Revija za univerzalno odličnost, Članek
Marec 2016, letnik 5, številka 1, str. 65–88.

Mehko odločanje po več lastnostih - primer univerze

Janez Usenik*
Fakulteta za organizacijske študije v Novem mestu, Novi trg 5, 8000 Novo mesto, Slovenija
janez.usenik@guest.arnes.si

Meta Vidiček
Visoka šola za upravljanje podeželja Grm Novo mesto, Sevno 13, 8000 Novo mesto, Slovenija
meta.vidicek@vsgrm.unm.si

Povzetek:
Raziskovalno vprašanje: Ustanavljanje univerze (v nekem kraju, to je lahko tudi Novo mesto) je dolgotrajen in izjemno pomemben proces. Upoštevati je potrebno veliko kriterijev, ki vplivajo na odločitev o tem, kakšna organizacijska oblika bi bila racionalna in najugodnejša. Vprašanje, na katerega bomo odgovorili, se glasi: ali je možno z uporabo kvantitativnih metod ugotoviti smiselno organizacijsko obliko univerze in kako to storimo?
Namen: Namen in cilj raziskovanja je odgovoriti na zgornje vprašanje in s tem dati odločevalcem možnost uporabe dodatnih nevtralnih informacij.
Metoda: V raziskavi uporabljamo metodo odločanja po več lastnostih (multiple attribute decision making). S kombinacijo metode AHP in algoritma VIKOR dobimo rešitev zastavljenega problema, ko so vhodni podatki ostra števila. Ker pa so vhodni podatki marsikdaj, v primeru ustanavljanja univerze ap sploh, predvsem opisni besedni termi, vpeljemo v algoritem še principe mehke logike. Sinteza vseh metod je v raziskavi uporabljena metoda mehkega odločanja po več lastnostih.
Rezultati: Rezultati raziskave pokažejo, da je uporabljen znanstveni instrumentarij smiseln in nedvoumno odgovarja na zastavljeno vprašanje. Seveda pa je pri tem, kot pri vsaki kvantitativni metodi, potrebno upoštevati robustnost vhodnih podatkov.
Organizacija: Rezultati raziskave imajo lahko direkten vpliv na odločanje o organizaciji možn nove univerze.
Družba: Vpliv raziskave na družbo, socialno odgovornost in okolje je direkten, saj uporabljeni algoritem upošteva prav te komponente.
Originalnost: Raziskava je originalna v (vsaj) dvojem: a) definira vpeljavo mehkih množic v eno od metod operacijskih raziskav in s tem omogoča veliko fleksibilnost pri uporabi deloma nenatančnih in le besedno definiranih kriterijev/podatkov ter b) uporabi algoritem na primeru ustanavljanja univerze, kar iz literature še ni poznano.
Omejitve/nadaljnje raziskovanje: Omejitve in hkrati tudi (paradoksalno) prednosti raziskave so v interpretaciji in uporabi vhodnih podatkov. Nadaljevanje raziskave pa mora iti v smeri uporabe senzitivnostne analize rezultatov in postopni vpeljavi celovitega mehkega pristopa, v končni fazi tudi v nadgradnjo algoritma z nevronskim učenjem.

Ključne besede: Odločanje po več lastnostih, alternative, kriteriji, mehka množica, rangiranje.

* Korespondenčni avtor.

Prejeto: 15. februar 2016; revidirano: 18. februar 2016; sprejeto: 24. februar 2016.

1 Uvod

Vsi (vsaj odrasli) moramo dnevno sprejemati različne odločitve, bodisi v službi, bodisi v zasebnem življenju. Odločiti se moramo npr. o tem, kaj bomo imeli za kosilo, o tem, če bi se na dopust odpravili z avtom ali z letalom, pa o tem, kako opraviti poslovni pogovor in skleniti (ali ne) posel itd. Skratka, odločitve so pomemben in stalni del našega življenja. Nekatere so enostavnejše, nekatere bolj zahtevne, nekatere pa so celo življenjskega pomena. Sprejemamo jih na podlagi znanja, izkušenj, razpoložljivih informacij, pa tudi intuicije. Za pomembne odločitve potrebujemo predvsem mnogo podatkov, ki nam odločanje vsaj deloma poenostavijo in da s tem postane celoten postopek bolj objektiven.

V profesionalnem delu je odločanje izjemnega pomen in delo odločevalca nikakor ni enostavno, zato potrebuje resen in tudi formalno utemeljen pristop k sprejemanju odločitev. Odločitve, ki jih morajo sprejemati odločevalci, so npr. izbor optimalnih zalog glede na povpraševanje in proizvodne kapacitete, izbor optimalnega mrežnega diagrama projekta, izbor najugodnejše lokacije za novo tovarno, izbiro najboljšega izvajalca za izvedbo gradbenih del in podobno, pa tudi izbor najugodnejše oblike univerze v mestu/regiji in podobno. V splošnem se je vedno potrebno odločiti za eno od možnosti, ki so na razpolago in/ali te možnosti tudi razvrstiti (rangirati) po pomembnosti. Razvrščanje možnosti (alternativ) vedno izvedemo glede na več lastnosti (kriterijev), ki so včasih lahko tudi medsebojno protislovne. Recimo, da podjetje proizvaja nek artikel, ki daje premajhen dobiček. V tem primeru je potrebno bodisi zmanjšati stroške bodisi povečati ceno izdelka. Zaradi višje cene se lahko zniža povpraševanje, po drugi strani pa bi zaradi manjših stroškov lahko znižali tudi ceno in povpraševanje bi se povečalo. Ko pa se povpraševanje spremeni, mora podjetje spremeniti proizvodni načrt in vse, kar je z njim povezano. Vsaka sprememba proizvodnega načrta pa ima lahko vpliv na druge proizvode podjetja, na izkoriščenost kapacitet, na zaposlenost itd. Gre torej za kompleksne in povezane pojave, ki jih mora odločevalec v svoji presoji upoštevati.

Izvedba vsakega postopka odločanja zahteva naslednje (Waters, 1997): a) odločevalec je vedno odgovoren za svojo odločitev, b) odločevalec pozna alternative, od katerih mora izbrati najugodnejšo, c) odločevalec mora v procesu odločanja vedno izbrati eno možnost, d) po končanem izboru lahko pride do dogodkov, na katere odločevalec nima vpliva, e) vsaka izbora alternative predstavlja neko kvantitativno merljivo količino.

Pri problemih izbira odločevalec med več alternativami, za katere pozna kriterij s posledico, dan s spremenljivo količino (cena, masa, ..). V veliko situacijah (ali celo v večini) pa je izbor posamezne alternative vezan na več kriterijev. V takšnih primerih govorimo o odločitvah po več lastnostih oz. kriterijih. Za reševanje problemov te narave je razvitih več metod, kot so: kriterij minmax, kriterij maxmin, Paretova metoda rangiranja, metoda AHP (analitično hierarhični proces), metoda tarče VIKOR (Winston, 1994).

Pri teoriji odločitev se v splošnem pojavi problem podatkov, ki niso eksaktni, ampak so lahko le približni, nedoločeni, nejasni, dvomljivi. V takšnih primerih govorimo o mehkih podatkih, s katerimi se ukvarja teorija mehkih množic. Odločevalec mora velikokrat delovati v takšnem mehkem pristopu, ki terja sintezo teorije odločanja po več lastnostih in mehke logike (Ross, 2007), (Teodorović, Vukadinović**,** 1998), (Bogataj, Usenik, 2005), (Usenik, Bogataj, 2005). Na ta način pridemo do mehkega odločanja po več lastnostih, ki ga bomo obravnavali v nadaljevanju. Tudi tu je razvitih več metod, v nadaljevanju bomo z nekaj dopolnitvami uporabili Chen in Hwangov algoritem (Chen, Hwang, 1992).

