

# Neizrazito modeliranje i optimiranje u planiranju prehrane

KUI 9/2003  
Prispjelo 26. studenoga 2001.  
Prihvaćeno 17. srpnja 2002.

J. Gajdoš Kljusurić i Ž. Kurtanjek

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

U radu je prikazana metoda modeliranja funkcija pripadnosti neizrazitim skupovima za nutrijente te metoda dekodiranja neizrazitosti s ciljem procjene stanja i optimiranju jela i jelovnika. Izvedeni su modeli za 11 funkcija pripadnosti neizrazitim skupovima za nutrijente primjenom neizrazite logike.

Za dekodiranje neizrazitosti i ocjenu nutritivne kakvoće izabrana je Prerowa značajka. Funkcija cilja za neizrazite modele je Prerowova značajka (PV) kojom je izražen ukupan unos nutrijenata. Neizraziti model F1 predočuje nutritivnu ponudu koja je neizmijenjena u odnosu na postojeće stanje (PS), a model F2 predočuje nutritivnu ponudu koja dopušta minimalne izmjene i dodatke u nutritivnoj ponudi. Rezultati optimiranja uspoređeni su s postojećim stanjem dobivenim mjerenjem nutritivnih sastojaka društveno organiziranih obroka namijenjenih mladima u dobi od 14 do 18 godina.

Usporedbom srednje vrijednosti relativnog postotnog odstupanja nutrijenata s RDA preporukama (Recommended Dietary Allowances) utvrđene su sljedeće vrijednosti: postojeće stanje (PS) odstupaju 45,9 %, a dva modela neizrazite logike (F1 i F2) odstupaju 33,8 i 27,5 %. Uspoređen je i broj serviranja prema grupama namirnica u odnosu na preporuke USDA. Postojeći jelovnici odstupaju od preporuka za 3 serviranja, a jelovnici dobiveni optimiranjem razlikuju se: za F1 u 3 serviranja i u F2 za 1 serviranje.

Za promatrane modele PV značajka iznosi za: promatrano stanje ( $PV = 0,22$ ), prvi neizraziti model ( $PV = 0,67$ ) te drugi neizraziti model ( $PV = 0,86$ ) te služe kao pokazatelj raznovrsnosti prehrane i usklađenje s preporukama.

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

*ključne riječi:* Neizrazito modeliranje, neizrazito optimiranje, funkcije pripadnosti, prehrana

## Uvod

Pravilna prehrana nužna je za normalno funkcioniranje organizma. Analizom i planiranjem prehrane matematičkim modeliranjem i optimiranjem mogu se ispraviti nepravilnosti te prehranu promijeniti sukladno preporukama ovisno o spolu i životnoj dobi. Neizrazita ("fuzzy") logika je matematički pristup modeliranju sustava koji se vrlo često opisuje riječima koje ne daju kvantitativnu težinu. U navedenu skupinu sustava koji ne mogu biti precizno opisani su i nutritivne dnevne potrebe. Modeliranje neizrazitom logikom uzima u obzir i parametre kao što su različite prehrambene navike pojedinca ili skupine te njihove preferencije prema pojedinim namirnicama i obrocima te cijene obroka ili jelovnika.

Na taj način moguće je poboljšati planove prehrane, koja ujedno omogućuje realniju primjenu u svakodnevnom životu, ali ne mora nužno u potpunosti zadovoljavati sve preporuke.

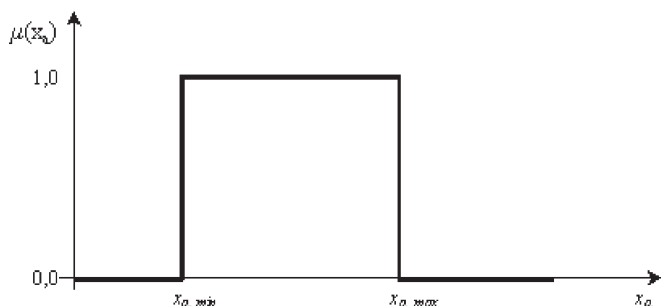
S obzirom da sve namirnice pridonose svojim kemijskim i biokemijskim sastavom kakvoći prehrane, moguće je pri-

mijeniti neizrazite skupove za procjenu potreba organizma za nutrijentima.<sup>3</sup> Preporuke o dnevnom unosu, npr. RDA (Recommended Dietary Allowances), zamijenjene su neizrazitim skupovima. Pripadnost skupovima opisana je funkcijama pripadnosti (engl. membership function) koje se mogu prikazati krivuljama. Pomoću tih 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>

