

ODREĐIVANJE REDOSLEDA TRKA FORMULE 1 KORIŠĆENJEM RAZLIČITIH METODA OPTIMIZACIJE**DETERMINING THE ORDER OF FORMULA 1 RACES USING DIFFERENT OPTIMIZATION METHODS**

Gabriela Poljak, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – SAOBRAĆAJNI ODSEK

Kratak sadržaj – Rad je zasnovan na kalendaru trka Formule 1 i na geografskoj lokaciji mesta za velike nagrade. Optimizacija je obavljena na više načina, pomoću Excel Solvera i programima napisanim u Matlabu. Excel Solver se zasniva na: ispitivanju mogućih rešenja uzimajući u obzir ograničenja, a zatim odabiranju onog koje najviše odgovara. Prvi program napisan u Matlabu koristi metode koje su korišćene u genetskom algoritmu, kao što su selekcija, mutacija i ukrštanje, a drugi koristi metodu 2-opt. U radu su upoređeni i sumirani dobijeni rezultati.

Ključne reči: Optimizacija rute, genetski algoritam, 2-opt metoda, QGIS, Formula 1

Abstract – The work is based on the Formula 1 race calendar and the geographical location of the Grand Prix venues. The optimization was performed in several ways, using Excel Solver and programs written in Matlab. Excel Solver is based on: examining possible solutions taking into account constraints and then choosing the one that fits best. The first program written in Matlab uses the methods used in the genetic algorithm, such as selection, mutation and crossover, and the second one uses the 2-opt method.

Keywords: Route optimization, genetic algorithm, 2-opt, QGIS, Formula 1

1. UVOD

Problemi u bliskoj prošlosti su uticale na sve segmente svakodnevnog života ljudi, između ostalog i na sport, tačnije na auto i motosport. Vrhunske motosportske serije stalno uvode strože granice za potrošnju energije kako bi podstakle razvoj tehnologije pogonskih agregata visoke efikasnosti.

Konkretno, u Formuli 1 (F1), ukupna potrošnja goriva tokom cele trke je ograničena zajedno sa ograničenom upotrebom električne energije u hibridnom sistemu [1].

U cilju smanjenja potrošnje goriva i emitovanja štetnih gasova, optimizacija kalendara trka Formule 1 bila bi od izuzetnog značaja. Ako bi bolidi, oprema, rezervni delovi i članovi tima trebalo hiljadama kilometara manje da putuju godišnje, ne bi došlo samo do smanjenja emitovanja štetnih gasova i potrošnje goriva, nego bi bile značajne i novčane kao i vremenske uštede.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Slaviša Dumnić.

U drugom poglavlju opisane su teorijske osnove rada. Opisana je teorija o grafovima, zatim su opisane različite metode optimizacije i način organizovanja kalendara trka. U trećem poglavlju su optimizovani kalendar za 2020., 2021. i 2022. godinu, prvo pomoću Solvera, ugrađene aplikacije Microsoft Excela, a zatim i sa programima napisanim u Matlabu. Prvi koristi metode genetskog algoritma kao što su selekcija, mutacija i ukrštanje, a drugi koristi 2-opt metodu. Pošto je Solver ugrađena funkcija, nije moguće znati šta se zaista dešava dok je program pokrenut, mogu se znati samo ulazni i izlazni podaci. To je bio razlog za pisanje programa u Matlabu, da bi se tačno znalo kako se optimizacija odvija. Postoji mnogo faktora koji utiču na to kako se sastavlja kalendar trke za godinu, a vremenska i finansijska pitanja igraju glavnu ulogu u tome. Istom metodom izračunata je optimalna ruta između svih staza u istoriji Formule 1 od 1950. do sezone 2022. godine, ima ih ukupno 76.

U četvrtom poglavlju urađena je analiza i upoređenje dobijenih rezultata pomoću Excel Solvera i u Matlabu. Procentualno su izračunate, kolike su optimizovane rute od originalnog.

