

MATPOWER programski paket otvorenog koda za simulaciju i optimizaciju elektroenergetskih sistema

Lazar Šćekić

6. novembar 2024. godine

1 Uvod

MATPOWER je paket M-fajlova namijenjen rješavanju problema tokova snaga i problema optimalnih tokova snaga u elektroenergetskim sistemima [1]. Osmišljen je kao alat za simulaciju koji je jednostavan za korišćenje i prilagođavanje. MATPOWER omogućava postizanje visokih performansi uz održavanje koda jednostavnim i razumljivim za korisnike koji žele da ga modifikuju.

Prvu verziju MATPOWER-a su razvili Ray D. Zimmerman, Carlos E. Murillo-Sánchez i Deqiang Gan sa Univerziteta Kornel, pod vođstvom Roberta J. Thomasa. Razvoj MATPOWER-a bio je motivisan potrebama projekta POWERWEB, koji je zahtijevao korišćenje efikasnih metoda za proračun tokova snaga. Tokom godina, mnogi su doprinijeli unaprjeđenju MATPOWER-a, a njegovim razvojem i dalje rukovodi Ray D. Zimmerman.

Počevši od verzije 6, MATPOWER je proširen okvirom za rješavanje opštih problema angažovanja agregata, poznatim kao MOST (MATPOWER Optimal Scheduling Tool). MOST omogućava rješavanje različitih problema, počevši od determinističkih problema ekonomskog dispečinga, do složenih višeperiodnih optimizacionih problema sa ograničenjima sigurnosti.

U ovom dokumentu je predstavljen kratak uvod u programski paket MATPOWER namijenjen studentima druge godine master studija na studijskom programu Elektroenergetski sistemi.

2 Početak rada u MATPOWER paketu

Ovo poglavlje objašnjava osnovne korake za početak rada u programskom paketu MATPOWER, uključujući sistemske zahtjeve, preuzimanje i instalaciju.

2.1 Sistemski zahtjevi

Da biste koristili sve funkcionalnosti programskog paketa MATPOWER 8.0, potrebno je imati:

- MATLAB verziju 9.0 (R2016a) ili noviju, ili
- GNU OCTAVE verziju 6.2 ili noviju.

Osnovne funkcije programskog paketa MATPOWER (iz verzija 7.1 i starijih) podržane su i na starijim verzijama, uključujući MATLAB verziju 7.9 (R2009b) i GNU OCTAVE verziju 4 ili noviju. Detaljne zahtjeve za MATLAB i OCTAVE možete pronaći u dokumentaciji odgovarajuće verzije.

2.2 Preuzimanje programskog paketa MATPOWER

MATPOWER možete preuzeti na dva načina:

1. **Zvanična verzija** – Najnovija zvanična verzija MATPOWER-a može se preuzeti kao ZIP datoteka sa sajta <https://matpower.org>.
2. **Razvojna verzija** – Najnovija razvojna verzija dostupna je na GitHub-u i može se preuzeti korišćenjem komande:

```
git clone https://github.com/MATPOWER/matpower.git
```

Ova verzija uključuje nove funkcije i ispravke grešaka koje nijesu dostupne u zvaničnim verzijama.

Za one koji žele dodatne alate, MATPOWER je takođe dostupan kao DOCKER kontejner koji uključuje LINUX okruženje sa unaprijed instaliranim MATPOWER-om.

2.3 Instalacija

Instalacija programskog paketa MATPOWER se sprovodi kroz tri koraka:

1. **Preuzimanje i raspakivanje datoteka:** Preuzmite ZIP folder ili klonirajte GitHub repozitorijum i postavite MATPOWER folder na željeno mjesto na računaru.
2. **Pokretanje instalacionog fajla:** Otvorite MATLAB ili OCTAVE i postavite direktorijum MATPOWER-a kao aktivni direktorijum. Pokrenite fajl `install_matpower.m` korišćenjem komande:

```
install_matpower
```

Ova funkcija dodaje sve potrebne fajlove u MATLAB ili OCTAVE putanju tako da se sve MATPOWER funkcije mogu koristiti na različitim putanjama.

3. **Provjera instalacije** – Da biste provjerili da li je MATPOWER ispravno instaliran, pokrenite testnu funkciju korišćenjem komande:

```
test_matpower
```

Rezultati testa prikazuju sve uspješno izvršene testove, kao i eventualne preskočene testove.