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

Pri tome je  $x$  masa nutrijenta  $a$ , i  $x_{a,\min}$  iskazuje 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>

Dopušteni unos je oštro (izrazito) definiran<sup>10</sup> i kao “neizrastiti 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

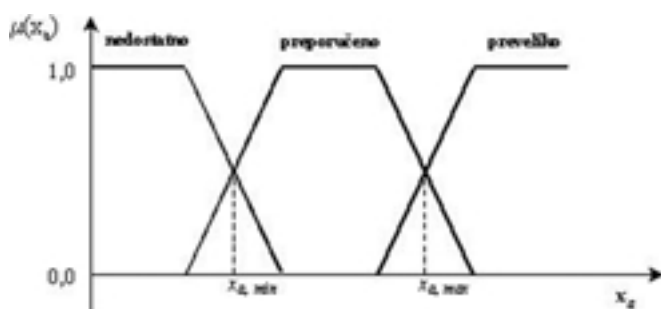
Procjena unosa nutrijenta dijeli se na dopušteno i nedopušteno područje, pri čemu je:

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

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

Preporuke RDA ovise 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 neizrastitim skupovima. Također vrlo često kod optimiranja oštro (izrazito) definirana ograničenja onemogućuju rješavanje problema koji se želio riješiti uz pomoć optimiranja zbog strogosti ograničenja. Stoga je uočena potreba “umekšavanja granica”, što povlači i proširenje dopuštenog područja kako bi se postigla poboljšanja u skladu s ciljevima optimiranja.<sup>2,11</sup>

Potrebni unos nutrijenata u praksi čini neizrastitu veličinu koja se može opisati jezičnim (lingvističkim) varijablama (izrazima). Izrazima su pridruženi neizrastiti skupovi i njihovi stupnjevi pripadnosti. Pri tome se može odrediti kojem lingvističkom izrazu pripada (npr.: nedostatan, preporučeno, preveliko), a istodobno je moguće i ocijeniti unos nutrijenta.



Slika 2 – Neizrastiti skupovi i pripadajuće jezične varijable unosa nutrijenta

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

## Ekperimentalni dio

Za nutrijente koji se promatraju u ocjeni kakvoće obroka, modelirane su funkcije pripadnosti. Promatrano je je 11 slijedećih nutrijenata: *energija, proteini, masti, ugljikohidrati*, minerali: *kalcij i željezo*, te vitamini: *retinol ekvivalent, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C i nijacin*. Za svaku dobnu skupinu, ovisno o spolu, nužno je zasebno definirati svaku neizrastitu funkciju pripadnosti  $\mu_i(x)$ .

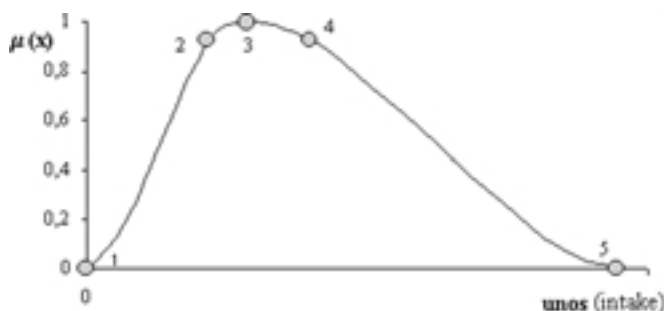
## Modeliranje funkcija pripadnosti neizrastitom skupu za nutrijente

