

# **Neizrazito modeliranje i optimiranje u planiranju prehrane**

**J. Gajdoš i Ž. Kurtanjek**

Prehrambeno-biotehnološki fakultet u Zagrebu,  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

## **Sažetak**

U radu su optimirani jelovnici za prehranu učenika smještenih u učeničkim domovima na području grada Zagreba. Primijenjena je metoda modeliranja pomoću neizrazite logike. Rezultati su uspoređeni s optimalnim vrijednostima dobivenim klasičnim modelom linearнog programiranja. Oba rezultata optimiranja su uspoređena s postojećim stanjem dobivenim mjerjenjem nutritivnih sastojaka u domovima. Usporedbom srednje vrijednosti relativnog postotnog odstupanja nutrijenata u usporedbi s RDA preporukom utvrđene su slijedeće vrijednosti: postojeće stanje (PS) odstupa za 45,9 %, linearni model (LM) za 43,9 %, a dva modela neizraite logike (F1 i F2) odstupaju za 33,8 i 27,5 %. Također je u radu provedena usporedba broja serviranja grupe namirnica u odnosu na USDA preporuke. Postojeći jelovnici odstupaju od preporuka za 3 serviranja, a jelovnici dobiveni optimiranjem razlikuju se: za LM u 3 serviranja, za F1 u 3 serviranja i u F2 za 1 serviranje. Usporedba optimalnih jelovnika s postojećim daje slijedeći broj promjene serviranja: LM za 7; F1 za 9,5; F2 za 7 serviranja. Za linearni model su kao funkcija cilja odabrane cijene obroka i preferencija učenika prema pojedinim obrocima. Funkcija cilja za neizrazite modele bila je Prerow-ova značajka (PV) kojom je izražen ukupan unos nutrijenata.

Za promatrane modele PV značajka iznosi za: promatrano stanje ( $PV=0,22$ ), linearni model ( $PV=0,42$ ), prvi neizraziti model ( $PV=0,67$ ) te drugi neizraziti model ( $PV=0,86$ ) te služe kao pokazatelj raznovrsnosti prehrane i zadovoljenje stupnja preferencije te RDA preporuka.

Prosječan stupanj preferencije razlikuje se za promatrane modele te tako za promatrano stanje on iznosi 3,5; za linearni model 4,25; za prvi neizraziti model 4,31 i 4,37 za drugi neizraziti model (od maksimalne vrijednosti 5).

Cijena jelovnika je ujedno i najdjelotvorniji pokazatelj korisnosti primjene optimiranja u planiranju društvene prehrane obzirom da se na velikom broju obroka mogu načiniti velike uštede. Tako primjena linearнog modela u planiranju dnevne prehrane donosi prosječnu uštedu od 12 %, a primjena neizrazitog optimiranja rezultira uštedom od 7 % po osobi za prvi model, te 9 % za drugi model.

## **Uvod**

Neizrazita (“fuzzy”) logika je matematički pristup modeliranju sustava koji ne mogu biti precizno opisani. U navedenu skupinu sustava koji ne mogu biti precizno opisani su i nutritivne dnevne potrebe. Pravilna prehrana nužna je za normalno funkcioniranje organizma i analizom i planiranjem prehrane matematičkim modeliranjem i optimiranjem mogu se ispraviti nepravilnosti te prehranu promijeniti sukladno preporukama ovisno o

spolu i životnoj dobi. Modeliranje neizrazitom logikom uzima u obzir i parametre kao što su različite prehrambene navike pojedinca ili skupine, te njihove preferencije za pojedine namirnice i obroke. Na taj način moguće je poboljšati planove prehrane, što omogućuje realniju primjenu u svakodnevnom životu, ali ne mora nužno u potpunosti zadovoljavati sve preporuke.

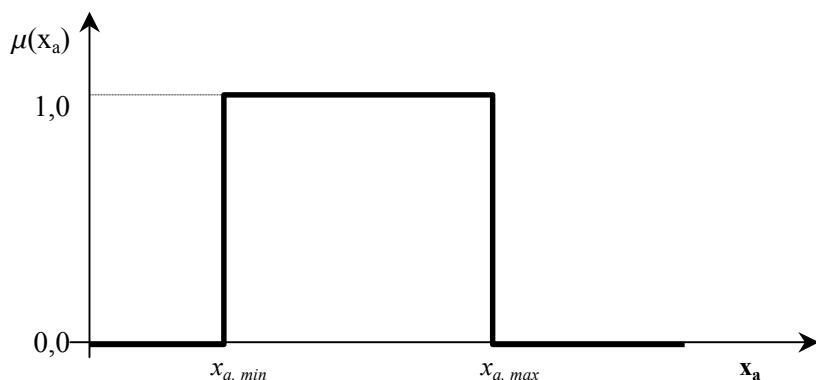
Planiranje prehrane u ustanovama s društvenom prehranom vrlo je zahtjevno obzirom da je nužno prilagoditi obroke energetskim i nutritivnim potrebama osoba koje se u ustanovi hrane (nužno je izborom namirnica zadovoljiti potrebe i želje pojedinaca čije su prehrambene navike različite), te je cilj minimizirati cijenu prehrane u navedenim ustanovama<sup>1,2</sup>.