2. TEORIJSKE OSNOVE**2.1. Teorija o grafovima**

Grafovi su osnovni elementi u ovom radu, pošto oni predstavljaju matematičku apstrakciju lokacije, a veze između njih predstavljaju rute između tih lokacija. Služe za rešavanje niza problema koji se mogu predstaviti u formi stvarnih ili apstraktnih objekata i stvarnih ili apstraktnih veza između tih objekata, primeri su: saobraćajna, telekomunikaciona mreža itd. Graf G čine dva konačna skupa: skup čvorova N i skup veza C takav da svaka veza $g \in C$ spaja dva čvora i i j iz N - $(i,j) \subset N$. Prost graf G je onaj u kome ne postoje: paralelne veze (veze koje spajaju dva ista čvora) i ciklične veze (veze koje spajaju čvor samim sa sobom). Najveći broj veza u prostom grafu je jednak $NC(NC-1)/2$, gde je NC brojnost skupa čvorova N . Kompletan graf je prost graf koji ima maksimalan broj veza. Kada postoji veza koja spaja dva čvora kaže se da su čvorovi susedni. Podgraf grafa G je podskup veza i grupe čvorova koji pripadaju tim vezama.

2.2 Metode optimizacije**2.2.1 Genetski algoritmi**

Genetski algoritmi su heuristički pristupi pretraživanja koji su primenljivi na širok spektar problema optimizacije.

Ova fleksibilnost ih čini privlačnim za mnoge probleme optimizacije u praksi [2]. Model genetskog algoritma je, naravno, daleko od stvarnog biološkog evolucionog procesa, samo nekoliko koncepata i tehnika se mogu uporediti, kao što su populacija, pojedinac, selekcija, mutacija, reprodukcija, i generacije stvarnih živih bića zamenjene su nizovima populacija koje se stalno menjaju. Nauka o genetici nam pomaže da napravimo razliku između nasleđa i varijacija i nastoji da objasni sličnosti i razlike zbog koncepata genetskih algoritama i direktno izvedenih iz prirodnog nasleđa, njihovog izvora i razvoja [3].

Iako je rođenje genetskog algoritma jasno motivisano biološkom evolucijom, mogu se istaći i druge karakteristike uspostavljenog modela. Može se smatrati procesom pretraživanja, algoritmom učenja ili algoritmom zasnovanim na populaciji u kojem treniramo određene operacije na osnovu bioloških analogija ili karakteristika razmene informacija.

2.2.2 Metoda 2-opt

1958. godine Croes je izmislio metodu za rešavanje Problema trgovačkog putnika. To je iterativni algoritam korekcije, tako da razvija već postojeći put. Algoritam 2-opt funkcioniše na sledeći način: uzima 2 luka od rute, ponovo povezuje ove lukove jedan sa drugim i izračunava novu udaljenost puta.

Ako je ova modifikacija dovela do kraćeg ukupnog puta, trenutna ruta se ažurira. Algoritam nastavlja da se gradi na poboljšanoj ruti i ponavlja korake. Ovaj proces se ponavlja sve dok se ne pronađu više poboljšanja ili dok se ne završi unapred određeni broj iteracija [4].

2.2.3 Klaster analiza

Klaster analize su skup tehnika koje se koriste za određivanje osnovne strukture unutar skupa podataka; cilj je da se slična zapažanja podele u smislene ili korisne grupe ili kategorije [5].

Klaster analiza se koristi u mnogim disciplinama, npr. u taksonomiji, psihologiji, psihijatriji, biologiji, bioinformatičari, geografiji, u marketingu i u ekonomiji. Tokom poslednjih nekoliko decenija razvijen je veliki broj metoda grupisanja. Postoje dva tradicionalna pristupa klaster analizi koja se široko koriste. Ovi pristupi su hijerarhijska i nehijerarhijska klaster analiza.

