simbolic prin scheme monofilare
- **Exemplu:** o rețea de distribuție numită R14, alcătuită din:
 - ☐ 14 noduri
 - ☐ 16 laturi
 - ☐ 0 generatoare
 - ☐ 0 transformatoare
- Notățiile pot diferi, în funcție de alegerea utilizatorului



R14 - schema monofilară reprezentată în DlgSILENT Power Factory

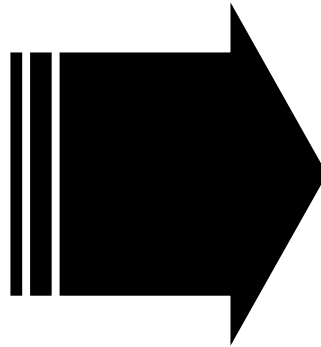


R14 - Schema monofilară desenată

Recapitulare: calculul de regim permanent

date de intrare

- configurația, componența și parametri fizici ai rețelei electrice:
 - schema de funcționare (eventual cu reprezentare grafică monofilară)
 - caracteristicile electrice ale elementelor componente (R, X, B)
 - încărcarea (puteri active și reactive generate și consumate în noduri)



algoritm de
calcul numeric

rezultate

- tensiuni nodale
- circulații de putere și curenți pe laturi
- pierderi de putere în rețea
- căderi de tensiune pe laturi

sau, pe scurt

parametri electrici
configurație de funcționare
sarcini

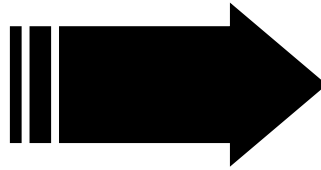


tensiuni,
circulații de puteri
pierderi

Recapitulare: calculul de regim permanent

date de intrare

parametri electrici
configurație de funcționare
sarcini



rezultate

tensiuni,
circulații de puteri
pierderi

De ce este necesar calculul de regim permanent ?

- consumurile din noduri variază continuu
- când se schimbă oricare mărime de intrare (parametru electric, configurație operațională, sarcină), se schimbă toate rezultatele (tensiuni, circulații, pierderi).
- în orice moment al zilei
 - ❑ tensiunile trebuie menținute în banda admisibilă (ret. distribuție: $\pm 10\%$ din U_n sau 0.1 u.r.), pentru ca aparatele electrice (receptoarele) conectate în noduri să poată funcționa normal
 - la joasă tensiune: $230\text{ V} \pm 23\text{V}$
 - ❑ circulațiile de puteri nu trebuie să depășească limitele impuse de limitările fizice ale materialelor conductoare și ale izolației
 - ❑ pierderile de putere trebuie să fie cât mai mici, din rațiuni economice

PCCI în energetică

- Probleme de **optimizare** pentru activitățile tehnice de proiectare, planificare și exploatare a rețelelor electrice și pentru piața de energie:
 - ❑ debuclarea optimă a rețelelor electrice de distribuție
 - ❑ optimizarea amplasării surselor de compensare a puterii reactive
 - ❑ optimizarea amplasării și funcționării surselor de generare distribuită
- Pentru piața de energie electrică:
 - ❑ **clasificarea** și gruparea curbelor de sarcină ale consumatorilor de energie electrică (profilarea sarcinii)
 - ❑ **prognoza** consumului de energie electrică

Optimizări în electroenergetică

- Optimizare: găsirea valorilor celor mai convenabile ale unor mărimi de interes, în anumite situații particulare:
 - ❑ mărimi (funcții obiectiv) aplicabile mai multor probleme generale: costuri, număr de elemente componente, schemă de proces, fiabilitate
 - ❑ mărimi (funcții obiectiv) specifice electroenergeticii: configurație operativă a unei rețele electrice, tensiuni, pierderi de putere
- Tipuri frecvente de optimizare: maximizare, minimizare a unei funcții obiectiv
- Majoritatea problemelor de optimizare sunt supuse unor restricții, cum ar fi:
 - ❑ costurile nu pot depăși un prag maxim;
 - ❑ valoarea unei tensiuni este limitată în intervalul definit de banda admisibilă $\pm 10\% * U_n$
- Pot exista soluții care să asigure valori optime ale funcției obiectiv, dar să nu îndeplinească una sau mai multe restricții (ex. o configurație de rețea cu pierderi de putere minime, dar tensiuni prea mari)

Funcționarea sistemelor electroenergetice

- Exploatarea unui sistem electroenergetic trebuie să se facă ținând cont **în orice moment** de următoarele cerințe obligatorii de funcționare:
 - ❑ asigurarea unui nivel de siguranță normat pentru alimentarea consumatorilor.
 - ❑ încadrarea în limitele admise a indicatorilor de calitate a energiei electrice (frecvență, tensiune, nivel de armonice, grad de nesimetrie pe faze).
 - ❑ funcționarea optimă pe ansamblul sistemului, în scopul producerii și transportului cu prețuri minime.
 - ❑ respectarea restricțiilor de amplasament și de mediu.

Funcționarea sistemelor electroenergetice

- În practică, sarcinile variază permanent și pot apărea defecțiuni care să scoată din funcțiune elemente importante din rețea.
- Este de dorit ca o rețea electrică să funcționeze cât mai aproape de condițiile optime, pentru a limita riscul de incidente tehnice (colaps) și a aduce profituri economice maxime.
- Concret, din punct de vedere tehnic:
 - ❑ trebuie să se realizeze echilibrul între puterea generată și cea absorbită, inclusiv pierderile
 - ❑ tensiunile în noduri trebuie menținute la valori apropiate de cele nominale
 - ❑ puterile activă și reactivă produse de grupurile generatoare trebuie menținute între anumite limite
 - ❑ încărcările liniilor și transformatoarelor nu trebuie să depășească limitele admisibile, pe durate mari de timp.
- Din punct de vedere economic
 - ❑ trebuie reduse la maxim pierderile de putere și energie
 - ❑ trebuie evitate cheltuielile inutile de mentenanță și exploatare și trebuie maximizat efectul investițiilor

