

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 2407

**INTELIGENTNI PROGRAMSKI POSREDNIK
ZA TRGOVANJE ELEKTRIČNOM
ENERGIJOM**

Marija Mijić

Zagreb, lipanj 2012.

Sadržaj

Uvod	1
1. Power TAC	2
2. Veleprodajno tržište.....	5
2.1. Market clearing.....	8
2.2. Proizvođači i kupci na veleprodajnom tržištu	9
3. Agent Crocodile.....	11
3.1. Model za stvaranje ponuda sa slučajnim odabirom.....	11
3.2. Model predviđanja cijena s metodom Multiple Linear Regression.....	12
3.3. Model za dodatnu zaradu.....	13
3.4. Model predviđanja cijena s metodom Holt-Winters.....	15
3.4.1. Mjere točnosti predviđanja	17
4. Veleprodajno tržište tijekom izvršavanja igre Power TAC	19
Zaključak	22
Literatura	23
Sažetak.....	24
Summary.....	25
Skraćenice.....	26

Uvod

Tržište električne energije ima izrazito kompleksnu i dinamičnu strukturu. Osim što je pod utjecajem drugih tržišta, najveći problem je što ponuda i potražnja energije moraju biti balansirane u stvarnom vremenu. Ta činjenica je onemogućila mnogim klasičnim ekonomskim i finansijskim modelima korištenje u sektoru električne energije [1]. To je potaklo stručnjake da isprobaju nove metode modeliranja kako bi dobili bolji uvid u tržište. Jedna od tih metoda su programski agenti.

Pokretni agenti predstavljaju iskorak od tradicionalnih metoda modeliranja u smislu da su prilagodljivi, orijentirani su prema cilju, samostalni, imaju mogućnost učenja iz okoline u koju su smješteni, itd. Ipak, uza sve prednosti koje agenti nude, još uvijek nije dovoljno istraženo kako će se ponašali u okolini od nekoliko tisuća agenata na veleprodajnom tržištu. Iz tog je proizašla i potreba da se naprave što vjernije simulacije takvog slučaja, posebice jer je tendencija da se danas u sve uređaje i sustave ugradi nekakva vrsta inteligencije pa tako i u samu mrežu električne energije. Takva mreža poznata je pod nazivom pametna električna mreža (engl. *smart grid*) i njenim uvođenjem otvorila bi se mogućnost manipulacije tržištem električne energije kakva dosad nikad nije viđena.

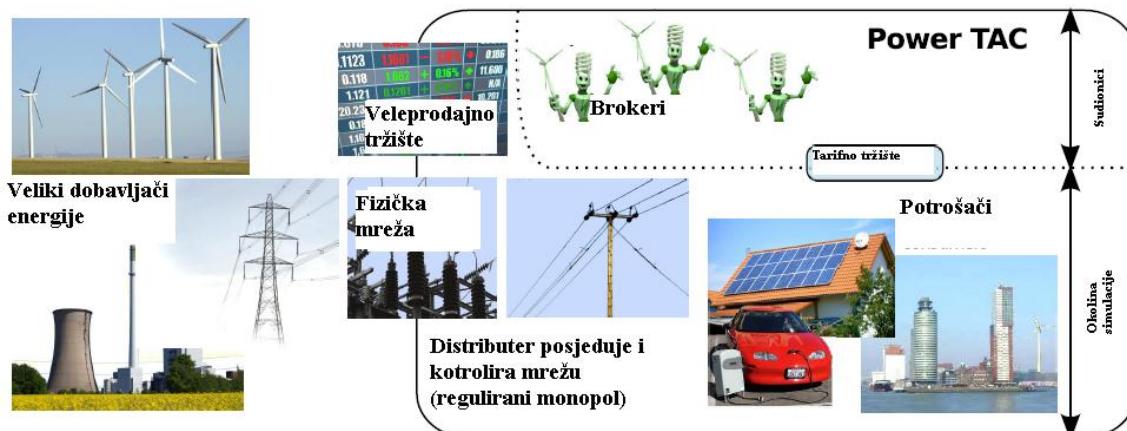
Tema ovog završnog rada prati jednu od spomenutih simulacija, organiziranu u obliku natjecanja pod nazivom Power Trading Agent Competition (Power TAC). U nastavku će biti opisano natjecanje u prvom poglavlju, detaljan opis dijela igre veleprodajnog tržišta u drugom poglavlju te rad na samom agentu u trećem poglavlju. U četvrtom poglavlju bit će prikazano veleprodajno tržište za vrijeme igre.

1. Power TAC

Pametne električne mreže (engl. *smart grid*) omogućavaju detaljne informacije o korisnicima i proizvođačima na tržištu i njihovom ponašanju. U ovakvoj mreži bi bila ostvarena dvosmjerna komunikacija i računalno procesiranje koje se koristi već desetljećima u drugim industrijama [2]. Power Trading Agent Competition (*Power TAC*) je natjecanje u kojem se agenti, brokeri, bore za maksimizaciju profita i prevlast na tržištu električne energije koristi pametnu električnu mrežu. Organizatori natjecanja su šest sveučilišta iz Europe i Sjeverne Amerike:

- Aristotle University of Thessaloniki (Grčka),
 - Carnegie Mellon University (Pennsylvania, SAD),
 - Delft University of Technology (Nizozemska),
 - University of Minnesota (Minnesota, SAD),
 - Rotterdam School of Management, Erasmus University (Nizozemska),
 - Sveučilište u Zagrebu (Hrvatska) [3].

Glavna zamisao Power TAC-a je simulacija liberaliziranog tržišta električne energije koje više odgovara modelu slobodnog tržišta, nego monopola kako je to dosad bilo u većini država. Više ne postoji samo jedna tvrtka od koje svi kupuju električnu energiju bez obzira na cijenu, već mnoštvo samostalnih brokera.



Slika 1. Glavni elementi Power TAC natjecanja [3]

Slika 1 predstavlja glavne elemente natjecanja. Tri su osnovna dijela natjecanja:

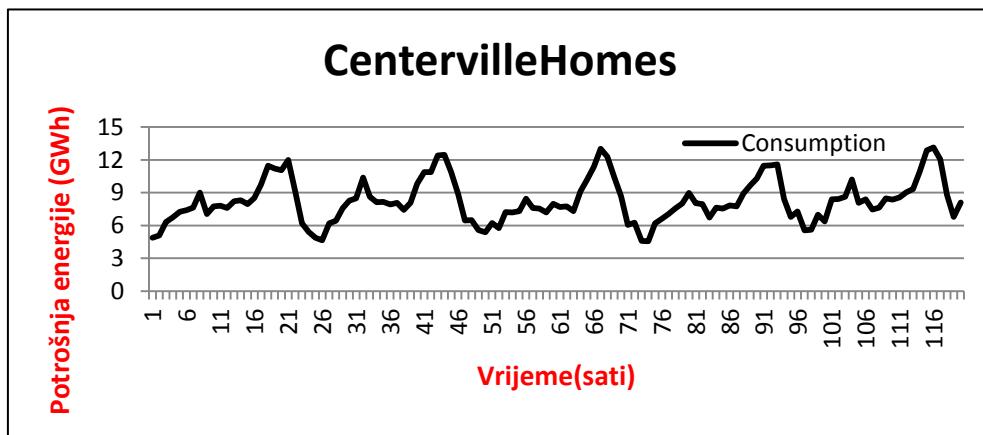
- veleprodajno tržište
- tarifno tržište i
- distributer.

Broker kupuje energiju na veleprodajnom tržištu (engl. *wholesale market*) od proizvođača (engl. *Generation Companies - GenCos*), a kasnije je prodaje potrošačima (engl. *customers*) koji su dio tarifnog tržišta (engl. *tariff market*).

Svaki od brokera nastoji pridobiti potrošače nudeći im preplate na različite tarife koje mogu biti vrlo povoljne u odnosu na cijene na klasičnom monopoliziranom tržištu. Brokери dobavljaju energiju na veleprodajnom tržištu te, osim zarade od tarifa, mogu i na tom tržištu ostvariti značajan prihod strateškim kupovanjem i prodajom električne energije.

