

Višekriterijska optimizacija lanca dobave u poljoprivredi i proizvodnji hrane - slučaj maslinarsko-uljarske industrije

Silvija Vlah Jerić

Ekonomski fakultet Zagreb

22.03.2012.



Sadržaj

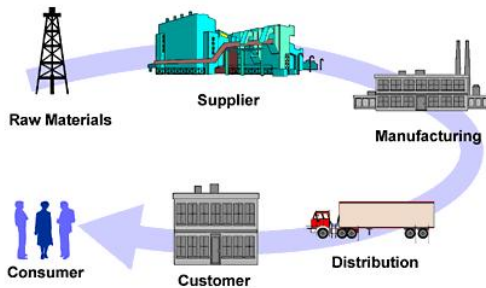
- 1 Uvod
- 2 Matematički model
- 3 Metode za optimizaciju
 - Opis predloženih metoda
 - Rezultati

Sadržaj

- 1 Uvod
- 2 Matematički model
- 3 Metode za optimizaciju
 - Opis predloženih metoda
 - Rezultati

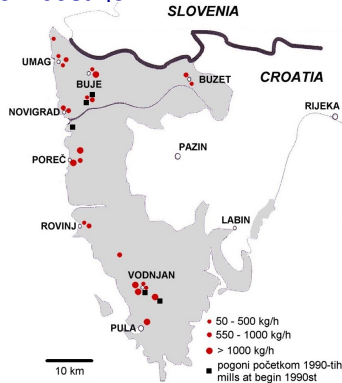
Lanac dobave

mreža objekata i sredstava distribucije koje vrše funkciju dobave materijala, transformaciju tih materijala u poluproizvode i finalne proizvode, te distribuciju tih finalnih proizvoda kupcima



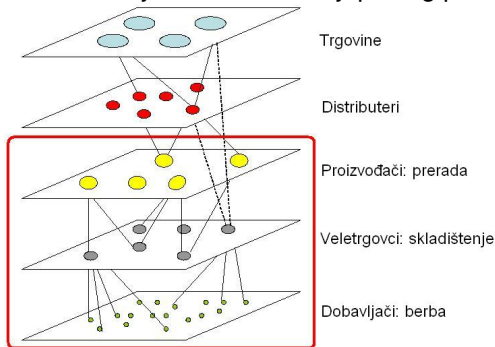
Problem istraživanja

- višekriterijska optimizacija lanca dobave u poljoprivredi i proizvodnji hrane
- slučaj **maslinarsko-uljarske industrije**
- područje Istre i Primorja



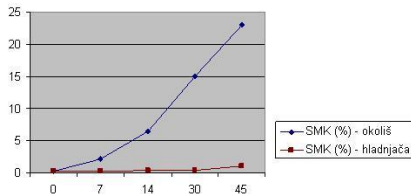
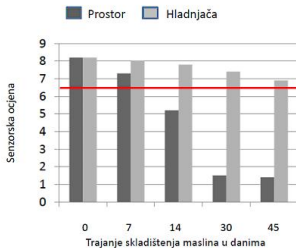
Lanac dobave u poljoprivredi i proizvodnji hrane

- posebno naglašeni zahtjevi na kvalitetu i sigurnost proizvoda
 - vremenski okvir berbe (odgovarajuća zrelost sirovina)
 - dozvoljeno vrijeme i način skladištenja (lako kvarljiva roba)
- rastuće tendencije ka zaštiti zemljopisnog podrijetla proizvoda

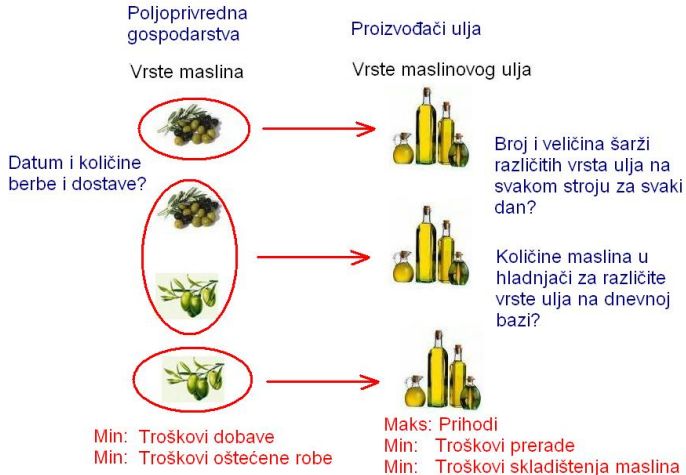


Maslinarsko-uljarska industrija

- mnoštvo malih poljoprivrednih gospodarstava
- potreba za koordiniranjem planiranja berbe i prerade
- promatra se kratki se lanac dobave
 - manje elemenata
 - prerađuju se sirovine koje potječu sa lokalnih gospodarstava
 - pakiranje, a često i prodaja vrši se direktno od strane proizvođača
 - karakteristični za male proizvođače na specifičnoj zemljopisnoj lokaciji, kupci spremni platiti i višu cijenu za poznato podrijetlo proizvoda