Izdvojene nutritivne veličine za koje su modelirane funkcije pripadnosti neizrastitom skupu su one veličine koje se najčešće promatraju i imaju najveći utjecaj na poremećaj zdravstvenog statusa. Postupak modeliranja funkcija pripadnosti neizrastitom skupu za unos nutrijenata temelji se na definiranju 5 ključnih točaka (slika 3):

1. Neizrastita vrijednost ( $\mu$ ) kada je unos nutrijenta jednak nuli
  - za neesencijalne nutrijente ta je vrijednost veća od nule
  - za esencijalne je jednaka nuli
2. Sigurnosni minimum unosa nutrijenta
3. Optimalan unos nutrijenta
4. Sigurnosni maksimum unosa nutrijenta
5. Toksični unos

Na osnovi tih karakterističnih točaka definira se potpora, jezgra i visina određene funkcije pripadnosti neizrastitom skupu.

Krivulje se razlikuju ovisno o spolu i o dobi. Modelirano je 11 funkcija pripadnosti neizrastitih skupova nutrijenata za djevojke i isto toliko funkcija pripadnosti neizrastitih skupova nutrijenata za mladiće u dobi od 15 do 18 godina. S obzirom da se u radu modeliraju funkcije pripadnosti neizrastitom skupu nutrijenata, za skupinu određene dobi važno je znati da li su za promatrane nutrijente poznati prikladni unosi te je nužno promatrati i razinu neznatno većeg unosa koji je dobar pokazatelj moguće rizičnosti ukoliko je unos nekog nutrijenta znatno veći od potreba pojedinaca u skupini.



Slika 3 – Primjer neizrastitog skupa pridružen varijabli “preporučeno”<sup>3</sup>

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

Ovisno o unosu nutrijenta, za svaki nutrijent se očitava pripadnost neizrazitom skupu,  $\mu(x)$ . Teži se postizanju maksimalne vrijednosti (vrijednost 1) funkcije pripadnosti  $\mu$  za svaki promatrani nutrijent što bi značilo da je unos tog nutrijenta optimalan.

Kako bi se ocijenila ukupna kakvoća namirnice, obroka ili dnevne ponude, nužno je na neki način izraziti ocjenu unosa nutrijenata koja je izražena samo jednom ocjenom odnosno jednim brojem.

### Neizrazita ocjena unosa nutrijenata

Ocjena unosa nutrijenta može se izraziti značajkom određenom na osnovi 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 s minimalnom vrijednošću funkcije pripadnosti nutrijenta u najvećem nedostatku (ili znatnom suvišku).<sup>10,11</sup>

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

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

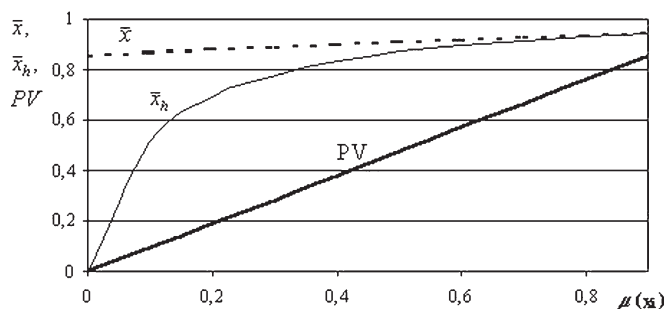
Za razliku od aritmetičke sredine, koja ne iščezava ukoliko jedna varijabla teži prema nuli, harmonijska sredina ima svojstvo da poprima vrijednost nula kada i samo jedna varijabla teži prema nuli. Nutricionističkom interpretacijom tog svojstva ukazuje se na nemogućnost kompenzacije esencijalnih nutrijenata, 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 preporuka RDA, B. Wirsam je uveo PV značajku koja većom masom nutrijentom u nedostatku,  $\mu_i(x_i)$ , određuje srednju vrijednost prema izrazu:<sup>4,5</sup>

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

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  $x_i$  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 prihvatne je vrijednost 0,7.<sup>4</sup>