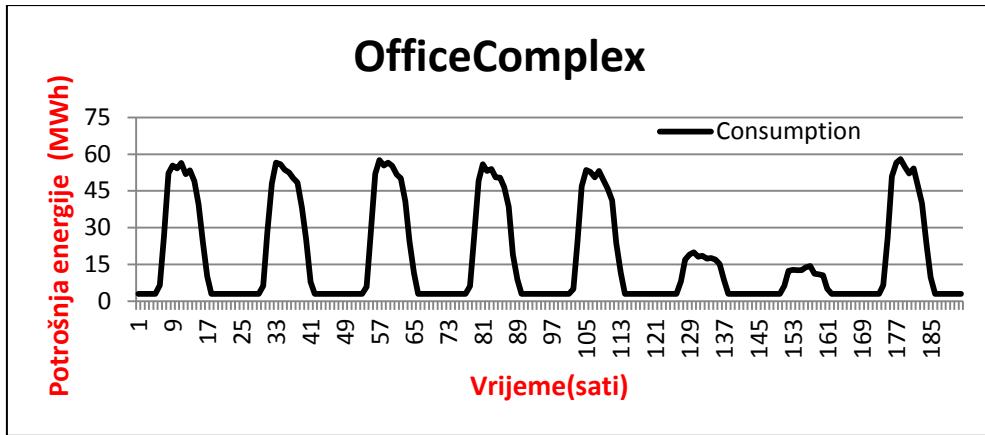
Tarife trebaju biti prilagođene ciljanoj skupini kupaca. Vrste potrošača koje postoje u igri su:

- kućanstva – njihova potrošnja je tipična potrošnja stambene jedinice, s tim da mogu ostvariti i proizvodnju energije ako ugrade solarne panele (slika 2)



Slika 2. Potrošnja energije u kućanstvima CentervilleHomes

- uredi – imaju karakterističnu potrošnju energije jer najčešće imaju uobičajenu potrošnju tijekom radnog vremena, a izvan njega imaju vrlo malu ili gotovo nikakvu potrošnju (slika 3)



Slika 3. Potrošnja ureda OfficeComplex

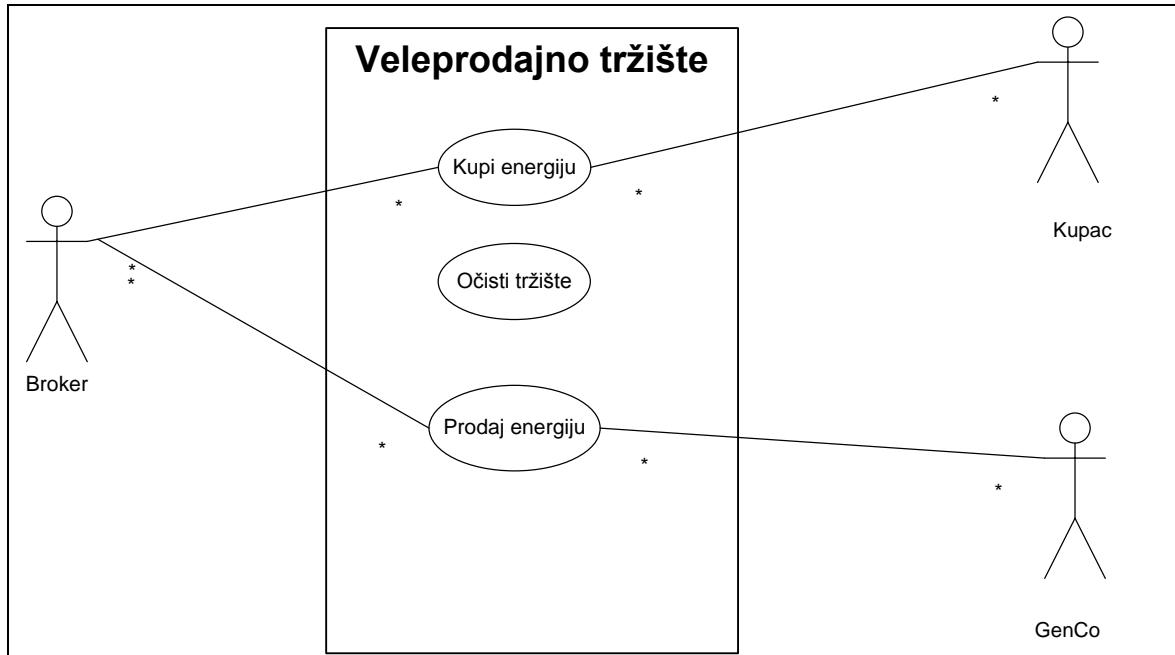
- tvornice – tvornice imaju sličnu potrošnju kao uredi, ali, budući da su to pogonski komplikirani sustavi, imaju i neka odstupanja
- električna vozila – imaju veliku potrošnju, ali, u slučaju da imaju višak energije, mogu poslužiti kao proizvođači
- razne ustanove – sveučilišta, bolnice i sl.

Tijekom čitave igre, važna je uloga distributera (engl. *distribution utility*). Na početku igre svi kupci su pretplaćeni na distributera, a kasnije postupno prelaze k drugim brokerima, ovisno o tarifama koje im brokeri ponude. Kada distributer izgubi većinu svojih kupaca, preostaje mu uloga svojevrsnog kontrolora tržišta. Cijena koju distributer postavi postaje najveća moguća cijena koju brokeri mogu tražiti od kupaca kako bi se spriječilo iskorištavanje njihovog položaja (engl. *price ceiling*). Usto, distributer penalizira brokere koji su u disbalansu na kraju dana; kupuje višak energije od brokera po vrlo maloj cijeni, a prodaje onima kojima nedostaje energija po vrlo visokoj cijeni. Brokeri distributeru moraju plaćati i naknadu za distribuciju energije koju dostavljaju kupcima.

Vrijeme u simulaciji je podijeljeno na vremenske odsječke (engl. *timeslots*). Svaki vremenski odsječak predstavlja 1 sat, a u stvarnom vremenu traje 5 sekundi. Ono što nije uzeto u obzir u sklopu ovog natjecanja su fizička svojstva mreže i distribucije električne energije.

2. Veleprodajno tržište

Svi brokeri moraju održavati balansiranu energiju kako ne bi došlo do nestošice ili viška energije. To čine prodajom i kupnjom energije na veleprodajnom tržištu (engl. *wholesale market*). Veleprodajno tržište je organizirano kao tržište dvostrukih aukcija sastavljenog od 24 tržišta koja predstavljaju vremenske odsječke u budućnosti za koje je moguće kupovati ili prodavati energiju. Na tržištu postoje 3 vrste dionika: agenti, proizvođači i kupci (engl. *wholesale buyers*).



Slika 4. *Use-case* dijagram veleprodajnog tržišta

Agenti mogu kupovati i prodavati energiju i to čine tako da pošalju ponudu sastavljenu od četiri parametra (b, s, e, p):

- b predstavlja brokera,
- s vremenski odsječak za koji broker trguje¹,
- e količinu energije u megavatsatima i
- p (opcionalno) najnižu ili najvišu cijenu po kojoj je broker spreman prodati, ondnosno kupiti energiju.

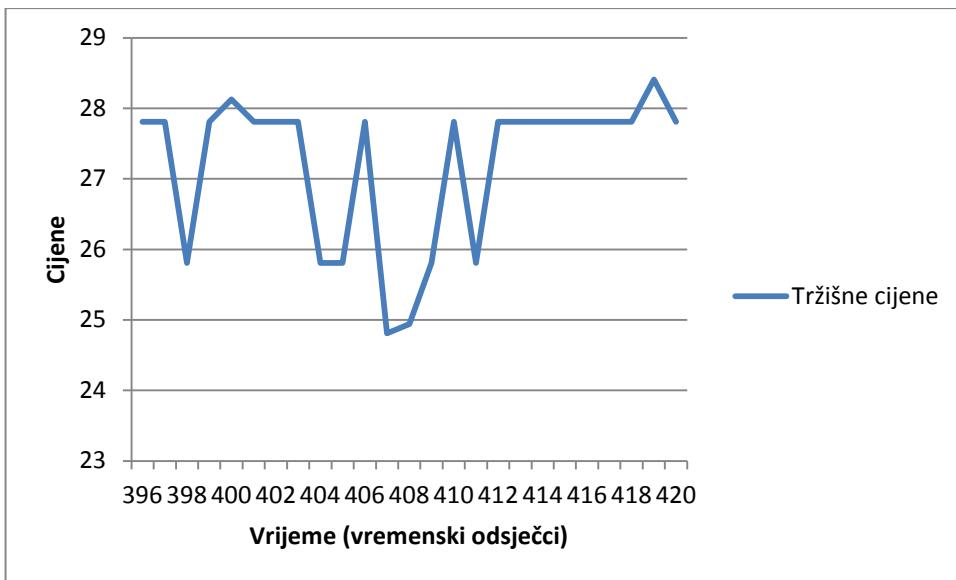
Za kupnju i prodaju se šalje ista ponuda, a razlikuju se po predznaku energije i cijene. Kad broker želi prodati energiju, energija je negativna, a cijena pozitivna; u slučaju da želi kupiti energiju, ona je pozitivna, a cijena negativna. Ponude koje nemaju limitiranu cijenu zovu se tržišne ponude (engl. *market order*), a one s limitiranim cijenom limit ponude (engl. *limit order*).

