

Projekat iz predmeta Operaciona istraživanja

Tema: Linearni program za minimizaciju zagađenja zraka
uz optimizaciju troškova s osvrtom na društveni aspekt

Ema Djedović

Broj indeksa: 6009/M

Smjer: Kompjuterske nauke

PMF Sarajevo

12/2023

Sadržaj

Uvod 1

Korak I 2

Korak II 4

Korak III 6

Korak IV 8

Zaključak 10

Sažetak 13

Izvori 14

UVOD

U današnjem svijetu, energetski sektor igra ključnu ulogu u ostvarivanju ravnoteže između zadovoljenja energetskih potreba i smanjenja negativnih uticaja na životnu sredinu. CO₂ je jedan od glavnih plinova s efektom staklenika koji zadržava toplotu u atmosferi, doprinoseći povećanju temperature na Zemlji. Ova povećana temperatura izaziva niz nepoželjnih posljedica:

- Rast nivoa mora: topljenje ledenih ploča, ugrožene obale i niske oblasti.
- Ekstremni vremenski događaji: suše, poplave, oluje i toplotni valovi.
- Gubitak biodiverziteta: ugrožene mnoge vrste.
- Promjene u poljoprivredi: smanjenje prinosa i ugrožavanje globalne sigurnosti hrane.

Smanjenjem emisija CO₂ doprinosimo globalnim naporima da se uspore ove štetne posljedice. Ovaj projekat ima za cilj razvoj linearnog programa koji se fokusira na minimizaciju zagađenja zraka u Bosni i Hercegovini uz istovremenu optimizaciju troškova, a s osvrtnom na društveni aspekt.

Koristeći alate operacionih istraživanja, analiziramo optimalne godišnje količine različitih energenata, uzimajući u obzir emisione faktore i ograničenja dostupnih resursa. U drugom koraku uvođenjem alternativnih izvora energije istražujemo mogućnosti postizanja održivijeg energetskog bilansa.

U trećem koraku, uvodimo cijene klasičnih i alternativnih izvora energije, minimizirajući ukupne troškove uzimajući u obzir instalaciju i održavanje elemenata alternativnih izvora.

Kroz četvrti korak, projekt dodatno uzima u obzir društveni aspekt, maksimizirajući broj zaposlenih na godišnjem nivou na različitim proizvodnim i instalacionim pogonima.

KORAK I

a) Varijable odluke

Želimo pronaći optimalne godišnje količine energenata:

x_1 - količina uglja (u kilogramima)

x_2 - količina prirodnog plina (u kubnim metrima)

x_3 - količina ogrjevnog drveta (u kilogramima)

x_4 - količina drvnog peleta (u tonama)

b) Funkcija cilja

Prema podacima Međunarodne agencije za energiju (IEA), možemo odrediti emisione faktore u vidu koeficijenata p_i . Emisioni faktor je kvantitativna mjera koja izražava količinu otpuštenog zagađivača u atmosferu. Za ugalj, taj faktor varira u rasponu od 1.7 do 3.6 kilograma CO₂ po kilogramu sagorenog uglja. Prema IEA, prosječni emisioni faktor uglja za Bosnu i Hercegovinu iznosi 2.4. Sa p_1, p_2, p_3 i p_4 označimo respektivno emisione faktore za ugalj, prirodni plin, ogrjevno drvo i drveni pelet. Imamo:

$$p_1 = 2.4 \quad (\text{ugalj})$$

$$p_2 = 1.91 \quad (\text{prirodni plin})$$

$$p_3 = 1.72 \quad (\text{ogrjevno drvo})$$

$$p_4 = 1.5 \quad (\text{drvni pelet})$$

Nivo zagađenja zraka je izražen u kilogramima otpuštenog CO₂, a predstavljamo ga preko jednadžbe:

$$\text{zagađenje} = p_1 \cdot x_1 + p_2 \cdot x_2 + p_3 \cdot x_3 + p_4 \cdot x_4$$

Naša funkcija cilja je:

$$\min(\text{zagađenje}) = p_1 \cdot x_1 + p_2 \cdot x_2 + p_3 \cdot x_3 + p_4 \cdot x_4$$

c) Ograničenja

količina dostupnog uglja: $x_1 \leq 225,000,000$ kg

količina dostupnog prirodnog plina: $x_2 \leq 254,790,000$ m³

količina dostupnog ogrjevnog drveta: $x_3 \leq 245,850$ kg

količina dostupnog drvnog peleta: $x_4 \leq 300,000,000$ kg

A, B, C, D - količina proizvedene topline

1 kg uglja = 8 kWh toplotne energije ($A = 8$ kWh/kg)

