

mr.sc. Vesna Bukarica

## **2. MEĐUISPIT – RJEŠENJA**

## **1. Što je suština problema opskrbljivača na tržištu?**

- i. Opskrbljivači moraju kupovati električnu energiju po fiksnoj cijeni, a prodavati je po varijabilnoj.
- ii. Opskrbljivači moraju kupovati električnu energiju po varijabilnoj cijeni, a prodavati je po fiksnoj.**
- iii. Opskrbljivači su uvijek na gubitku, jer im je nemoguće predvidjeti potražnju u prihvatljivim granicama točnosti.

## **2. U uvjetima savršene konkurencije, optimalna proizvodnja elektrane bit će ona kod koje je:**

- i. Granični trošak proizvodnje jednak prihodu od prodaje električne energije.
- ii. Granični trošak proizvodnje jednak tržišnoj cijeni.**
- iii. Granični trošak proizvodnje jednak ukupnim varijabilnim troškovima.

## 3. Sljedećim tržišnim cijenama pridijelite optimalni output (snagu) elektrane, prema slici.

$$\pi < MC_1$$

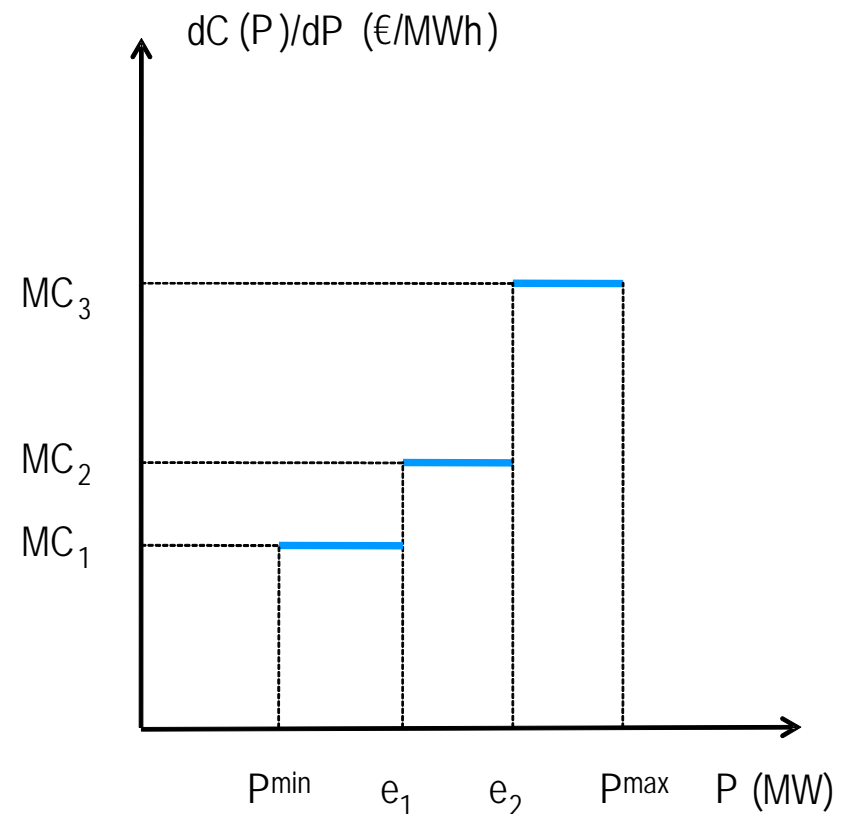
$$MC_2 < \pi < MC_3$$

$$\pi > MC_3$$

$P_{min}$

$e_2$

$P_{max}$



**4. Vlasnik ste triju elektrana. Analizom ste utvrdili da je za vaš portfelj elektrana cijena u sjeni jednaka 10 EUR/MWh. Cijena na spot tržištu iznosi 8 EUR/MWh. Koja će biti Vaša odluka?**

- i. Sve tri elektrane radit će na nazivnoj snazi.
- ii. Neće raditi ni jedna elektrana, već ćete električnu energiju za zadovoljavanje svojih ugovornih obveza kupiti na spot tržištu.
- iii. Radit će samo jedna elektrana i to ona s najmanjim graničnim troškom.

