

Optimalizálási problémák a liberalizált energiapiacon

Mádi-Nagy Gergely

ELTE Operációkutatási Tanszék/IP Systems Informatikai Kft.

Forrás optimalizáció

Adott rövid- és hosszútávú fogyasztási előrejelzés mellett, az optimális beszerzési stratégia megtalálása a hosszútávú szerződések és piaci termékek alapján.

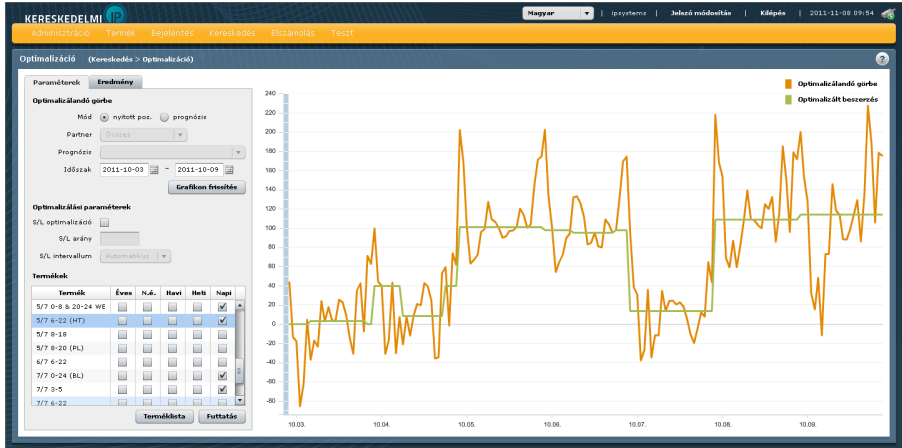
Eddig megvalósult, illetve folyamatban lévő fejlesztések

- ▶ **Földgázpiac:** Take-or-pay (TOP) szerződések, egyszerű tőzsdei termékek.
- ▶ **Árampiac:** nyitott pozíciók optimális lefedése tőzsdei termékekkel (5/7 Base, Offpeak 20-8 stb.)

Távolabbi célok:

- ▶ Szerződés menedzsment
- ▶ Kapacitás menedzsment

Nyitott pozíciók optimális lefedése tőzsdai termékekkel



Aukciós problémák

- ▶ **Napi Földgáz és Kapacitás Kereskedelmi Piac (NFKP) ajánlat párosítása:**

Alapvetően beérkezési sorrend szerint, de "Mindet vagy semmi" (MVS) vs. részben is teljesíthető ajánlatok miatt egészértékű programozási feladat.

- ▶ **Határ-kapacitás kereskedelem a közép-kelet európai régióban:**

Központosan koordinált, folyam alapú kapacitás allokáció.
Árnyékárakat (dualitás elméletet) használ.

A közép-kelet európai régió (CEE)



Koordinált aukciók

Az eddigi bilaterális OTC ügyletek helyett a CEE TSO-i két lépésben szándékoznak bevezetni a folyam alapú határ-kapacitás allokációt. A lépések:

1. Coordinated Net Transfer Capacity (NTC) assessment method: koordinált aukció, a határokon megjelenő nettó kapacitáskorlátok figyelembe vételével.
2. Coordinated flow-based allocation (FBA) method: A teljes elektromos hálózat tulajdonságait figyelembe veszi. Ezt tárgyaljuk részletesebben.

A piac

Az aukció szervezője a Central Allocation Office (CAO). A piac részletes szabályai megtalálhatóak a CAO honlapján [3].

A résztvevők ajánlatai

Egy ajánlat az alábbi három dolgot tartalmazza

- ▶ a forrás-nyelő pár tehát, hogy a kapacitást mely zónából mely zónába igényeljük,
- ▶ a kapacitás igényelt mennyisége,
- ▶ a kapacitás egy egységéért ($1MW$) ajánlott ár.

A PTDF (Power Transfer Distribution Factors) mátrix

A mátrix a PTDF-ek kritikus vonalak és a forrás-nyelő párok szerint rendezett halmaza.