PCCI în energetică

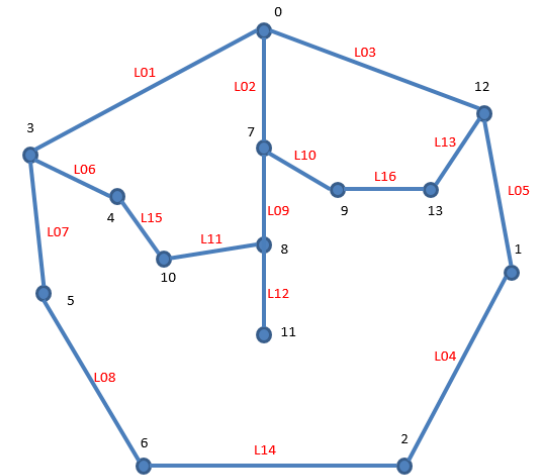
- Probleme de optimizare pentru activitățile tehnice de proiectare, planificare și exploatare a rețelelor electrice și pentru piața de energie:
 - ❑ **debuclarea optimă a rețelelor electrice de distribuție**
 - ❑ optimizarea amplasării surselor de compensare a puterii reactive
 - ❑ optimizarea amplasării și funcționării surselor de generare distribuită
- Pentru piața de energie electrică:
 - ❑ clasificarea și gruparea curbelor de sarcină ale consumatorilor de energie electrică (profilarea sarcinii)
 - ❑ prognoza consumului de energie electrică

Notatii:

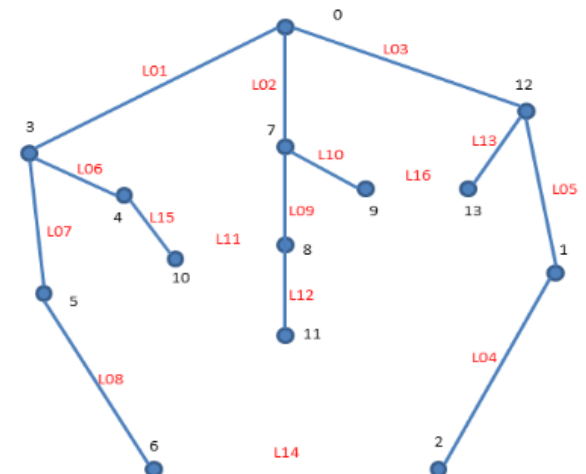
- U_n – tensiunea nominală a rețelei electrice
- NN - numărul de noduri din rețea
- NL - numărul de laturi din rețea
- U_i – tensiunea reală a unui nod i (modul)
- ΔP - pierderile de putere activă din rețea (globale)
- ΔP_{ij} - pierderile de putere activă pe latura conectată între nodurile i și j
- l_{ij} – lungimea laturii conectate între nodurile i și j
- l_j – lungimea laturii cu numărul de ordine j
- NH – numărul de ore sau regimuri de funcționare considerat în calcule
- h - ora considerată în calcul (regimul calculat)

Debuclarea optimă a rețelelor electrice

- Rețelele electrice de distribuție de medie tensiune sunt construite în configurație buclată, dar, din considerente tehnice, funcționează în schemă radială.
- Obținerea schemei radiale sau debuclarea se realizează deconectând un număr de laturi
- În configurație radială, un nod de consum este alimentat dintr-o singură direcție
- Tronsoanele deconectate sunt folosite pentru a restabili alimentarea în caz de avarie



R14 - Schema completă, cu tronsoanele de avarie conectate



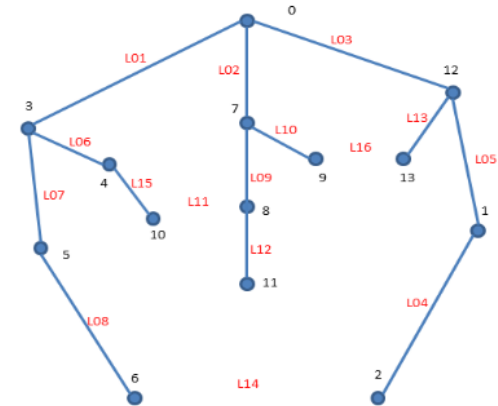
R14 – Schemă operațională radială (au fost deconectate L11, L14, L16)

Debuclarea optimă a rețelelor electrice

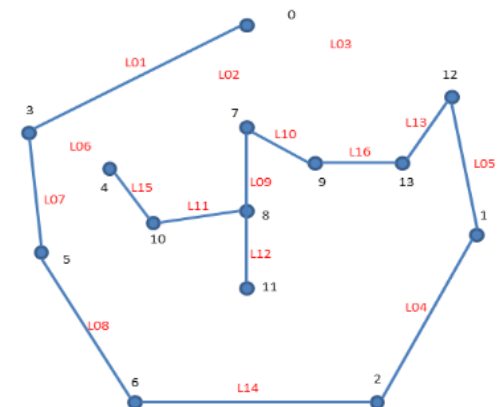
- Variante diferite de debuclare pot rezulta, pentru aceleași sarcini (același regim de funcționare) în valori diferite ale tensiunilor nodale și ale pierderilor de putere în rețea.

Nod	ora 16.00	
	Ui [kV] R 14.1	Ui [kV] R 14.2
N00	23	23.00
N01	22.89	22.37
N02	22.88	22.44
N03	22.98	22.86
N04	22.95	21.89
N05	22.98	22.68
N06	22.98	22.61
N07	22.92	22.00
N08	22.90	21.94
N09	22.90	22.10
N10	22.95	21.90
N11	22.88	21.93
N12	22.92	22.26
N13	22.90	22.14

ΔP (24h) [MW]	3.52	42.18
-------------------------	------	-------



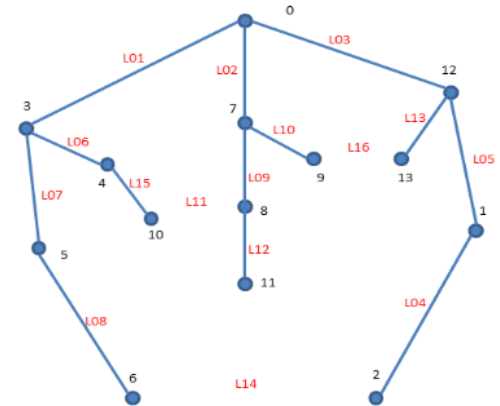
R14.1 – Schemă operațională radială 1
(au fost deconectate L11, L14, L16)



