

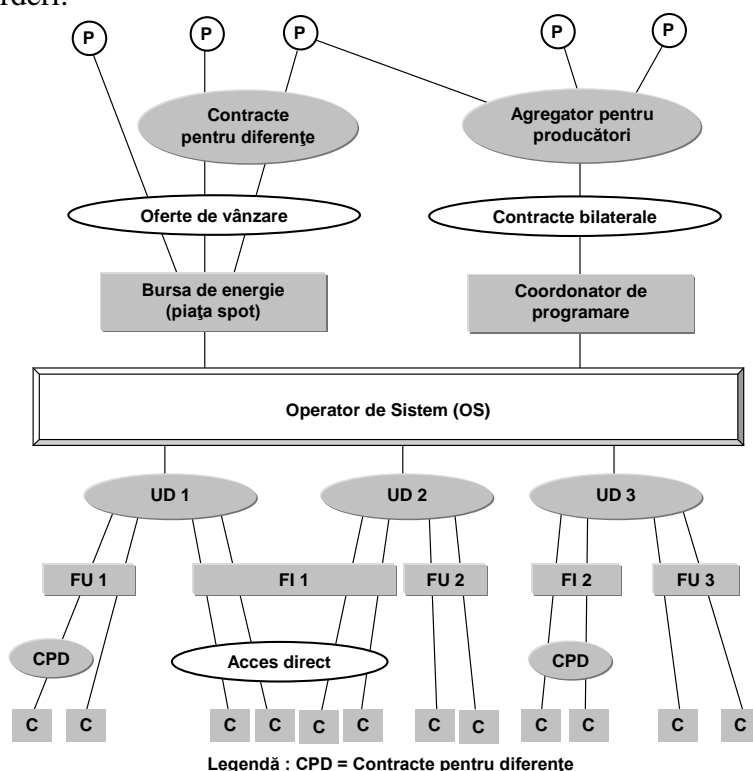
## PIAȚA DE ENERGIE ELECTRICĂ – MODELUL PIEȚEI SPOT

Unul din cele mai elaborate și liberale modele de piață de energie electrică este cel adoptat în S.U.A., dezvoltat pe baza propunerilor avansate de autoritățile competente din statele California și Texas. Structura acestui model este descrisă sintetic în Fig. 1.

Coordonarea activității întregii piețe este asigurată de cele 3 organisme care reprezintă miezul întregului system: Operatorul de Sistem (OS), Operatorul Pieței spot sau bursa de energie electrică (PS) și unul sau mai mulți coordonatori de programare (CP). Coordonatorii independenți de programare sunt entități care asigură agregarea unor producători pentru care participarea directă pe piața spot nu este economică / eficientă (producători independenți și mici producători).

Particularitatea specifică pieței de energie electrică din California o reprezintă mecanismul de formare a PMS în condițiile existenței mai multor operatori care asigură programarea încărcării grupurilor din portofoliul propriu. Pentru a trata un caz general, se consideră că pe piață există două entități coordonatoare, și anume Piața Spot (PS) și un Coordonator de Programare (CP).

Deoarece prețurile spot se stabilesc pentru fiecare interval bază de decontare, considerat egal cu o oră, în continuare nu se vorbește de energie, ci de putere, iar prețurile sunt exprimate în unități monetare (u.m.), în loc de u.m. / MWh. Din considerente de simplificare a expunerii, se va considera, de asemenea, că în rețea nu se produc pierderi.



**Fig. 1** – Structura pieței de energie electrică din California (P – producători ; UD – utilități de distribuție ; FU – furnizori, utilități de distribuție ; FI – furnizori independenți ; C – consumatori).

Astfel, se consideră cazul unui sistem format din două zone electrice A și B, interconectate printr-o linie electrică (Fig. 2). În cele două zone se găsesc producători și consumatori coordonați de cele două entități: producătorii G1 și G2, respectiv consumatorii C1 și C2 sunt coordonați de PS, iar producătorii G3 și G4, respectiv

consumatorii  $C3$  și  $C4$  – de  $CP$ . Datele din Fig. 2 se interpretează în felul următor. Pentru entitățile coordonate de  $PS$ :

- producătorul  $G1$  dorește să vândă energie la un preț de cel puțin 10 u.m., până la o încărcare maximă de 500 MW;
- producătorul  $G2$  dorește să vândă energie la un preț de cel puțin 20 u.m., până la o încărcare maximă de 500 MW;
- consumatorul  $C1$  dorește să cumpere 100 MW la un preț cel mult egal cu  $P_{max}$  (de exemplu,  $P_{max} = 2500$  u.m.);
- consumatorul  $C1$  dorește să cumpere 100 MW la un preț cel mult egal cu  $P_{max}$ .