Problem optimizacije kratkog lanca dobave u maslinarsko-uljarskoj industriji



Sadržaj

- 1 Uvod
- 2 Matematički model
- 3 Metode za optimizaciju
 - Opis predloženih metoda
 - Rezultati



Skupovi i indeksi

- P dobavljači maslina po vrstama maslina ($j = 1, \dots, P$);
- U vrste ulja ($u = 1, \dots, U$);
- V_u masline koje se prerađuju u ulje vrste u tj. dobavljači čije se masline mogu međusobno miješati da bi se proizvelo ulje vrste u ($V_u \subseteq P$);
- T makro-periodi i.e. radni dani ($t = 1, \dots, T$);
- M strojevi za preradu maslina ($m = 1, \dots, M$).



Parametri

- A_j ukupna količina maslina dobavljača j ;
- D_{jt} maksimalna količina maslina dobavljača j u danu t ;
- G_{jt} minimalna količina maslina dobavljača j u danu t ;
- N_t broj mikro-perioda u makro-periodu tj. broj radnih sati u danu;
- C_m kapacitet stroja m ;
- H kapacitet hladnjače;
- p_u jedinični prihod koji potječe od maslina iz V_u ;
- e_{mt} fiksni troškovi prerade maslina u vremenskom periodu t na stroju m neovisno o popunjenosti stroja;
- f_t jedinični trošak skladištenja u hladnjači u vremenskom periodu t neovisno o vrsti maslina;
- w_{jt} jedinični trošak dobave maslina izvan zadanog vremenskog okvira (trošak po vrsti maslina j u vremenskom periodu t);
- b_{jt} fiksni troškovi dobave maslina vrste j u vremenskom periodu t .



Varijable odlučivanja

- I_{ut} količina maslina u hladnjači od kojih se proizvodi ulje vrste u na kraju vremenskog perioda t ($I_{u0} = 0$);
- Q_{umt} količina maslina koje se prerađuju u ulje vrste u na stroju m u vremenskom periodu t ;
- S_{jt} količina maslina vrste j čija se dobava vrši na početku vremenskog perioda t ;
- R_{jt} količina maslina j koja se dobavlja od strane jedinog dobavljača u vremenskom periodu t , a da je to izvan maksimalne količine koju on želi dobiti (eng. *oversupply*);
- $Y_{umt} \in \mathbf{Z}_+$ broj šarži proizvodnje ulja vrste u na stroju m u vremenskom periodu t (broj sati u danu u kojima se određena vrsta ulja proizvodi na danom stroju);
- $X_{jt} = \begin{cases} 1 & \text{ako se masline } j \text{ dobavljaju početkom vremenskog perioda } t, \\ 0 & \text{inače.} \end{cases}$



Ograničenja

$$I_{ut} = I_{u(t-1)} + \sum_{j \in V_u} S_{jt} - \sum_{m=1}^M Q_{umt}, \quad u = 1, \dots, U, t = 1, \dots, T \quad (1)$$

$$\sum_{u=1}^U I_{ut} \leq H, \quad t = 1, \dots, T \quad (2)$$

$$Q_{umt} \leq C_m Y_{umt}, \quad u = 1, \dots, U, m = 1, \dots, M, t = 1, \dots, T \quad (3)$$

$$\sum_{u=1}^U Y_{umt} \leq N_t, \quad m = 1, \dots, M, t = 1, \dots, T \quad (4)$$

$$\sum_{t=1}^T S_{jt} \leq A_j, \quad j = 1, \dots, P \quad (5)$$

$$S_{jt} \leq A_j X_{jt}, \quad j = 1, \dots, P, t = 1, \dots, T \quad (6)$$

$$S_{jt} \leq D_{jt} + R_{jt}, \quad j = 1, \dots, P, t = 1, \dots, T \quad (7)$$

$$S_{jt} \geq G_{jt} X_{jt}, \quad j = 1, \dots, P, t = 1, \dots, T \quad (8)$$

$$I_{ut} \geq 0, Q_{umt} \geq 0, S_{jt} \geq 0, R_{jt} \geq 0, Y_{umt} \in \mathbb{Z}^+, X_{jt} \in \{0, 1\} \quad (9)$$