2.3 Način organizovanja, kriterijumi optimizacije

Kriterijumi za optimizaciju kalendara:

- Najkraća ruta (u ovom radu optimizacija je izvršena samo na osnovu ovog kriterijuma)
- Najbrža
- Vremenski uslovi
- Novac
- Politički uticaji
- Ostali uticaji

3. OPTIMIZACIJA RUTE

Optimizacija rute je urađena na više načina. Prvo je urađeno u programu Microsoft Excel, pomoću podataka Excel Solver, zatim u Matlabu pomoću genetskog algoritma i 2-opt metode.

3.1 Excel Solver

Solver programi su matematičke optimizacijske aplikacije koje se mogu koristiti za rešavanje matematičkog zadatka. Cilj je da se napravi opšti model uz pomoć kojeg se mogu rešiti mnogi slični problemi. Princip rada Excel Solver-a je da ispituje moguća rešenja, uzimajući u obzir ograničenja, a zatim bira najbolja rešenja. Excel Solver se može koristiti za pronalaženje optimalne vrednosti (minimalne, maksimalne ili specifične ciljne vrednosti) formule u takozvanoj ciljnoj ćeliji postavljanjem ograničenja ili ograničenja u vrednostima drugih ćelija formule, na radnom listu. Solver koristi grupu ćelija koje se nazivaju ćelije promenljive, koje se mogu koristiti za izračunavanje formula u ciljnoj vrednosti ili ćeliji ograničenja. Solver modifikuje vrednosti ćelija promenljive kako bi zadovoljio ograničenja ćelije sa ograničenjem i proizveo rezultat za ciljnu ćeliju.

3.1.1 Kalendar trka različitih godina

Optimizacija u Microsoft Excelu, pomoću plugina Excel Solver, je izvršena za kalendar trka 2020., 2021. i za 2022. godine.

3.1.1.1 Kalendar 2020. godine

Kalendar trka za 2020. godinu se konačno sastojao od 14 lokacija za velike nagrade i 17 organizovanih trka. U tri navrata je bio dupli vikend, što znači da su dva uzastopna vikenda održane dve velike nagrade sa različitim nazivima na istoj lokaciji.

U Tabeli 1. sa leve strane su razdaljine pre optimizacije, redosled i njihov zbir, ovaj redosled je taj, koji je realizovan u stvarnosti, dakle redosled kalendara trka. Na desnoj strani su rezultati nakon optimizacije, optimizovana putanja je postala kraća za oko 1/3. Prvobitni iznos je bio 252,741, dok je nakon optimizacije rezultat 154,036.

Tabela 1. Redosled pre i nakon optimizacije

Red. Br.	Rastojanje		Red. Br.	Rastojanje
1	4,50101		1	8,41531
2	20,7608		9	0,98139
3	11,008		5	7,17851
4	9,61217		3	16,6857
5	5,84891		10	11,7251
6	2,64029		4	8,112
7	28,6024		6	2,64029
8	33,7392		7	0,48437
9	20,3574		11	18,0134
10	21,5516		12	25,8462
11	18,0134		13	4,38163
12	25,8462		14	23,9378
13	4,38163		8	21,1331
14	45,8778		2	4,50101
1			1	
Ukupno	252,741		Ukupno	154,036

3.1.1.2 Kalendar 2021. godine

Kalendar za 2021. godinu se sastojao se od 21 lokacija za veliku nagradu. U levom delu Tabele 2 prikazane su razdaljine, redosled i njihov zbir pre optimizacije, a ovo je redosled kojim su se trke prvobitno odvijale u kalendaru trka. Prvobitna udaljenost je bila 630,497 (64947,483 km), dok je optimizovani rezultat bio 396,3041 (40823,267 km).