▶ A

$$PTDF(Zone_x, Zone_y, line_k)$$

értéke megmondja, hogy ha 1MW-ot szállítunk a $Zone_x$ zónából a $Zone_y$ zónába, akkor mekkora mennyiséget kell szállítanunk a $line_k$ vonalon.

- ▶ Minden vonalnak van egy alapértelmezett iránya. Ha az aktuális forrás-nyelő pár szállításnál a vonalon ebben az irányban kell szállítanunk, akkor a PTDF értéke pozitív, ellenkező esetben negatív.
- ▶ Az aktuális PTDF mátrixokat a CAO ePortal [2] honlapon publikálják.

Az AMF (Available Maximum Flow) mátrix

Az AMF értékek az adott vonalak maximális kapacitárait adják meg, mindkét irányban külön-külön.

- ▶ Jelölje $AMF^+(line_k)$ a $line_k$ vonal alapértelmezett irányába mutató max. kapacitást,
- ▶ $AMF^-(line_k)$ pedig az ellentétes irányba mutató max. kapacitást

A CAO ePortal által publikált PTDF mátrix struktúrája

A napi aukció első órájának megfelelő PTDF mátrix bal felső sarka:

| Technical Parameters for Test 2 Daily Auction 7A-7B | | | | | | | | |
|---|----------------|--------|------|-----|-------|-------|-------------|-------------|
| Parameters (1008) | | | | | | | | |
| Critical Branch | Case | Source | Sink | TMF | AMF+ | AMF- | MAVIR->PSEO | MAVIR->ELES |
| LINE_00001 | n-0 | APG | APG | 305 | 373.9 | 166 | 0.0076 | -0.0313 |
| LINE_00001 | n-1 LINE_00002 | APG | APG | 305 | 413.1 | 126.9 | 0.0104 | -0.0433 |
| LINE_00001 | n-1 LINE_00003 | APG | APG | 305 | 413.2 | 126.8 | 0.0105 | -0.0433 |
| LINE_00001 | n-1 LINE_00004 | APG | APG | 305 | 363.9 | 176 | 0.0058 | -0.0299 |
| LINE_00001 | n-1 LINE_00005 | APG | APG | 305 | 357.4 | 182.5 | 0.0059 | -0.0273 |
| LINE_00001 | n-1 LINE_00006 | APG | APG | 305 | 387.2 | 152.7 | 0.0108 | -0.0207 |
| LINE_00007 | n-0 | APG | APG | 303 | 163.8 | 371.7 | -0.0076 | 0.0313 |
| LINE_00007 | n-1 LINE_00002 | APG | APG | 303 | 124.7 | 410.8 | -0.0104 | 0.0433 |
| LINE_00007 | n-1 LINE_00003 | APG | APG | 303 | 124.5 | 410.9 | -0.0105 | 0.0433 |

- ▶ 24 munkalap: órák,
- ▶ $5 \times 4 = 20$ oszlop: forrás-nyelő párok (5 zóna),
- ▶ kb. 1000 sor: a kritikus vonalak

A célfüggvény

Az ún. szociális jólét (az "összbevétel"-t) maximalizáljuk:

$$F = \sum_{x,y \in \text{Zones}, b \in \text{Bids}} p_b(x, y, b) \cdot d_a(x, y, b)$$

Zones: a zónák halmaza,

Bids: az aukciós ajánlatok halmaza,

x: a forrás zóna,

ahol *y*: a nyelő zóna,

b: az aukciós ajánlat

$p_b(x, y, b)$: a *b* ajánlat ára (az $x \rightarrow y$ viszonylatra),

$d_a(x, y, b)$: a *b* ajánlathoz allokált kapacitás mennyisége.