V raziskavi bomo pokazali, kako generalizirano mehko metodo odločanja po več lastnostih uporabimo na zelo aktualnem problemu organizacijske oblike bodoče univerze, ki se lahko ustanovi v nekem slovenskem kraju, npr. v Novem mestu.

2 Teoretična izhodišča

2.1 Odločanje po več lastnostih (kriterijih)

V postopku odločanja se odločevalec odloči za neko možnost (alternativo) glede na posledice, ki jo ta možna alternative povzroči. V večini primerov je takšen izbor odvisen ne le od ene, pač pa od več posledic in tedaj govorimo odločanju po več lastnostih, (Usenik, 2008).

Vzemimo, da imamo znanih m alternativ $A_1, A_2, \ldots, A_m$ in n lastnosti (kriterijev) $X_1, X_2, \ldots, X_n$.

Označimo z x_{ij} kvantitativno karakteristiko, ki pove kako alternativa A_i, $i = 1, 2, \ldots, m$ zadošča pogoju (kriteriju) X_j, $j = 1, 2, \ldots, n$, kar prikažemo s tabelo odločitev (Tabela 1).

Tabela 1**:** Tabela odločitev za *m* alternativ in *n* kriterijev

kriterij / alternativa	X_1	X_2	•	•	X_n
A_1	x_{11}	x_{12}	•	•	x_{1n}
A_2	x_{21}	x_{22}	•	•	x_{2n}
•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•
A_m	x_{m1}	x_{m2}			x_{mn}

Kvantitativne podatke iz odločitvene tabele prikažemo z matriko odločanja *D*:

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} = \left[x_{ij} \right]_{m \times n}$$

Na osnovi tako danih podatkov želimo razvrstiti (rangirati) alternative po pomembnosti za odločevalčevo presojo.

Najprej ugotavljamo pomembnost kriterijev $X_1, X_2, \ldots, X_n$. V ta namen uporabimo metodo AHP - analitično hierarhični proces.

2.1.1 Metoda AHP

Vzemimo *n* kriterijev $X_1, X_2, \ldots, X_n$, ki jih želimo glede na njihov pomembnost pri odločanju razvrstiti po hierarhiji. V ta namen uvedemo kvadratno matriko *A* reda *n*, ki jo imenujemo matrika primerjave po parih (2.01).

Posamezen element a_{ij} te matrike pomeni primerjavo pomembnosti kriterija *i* glede na kriterij *j*. To pomembnost merimo z lestvico vrednosti od 1 do 9 takole (Winston, 1994).

Tabela 2: Primerjava pomembnosti

pomembnost	Interpretacija
1	Kriterija *i* in *j* sta enako pomembna
3	Kriterij *i* je le malo pomembnejši od kriterija *j*
5	Kriterij *i* je le precej pomembnejši od kriterija *j*
7	Kriterij *i* je zelo pomembnejši od kriterija *j*
9	Kriterij *i* je absolutno pomembnejši od kriterija *j*
2,4,6,8	Vmesne vrednosti, na primer pri vrednosti 2 je kriterij *i* po pomembnosti med enako in rahlo pomembnostjo glede na kriterij *j*
Recipročne vrednosti: 1, 1/2, 1/3, …..	Meri povezavo kriterija *j* gleda na kriterij *i*

Za vsak *i* (*i* = *1,2,…, n*) velja $a_{ii} = 1$. Vrednost $a_{ij} = k$, $k > 1$ pomeni, da je kriterij *i* k-krat pomembnejši od kriterija *j*. Seveda pri tem velja načelo recipročnosti, torej $a_{ji} = k^{-1}$.

Označimo z w_i utež kriterija *i*. Vzemimo, da je odločanje v celoti dosledno, da se torej ravna po enakih (objektivnih) načelih. V tem primeru je matrika primerjave po parih takšna:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \cdots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \cdots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \cdots & \frac{w_{n1}}{w_n} \end{bmatrix} \qquad (2.01)$$

Vzemimo, da je za reševanje konkretnega problema znana matrika *A*. Iz te matrike dobimo vektor uteži $\vec{w} = \begin{bmatrix} w_1 & w_2 & \cdots & w_n \end{bmatrix}$ kot netrivialno rešitev enačbe $A\vec{w}^T = b\vec{w}^T$ (Winston, 1994, Usenik, 2008).

Upoštevajmo možnost, da odločevalec pri kreiranju matrike morda ni popolnoma verodostojen/konsistenten. Naj bo tedaj $b_{\max}$ največje število, pri katerem ima enačba $A\vec{w}^T = b\vec{w}^T$ netrivialno rešitev $\vec{w}_{\max}$. Če odločevalčeve primerjave niso močno napačne glede na idealno možnost, bi pričakovali, da bo $b_{\max}$ blizu števila *n* in vektor $\vec{w}_{\max}$ blizu vektorju $\vec{w}$. V tem primeru lahko kot rešitev namesto vektorja $\vec{w}$ vzamemo kar njegov približek, to je vektor $\vec{w}_{\max}$. Da dobimo takšen približek $\vec{w}_{\max}$, pa uporabimo dvostopenjsko proceduro, ki poteka takole:

- prvi korak: matriko normaliziramo, kar pomeni, da delimo vsak element stolpca *i* te matrike z vsoto vseh vhodov v stolpec *i*, $i = 1, 2, \ldots, n$ in s tem dobimo normalizirano matriko A_{NORM}.
- drugi korak: poiščemo približek $\vec{w}_{\max}$, ki ga bomo uporabili za napoved vektorja $\vec{w}$. V ta namen ocenimo vsak w_i, $i = 1, 2, \ldots, n$, kot povprečje vhodov v stolpec *i* matrike A_{NORM}.

V zaključku procedure moramo še preveriti konsistenco odločitvenih primerjav, kar storimo v štirih korakih.

- prvi korak: izračunamo produkt matrik $A\vec{w}^T$,
- drugi korak: izračunamo število $N = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \frac{i - \text{ti element v matriki } A\vec{w}^T}{i - \text{ti element } v \text{ vektorju } \vec{w}^T}$,
- tretji korak: izračunamo indeks usklajenosti (konsistentnosti) *CI* po formuli $CI = \frac{\mathrm{N} - n}{n - 1}$,
- četrti korak: primerjamo *CI* s slučajnim indeksom *RI* za pripadajoče vrednosti *n*, ki so podani v tabeli 3, (Winston, 1994).
-

Tabela 3: Vrednosti slučajnega indeksa *RI*

n	*RI*
2	0
3	0,58
4	0,90
5	1,12

Če je koeficient *CI* majhen, je odločevalčeva primerjava dovolj dosledna in izračunane uteži lahko brez zadržkov uporabimo. V splošnem velja empirično pravilo (Winston, 1994): ko je $\frac{CI}{RI} < 0{,}10$, je stopnja konsistence zadovoljiva, ko pa je $\frac{CI}{RI} > 0{,}10$, stopnja konsistence ni dobra in v nadaljevanju postopka lahko pride do neusklajenosti. Če je kvocient $\frac{CI}{RI}$ veliko večji od 0,10, pa moramo postopek ponoviti od začetka, torej ponovno ugotavljati uteži posameznih kriterijev in njihovo medsebojno odvisnost.