Tabela 2. Redosled pre i nakon optimizacije

Redni br.	Rastojanje		Redni br.	Rastojanje
1	42,9002		7	3,9101
2	21,5516		4	11,7251
3	11,7251		3	71,8457
4	5,5952		18	67,8491
5	42,5658		17	10,8244
6	44,1556		16	99,0851
7	9,8117		9	5,5665
8	16,5127		12	2,4197
9	20,7608		11	9,3635
10	13,5832		8	4,5010
11	2,4197		10	12,1271
12	8,2679		15	10,8456
13	30,7583		14	10,3413
14	10,8456		6	16,5993
15	127,5059		21	3,3108
16	10,8244		19	1,0884
17	67,8491		1	12,2256
18	109,7883		20	35,5806
19	12,9383		2	2,7408
20	15,7558		13	2,6550
21	4,3816		5	1,6993
1			7	
Ukupno	630,4969		Ukupno	396,3041

3.1.1.3 Kalendar 2022. godine

U 2022. godini velike nagrade su održane na 22 lokacije. Posle 2020. i 2021. godine i 2022. je došlo do promene zbog čega je kalendar izmenjen, u originalnom kalendaru je bila i Velika nagrada Rusije, ali zbog situacije sa Ukrajinom, izbačena je iz kalendara. Udaljenost između geografskih koordinata staze izračunava se korišćenjem Euklidove metode. Prvobitna udaljenost je 1357,872 (139874,366 km), nakon optimizacije rezultat je 643,668 (66304,227 km), što znači da ja putanja skraćena za pola (Tabela 3).

Tabela 3. Redosled pre i nakon optimizacije

Redni br.	Rastojanje		Redni br.	Rastojanje
1	12,226		7	1,669
2	121,430		12	3,910
3	156,564		6	9,612
4	93,772		14	2,420
5	83,964		15	5,567
6	5,595		10	72,803
7	42,566		9	20,664
8	123,482		5	17,896
9	72,803		19	10,824
10	16,513		20	67,849
11	9,812		21	97,041
12	14,139		2	12,226
13	13,583		1	4,382
14	2,420		22	54,440
15	8,268		17	56,759
16	104,448		3	73,180
17	46,835		18	86,863
18	234,229		8	31,440
19	10,824		13	4,501
20	67,849		11	4,195
21	112,169		4	2,741
22	4,382		16	2,655
Ukupno	1357,872		Ukupno	643,668

3.1.2 Svaka staza, ukupno 76

U istoriji Formule 1 od 1950. godine bilo je ukupno 76 staza do 2022. godine. Zanimljiv zadatak optimizacije jeste pronalaženje najkraćeg puta između njih.

Optimizacija je takođe bila zasnovana na geografskim koordinatama staza i udaljenosti između njih izračunatih Euklidovom metodom.

Kada su staze postavljene po abecednom redosledu, rastojanje između njih je bilo 5458,268 (562256,071 km), nakon čega je korišćen Excel Solver i nakon optimizacije ovo rastojanje je smanjeno na 1669,471 (171972,172 km), otprilike na četvrtinu originalnog puta. Solver se ponovo pokazao dobro, pronalazeći mnogo kraći put od prvobitnog.

3.2 Matlab

Program, napisan u Matlabu, koristi metode koje su korišćene u genetskim algoritimima kao što su selekcija, mutacija i ukrštanje. Program traži optimalnu rutu za 8 pojedinaca u isto vreme, ali se program može pokrenuti za proizvoljan broj pojedinaca. Za najbolji (optimalni) rezultat, treba podesiti program za što više generacija, do određene tačke dok se vidi poboljšanje rezultata.

3.2.1 Kalendar trka različitih godina

3.2.1.1 Kalendar 2020. godine

Nakon optimizacije dužina putanje je 154,036. U programu su izvršene 5500 generacije, jer ako se povećava broj generacija, ne dolazi do značajnog poboljšanja.

3.2.1.2 Kalendar 2021. godine

Nakon optimizacije dobijen je rezultat, odnosno optimalna dužina trase je 397,38 (40934,105 km). Program je vođen na 6000 generacija. Povećanjem broja generacija iznad tog broja nije rezultiralo značajnim poboljšanjem, a program nije proizveo kraću rutu.