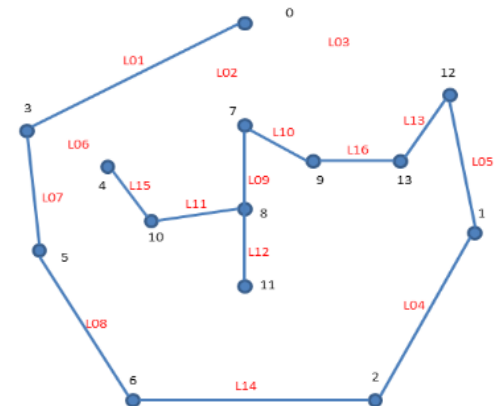
R14.2 – Schemă operațională radială 2
(au fost deconectate L2, L3, L6)

Debuclarea optimă a rețelelor electrice

- În general, creșterea lungimii rețelei duce la creșterea căderilor de tensiune pe laturi și la creșterea pierderilor de putere
- Creșterea sarcinii duce la majorarea căderilor de tensiune pe laturi (deci la tensiuni mai mici în noduri) și a pierderilor de putere
- Reducerea sarcinii duce la reducerea căderilor de tensiune pe laturi (deci la tensiuni mai mari în noduri) și la reducerea pierderilor de putere
 - ❑ O schemă care duce la minimizarea pierderilor de putere va avea, probabil, valori ridicate ale tensiunilor nodale (nu neapărat cele mai mari posibile în rețea).



R14.1 – Schemă operațională radială 1
(au fost deconectate L11, L14, L16)



R14.2 – Schemă operațională radială 2
(au fost deconectate L2, L3, L6)

Debuclarea optimă a rețelelor electrice

- Posibile probleme de optimizare pentru debuclare:

- ☐ Minimizarea pierderilor de putere și energie în exploatare

$$\min \left(\sum_{h=1}^{NH} \sum_{j=1}^{NL} \Delta P_j \right) [\text{MWh}] \quad \text{sau} \quad \sum_{h=1}^{NH} \sum_{j=1}^{NL} \Delta P_j = \min [\text{MWh}]$$

- ☐ Găsirea schemei de funcționare cu lungimea minimă a laturilor aflate în funcțiune

$$\min \left(\sum_{j=1}^{NL} l_j \right) [\text{km}] \quad \text{sau} \quad \sum_{j=1}^{NL} l_j = \min [\text{km}]$$

Debuclarea optimă a rețelelor electrice

- Posibile probleme de optimizare pentru debuclare:
 - ❑ Minimizarea abaterii valorilor tensiunilor din noduri față de valoarea tensiunii nominale

$$\min \frac{1}{NH} \sum_{h=1}^{NH} \sum_{j=1}^{NV} |U_{j,n} - U_{j,h}| \quad [\text{kV sau u.r.}]$$

- ❑ Maximizarea siguranței în alimentare a consumatorilor (scăderea numărului de întreruperi în alimentare)
- În funcție de criteriul de optimizare ales și de perioada de analiză considerată (o oră, o zi, un sezon cald sau rece, un an), schemele optime de funcționare pot rezulta diferite.

Debuclarea optimă a rețelelor electrice

- Restricții impuse în problema de debuclare optimă a rețelelor electrice radiale (selectiv):
 - ❑ Nu trebuie să rămână nicio buclă în rețea
 - ❑ Toate tensiunile nodale trebuie să se încadreze în banda admisibilă stabilită pentru nivelul de tensiune nominală al rețelei

$$U_{\min,i} \leq U_i \leq U_{\max,i}, \quad i = 1..NN$$

- ❑ Curentul care circulă pe o latură nu trebuie să depășească valoarea limită termică admisibile definită pentru tipul respectiv de conductor

$$I_j \leq I_{\max,j}, \quad j = 1..NL$$

- ❑ Niciun consumator nu trebuie să rămână nealimentat.

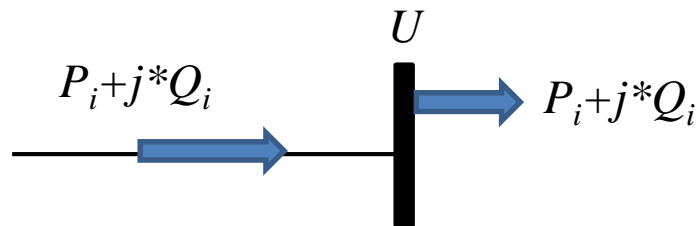
PCCI în energetică

- Probleme de optimizare pentru activitățile tehnice de proiectare, planificare și exploatare a rețelelor electrice și pentru piața de energie:
 - ❑ debuclarea optimă a rețelelor electrice de distribuție
 - ❑ **optimizarea amplasării surselor de compensare a puterii reactive**
 - ❑ optimizarea amplasării și funcționării surselor de generare distribuită
- Pentru piața de energie electrică:
 - ❑ clasificarea și gruparea curbelor de sarcină ale consumatorilor de energie electrică (profilarea sarcinii)
 - ❑ prognoza consumului de energie electrică

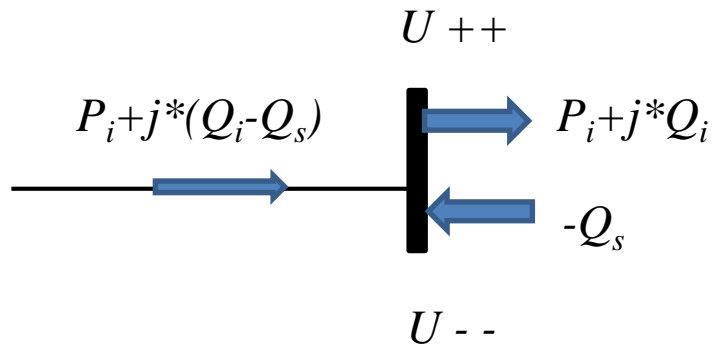
Compensarea puterii reactive

- Într-o rețea electrică
 - ❑ excedentul de putere reactivă are ca efect creșterea tensiunii
 - ❑ deficitul de putere reactivă are ca efect reducerea tensiunii
- În regimurile de funcționare cu încărcare maximă (tensiuni nodale mici), nivelul general de tensiune în rețea poate fi crescut prin injecție suplimentară de putere reactivă în anumite noduri.
- În regimurile de funcționare cu încărcare minimă (tensiuni nodale mari), nivelul general de tensiune în rețea poate fi redus prin absorbție suplimentară de putere reactivă în anumite noduri.