Na primjer, jedna ponuda bi glasila (*Crocodile*, 434, 6, –27). Ova ponuda bi onda značila da broker Crocodile kupuje 6 megavatsati energije, po cijeni manjoj ili jednakoj 27 jedinica po megavatsatu, za 434. vremenski odsječak. Treba naglasiti da će broker moći poslati ovakvu ponudu samo ako se nalazi u 410. vremenskom odsječku i 23 sljedeća vremenska odsječka.

Broker ponude šalje na temelju parametra *neededkWh* kojeg dobiva iz tarifnog tržišta, a koji predviđa potrošnju preplatnika na temelju prijašnje potrošnje.

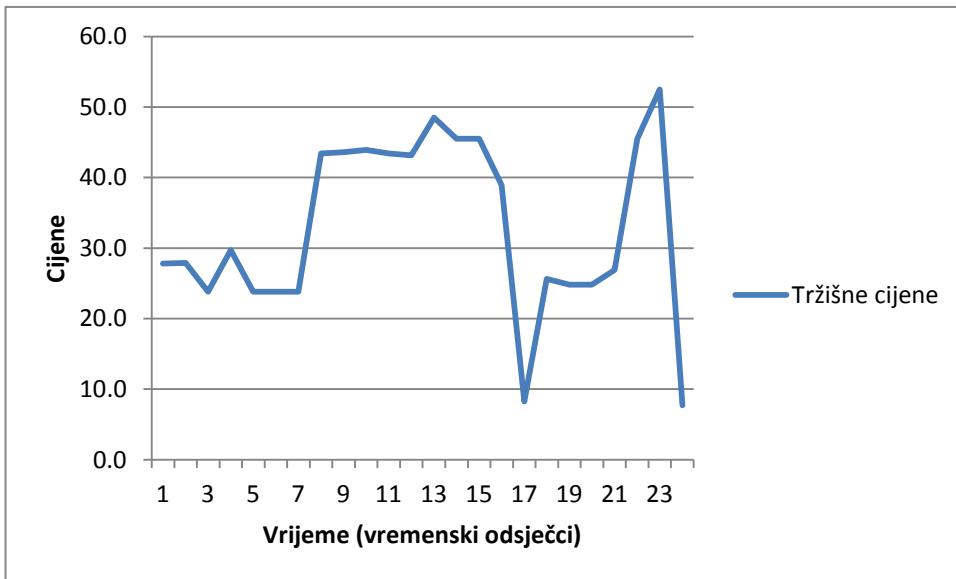
Sljedeća dva grafa prikazuju kretanje cijena na veleprodajnom tržištu. S obzirom da broker može trgovati za 24 vremenska osječka unaprijed, postoje dva pogleda na cijene. Prvi, prikazan slikom 5, prikazuje kretanje cijena tijekom 24 različita vremenska odsječka. Konkretno, prikazane su cijene od 396. do 420. vremenskog odsječka, što znači da su ove cijene ostvarene trgovanjem u 395. odsječku jer je baš u tom odsječku bilo omogućeno trgovanje za prikazane odsječke. Ovdje je bitno primjetiti da su se ove tržišne cijene ostvarile u isto vrijeme.

¹ Broker može trgovati za 24 vremenska odsječka unaprijed. Budući da 24 vremenska odsječka u igri čine jedan dan, ovo tržište spada u skupinu tržišta pod nazivom tržišta električne energije dan unaprijed (engl. *day-ahead market*)



Slika 5. Kretanje cijena na veleprodajnom tržištu

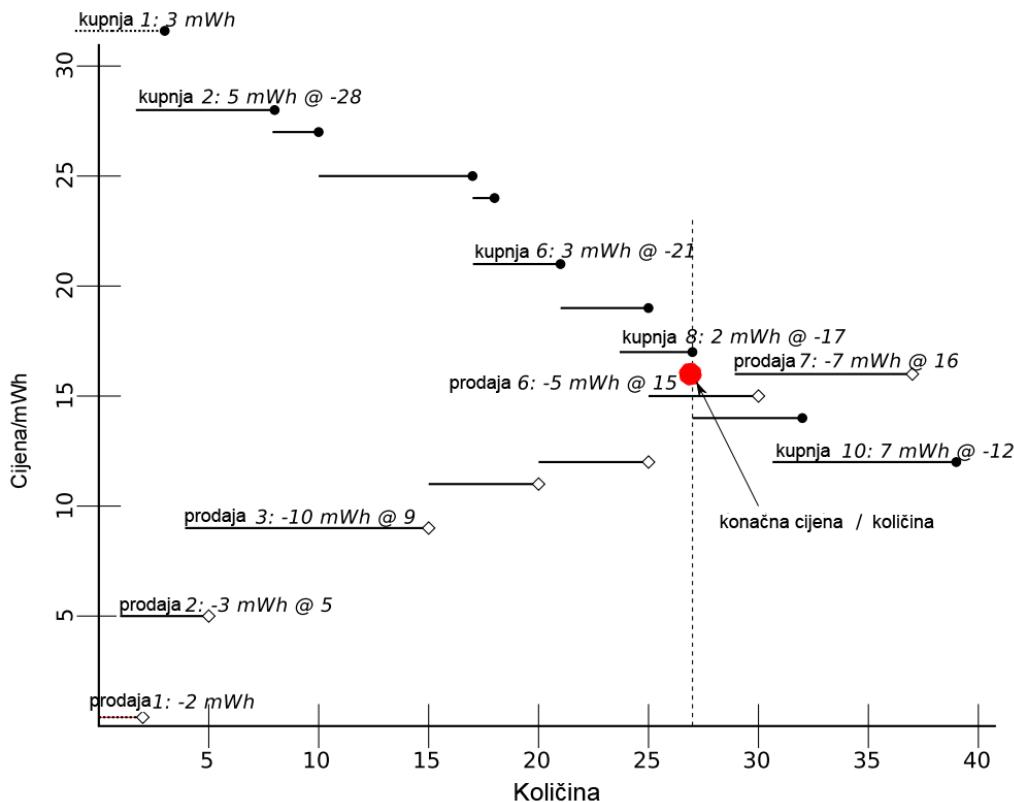
U drugom slučaju, prikazanom slikom 6, promatraju se tržišne cijene koje su ostvarene za isti vremenski odsječak, ali su se te cijene ostvarile tijekom 24 vremenska odsječka u kojima je bilo omogućeno trgovanje za odabrani vremenski odsječak.



Slika 6. Kretanje cijena za jedan vremenski odsječak

2.1. Market clearing

Čišćenje tržišta (engl. *market clearing*) se događa u trenutku kada igra prijeđe na novi vremenski odsječak. Tada se zaključuju sve ponude i potražnje i ažurira se lista vremenskih odsječaka u kojima za koje je moguće kupovati i prodavati energiju.



Slika 7. Prikaz tvorbe tržišne cijene

Na slici 7 je prikazano kako se tvori tržišna cijena – cijena po koja se određuje za svaki od 24 vremenska odsječka za koje je bilo omogućeno potraživati ili ponuditi energiju. Krivulje ponude i potražnje se tvore od ponuđenih kupovnih i prodajnih cijena za svaki vremenski odsječak, a tržišna cijena se dobije presjekom krivulja. Ako pak, kao što je prikazano u primjeru na slici, ne postoji sjecište krivulja, onda je tržišna cijena sredina između najniže ponuđene kupovne i najviše ponuđene prodajne cijene.