## **5. Kako povećanje broja sudionika na tržištu električne energije (proizvođača) utječe na profite svakog sudionika?**

- i. Profiti se smanjuju s povećanjem broja sudionika.
- ii. Profiti se povećavaju s povećanjem broja sudionika
- iii. Broj sudionika na tržištu nema nikakvog utjecaja na profite pojedinačnih sudionika.

**6. Kompanija ima za određeno vrijeme ugovorenu prodaju snage  $P$  te raspolaže s više elektrana koje imaju različite krivulje troška. Kompanija ima i mogućnost kupovine na tržištu po cijeni  $\pi$ . Koji uvjet moraju zadovoljiti elektrane da bi se isplativo priključile na mrežu?**

- da sve imaju jednake granične troškove i da je suma snaga jednaka  $P$
- da sve imaju jednake granične troškove koji su jednaki ili manji od cijene na tržištu i da je suma snaga jednaka  $P$
- **da sve imaju jednake granične troškove koji su jednaki ili manji od cijene na tržištu i da je suma snaga jednaka  $P$  uključujući i kupljenu snagu**

**7. Promatramo nesavršeno konkurentsko tržište na kojem se natječu dvije proizvodne tvrtke s krivuljama troška proizvodnje električne energije  $CA = 20 \cdot PA$  (EUR/h) i  $CB = 40 \cdot PB$  (EUR/h). Ukoliko primijenite Bertrandov model, koja tvrtka će preuzeti cijelo tržište?**

- i. **Tvrtka A**
- ii. **Tvrtka B**
- iii. Tvrtke će podijeliti tržište i to tako da će tvrtka A preuzeti  $2/3$ , a tvrtka B  $1/3$  tržišta.



**8. Za projekt rekonstrukcije sustava grijanja u poslovnoj zgradi vaše tvrtke procijenili ste da će imati internu stopu profitabilnosti 13%. Financijska služba vas je izvijestila da je prosječni ponderirani trošak vaše tvrtke 10%. Hoćete li menadžmentu tvrtke predložiti provođenje ovog projekta?**

- i. Hoću, jer će projekt donijeti profit tvrtki.
- ii. Neću, jer projekt nije profitabilan.
- iii. Iz navedenih podataka nije moguće donijeti takvu odluku.

**9. Koja se od navedenih vrsta pomoćnih usluga koristi u slučajevima velikih i nepredvidivih poremećaja koji mogu biti velika prijetnja stabilnosti EES-a:**

- i. usluga regulacije
- ii. usluga praćenja potrošnje
- iii. usluga rezerve

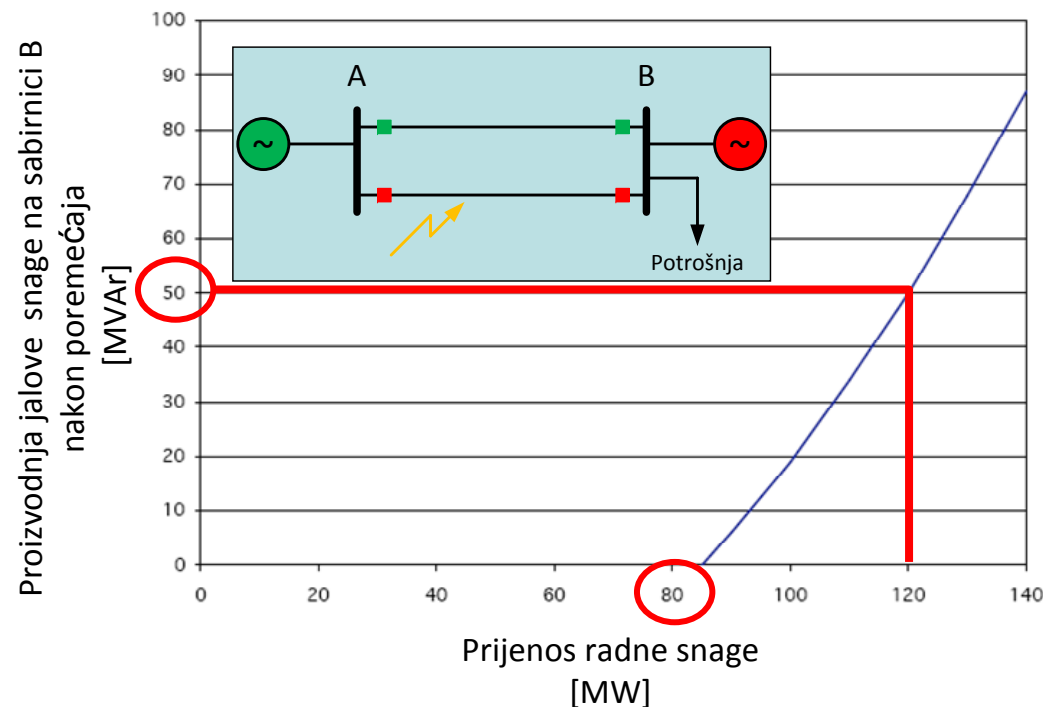
## **10. Koja vrsta kontrole napona jalovinom je učinkovitija:**