Funkcije cilja

Proizvođači: maksimiziraj dobit

1 – 2 – 3 → maksimiziraj

Dobavljači: minimiziraj troškove

4 + 5 → minimiziraj

1) prihodi

$$\sum_{u=1}^U p_u \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T Q_{umt};$$

2) troškovi prerade maslina

$$\sum_{t=1}^T e_{mt} \sum_{u=1}^U \sum_{m=1}^M Y_{umt};$$

3) troškovi skladištenja sirovina

$$\sum_{u=1}^U \sum_{t=1}^T f_t I_{ut};$$

4) troškovi oštećene robe

$$\sum_{j=1}^P \sum_{t=1}^T w_{jt} R_{jt};$$

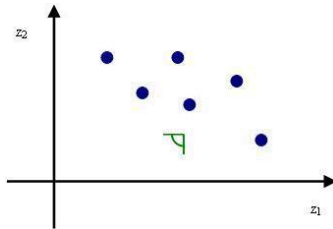
5) fiksni troškovi dobave

$$\sum_{j=1}^P \sum_{t=1}^T b_{jt} X_{jt};$$



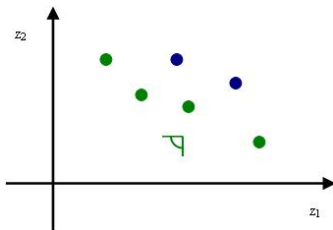
Višekriterijska optimizacija

- rješavanje problema optimiziranja dvije ili više funkcija cilja
- skup mogućih rješenja nije nužno unaprijed poznat, a određen je funkcijama ograničenja (za razliku od višeatributnog odlučivanja)
- optimalno rješenje u tradicionalnom smislu najčešće nije moguće naći zbog konfliktnih ciljeva
- riječ će biti o zadovoljavajućem rješenju od kojeg u danoj situaciji ne postoji bolje → uvode se pojmovi: **efikasno rješenje**, **efikasni (nedominirani) kriterijski vektor**, **Pareto efikasna granica**



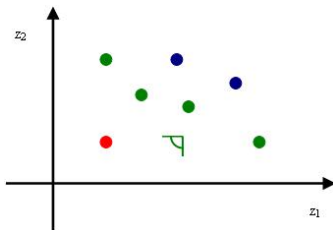
Višekriterijska optimizacija

- rješavanje problema optimiziranja dvije ili više funkcija cilja
- skup mogućih rješenja nije nužno unaprijed poznat, a određen je funkcijama ograničenja (za razliku od višeatributnog odlučivanja)
- optimalno rješenje u tradicionalnom smislu najčešće nije moguće naći zbog konfliktnih ciljeva
- riječ će biti o zadovoljavajućem rješenju od kojeg u danoj situaciji ne postoji bolje → uvode se pojmovi: **efikasno rješenje**, **efikasni (nedominirani) kriterijski vektor**, **Pareto efikasna granica**



Višekriterijska optimizacija

- rješavanje problema optimiziranja dvije ili više funkcija cilja
- skup mogućih rješenja nije nužno unaprijed poznat, a određen je funkcijama ograničenja (za razliku od višeatributnog odlučivanja)
- optimalno rješenje u tradicionalnom smislu najčešće nije moguće naći zbog konfliktnih ciljeva
- riječ će biti o zadovoljavajućem rješenju od kojeg u danoj situaciji ne postoji bolje → uvode se pojmovi: **efikasno rješenje**, **efikasni (nedominirani) kriterijski vektor**, **Pareto efikasna granica**



Pristup problemu

Izazovi

- višekriterijska optimizacija
- rezultat općenito nije samo jedno rješenje, nego cijeli skup rješenja, odnosno (Pareto) efikasna granica
- mješovito cjelobrojno programiranje
- kompleksnost i velike dimenzije problema
- 10 instanci problema za simulacije temeljenih na realnoj situaciji u praksi
- komercijalni softver za optimizaciju (ILOG CPLEX) ne nalazi optimalno rješenje niti samo skalarnog problema unutar 30 minuta, pa bi egzaktnu efikasnu granicu bilo gotovo nemoguće naći u nekom razumnom roku

Pristup problemu

Rješenje

- kreiranje metaheuristika za aproksimaciju efikasne granice:
 - SS - raspršeno pretraživanje, eng. *Scatter Search*
 - NSGAI - genetički algoritam s nedominiranim sortiranjem, eng. *Nondominated Sorting Genetic Algorithm II*
- statistički neparametarski testovi za usporebu i testiranje učinkovitosti
- za implementaciju i testiranja korišteni programski jezik c#, paket Visual Studio, Concert tehnologija kao sučelje prema funkcijama paketa ILOG CPLEX, te program PISA za testiranje