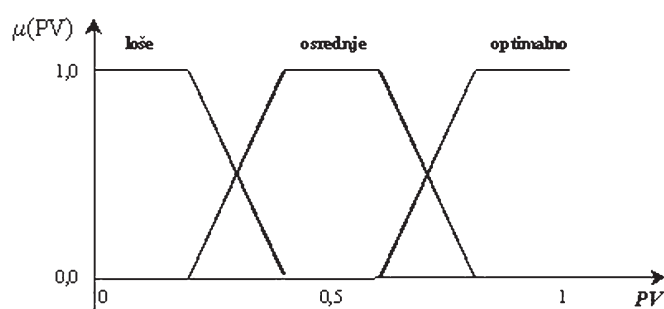
Na slici 4. prikazan je teorijski slučaj od 10 nutrijenata od kojih je 9 u području vrijednosti pripadnosti skupu od 0–0,9, a jedan je u nedostatku, u području vrijednosti  $\mu \in [0, 0,9]$ .

Na slici 4. može se uočiti bitan utjecaj ograničavajućeg nutrijenta na ukupnu ocjenu nutritivnog unosa. Izračunate vrijednosti značajke unosa nutrijenta (harmonijske ili PV sredine) mogu se interpretirati pomoću jezičnih modelacija, 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 4 – Utjecaj minimalne vrijednosti pripadnosti skupu nutrijenata na aritmetičku,  $\bar{x}$  i harmonijsku sredinu,  $\bar{x}_h$  te PV značajku

Fig. 4 – Influence of the minimal value in a set on arithmetic,  $\bar{x}$ , and harmonic mean,  $\bar{x}_h$  and on PV value



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

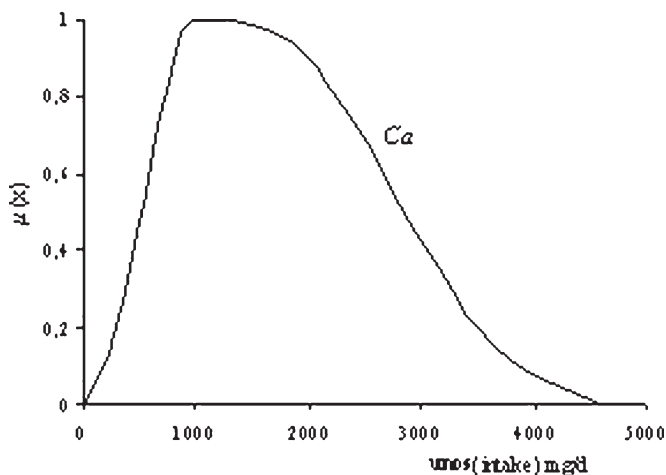
Fig. 5 – Fuzzy sets for evaluation of nutrient intake based on PV value

Pomoću slika 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> Uvođenje neizrazitih uvjeta ograničenja, odnosno eliminacija strogih minimalnih i maksimalnih vrijednosti, omogućava proširenje skupa varijabli za optimiranje.

Primjena navedenih neizrazitih skupova s različitim lingvističkim varijablama je pogodna za analizu prehrane te njenu ocjenu i verbalnu interpretaciju, što je i primijenjeno u ocjeni i planiranju jelovnika. 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 dopušta i proširenje jelovnika (npr. među-obroci). Ukoliko je jelovnik nakon optimiranja u velikoj mjeri usklađen s preporukama, PV vrijednost će biti veća od 0,7.