A döntési változók: $d_a(x, y, b)$, $x, y \in \text{Zones}$, $b \in \text{Bids}$

Hálózati korlátozó feltételek

$$\sum_{x,y \in \text{Zones}} \left(\max(0, PTDF(x, y, k)) \sum_{b \in \text{Bids}} d_a(x, y, b) \right) \leq AMF^+(k) \quad (1)$$

$$\sum_{x,y \in \text{Zones}} \left(\max(0, -PTDF(x, y, k)) \sum_{b \in \text{Bids}} d_a(x, y, b) \right) \leq AMF^-(k) \quad (2)$$

$k \in \text{Lines}$. Ahol

Lines :

a kritikus vonalak halmaza,

k :

egy adott vonal,

$PTDF(x, y, k)$:

a k vonal mennyi kapacitását használja fel 1MW áram az x zónából az y zónába,

$AMF^+(k)$:

a k vonal max. kapacitása az alapértelmezett irányban

$AMF^-(k)$:

a k vonal max. kapacitása az ellentétes irányban.

Ajánlati korlátozó feltételek

$$d_a(x, y, b) \leq d_b(x, y, b) \quad x, y \in \text{Zones}, \quad b \in \text{Bids} \quad (3)$$

$$d_a(x, y, b) \geq 0 \quad x, y \in \text{Zones}, \quad b \in \text{Bids} \quad (4)$$

ahol

$d_b(x, y, b)$: a b ajánlatban igényelt kapacitás.

A fenti LP feladat optimális megoldása,

$$d_a(x, y, b) \quad x, y \in \text{Zones}, \quad b \in \text{Bids},$$

szolgáltatja a kapacitás allokációt.

Aukciós ár

- ▶ Az eredeti célfüggvényben az "összbevétel" az ajánlatok árai szerint számolódik.
- ▶ Azonban az aukció végén minden egyes forrás-nyelő párra vonatkozóan kihirdetnek egy egységes ún. aukciós árat.

Árnyékárak

Az LP feladat optimális megoldásából a korlátozó változókra vonatkozó árnyékárak (duál megoldások) is kiolvashatók. Például jelölje

$$SP(AMF^+(k)), \quad SP(AMF^-(k)), \quad k \in \text{Lines}.$$

a vonalak árnyékárait. Ezek azt mutatják meg, hogy marginálisan mennyivel változna a célfüggvény érték, az adott AMF értékek egységnyi megváltozása esetén. Másképp: az adott vonal adott irányú egységnyi kapacitásának értéke, tekintve az optimális allokációt.

Aukciós árak

Az x zónából y zónába mutató viszonylat aukciós ára:

$$\begin{aligned}
 AP(x, y) = & \sum_{k \in \text{Lines}} [\max(0, PTDF(x, y, k)) \cdot SP(AMF^+(k))] \\
 & + \sum_{k \in \text{Lines}} [\max(0, -PTDF(x, y, k)) \cdot SP(AMF^-(k))] .
 \end{aligned}$$

Tehát az aukciós ár nem más, mint az adott viszonylat egységnyi kapacitásának értéke. Valóban, ez számolható úgy, hogy összegezzük a felhasznált vonal kapacitások értékeit.

Kapacitás allokáció az aukciós árak segítségével

Egy adott ajánlat esetén

- ▶ ha az ajánlati ár magasabb, mint az aukciós ár, akkor a teljes igényelt kapacitást allokáljuk,
- ▶ ha az ajánlati ár alacsonyabb, mint az aukciós ár, akkor nulla kapacitást allokálunk,
- ▶ ha az ajánlati ár megegyezik az aukciós árral, akkor az igényelt kapacitás mennyiségét csak részben elégítik ki, a hálózati kapacitás korlátok figyelembe vételével.

A Kiegészítő Eltérések Tétele szerint az optimális allokáció kielégíti a fenti szabályrendszert és fordítva.