Sadržaj

- 1 Uvod
- 2 Matematički model
- 3 Metode za optimizaciju
 - Opis predloženih metoda
 - Rezultati



Sadržaj

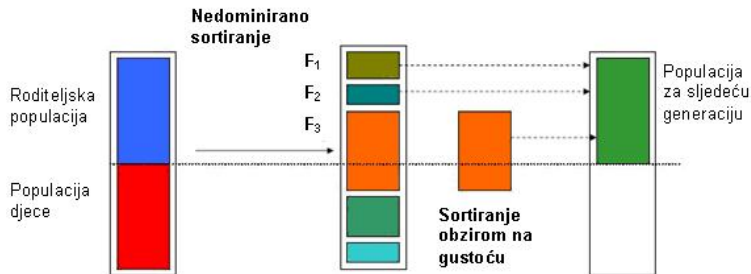
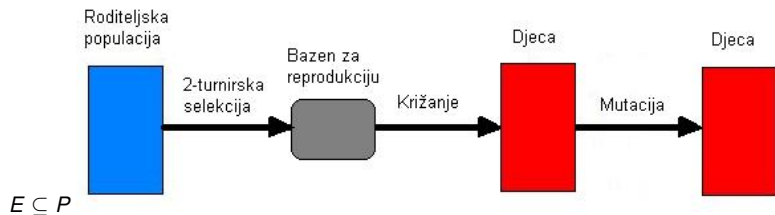
- 1 Uvod
- 2 Matematički model
- 3 Metode za optimizaciju
 - Opis predloženih metoda
 - Rezultati

Metaheuristike kao približne metode za optimizaciju

- u prošlosti su **egzaktne metode** preferirane u odnosu na približne
- povećanjem primjena u praksi, **približne metode, u početku heuristike**, dobivaju na značaju jer u realnom vremenu zapravo pronalaze bolja rješenja nego egzaktne metode
- u novije vrijeme, razvile su se **metaheuristike kao apstrakcija heuristika**, odnosno metodologija višeg nivoa
- dok se **heuristike moraju razvijati iznova** za svaku vrstu problema, **metaheuristike su zapravo opći predlošci** za optimizacijske metode
- na istraživačima je da metodu zapravo kreiraju na temelju tog općeg predloška za neku metaheuristiku, osmišljavaju njezine komponente, te ih kombiniraju

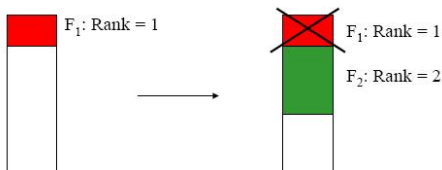


Genetički algoritam s nedominiranim sortiranjem



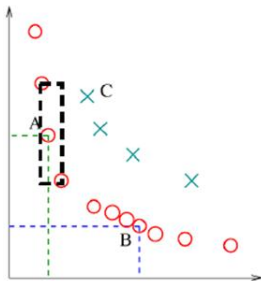
Nedominirano sortiranje - 1. dio

- 1 Identificiraj najbolji nedominirani skup rješenja (rješenja koja nisu dominirana niti jednim rješenjem iz populacije)
- 2 Privremeno ih izbaci iz populacije
- 3 Identificiraj sljedeći nedominirani skup rješenja
- 4 Nastavi dok ne klasificiraš sva rješenja