1 m³ prirodnog plina = 3.5 kWh toplotne energije ($B = 3.5$ kWh/m³)

1 kg ogrjevnog drveta = 3 kWh toplotne energije ($C = 3$ kWh/kg)

1 kg drvnog peleta = 4.85 kWh toplotne energije ($D = 4.85$ kWh/kg)

$$A \cdot x_1 + B \cdot x_2 + C \cdot x_3 + D \cdot x_4 \geq H$$

H - ukupna godišnja potreba za toplotnom energijom 6.000.000 kWh

$$x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0 \text{ (nenegativnost)}$$

Neke zemlje, regije i organizacije imaju regulative koje se odnose na specifične industrije i sektore u cilju rada na ublažavanju efekta globalnog zatopljenja, ali ne postoji zakonska gornja granica za emisiju zagađivača izraženu u kilogramima CO₂.

KORAK II

Sada uvodimo pogone alternativnih izvora energije. Električnu energiju koju koristimo za zagrijavanje objekata a koju dobijemo u tim pogonima smatramo "čistom", odnosno smatramo da nemaju faktor zagađenja ($p_i = 0$).

a) Varijable odluke

Varijable odluke za alternativne izvore bi bile optimalne količine objekata koje treba instalirati, odnosno broj vjetrenjača, broj solarnih panela i broj hidroelektrana.

x_5 = broj vjetrenjača za instalirati ($p_5 = 0$)

x_6 = broj solarnih panela za instalirati ($p_6 = 0$)

x_7 = broj hidroelektrana za instalirati ($p_7 = 0$)

b) Funkcija cilja

Kako pri minimizaciji funkcije nivoa zagađenja uzimamo da alternativni izvori energije imaju emisijski faktor p_i nula (ne zagađuju), tako funkcija cilja ostaje ista kao u koraku I:

$$\min(\text{zagađenje}) = p_1 \cdot x_1 + p_2 \cdot x_2 + p_3 \cdot x_3 + p_4 \cdot x_4$$

c) Ograničenja

Od koristi je istražiti koja su to bosansko-hercegovačka područja koja imaju potencijal za postavljanje ovih objekata. Nakon toga, stvaraju se ograničenja koja bi se ticala količine objekata koje je moguće instalirati na jednu lokaciju, a ovise od raspoloživog prostora, zakonske regulative itd. To su jednostavna ograničenja oblika $x_i \leq n$, $i = 5, 6, 7$, $n \in \mathbb{N}$. Za svrhe modeliranja nama je dovoljno da ostavimo taj opći oblik nejednakosti.

Nadalje, konstante E, F i G će sada predstavljati količinu proizvedene energije vjetrenjača, solarnih panela i hidroelektrana (respektivno). Te konstante u ovom trenutku ne možemo vjerodostojno odrediti zbog nepredvidljivosti koje

su neminovne u radu s alternativnim izvorima. To su, naprimjer, brzina vjetrova, potencijal vode i količina sunčeve svjetlosti. Količina energije koja će se proizvesti u tim pogonima također ovisi od snage i efikasnosti postrojenja (Najveća vjetrenjača na svijetu ima snagu 16 MW, dok je standard u prosjeku 2-3 MW po vjetrenjači.)

Ukupna godišnja potreba za toplotnom energijom (H) ostaje ista.

$$A \cdot x_1 + B \cdot x_2 + C \cdot x_3 + D \cdot x_4 + E \cdot x_5 + F \cdot x_6 + G \cdot x_7 \geq H$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7 \geq 0 \text{ (nenegativnost)}$$

KORAK III

Sada ćemo uzeti u obzir cijene klasičnih energenata te cijene alternativnih izvora na način da minimiziramo troškove za idućih pet godina. Za alternativne izvore (vjetrenjače, solarne panele i hidroelektrane) razmatramo:

1. Cijene instalacije elemenata (uzimaju se u obzir samo prve godine)
2. Cijene održavanja elemenata (konstantne za svaku godinu)