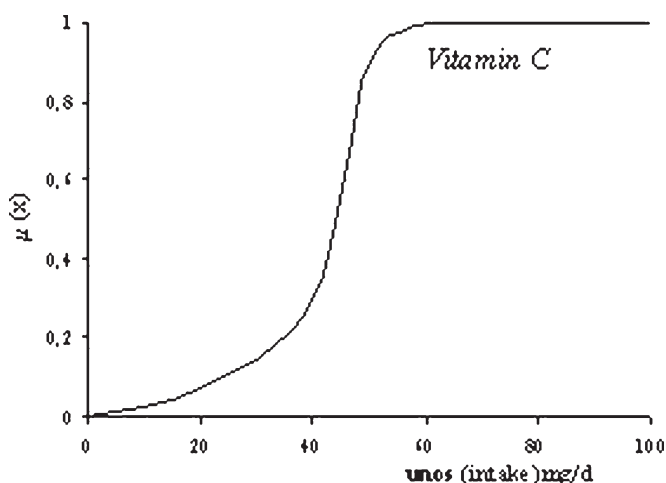
### Rezultati i rasprava

Funkcije pripadnosti neizrazitim skupovima za 11 nutrijenata modelirane su ovisno o dobi i spolu skupine u dobi od 14 do 18 godina. Određuje se pripadnost  $\mu(x)$  za svaki pojedini promatrani nutrijent te se neizrazita vrijednost koja čini nutritivna vrijednost obroka ili kombinacije obroka dekodira pomoću Prerow vrijednosti. Funkcije pripadnosti za kalcij i vitamin C predstavljeni su na slikama 6 i 7.



Slika 6 – Funkcija pripadnosti neizrazitom skupu za nutrijent kalcij

Fig. 6 – Membership function of a fuzzy set for calcium



Slika 7 – Funkcija pripadnosti neizrazitom skupu za nutrijent vitamin C

Fig. 7 – Membership function of a fuzzy set for Vitamin C

Analizirani društveno-organizirani obroci za postojeće stanje (PS) pokazuju vrlo veliko odstupanje od preporuka RDA,<sup>7</sup> a jedna od mogućih posljedica je loš utjecaj na psiho-fizički rast i razvoj skupine mladih kojima su namijenjeni obroci.

Modeli koji se zasnivaju na neizrazitoj logici (F1, F2) pokazuju znatnije približavanje preporukama RDA od promatranog stanja (PS).

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 modelacija u određenom intervalu. Pokazatelj kakvoće prehrane je PV vrijednost koja svojim vrijednostima ocjenjuje unos nutrijenata prema tablici 1.

Kakvoća obroka podrazumijeva usklađen unos namirnica iz pojedinih skupina namirnica u određenom omjeru<sup>15</sup> tijekom dana što i pokazuje tablica 2. Promatranjem rezultata neizrazitog optimiranja, F1 i F2, može se vidjeti da oba neizrazita modela imaju isti broj promatranih veličina koje su u skladu s RDA preporukama, ali su im različite PV

Tablica 1 – Prerov vrijednosti (PV) pridružene jezičnim modelacijama<sup>4,11</sup>

Table 1 – Prerov values (PV) for linguistic variables

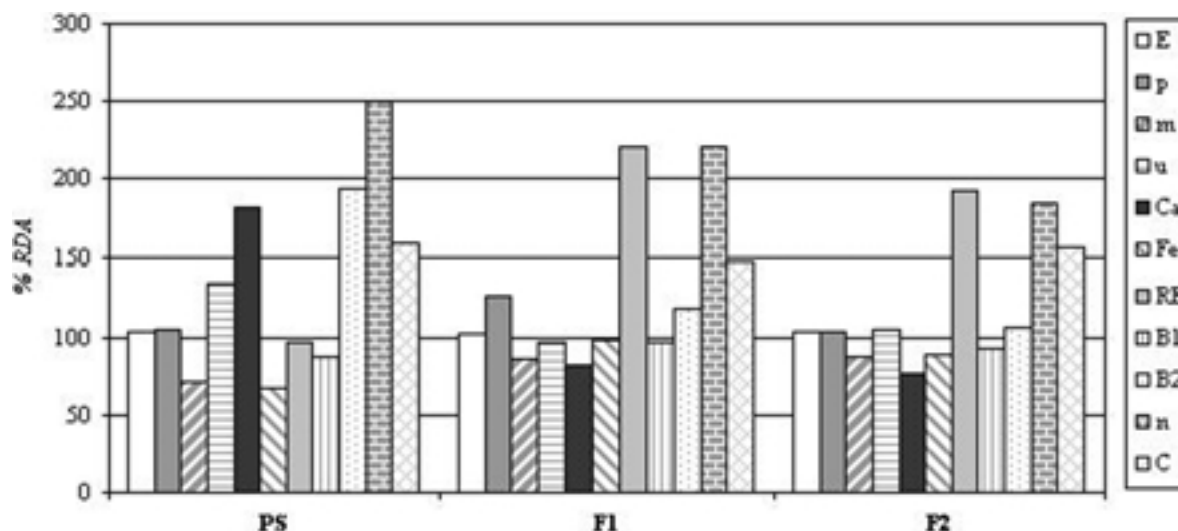
PV	Jezične modelacije Linguistic variables
0–0,1	opasno po život life threatening
0,1–0,2	povratni fizički efekti irreversible physical defects
0,2–0,3	anatomske promjene anatomical changes
0,3–0,4	specifične promjene specific symptoms
0,4–0,5	ne-specifične promjene non-specific symptoms
0,5–0,6	latentni nedostatak first biochemical changes
0,6–0,7	prve biokemijske promjene latent deficiency
0,7–0,8	uravnotežena ponuda well-balanced supply
0,8–0,9	vrlo dobro uravnotežena ponuda well-balanced supply, filled stores
0,9–1	idealna ponuda nutrijenata optimal state of nutrients