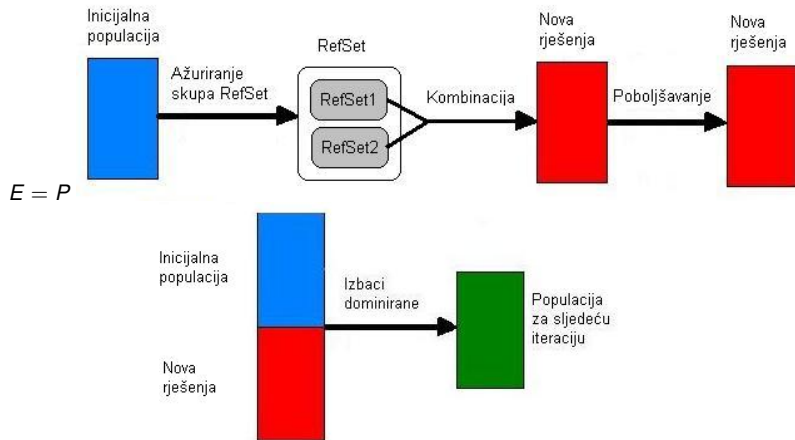


Nedominirano sortiranje - 2. dio

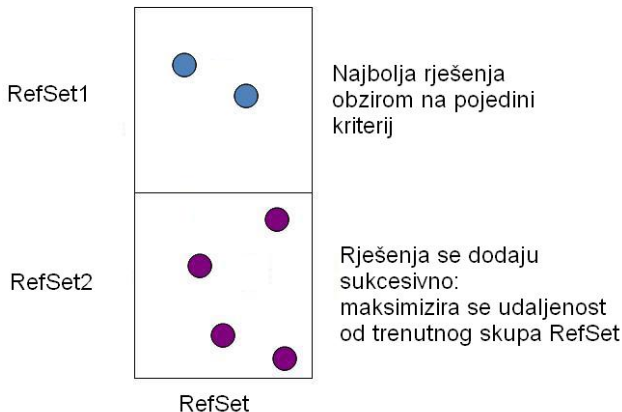
- “Crowding distance” – “gustoća” Pareto efikasne granice u okolini točke “mjera gužve”
- Udaljenost točke od najbližih susjeda
- Izračunava se za sva rješenja u klasi



Raspršeno pretraživanje



Ažuriranje skupa *RefSet*



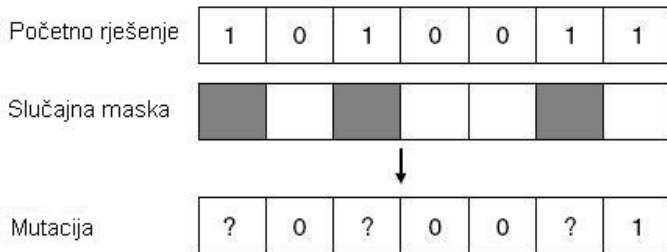
$$d_z(a^i, a^j) = \sum_{k=1, \dots, 2} \frac{|z_k^i - z_k^j|}{z_k^{\max}}$$

(10)



Zajedničke komponente metoda

Operator mutacije (metoda za diverzifikaciju rješenja):



→ optimizacija skalarnog problema
 s težinama postavljenim na slučajan način



Zajedničke komponente metoda

Metoda za diverzifikaciju rješenja:

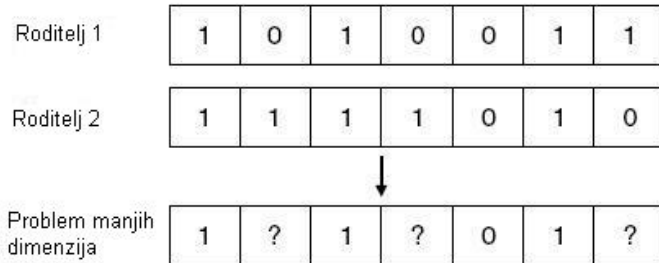
generiraj moguće rješenje

N puta radi:

- nasumice odaberi rješenje za masku iz trenutnog skupa rješenja
- fiksiraj $f\%$ varijabli na vrijednosti maske
- optimiziraj obzirom na težinsku sumu kriterija sa slučajno odabraim težinama (u zadanom vremenu)
- /* podesi f */
 - ako nije pronađeno moguće rješenje, povećaj f
 - ako je pronađeno moguće rješenje, ali ono nije efikasno, smanji f
 - ako je pronađeno rješenje efikasno, onda:
 - dodaj ga u skup rješenja
 - ako je neko rješenje iz trenutnog skupa rješenja postalo dominirano, izbaci ga

Zajedničke komponente metoda

Operator križanja tj. kombinacija:



→ optimizacija skalarnog problema
 s težinama postavljenim na slučajan način



Stohastička priroda kreiranih metoda

- po svojoj prirodi stohastičke jer prilikom pretraživanja primjenjuju i neka nasumična pravila
- stohastička priroda otežava usporedbe jer ne rezultiraju uvijek istim rješenjem za isti problem
- zahtijeva više nezavisnih izvršavanja svake metode na svakoj instanci
- problem usporedbe još veći kod višekriterijske optimizacije jer rezultat općenito nije samo jedno rješenje, nego cijeli skup rješenja, odnosno (Pareto) efikasna granica
- međutim, sve popularnije jer se u praksi pokazalo da nude dobar balans između brzine rješavanja problema i kakvoće rješenja koja se njima dobivaju