Fizikai tulajdonságok: Maximum Theoretical Single Flow

- ▶ A maximális áram mennyiség, amelyet el tudunk az x zónából az y zónába szállítani.
- ▶ Ez szimulálható az alábbi aukcióval. Csak egy b ajánlatot adtak be az alábbi paraméterekkel:

$$p_b(x, y, b) = 1, \quad q_b(x, y, b) = +\infty$$

- ▶ Az $MTSF(x, y)$ lényegében az x zónából y zónába mutató szűk keresztmetszetet adja meg. Ennek megfelelően az alábbi egyszerű képlettel számolható:

$$MTSF(x, y) = \min \left(\begin{array}{l} \min_{k \in Lines, PTDF(x, y, k) > 0} (AMF^+(k) / PTDF(x, y, k)), \\ \min_{k \in Lines, PTDF(x, y, k) < 0} (AMF^-(k) / (-PTDF(x, y, k))) \end{array} \right).$$

Fizikai tulajdonságok: Maximum Theoretical Export/Import

$MTEX(x)$ (Maximum Theoretical Export)

- ▶ Az a maximális áram mennyiség, amelyet az x zónából, azon kívülre ki lehet szállítani.
- ▶ Az alábbi aukcióval szimulálható:

$$p_b(x, y, b) = 1, q_b(x, y, b) = +\infty, \text{ for all } y \in \text{Zones}, y \neq x.$$

$MTIM(y)$ (Maximum Theoretical Import)

- ▶ Az a maximális áram mennyiség, amelyet az y zónába, azon kívülről be lehet szállítani.
- ▶ Az alábbi aukcióval szimulálható:

$$p_b(x, y, b) = 1, q_b(x, y, b) = +\infty, \text{ for all } x \in \text{Zones}, x \neq y.$$

Üzleti tulajdonságok: Market Spread aukció

- ▶ Megmutatja, hogy – üzletileg még éppen racionálisan – maximum mennyi áram szállítható a zónák között
- ▶ Tekintsük az alábbi aukciót. Jelölje az x zóna piacán az áram eladási ill. vételi árát

$$p_{bid}(x), p_{ask}(x).$$

Minden egyes viszonylatra egy ajánlatot adunk be az alábbi paraméterekkel:

$$p_b(x, y, b) = p_{bid}(y) - p_{ask}(x), \quad q_b(x, y, b) = +\infty,$$

$$x, y \in Zones.$$

További funkciók

Általános aukció szimulátor

- ▶ Adott PTDF és AMF mátrixok és aukciós ajánlatok esetén megadja az aukciós árat ill. a kapacitás allokációt.

A Market Spread aukció érzékenységvizsgálata

- ▶ Megadja, hogy az aukciós árak mennyire reagálnak érzékenyen egy adott zóna eladási és vételi árfolyamainak változására.
- ▶ Ugyancsak megadja azt az intervallumot, amin belül mind az érzékenység, mind az allokált kapacitás mennyiségek változatlanok maradnak.
- ▶ Az ezzel kapcsolatos módszertant és tapasztalatokat később részletesen tárgyaljuk.

Tesztek

Kézi tesztek

- ▶ Kézileg előállított – valamilyen elméleti elképzelésen alapuló – kis méretű tesztek.
- ▶ Valamilyen tulajdonság vagy funkció tesztelésére használjuk.

CAO Dry Run tesztek

- ▶ Letölthetőek a CAO honlapjáról [1].
- ▶ Valós piaci helyzetet szimulál.
- ▶ Az eredmények ugyancsak szerepelnek a CAO honlapon, így alkalmasak a saját eredményeink ellenőrzésére.

Többszörös optimum: alternatív kapacitás allokációk

1. Több ajánlat szerepel ugyanarra a viszonylatra, ugyanakkora ajánlati árral, és valamelyik ajánlatot csak részben teljesítenek,
2. nulla ajánlati árral beadott (legalább részlegesen) kielégíthető ajánlat van beadva,
3. a fentiekén kívül is előfordulhat több – struktúrálisan különböző – optimális allokáció.

CAO aukciós szabályzat [3] Annex 5:

- ▶ Az 1. pont esetén beérkezési sorrendet tekinti: "First-Come-First-Serve Principle."
- ▶ A 2. pont esetén az optimalizáció során a nulla ajánlati árakat valamilyen kicsi értékkel kell helyettesíteni, amely az aukciós árra nincs hatással, de biztosítja, hogy az alternatívák közül a legtöbb kapacitást allokálót válassza.