Posmatramo cijenu po jedinici mjere:

c_1 = cijena uglja (po kilogramu)

c_2 = cijena prirodnog plina (po metru kubnom)

c_3 = cijena ogrjevnog drveta (po kilogramu)

c_4 = cijena drvnog peleta (po toni)

c_{51} = cijena instalacije jedne vjetrenjače

c_{61} = cijena instalacije jednog solarnog panela

c_{71} = cijena instalacije jedne hidroelektrane

c_5 = cijena održavanja jedne vjetrenjače za jednu godinu

c_6 = cijena održavanja jednog solarnog panela za jednu godinu

c_7 = cijena održavanja jedne hidroelektrane za jednu godinu

a) Varijable odluke

Ostaju iste kao u koraku II ($x_1 \cdots x_7$).

b) Funkcija cilja

Sada je funkcija koju minimiziramo dvokomponentna. Uz minimizaciju funkcije *zagađenje* želimo minimizirati i funkciju *troškovi*:

$$\min F = w_1 \cdot \text{zagađenje} + w_2 \cdot \text{troškovi}$$

$$\text{zagađenje} = p_1 \cdot x_1 + p_2 \cdot x_2 + p_3 \cdot x_3 + p_4 \cdot x_4$$

$$\begin{aligned} \text{troškovi} = & 5 \cdot (c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 + c_3 \cdot x_3 + c_4 \cdot x_4 \\ & + c_5 \cdot x_5 + c_6 \cdot x_6 + c_7 \cdot x_7) + c_{51} \cdot x_5 + c_{61} \cdot x_6 + c_{71} \cdot x_7 \end{aligned}$$

Faktori težine w_1 i w_2 odražavaju važnost svakog cilja u problemu. Na primjer, možemo uzeti da je smanjenje zagađenja važnije od smanjenja troškova, pa će faktor težine w_1 biti veći od faktora težine w_2 . Ovo zavisi od naših prioriteta.

c) Ograničenja

Sasvim je prirodno uvesti ograničenja koja se tiču planiranog budžeta za određeni energetskektor. To su uslovi koji se nameću od strane nadležnih, a podrazumijevaju količinu novca koji su spremni uložiti u koji pogon. Recimo, količina sagrađenih hidroelektrana (x_7) će dakako ovisiti od predviđenog budžeta za iste. Slično posmatramo sve komponente modela.

$$c_1 \cdot x_1 \leq \text{budzet_ugalj}$$

$$c_2 \cdot x_2 \leq \text{budzet_plin}$$

$$c_3 \cdot x_3 \leq \text{budzet_drvo}$$

$$c_4 \cdot x_4 \leq \text{budzet_pelet}$$

$$(c_{51} + c_5) \cdot x_5 \leq \text{budzet_vjetrenjace}$$

$$(c_{61} + c_6) \cdot x_6 \leq \text{budzet_panele}$$

$$(c_{71} + c_7) \cdot x_7 \leq \text{budzet_hidroelektrane}$$

KORAK IV

Naposljetku, dotičemo se društvenog aspekta te uvodimo varijable broja zaposlenih radnika na jednom pogonu.

a) Varijable odluke

Neka su $x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}$ i x_{14} varijable koje predstavljaju broj zaposlenih radnika na pogonima za proizvodnju, respektivno za ugalj, prirodni plin, ogrjevno drvo, drveni pelet, vjetrenjače, solarne panele i hidroelektrane.

Na prvi pogled nema potrebe za korištenjem sedam različitih varijabli ukoliko ravnopravno tretiramo radno mjesto na pogonu za ugalj i onog na nekom drugom pogonu. Međutim, ukoliko svaku varijablu posmatramo individualno, onda nam ostaje sloboda da naknadno uvedemo koeficijente koji će predstavljati plate na svakoj od pozicija, a koje se međusobno razlikuju. U kombinaciji s korakom III, mogla bi se postaviti nova ograničenja vezana za budžet, nadograditi komponentu "troškovi" u funkciji cilja koja će imati za cilj da minimizira plate radnika, postaviti ograničenja minimalne plate itd.

b) Funkcija cilja

Za sada, želimo samo maksimizirati broj radnih mjesta, odnosno

$$\max(\text{zaposleni}) = x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14}$$

Ažurirana funkcija cilja s težinskim faktorima w_1, w_2 i w_3 izgleda ovako:

$$\min F = w_1 \cdot \text{zagađenje} + w_2 \cdot \text{troškovi} - w_3 \cdot \text{zaposleni}$$

c) Ograničenja

S društvenog aspekta želimo postaviti ograničenja koja se tiču minimalnog broja zaposlenih. Osim toga, imamo ograničenja koja nam govore koliko je radne snage potrebno na kojem pogonu.