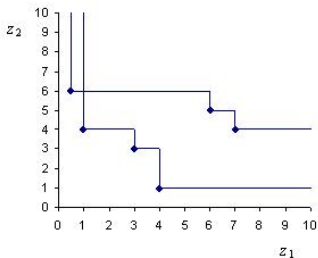
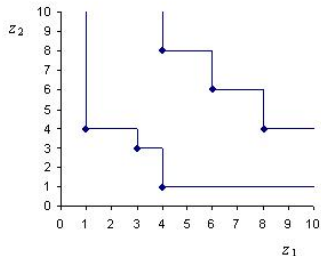
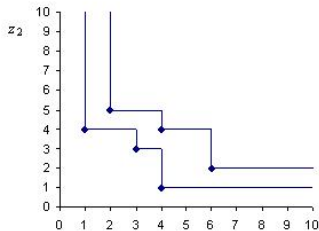


Stohastička priroda kreiranih metoda

- po svojoj prirodi stohastičke jer prilikom pretraživanja primjenjuju i neka nasumična pravila
- stohastička priroda otežava usporedbe jer ne rezultiraju uvijek istim rješenjem za isti problem
- zahtijeva više nezavisnih izvršavanja svake metode na svakoj instanci
- **problem usporedbe još veći kod višekriterijske optimizacije jer rezultat općenito nije samo jedno rješenje, nego cijeli skup rješenja, odnosno (Pareto) efikasna granica**
- međutim, sve popularnije jer se u praksi pokazalo da nude dobar balans između brzine rješavanja problema i kakvoće rješenja koja se njima dobivaju



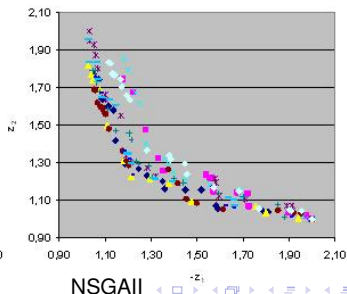
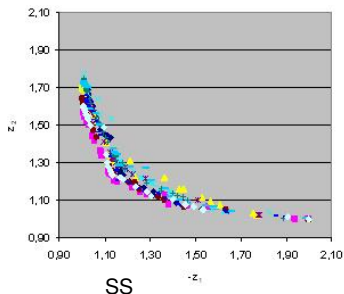
Problem usporedbe aproksimacija efikasnih granica



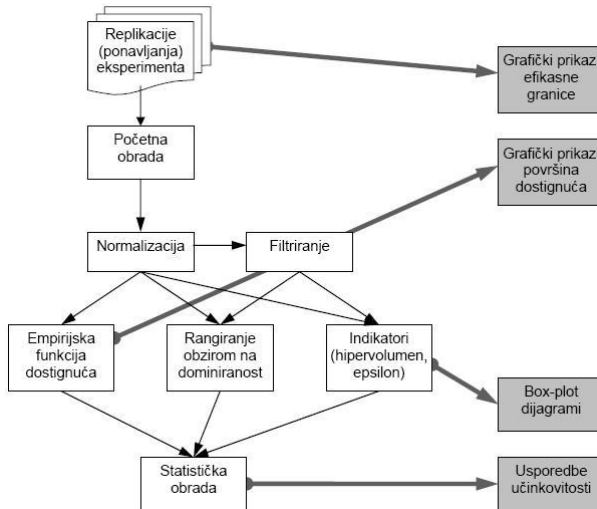
Vizualizacija dobivenih aproksimacija efikasne granice

- 10 nezavisnih izvršavanja svake metode na svakoj instanci
- vrijeme izvršavanja: 10 minuta
- grafički prikazi dobivenih aproksimacija najčešće neučinkoviti

Slika: Aproksimacije efikasne granice, primjer instance 9.



Proces testiranja



Sadržaj

- 1 Uvod
- 2 Matematički model
- 3 Metode za optimizaciju**
 - Opis predloženih metoda
 - **Rezultati**



Rangiranje obzirom na dominiranost - Fisherov test

Tablica: p -vrijednosti jednostranog testa za alternativnu hipotezu da je jedan optimizator bolji od drugoga po rangu obzirom na dominiranost.