3 MATPOWER struktura podataka

MATPOWER koristi strukturu podataka pod nazivom `mpc` za predstavljanje elektroenergetskog sistema. Struktura `mpc` sadrži nekoliko polja koja definišu karakteristike sistema. Najvažnija polja su:

- **version** – Verzija MATPOWER formata.
- **baseMVA** – Bazna snaga u MVA. Ova vrijednost se koristi prilikom prelaska na sistem jediničnih vrijednosti prije sprovođenja proračuna tokova snaga ili rješavanja problema optimalnih tokova snaga.
- **bus** – Matrica koja sadrži informacije o svim čvorovima sistema, dimenzija $n \times 13$. Svaki red predstavlja jedan čvor, dok kolone sadrže sljedeće podatke:
 1. Redni broj čvora,
 2. Tip čvora (1 – potrošački, 2 – generatorski, 3 – balansni, 4 – izolovani),
 3. Aktivna snaga potrošača u MW,
 4. Reaktivna snaga potrošača u MVar,
 5. Aktivna snaga otočnih elemenata u MW,
 6. Reaktivna snaga otočnih elemenata u MVar,
 7. Redni broj kontrolne oblasti kojoj čvor pripada,
 8. Efektivna vrijednost napona čvora u jediničnim vrijednostima,
 9. Fazni stav napona čvora u stepenima,
 10. Naznačeni napon čvora u kV,
 11. Redni broj zone kojoj čvor pripada,
 12. Najviša dozvoljena vrijednost napona čvora u jediničnim vrijednostima,
 13. Najniža dozvoljena vrijednost napona čvora u jediničnim vrijednostima.
- **branch** – Matrica sa podacima o granama sistema (vodovima i transformatorima), dimenzija $b \times 13$. Svaki red predstavlja jednu granu, dok pojedinačne kolone sadrže sljedeće podatke:
 1. Početni čvor grane,
 2. Krajnji čvor grane,
 3. Otpornost grane u jediničnim vrijednostima,
 4. Reaktansa grane u jediničnim vrijednostima,
 5. Susceptansa grane u jediničnim vrijednostima,
 6. Snaga u MVA koju grana može izdržati dugotrajno,
 7. Snaga u MVA koju grana može izdržati kratkotrajno,
 8. Snaga u MVA koju grana može izdržati trenutno,

9. Nenominalni prenosni odnos transformatora (0 za vodove),
 10. Fazni pomak transformatora (0 za vodove),
 11. Status grane,
 12. Minimalna dozvoljena razlika faznih stavova napona na krajevima grane,
 13. Maksimalna dozvoljena razlika faznih stavova napona na krajevima grane.
- **gen** – Matrica sa podacima o generatorima, dimenzija $g \times 21$. Svaki red odgovara jednom generatoru, dok kolone sadrže sledeće informacije:
 1. Broj čvora u kojem je generator priključen,
 2. Aktivna snaga generatora u MW,
 3. Reaktivna snaga generatora u MVar,
 4. Maksimalna reaktivna snaga generatora u MVar,
 5. Minimalna reaktivna snaga generatora u MVar,
 6. Željena vrijednost napona na sabirnicama generatora u jediničnim vrijednostima,
 7. Nominalna snaga generatora (MVA),
 8. Status generatora,
 9. Maksimalna aktivna snaga generatora u MW,
 10. Minimalna aktivna snaga generatora u MW,
 11. Granične vrijednosti aktivne i reaktivne snage koje se koriste za definisanje pogonskog dijagrama generatora, uključujući:
 - donju graničnu vrijednost aktivne snage P_{C1} ,
 - gornju graničnu vrijednost aktivne snage P_{C2} ,
 - minimalnu vrijednost reaktivne snage Q_{C1}^{MIN} pri aktivnoj snazi P_{C1} ,
 - maksimalnu vrijednost reaktivne snage Q_{C1}^{MAX} pri aktivnoj snazi P_{C1} ,
 - minimalnu vrijednost reaktivne snage Q_{C2}^{MIN} pri aktivnoj snazi P_{C2} ,
 - maksimalnu vrijednost reaktivne snage Q_{C2}^{MAX} pri aktivnoj snazi P_{C2} ,
 12. Maksimalna brzina promjene aktivne snage u MW/min,
 13. Maksimalni iznos promjene aktivne snage za učešće u desetominutnoj rezervi u MW,
 14. Maksimalni iznos promjene aktivne snage za učešće u tridesetominutnoj rezervi u MW,
 15. Maksimalna brzina promjene reaktivne snage u MVar/min,
 16. Faktor učešća generatora u regulaciji kontrolne oblasti.
 - **gencost** – Matrica sa podacima o troškovima proizvodnje, koja definiše troškove aktivne i reaktivne