značajke. Razlog tome je što su u modelu F2 one veličine koje odstupaju od preporuka ipak nešto bliže preporukama nego što je to slučaj u modelu F1, ali za model F2 potreban je manji broj promjena u broju serviranja od početnog modela PS.

U optimiranim obrocima su promjene u udjelima gradivnih tvari i one koje su nosioci energije (makro nutrijentima) bliže preporukama.

Namirnice koje su izvor proteina čine i najskuplji dio prehrane, te se smanjenjem njihovog udjela smanjuje ujedno i cijena obroka, posebno u društveno organiziranim obrocima namijenjenih djevojkama, s obzirom da je u njima najznačajnije smanjenje udjela proteinski bogatih namirnica.<sup>2,18,19,20</sup>

Analiza društveno organiziranih obroka koji se trenutno nude mladima u dobi od 14 do 18 godina pokazuje, na primjer, da je prosječan udjel kalcija vrlo mali: između 50–60 % od preporuka RDA.<sup>20,21,22</sup> U društveno organiziranim obrocima za mladiće maseni udjel kalcija u prosjeku dostiže 96% od preporuka, što je vrlo pozitivno, uzimajući u obzir važnost i ulogu unosa dostatnog udjela kalcija u tijeku intenzivnog rasta i razvoja, kao što je slučaj s mladima u dobi od 14 do 18 godina.<sup>23,24</sup>



Slika 8 – Energetski i nutritivni unos uspoređen s preporukama RDA za različite modele: PS-postojeće stanje dnevnog jelovnika; F1-prvi model neizrazite logike; F2-drugi model neizrazite logike.

E-energija; p-proteini; m-masti; u-ugljikohidrati; Ca-kalcij; Fe-željezo; RE-retinol ekvivalent; B1-tiamin; B2-riboflavin; n-nijacin; C-askorbinska kiselina.

Fig. 8 – Energetic and nutritive intake compared with RDA's for different models: PS-present status of daily menu offer; F1-first model of fuzzy logic; F2-second model of fuzzy logic.

E-energy; p-proteins; m-fats; u-carbohydrates; Ca-Calcium; Fe-iron; RE-Retinol equivalent; B1-tiamin; B2-riboflavin; n-niacin; C-vitamin C.

Tablica 2 – Broj serviranja grupa namirnica prema preporukama<sup>15</sup> s izračunatim PV značajkama, prosječnim stupnjem preferencije te relativnom razlikom u cijeni

Table 2 – Number of servings of food groups according recommendations<sup>15</sup> with calculated PV values, average degree of preference and relative difference of costs

Grupa namirnica Food Group	Preporuka Recommendation	Model		
		PS	F1	F2
Kruh, tjestenina, žitarice, riža Bread, Pasta, Grain, Rice	6–11	11	8	9
Voće Fruit	2–4	2	2	3
Povrće Vegetable	3–5	1	2	2
Mlijeko i mliječni proizvodi Milk & milk products	2–3	2	5	3
Meso, perad, riba, grahorice, jaja i orašasto voće Meat, Poultry, Fish, Beans, Eggs, Walnuts	2–3	4	2	2
Masti, ulja, slatko Fats, Oils, Sweets	rijetko seldom	1	0,5	1
Odstupanje od preporuka RDA (%) Deviation from RDA recommendations (%)		45,9	33,8	27,5
Prerow značajka modela-PV Prerow value of the model (PV)		0,22	0,67	0,86
Relativna razlika u cijeni Relative price difference		1	0,93	0,91