În mod asemănător, pentru coordonatorul de programare  $CP$ :

- producătorul  $G3$  dorește să vândă energie la un preț de cel puțin 12 u.m., până la o încărcare maximă de 500 MW;
- producătorul  $G4$  dorește să vândă energie la un preț de cel puțin 18 u.m., până la o încărcare maximă de 100 MW;
- consumatorul  $C3$  dorește să cumpere 100 MW;
- consumatorul  $C4$  dorește să cumpere 100 MW.

Pentru consumatorii  $C3$  și  $C4$ , care sunt părți ale unor contracte bilaterale, prețul de cumpărare este fixat în contract și nu este determinat de piață (de aceea în tabelele care urmează pentru acești producători nu se indică valorile plăților pentru energia consumată). În ceea ce privește producătorii, se consideră că prețurile din ofertele lor corespund costurilor reale de producere (deci nu se încearcă realizarea de profit prin jocul cerere – ofertă).

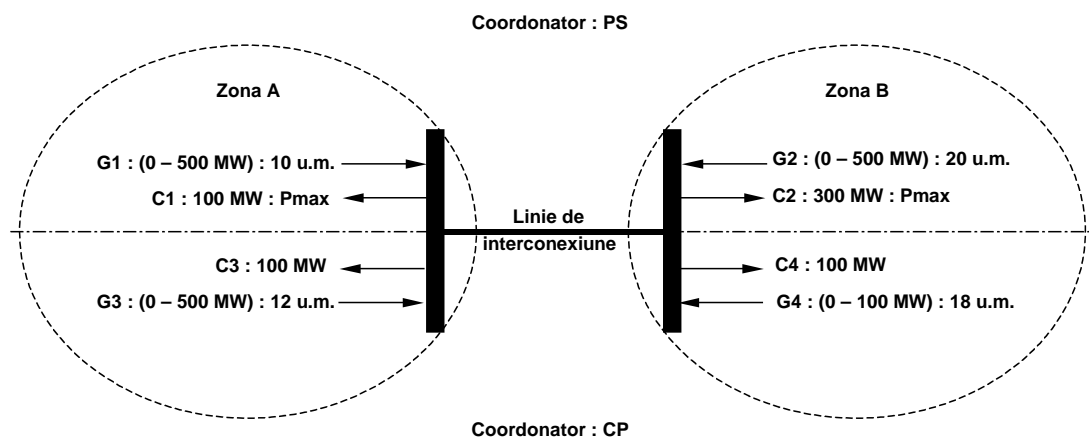
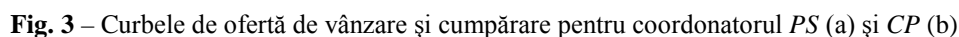


Fig. 2 – Microsistem cu două entități coordonatoare.

În absența restricțiilor, coordonatorul ( $PS$  sau  $CP$ ) procedează la agregarea ofertelor de vânzare și cumpărare, iar la intersecția celor două curbe se stabilește prețul marginal de sistem fără restricții ( $PMS$ ). De exemplu, în cazul  $PS$ , deoarece consumatorii nu au indicat nici un preț limită, curba agregată a ofertelor de cumpărare are o singură tranșă ( $100 + 300 \text{ MW}$ ,  $P_{max}$ ) = ( $400 \text{ MW}$ ,  $P_{max}$ ). În cazul producătorilor, datorită prețurilor diferite indicate, curba agregată a ofertelor de vânzare va avea două tranșe: ( $500 \text{ MW}$ ,  $10 \text{ u.m.}$ ) și ( $500 + 500 \text{ MW}$ ,  $20 \text{ u.m.}$ ) = ( $1000 \text{ MW}$ ,  $20 \text{ u.m.}$ ). Curba de ofertă a producătorilor este ordonată crescător, de la stânga la dreapta, iar curba de ofertă a consumatorilor este ordonată descrescător, tot de la stânga la dreapta (vezi Fig. 3 a). Prețul  $PMS$  va fi egal cu 10 u.m. Procedând în mod asemănător pentru producătorii și consumatorii coordonați de  $CP$ , se obțin curbele agregate ale ofertelor de vânzare și cumpărare din Fig. 3.b.