Többszörös optimum: alternatív kapacitás allokációk

Technical Parameters for Test

| Parameters (1008) | | | | | | | | |
|-------------------|----------------|--------|------|-----|-----------|-------|-------------|-------------|
| Critical Branch | Case | Source | Sink | TMF | AMF+ | AMF- | MAVIR->PSEO | MAVIR->ELES |
| LINE_00001 | n-0 | APG | APG | 305 | 30 | 166 | 0.5 | 0.6 |
| LINE_00001 | n-1 LINE_00002 | APG | APG | 305 | 20 | 126.9 | 0.1 | 0.2 |

| Requested Bids | | | | | Awarded Bids | |
|----------------|--------|------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|
| Product | Source | Sink | Requested Capacity [MW] | Bid Price [EUR/MWh] | Awarded Capacity [MW] | Auction Price [EUR/MWh] |
| H01 | MAVIR | PSEO | 20 | 1 | 20 | 0 |
| H01 | MAVIR | PSEO | 10 | 0 | $0 \leq x \leq 10$ | 0 |

| Requested Bids | | | | | Awarded Bids | |
|----------------|--------|------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|
| Product | Source | Sink | Requested Capacity [MW] | Bid Price [EUR/MWh] | Awarded Capacity [MW] | Auction Price [EUR/MWh] |
| H01 | MAVIR | PSEO | 70 | 1 | $0 \leq x \leq 60$ | 1 |
| H01 | MAVIR | PSEO | 60 | 1 | $60 - x$ | 1 |

Többszörös optimum: alternatív kapacitás allokációk

Technical Parameters for Test

| Parameters (1008) | | | | | | | | |
|-------------------|----------------|--------|------|-----|-----------|-------|-------------|-------------|
| Critical Branch | Case | Source | Sink | TMF | AMF+ | AMF- | MAVIR->PSEO | MAVIR->ELES |
| LINE_00001 | n-0 | APG | APG | 305 | 30 | 166 | 0.5 | 0.6 |
| LINE_00001 | n-1 LINE_00002 | APG | APG | 305 | 20 | 126.9 | 0.1 | 0.2 |

| Requested Bids | | | | | Awarded Bids | | | | |
|----------------|--------|------|-------------------------|---------------------|--------------|--------|------|-----------------------|-------------------------|
| Product | Source | Sink | Requested Capacity [MW] | Bid Price [EUR/MWh] | Product | Source | Sink | Awarded Capacity [MW] | Auction Price [EUR/MWh] |
| H01 | MAVIR | PSEO | 20 | 10 | H01 (1h) | MAVIR | PSEO | 20 | 5 |
| H01 | MAVIR | ELES | 20 | 12 | H01 (1h) | MAVIR | ELES | 20 | 6 |
| H01 | MAVIR | PSEO | 20 | 5 | H01 (1h) | MAVIR | PSEO | $0 \leq x \leq 16$ | 5 |
| H01 | MAVIR | ELES | 20 | 6 | H01 (1h) | MAVIR | ELES | $80/6-5/6 * x$ | 6 |

A gyakorlatban a 3. eset nagyon kicsi valószínűséggel fordul elő.

Többszörös optimum: alternatív aukciós árak

Technical Parameters for Test 2 Daily Auction 7A-7B

| Parameters (1008) | | | | | | | | | |
|-------------------|----------------|--------|------|-------|------|-------|------------|-------------|-------------|
| Critical Branch | Case | Source | Sink | TMF | AMF+ | AMF- | PSEO->ELES | PSEO->DE_AT | PSEO->CZ_SK |
| LINE_00001 | n-0 | APG | APG | 305.2 | 30 | 166 | 1 | 0 | 0.3 |
| LINE_00001 | n-1 LINE_00002 | APG | APG | 305.2 | 20 | 126.9 | 0 | 1 | 0.2 |

| Requested Bids | | | | | Awarded Bids | |
|----------------|--------|-------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|
| Product | Source | Sink | Requested Capacity [MW] | Bid Price [EUR/MWh] | Awarded Capacity [MW] | Auction Price [EUR/MWh] |
| H01 | PSEO | CZ_SK | 100 | 6 | 100 | $0.3*x+0.2*y$ |
| H01 | PSEO | ELES | 20 | 0 | 0 | $0 \leq x \leq 20$ |
| H01 | PSEO | DE_AT | 20 | 0 | 0 | $0 \leq y \leq 30-3/2x$ |