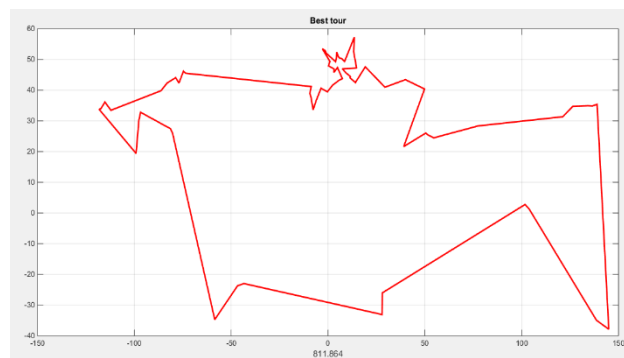
3.2.1.3 Kalendar 2022. godine

Nakon optimizacije dobijen rezultat, odnosno optimalna dužina trase je 643,668 (66304,227 km).

U programu je bilo podešeno 6000 generacija. Povećanje broja generacija iznad tog broja nije rezultiralo značajnim poboljšanjem.

3.2.2 Svaka staza, ukupno 76

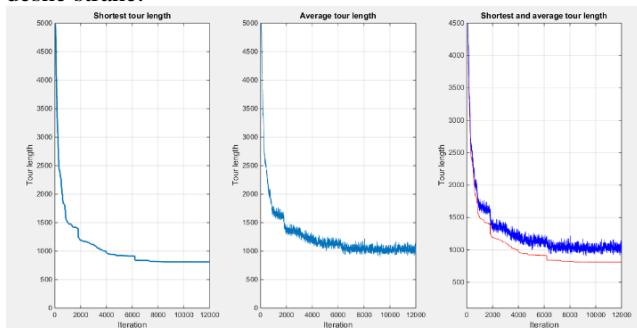
Program u Matlabu je radio sa istim koordinatama i istim redosledom kao i Excel, ali je dao drugačiji rezultat. Optimalna ruta je prikazana na Slici 1 Program je vođen na 50 pojedinaca i 12000 generacija.



Slika 1. Optimalna putanja prikazana na grafikonu – 76 lokacija

Vidi se da je rezultat nakon optimizacije 811,864 (83630,093 km), što je mnogo bolje, otprilike polovina od onog dobijenog u Excelu.

Slika 2 pokazuje da je optimizacija počela na isti način kao u Excelu, ali je optimalna dužina rute kraća. Na slici su prikazana tri grafikona: vrednost najkraćih puteva - levo, prosečne staze - u sredini i oba su upoređena sa desne strane.



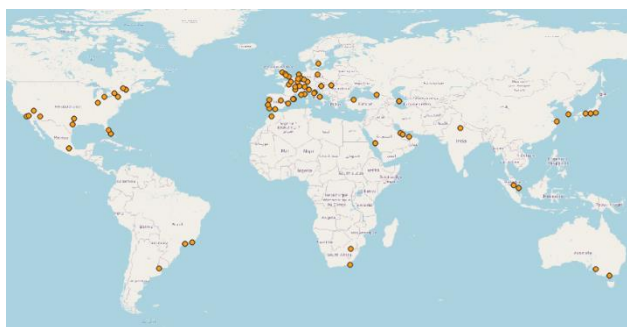
Slika 2. Najkraća ruta, prosečna ruta i oba dva upoređena na jednom grafikonu – 76 lokacija

3.2.3 2-opt.

Program koji uključuje 2-opt metodu je takođe ugrađen. Njegova prednost je vidljivost promena ivica kako ruta postaje sve kraća. Slični rezultati su postignuti kao i kod gore navedenih metoda: 66304,227 km za optimizaciju godišnjeg kalendara sa 42 zamena za 2022. godinu i 83309,691 km za sve staze.

3.3 QGIS

U QGIS-u može da se uradi optimizacija rute pomoću ORS Tools plugina, ali postoji ograničenje, da ruta ne može biti veća od 6000 kilometara. Sledeća metoda optimizacije bi bila klaster analiza, pošto kako se vidi na Slici 3, postoje klasteri po kontinentima.