Coordonator	Producător	Consumator	Programat - MW -	Cost producere - u.m. -	Decont consumator - u.m. -
PS	G1	C1 C2	400	4000	-
	G2		0	0	-
			100	-	1000
			300	-	3000
Total PS				4000	4000
CP	G3	C3 C4	200	2400	-
	G4		0	0	-
			100	-	x
			100	-	x
Total CP				2400	x
Total general				6400	x

PMS calculat conform modelului descris mai sus corespund așa-numitei ordine de merit fără restricții OFR. Pentru a ține seama de eventualele restricții de sistem și de rețea ce pot interveni în funcționarea reală (de exemplu, supraîncărcarea unei linii de interconexiune), se impune construirea ordinei de merit cu restricții. În principiu, luarea în considerare a acestor restricții va avea ca efect creșterea PMS.

În continuare, se consideră că legătura dintre zonele *A* și *B* este caracterizată de o capacitate maximă de transport de 275 MW. Dacă s-ar respecta programarea fără restricții, pe linia de interconexiune ar circula 300 MW (alimentarea consumatorului *C2* de la producătorul *G1*), plus 100 MW (alimentarea consumatorului *C4* de la producătorul *G3*), în total 400 MW. Cu alte cuvinte, s-ar depăși capacitatea de

transport a legăturii cu 125 MW. Restricția rezultă așadar din concurența dintre *PS* și *CP* pentru folosirea liniei de interconexiune dintre zonele *A* și *B*.

În noile condiții, cei 125 MW peste capacitatea de transport a liniei trebuie furnizați din zona *B* de către producătorii *G2* și *G4*, care nu au participat la programarea fără restricții datorită prețurilor mari oferite. Pentru stabilirea programării cu restricții trebuie să se țină seama de concurența dintre *PS* și *CP* pentru folosirea liniei de legătură, având totodată în vedere că pentru folosirea liniei *OS* încasează o taxă pentru capacitatea de transport în regim cu restricții.

În momentul apariției restricției, întreaga putere transferată pe linie se plătește *OS* la valoarea costului incremental. Astfel, fiecare MW programat de *PS*, care nu poate fi transmis din zona *A* în zona *B*, cu un cost de 10 u.m., trebuie înlocuit cu 1 MW produs în zona *B*, cu un cost de 20 u.m., deci un cost incremental de  $(20 - 10) = 10$  u.m. În mod asemănător, fiecare MW programat de *CP*, produs cu un cost de 12 u.m. și care nu poate fi transmis din zona *A* în zona *B*, este înlocuit cu 1 MW produs în zona *B*, cu un cost de 18 u.m., deci un cost incremental de  $(18 - 12) = 6$  u.m.

Dacă nu se consideră consumatorii *C1* și *C3*, care nu afectează cu nimic restricția impusă de capacitatea maximă de transport a liniei de interconexiune dintre cele două zone, *PS* și *CP* au o producție netă de 300 MW, respectiv 100 MW. Aceste puteri sunt produse la costurile incrementale de 10 u.m., respectiv 6 u.m. Prin agregarea acestor oferte de cumpărare de la *OS* a capacității de transport, rezultă curba din Fig. 4 și, corespunzător valorii de 275 MW, se obține prețul de utilizare a capacității de transport de 10 u.m., care se plătește *OS*. De asemenea, *OS* alocă întreaga capacitate de transport (275 MW) *PS* deoarece oferta sa, asociată costului incremental (10 u.m.), este superioară ofertei rezultate pentru *CP* (6 u.m.).

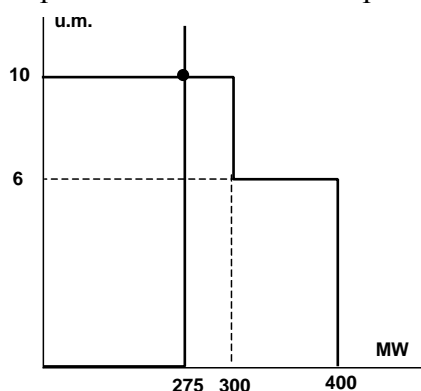


Fig. 4 – Costurile incrementale pentru capacitatea de transport

Prin urmare, 275 MW necesari în zona *B* pentru consumatorul *C2* vor fi produși de *PS* în zona *A*, iar restul de 25 MW vor fi produși de *G2* în zona *B* la un preț de 20 u.m. Pentru *CP*, toți cei 100 MW necesari consumatorului *C4* vor fi produși, în aceeași zonă, de producătorul *G4* la un preț de 18 u.m.

Se menționează că, în prezența restricțiilor, chiar dacă cei 275 MW din puterea absorbită de consumatorul *C4* sunt produși în zona *A* la un preț de 10 u.m. și numai 25 MW sunt produși la un preț de 20 u.m., consumatorul va plăti întreaga putere la prețul de 20 u.m., pentru a acoperi și plățile către *OS*.