- i. **lokalna, generatorom na sabirnicama tereta**
- ii. **daljinska, generatorom na sabirnicama na kojima nije priključen teret**
- iii. **napon se ne može kontrolirati jalovinom**

**11. Razmatrate dva projekta s jednakim investicijskim troškovima od 1.000 kn. Projekt A ima čiste godišnje novčane tokove 250 kn i vrijeme efektuiranja 7 godina, a projekt B ima čiste godišnje novčane tokove 400 kn i vrijeme efektuiranja 4 godina. Koji projekt je isplativiji?**

- i. Projekt A
- ii. Projekt B
- iii. Iz navedenih podataka to nije moguće čak ni približno odrediti.

12. U sustavu na slici došlo je do ispada jednog voda. Ukoliko teret priključen na sabirnice B iznosi 120 MW, koliko jalovine mora proizvesti generator na tim sabirnicama, kako bi se osigurala stabilnost napona u sustavu? Ukoliko se u razmatranom sustavu nalazi potrošač čija potrošnja iznosi 40 MW, a koji s operatorom sustava ima ugovor o iskapčanju u slučaju potrebe, koliko bi tada jalovine trebao proizvoditi generator na sabirnicama B?



**13. Pomoćne usluge se mogu osigurati tako da se sudionici obvežu da pružaju te usluge ili organizacijom tržišta pomoćnih usluga. Navedite prednosti i mane svakog od ova dva načina osiguravanja pomoćnih usluga.**

Obveza	Tržište
Minimalno odstupanje od ustaljene prakse Jednostavnost; Uglavnom osigurava sigurnost sustava i kvalitetu opskrbe	Ekonomski učinkovitije ; Operator sustava kupuje samo potrebne količine usluga; Sudjeluju samo oni sudionici koji tu vide svoj profit; Pomaže u otkrivanju stvarne cijene usluga; Otvara prilike za inovativna rješenja
Nije nužno dobra ekonomska politika; nema naknade za troškove; Obeshrabruje tehnološke inovacije; Nejednaki uvjeti za sve	Složenije; Vjerojatno nije primjenjivo za sve vrste usluga; Pogodno za zloupotrebu tržišne moći (zbog malog broja sudionika koji mogu ponuditi pomoćnu uslugu):

**14. Vlasnik ste aluminijske industrije i izuzetno Vam je važno da imate kontinuiranu isporuku električne energije. Za rad tvornice potrebno je 20 MW svaki sat. Elektroprivreda je najavila iskapčanje u trajanju od 1 sat, a Vi ste procijenili da bi gubitak zbog obustave proizvodnje tada iznosio 100.000 EUR. Koliki je Vaš VoLL?**