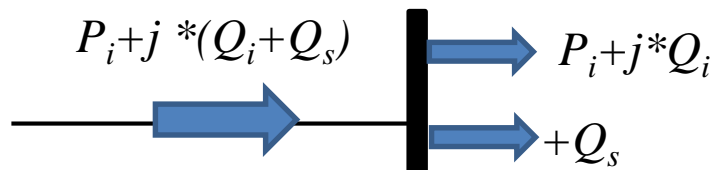
Principiul compensării puterii reactive



fără compensare



absorbție (compensare cu
baterii de condensatoare)



absorbție (compensare
cu bobine de reactanță)

Compensarea puterii reactive

- În urma compensării puterii reactive
 - ❑ Variaza nivelul de tensiune în nodurile rețelei, prin creștere sau reducere, în funcție de tipul de compensare folosit
 - crește tensiunea, atunci când se compensează cu baterii de condensatoare sunt în noduri
 - scade tensiunea, atunci când se compensează cu bobine de reactanță sunt.
 - dispozitivele de compensare statică (SVC - Static VAR Compensator) pot fi comandate fie să absoarbă, fie să injecteze putere reactivă, în funcție de necesități.
 - ❑ Prin compensarea prin injecție, apare efectul secundar de reducere a pierderilor de putere pe laturi, prin reducerea circulației datorată compensării locale.

Compensarea puterii reactive

- Funcția obiectiv a optimizării poate fi:
 - ❑ reglarea tensiunii în rețea, pentru reducerea abaterii tensiunilor nodale față de tensiunea nominală

$$\min \frac{1}{NH} \sum_{h=1}^{NH} \sum_{j=1}^{NN} |U_{j,n} - U_{j,h}| \quad [\text{kV sau u.r.}]$$

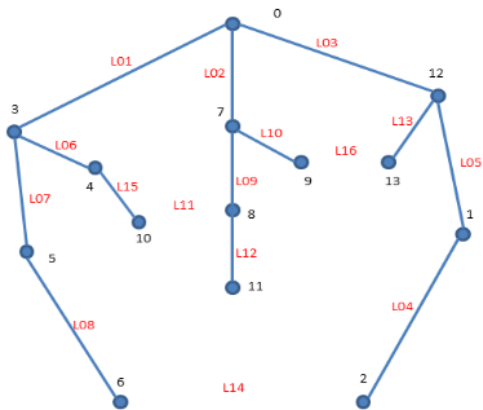
- ❑ reducerea pierderilor de putere activă în rețea

$$\min \left(\sum_{h=1}^{NH} \sum_{j=1}^{NL} \Delta P_j \right) [\text{MWh}] \quad \text{sau} \quad \sum_{h=1}^{NH} \sum_{j=1}^{NL} \Delta P_j = \min [\text{MWh}]$$

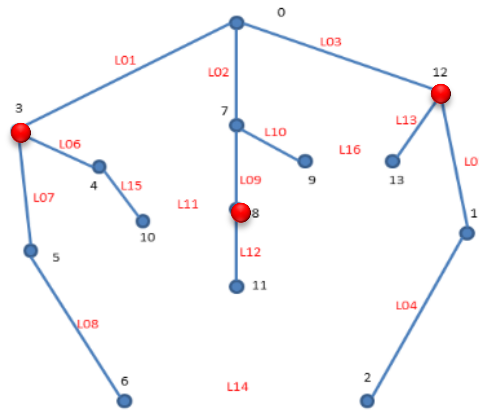
Compensarea puterii reactive

- Alegerea locului de amplasare a dispozitivelor de compensare în noduri, precum și cantitatea de putere compensată, vor determina diverse nivele de reglare a tensiunii sau de reducere a pierderilor în rețea.

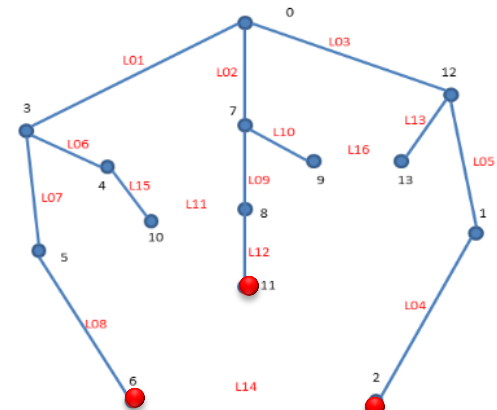
Rețeaua R14.1, laturi debuclate 14, 11, 16



fără compensare - FC



C1 - compensare cu BC
50 kVAR în nodurile 3, 8, 12



C2 - compensare cu BC
50 kVAR în nodurile 2, 6, 11

Compensarea puterii reactive

Valorile tensiunilor nodale în cele trei cazuri.
Celulele colorate indică nodurile în care s-a făcut compensare

Nod	Ui [kV] FC	Ui [kV] C1	Ui [kV] C2
N00	23	23	23
N01	22.88763	22.90033	22.913
N02	22.87981	22.89252	22.90981
N03	22.98219	22.99369	22.99367
N04	22.95468	22.9662	22.96618
N05	22.97824	22.98974	23.01041
N06	22.98427	22.99577	23.02103
N07	22.92355	22.93622	22.93621
N08	22.8967	22.92208	22.92206
N09	22.90258	22.91527	22.91525
N10	22.94873	22.96025	22.96023
N11	22.88329	22.90868	22.92135
N12	22.91893	22.93161	22.9316
N13	22.90135	22.91404	22.91403

- Trebuie aleasă varianta optimă de amplasare, în așa fel încât să se obțină cel mai bun efect de reglaj, în funcție de obiectivul urmărit.

Compensarea puterii reactive

- Restricții pentru compensarea puterii reactive:

- ☐ Toate tensiunile nodale trebuie să se încadreze în banda admisibilă stabilită pentru nivelul de tensiune nominală al rețelei

$$U_{\min,i} \leq U_i \leq U_{\max,i}, \quad i = 1..NN$$

- ☐ Curentul care circulă pe o latură nu trebuie să depășească valoarea limită termică admisibile definită pentru tipul respectiv de conductor

$$I_j \leq I_{\max,j}, \quad j = 1..NL$$

Compensarea puterii reactive

- Restricții pentru compensarea puterii reactive:
 - ❑ În cazul compensării cu baterii de condensatoare la consumator, nu trebuie să existe debitare inversă în niciun nod (puterea injectată de bateriile de condensatoare montate în nod pentru compensare nu are voie să depășească sarcina reactivă din acel nod

$$Q_{compBC,i} \leq Q_{consumat,i} \quad i = 1..NN$$

- ❑ Nu trebuie depășite stocul maxim de baterii de condensatoare (bobine de reactanță, dispozitive SVC) disponibil pentru întreaga rețea
- ❑ Nu trebuie depășite treptele maxime de reglaj ale BC/BR sau SVC.