Obzirom da sve namirnice pridonose svojim kemijskim sastavom kakvoći prehrane, moguće je koristiti neizrazite skupove za procjenu potreba organizma za nutrijentima<sup>3</sup>. Preporuke o dnevnom unosu, npr. RDA (Recommended Dietary Allowances), zamijenjene su s neizrazitim skupovima. Pripadnost skupovima opisana je funkcijama pripadnosti (engl. membership function) koje se mogu prikazati krivuljama. Pomoću ovih skupova moguće je procijeniti potrebu organizma za nutrijentima kao i optimiranje prehrane<sup>4,5</sup>. RDA preporuke o dnevnom unosu nutrijenata sadrže preporučenu količinu energije i mase nutrijenata ovisno o dobi i spolu i često su navedene minimalne količine nutrijenta koje je nužno dnevno unijeti u organizam, a za neke nutrijente navode se maksimalne dnevne vrijednosti koje bi trebalo unositi. Neke preporuke navode i maksimalne i minimalne dnevne unose<sup>6,7</sup>. Te granične vrijednosti za pojedini nutrijent u okviru linearног optimiranja služe kao ograničenja u nejednadžbama.

$$x_{a, \min} \leq x_a \leq x_{a, \max} \quad (1)$$

Pri tome je  $x$  masa nutrijenta  $a$ , i  $x_{a, \min}$  predstavlja minimalan, a  $x_{a, \max}$  maksimalan unos za jednu osobu u određenom vremenskom intervalu. Unos nutrijenta  $x_a$  mora biti unutar granica navedenih prethodnim izrazom kao što je prikazano na slici 1.<sup>8,9</sup>

Dozvoljeni unos je oštro (izrazito) definiran<sup>10</sup> i kao "neizraziti skup" ima prikaz na slici 1.



Slika 1. Izrazite granice u planiranju unosa nutrijenta ograničene maksimalnom i minimalnom preporukom.

Fig. 1. Crisp boundaries in nutrition planning with maximal and minimal recommendations.

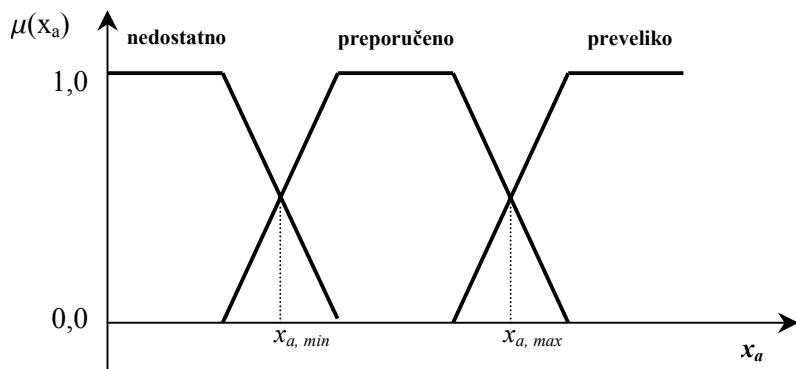
Procjena unosa nutrijenta dijeli se u dozvoljeno i nedozvoljeno područje, pri čemu je:

$$\mu(x_a) = \begin{cases} 1, & \text{za } x_a \in [x_{a,\min}, x_{a,\max}] \\ 0, & \text{za } x_a \notin [x_{a,\min}, x_{a,\max}] \end{cases} \quad (2)$$

gdje  $\mu(x_a)$  prikazuje stupanj pripadnosti  $x_a$  skupu "preporučeni unos" za nutrijent  $a$ .

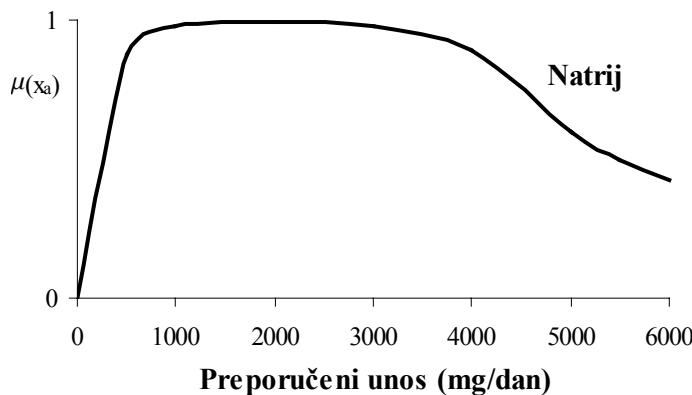
RDA preporuke zavisne su o mnogobrojnim čimbenicima, kao što su: dob, spol, rasa, zanimanje, dodatne aktivnosti itd. Da bi se matematički izrazile nepreciznosti preporuka moguće je primijeniti postupak modeliranja s neizrazitim skupovima. Također vrlo često kod optimiranja, oštro (izrazito) definirana ograničenja, onemogućuju rješavanje problema koji se želio riješiti uz pomoć optimiranja. Analizom rezultata nakon postupka optimiranja uočena je potreba "umekšavanja granica" što povlači i proširenje dozvoljenog područja kako bi se postigla poboljšanja u skladu s ciljevima optimiranja<sup>2,11</sup>.

Potreban unos nutrijenata u praksi predstavlja neizrazitu veličinu koja se može opisati jezičnim (lingvističkim) varijablama (izrazima). Izrazima su pridruženi neizraziti skupovi i njihovi stupnjevi pripadnosti. Pri tome se može odrediti kojem lingvističkom izrazu pripada (npr.: nedostatno, preporučeno, preveliko), a istovremeno je moguće i ocijeniti unos nutrijenta.



Slika 2. Neizraziti skupovi i pripadajuće jezične varijable unosa nutrijenta.

Fig. 2. Fuzzy sets and corresponding linguistic variables of recommended intake.



Slika 3. Primjer neizrazitog skupa za natrij pridružen varijabli “preporučeno”<sup>3</sup>.

Fig. 3. Fuzzy set for sodium corresponding to the linguistic term “recommended”.

Primjena navedenih neizrazitih skupova s različitim lingvističkim varijablama je pogodna za analizu prehrane te njenu ocjenu i verbalnu interpretaciju.

Za primjenu neizrazitog skupa, na slici 3. za unos natrija, u okviru procjene i kao osnove za optimiranje nužno je unutar područja vrijednosti definirati stupanj pripadnosti u zavisnosti od unesene količine nutrijenata (mg/dan Na). Stupanj pripadnosti  $\mu(x_a)$  odnosno funkcija pripadnosti prikazuje u kojoj mjeri vrijednost  $x_a$  pripada neizrazitom skupu. Optimiranjem se teži postizanju maksimalne vrijednosti (vrijednost 1) funkcije pripadnosti  $\mu$  za svaki promatrani nutrijent.