$$x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} \geq \text{minimalni_broj_zaposlenih}$$

Imamo informacije da održavanje 20 vjetrenjača u prosjeku podrazumijeva dva do tri radna mjesta, za održavanje 60 solarnih panela jedno ili dva radna mjesta, dok jedna hidroelektrana zapošljava između 75 i 196 radnika. Možemo formirati odgovarajuće jednačbe:

$$\begin{aligned}2 \cdot \frac{x_5}{20} &\leq x_{12} \leq 3 \cdot \frac{x_5}{20} \\ \frac{x_6}{60} &\leq x_{13} \leq 2 \cdot \frac{x_6}{60} \\ 75 \cdot x_7 &\leq x_{14} \leq 196 \cdot x_7\end{aligned}$$

x_5 - broj vjetrenjača

x_6 - broj solarnih panela

x_7 - broj hidroelektrana

x_{12} - broj zaposlenih po jednoj vjetrenjači

x_{13} - broj zaposlenih po jednoj solarnoj paneli

x_{14} - broj zaposlenih po jednoj hidroelektrani

$$x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14} \geq 0 \quad (\text{nenegativnost})$$

ZAKLJUČAK

Konačno možemo predstaviti linearni program. Sumiramo sve do sad rečeno i predstavljamo varijable odluke, funkciju cilja i ograničenja.

Varijable odluke

x_1 : količina uglja (kg)

x_2 : količina prirodnog plina (m^3)

x_3 : količina ogrjevnog drveta (kg)

x_4 : količina drvnog peleta (t)

x_5 : broj vjetrenjača za instalirati

x_6 : broj solarnih panela za instalirati

x_7 : broj hidroelektrana za instalirati

x_8 : broj zaposlenih na pogonu za proizvodnju uglja

x_9 : broj zaposlenih na pogonu za proizvodnju prirodnog plina

x_{10} : broj zaposlenih na pogonu za proizvodnju ogrjevnog drveta

x_{11} : broj zaposlenih na pogonu za proizvodnju drvnog peleta

x_{12} : broj zaposlenih po jednoj vjetrenjači

x_{13} : broj zaposlenih po jednom solarnom panelu

x_{14} : broj zaposlenih po jednoj hidroelektrani

Funkcija cilja

$$\min F = w_1 \cdot \text{zagađenje} + w_2 \cdot \text{troškovi} - w_3 \cdot \text{zaposleni}$$

$$\text{zagađenje} = p_1 \cdot x_1 + p_2 \cdot x_2 + p_3 \cdot x_3 + p_4 \cdot x_4$$

$$\begin{aligned} \text{troškovi} = 5 \cdot (c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 + c_3 \cdot x_3 + c_4 \cdot x_4 \\ + c_5 \cdot x_5 + c_6 \cdot x_6 + c_7 \cdot x_7) + c_{51} \cdot x_5 + c_{61} \cdot x_6 + c_{71} \cdot x_7 \end{aligned}$$

$$\text{zaposleni} = x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14}$$

- c_1 = cijena uglja (po kilogramu)
- c_2 = cijena prirodnog plina (po metru kubnom)
- c_3 = cijena ogrjevnog drveta (po kilogramu)
- c_4 = cijena drvnog peleta (po toni)
- c_{51} = cijena instalacije jedne vjetrenjače
- c_{61} = cijena instalacije jednog solarnog panela
- c_{71} = cijena instalacije jedne hidroelektrane
- c_5 = cijena održavanja jedne vjetrenjače za jednu godinu
- c_6 = cijena održavanja jednog solarnog panela za jednu godinu
- c_7 = cijena održavanja jedne hidroelektrane za jednu godinu

Ograničenja

1. Ograničenja za dostupnost energenata:

$$\begin{aligned}x_1 &\leq 225.000.000 \text{ kg} && (\text{količina dostupnog uglja}) \\x_2 &\leq 254.790.000 \text{ m}^3 && (\text{količina dostupnog prirodnog plina}) \\x_3 &\leq 245.850 \text{ kg} && (\text{količina dostupnog ogrjevnog drveta}) \\x_4 &\leq 300.000.000 \text{ kg} && (\text{količina dostupnog drvnog peleta})\end{aligned}$$