Inst1	SS	NSGAll	Inst6	SS	NSGAll
SS	-	0.00446	SS	-	0.00696
NSGAll	0.99614	-	NSGAll	0.99304	-
Inst2	SS	NSGAll	Inst7	SS	NSGAll
SS	-	0.0005	SS	-	0.00004
NSGAll	0.99932	-	NSGAll	0.99998	-
Inst3	SS	NSGAll	Inst8	SS	NSGAll
SS	-	0.0001	SS	-	<1.10438E-59
NSGAll	0.99994	-	NSGAll	0.99994	-
Inst4	SS	NSGAll	Inst9	SS	NSGAll
SS	-	<1.10438E-59	SS	-	0.00164
NSGAll	1	-	NSGAll	0.99838	-
Inst5	SS	NSGAll	Inst10	SS	NSGAll
SS	-	<1.10438E-59	SS	-	0.00788
NSGAll	1	-	NSGAll	0.99152	-



Indikator hipervolumen - Mann-Whitney test

Tablica: p -vrijednosti za alternativnu hipotezu da je jedan optimizator bolji od drugoga po indikatoru hipervolumen.

Inst1	SS	NSGAll	Inst6	SS	NSGAll
SS	-	7.9E-05	SS	-	0.00011
NSGAll	0.99992	-	NSGAll	0.99989	-
Inst2	SS	NSGAll	Inst7	SS	NSGAll
SS	-	7.9E-05	SS	-	7.9E-05
NSGAll	0.99992	-	NSGAll	0.99992	-
Inst3	SS	NSGAll	Inst8	SS	NSGAll
SS	-	7.9E-05	SS	-	7.9E-05
NSGAll	0.99992	-	NSGAll	0.99992	-
Inst4	SS	NSGAll	Inst9	SS	NSGAll
SS	-	7.9E-05	SS	-	7.9E-05
NSGAll	0.99992	-	NSGAll	0.99992	-
Inst5	SS	NSGAll	Inst10	SS	NSGAll
SS	-	7.9E-05	SS	-	0.00097
NSGAll	0.99992	-	NSGAll	0.99903	-



Epsilon indikator - Mann-Whitney test

Tablica: p -vrijednosti za alternativnu hipotezu da je jedan optimizator bolji od drugoga po epsilon indikatoru.

Inst1	SS	NSGAll	Inst6	SS	NSGAll
SS	-	0.00011	SS	-	0.00034
NSGAll	0.99989	-	NSGAll	0.99967	-
Inst2	SS	NSGAll	Inst7	SS	NSGAll
SS	-	0.00019	SS	-	0.00019
NSGAll	0.99981	-	NSGAll	0.99981	-
Inst3	SS	NSGAll	Inst8	SS	NSGAll
SS	-	0.00025	SS	-	0.00011
NSGAll	0.99975	-	NSGAll	0.99989	-
Inst4	SS	NSGAll	Inst9	SS	NSGAll
SS	-	7.9E-05	SS	-	0.00019
NSGAll	0.99992	-	NSGAll	0.99981	-
Inst5	SS	NSGAll	Inst10	SS	NSGAll
SS	-	7.9E-05	SS	-	0.00075
NSGAll	0.99992	-	NSGAll	0.99925	-



Empirijska funkcija dostignuća

- procjena funkcije dostignuća koja za svaki kriterijski vektor daje vjerojatnost da je on “dostignut” (slabo dominiran) aproksimacijom dobivenom jednim izvršavanjem metode
- gubi se samo mala količina informacija, sažima sve ishode izvršavanja jedne metode
- procjena je vrlo kompleksna, te je u praksi za sada limitirana na primjenu samo u slučajevima sa dvije, ili najviše tri funkcije cilja
- omogućuje vizualizaciju aproksimacija efikasne granice tako da se prikažu ciljevi koji se dostižu (nezavisno) u $k\%$ slučajeva

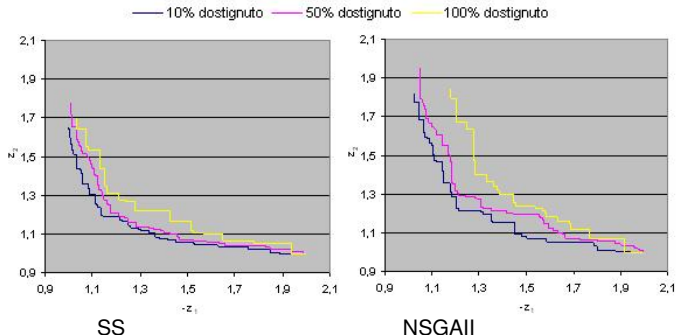
Kolmogorov-Smirnov test je pokazao da su postoje značajne razlike između empirijskih funkcija dostignuća između predloženih metoda na svakoj instanci problema pri razini signifikantnosti od 0.05



Vizualizacija na temelju empirijske funkcije dostignuća

$k\%$ -dostignuta površina dijeli kriterijski prostor na dva dijela:
 ciljeve koji su dostignuti i ciljeve koji nisu dostignuti
 sa frekvencijom od barem $k\%$.