Többszörös optimum: alternatív aukciós árak

Gyakorlati tapasztalatok

- ▶ A DryRun tesztek során gyakran találtunk alternatív árnyékárakat.
- ▶ Viszont ezek hiába mozoghattak viszonylag tág intervallumban, hatásuk az aukciós árra – a PTDF mátrix kicsi együttthatói miatt – jelentéktelen volt. Kevesebb, mint 1 Euro cent.

A Market Spread aukció érzékenységvizsgálata

Tegyük fel, hogy egy adott k zóna eladási és vételi árfolyama ugyanakkora Δp mennyiséggel változik. Jelöljük az ennek megfelelő új megoldást $''''$ -vel. A kérdések:

1. az aukciós árak érzékenysége. Tehát:

$$\frac{\Delta AP(x, y)}{\Delta p} = \frac{AP'(x, y) - AP(x, y)}{\Delta p}, \quad x, y \in \text{Zones}, x \neq y.$$

2. Az érzékenységi intervallumok. I.e., azok az intervallumok, amelyen belül

$$\frac{\Delta AP(x, y)}{\Delta p}$$

és az allokált kapacitások

$$d'_a(x, y, b)$$

$x, y \in \text{Zones}, x \neq y$, változatlanok maradnak.

A Market Spread aukció érzékenységvizsgálata: példa

Tekintsük Market Spread aukciót a CAO Dry Run teszt [1] "Test 2 Daily Auction 7AB" PTDF mátrixával az alábbi zóna árakkal:

$$p_{bid}(CZ_SK) = p_{ask}(CZ_SK) = 43;$$

$$p_{bid}(PSEO) = p_{ask}(PSEO) = 43;$$

$$p_{bid}(MAVIR) = p_{ask}(MAVIR) = 54;$$

$$p_{bid}(ELES) = p_{ask}(ELES) = 34.$$

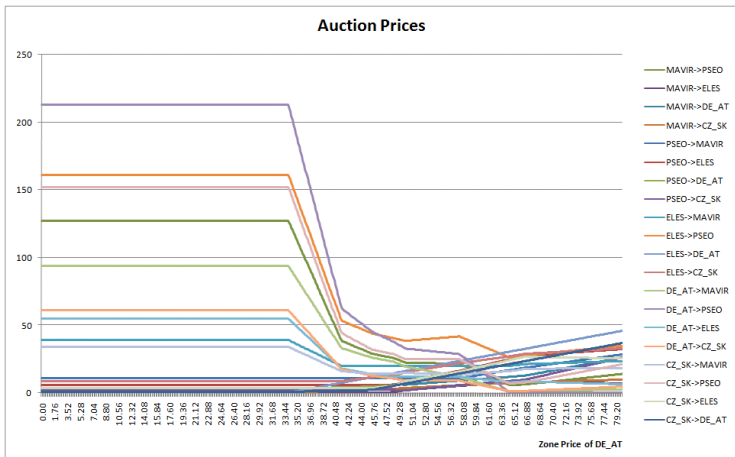
Vizsgáljuk az érzékenységet a

$$p_{bid}(DE_AT) = p_{ask}(DE_AT).$$

zónaárakra.

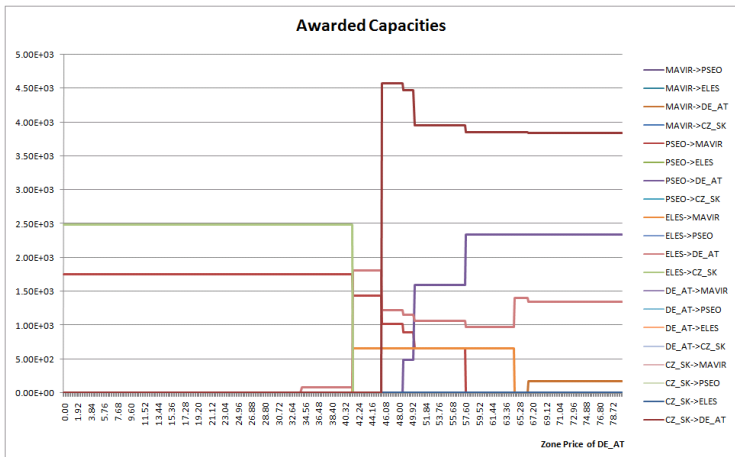
A Market Spread aukció érzékenységvizsgálata: példa