2. Količina proizvedene toplotne energije mora zadovoljiti ukupnu godišnju potrebu od $H = 6.000.000$ kWh:

$$A \cdot x_1 + B \cdot x_2 + C \cdot x_3 + D \cdot x_4 + E \cdot x_5 + F \cdot x_6 + G \cdot x_7 \geq H$$

3. Broj objekata alternativnih izvora koje je moguće instalirati:

$$x_5 \leq n, \quad x_6 \leq m, \quad x_7 \leq q, \quad n, m, q \in \mathbb{N}$$

4. Budžetska ograničenja za svaki energetski izvor:

$$c_1 \cdot x_1 \leq \text{budzet_ugalj}$$

$$c_2 \cdot x_2 \leq \text{budzet_plin}$$

$$c_3 \cdot x_3 \leq \text{budzet_drvo}$$

$$c_4 \cdot x_4 \leq \text{budzet_pelet}$$

$$(c_{51} + c_5) \cdot x_5 \leq \text{budzet_vjetrenjace}$$

$$(c_{61} + c_6) \cdot x_6 \leq \text{budzet_panele}$$

$$(c_{71} + c_7) \cdot x_7 \leq \text{budzet_hidroelektrane}$$

5. Ograničenja za broj zaposlenih na alternativnim izvorima:

$$2 \cdot \frac{x_5}{20} \leq x_{12} \leq 3 \cdot \frac{x_5}{20}$$

$$\frac{x_6}{60} \leq x_{13} \leq 2 \cdot \frac{x_6}{60}$$

$$75 \cdot x_7 \leq x_{14} \leq 196 \cdot x_7$$

6. Društveni aspekt minimalnog broja zaposlenih:

$$x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} \geq \text{minimalni_broj_zaposlenih}$$

7. Uslov nenegativnosti varijabli:

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14} \geq 0$$

SAŽETAK

Ovaj se projekat fokusira na razvoj linearnog programa s ciljem minimizacije zagađenja zraka u Bosni i Hercegovini, istovremeno optimizirajući troškove i uzimajući u obzir društveni aspekt. Kroz precizno definirane varijable odluke, funkciju cilja i ograničenja, istraživanje obuhvaća širok spektar faktora u energetske sektoru.

Varijable odluke uključuju količine različitih energenata, broj instaliranih alternativnih izvora energije te broj zaposlenih na različitim proizvodnim i instalacijskim pogonima. Funkcija cilja kombinira ciljeve minimizacije zagađenja, troškova i broja zaposlenih, uzimajući u obzir cijene energenata, instalacija i održavanja, te naglašavajući socijalnu odgovornost.

Ograničenja uključuju parametre kao što su dostupnost energenata, proizvodnja toplotne energije, ograničenja instalacija alternativnih izvora, budžetska ograničenja te uvjete za broj zaposlenih. Analizom cijena, učinkovitosti resursa i društvenih čimbenika, projekt ima za cilj postići održivo rješenje koje ne samo da minimizira negativne utjecaje na okoliš već i potiče ekonomsku održivost i socijalni razvoj.

U konačnici, projekt teži doprinijeti globalnim naporima u smanjenju emisija CO₂, pridonoseći očuvanju okoliša i dugoročnoj održivosti energetske sektora u Bosni i Hercegovini.

IZVORI

- www.worlddata.info/europe/bosnia-and-herzegovina/energy-consumption.php
- usitfbih.ba/sumarstvo/
- bhas.gov.ba/data/Publikacije/Saopštenja/2022/ENE_03_2021_Y1_1_HR.pdf
- mycovenant.eumayors.eu/storage/web/mc_covenant/documents/31/gDfNSINefuY8ow-sw1-pA372PsaPZUpE.pdf
- www.quality.unze.ba/zbornici/QUALITY%202005/073-Q05-042.pdf
- vladausk.ba/v4/files/media/pdf/5e3d6631637062.36085396_Plan%20zastite%20kvalitete%20zraka%20USK-a%202017-2022.pdf
- fmeri.gov.ba/media/1564/prilog-1-komponenta-2-metodologija-za-izracun-usteda-energije-smiv.pdf
- www.msb.gov.ba/dokumenti/AB38713.pdf
- bhas.gov.ba/data/Publikacije/Saopštenja/2022/ENE_01_2022_07_1_BS.pdf
- transparentno.ba
- repozitorij.efzg.unizg.hr/islandora/object/efzg%3A6274/datastream/PDF/view