Observație

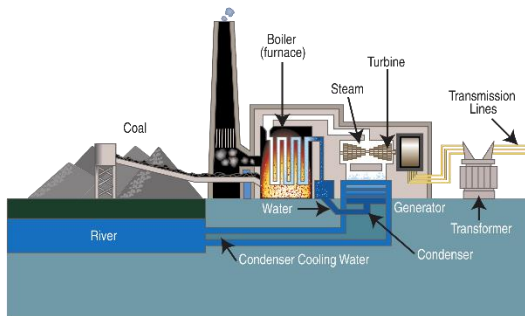
- Pentru cele două probleme de optimizare prezentate (debuclare și compensare), tensiunile și circulațiile de puteri se pot calcula cu un algoritm de regim permanent. Se fac aceleași calcule, se schimbă doar datele de intrare.
 - ❑ În cazul debuclării, se schimbă schema operativă a rețelei (modul de conexiune a laturilor). Sarcinile rămân neschimbate
 - ❑ În cazul compensării, schema rețelei rămâne neschimbată. Se modifică sarcinile reactive din anumite noduri, conform soluției de compensare aleasă.

PCCI în energetică

- Probleme de optimizare pentru activitățile tehnice de proiectare, planificare și exploatare a rețelelor electrice și pentru piața de energie:
 - ❑ debuclarea optimă a rețelelor electrice de distribuție
 - ❑ optimizarea amplasării surselor de compensare a puterii reactive
 - ❑ **optimizarea amplasării și funcționării surselor de generare distribuită**
- Pentru piața de energie electrică:
 - ❑ clasificarea și gruparea curbelor de sarcină ale consumatorilor de energie electrică (profilarea sarcinii)
 - ❑ prognoza consumului de energie electrică

Optimizarea amplasării DG

- Sursele de generare distribuită (Distributed Generation - DG) sunt capacități mici de producție instalate la consumator:
 - ☐ Panouri solare montate pe casă
 - ☐ Mici generatoare care deservesc o gospodărie
 - ☐ etc



Generatoarele clasice sunt predictibile în funcționare, au timpi de pornire și oprire cunoscuți, sunt complet controlabile în regim normal de funcționare.



Funcționarea generatoarelor eoliene sau panourilor fotovoltaice este dependentă de condițiile meteo, care adesea sunt imprevizibile.

Optimizarea amplasării DG

- Influența surselor DG într-o rețea electrică poate fi analizată tot cu ajutorul calculului de regim.
- Cea mai simplă metodă de modelare a DG în calculele de regim este considerarea unor injecții de putere suplimentare în nodurile în care există și funcționează DG, cu anumite particularități:



$$P_{cons\ nod} = P_{cons\ nod} - P_{gen\ wind}$$
$$Q_{cons\ nod} = Q_{cons\ nod} + Q_{gen\ wind}$$

Turbinele eoliene generează putere activă, dar consumă putere reactivă din rețea pentru a putea funcționa

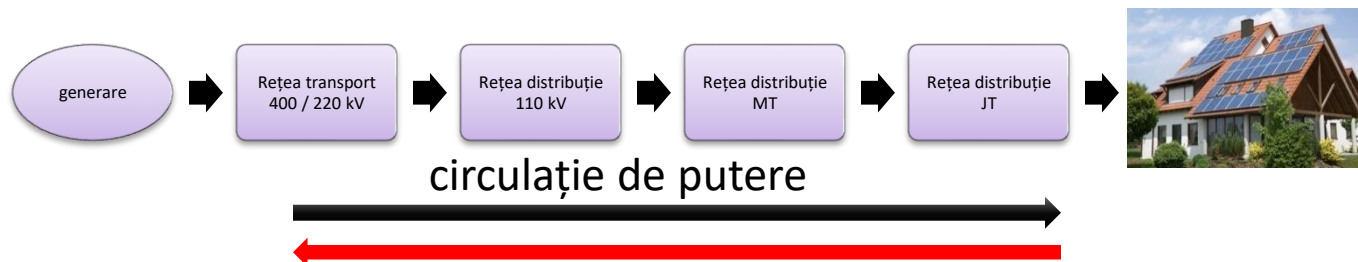
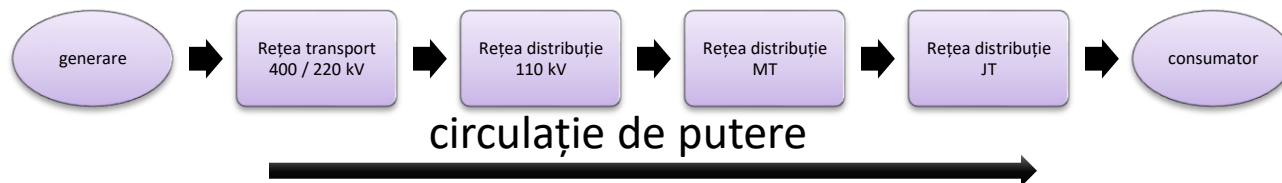


$$P_{cons\ nod} = P_{cons\ nod} - P_{gen\ wind}$$
$$Q_{cons\ nod} = Q_{cons\ nod}$$

Panourile fotovoltaice generează doar putere activă, nu consumă și nu produc putere reactivă