Aukciós árak a Zone DE_AT zónaár függvényében



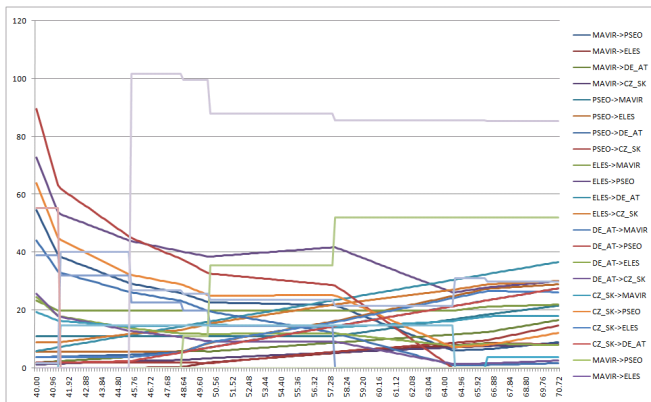
A Market Spread aukció érzékenységvizsgálata: példa

Allokált kapacitások a Zone DE_AT zónaár függvényében



A Market Spread aukció érzékenységvizsgálata: példa

Az érzékenységi intervallumok végpontjai az optimális bázisok váltásainál



A Market Spread aukció érzékenységvizsgálata: elmélet

A szokásos érzékenységvizsgálat nem alkalmazható: az LP feladat több paramétere változik egyszerre. I.e.,

$$p'(k, y, b) = p_{bid}(y) - (p_{ask}(k) + \Delta p) = p(k, y, b) - \Delta p,$$

$$p'(x, k, b) = (p_{bid}(k) + \Delta p) - p_{ask}(x) = p(k, y, b) + \Delta p,$$

$$p'(x, y, b) = p_{bid}(y) - p_{ask}(x) = p(x, y, b),$$

ahol $x \neq y$, $x \neq k$, $y \neq k$.

A Market Spread aukció érzékenységvizsgálata: elmélet

A Market Spread aukció feladatra használjuk az alábbi jelöléseket:

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{p}^T \mathbf{d} \rightarrow \max \\
 & \text{tekintve, hogy} \\
 & \mathbf{A} \mathbf{d} \leq \mathbf{b} \\
 & \mathbf{d} \geq \mathbf{0}
 \end{aligned} \tag{5}$$

A (5) egyenlőtlenség a (1), (2) hálózati korlátokat foglalja magában. A (3) ajánlati korlátokat kihagytuk, mivel mindenhol végtelen kapacitást igénylünk.

Jelölje B az optimális bázis mátrixát.

A megváltozott ajánlati árak vektora az alábbi módon írható:

$$\mathbf{p}' = \mathbf{p} + \Delta \mathbf{p} \cdot \mathbf{u}, \text{ ahol} \tag{6}$$

$$u(k, y, b) = -1, u(x, k, b) = +1, u(x, y, b) = 0, x \neq y, x \neq k, y \neq k.$$

A Market Spread aukció érzékenységvizsgálata: elmélet

Ezek után a B bázis optimalitási feltételei:

$$\mathbf{p}'_B{}^T B^{-1} A - \mathbf{p}'^T \geq \mathbf{0}^T \text{ és } \mathbf{p}'_B{}^T B^{-1} \geq \mathbf{0}^T$$

Behelyettesítve a (6) formulát:

$$\underbrace{(\mathbf{p}_B{}^T B^{-1} A - \mathbf{p}^T)}_{\mathbf{w}_{opt}{}^T \geq \mathbf{0}^T} + \Delta p \cdot \underbrace{(\mathbf{u}_B{}^T B^{-1} A - \mathbf{u}^T)}_{\mathbf{w}_u{}^T} \geq \mathbf{0}^T$$