### Neizrazita ocjena unosa nutrijenata

Ocjena unosa nutrijenta može se izraziti značajkom određene na osnovu neizrazitih skupova za pojedine nutrijente. U literaturi se navode dvije mogućnosti određivanja značajke: harmonijska sredina vrijednosti funkcija pripadnosti za sve nutrijente; i drugi, mogućnost uporabe PV značajke (Prerow value, čiji naziv je uveo B. Wirsam)<sup>10</sup>, a definira se modifikacijom harmonijske sredine minimalnom vrijednošću funkcije pripadnosti nutrijenta s najvećim nedostatkom (ili eventualnim suviškom)<sup>10,11</sup>.

Značajka unosa nutrijenta određen harmonijskom sredinom računa se prema sljedećem izrazu:

$$\bar{\mu}_{harm} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\mu_i(x_i)}} \quad (3)$$

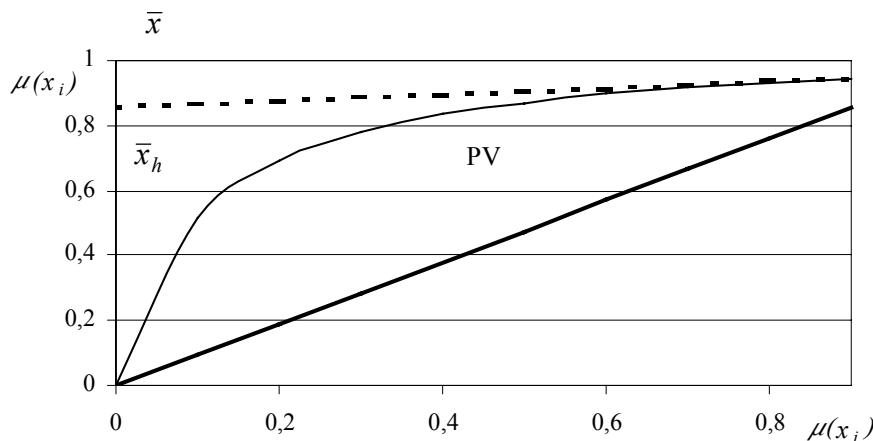
Za razliku od aritmetičke sredine, koja ne isčezava ukoliko jedna varijabla teži prema nuli, harmonijska sredina ima svojstvo da poprima vrijednost nula kada i samo jedna varijabla teži prema nuli. Nutricionističkom interpretacijom tog svojstva ukazuje se na nemogućnost kompenzacije esencijalnih nutrijenata, što je izraženo modelima funkcije pripadnosti koje imaju svojstvo  $\mu_i(x_i=0)=0$ . Da bi se još više istaknuo utjecaj odstupanja unosa nutrijenta od

RDA preporuka, B. Wirsam je uveo PV značajku koja većom težinom nutrijentom u nedostatku,  $\mu_i(x_i)$ , određuje srednju vrijednost prema izrazu<sup>4,5</sup>:

$$PV = \min_i \mu_i(x_i) \cdot \frac{n-1}{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{1}{\mu_j(x_j)}} \quad (4)$$

gdje je  $n$  broj promatranih nutrijenata te su  $\mu_i(x_i)$  i  $\mu_j(x_j)$  funkcije pripadnosti neizrazitom skupu nutrijenta  $i$  i  $j$  pri unosu količine  $x_i$ ,  $x_j$ <sup>8</sup>. PV značajka može imati vrijednost u intervalu  $[0, 1]$  što je detaljnije opisano u tablici 1., a kao razinu minimalnog zadovoljenja kakvoće unosa prihvaćena je vrijednost 0,8<sup>4</sup>.

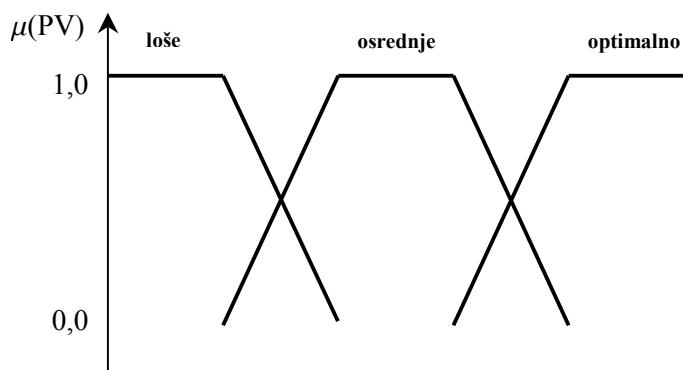
Na slici 4. prikazan je teoretski slučaj od 10 nutrijenata od kojih je 9 u području vrijednosti pripadnosti skupu od 0-0,9, a jedan je u nedostatku, u području vrijednosti  $\mu \in [0, 0,9]$ .

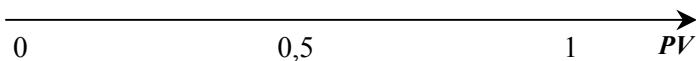


Slika 4. Utjecaj minimalne vrijednosti pripadnosti skupu nutrijenata na aritmetičku i harmonijsku sredinu te PV značajku.

Fig. 4. Influence of the minimal value in a set on arithmetic and harmonic mean, and on PV value.

Na slici 4. se može uočiti bitan utjecaj ograničavajućeg nutrijenta na ukupnu ocjenu nutritivnog unosa. Izračunate vrijednosti značajke unosa nutrijenta (harmonijske ili PV sredine) može se interpretirati pomoću jezičnih varijabli, npr. ocjena unosa je: loša, osrednja ili optimalna (slika 5). PV vrijednost zajedno s vrijednostima pripadnosti neizrazitom skupu pojedinačnih nutrijenata služi za procjenu i analizu prehrane.