- $\text{VoLL} = 100.000 / 20 * 1 = 5.000 \text{ EUR/MWh} = 5 \text{ EUR/kWh}$

**15. U EES-u rade tri elektrane nazivnih snaga 150, 200 i 250 MW. Koliki se maksimalni teret može priključiti na ovaj EES, ukoliko se smatra da je istodobni ispad dviju elektrana nemoguć događaj?**

- **Odgovor: 350 MW**



16. U nekoj industrijskoj zgradi provodite projekt zamjene magnetskih prigušnica fluorescentne rasvjete elektroničkima, kako biste smanjili potrošnju električne energije. Zamjenu ćete izvršiti na 500 fluorescentnih cijevi, pri čemu će se za svaku cijev instalirana snaga smanjiti za 10 W. Pretpostavite da je rasvjeta u pogonu uključena 24 sata dnevno tijekom cijele godine te da je cijena električne energije 0,3 kn/kWh, a cijena snage 50 kn/kW (instaliranu snagu plaćate na mjesečnoj razini, dakle 12 puta godišnje). Izračunajte ukupne godišnje novčane uštede koje ćete ostvariti ovim projektom (smanjenjem instalirane snage i smanjenjem potrošnje energije) i jednostavno razdoblje povrata ove investicije ukoliko je cijena jedne elektroničke prigušnice 150 kn (na svaku cijev ide jedna prigušnica).

# *Ekonomija u energetici*

- Ušteda snage je  $500 \cdot 10 \text{ W} = 5 \text{ kW}$
- Ušteda novaca na snazi  $0,5 \text{ kW} \cdot 50 \text{ kn/kW} \cdot 12 = 3.000 \text{ kn}$
- Ušteda energije je  $500 \cdot 10 \text{ W} \cdot 8.760 \text{ h/god} = 43.800 \text{ kWh}$
- Ušteda novaca je  $4.380 \cdot 0,3 = 13.140 \text{ kn}$
- Ukupne uštede (novčani primitci projekta):  $16.140 \text{ kn}$
- Ukupna investicija (novčani izdatci projekta):  $150 \cdot 500 = 75.000 \text{ kn}$
- **$\text{JPP} = 75.000 / 16.140 = 4,65 \text{ god}$**

**17. Opskrbljivač je predvidio potražnju električne energije svojih kupaca prema tablici. Upravo za te količine ušao je u ugovore i to po cijenama također danim u tablicama. Očekivano, stvarna potražnja razlikovala se od predviđene, a razlike je opskrbljivač morao nadomjestiti kupovinom/prodajom na spot tržištu. Opskrbljivač električnu energiju prodaje svojim kupcima po fiksnoj cijeni od 24 EUR/MWh.**

- i. Izračunajte profit ili gubitak koji je ostvario tijekom razmatranog 6-satnog razdoblja.**
- ii. Koliko bi morao naplaćivati kupcima da bude "na nuli"?**

# Ekonomija u energetici

Razdoblje	1	2	3	4	5	6	Ukupno
Predviđena potrošnja (MWh)	120	230	310	240	135	110	
Ugovorene cijene (EUR/MWh)	22,5	24,5	29,3	25,2	23,1	21,9	
Trošak ugovora	2700	5635	9083	6048	3118,5	2409	- 28993,5
Stvarna potrošnja (MWh)	110	225	330	250	125	105	1145
Prihod od prodaje	2640	5400	7920	6000	3000	2520	27480
Spot cijena (EUR/MWh)	21,6	25,1	32	25,9	22,5	21,5	
Razlika potražnje (MWh)	10	5	-20	-10	10	5	
Zarada na spot-u	216	125,5	-640	-259	225	107,5	-225
Gubitak/Zarada (EUR)							- 1783,5
"Na nuli"							$(28993,5+225)/1145=$ <b>25,5 2EUR/MWh</b>

## ***Ekonomija u energetici***

**18. Input-output krivulja plinske elektrane zadana je jednadžbom:  $H(P)=120+9,3P+0,0025P^2$  MJ/h. Cijena plina je  $F=1,20$  EUR/MJ, a ograničenja rada elektrane  $P_{min}=200$  MW i  $P_{max}= 500$  MW. U 6-satnom razdoblju cijene po kojima je ova elektrana prodavala električnu energiju kretale su se kao što je zadano u tablici.**