2.2. Proizvođači i kupci na veleprodajnom tržištu

Na veleprodajnom tržištu će osim agenata sudjelovati i još dvije vrste dionika: proizvođači (engl. *GenCos*) i kupci (engl. *buyers*). Ovi su dionici ubačeni u igru kako bi se osigurala likvidnost tržišta. Za razliku od agenata, oni mogu ili samo kupovati (kupci) ili samo prodavati (proizvođači) energiju.

Proizvođači su opisani funkcijama koje određuju koliko će energije ponuditi proizvođač za određeni vremenski odsječak. Parametri ove funkcije su za nekog proizvođača g su:

- \hat{C}_g – nominalni kapacitet,
- c_g – fiksni trošak,
- T_g – vrijeme za predaju i
- r_g – vrijednost koja opisuje pouzdanost, tj. vjerojatnost da proizvođač radi.

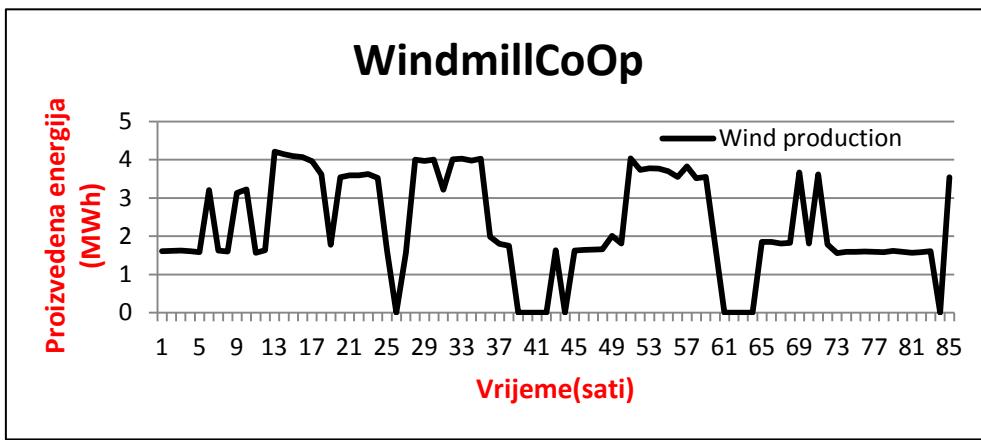
Stvarni kapacitet C_g za vremenski odsječak s varira oko nominalne vrijednosti po ili slučajnom hodu oko srednje vrijednosti (engl. *mean-reverting random walk*) ili ovisi o treutačnim vremenskim uvjetima u slučaju vjetra.

Slučajni hod je definiran sljedećom funkcijom:

$$C_{g,s} = C_{g,s-1} + \nu(2\nu - 1) \hat{C}_g + \nu m(\hat{C}_g - C_{g,s-1}), \quad (1)$$

gdje je ν parametar varijabilnosti, m stopa variranja oko srednje vrijednosti, a ν uniformno distribuirana slučajna vrijednost.

Vjerojatnost da entitet GenCo u nekom trenutku radi je r_g . Ako GenCo radi u nekom trenutku, on će poslati ponudu s energijom koju namjerava prodati i cijenom koji traži za tu energiju. Važno je napomenuti da će poslati ponudu samo za one vremenske odsječke koji su dalje u budućnosti od vremena za predaju T_g . Ako uspije prodati barem nešto energije prije nego što dođe do vremenskih odsječaka koji se preklapaju s vremenom za predaju, nastavit će slati ponude i u tim odsječcima za preostalu energiju. U slučaju da nije uspio prodati ništa prije vremena za predaju, povući će energiju s tržišta za vremenske odsječke za koje je poslao ponudu, a koji su sada unutar vremena za predaju. Na slici 8 je prikazana proizvodnja proizvođača WindmillCoOp.



Slika 8. Proizvodnja jedinice WindmillCoOp

Kupci, jednako kao i proizvođači, su opisani funkcijama koje određuju za koliko će energije i u koje vrijeme poslati ponudu na veleprodajno tržište. Ponašanje kupaca je stohastičko i vrlo jednostavno. Ulagni parametri koje kupac dobiva su:

- q_b – količina,
- p_b – srednja cijena,
- ν uniformno distribuirana slučajna vrijednost.

Navedene vrijednosti kupac dobiva od igre i one se ne mijenjaju. Zatim kupac izračuna parametre za ponudu po sljedećim formulama:

$$p_{b,s} = p_b \ln(1 - \nu) \quad (2)$$

$$qty = \frac{q_b}{p_{b,s}} \quad (3)$$

Kada je izračunao ove parametre, kupac šalje ponudu $(b_s, s, qty, p_{b,s})$, pri čemu je b_s identifikator kupca, a s vremenski odsječak. Ova eksponencijalna distribucija rezultira slanjem velikog broja ponuda s malom cijenom i velikom količinom tražene energije i manjim brojem ponuda s velikom cijenom i malom količinom tražene energije.

3. Agent Crocodile

Za agenta je bilo potrebno osmisliti strategiju kupovanja i prodaje energije na veleprodajnom tržištu. Najveći problem je bio osmisliti algoritam za predviđanje cijena na tržištu. Osim toga, bilo je potrebno i pratiti potrošnju preplaćenih kupaca kako bi agentov portfelj ostao izbalansiran. Slijedi opis nekoliko scenarija koji su bili razmatrani i testirani kao mogući načini na koje bi agent kupovao i prodavao energiju.

3.1. Model za stvaranje ponuda sa slučajnim odabirom

Na početku razvoja strategije kupnje i prodaje na veleprodajnom tržištu, napravljen je model koji je nastao na temelju opažanja odnosa ponuđenih cijena i udaljenosti vremenskog odsječka od trenutnog odsječka. Naime, uočeno da u zadanom načinu agent nudi sve višu kupovnu cijenu i sve nižu prodajnu cijenu što se više približava vremenskom odsječku za koji trguje. Ponuđena cijena se mijenja linearno, a u slučaju da agent ne uspije kupiti ili prodati energiju, mora to učiniti tako da tu energiju kupi ili proda distributeru po vrlo nepovoljnim cijenama. Tako je nastao model koji sadrži pet načina slanja ponuda od kojih su četiri varijacije na podrazumijevani način²:

- podrazumijevani način
- za vremenske odsječke udaljene 1-12 odsječaka, agent trguje po 20% povoljnijim cijenama od podrazumijevane, a za vremenske odsječke 13-24 po 20% nepovoljnijim cijenama od podrazumijevane,
- za vremenske odsječke udaljene 1-12 odsječaka, agent trguje po 20% nepovoljnijim cijenama od podrazumijevane, a za vremenske odsječke 13-24 po 20% povoljnijim cijenama od podrazumijevane,

² Podrazumijevani način je način koji je implementiran u kod igre koji svi natjecatelji dobiju i mogu mijenjati po želji.

- podrazumijevani način s cijenama uvećanim za 25%
- podrazumijevani način s cijenama umanjenim za 25%

Ovaj model radi tako da slučajnim odabirom bira jednu od ponuda jer nije bilo potrebno implementirati ništa „pametnije“. Razlog tome je što je ovaj model smisljen kako bi se vidjelo je li zaista bolje slati ponude na način na koji to radi zadani model i kako bi se usporedili ostali načini. Ipak, nakon implementacije ovaj model nije zaživio jer se prešlo na neka rješenja koja su bila puno prikladnija za natjecanje Power TAC, a koja će biti u nastavku opisana.