Slika 5. Neizraziti skupovi za ocjenu unosa skupine nutrijenata na osnovu vrijednosti PV značajke.

Fig. 5. Fuzzy sets for evaluation of nutrient intake based on PV value.

Pomoću slike 3.i 5. moguće je i analizirati u kojoj mjeri se mijenja procjena unosa ukoliko se, polazeći od optimuma, smanjuje ili povećava količina nutrijenata. Klasični uvjeti ograničenja gube svoju vrijednost jer granice postaju neizrazite i još samo strmi rubni dijelovi krivulje funkcije pripadnosti mogu se s njom usporediti<sup>10,11</sup>. Uvođenjem neizrazitih uvjeta ograničenja, odnosno eliminacija strogih minimalnih i maksimalnih vrijednosti, omogućava proširenje skupa varijabli za optimiranje.

## Eksperimentalni dio

Za analizu obroka poslužili su podaci iz jelovnika u 14 učeničkih domova grada Zagreba u kojima su smješteni mladići i djevojke u dobi od 14-18 godina. Na osnovu ovih podataka uz primjenu baze podataka o sadržaju nutrijenata u namirnicama<sup>12,13</sup> dobiveni su rezultati dnevног unosa energije i nutrijenata za pojedine učeničke domove.

Anketiranjem učenika o senzorskim i organoleptičkim svojstvima ponuđenih jela i obroka u učeničkom domu, utvrđene su srednje ocjene koje su poslužile kao stupanj preferencije učenika prema određenim jelima i obrocima (**1-ne želim konzumirati; 3-svejedno; 5-da, želim konzumirati**)<sup>2</sup>. Ova značajka omogućuje da optimalni planovi prehrane uključuju većinom ona jela koja određene skupine učenika najradije prihvacaјu. Dakle jela i obroci koji imaju lošiji stupanj preferencije ne bi trebali biti vrlo često zastupljeni u optimalnom rješenju jer neće biti konzumirani, djelomično ili u cijelosti, što će se odraziti na energetski i nutritivni unos učenika.

Obroci su optimirani s dvije metode:

1. izrazitom logikom (linearni model-LM)
2. neizrazitom logikom (nelinearni modeli - F)

U linearnim modelima, funkcija  $F$  cilja je minimalna cijena ili maksimalna preferencija  $\mathbf{c}$  ponuđenih namirnica  $\mathbf{x}$  (5) a modele ograničenja (6) predstavljaju energija i izabrani nutrijenti (proteini, masti, ugljikohidrati, Ca, Fe, vitamini A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C, nijacin).

$$F = \mathbf{c} \cdot \mathbf{x}$$

U modelu ograničenja, desnu stranu nejednakosti,  $\mathbf{b}_1$  i  $\mathbf{b}_2$  predstavljaju RDA preporuke (ovisno o spolu učenika u dobi od 14-18 godina), a jednakosti  $\mathbf{b}_3$  predstavlja konstantu koja je jednaka jedinici, i omogućuje obavezan odabir jednog obroka u nizu ponuđenih (npr. odabir jedne juhe od četiri ponuđene).

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_1 \cdot \mathbf{x} &\leq \mathbf{b}_1 \\ \mathbf{A}_2 \cdot \mathbf{x} &\geq \mathbf{b}_2 \\ \mathbf{A}_3 \cdot \mathbf{x} &= \mathbf{b}_3 \end{aligned} \tag{6}$$

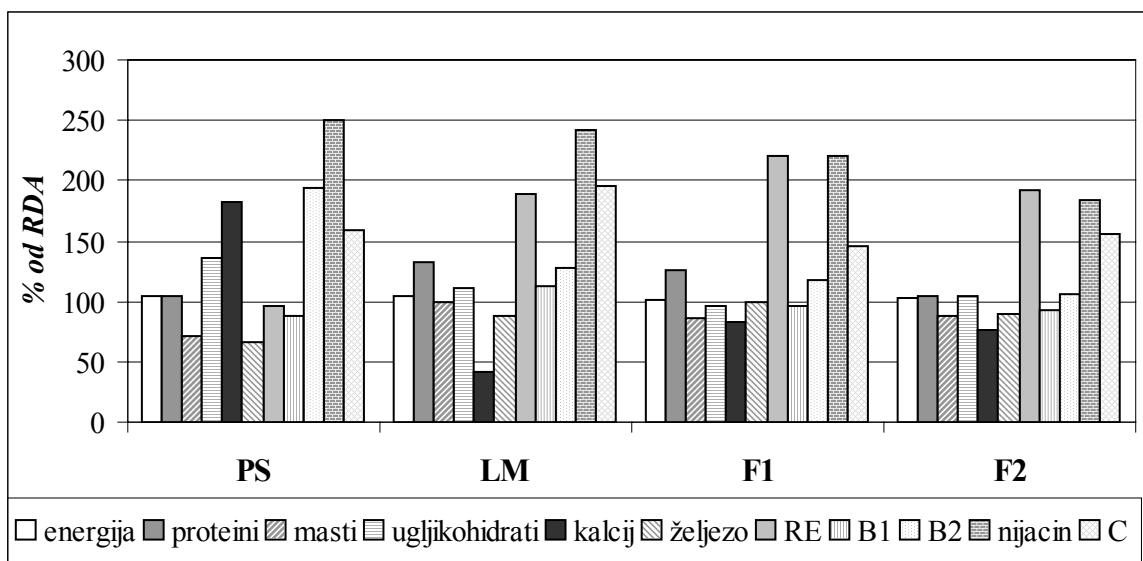
Matrica  $A_1$  predstavlja sadržaj energije, proteina, masti i vitamina A, a matrica  $A_2$  sadržaj energije, ugljikohidrata, kalcija, željeza, vitamina A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C i nijacina.  $A_3$  je matrica cjelobrojnih konstanata, 1 ili 0.