Ko je postopek končan, smo določili uteži za vsak kriterij. Metoda AHP je zaključena, v nadaljevanju moramo na tej osnovi rangirati izbor alternativ. V ta namen bomo uporabili metodo VIKOR (Teodorović, Vukadinović, 1998), (Moradi, Maleki, Pilehrood, 2015), ki temelji na primerjavi razlik vsake posamezne alternative od a) idealne najboljše možnosti in b) idealne najslabše možnosti.

Postopek VIKOR poteka tako, da matriki odločitev D najprej priredimo normalizirano odločitveno matriko D':

$$D' = \begin{bmatrix} d'_{11} & d'_{12} & \cdots & d'_{1n} \\ d'_{21} & d'_{22} & \cdots & d'_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ d'_{m1} & d'_{m2} & \cdots & d'_{mn} \end{bmatrix} \tag{2.02}$$

Elemente matrike D' izračunamo iz elementov matrike D po formuli

$$d'_{ij} = x_{ij} \cdot \left(\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \qquad i = 1, 2, \ldots, m\,; \;\; j = 1, 2, \ldots, n \tag{2.03}$$

V naslednjem koraku vsak stolpec v matriki D' pomnožimo z utežjo w_j (*j = 1, 2, …., n*), ki pripada posameznemu stolpcu in smo jo dobili po AHP metodi. Na ta način dobimo matriko V

$$V = \begin{bmatrix} w_1 d'_{11} & w_2 d'_{12} & \cdots & w_n d'_{1n} \\ w_1 d'_{21} & w_2 d'_{22} & \cdots & w_n d'_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_1 d'_{m1} & w_2 d'_{m2} & \cdots & w_n d'_{mn} \end{bmatrix} \tag{2.04}$$

Metoda VIKOR sedaj zahteva, da določimo:

4 idealno najboljšo rešitev A^+,

5 idealno najslabšo rešitev A^-

in nato poiščemo povprečno vrednost obeh idealnih možnosti.

Če je za posamezno alternativo kriterij iskanje minimuma, je takšna alternativa ugodnejša, če idealna najboljša rešitev zavzame najmanjšo vrednost, idealna najslabša rešitev pa največjo, zato velja:

$$\begin{aligned} A^+ &= \left\{ \left(\min v_{ij} \,\middle|\, j \in J \right) \middle|\, i = 1, 2, \ldots, m \right\} = \left\{ v_1^+, v_2^+, \ldots, v_n^+ \right\} \\ A^- &= \left\{ \left(\max v_{ij} \,\middle|\, j \in J \right) \middle|\, i = 1, 2, \ldots, m \right\} = \left\{ v_1^-, v_2^-, \ldots, v_n^- \right\} \\ J &= \left\{ j = 1, 2, \ldots, n \,\middle|\, j \text{ zadošča kriteriju minimuma} \right\} \end{aligned} \tag{2.05}$$

Če pa je za alternativo kriterij iskanje maksimuma, je takšna alternativa ugodnejša, ko idealna najboljša rešitev zavzame največjo vrednost, idealna najslabša rešitev pa najmanjšo, zato velja:

$$\begin{aligned} A^{+} &= \left\{ \left(\max v_{ij} \,\middle|\, j \in J \right) \,\middle|\, i = 1, 2, \ldots, m \right\} = \left\{ v_1^{+}, v_2^{+}, \ldots, v_n^{+} \right\} \\ A^{-} &= \left\{ \left(\min v_{ij} \,\middle|\, j \in J \right) \,\middle|\, i = 1, 2, \ldots, m \right\} = \left\{ v_1^{-}, v_2^{-}, \ldots, v_n^{-} \right\} \\ J &= \left\{ j = 1, 2, \ldots, n \,\middle|\, j \text{ zadošča kriteriju maksimuma} \right\} \end{aligned} \tag{2.06}$$

Odmik S_i^{+} alternative od pozitivne idealne možnosti je kot Evklidska razdalja dana z izrazom

$$S_i^{*} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - v_j^{+} \right)^2} = \sqrt{\left(v_{i1} - v_1^{+} \right)^2 + \left(v_{i2} - v_2^{+} \right)^2 + \cdots + \left(v_{in} - v_n^{+} \right)^2} \quad i = 1, 2, \ldots, m \tag{2.07}$$

Odmik S_i^{-} alternative od negativne idealne možnosti pa je

$$S_i^{-} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - v_j^{-} \right)^2} = \sqrt{\left(v_{i1} - v_1^{-} \right)^2 + \left(v_{i2} - v_2^{-} \right)^2 + \cdots + \left(v_{in} - v_n^{-} \right)^2} \quad i = 1, 2, \ldots, m \tag{2.08}$$

V optimalni rešitvi mora biti negativni odmik čim manjši, torej $S_i^{-} \to 0$. To pomeni, da bo povprečna razdalja C_i^{*} alternative A_i , $i = 1, 2, \ldots, m$ takšna (Teodorović, Vukadinović, 1998), (Usenik, 2008):

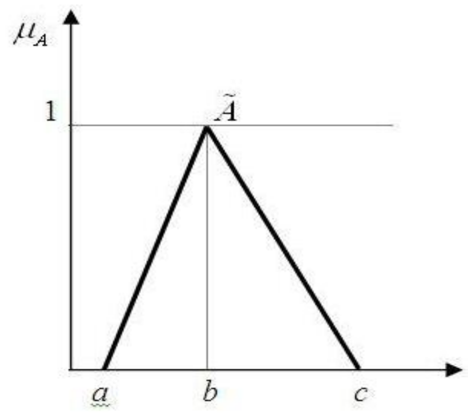
$$C_i^{*} = \frac{S_i^{-}}{S_i^{+} + S_i^{-}}, \qquad C_i^{*} \in [0, 1], \qquad i = 1, 2, \ldots, m$$

(2.09)

tem manjša, čim manjši bo S_i^{-}. To pomeni, da z uporabo kriterija (2.09) poteka rangiranje alternativ $A_1, A_2, \ldots, A_m$ glede na vrednosti števila C_i^{*} proporcionalno, torej večji vrednosti števila C_i^{*} ustreza višji rang alternative in obratno.

2.2 Mehke množice, mehka števila

Mehka logika je »stara« 50 let (Guerra, Sala, Tanaka, 2015). V tem času je dosegla neverjeten vzpon, ki temelji predvsem na njeni uporabnosti in zelo pogojno rečeno preprostosti. Osnovni element mehke logike je pojem mehke množice. Temeljna lastnost klasične množice *A* je ta, da nek element bodisi pripada ali pa ne pripada tej množici. Mehka množica se razlikuje od klasične množice v tem, da za njene elemente ne velja tako stroga zahteva, element lahko mehki množici pripada, lahko ji ne pripada, lahko pa ji pripada tudi nekoliko bolj ali nekoliko manj in podobno. Če označimo z $\mu(x)$ pripadnostno funkcijo, ki določa stopnjo pripadnosti elementa dani množici, potem je za klasično množico res le $\mu_A(x) = 0$ (ne pripada) ali pa $\mu_A(x) = 1$ (pripada). Pri mehki množici pa pripadnostna funkcija lahko zavzame vse vrednosti med 0 in 1. Mehka množica $\tilde{A}$ je množica urejenih parov $\tilde{A}=\{(x,\mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x\in R\}$, kjer je x element mehke množice, ki zavzame vse vrednosti z vnaprej določenega definicijskega območja, $\mu_{\tilde{A}}(x)$ pa je pripadnostna funkcija (mehke) spremenljivke *x*. Ena od standardnih oblik pripadnostne funkcije je trikotna oblika (slika 1).