## Zaključci

Modeliranje funkcija pripadnosti neizrazitom skupu za 11 nutrijenata ovisi o dobi, spolu, ovisno o pet ključnih točaka za modeliranje funkcija pripadnosti. Modeli funkcija pripadnosti uključene su u postupak optimiranja u skupu neizrazite logike.

Procjenitelj kakvoće obroka ili jelovnika, odnosno značajka koja služi za dekodiranje neizrazitosti je Prerowa vrijednost.

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

Udjel drugih nutrijenata (u ovom primjeru navedenog kalcija) bitno je 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 pokazuje i novija istraživanja u svijetu.<sup>12,15,19</sup> Taj pokazatelj je još jedan čimbenik koji opravdava planiranje obroka u skupu neizrazite logike. Rezultat primjene neizrazite logike u planiranju prehrane pokazat će svoju opravdanost i sniženjem cijene prosječnog jelovnika od 7–12 %, što je velika ušteda s obzirom da su u društveno organiziranu prehranu uključuje veći broj obroka dnevno.

## 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, *Ernahr. 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 Research Council, Washington, D.C. 1989.
8. B. Wirsam, E. O. Uthus, *J. Nutr.* **126** (1996) S2337.
9. A. Hahn, P. Pfeiffenberger, 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*, CRC Press LLC, 1999, 335–350.
12. J. Gajdoš, *Utvrdjivanje prehranbenog statusa, modeliranje i optimiranje prehrane u učeničkim domovima*. Prehrambeno-biotehnoški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1998.
13. A. Kaić-Rak, K. Antolić, *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. Bhowmik, *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. Pudiel, *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. Bischof, 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

### Fuzzy Modelling and Optimising Used in Meal Planning

J. Gajdoš and Ž. Kurtanjek

#### Methods

For the construction of a membership function of a fuzzy set, five points are used (Fig. 3):

1. The fuzzy value for zero intake. For essential nutrients this value is 0, for semi-essential nutrients this fuzzy value lies between 0 and 1, and for some other substances (for example alcohol) the optimal status is reached at no intake. The fuzzy value is 1.
2. Safe minimum limit, corresponding to a fuzzy value of 0.9.
3. Optimal intake, corresponding to a fuzzy value of 1.
4. Safe upper limit, corresponding to a fuzzy value of 0.9.
5. The toxic area, corresponding to a fuzzy value of 0.

Membership functions are different for different age and gender group. Modelled are membership functions for 11 nutrients (energy, fats, proteins, carbohydrates, minerals: Ca, Fe, vitamins: retinol equivalent, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C, niacin). Prerow value, modified harmonic mean (Eq. 4) is used for defuzzification, as it is shown in Fig 4., as best method that has a large influence of small values.

Using fuzzy logic, present state of meals intended for female and male students aged 14 to 18 years, can be evaluated.

Improvements of nutrients share are made by optimisation in the set of fuzzy logic. This is presented in Fig. 6. According to table 1., the results of meal optimisation, using fuzzy logic, show that the meal offer can be in the range of well-balanced supply (table 2.-model F2).

#### Conclusions

Modelling of membership functions of a fuzzy set for 11 nutrients are determined according to age and gender following five key points. Prerow value is used for defuzzification of evaluated present state and optimised meal offers.

Using fuzzy logic in optimisation and meal planning shows its validity by increasing of PV value for 3–4 times from the nutrient quality of the present state (PS) to the F2 model.

Share of other nutrients have also been increased and meat recommendations, what is very important in a stage of intensive growing for teenagers at age of 14 to 18 years<sup>12,15,19</sup>. This indicator is more characteristic, it improves meal planning by using fuzzy logic. Important result of optimisation is average daily saving per meal from 7–9 %.