Za primjenu neizrazite logike u optimiranju prehrane poslužio je računalni program "DGE-PC", B. Wirsam<sup>14</sup>, koji u analizi obroka i optimiranju koristi neizrazite funkcije pripadnosti. Analizom svakog jelovnika odmah se računa i PV značajka koja ukazuje na usklađenost s RDA preporukama<sup>7</sup>.

Jelovnik je primjenom neizrazite logike optimiran na dva različita načina; prvo optimiranje ne uključuje promjene jelovnika (nema dodavanja drugih obroka osim ponuđenih), a drugo optimiranje dozvoljava i proširenje jelovnika (npr. među-obroci). Ukoliko je jelovnik nakon optimiranja u velikoj mjeri usklađen s preporukama, PV vrijednost će biti veća od 0,8.

## Rezultati i rasprava

Analizirani društveno-organizirani obroci u učeničkim domovima (PS) pokazuju vrlo veliko odstupanje od RDA preporuka (tablica 2 i slika 6) što osim poskupljenja prehrane pokazuje i neusklađenost s preferencijama pojedinaca ili skupine prema određenim jelima, a jedna od posljedica je loš utjecaj na psiho-fizički rast i razvoj adolescenata koji su smješteni u učeničkim domovima.



Slika 6. Energetski i nutritivni unos uspoređen s RDA preporukama za različite modele: **PS**-postojeće stanje dnevnog jelovnika u učeničkom domu; **LM**-linearni model; **F1**-prvi model neizrazite logike; **F2**-drugi model neizrazite logike.

Fig. 6. Energy and nutritive intake compared with RDA's for different models: **PS**-present status of daily intake in the boarding schools; **LM**-linear model; **F1**-first model of fuzzy logic; **F2**-second model of fuzzy logic.

Optimiranje jelovnika linearnim programiranjem (model LM) pokazuje da je unos nutrijenata bliži preporukama, ali nedovoljno, i za ključne nutrijente kao što je npr. kalcij,

pokazuje još uvijek veliko odstupanje (zadovoljava svega 40 % dnevnih potreba) jer mliječna skupina namirnica nije zastupljena u doстатnoj količini.

Nasuprot tome, modeli koji se zasnivaju na neizrazitoj logici (F-1, F-2) pokazuju znatnije približavanje RDA preporukama od linearog modela;

**model F-1:** samo 3 promatrane veličine odstupaju od preporuka više od 25 % (npr. retinol i nijacin)

**model F-2:** također 3 promatrane veličine odstupaju od preporuka više od 25 %, ali u znatno manjoj mjeri od modela F-1.

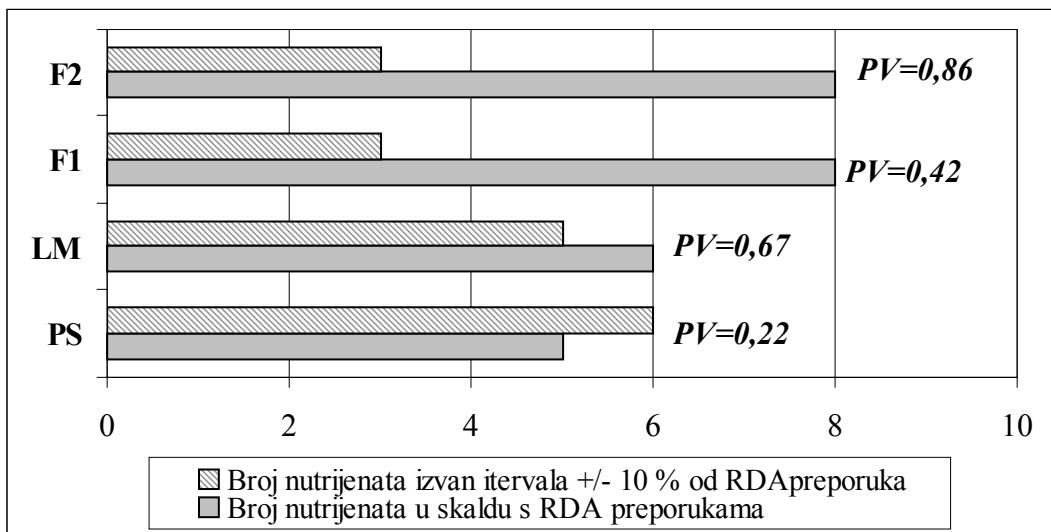
Neizraziti modeli kao rješenja ne nude isključivo precizne vrijednosti već se u nutricionizmu opisuju kao stupanj zdravlja za različit unos pojedinih nutrijenta i prikazuju se pomoću jezičnih varijabli u određenom intervalu. Pokazatelj kakvoće prehrane je PV vrijednost koja svojim vrijednostima ocjenjuje unos nutrijenata prema tablici 1.

Na slici 7. može se zamijetiti izrazita prednost neizrazitih modela (F-1, F-2) ukoliko se promatra usklađenost s RDA preporukama. Početni omjer nutrijenata koji su u skladu s preporukama od: 5:6, znatno se povećao u 8:3 u korist nutrijenata koji zadovoljavaju RDA preporuke što ujedno podrazumijeva i povećanje kakvoće obroka. Kakvoća obroka podrazumijeva usklađen unos namirnica iz pojedinih skupina namirnica u određenom omjeru<sup>15</sup> tijekom dana što i pokazuje tablica 2. Promatranjem modela neizrazitog optimiranja F-1 i F-2 može se vidjeti da oba neizrazita modela imaju isti broj promatranih veličina koje su u skladu s RDA preporukama, ali su im različite PV značajke. Razlog tome je što su u modelu F-2 one veličine koje odstupaju od preporuka ipak nešto bliže preporukama nego što je to slučaj u modelu F-1, ali za model F-2 potreban je manji broj promjena u broju serviranja od početnog modela PS.

Tablica 1. Prerow vrijednosti (PV) pridružene jezičnim varijablama<sup>4,11</sup>.