Slika 1: Trikotna pripadnostna funkcija mehke množice $\tilde{A}=(a,b,c)$

Analitični zapis takšne funkcije je:

$$\mu_{\tilde{A}}=\begin{cases} \frac{1}{b-a}x-\frac{a}{b-a} & za\ a\le x\le b \\ -\frac{1}{c-b}x+\frac{c}{c-b} & za\ b\le x\le c \\ 0 & drugod \end{cases} \tag{2.10}$$

3 Metoda

3.1 Odločanje po več lastnostih z mehkim pristopom

Problem odločanja po več lastnostih je definiran z odločitveno matriko *D*. Elementi matrike *D* so v konkretnih primerih konkretni podatki (npr. cena, dolžina, razdalja, čas in podobno) in so dani z nekim številom (npr. 10 EUR, 2 km, 20 minut,…). V vsakdanjem ravnanju pa so večinoma podatki le približni, nenatančni, lahko jih le opišemo z besedami, npr. poceni, drago, blizu, še kar dobro in podobno. Ti in podobni besedni opisi (termi) pa so ravno mehke množice, določene s pripadnostnimi funkcijami, ki jih kreiramo za posamezne primere.

V takšnih primerih elementi odločitvene matrike niso več zgolj ostra števila, pač pa za nekatere kriterije tudi opisni, torej mehke množice (Usenik, 2008), (Usenik, Turnšek, 2013).

Matrika *D* torej lahko poleg eksaktnih vrednosti (ostrih števil) vsebuje tudi mehke množice (mehka števila), opisane z besedami. Zaradi tega je seveda problem odločanja po več lastnostih, kjer se kot podatki pojavijo tudi mehke množice, potrebno modificirati.

Mehko odločanje po več lastnostih bomo reševali v dveh korakih: a) najprej bomo mehke izraze nadomestili z ostrimi števili, tako da bo odločitvena matrika D vsebovala le ostre številčne podatke, nato pa bomo b) problem reševali naprej po algoritmu, ki je opisan v točki 2.1 (AHP, VIKOR).

Načinov in metod, kako pretvorimo mehka števila v ostra števila, je več, načeloma gre za postopek rangiranja mehkih množic. V tem članku bomo v ta namen uporabili metodo Chena in Hwanga (Chen, Hwang, 1992). Po tej metodi dobimo iz mehke množice ostro število z uporabo dveh posebnih mehkih množic: mehki minimum in mehki maksimum, ki sta definirani s pripadnostnima funkcijama (3.01) in (3.03), prikazani pa na sliki 2.

$$\mu_{\max}(x) = \begin{cases} x, \; 0 \le x \le 1 \\ 0, \text{ drugod} \end{cases} \tag{3.01}$$

$$\mu_{\min}(x) = \begin{cases} -x+1, & 0 \le x \le 1 \\ 0 & \text{drugod} \end{cases} \tag{3.02}$$

S pomočjo mehkih množic mehki minimum in mehki maksimum izračunamo levo $\mu_L(\tilde{A})$ in desno pripadnost $\mu_R(\tilde{A})$ mehke množice $\tilde{A}$.

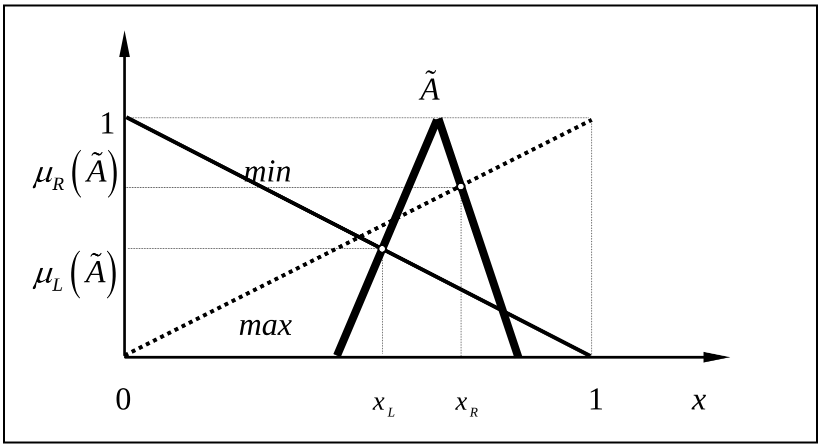
Leva in desna vrednost pripadnosti sta določeni z izrazoma (3.03) in (3.04).

$$\mu_R(\tilde{A}) = \max_x\left(\mu_{\tilde{A}\cap\max}(x)\right) = \max_x\left\{\min\left[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\max}(x)\right]\right\} \tag{3.03}$$

$$\mu_L(\tilde{A}) = \max_x\left(\mu_{\tilde{A}\cap\min}(x)\right) = \max_x\left\{\min\left[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\min}(x)\right]\right\} \tag{3.04}$$

Ti dve vrednosti skupno vsebujeta vse informacije, vsebovane v mehki množici $\tilde{A}$. Ker večji $\mu_R(\tilde{A})$ predstavlja večji desni del mehke množice, večja vrednost $\mu_L(\tilde{A})$ pa večji del levega dela trikotne mehke množice, je skupna vrednost (rang) mehke množice določena z izrazom (3.05).

$$\mu_T(\tilde{A}) = \frac{\mu_R(\tilde{A}) + \left(1 - \mu_L(\tilde{A})\right)}{2} \tag{3.05}$$



Slika 2: Desna ($\mu_R(\tilde{A})$) in leva ($\mu_L(\tilde{A})$) pripadnost mehke množice $\tilde{A}$

Število $\mu_T(\tilde{A})$ predstavlja ostro vrednost, ki jo v odločitveni matriki *D* priredimo posamezni mehki množici. Na ta način dobimo v matriki *D* sama ostra števila in nato lahko uporabimo postopek reševanja problema odločanja po več lastnostih, ki smo ga spoznali v prejšnjem poglavju.

3.2 Model določanja organizacijske oblike nove univerze

Vzemimo hipotetično situacijo, da želijo v nekem kraju (npr. v Novem mestu) ustanoviti univerzo. V tem kraju že deluje trenutno več visokošolskih zavodov, različno organiziranih, različno upravljanih in različno financiranih. Nekateri so zasebni zavodi s koncesijo, nekateri so zasebni zavodi brez koncesije, (vsaj) eden pa je državni zavod.

V članku (Usenik, 2012) je razvit mehki model, ki prikazuje možnosti in pasti ustanavljanja nove univerze, v tem članku pa se omejimo na to, kakšna naj bi bila nova univerza.

Skratka, odločevalci želijo ugotoviti, kakšno univerzo bi ustanovili da bodo v čim večji meri zadostili štirim kriterijem, ki jih v svojih dokumentih omenja NAKVIS (Merila NAKVIS, 2014). Kriterije bomo v nekaterih niansah dopolnili oziroma združili.

Kriterij X_1 je <u>vpetost v okolje</u>, kar pomeni:

- sodelovanje z gospodarstvom in negospodarstvom,
- ugotovljene zaposlitvene možnosti diplomantov.