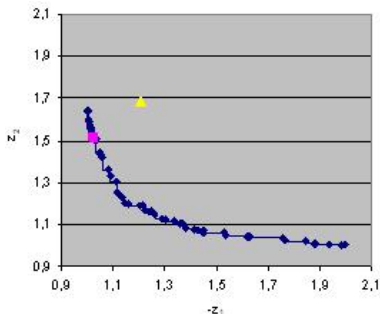
Slika: $k\%$ -dostignute površine, primjer instance 9.



Efekti udruživanja u lanac dobave na efikasnoj granici

- žuti trokuti - sukcesivna optimizacija dobave i proizvodnje
- rozi kvadrati - istovremena optimizacija dobave i proizvodnje (skalarno, zbroj funkcija cilja dobavljača i proizvođača)
- plave točke - aproksimacija efikasne granice metodom SS

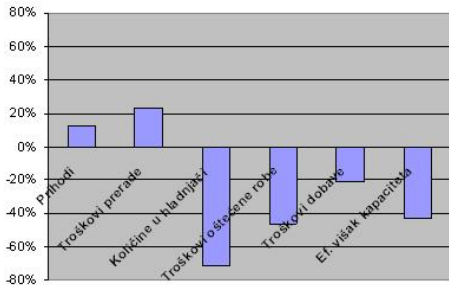
Slika: Primjer instance 9.



Značajnost efekata udruživanja u lanac dobave

- razlike u vrijednostima odabranih kriterija prije i poslije udruživanja testirane Fisherovim testom za uparene uzorke
- sve razlike su značajne uz razinu signifikantnosti 0.05
- može se zaključiti da je udruživanje u lanac dobave, što omogućuje istovremenu optimizaciju, u interesu i dobavljača i proizvođača

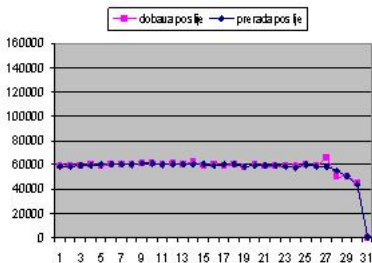
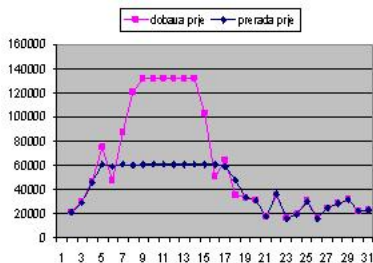
Slika: Prosječne promjene odabranih kriterija uslijed istovremene optimizacija cijelog lanca, primjer instance 9.



Grafički prikaz usklađenosti dobave i proizvodnje

- prikaz optimalnih količina dobave i proizvodnje kroz vrijeme
- ilustrira se razina usklađenosti dobave i prerade u slučaju kada se optimiziraju sukcesivno u odnosu na slučaj kada se optimiziraju istovremeno
- podrazumijeva se samo prerada koja se može izvršiti u kontroliranim uvjetima

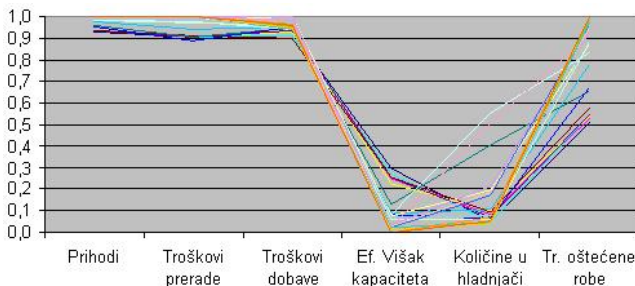
Slika: Primjer instance 9.



Grafički prikaz kompromisa među kriterijima

- prikaz na grafu s paralelnim koordinatama
- promatraju se rješenja koja osiguravaju da se ostvaruje proizvodnja na razini od barem 90%
- konflikti između dva kriterija mogu se uočiti promatrajući u kojoj se mjeri križaju linije

Slika: Primjer instance 9.



Smjernice za buduća istraživanja

- razmotriti promatranje problema **dvorazinske optimizacije**
- kreiranje metode koja bi optimizirala lanac dobave obzirom na više kriterija koji se odnose na njegovu uspješnost, **ali i obzirom na robusnost**
 - male promjene ulaznih parametara mogu donijeti velike promjene u optimalnim rješenjima
 - nema garancije da će rješenje biti optimalno i u drugim scenarijima, pa se preporuča aposteriori simulacijsko testiranje)



Hvala na pozornosti!