Table 1. Prerow values (PV) for linguistic variables.

PV	jezične varijable
0-0,1	opasno po život
0,1-0,2	povratni fizički efekti
0,2-0,3	anatomske promjene
0,3-0,4	specifične promjene
0,4-0,5	ne-specifične promjene
0,5-0,6	latentni nedostatak
0,6-0,7	prve biokemijske promjene
0,7-0,8	uravnotežena ponuda
0,8-0,9	vrlo dobro uravnotežena ponuda
0,9-1	idealna ponuda nutrijenata



Slika 7. Odnos promatranih veličina koje su u skladu s RDA preporukama i onih koje znatnije odstupaju za različite modele.

Fig. 7. Comparing of measurements that are in proportion with RDA's, or are not in proportion, for different models.

Tablica 2. Broj serviranja grupa namirnica s izračunatim PV značajkama, prosječnim stupnjem preferencije te relativnom razlikom u cijeni.

Table 2. Number of servings of food groups with calculated PV values, average degree of preference and relative difference of costs.

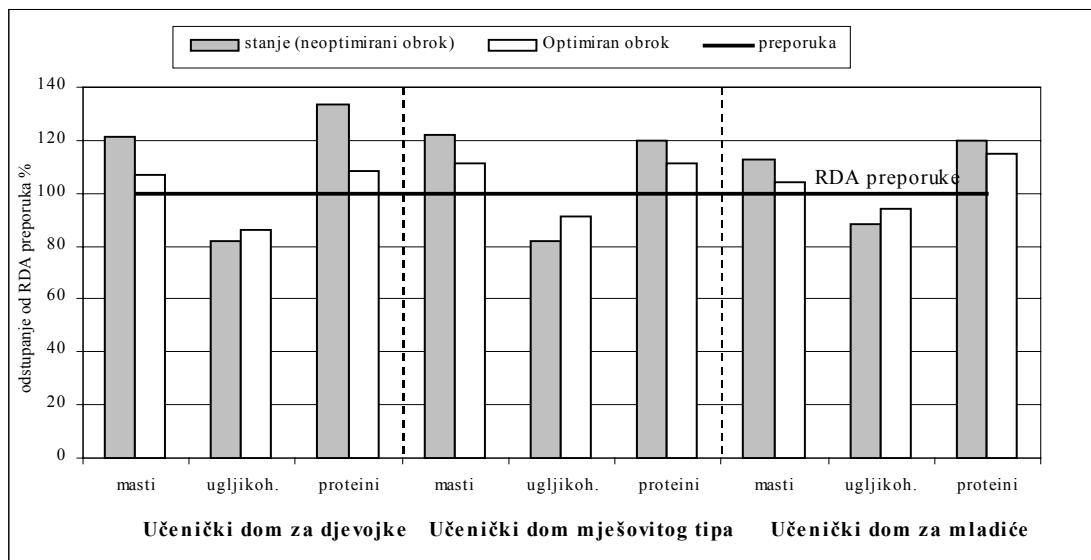
Grupa namirnica	Preporuka <sup>15</sup> br. serviranja	Model			
		PS	L-1	F-1	F-2
Kruh, tjestenina, žitarice, riža	<b>6-11</b>	11	8	8	9
Voće	<b>2-4</b>	2	1	2	3
Povrće	<b>3-5</b>	1	2	2	2
Mlijeko i mlijekočni proizvodi	<b>2-3</b>	2	3	5	3
Meso, perad, riba, grahorice, jaja i orašasto voće	<b>2-3</b>	4	3	2	2
masti, ulja, slatko	<b> rijetko</b>	1	1	0,5	1
<i>odstupanje od RDA preporuka (%)</i>	<b>45,9</b>	<b>43,9</b>	<b>33,8</b>	<b>27,5</b>	
<i>Prerow značajka modela-PV</i>	<b>0,22</b>	<b>0,42</b>	<b>0,67</b>	<b>0,86</b>	
<i>prosječan stupanj preferencije</i>	<b>3,5</b>	<b>4,25</b>	<b>4,31</b>	<b>4,37</b>	
<i>relativna razlika u cijeni</i>	<b>1</b>	<b>0,88</b>	<b>0,93</b>	<b>0,91</b>	
<i>Promjena broja serviranja u odnosu na PS</i>	<b>-</b>	<b>7</b>	<b>9,5</b>	<b>7</b>	

Obzirom da u neizrazitim modelima sadržaj nutrijenata ne zadovoljava u potpunosti RDA preporuke te da PV značajka ukazuje na kvalitativnu vrijednost optimiranog obroka ili jelovnika, u tablici 3. prikazani su rezultati optimiranja za sve tipove učeničkih domova.

Tablica 3. *Odnos PV značajki za jelovnike učeničkih domova prije i nakon optimiranja.*  
 Table 3. *Relation of PV values for boarding school meals for and after optimisation.*

Broj uč. doma	Učenički dom za smještaj djevojaka			Učenički dom mješovitog tipa			Učenički dom za smještaj mladića		
	PV vrijednosti								
	PS	F-1	F-2	PS	F-1	F-2	PS	F-1	F-2
1	0,25	0,66	<b>0,82</b>	0,16	0,63	<b>0,8</b>	0,22	0,62	<b>0,8</b>
2	0,19	0,63	<b>0,78</b>	0,19	0,6	<b>0,82</b>	0,24	0,61	<b>0,8</b>
3	0,2	0,66	<b>0,82</b>	0,27	0,68	<b>0,78</b>	0,29	0,71	<b>0,86</b>
4	0,2	0,57	<b>0,81</b>	0,22	0,7	<b>0,8</b>	0,26	0,64	<b>0,81</b>
5	0,22	0,67	<b>0,86</b>	0,25	0,57	<b>0,84</b>	/	/	/
6	0,22	0,63	<b>0,83</b>	/	/	/	/	/	/

Promatranjem prosječnih vrijednosti sadržaja makro nutrijenata u društveno organiziranim obrocima nakon optimiranja u kojem se koristi neizrazita logika vidljivo je znatno približavanje RDA preporukama, osobito u učeničkim domovima u kojima su smješteni mladići<sup>2,16,17,18</sup>.