- i. Uz pretpostavku optimalnog dispečiranja te da je elektrana već na mreži i da se ne može isključiti, izračunajte profit ili gubitak elektrane u ovom razdoblju.**
- ii. Aproximirajte input-output krivulju pravcima u intervalima 200 MW, 300 MW, 400 MW i 500 MW i nacrtajte krivulju troška.**
- iii. Pretpostavite da se elektrana pokreće na početku razdoblja 3, a zaustavlja na kraju razdoblja 5. Troškovi pokretanja iznose 500 EUR. Koliki profit ili gubitak sada ostvaruje elektrana?**

## Sudionici na tržištu – primjeri pitanja (2)

Razdoblje	1	2	3	4	5	6	Ukupno
Cijena ( $\pi$ ) (EUR/MWh)	12,5	10	13	13,5	15	11	
Snaga (MW)/Energija (MWh)	223,3	200,0	306,7	390,0	500,0	200,0	
Trošak (EUR)	2786,0	2496,0	3848,5	4952,7	6474,0	2496,0	
Zarada od prodaje (EUR)	2791,7	2000,0	3986,7	5265,0	7500,0	2200,0	
Profit (EUR)	5,6	-496,0	138,1	312,3	1026,0	-296,0	690,07

i.  $C(P)=F \cdot H(P)=1,2 \cdot (120+9,3P+0,0025P^2)=144+11,16P+0,003P^2$

$dC(P)/dP=11,16+0,006P=\pi \Leftrightarrow P=(\pi-11,16)/0,06$  (ograničenja  $P_{min}$  i  $P_{max}!!!!$ )

$\Omega = \pi \cdot Q - C(P)$

ii. Izračunati  $C(P)$  za  $P=200, 300, 400$  i  $500$  MW (2496, 3762, 5088, 6474 EUR)

iii. Razmatraju se samo razdoblja 3, 4 i 5; troškovima dodati 500 EUR i izjednačiti sa zaradom od prodaje  $\Leftrightarrow 976,9$  EUR

**19. Razmatramo crpno - akumulacijsku hidroelektranu kapaciteta 1000 MWh i efikasnosti 75%. Operator ove HE odlučio se za sljedeću strategiju: akumulaciju puni tijekom 4 sata najniže cijene električne energije, a električnu energiju proizvodi 4 sata tijekom najviše cijene električne energije.**

- i. Koliki je profit ili gubitak elektrane u razmatranom razdoblju, za kojeg su podaci dani u tablici.**
- ii. Kolika bi morala biti efikasnost elektrane, da profit/gubitak bude jednak nuli.**

# Ekonomija u energetici

Period	Cijena	Potrošnja	Proizvodnja	Prihod
	€/MWh	MWh	MWh	€
1	40,92	250,00	-	10.230
2	39,39	250,00	-	9.847,5
3	39,18	250,00	-	9.795
4	40,65	250,00	-	10.162,5
5	45,42	-	-	-
6	56,34	-	-	-
7	58,05	-	187,50	10.884,375
8	60,15	-	187,50	11.278,125
9	63,39	-	187,50	11.885,625
10	59,85	-	187,50	11.221,875
11	54,54	-	-	-
12	49,50	-	-	-
<b>Ukupno</b>		<b>1.000,00</b>	<b>750,00</b>	<b>5.235</b>



**Kolika bi morala biti efikasnost elektrane, da profit/gubitak bude jednak nuli?**

- Ukupan trošak:  $C = 10.230 + 9.847,5 + 9.795 + 10.162,5 = 40.035$  EUR
- Ukupan prihod uz nepoznat  $\eta$ :
  - $R = \eta * 1000 / 4 * (58,05 + 60,15 + 63,39 + 59,85)$
- Postavljamo uvjet  $C=R$  i računamo  $\eta$ :
  - $\eta = 66,33\%$