snage generatora. Ako postoji g generatora, tada prvih g redova **gencost** matrice sadrži podatke o troškovima aktivne snage. Ako matrica ima $2g$ redova, onda su redovi od $g+1$ do $2g$ namijenjeni troškovima reaktivne snage.

1. Model funkcije troškova: 1 za segmentno linearni, 2 za polinomijalni,
2. Trošak pokretanja agregata u €,
3. Trošak zaustavljanja agregata u €,
4. Broj tačaka koje definišu funkciju troška sa n segmenata za segmentno linearni model, ili broj koeficijenata koji definišu polinomijalni model reda n .
5. Preostale kolone uključuju parametre koji definišu funkciju troškova pogona $f(p)$.

Funkcija troškova pogona $f(p)$ može biti definisana na dva načina:

- **Segmentno linearni model:** Definiše se skupom koordinata $(p_1, f_1), (p_2, f_2), \dots, (p_N, f_N)$, gdje je $p_1 < p_2 < \dots < p_N$.
- **Polinomijalni model:** Definiše se sa n koeficijenata polinoma, počevši od najvišeg reda, gdje funkcija troškova ima oblik:

$$f(p) = c_n p^n + \dots + c_1 p + c_0$$

- **bus_name** – Čelijska matrica dimenzija $n \times 1$ koja sadrži imena čvorova.

Primjer **mpc** strukture za testni elektroenergetski sistem od 5 čvorova je dat u dodatku A. MATPOWER uključuje brojne testne elektroenergetske sisteme različite kompleksnosti, a spisak zastupljenih sistema je dostupan u [2].

4 Manipulacija mpc strukturom

U ovom poglavlju će biti pokazane osnovne manipulacije nad `mpc` strukturom koje omogućavaju jednostavno formiranje i prilagođavanje modela proizvoljnog elektroenergetskog sistema.

Prvi korak kod rada sa testnim elektroenergetskim sistemima koji su dostupni u programskom paketu MATPOWER je učitavanje `mpc` strukture. Za testni elektroenergetski sistem od 5 čvorova (`case5`), `mpc` struktura se učitava kao:

```
1 mpc = loadcase('case5') ;
```

Testni sistem se može proširiti dodavanjem novih čvorova u `mpc.bus` matricu. Primjera radi, testnom elektroenergetskom sistemu je moguće dodati šesti čvor nominalnog napona 230 kV, koji predstavlja potrošački čvor sa konzumom $(10 + j5)$ MVA kao:

```
1 newBus = [6 1 10 5 0 0 1 1 0 230 1 1.1 0.9] ;  
2 mpc.bus = [mpc.bus  
3           newBus] ;
```

Slično, novu granu koja povezuje neki od postojećih čvorova (npr. čvor 1) sa čvorom 6 moguće je dodati kao:

```
1 newBranch = [1 6 0.0025 0.025 0.05 250 250 250 0 0 1 -360 360] ;  
2 mpc.branch = [mpc.branch  
3              newBranch] ;
```

U konkretnom slučaju, otpornost grane je 0,0025 pu, reaktansa 0,025 pu, susceptansa 0,05 pu, dok je naznačena snaga grane 250 MVA. Novu granu je moguće isključiti promjenom njenog statusa kao:

```
1 mpc.branch(end,11) = 0 ;
```

Novi generator nominalne snage 100 MVA, koji u mrežu predaje aktivnu snagu od 40 MW pri nominalnom naponu, je moguće dodati u čvor 6 kao:

```
1 newGen = [6 40 0 30 -30 1 100 1 50 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0] ;  
2 mpc.gen = [mpc.gen  
3           newGen] ;
```

Pri tom, regulacioni opseg generatora u pogledu reaktivne snage uključuje opseg od -30 do 30 MVar.