Kriterij X_2 je <u>delovanje in kakovost</u>, kar pomeni:

- jasno poslanstvo in vizija,
- strategija vsebuje načrt in uresničevanje ciljev,
- iz načrta notranje organiziranosti so jasno razvidne pristojnosti, naloge in dolžnosti vodstva, vseh zaposlenih in študentov,
- opredeljena so področja: študijska po ISCED in KLASIUS, znanstvene discipline po FRASCATI,
- izkazano je znanstveno raziskovalno in strokovno delo,

- opredeljene so učne vsebine,
- načrtovana je kakovost izidov in kompetenc, ki bo omogočala zaposlitev,
- vzpostavljeno je znanstveno-raziskovalno sodelovanje z drugimi visokošolskimi zavodi, inštituti, podjetji in drugimi organizacijami,v Sloveniji in tujini,
- sklenjeni so dogovori s podjetji ter mentorji za izvajanje prakse,
- narejen je načrt za vzpostavitev notranjega sistema kakovosti zavoda,
- zagotovljeno bo redno zbiranje in analiza podatkov o učnih izidih študentov ter celotnega izobraževanja,
- vključevanje vseh zaposlenih in študentov v presojo kakovosti in ugotavljanje pomanjkljivosti,
- redno seznanjanje študentov in drugih deležnikov z ukrepi za izboljševanje kakovosti,
- načrtovanje periodičnih samoevalvacij z natanko določenimi postopki,
- visoka etičnost vseh zaposlenih in prenašanje tega na študente.

Kriterij X_3 predstavlja materialne pogoje in financiranje, kar pomeni:

- zagotovljeni so prostori in oprema,
- izdelana je ocena finančnih sredstev in predvideni viri financiranja,
- zagotovljena je sodobna informacijsko-komunikacijska oprema in druga oprema, potrebna za izvajanje študijskih programov ter znanstveno-raziskovalno delo,
- urejena je knjižnica,
- zagotovljen je stabilen in sistemski vir financiranja.

Kriterij X_4 pa so kadri in študenti, kar pomeni:

- ustrezno število in struktura visokošolskih učiteljev, znanstvenih delavcev ter visokošolskih sodelavcev z veljavnimi izvolitvami v naziv,
- osnutek meril za izvolitve v naziv mora upoštevati minimalne standarde,
- število učiteljev mora zadoščati za oblikovanje senata, v katerem morajo biti zastopana vsa študijska področja,
- struktura in število podpornih delavcev mora zadoščati kakovostni izvedbi,
- oseba, odgovorna za študentske zadeve, mora biti v delovnem razmerju,
- zagotovljeno je neposredno vključevanje študentov v strokovno, znanstveno-raziskovalno dejavnost in v organe upravljanja.

Alternative so različne organizacijske oblike morebitne univerze. Vzemimo, da imamo 5 različnih možnosti.

Alternativa A_1 je javna (državna) univerza, alternativa A_2 je zasebna univerza s koncesijo, alternativa A_3 je zasebna univerza brez koncesije, alternativa A_4 je kampus ene od obstoječih univerz in alternativa A_5 je rahla povezava obstoječih zavodov.

4 Rezultati

Kriterije X_1, X_2, X_3 ocenimo z lestvico ocen od 1 do 10, kriterija X_4 in X_5 pa naj bosta dana opisno, torej z mehkimi množicami.

Kriterij »materialni pogoji in financiranje« predstavlja mehko spremenljivko, ki jo opišemo s štirimi opisi (mehkimi množicami). MATERIALNI POGOJI = {NEGOTOVI, SOLIDNI, STABILNI, ZELO_STABILNI}.

Kriterij »kadri« pa opišemo s tremi mehkimi množicami, KADRI = { POVPREČNI, DOBRI, VRHUNSKI}.

Vse ocene so seveda subjektivne in se lahko spreminjajo. Pri kriteriju »vpetost v okolje« smo upoštevali, da je zasebna univerza brez koncesije eksistenčno odvisna od sodelovanja z gospodarstvom in negospodarstvom, zato ji tu pripišemo oceno 10. Podobno velja za kriterij »delovanje in kakovost«, kjer se mora nekoncesioniran zavod izjemno potruditi tudi na tem področju, medtem ko ostalim to v taki meri ni potrebno.

Vse ocene, subjektivne, kot rečeno, so vidne v tabeli 4.

Tabela 4: Podatki za mehko odločanje po več lastnostih

Kriteriji Alternative	X_1 - vpetost	X_2 - delovanje, kakovost	X_3 - materialni pogoji, finance	X_4 - Kadri
A_1 - javna univerza	7	9	ZELO_STABILNI	VRHUNSKI
A_2 - zasebna univerza s koncesijo	7	6	STABILNI	POVPREČNI
A_3 - zasebna univerza brez koncesije	10	10	NEGOTOVI	DOBRI
A_4 - kampus ene od obstoječih univerz	6	7	STABILNI	DOBRI
A_5 - rahla povezava zavodov	5	8	SOLIDNI	DOBRI

Matrika odločanja D je takšna:

$$D = \begin{bmatrix} 7 & 9 & ZELO\_STABILNI & VRHUNSKI \\ 7 & 6 & STABILNI & POVPREČNI \\ 10 & 6 & NEGOTOVI & DOBRI \\ 6 & 7 & STABILNI & DOBRI \\ 5 & 8 & SOLIDNI & DOBRI \end{bmatrix} \tag{4.01}$$

V postopku reševanja moramo po metodi AHP najprej določiti uteži posameznih kriterijev. Vzemimo, da je medsebojna paroma primerjava kriterijev takšna, kot jo vidimo v tabeli 5.

Tabela 5: Medsebojna primerjava kriterijev

	vpetost	delovanje, kakovost	materialni pogoji, financiranje	kadri, študenti
vpetost	1	1/2	1/3	2
delovanje, kakovost	2	1	1/3	3
materialni pogoji, financiranje	3	3	1	2
kadri, študenti	1/2	1/3	1/2	1

Kriteriju »materialni pogoji, financiranje« smo pripisali največjo težo, saj je urejeno financiranje predpogoj za vsakršno delovanje, še zlasti za visoko kvalitetno. Temu kriteriju smo pripisali trikrat pomembnejšo vlogo od »vpetosti«, trikrat pomembnejšo od »delovanja« in dvakrat pomembnejšo od kriterija »kadri«.

Matrika medsebojnih povezav je

$$A=\begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & 2 \\ 2 & 1 & \frac{1}{3} & 3 \\ 3 & 3 & 1 & 2 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix} \qquad (4.02)$$

V skladu z AHP metodo najprej izračunamo pripadajočo normalizirano matriko

$$A_{\text{NORM}}=\begin{bmatrix} 0{,}1538 & 0{,}1030 & 0{,}1542 & 0{,}2500 \\ 0{,}3077 & 0{,}2070 & 0{,}1542 & 0{,}3750 \\ 0{,}4616 & 0{,}6210 & 0{,}4611 & 0{,}2500 \\ 0{,}0769 & 0{,}0690 & 0{,}2305 & 0{,}1250 \end{bmatrix}$$

Elemente normalizirane matrike dobimo tako, da delimo vsak element v stolpcu j matrike A z vsoto vseh elementov stolpca j.¸Tako je npr. vsota vseh elementov v 1. stolpcu 6,5. Elemente 1. stolpca torej zapored delimo s 6,5 in dobimo elemente 1. stolpca v normalizirani matriki: 0,1538; 0,3077; 0,4616 in 0,0769. Na enak način dobimo elemente ostalih treh stolpcev. Vsota elementov po stolpcih je seveda 1.