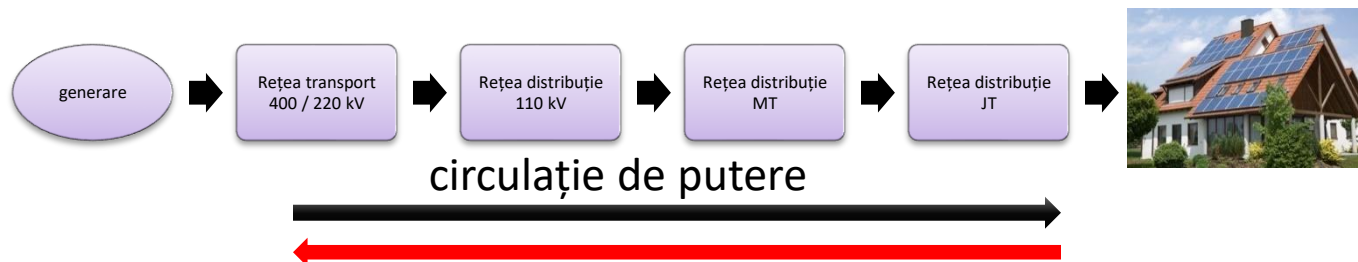
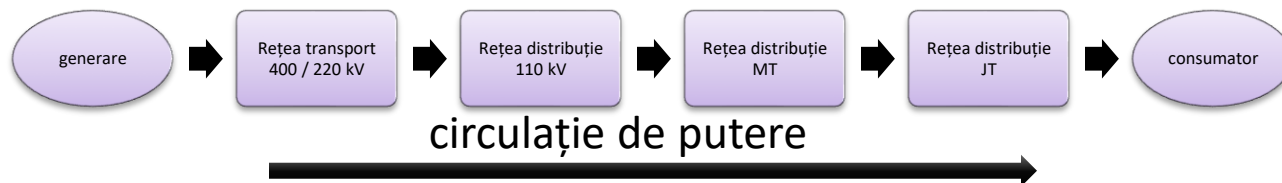
Optimizarea amplasării DG – de ce ?

- DG se instalează la consumator, în rețele de 110 / 20 / 0.4 kV
- Rețelele de distribuție existente nu au fost proiectate să susțină acest tip de generare locală.
- Consumatorii devin și producători, care injectează putere în sistemul electroenergetic.



Optimizarea amplasării DG – de ce ?

- Funcționarea DG și a producătorilor mari din resurse regenerabile schimbă tensiunile din noduri, circulațiile de putere pe laturi, pierderile de putere, local sau la nivelul întregului sistem național.
- Trebuie gestionate optim noile regimuri de funcționare.
- Trebuie gestionat caracterul imprevizibil al producției din surse regenerabile.



Algoritme de optimizare:

- Algoritme de calcul inteligent folosite pentru probleme de optimizare:
 - ❖ **algoritme evolutive (evolutionary algorithms)** - explorarea, adaptarea la condiții schimbătoare, supraviețuirea celui mai bine adaptat - algoritmul genetic
 - ❖ **algoritmul furnicii (the ant algorithm)** - agenți inteligenți, care învață interacționând cu mediul și din experiența predecesorilor
 - ❖ **optimizarea deplasării roiurilor (Particle Swarm Optimization)** - inteligența colectivă a stolurilor de păsări sau a bancurilor de pești

PCCI în energetică

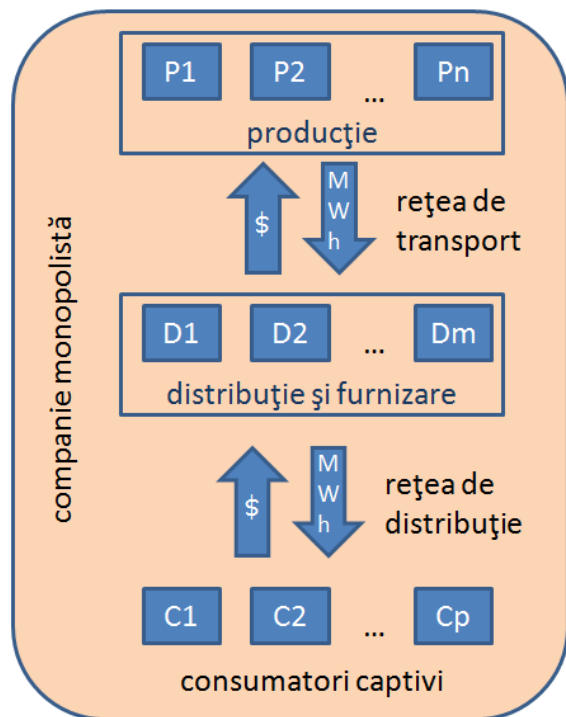
- Probleme de optimizare pentru activitățile tehnice de proiectare, planificare și exploatare a rețelelor electrice și pentru piața de energie:
 - ❑ debuclarea optimă a rețelelor electrice de distribuție
 - ❑ optimizarea amplasării surselor de compensare a puterii reactive
 - ❑ optimizarea amplasării și funcționării surselor de generare distribuită
- Pentru piața de energie electrică:
 - ❑ **clasificarea și gruparea curbelor de sarcină ale consumatorilor de energie electrică (profilarea sarcinii)**
 - ❑ **prognoza consumului de energie electrică**

Piața de energie electrică

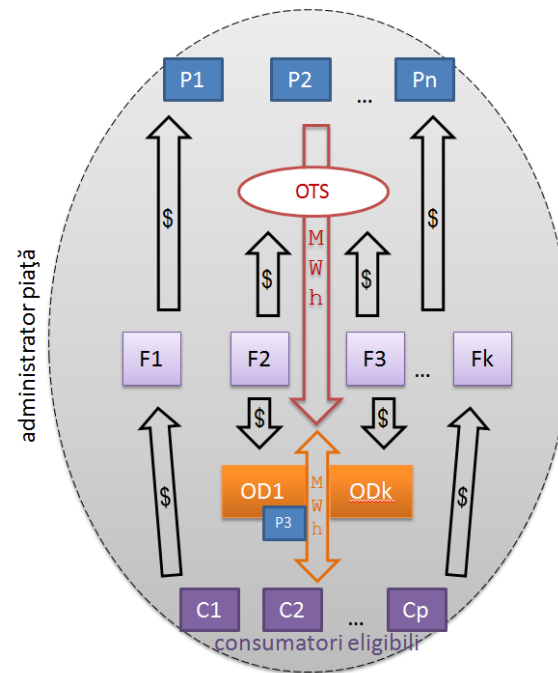
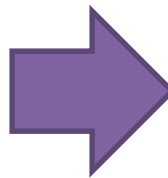
- Piața de energie electrică liberalizată este noua formă de organizare promovată în ultimele două decenii pentru tranzacționarea **energiei electrice** începând de la producător și până la consumatorul final.



Piața de energie electrică



modelul monopolului la toate nivelurile



modelul concurenței pe piața cu amănuntul

sau, pe scurt



Piața de energie electrică

- Energia electrică nu poate fi stocată în cantități mari, deci trebuie consumată atunci când este produsă
- Deoarece producătorii, operatorii de rețea și furnizorii sunt entități distincte care operează pe o piață concurențială bazată pe profit, există răspunderi contractuale care trebuie îndeplinite în condițiile unui schimb minim de date sensibile între părți și a minimizării costurilor.