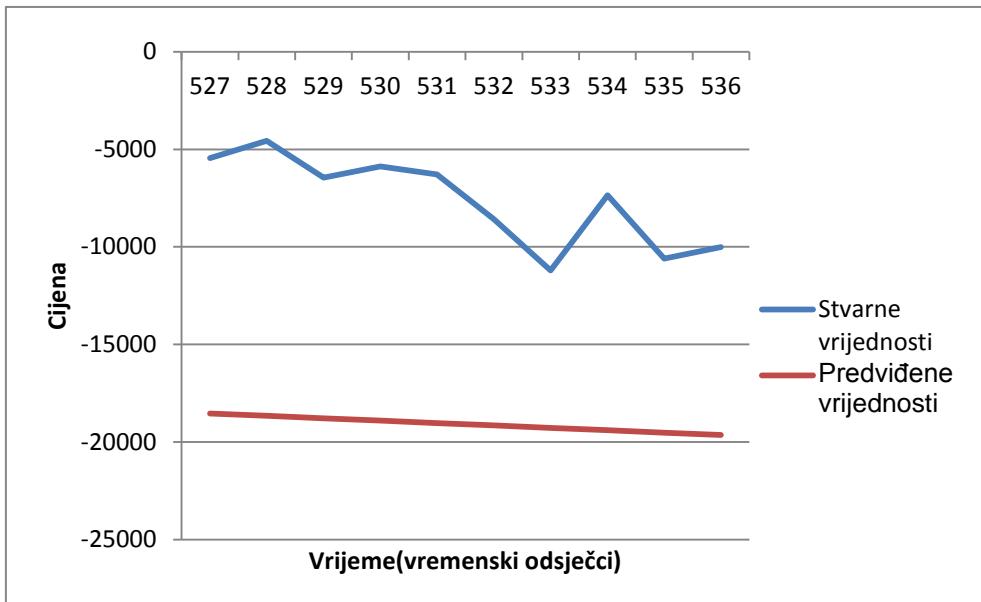
3.2. Model predviđanja cijena s metodom Multiple Linear Regression

Model linearne regresije je implementiran nakon što je postalo jasno brokeru da je potreban algoritam za predviđanje cijena na tržištu. Metoda linearne regresije ima dvije inačice: jednostavna (engl. *simple linear regression*) i višestruka (engl. *multiple linear regression*). Jednostavna linearna regresija sadrži dvije varijable- zavisnu i nezavisnu, a višestruka jednu zavisnu i više nezavisnih. U ovom slučaju korištena je višetsruka linearna regresija. Predviđanje se računa tako model linearne regresije prepostavlja da je veza između zavisnih varijabli i nezavisne linearna. Zatim se kroz dane točke, koje predstavljaju vrijednosti varijabli u nekom prošlom vremenskom periodu, provuče pravac. Dobiveni pravac je takav da je da zbroj kvadratnih udaljenosti od svih točaka do pravca minimalan.[4] Najmanji kvadrati udaljenosti se računaju po sljedećoj formuli [5]:

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T y = \left(\frac{1}{n} \sum x_i x_i^T \right)^{-1} \left(\frac{1}{n} \sum x_i y_i \right) \quad (4)$$

U konkretnom slučaju veleprodajnog tržišta ovaj model je trebao predviđati cijenu kao zavisnu varijablu, a nezavisne varijable bi bili vremenski odsječak i temperatura zraka. Isto tako je bilo zamisljeno za predviđanje potrošnje pretplatnika na maloprodajnom tržištu, a to predviđanje bi se koristilo i na veleprodajnom tržištu kao smjernica za količinu energije koju treba kupiti. No ni ovaj model nije uspio postići očekivane rezultate. Odstupanja su bila velika i bilo je jasno da agent ništa ne „uči“ iz danih parametara već samo izračunava

zavisnu varijablu po zadanoj formuli. Budući da je ovaj model linearan, predviđanja su bila linearna i kad su varijable bile vrlo nepovezane te kad su vrijednosti padale i rasle značajno u malom vremenskom periodu, a model nije nikako mogao ustanoviti periodičnost.

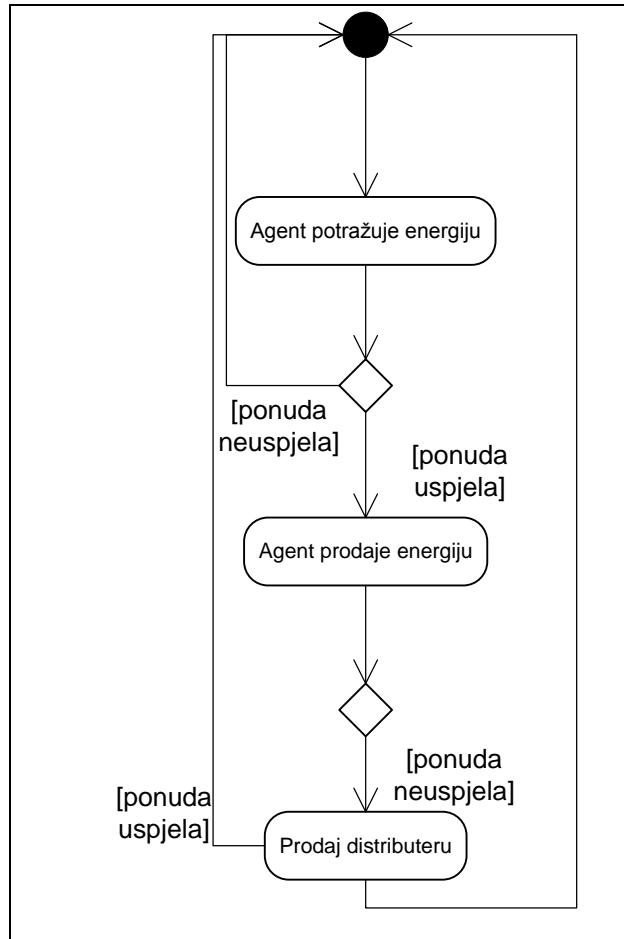


Slika 9. Predviđanje metodom višestruke linearne regresije

Na slici 9 se vidi rezultat jednog predviđanja ovom metodom. Stvarne vrijednosti (označene plavom bojom) niti približno nisu slične predviđenim vrijednostima (označene crvenom bojom).

3.3. Model za dodatnu zaradu

Postojanje distributera u igri riješava problem viška i manjka energije kod agenata. U slučaju da agent ima manjak energije, kupit će je od distributera po izrazito visokim cijenama, a u slučaju da ima višak energije, prodat će je distributeru po vrlo niskoj cijeni. Jedna od razmatranih strategija za veleprodajno tržište bila je da agent iskoristi postojanje distributera kako bi prodao svu energiju koja mu je višak, a koju je kupio po cijeni koja je manja ili tek nešto veća od cijene koju bi distributer ponudio. Sljedeći dijagram stanja opisuje taj slučaj:



Slika 10. State dijagram modela

Na početku agent prati cijene na veleprodajnom tržištu i posljednje cijene koje je distributer plaćao za kupnju viška energije od agenata. Zatim šalje ponudu s nekom količinom energije x i kupovnom cijenom p koja je približno ista onoj koju je distributer plaćao u posljednjem vremenskom odsječku. Ako mu ponuda uspije i kupi energiju po tako niskoj cijeni, onda sljedećih nekoliko odsječaka nudi tu energiju na veleprodajnom tržištu po višoj cijeni nego što ju je on platio. U slučaju da je uspije prodati, agent je ostvario profit, što je i bio cilj. S druge strane, ako ne uspije prodati tu energiju, agent je prodaje distributeru, po cijeni koja će biti ista ili tek nešto manja od cijene koju je platio pa opet ili nije ništa izgubio ili je izgubio vrlo malo. Važno je napomenuti da se ovakve ponude šalju samo u slučaju vremenskog odsječka u kojem agent ne kupuje energiju za

namirivanje potreba potrošača, što je i smisleno jer se za svaki vremenski odsječak za koji je omogućeno slati ponude može poslati samo jedna ponuda.

Međutim, nakon dužeg razmišljanja, uviđene u pogreške ove strategije. Naime, u igru je uveden *balancing* mehanizam koji se prilagođava veleprodajnom tržištu. Ne može se lako profitirati jer tržište za *balancing* ima dva smjera (tj. 4): ako cijeli sustav ima viška energije, distributer će penalizirati svakoga tko je u višku i u manjku, ali one koji su u manjku penalizirat će manje. Ako ima manjka energije, penalizirat će *balancing* energiju svakom brokeru koji ima i viška i manjka, ali onima koji su u višku, kazna će biti manja (jer pomažu sustavu svojim dovođenjem u ravnotežu). *Balancing* cijena bi trebala pratiti veleprodajne cijene. Problem je što ne postoji jedna *balancing* cijena, već se on određuje za svakog brokera ovisno o tome: je li broker pozitivno ili negativno odstupao i je li sustav pozitivno ili negativno odstupao. To je penal na cijenu, tj. onome tko ima previše (ne prodaje sve svojim kupcima) sustav kupi po vrlo niskoj cijeni, a onome tko ima premašto (nije kupio dovoljno za pokriće svojih potreba) sustav prodaje po vrlo visokoj cijeni.