Za prvo alternativo je povprečna utež:

$$w_1=\frac{0{,}1538+0{,}1030+0{,}1542+0{,}2500}{4}=0{,}16530$$

Podobno še:

$$w_2=\frac{0{,}3077+0{,}2070+0{,}1542+0{,}3750}{4}=0{,}26090$$

$$w_3=\frac{0{,}4616+0{,}6210+0{,}4611+0{,}2500}{4}=0{,}44845$$

$$w_4 = \frac{0,0759 + 0,0690 + 0,2305 + 0,1250}{4} = 0,12535$$

Vektor uteži je $\vec{w} = (0.16530, 0.26090, 0.44845, 0.12535)$. Vsota vseh uteži je seveda 1.

Kriteriju "vpetost" pripada delež 0,1653 glede na celotno utež , kriteriju "delovanje" pripada delež 0,2609 itd. Kriteriju "materialni pogoji" pripada največja utež, saj smo tako zastavili že primerjavo po parih v matriki *A*.

Sedaj moramo preveriti konsistenco naše medsebojno paroma dolečene primerjave. To storimo, kot je bilo že povedano, v štirih korakih.

1. korak: izračunamo Aw^T.

$$A\vec{w}^T = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & 2 \\ 2 & 1 & \frac{1}{3} & 3 \\ 3 & 3 & 1 & 2 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,16530 \\ 0,26090 \\ 0,44845 \\ 0,12535 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,69585 \\ 1,11687 \\ 1,97742 \\ 0,51913 \end{bmatrix}$$

1. drugi korak: izračunamo *N*.

$$N = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{i - \text{ti element v matriki } A\vec{w}^T}{i - \text{ti element vektorja } \vec{w}^T} =$$
$$= \frac{1}{4}\left[\frac{0,69585}{0,16530} + \frac{1,11687}{0,26090} + \frac{1,97742}{0,44845} + \frac{0,51913}{0,12535}\right] = 4,2575$$

3. korak: izračunamo indeks usklajenosti *CI.*

$$CI = \frac{\mathrm{N} - n}{n - 1} = \frac{4,2575 - 4}{3} = 0,085$$

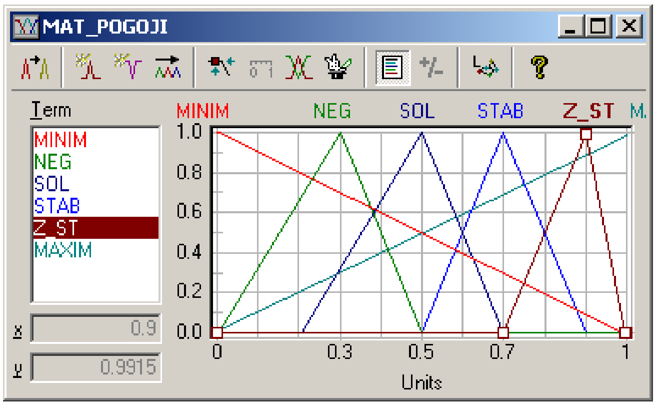
4. korak: primerjamo izračunani *CI* s slučajnim indeksom *RI* za določen *n* (v našem primeru je *n* = 4) . Ker je kvocient $\frac{CI}{RI} = \frac{0,085}{0,90} = 0,094 < 0,10$, to pomeni, da so medsebojne primerjave parov primerne in uteži w_1, w_2, w_3, w_4 dobre za nadaljevanje postopka. .

Vrnimo se na matriko odločanja (4.01).

$$D = \begin{bmatrix} 7 & 9 & ZELO\_STABILNI & VRHUNSKI \\ 7 & 6 & STABILNI & POVPREČNI \\ 10 & 6 & NEGOTOVI & DOBRI \\ 6 & 7 & STABILNI & DOBRI \\ 5 & 8 & SOLIDNI & DOBRI \end{bmatrix}$$

Kriterija X_3 in X_4 sta mehka, zato ju moramo predhodno transformirati v ostra števila. V tem primeru bomo to storili s Chen & Hwangovo metodo (Chen, Hwang, 1994), (Usenik, 2008).

Začnimo z mehko spremenljivko MATERIALNI_POGOJI (slika 3). Pri tem smo uporabili programsko orodje FuzzyTech (FuzzyTech, 2002).



Slika 3: Pripadnostne funkcije mehkih spremenljivk MATERIALNI_POGOJI, MIN in MAX

Analitični izrazi vseh mehkih množic so:

MINIMUM: $\mu_{MIN} = -x + 1$

MAKSIMUM: $\mu_{\max} = x$

NEGOTOVI: $$\mu_{NEGOTOVI} = \begin{cases} \dfrac{10}{3}x & 0 \le x \le 0,3 \\ -5x + \dfrac{5}{2} & 0,3 \le x \le 0,5 \end{cases}$$

SOLIDNI: $$\mu_{SOLIDNI} = \begin{cases} \dfrac{10}{3}x - \dfrac{2}{3} & 0,2 \le x \le 0,5 \\ -5x + \dfrac{7}{2} & 0,5 \le x \le 0,7 \end{cases}$$

STABILNI: $$\mu_{STABILNI} = \begin{cases} 5x - \dfrac{5}{2} & 0,5 \le x \le 0,7 \\ -5x + \dfrac{9}{2} & 0,7 \le x \le 0,9 \end{cases}$$

ZELO_STABILNI: $$\mu_{STABILNI} = \begin{cases} 5x - \dfrac{7}{2} & 0,7 \le x \le 0,9 \\ -10x + 10 & 0,9 \le x \le 1,0 \end{cases}$$

Po formulah (3.03) – (3.05) dobimo range za vse mehke množice mehkega kriterija X_3.

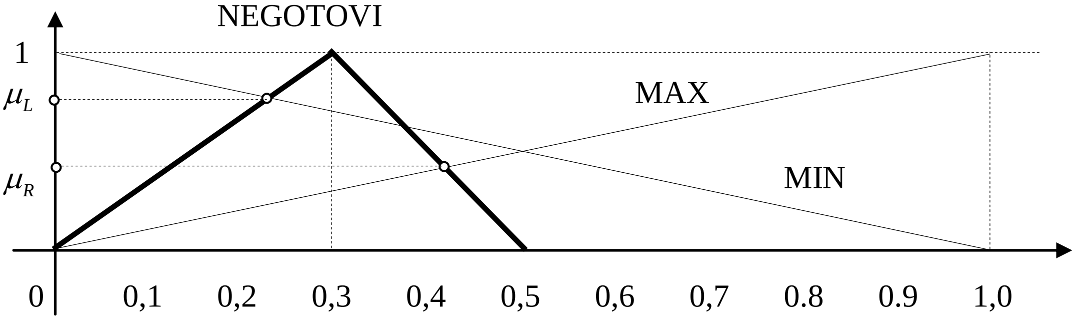
Mehka množica NEGOTOVI:

$$\mu_{MIN} = -x + 1$$

$$\mu_{\max} = x$$

$$\mu_{NEGOTOVI} = \begin{cases} \dfrac{10}{3}x & 0 \le x \le 0,3 \\ -5x + \dfrac{5}{2} & 0,3 \le x \le 0,5 \end{cases}$$

Od tod sledi (glej sliko 4):



Slika 4: Določanje ranga mehke množice NEGOTOVI

Levi odsek:

$$-x_L + 1 = \frac{10}{3}x_L \Rightarrow x_L = \frac{3}{13} \approx 0,231 \quad \text{in} \quad \mu_L\left(NEGOTOVO\right) = \frac{10}{13} \approx 0,796$$

Desni odsek:

$$x_R = -5x_R + \frac{5}{2} \Rightarrow x_R = \frac{5}{12} \approx 0,417 \quad \text{in} \quad \mu_R\left(NEGOTOVO\right) = \frac{5}{12} \approx 0,417$$

Rang mehke množice NEGOTOVI je potem

$$\mu_T\left(NEGOTOVO\right) = \frac{\mu_R\left(NEGOTOVO\right) - \mu_L\left(NEGOTOVO\right) + 1}{2} = 0,3015$$

Na enak način dobimo še ostale range.