Piața de energie electrică – necesitatea prognozei

- Deoarece consumul nu poate fi impus și poate depinde de factori multipli (starea economiei, percepția socială, condițiile meteo de moment), pot apărea scenarii defavorabile
 - ❑ Furnizorul să contracteze mai multă energie electrică decât consumul realizat efectiv
 - ❑ Furnizorul să contracteze mai puțină energie electrică decât consumul realizat efectiv
- Furnizorul trebuie să își acopere deficitul de energie necesară cumpărând cantitățile lipsă de pe piață, de cele mai multe ori la prețuri mai mari decât cele prevăzute în contract.
- Furnizorul ar trebui să aibă **prognoze** cât mai precise ale consumului, pentru a evita costuri financiare nedorite cu achiziția de energie de pe piață, la prețuri mari.

Prognoza consumului de energie electrică

- Prognoza poate fi
 - ❑ **Pe termen lung** (anuală, sezonieră, lunară) – utilă pentru contractare și planificare financiară pe termen lung
 - ❑ **Pe termen mediu** (lunar, săptămânal) – utilă pentru contractare
 - ❑ **Pe termen scurt** (ore, zile) – utilă furnizorilor pentru închiderea bilanțului energie achiziționată / consum
- Pentru estimarea (prognoza) consumului unui întreg portofoliu de consumatori, se folosește pe scară largă **profilarea sarcinii** (load profiling)

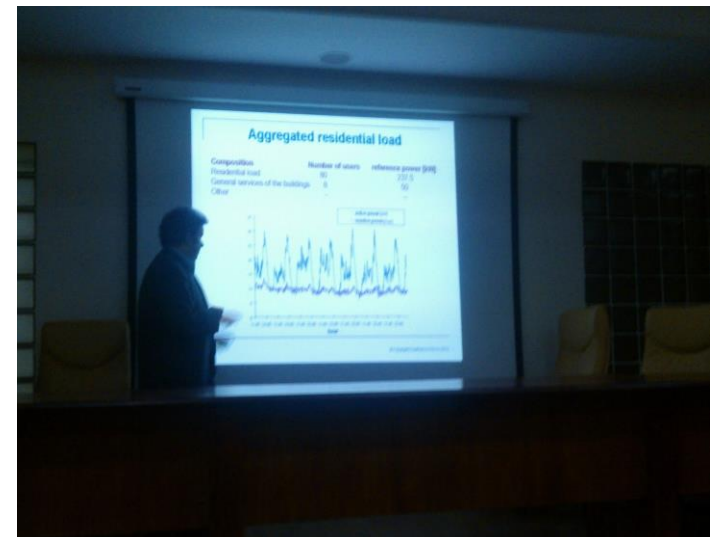
Profilarea sarcinii

- Facturarea consumului de energie electrică se face pe baza citirii contoarelor montate la consumatori.
- Contoarele tradiționale cu inducție electromagnetă oferă date minime privind consumul - ele pot înregistra doar consumul lunar, care trebuie citit de un operator uman.



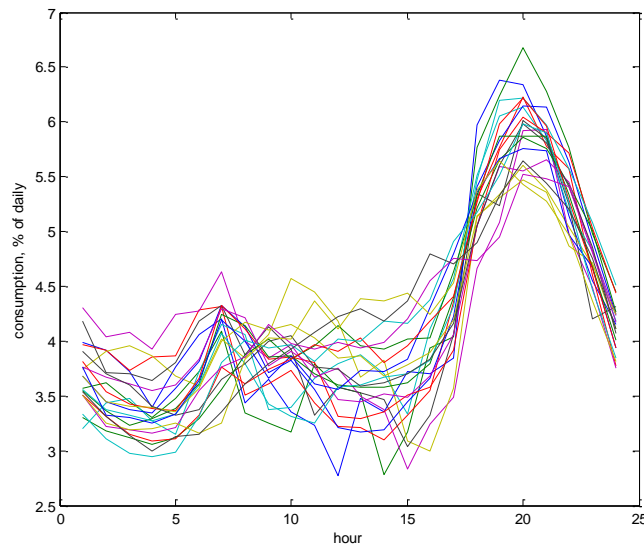
Profilarea sarcinii

- Contoarele electronice, în funcție de model, pot înregistra consumul la intervale mai mici de timp (1h, 15 min).
- Citirea lor automată se poate face doar dacă sunt montate într-o rețea inteligentă (Smart Grid), care oferă posibilitatea comunicațiilor de date la distanță
- Cu excepția unor țări dezvoltate economic, rețelele electrice nu au încă infrastructura necesară citirii de la distanță a consumurilor de energie și a stocării unor informații detaliate privind consumul (curbe de sarcină)

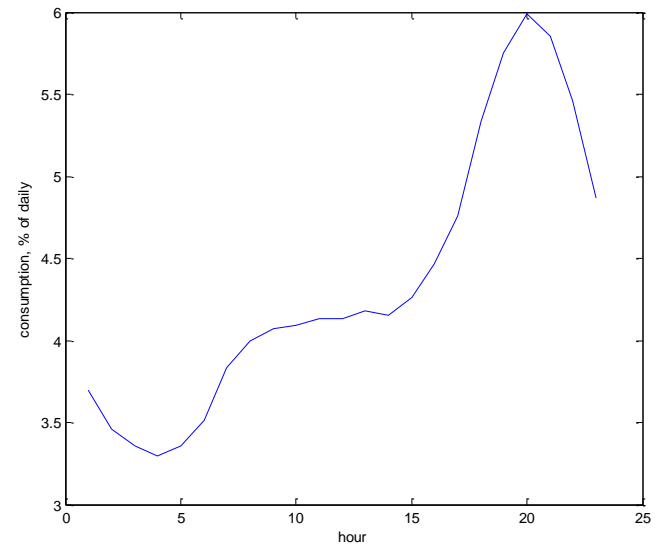
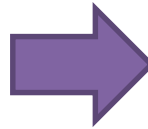


Profilarea sarcinii

- Determină curbe-tip de sarcină pentru categorii de consumatori (casnici, industriali, comerciali, servicii publice etc.)
- Se folosește pentru zonele de rețea unde nu există monitorizare generalizată prin contoare electronice cu înregistrare de curbă de sarcină.



curbe măsurate
la consumatori reprezentativi



curbă-tip determinată
pentru categoria de consum casnic

exemplu de profilare pentru consumatori casnici

Profilarea sarcinii

- Stabilirea categoriilor de consum considerate pentru profilare și a numărului de curbe folosit pentru fiecare categorie de consum se numește **segmentare**.
- Curbele-tip se pot stabili pentru
 - ❑ Categori de consum (casnic, industrial, servicii, comercial etc)
 - ❑ Tipuri de zile (lucrătoare, de repaus, sărbători legale)
 - ❑ Sezon (rece, cald)
- În România, segmentarea consumatorilor pe categorii și tipuri de zile este stabilită de către fiecare operator de rețea de distribuție, pentru rețeaua sa, și este aprobată de ANRE.