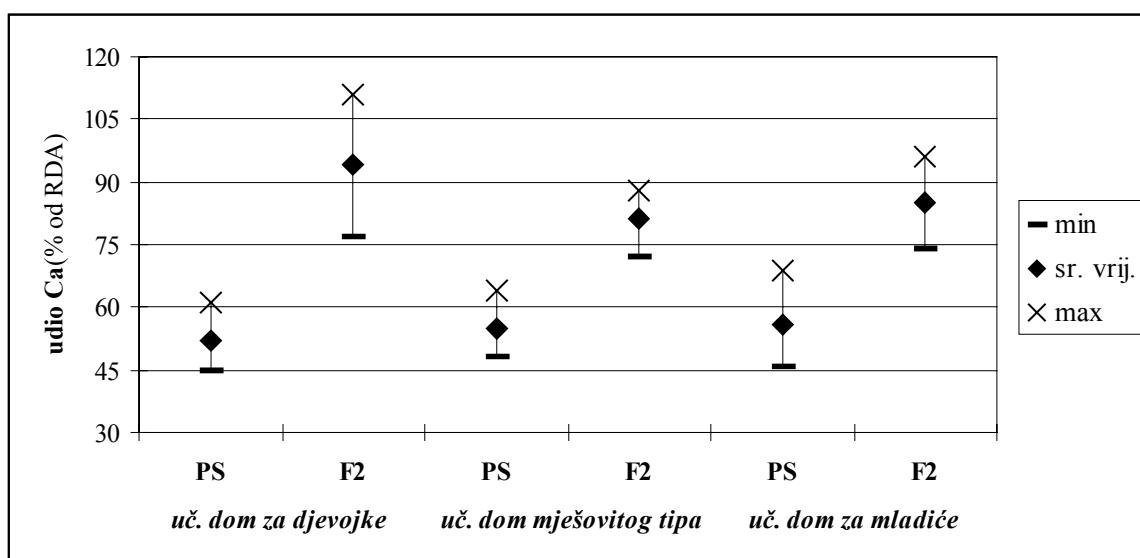
Slika 8. *Relativni unos nutrijenata u prosječnim dnevnim obrocima uspoređenih s RDA preporukama.*

Fig. 8. *Relative nutrition content in average daily boarding school meals compared with RDA's.*

U optimiranim obrocima su promjene u udjelima gradivnih tvari i one koje su nosioci energije (makro nutrijentima) bliže preporukama. U obrocima koji su rezultat primjene neizrazitih modela u planiranju prehrane je smanjen udio masti za 9-13 %, udio

ugljikohidrata je povećan za oko 5-7%, ali je u prosjeku udjel ugljikohidrata još uvijek za oko 10% manji od preporuka, a udio proteina smanjen je za oko 25 % u učeničkim domovima u kojima su smještene djevojke, a svega oko 5% u učeničkim domovima za mladiće (slika 8).

Namirnice koje su izvor proteina predstavljaju i najskuplji dio prehrane, te smanjenjem njihovog udjela, smanjuje se ujedno i cijena obroka, posebno u učeničkim domovima za djevojke, obzirom da je u njima najznačajnije smanjenje udjela proteinski bogatih namirnica<sup>2,18,19,20</sup>.



Slika 9. Prosječan sadržaj kalcija u društveno organiziranim obrocima s pripadnim maksimalnim i minimalnim vrijednostima prije i poslije optimiranja.

Fig. 9. Average content of calcium in boarding school meals with maximum and minimum values, before and after optimisation.

Analiza obroka koji se trenutno nude u učeničkim domovima pokazuje da je prosječan udio kalcija vrlo mali: između 50-60% od RDA preporuka<sup>20,21</sup>. Primjenom optimiranja u skupu neizrazite logike, udio kalcija u obrocima se povećava i zadovoljava unosom prosjeku 80-95% dnevne preporuke, iako je vidljivo da u pojedinim učeničkim domovima za djevojke, udio kalcija čak i prelazi RDA preporuke (111% od RDA preporuka)<sup>22</sup>. U učeničkim domovima za mladiće, u dvije od četiri promatrane ustanove, sadržaj kalcija dostiže 96% od preporuka što je vrlo pozitivno, uzimajući u obzir važnost i ulogu unosa dostahtog sadržaja kalcija u tijeku intenzivnog rasta i razvoja kao što je slučaj s mlađima u dobi od 14 do 18 godina<sup>23,24</sup>, slika 6.

## **Zaključak**

Problem procjene i planiranja prehrane ljudske prehrane je vrlo zahtjevan obzirom da se u planiranju razmatraju različite kombinacije i načini pripreme obroka, jela, međuobroka te stupnjevi preferencije pojedinih namirnica ili jela, te je ključna komponenta u planiranju konačna cijena obroka ili jelovnika.

Prilikom planiranja prehrane za realne probleme, uz neizrazite skupove za nutrijente promatraju se i individualne averzije ili preferencije prema pojedinoj hrani ili obrocima.

Primjena neizrazite logike u optimiranju i planiranju jelovnika za učeničke domove pokazuje svoju opravdanost porastom PV značajke koja je povećana od početnog modela (PS) za oko 3-4 puta u konačnom modelu (F2), a što je ujedno i vrlo dobar pokazatelj kakvoće i raznolikosti prehrane.

Udio masti, ugljikohidrata i proteina nije u potpunosti usklađen s RDA preporukama, ali obzirom da su obroci ocijenjeni stupnjem preferencije, ovako planirani jelovnici mogu imati realnu primjenu u učeničkim menzama.