20. Elektroprivredna tvrtka razmatra mogućnosti za izgradnju nove elektrane instalirane snage 600 MW. U uži su izbor ušle dvije tehnologije, čije su karakteristike dane u tablici. Uz pretpostavku da će faktor iskoristivosti elektrane biti 80% i da je životni vijek elektrane 30 godina bez obzira na odabranu tehnologiju te da će tvrtka proizvedenu električnu energiju moći prodavati po 30 EUR/MWh, opredijelite se za jednu od navedenih tehnologija. Pri tome se koristite metodom čiste sadašnje vrijednosti uz pretpostavku da je prosječni ponderirani trošak kapitala tvrtke jednak 12%.

	Tehnologija A	Tehnologija B
Investicijski troškovi	1.100 EUR/kW	650 EUR/kW
Potrošnja goriva	7.500 Btu/kWh	6.500 Btu/kWh
Očekivani trošak goriva	1,15 EUR/MBtu	2,75 EUR/MBtu

# Ekonomija u energetici

	Tehnologija A	Tehnologija B
Investicijski troškovi $I_0$ (EUR)	660.000.000 ( $1.100 \cdot 600$ )	390.000.000 EUR ( $650 \cdot 600$ )
Potrošnja goriva F	7.500 Btu/kWh	6.500 Btu/kWh
Očekivani trošak goriva $c_F$	1,15 EUR/MBtu	2,75 EUR/MBtu
Proizvedena energija E (MWh) ( $0,8 \cdot P \cdot 8760$ )	4.204.800	4.204.800
Trošak goriva CF (EUR) ( $E \cdot F \cdot c_F$ )	36.266.400,00	75.160.800,00
Prihod od prodaje el.ene. R (EUR) ( $E \cdot 30$ EUR/MWh)	126.144.000,00	126.144.000,00
Čisti novčani tok V (EUR) (R-CF)	89.877.600,00	50.983.200,00
Čista sadašnja vrijednost $S_0$ (EUR)	<b>63.980.602,57</b>	20.679.055,26

## 21. Promatramo mali EES sa 4 elektrane karakteristika danih u tablici, u kojemu je potrebno osigurati 250MW rezerve.

- i. Kako ćete ko-optimizirati proizvodnju električne energije i osiguravanje rezerve u ovom EES-u. Postavite optimizacijski problem (funkciju cilja i ograničenja).

Elektrana	Granični trošak el. ene. (EUR/MWh)	Granični trošak rezerve (EUR/MWh)	Pmax (MW)	Rmax (MW)
1	2	0	250	0
2	17	0	230	160
3	20	5	240	190
4	28	7	250	150

Odgovor:  $\min (2 \cdot P_1 + 17 \cdot P_2 + 20 \cdot P_3 + 28 \cdot P_4 + 0 \cdot R_1 + 0 \cdot R_2 + 5 \cdot R_3 + 7 \cdot R_4)$

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = D$$

$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \geq 250$$

$$P_{\max}, R_{\max}; P_i + R_i \leq P_i$$

- ii. Rezultati vaše optimizacije dani su u tablici. Odredite cijenu električne energije i rezerve za svaki raspon potražnje. Rezultate upišite u donju tablicu.

Potražnja (MW)	P1 (MW)	R1 (MW)	P2 (MW)	R2 (MW)	P3 (MW)	R3 (MW)	P4 (MW)	R4 (MW)	$\Pi_e$ (EUR/MWh)	$\Pi_r$ (EUR/MWh)
300-320	250	0	50-70	160	0	90	0	0	17	5
320-470	250	0	70	160	0-150	90	0	0	20	5
470-560	250	0	70	160	150-240	90-0	0	0-90	22 (20-5+7)	7
560-620	250	0	70-130	160-100	240	0	0	90-150	24 (17+7)	7
620-720	250	0	130	100	240	0	0-100	150	28	11 (28-17)



HVALA NA POZORNOSTI  
pitanja na: [vesna.bukarica@fer.hr](mailto:vesna.bukarica@fer.hr)