Rezultă astfel prețuri diferite pentru fiecare zonă: 10 u.m., respectiv 20 u.m. pentru coordonatorul *PS* și 12 u.m., respectiv 18 u.m. pentru coordonatorul *CP*. Aceste prețuri se numesc *prețuri zonale*. Astfel, în prezența restricțiilor, programarea producătorilor controlați de *PS* și *CP*, împreună cu costurile de producere și decontările consumatorilor, sunt indicate în Tabelul 3. Pentru *PS* diferența dintre valoarea totală a energiei cumpărate (7.000 u.m.) și costurile de producere (4.250 u.m.), adică 2.750 u.m. va fi încasată de *OS* (10 u.m. \* 275 MW), care o va transfera

entității fizice care realizează exploatarea și întreținerea rețelei de transport. Această sumă este plătită de *PS* ( $7000 - 4250 = 2750$  u.m.), care este unicul utilizator al liniei de interconexiune pe care s-a produs restricția.

**Tabelul 3** - Programarea producătorilor și fluxurile financiare în prezența restricțiilor

Coordonator	Producător	Consumator	Programat - MW -	Cost producere - u.m. -	Decont consumator - u.m. -
PS	G1		375	3750	-
	G2		25	500	-
		C1	100	-	1000
		C2	300	-	6000
Total PS				4250	7000
CP	G3		100	1200	-
	G4		100	1800	-
		C3	100	-	x
		C4	100	-	x
Total CP				3000	x
Total general				7250	x

#### 4.4. Mecanismul de creare de capacitate suplimentară de transport

În cele ce urmează se va arăta că modificarea programării la unitățile coordonate de *CP* poate contribui la *crearea de capacitate de transport suplimentară*. În acest scop se consideră că oferta producătorului *G4* menține prețul, dar crește puterea disponibilă de la 100 MW, la 500 MW.

În noile condiții, pornind de la programarea cu restricții stabilită anterior (Tabelul 3) pentru coordonatorul *CP*:

Producător / Consumator	G3	C3	G4	C4
Programare - MW	100	100	100	100

se admite încărcarea suplimentară a producătorului *G4* cu 25 MW și descărcarea corespunzătoare a producătorului *G3*:

Producător / Consumator	G3	C3	G4	C4
Programare - MW	75	100	125	100

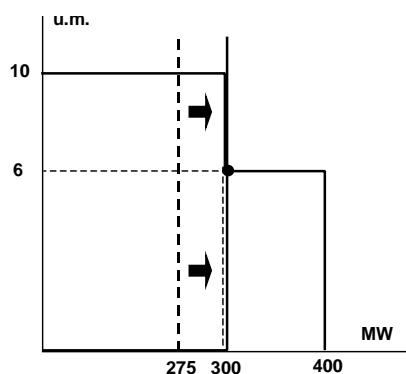
Această modificare înseamnă, la nivelul *CP*, transferul a 25 MW pe linia de interconexiune, din zona *B* spre zona *A*. În ceea ce privește *PS*, programarea acesteia rămâne cea din cazul absenței restricțiilor, ceea ce înseamnă transferul a 300 MW pe linia de interconexiune, din zona *A* spre zona *B*. Astfel, transferul total pe linia de interconexiune va fi de  $(300 - 25) = 275$  MW. În felul acesta se evită trecerea în regim “cu restricții”. Acest proces de reducere a încărcării liniei de interconexiune prin modificarea încărcării unuia sau mai multor grupuri dintr-o zonă, se numește *creare de capacitate de transport suplimentară*.

Din punctul de vedere al curbei agregate a ofertelor de cumpărare de la *OS* a capacității de transport (vezi Fig. 4), modificarea programării cu 25 MW la producătorul *G4* este echivalentă cu deplasarea dreptei asociate capacității de transport spre dreapta cu 25 MW (Fig. 5). În felul acesta, prețul de utilizare a rețelei, în prezența restricțiilor, devine egal cu 6 u.m.

Astfel, coordonatorul *PS* va programa la producătorul *G1* 100 MW pentru consumatorul *C1*, la un preț egal cu costul de producere (10 u.m.) și alți 300 MW, care vor fi transmiși în zona *B*, pentru consumatorul *C2*, la un preț egal cu costul de producere, plus prețul capacității de transport:  $(10 + 6) = 16$  u.m. Cât despre

coordonatorul *CP*, acesta produce 75 MW în zona *A* cu un cost de producere de 12 u.m. și 125 MW în zona *B* cu un cost de 18 u.m., din care 25 MW sunt transmiși în zona *A*. Astfel, programarea producătorilor controlați de *PS* și *CP*, împreună cu costurile de producere și decontările consumatorilor, sunt cele din Tabelul 4.