Za mehko množica SOLIDNO je

$$x_L\left(SOLIDNO\right)=\frac{5}{13}\approx 0,385 \qquad \mu_L\left(SOLIDNO\right)=\frac{8}{13}\approx 0,615$$

$$x_R\left(SOLIDNO\right)=\frac{7}{12}\approx 0,583 \qquad \mu_R\left(SOLIDNO\right)=\frac{7}{12}\approx 0,583$$

$$\mu_T\left(SOLIDNO\right)=\frac{\mu_R\left(SOLIDNO\right)-\mu_L\left(SOLIDNO\right)+1}{2}=0,493$$

Za mehko množico STABILNO je

$$x_L\left(STABILNO\right)=\frac{7}{12}\approx 0,583 \qquad \mu_L\left(STABILNO\right)=\frac{5}{12}\approx 0,417$$

$$x_R\left(STABILNO\right)=\frac{9}{12}=0,7500 \qquad \mu_R\left(STABILNO\right)=\frac{9}{12}=0,750$$

$$\mu_T\left(STABILNO\right)=\frac{\mu_R\left(STABILNO\right)-\mu_L\left(STABILNO\right)+1}{2}\approx 0,667$$

Za mehko množico ZELO_STABILNO pa je

$$x_L\left(Z\_STABILNO\right)=\frac{9}{12}=0,750 \qquad \mu_L\left(Z\_STABILNO\right)=\frac{3}{12}=0,25$$

$$x_R\left(Z\_STABILNO\right)=\frac{10}{11}\approx 0,909 \qquad \mu_R\left(Z\_STABILNO\right)=\frac{10}{11}\approx 0,909$$

$$\mu_T\left(Z\_STABILNO\right)=\frac{\mu_R\left(Z\_STABILNO\right)-\mu_L\left(Z\_STABILNO\right)+1}{2}\approx 0,828$$

Torej so rangi mehkih množic slučajne spremenljivke MATERIALNI_POGOJI naslednji:

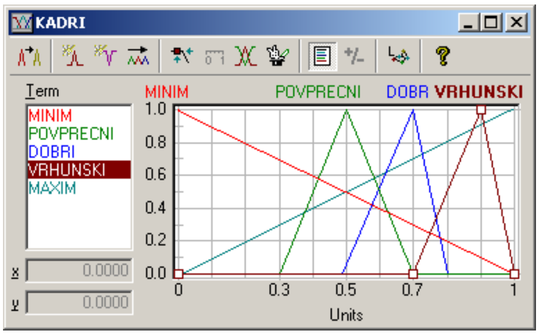
$$\mu_T\left(NEGOTOVO\right)=0,302$$

$$\mu_T\left(SOLIDNO\right)=0,493$$

$$\mu_T\left(STABILNO\right)=0,667$$

$$\mu_T\left(ZELO\_STABILNO\right)=0,828$$

Na podoben način izračunajmo še range mehke spremenljivko KADRI (slika 5):



Slika 5: Pripadnostne funkcije mehkih spremenljivk KADRI, MIN in MAX

Enačbe mehkih množic so:

$$\mu_{POVPRECNI} = \begin{cases} 5x - \dfrac{3}{2} & 0,3 \le x \le 0,5 \\ -5x + \dfrac{7}{2} & 0,5 \le x \le 0,7 \end{cases}$$

$$\mu_{DOBRI} = \begin{cases} 5x - \dfrac{5}{2} & 0,5 \le x \le 0,7 \\ -10x + 8 & 0,7 \le x \le 0,8 \end{cases}$$

$$\mu_{VRHUNSKI} = \begin{cases} 5x - \dfrac{7}{2} & 0,7 \le x \le 0,9 \\ -10x + 10 & 0,9 \le x \le 1,0 \end{cases}$$

Sedaj izračunamo pripadajoče range.

Za mehko množico POVPREČNI je

$$x_L(POVPRECNI) = \frac{5}{12} \qquad \mu_L(POVPRECNI) = \frac{7}{12}$$
$$x_R(POVPRECNI) = \frac{7}{12} \qquad \mu_R(POVPRECNI) = \frac{7}{12}$$
$$\mu_T(POVPRECNI) = 0,500$$

Za mehko množico DOBRI dobimo

$$x_L(DOBRI) = \frac{7}{12} \qquad \mu_L(DOBRI) = \frac{5}{12}$$
$$x_R(DOBRI) = \frac{8}{11} \qquad \mu_R(DOBRI) = \frac{8}{11}$$
$$\mu_T(DOBRI) \approx 0,655$$

In še za mehko množico VRHUNSKI

$$x_L\left(VRHUNSKI\right)=\frac{9}{12} \qquad \mu_L\left(VRHUNSKI\right)=\frac{3}{12}$$

$$x_R\left(VRHUNSKI\right)=\frac{10}{11} \qquad \mu_R\left(VRHUNSKI\right)=\frac{10}{11}$$

$$\mu_T\left(VRHUNSKI\right)\approx 0,830$$

Rangi za mehko spremenljivko KADRI so torej

$$\mu_T\left(POVPRECNI\right)=0,500$$

$$\mu_T\left(DOBRI\right)=0,655$$

$$\mu_T\left(VRHUNSKI\right)=0,830$$

Na ta način so vsi podatki ostra števila (tabela 6).

Tabela 6: Ostri podatki za mehko odločanje po več lastnostih

Kriteriji alternative	X_1 - vpetost	X_2 - delovanje, kakovost	X_3 - Finance, materialni pogoji	X_4 - Kadri
A_1 - javna univerza	7	9	0,828	0,830
A_2 - zasebna univerza s koncesijo	7	6	0,667	0,500
A_3 - zasebna univerza brez koncesije	10	10	0,302	0,655
A_4 - kampus ene od obstoječih univerz	6	7	0,667	0,655
A_5 - rahla povezava zavodov	5	8	0,493	0,655

$$D=\begin{bmatrix} 7 & 9 & 0,828 & 0,830 \\ 7 & 6 & 0,667 & 0,500 \\ 10 & 6 & 0,302 & 0,655 \\ 6 & 7 & 0,667 & 0,655 \\ 5 & 8 & 0,493 & 0,655 \end{bmatrix}$$

Po formulah (2.02) – (2.09) dobimo vse potrebne informacije za sprejem odločitve.