U čvor 6 je moguće dodati i novog potrošača snage $(20 + j10)$ MVA kao:

```
1 mpc.bus(6,3:4) = mpc.bus(6,3:4) + [20 10] ;
```

Pri tom, važno je voditi računa o postojećem konzumu u čvoru 6.

Kao i u slučaju potrošnje, MATPOWER omogućava jednostavnu promjenu proizvodnje generatora. Na primjer, aktivnu snagu novog generatora u čvoru 6 je moguće povećati na 100 MW kao:

```
1 mpc.gen(end,2) = 100 ;
```

5 Proračun tokova snaga

Proračun tokova snaga u MATPOWER-u sprovodi se korišćenjem komande **runpf**. U nastavku su objašnjeni koraci potrebni za sprovođenje proračuna tokova snaga.

1. **Učitavanje sistema** – Koristite funkciju **loadcase** za učitavanje podataka o elektroenergetskom sistemu iz odgovarajućeg fajla ili strukture ili funkciju korišćenu u prethodnom poglavlju. Na primjer:

```
1 mpc = loadcase('case14');
```

Ova komanda učitava podatke iz fajla **case14.m** i smiješta ih u **mpc** strukturu.

2. **Podešavanje opcija** – Funkcija **mpoption** omogućava prilagođavanje različitih parametara za proračun tokova snaga. Na primjer, kako bi proračun tokova snaga bio riješen korišćenjem Newton-Raphsonovog metoda sa tolerancijom 10^{-3} i kako bi se uzeo u obzir regulacioni opseg generatora u pogledu reaktivne snage, potrebno je podesiti sljedeće opcije:

```
1 mpopts = mpoption() ;  
2 mpopts.pf.alg = 'NR' ;  
3 mpopts.pf.tol = 1e-3 ;  
4 mpopts.pf.enforce_q_lims = 1 ;
```

3. **Sprovođenje proračuna tokova snaga** – Za izvršavanje proračuna koristi se funkcija **runpf** kao:

```
1 results = runpf(mpc,mpopts) ;
```

Ova komanda sprovodi proračun tokova snaga nad sistemom definisanim u **mpc** strukturi koristeći opcije definisane u **mpopts** strukturi.

4. **Pristup rezultatima** – Rezultati proračuna su smješteni u strukturi **results**, koja sadrži informacije o tome da li je proračun uspješno konvergirao, kao i sve rezultate proračuna vezane za čvorove, grane i generatore. Na primjer, modulima i faznim stavovima napona u čvorovima sistema je moguće pristupiti kao:

```
1 V = results.bus(:,8) ;  
2 Theta = results.bus(:,9) ;
```

Slično je moguće pristupiti tokovima aktivnih i reaktivnih snaga za sve grane kao:

```
1 P_from = results.branch(:,14) ;  
2 Q_from = results.branch(:,15) ;
```

Za detaljnije informacije o funkciji **runpf** i njenim opcijama, posjetite zvaničnu dokumentaciju MATPOWER-a.

6 Proračun optimalnih tokova snaga

MATPOWER uključuje nekoliko funkcija za rješavanje AC i DC formulacija problema optimalnih tokova snaga. Standardna formulacija optimizacionog problema ima sljedeći oblik:

$$\min_x f(x) \quad (1)$$

uz ograničenja:

$$g(x) = 0 \quad (2)$$

$$h(x) \leq 0 \quad (3)$$

$$x_{\min} \leq x \leq x_{\max} \quad (4)$$

Kod obje formulacije problema optimalnih tokova snaga, kriterijumska funkcija $f(x)$ predstavlja ukupne troškove proizvodnje svih agregata u sistemu, ograničenja tipa jednakosti $g(x)$ predstavljaju jednačine injektiranja aktivnih i reaktivnih snaga u svim čvorovima sistema, ograničenja tipa nejednakosti $h(x)$ predstavljaju termička ograničenja mrežnih elemenata, dok se granične vrijednosti $x_{\min}$ i $x_{\max}$ odnose na vrijednosti modula i faznih stavova napona u čvorovima sistema, kao i aktivne i reaktivne snage generatora.