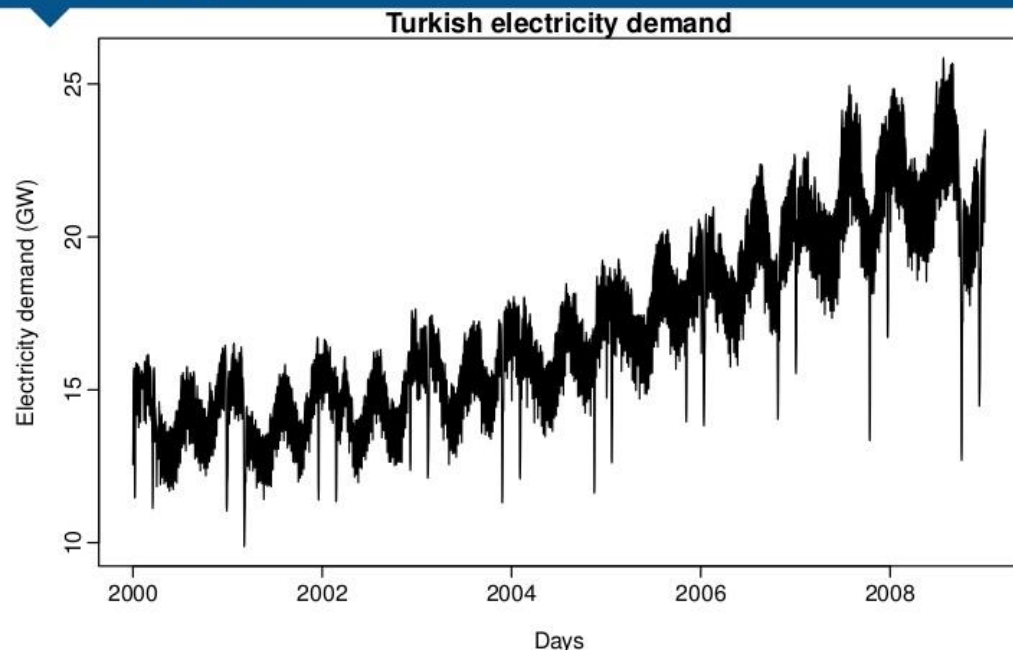
Profilarea sarcinii

- În esență, profilarea sarcinii este o problemă de clasificare și clustering (grupare).
- Un algoritm de calcul inteligent des utilizat pentru clasificare și clustering: **rețeaua neuronală Kohonen**.

Proгноза consumului de energie electrică

- Consumul înregistrat în noduri sau puterea produsă în centralele electrice sunt stocate în baze de date sub forma unor **serii de timp** (consum realizat + data calendaristică, ora, minutul înregistrării)

Examples



Prognoza – formulare matematică

- În esență, consumul de energie electrică poate fi considerat matematic drept o funcție cu mai mult evariabile de intrare (numărul și profilul de consum al consumatorilor, condițiile meteo, ora din zi, ziua din an ș.a.m.d)
- Nu se poate cunoaște exact ponderea fiecăruia dintre acești factori și nici expresia matematică a funcției

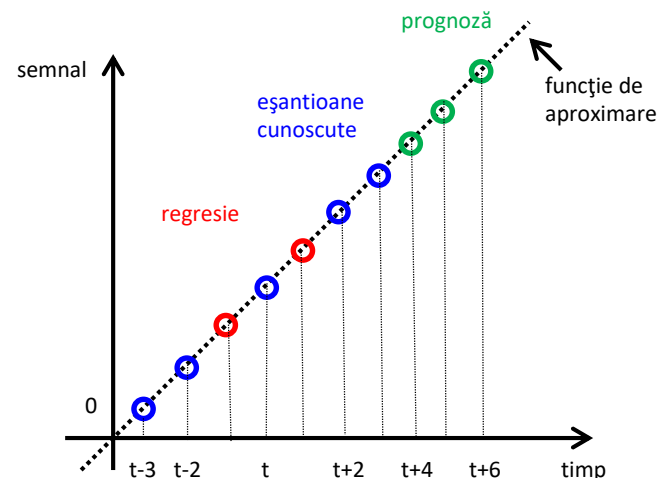
$$consum=f(nrcons, meteo, zi, oră \text{ etc})$$

însă se pot construi diferite funcții aproximative, teoretice, bazate pe studii reale, care sunt mai mult sau mai puțin precise.

Prognoza – formulare matematică

- Aproximarea funcțiilor sau a seriilor de date: identificarea expresiei analitice aproximative pe baza unor eșantioane $x - f(x)$
 - Regresia sau interpolarea: Cunoaștem valoarea unui semnal în intervalele de timp $(t-3)$, $(t-2)$, (t) , $(t+2)$, $(t+3)$. Determinând expresia funcției care exprimă variația semnalului în timp, pot fi calculate valorile semnalului în intervalele lipsă $(t-1)$ sau $(t+1)$.
 - Prognoza: estimarea valorii semnalului în viitor, în intervalele de timp $(t+4)$ sau $(t+6)$.

- Algoritme de calcul inteligent utilizate pentru aproximare, clasificare și prognoză:
rețele neuronale artificiale



Recapitulare

- Structura rețelelor electrice
- Probleme specifice electroenergeticii care pot fi rezolvate cu algoritme de calcul inteligent
 - ❑ Probleme de optimizare
 - debuclarea optimă a rețelelor de distribuție
 - compensarea puterii reactive
 - amplasarea surselor de generare distribuită
 - ❑ Probleme de clasificare / clustering
 - profilarea sarcinii
 - ❑ Probleme de aproximare
 - prognoza sarcinii

va urma

- Introducere în calculul inteligent

Vă mulțumesc pentru atenție !