Udio drugih nutrijenata (u ovom primjeru navedenog kalcija) je bitno povećan i time približen preporučenim vrijednostima, što je jako važno za mlade u dobi od 14-18 godina koji se intenzivno razvijaju i rastu što pokazuju i novija istraživanja u svijetu<sup>12,15,19</sup>. Ovaj pokazatelj je još jedan čimbenik koji opravdava planiranje obroka u skupu neizrazite logike. Rezultat primjene neizrazite logike u planiranju prehrane pokazati će svoju opravdanost i sniženjem cijene prosječnog jelovnika, ovisno o učeničkom domu, od 7-12 %, što je velika ušteda obzirom da su u učeničkim domovima nalazi velik broj učenika.

## Literatura

1. *H.F. Crawley*, Br. J. Nutr. **70** (1993) 15.
2. *K. Gedrich, A. Hensel, I. Binder, G. Karg*, Eur. J. Clin. Nutr. **53** (1999) 309.
3. *B. Wirsam*, Ernähr. Umschau. **42** (1995) 95.
4. *B. Wirsam, A. Hahn, E.O. Uthus, C. Leitzmann*, Eur. J. Clin. Nutr. **51** (1997) 286.
5. *B. Wirsam*, Z. Ernährungswiss. **33** (1994) 230.
6. DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung), Ernährungsbericht, Frankfurt am Main, (1999).
7. RDA -Recommended Dietary Allowances, National Reaserch Council, Washington, D.C., (1989).
8. *B. Wirsam, E.O. Uthus*, J. Nutr.. **126** (1996) S2337.
9. *A. Hahn, P. Pfeifferberger, B. Wirsam, C. Leitzmann*, Ernähr. Umschau, **42** (1995) 367.
10. *D. Đonlagić i sur.* Osnove projektiranja neizrazitih (fuzzy) regulacijskih sustava. KoREMA, Zagreb, 1994.
11. *B. Wirsam, A. Hahn*, Soft Computing in Human-related Sciences, Fuzzy methods in nutrition planning and education and in clinical nutrition, (1999) 335-350.
12. *J. Gajdoš*: Utvrđivanje prehrambenog statusa, modeliranje i optimiranje prehrane u učeničkim domovima. Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu (1998).
13. *A. Kaić-Rak, K. Antolić* (1990) Tablice o sastavu namirnica i pića. Zavod za zaštitu zdravlja RH, Zagreb (1990).
14. Program "DGE-PC", Albat-Wirsam, Linden (1999).
15. *M. L. Brown*, Present Knowledge in Nutrition. International Life Science Institute, Nutrition Foundation, Washington, D.C. (1990).
16. *J.F. Kinzl, C. Traweger, E. Trefalt, B. Mangweth, W. Biebl*, Z. Ernährungswiss. **37** (1998) 336.
17. *B.B. Chaudhuri, P.R. Bhownik*, Pattern Recog. Lett. **19** (1998) 1307.
18. *D.C. Moore*, Am. J. Dis. Child. **142** (1988) 1114.
19. *J.F. Kinzl, C. Traweger, E. Trefalt, W. Biebl*, Z. Ernährungswiss. **37** (1998) 23.
20. *V. Pudel*, Ausgewählte soziokulturelle Einflüsse auf das Ernährungsverhalten. In Ernährungsbericht 1992. Deutsche Gesellschaft für Ernährung. Frankfurt, (1992) 177-222.
21. *R.P. Briefel, M.A. McDowell, K. Alaimo, C.R. Coughman, A.L. Bischoff, M.D. Carroll, C.L. Johnson*, Am. J. Clin. Nutr. **62** (1995) 1072S.
22. *N.L. Bull*, Hum. Nutr. Appl. Nutr. **39A** (1985) 1.
23. *D.C. Moore*, J. Am. Coll. Nutr. **15** (1993) 505.
24. *F. Subar, S.M. Krebs-Smith, A. Cook, L.L. Kahle*, Pediatrics **102** (1998) 913.

## ***Summary***

In this study are optimised menus for pupils accommodated in boarding schools in Zagreb.

Applied is the method of modelling by using fuzzy sets. The results are compared with the optimal values that are obtained with linear programming. All results of optimisation are compared with the extant status of nutrient content of meals in boarding schools. Comparing the mean value of relative percent variation of nutrients with RDA recommendations are determined these values: extent status (PS) deviates for 45.9 %, linear model (LM) for 43.9 %, and for two fuzzy models (F1 & F2) the deviation is 33.8 and 27.5 %. The numbers of servings from different food groups for all models are also compared with the USDA recommendations. Extant menu deviates for 3 servings, and the menus obtained by optimisation vary: for LM in 3 servings, for F1 in 3 servings and for F2 in 1 serving. Comparing optimal menus with extant menu endows those numbers of serving variations: LM for 7; F1 for 9.5; F2 for 7 servings. The objective function in linear models are meal prices and pupils preferences too some meals. In fuzzy models was the PV value the objective function.

For the observed models the amounts of PV values are for PS ( $PV= 0.22$ ), for LM ( $PV= 0.42$ ), for F1 ( $PV= 0.67$ ) and for F2 ( $PV= 0.86$ ), and they are used as an index of food diversity, and indicator of meeting the degree of preferences and RDA recommendations.

The mean degree of menu preference is different for observed models and the value for the PS is 3.5; for LM, 4.25; for the F1, 4.31; and for F2, 4.37 (maximal value is 5).

The menu price is the most efficacious indicator of efficiency for using optimisation in meal planning for groups considering that for a large number of meals can be produced a lot of saving. So the application of linear models in the daily meal planning brings a mean saving from 12 %, and use of fuzzy optimisation results with 7 % savings per person for the fist model and 9 % for the second model.

Adrese autora:

**Jasenka Gajdoš**

Prehrambeno-biotehnološki fakultet  
Pierottijeva 6  
10000 Zagreb

**Želimir Kurtanek**

Prehrambeno-biotehnološki fakultet  
Pierottijeva 6  
10000 Zagreb