După cum se constată din analiza datelor din acest tabel, costurile totale de producere la nivelul *PS* și al *CP* sunt de 7150 u.m., mai mici cu 100 u.m. față de cazul programării cu restricții din exemplul anterior – 7250 u.m. (vezi Tabelul 3). Se poate spune că la nivelul societății s-a făcut o economie de 100 u.m. Totuși, costurile de producere la nivelul *CP* au crescut cu 150 u.m., de la 3000 u.m. în cazul programării cu restricții (vezi Tabelul 3), la 3150 u.m. în cazul de față, în timp ce costurile de producere la nivelul *PS* au scăzut cu 250 u.m., de la 4250 u.m. (vezi Tabelul 3), la 4000 u.m. Ar rezulta că în această partidă cei care pierd sunt producătorii coordonați



**Fig. 5** – Crearea de capacitate de transport suplimentară

**Tabelul 4** - Programarea producătorilor și fluxurile financiare în cazul creării capacității de transport

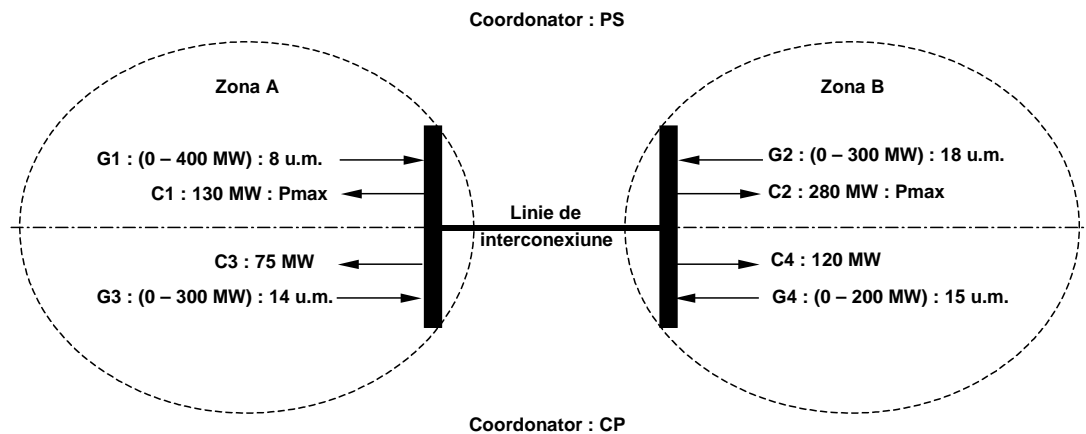
Coordonator	Produce	Consumator	Programat - MW -	Cost producere - u.m. -	Decont consumator - u.m. -
<b>PS</b>	G1		400	4000	-
	G2		0	0	-
		C1	100	-	1000
		C2	300	-	4800
<b>Total PS</b>				4000	5800
<b>CP</b>	G3		75	900	-
	G4		125	2250	-
		C3	100	-	x
		C4	100	-	x
<b>Total CP</b>				3150	x
<b>Total general</b>				7150	x

de *CP*. Totuși, după cum vom vedea în continuare, *CP* este recompensat pentru crearea de capacitate suplimentară de transport prin producerea în zona *B* a 25 MW, mai scumpi pentru el. Astfel, diferența de 1800 u.m. dintre decontările consumatorilor și costurile de producere pentru *PS* este transferată *OS* (300 MW \* 6 u.m.). Din această sumă, 1650 u.m. (275 MW \* 6 u.m.) sunt transferate de *OS* către entitatea care exploatează și întreține rețeaua, ca taxă pentru utilizarea capacității de transport, iar restul de 150 u.m. (25 MW \* 6 u.m.) sunt plătiți de *OS* către *CP* pentru a compensa încărcarea neeconomică a grupurilor coordonate, care dusesse la creșterea costurilor de producere.

Acest mecanism de creare de capacitate de transport suplimentară de către unul din coordonatorii de programare participanți pe piață conduce la aceleași

rezultate economice ca și în cazul în care întregul sistem din Fig. 2 ar fi coordonat de o entitate unică.

Folosind mecanismele de formare a PMS descrise, să se deducă PMS pentru cazul ipotetic privind ofertele de vânzare – cumpărare ale producătorilor și consumatorilor coordonați de PS și CP, conform în Fig. 6.



**Fig. 6** – Exemplu de calcul pentru Tema 2.