és

$$\underbrace{(\mathbf{p}_B{}^T B^{-1})}_{\mathbf{y}_{opt}{}^T \geq \mathbf{0}^T} + \Delta p \cdot \underbrace{(\mathbf{u}_B{}^T B^{-1})}_{\mathbf{y}_u{}^T} \geq \mathbf{0}^T$$

A Market Spread aukció érzékenységvizsgálata: az intervallumok végpontjai

Ezek szerint az érzékenységi intervallum $\Delta p \in (\Delta p_{min}, \Delta p_{max})$, ahol

$$\Delta p_{min} = - \min \left(\min_{i \in I} \frac{w_{opt}^{(i)}}{\max(0, w_u^{(i)})}, \min_{j \in J} \frac{y_{opt}^{(j)}}{\max(0, y_u^{(j)})} \right)$$

és

$$\Delta p_{max} = \min \left(\min_{i \in I} \frac{w_{opt}^{(i)}}{\max(0, -w_u^{(i)})}, \min_{j \in J} \frac{y_{opt}^{(j)}}{\max(0, -y_u^{(j)})} \right),$$

$$|I| = |Zones| \cdot (|Zones| - 1), \quad |J| = 2 \cdot |Lines|.$$

További kérdések

- ▶ **A Market Spread aukció érzékenységvizsgálata: több zónaar együttes változása**
 Hasonló módon megoldható. Érzékenységi intervallumok helyett

$$\Delta p \in \text{poliéder}$$

- ▶ **Megvalósítja-e az allokációs mechanizmus a CAO céljai?**
 A maximalizálandó célfüggvény

$$F = \sum_{x,y \in \text{Zones}, b \in \text{Bids}} p_b(x, y, b) \cdot d_a(x, y, b),$$

miközben a CAO (TSO-k) valós összbevétele

$$R = \sum_{x,y \in \text{Zones}, b \in \text{Bids}} AP(x, y) \cdot d_a(x, y, b).$$

Megvalósítja-e az allokációs mechanizmus a CAO céljai?

| Critical Branch | Case | Source | Sink | TMF | AMF+ | AMF- | MAVIR->PSEO | MAVIR->ELES |
|-----------------|----------------|--------|------|-------|-----------|-------|-------------|-------------|
| LINE_00001 | n-0 | APG | APG | 305.2 | 30 | 166 | 1 | 0 |
| LINE_00001 | n-1 LINE_00002 | APG | APG | 305.2 | 20 | 126.9 | 1 | 1 |

| Product | Source | Sink | Requested Capacity [MW] | Bid Price [EUR/MWh] | Awarded Capacity [MW] | Auction Price [EUR/MWh] | Awarded Capacity [MW] | Auction Price [EUR/MWh] |
|---------|--------|------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| H01 | MAVIR | PSEO | 19 | 10 | 19 | 1 | 19 | 10 |
| H01 | MAVIR | PSEO | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 10 |
| | | | | | Revenue | 20 | Revenue | 190 |

| Product | Source | Sink | Requested Capacity [MW] | Bid Price [EUR/MWh] | Awarded Capacity [MW] | Auction Price [EUR/MWh] | Awarded Capacity [MW] | Auction Price [EUR/MWh] |
|---------|--------|------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| H01 | MAVIR | PSEO | 19 | 10 | 19 | 1 | 19 | 10 |
| H01 | MAVIR | PSEO | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 10 |
| H01 | MAVIR | ELES | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| | | | | | Revenue | 20 | Revenue | 190 |

Irodalom



CAO Dry Run tests

http://www.central-ao.com/index.php?option=com_content&view=article&id=219&Itemid=214



CAO ePortal <http://www.central-ao.com>



Rules for Coordinated Auction of Transmission Capacity in the CEE-Region

http://www.central-ao.com/images/stories/upload/Auctions2011/auction_rules_22_11_2010_binding.pdf