U AC formulaciji, upravljačka promjenljiva x sastoji se od $n \times 1$ vektora faznih stavova Θ i modula napona V u čvorovima sistema, kao i $g \times 1$ vektora aktivnih i reaktivnih snaga generatora P_g i Q_g .

$$x = \begin{bmatrix} \Theta \\ V \\ P_g \\ Q_g \end{bmatrix} \quad (5)$$

Kriterijumska funkcija $f(x)$ predstavlja zbir troškova proizvodnje aktivne f_i^P i reaktivne snage f_i^Q pojedinačnih agregata:

$$f(P_g, Q_g) = \sum_{i=1}^{n_g} f_i^P(p_g^i) + f_i^Q(q_g^i). \quad (6)$$

Ograničenja tipa jednakosti $g(x)$ predstavljaju skup od $2n$ jednačina injektiranja aktivnih i reaktivnih snaga u svim čvorovima sistema:

$$P_i = \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j - \varphi_{ij}) \quad (7)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j - \varphi_{ij}) \quad (8)$$

za $i = 1, 2, \dots, n$, gdje $Y_{ij} \angle \varphi_{ij}$ predstavlja element matrice admitansi nezavisnih čvorova na poziciji (i, j) .

Ograničenja tipa nejednakosti $h(x)$ sastoje se od dva skupa od b ograničenja tokova snaga po granama mreže, jednog za početak i jednog za kraj svake grane:

$$h_f(\Theta, V) = |F_f(\Theta, V)| - F_{\max} \leq 0 \quad (9)$$

$$h_t(\Theta, V) = |F_t(\Theta, V)| - F_{\max} \leq 0 \quad (10)$$

Tokovi F_f i F_t su obično tokovi prividne snage izraženi u MVA, ali mogu se odnositi i na aktivnu snagu ili struju grane, što daje tri moguća oblika ograničenja.

Granice promjenljivih uključuju ograničenje tipa jednakosti za balansni čvor, kao i gornje i donje granice za sve module napona u čvorovima sistema, kao i aktivne i reaktivne snage generatora:

$$\theta_i^{\text{ref}} \leq \theta_i \leq \theta_i^{\text{ref}}, \quad i \in \mathcal{I}_{\text{ref}} \quad (11)$$

$$v_i^{\min} \leq v_i \leq v_i^{\max}, \quad i = 1, \dots, n \quad (12)$$

$$p_g^{i,\min} \leq p_g^i \leq p_g^{i,\max}, \quad i = 1, \dots, g \quad (13)$$

$$q_g^{i,\min} \leq q_g^i \leq q_g^{i,\max}, \quad i = 1, \dots, g \quad (14)$$

U nastavku su objašnjeni koraci potrebni za sprovođenje proračuna optimalnih tokova snaga u AC formulaciji.

1. **Učitavanje sistema** – Za učitavanja podataka o elektroenergetskom sistemu iz odgovarajućeg fajla ili strukture koristi se funkcija `loadcase` kao:

```
1 mpc = loadcase('case14') ;
```

Ova funkcija učitava podatke iz fajla `case14.m` i smiješta ih u `mpc` strukturu.

2. **Podešavanje opcija** – Funkcija `mpoption` omogućava prilagođavanje različitih parametara za proračun optimalnih tokova snaga. Na primjer, kako bi se koristila AC formulacija i kako bi ograničenja bila zadovoljena sa tačnošću od 10^{-3} , opcije algoritma se podešavaju kao:

```
1 mpopts = mpoption();
2 mpopts.model = 'AC' ;
3 mpopts.opf.violation = 1e-3 ;
```

3. **Sprovođenje proračuna optimalnih tokova snaga** – Proračun optimalnih tokova snaga se sprovodi primjenom funkcije `runopf` kao:

```
1 results = runopf(mpc, mpopts) ;
```

Ova funkcija sprovodi proračun optimalnih tokova snaga nad sistemom definisanim u `mpc` strukturi koristeći opcije definisane u `mpopts` strukturi.

4. **Pristup rezultatima** – Rezultati proračuna su smešteni u strukturi `results`, koja sadrži informacije o tome da li je proračun uspešno konvergirao, kao i sve relevantne rezultate. Na primjer, optimalnim vrijednostima upravljačkih promjenljivih i kriterijumske funkcije može se pristupiti kao:

```
1 x = results.x ;
2 f = results.f ;
```

Ostalim rezultatima od interesa se pristupa na isti način kao i u slučaju problema tokova snaga.