Slika 3. Lokacija svih 76 lokacija velikih nagrada u istoriji Formule 1 u QGIS-u

Evropa je mesto odakle protiče ovaj sport, pa tamo ima i najviše staza, ukupno 36, sa tim da ima još 3 u Velikoj Britaniji, ali pošto ne postoji kopneni put između Evrope i Velike Britanije, ona predstavlja jedan poseban klaster.

Azija je mnogo veći kontinent od Evrope, ali lokacije nisu tako koncentrisane kao u Evropi. U Aziji postoji 10 staza gde su bile održane velike nagrade, Japan predstavlja poseban klaster sa 3 lokacija, pošto između Azije i Japana ne postoji kopneni put. Staze koje se nalaze u Severnoj i Srednjoj Americi predstavljaju poseban klaster, ima ih 15 u Severnoj Americi, tj. u Ujedinjenim Američkim Državama i u Kanadi i postoji jedna u Srednjoj Americi, i

to u Meksiku. Južna Amerika sa 3 lokacija predstavlja jedan klaster kao i Australija sa 2 lokacije. Velike nagrade su dosta puta bile održane i u Africi, pa i taj kontinent predstavlja poseban klaster sa 3 lokacija.

4. ZAKLJUČAK

Optimizacija rute je izvršena pomoću Excel Solvera, Matlaba. Pošto je Solver ugrađena funkcija, nije tačno poznato šta se zaista dešava i kako funkcioniše. S druge strane, u Matlabu se svaki korak može pratiti, kako se optimizacija zapravo dešava. Optimizovan je kalendar za 2020., 2021. i 2022. godinu. Rastojanje između koordinata je izračunato korišćenjem Euklidove metode u Solveru i u Matlabu.

2020. godine ruta je skraćena za skoro 10000 km, tj. optimizovana ruta je malo više od 60% od originalne rute, isti rezultati su dobijeni sa korišćenjem Excel Solvera i programa u Matlabu. Slični su podaci i za 2021. godinu, optimizovana ruta je oko 63% od dužine originalne rute, nema značajnih razlika u rezultatima sa različitim metodama. Za 2022. godinu, nakon optimizacije rute je skraćena više nego na polovinu, tj. optimizovana ruta je malo više od 47% dužine originalne rute, isti su rezultati su dobijeni sa svim metodama. Kod svih 76 lokacija, originalna putanja je bila, da su lokacije velike nagrade u abecednom redosledu, pa korišćenjem Excel Solvera, optimizovana putanja je 30% od originale, a korišćenjem programa u Matlabu je dobijeno, da optimizovana ruta oko 15% od originalnog.

5. LITERATURA

- [1] Liu, X., Fotouhi, A. & Auger, D. (2022). Application of advanced tree search and proximal policy optimization on formula-E race strategy development. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.116718>
- [2] Kramer, O. (2017). Genetic Algorithms, Studies in Computational Intelligence, 11-19. Doi: 10.1007/978-3-319-52156-5_2
- [3] Sivanandam, S. N. & Deepa, S. N. (2008). Genetic Algorithms. Introduction to Genetic Algorithms, 15-37. Doi: 10.1007/978-3-540-73190-0_2
- [4] Michael Negnevitsky: Artificial Intelligence, A Guide to Intelligent Systems. Pearson Education Canada; 3rd edition (2011) ISBN: 978-1408225745
- [5] Stahl, D., & Sallis, H. (2012). Model-based cluster analysis. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, 4(4), 341–358. doi:10.1002/wics.1204

Kratka biografija:



Gabriela Poljak rođena je u Bečeju 1998. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti: Poštanski saobraćaj i telekomunikacije – Modeli upravljanja poštanskom mrežom odbranila je 2022. godine.
kontakt: gabriellapolyak8@gmail.com



Slaviša Dumnić doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2019. godine, a od 2020. godine je u zvanju docenta.