3.4. Model predviđanja cijena s metodom Holt-Winters

Treći model koji je testiran kao dio agenta Crocodile jer metoda Holt-Winters. Ona se temelji na eksponencijalnom izglađivanju. Eksponencijalno izglađivanje je tehnika koja se koristi kod vremenskih serija gdje se prognoza za razdoblje $t + 1$ ($F_t + 1$) dobiva se kao ponderirani prosjek stvarne i prognozirane vrijednosti vremenske serije u razdoblju t . Stvarnoj vrijednosti vremenske serije u razdoblju t (A_t) pridružuje se ponder w (faktor prigušenja ili konstanta izglađivanja), koji poprima vrijednost između 0 i 1, dok se prognozi t (F_t) pridodaje ponder $1 - w$. Što je veća vrijednost parametra w , veći je i ponder koji se pridodaje prethodnom razdoblju.[6] Metoda Holt-Winters koristi trostruko zaglađivanje i ima tri konstante izglađivanja:

- α – konstanta koja se koristi kod svakog eksponencijalnog izglađivanja (engl. *overall smoothing*),
- β – konstanta koja se koristi kod određivanja trenda kretanja vrijednosti (engl. *trend smoothing*),
- γ – konstanta koja se koristi kod određivanja periodičnosti vrijednosti (engl. *seasonal smoothing*).

Formule po kojima se računa predviđanje su sljedeće:

$$S_t = \alpha \frac{y_t}{I_{t-L}} + (1 - \alpha)(S_{t-1} + b_{t-1}) \quad (5)$$

$$b_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)b_{t-1} \quad (6)$$

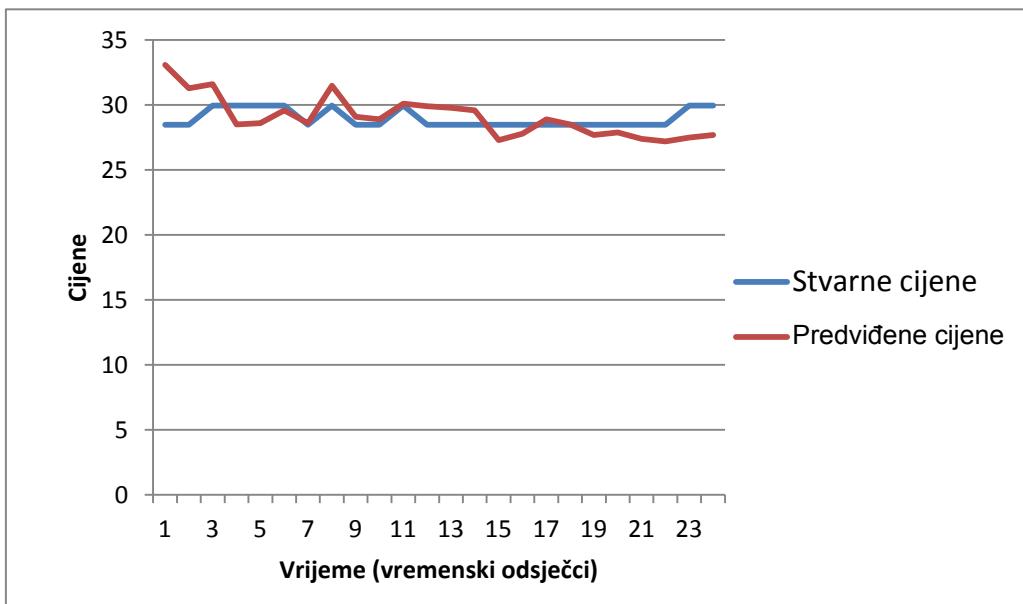
$$I_t = \beta \frac{y_t}{S_t} + (1 - \beta)I_{t-L} \quad (7)$$

$$F_{t+m} = (S_t + mb_t)I_{t-L+m} \quad (8)$$

gdje su:

- y – promatrane vrijednosti,
- S – izglađene vrijednosti,
- b – faktor trenda vrijednosti,
- I – indeks periodičnosti vrijednosti,
- F – predviđanje za m perioda unaprijed,
- t – indeks koji označava vremenski period.[7]

Ova metoda se vrlo dobro uklopila u rješenje problema predviđanja u natjecanju. Na početku natjecanja broker dobije vremensku seriju potrošnje i cijene za imaginarna dva tjedna koja su se dogodila prije početka natjecanja. Već s tim podacima je moguće ostvariti predviđanje, a kasnije, što više podataka dobivamo, metoda bolje radi jer se parametri α, β i γ „treniraju“ kroz igru, a moguće ih je i ručno podesiti. Sljedeća slika pokazuje koliko je uspješna ova metoda u predviđanju cijena i potrošnje.



Slika 11. Predviđanje cijena metodom Holt-Winters

Na slici 11 je prikazano predviđanje cijene na veleprodajnom tržištu kroz 24 vremenska odsječka. Za razliku od metode višestruke linearne regresije, ova metoda prepoznaje trendove kretanja cijena kao što se može vidjeti na slici.

3.4.1. Mjere točnosti predviđanja

Budući da je sve navedene modele trebalo testirati i vidjeli jesu li korisni agentu, bilo je potrebno izračunati pogrešku predviđanja. Metode koje su korištene su:

- MSE (*Mean Squared Error*) i
- MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*).

MSE ili srednja kvadratna pogreška je jedna od metoda za izračunavanje razlike između stvarnih vrijednosti i predviđenih vrijednosti, opisujući pritom tu razliku brojem koji predstavlja veću ili manju pogrešku. MSE se računa kao:

$$MSE(\theta') = E[(\theta' - \theta)^2] \quad (9)$$

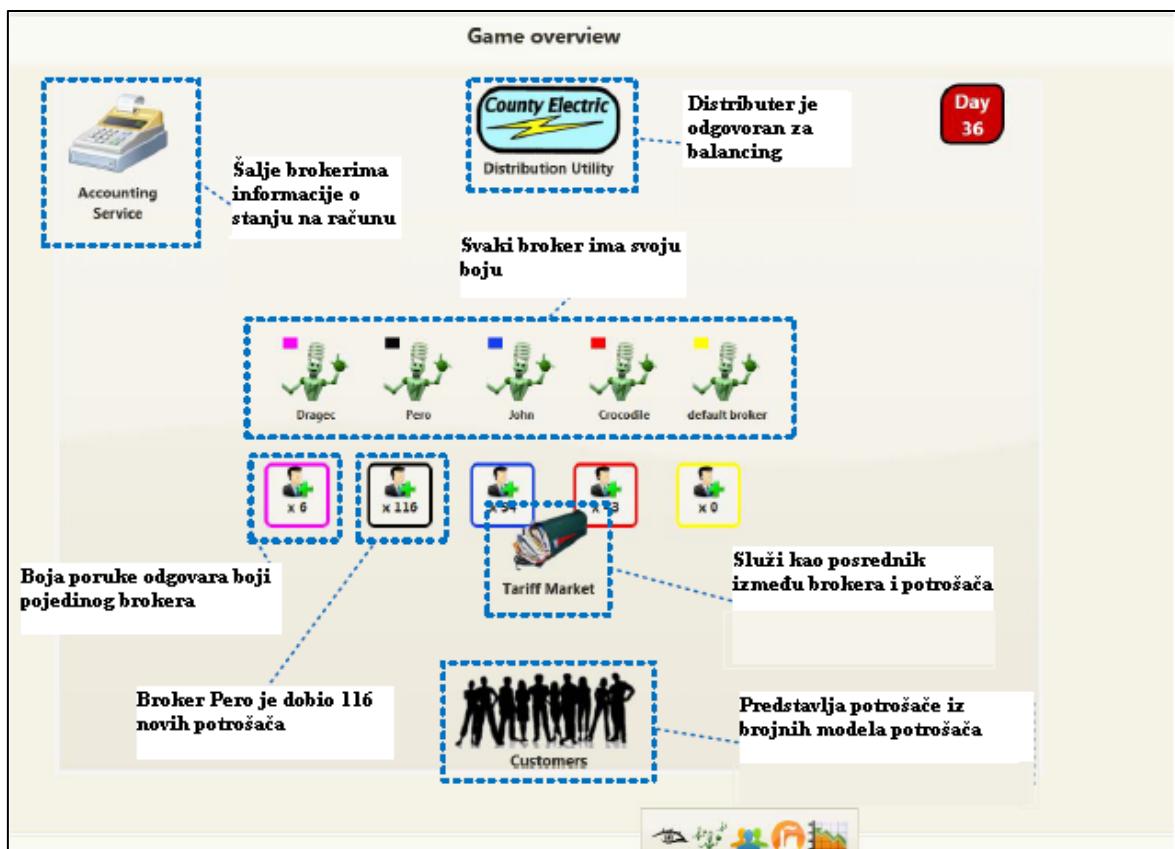
pri čemu je $\hat{\theta}$ funkcija kojom smo predviđali parametar, a θ stvarni parametar[8].