7 Zaključak

U ovom dokumentu je predstavljen programski paket MATPOWER koji omogućava simulaciju i optimizaciju elektroenergetskih sistema. Opisani su osnovni koraci za rad sa MATPOWER-om, uključujući instalaciju, strukturu podataka, manipulaciju nad `mpc` strukturom, te sprovođenje proračuna tokova snaga i optimalnih tokova snaga. Kroz primjere je prikazano kako studenti mogu koristiti MATPOWER za analizu elektroenergetskih sistema različite kompleksnosti.

Korišćenje MATPOWER-a u obrazovnom procesu omogućava studentima direktan uvid u proračunske procese koji se primenjuju u praksi, kao i fleksibilnost da istraže različite metode za analizu i optimizaciju elektroenergetskih sistema. Kao alat otvorenog koda, MATPOWER nudi široke mogućnosti za dalje istraživanje, prilagođavanje i primjenu u stručnom i istraživačkom radu.

Literatura

- [1] R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sánchez i R. J. Thomas, „MATPOWER: Steady-State Operations, Planning, and Analysis Tools for Power Systems Research and Education,” *IEEE Transactions on Power Systems*, sv. 26, br. 1, str. 12–19, 2011. DOI: 10.1109/TPWRS.2010.2051168.
- [2] „Testni elektroenergetski sistemi u programskom paketu MATPOWER.” Pristupljeno: 6. novembar 2024. godine. (2024.), adresa: <https://matpower.app/manual/matpower/ExamplematpowerCases.html>.

A Primjer mpc strukture

U ovom primjeru je predstavljena mpc struktura za testni elektroenergetski sistem od 5 čvorova kojem je moguće pristupiti primjenom komande `case5`. Struktura mpc sadrži informacije o čvorovima (`bus`), granama (`branch`), generatorima (`gen`) i podacima o troškovima proizvodnje (`gencost`).

Listing 1: Podaci o čvorovima (`mpc.bus`)

```
1 %% Bus data
2 % bus_i type Pd Qd Gs Bs area Vm Va baseKV zone Vmax Vmin
3 mpc.bus = [
4   1 2 0 0 0 0 1 1 0 230 1 1.1 0.9
5   2 1 300 98.61 0 0 1 1 0 230 1 1.1 0.9
6   3 2 300 98.61 0 0 1 1 0 230 1 1.1 0.9
7   4 3 400 131.47 0 0 1 1 0 230 1 1.1 0.9
8   5 2 0 0 0 0 1 1 0 230 1 1.1 0.9
9 ] ;
```

Listing 2: Podaci o granama (`mpc.branch`)

```
1 %% Branch data
2 % fromBus toBus r x b rateA rateB rateC tap angle status angmin angmax
3 mpc.branch = [
4   1 2 0.00281 0.0281 0.00712 400 400 400 0 0 1 -360 360
5   1 4 0.00304 0.0304 0.00658 0 0 0 0 0 1 -360 360
6   1 5 0.00064 0.0064 0.03126 0 0 0 0 0 1 -360 360
7   2 3 0.00108 0.0108 0.01852 0 0 0 0 0 1 -360 360
8   3 4 0.00297 0.0297 0.00674 0 0 0 0 0 1 -360 360
9   4 5 0.00297 0.0297 0.00674 240 240 240 0 0 1 -360 360
10 ] ;
```

Listing 3: Podaci o generatorima (`mpc.gen`)

```
1 %% Generator data
2 % bus Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin Pc1 Pc2 Qc1min Qc1max
   Qc2min Qc2max ramp_agc ramp_10 ramp_30 ramp_q apf
3 mpc.gen = [
4   1 40 0 30 -30 1 100 1 40 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
5   1 170 0 127.5 -127.5 1 100 1 170 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
6   3 323.49 0 390 -390 1 100 1 520 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
7   4 0 0 150 -150 1 100 1 200 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
8   5 466.51 0 450 -450 1 100 1 600 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
9 ] ;
```

Listing 4: Podaci o troškovima proizvodnje (`mpc.gencost`)

```
1 %% Generator cost data
2 % 1 startupCost shutdownCost n x1 y1 ... xn yn
3 % 2 startupCost shutdownCost n c(n-1) ... c0
4 mpc.gencost = [
5   2 0 0 2 14 0
6   2 0 0 2 15 0
7   2 0 0 2 30 0
8   2 0 0 2 40 0
9   2 0 0 2 10 0
10 ] ;
```