MAPE ili prosječna apsolutna postotna pogreška je metoda koja se koristi kod predviđanja vremenskih serija, pogtovo onih kod kojih se uočava periodičnost. Ova metoda izražava točnost u postotcima, a računa se po sljedećoj formuli [9]:

$$M = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad (10)$$

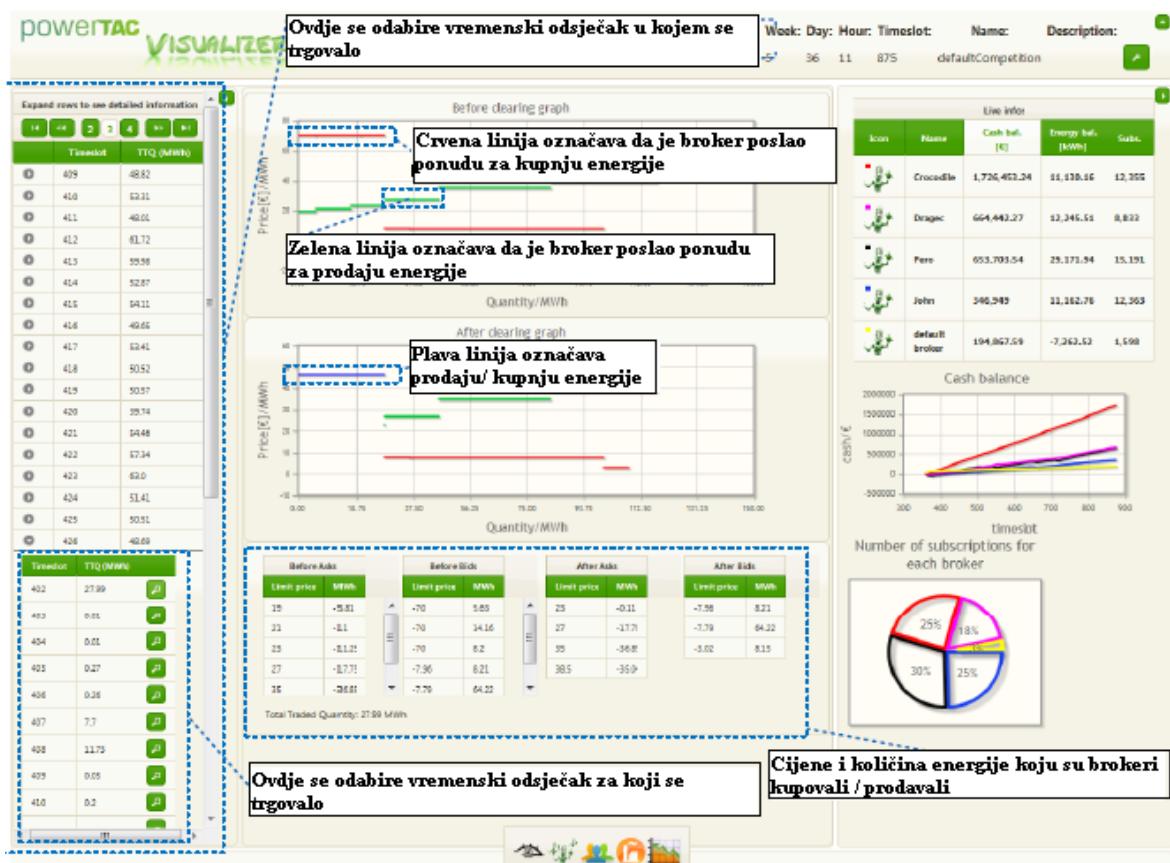
Obje metode su korištene za testiranje jednostavne linearne regresije, a metoda MAPE i za testiranje metode Holt – Winters.

4. Veleprodajno tržište tijekom izvršavanja igre Power TAC



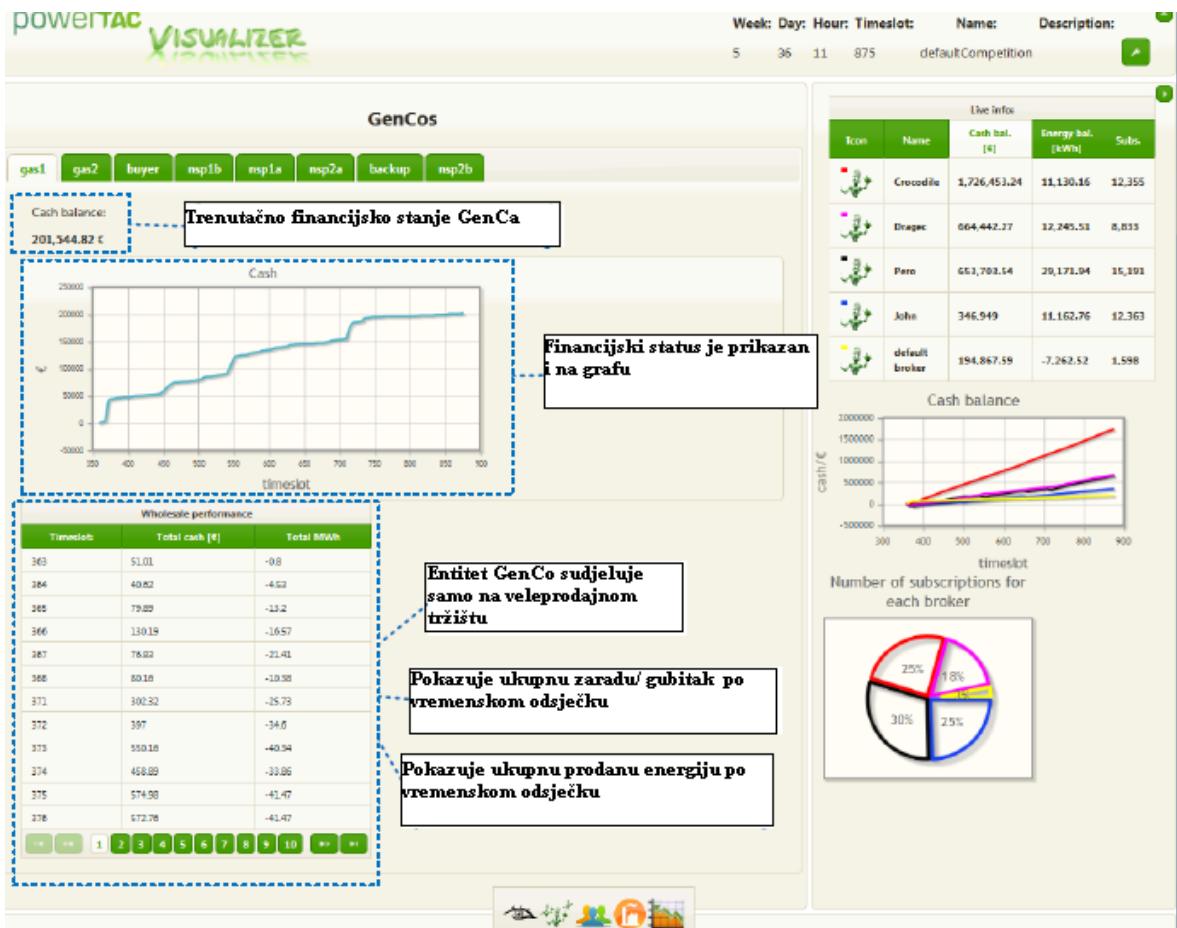
Slika 12. Visualizer [10]

Slika predstavlja općeniti tijek igre praćen na vizualizacijskom modulu (engl. *Visualizer*). Na slici je prikazan trenutak kada je broker Pero dobio nove potrošače, a vidimo da su prikazani i neki drugi dijelovi, poput računovodstva (engl. *Accounting Service*) koje šalje brokerima informacije o stanju na računu, ili distributera koji je odgovoran za *balancing*. Na ovaj način je pojednostavljeno praćenje igre i vrlo lako se dobiva uvid u opće stanje natjecanja.



Slika 13. Prikaz tijeka igre na veleprodajnom tržištu [10]

Tijek igre prikazan u *Visualizeru* pruža uvid u čišćenje tržišta. Čišćenje tržišta je prikazano s dva grafa, od kojih je prvi prikazuje stanje na tržištu prije čišćenja, a drugi stanje poslije čišćenja. Na prvom grafu crvene linije predstavljaju potraživanje energije, a zelene prodaju energije. Linije su nacrtane tako da se iz njih može očitati koju cijenu nudi/traži broker koji je poslao ponudu i koju količinu energije traži/nudi. Na drugom grafu je plavom bojom označena linija koja predstavlja ukupnu prodanu i kupljenu energiju te se vidi cijena po kojoj se trgovalo, a koja je ujedno i tržišna cijena. Ponude koje se nisu izvršile nakon čišćenja tržišta prikazane su, kao u prvom grafu, crvenim i zelenim linijama.



Slika 13. Prikaz entiteta GenCo u Visualizeru [10]

Proizvođači su prikazani kao skup kartica, od kojih svaka predstavlja jednog proizvođača. Nakon otvaranja kartice s traženim proizvođačem, prikaze se

- trenutačno finansijsko stanje proizvođača,
 - graf s tijekom financija te
 - tablica s postignućima na veleprodajnom tržištu.

Tablica s postignućima, pak, sadrži:

- vremenske odsječke za koje je ostvarena prodaja,
 - ukupnu zaradu/gubitak ostvarenu za vremenski odsječak i
 - ukupnu energiju prodanu po vremenskom odsječku.

Na ovaj način je lako pratiti i utjecaj proizvođača na tržištu, što je bitno pri planiranju strategije za brokera.

Zaključak

Uvođenje pametnih mreža (engl. *smart gridov*) i liberalizacija električnog tržišta nose za sobom mnoge promjene, ali je teško reći kakve bez nekih ozbiljnijih testova. Power TAC (*Power Agent Trading Competition*) i sva slična natjecanja su relativno jeftin način simulacije i testiranja ovih ideja. Dodatna prednost natjecanja je uključivanje studenata koji će jednog dana možda i sami raditi na ovim projektima ako se ostvare.

Liberalizacija električnog tržišta je dobra jer potiče efikasno iskorištavanje energije, pogotovo što su tarife koje agenti nude puno „bliže“ stvarnim klijentovim potrebama. Tako će se preplatnici, s ciljem što manje cijene koju će platiti na kraju obračunskog razdoblja, paziti kada će i koliko energije upotrijebiti. To je isto tako bitno agentu kako bi znao kada i koliko energije dobaviti, što rezultira smanjenim dijelom neiskorištene energije.

Liberalizacija tržišta isto tako može biti loša ako se ne regulira njena provedba. Na primjer, nedopustivo je da u se događaju nestašice energije na većem području (*blackouts*). Stoga je neophodno provesti i nove zakonske mjere kao i edukaciju nove radne snage u ovom području kako bi se spriječile negativne posljedice liberalizacije, a postigao maksimum u prednostima koje ona nudi.

Power TAC natjecanje pruža realističan uvid u sve što bi moglo „poći po zlu“ i stvara podlogu za razvoj novih, pratećih tehnologija, alata, modela i algoritama za poboljšanje poslovanja na ovakovom tržištu, a koji bi se u konačnici mogli primjeniti i na druga polja, s obzirom na uvođenje sve veće dinamičnosti u svim aspektima modernog poslovanja.

Veleprodajno tržište je dio natjecanja za koji trenutačno agent ne koristi sve mogućnosti za ostvarivanje profita. Na primjer, trenutačno broker ne trguje u svakom vremenskom odsječku za svaki vremenski odsječak. On trguje samo kad mu treba energija da namiri svoje potrošače. Tu se gubi mogućnost za dodatnom zaradom koja se može ostvariti dobrom strategijom trgovanja energijom na veleprodajnom tržištu. Budući da je taj dio ostao zanemaren u ovogodišnjem natjecanju, to otvara prostor za nove dorade u budućnosti.

Literatura

- [1] Weidlich A., Veit D. Energy Economics: A critical survey of agent-based wholesale electricity market models, University of Mannheim, Chair of Business Administration and Information Systems, 1728–1759, 2008.
- [2] Smart Grid, <http://energy.gov/oe/technology-development/smart-grid>, svibanj 2012
- [3] Ketter, W., Collins, J., Reddy, P., Flath, C., Weerdt, M. The Power Trading Agent Competition, Erasmus Research Institute of Management Report, ERS-2011-011-LIS, SSRN 1975237, 2011.
- [4] Thomas P. Ryan, Modern Regression Methods, John Wiley & Sons, 10. 11. 2008.
- [5] Mun J. Real Options Analysis: Tools And Techniques for Valuing Strategic Investments And Decisions, John Wiley & Sons, 2006.
- [6] Winters, P. R. Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages, Management Science, travanj 1960. , str. 324.–342.
- [7] Triple Exponential Smoothing, *IST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods*, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>, svibanj 2012.
- [8] Wackerly, D., Scheaffer, W. (2008). *Mathematical Statistics with Applications*, Thomson Higher Education. ISBN 0-495-38508-5.
- [9] Ahlburg, D. (1992). A Commentary on Error Measures: Error Measures and Choice of a Forecast Method. International Journal of Forecasting 8: str. 99.-111.
- [10] Babić, J. A Competitive Simulation Platform For Electricity Trading In Smart Grids, Department of Telecommunications, Faculty of Electrical Engineering and Computing, University of Zagreb, travanj 2012.

Sažetak

Power Trading Agent Competition (Power TAC) je natjecanje koje će se prvi put održati 2012. godine. To je natjecanje koje simulira liberalizirano tržište električne energije gdje je brokerima dozvoljen ulaz na tržište, što nije slučaj u monopoliziranim tržištima koja trenutačno postoje u većini država. Power TAC igra se sastoji od tarifnog tržišta, veleprodajnog tržišta i distributera.

Agent Crocodile je jedan od brokera koji se natječu ove godine, a stvorio ga je natjecateljski tim Sveučilišta u Zagrebu. Trenutna verzija tog agenta koristi neke od popularnih statističkih metoda kako bi broker ostvario strukturu „inteligentnog agenta“. Metoda koja je trenutno implementirana u brokera je metoda Holt-Winters koja koristi trostruku eksponencijalno izglađivanje. Koristi se za predviđanje tržišnih cijena i potrošnju energije kako bi broker „znao“ kada i koliko energije kupiti.

Agent Crocodile je dosada pokazao dobre rezultate, no pravi rezultati će biti poznati tek nakon završetka natjecanja. Tada će biti moguće prepoznati dobre ili lošije strane agenta i iskoristiti to znanje u budućnosti jer jer vrlo vjerojatno da će se Power TAC natjecanje nastaviti održavati.

Summary

Power Trading Agent Competition is a new competition that will be held in 2012 for the first time. It is a competition that simulates a liberalized electrical energy market where brokers are allowed to compete, which is not the case in the monopolized markets that currently exist in most of the countries. The competition consists of a retail market, wholesale market and a regulated distribution utility.

Crocodile Agent is one of the competing brokers, made by the team of University of Zagreb. Its current version uses some of the popular statistical methods in order to accomplish a structure of an “intelligent agent” which is what all of the brokers strive to. The method that is currently implemented within the brokers is Holt-Winters method that uses triple exponential smoothing. It is used to predict the clearing prices and customer energy usage so that the broker “knows” when and how much energy it should buy.

Crocodile Agent has shown good results so far, but the real results will be known when the competition finishes. Only then will it be possible to recognize the good and the bad traits of the agent and use that knowledge in the years to come, for it is very likely that the Power TAC competition will continue to be held annually.

Skraćenice

Power TAC	<i>Power Trading Agent Competition</i>	
SAD	<i>Sjedinjene Američke Države</i>	
GenCo	<i>Generation Company</i>	
MSE	<i>Mean Squared Error</i>	srednja kvadratna pogreška
MAPE	<i>Mean Absolute Percentage Error</i>	srednja apsolutna prosječna pogreška