Najprej po formuli(2.03) izračunamo normalizirano odločitveno matriko D'.

$$D' = \begin{bmatrix} 0,4350 & 0,5518 & 0,5992 & 0,5563 \\ 0,4350 & 0,3679 & 0,4827 & 0,3351 \\ 0,6214 & 0,3679 & 0,2185 & 0,4390 \\ 0,3728 & 0,4292 & 0,4827 & 0,4390 \\ 0,3107 & 0,4904 & 0,3568 & 0,4390 \end{bmatrix}$$

Nato matriko D' pomnožimo z utežmi (elemente 1. stolpca množimo z utežjo w_1, elemente 2. stolpca množimo z utežjo w_2 in tako do konca) ter dobimo matriko *V*. Ker so uteži zaporedoma $w_1 = 0,16525$, $w_2 = 0,26085$, $w_3 = 0,44842$, $w_4 = 0,12535$, dobimo

$$V = \begin{bmatrix} 0,07188 & 0,14394 & 0,26869 & 0,06973 \\ 0,07188 & 0,09597 & 0,21645 & 0,04200 \\ 0,10269 & 0,09597 & 0,09798 & 0,05547 \\ 0,06161 & 0,11196 & 0,21645 & 0,05547 \\ 0,05134 & 0,12792 & 0,16000 & 0,05547 \end{bmatrix}$$

Iz matrike V izračunamo idealno "pozitivno" rešitev A^+ in idealno "negativno" rešitev A^-.

Ker so v našem primeru vsi štirje kriteriji vezani na maksimum, dobimo iz

$$A^+ = \left\{ \left(\max v_{ij} \middle| j \in J \right) \middle| i = 1, 2, \ldots, m \right\} = \left\{ v_1^+, v_2^+, \ldots, v_n^+ \right\}$$

$$A^- = \left\{ \left(\min v_{ij} \middle| j \in J \right) \middle| i = 1, 2, \ldots, m \right\} = \left\{ v_1^-, v_2^-, \ldots, v_n^- \right\}$$

tole:

$$A^+ = \left\{ v_1^+, v_2^+, v_3^+, v_4^+ \right\} = \left\{ 0,10269;\ 0,14394;\ 0,26869;\ 0,06973 \right\}$$

$$A^- = \left\{ v_1^-, v_2^-, v_3^-, v_4^- \right\} = \left\{ 0,05134;\ 0,09597;\ 0,09798;\ 0,04200 \right\}$$

Zaradi

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - v_j^+ \right)^2} = \sqrt{\left(v_{i1} - v_1^+ \right)^2 + \left(v_{i2} - v_2^+ \right)^2 + \cdots + \left(v_{in} - v_n^+ \right)^2} \qquad i = 1, 2, \ldots, m$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - v_j^- \right)^2} = \sqrt{\left(v_{i1} - v_1^- \right)^2 + \left(v_{i2} - v_2^- \right)^2 + \cdots + \left(v_{in} - v_n^- \right)^2} \qquad i = 1, 2, \ldots, m$$

dobimo:

$S_1^+ = 0,03081$; $S_2^+ = 0,12366$; $S_3^+ = 0,17789$; $S_4^+ = 0,07512$; $S_5^+ = 0,12211$

$S_1^- = 0,18065; S_2^- = 0,12014; \quad S_3^- = 0,05309; \quad S_4^- = 0,12074; \quad S_5^- = 0,07105$

Efetivne oddaljenosti alternativ so po formuli $C_i^* = \dfrac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$ (i = 1, 2, 3, 4) naslednje:

$$C_1^* = 0,85430; \quad C_2^* = 0,49278; \quad C_3^* = 0,22985; \quad C_4^* = 0,61646; \quad C_5^* = 0,36783.$$

To pomeni, da alternative po primernosti rangiramo tako: A_1, A_4, A_2, A_5, A_3.

Glede na dane podatke in predpostavke je najprimernejša alternativa A_1, torej ustanovitev javne univerze.

5 Zaključek

V članku smo z uporabo mehke metode odločanja po več lastnostih primerjali primerne organizacijske oblike novo nastajajoče univerze. Takšnih variant, ki v našem primeru predstavljajo alternative za odločanje, je več, omenili smo 5 najbolj smiselnih. Vsaka alternativa ima več možnih kriterijev ocenjevanja in s tem v končni fazi sprejemanja odločitve. Ker je v konkretnem primeru govor o univerzi, smo v ta namen izbrali kar kriterije, ki jih uporablja Nacionalna agencija RS za kakovost v visokem šolstvu NAKVIS (Merila, 2014): vpetost v okolje, delovanje in kakovost, materialni pogoji in financiranje, kadri/študenti.

Po zahtevah teoretičnega matematičnega modela je potrebno pomembnost kriterijev paroma primerjati med seboj. To pa se pri vsakem konkretnem problemu pokaže kot prav posebna zadrega, ker je presoja, kaj je bolj (ali pa manj) in kolikokrat od nečesa drugega, zagotovo vsaj deloma subjektivna. Prav to je potrebno izpostaviti tudi v našem primeru. Matrika (4.02) prikazuje zamišljene močnostne odnose med posameznimi kriteriji. Kot najpomembnejši kriterij smo privzeli materialne pogoje in financiranje. Pri tem izhajamo iz temeljnega dejstva, da brez finančnih sredstev ne more delovati noben zavod, še najmanj univerza na začetku svoje poti. Brez denarja pač ne bo niti izvrstnih kadrov in s tem niti izvrstnih študentov. Vsekakor pa je žal možna ravno obratna situacija, ko tudi z denarjem tega ni, vendar to že spada na področje etike in akademskega ravnanja,predvsem vodstva akademske organizacije. Nikakor se ne sme zgoditi, da bi predavanja izvajali asistenti, vaje pa laboranti oz. demonstratorji, profesorji pa bi tačas opravljali donosne posle. Prav tako je za urejeno akademsko okolje nedopustno, da bi vodstvo zaposlovalo učitelje, asistente in ostale sodelavce le za nekaj mesecev, saj na ta način kontinuiteta in zlasti kvaliteta raziskovalnega in pedagoškega dela ne bo dobra. Skratka, zagotovljeno financiranje je kljub vsemu predpogoj za delovanje, zato smo mu v modelu pripisali izstopajočo utež.

Rezultat, ki ga dobimo, je vsekakor v največji odvisnosti od vhodnih podatkov, ki jih v modelu uporabimo, pa naj gre za ocenjevanje možnih alternative z ostrimi števili (mi smo vzeli lestvico od 1 do 10) ali pa za približno besedno ocenjevanje, torej z uporabo mehkih množic. Sam algoritem je seveda matematično nevtralen in objektiven, robustnost in težo izhoda pogojuje kvaliteta in objektivna uporaba vhodnih podatkov. Vsekakor pa velja, tako kot vedno pri uporabi kvantitativnih metod kot pomoč pri odločanju, da so dobljeni rezultati zgolj dodatna pomembna informacija odločevalcu, nikakor pa niso edina in dokončna merila.

Če bi tako matriko *A* (moč kriterijev) kot matriko *D* (odločitvena matrika) spreminjali, bi lahko dobili tudi drugačen rezultat, kot je sedaj predstavljen v 4. poglavju. Vendar bi vsako precej različno uporabo ocen (ostrih in/mehkih) od te, predstavljene v našem modelu, kar težko zagovarjali. V morebitnem nadaljevanju raziskave, kjer bi se orientirali zlasti na robustnost ocen v matrikah *A* in *D,* bi bilo potrebno napraviti senzitivnostno analizo, s katero bi ugotovili intervale posameznih ocen, znotraj katerih se dobljene rešitve ohranjajo. Po drugi strani pa bi v nadaljevanju te konkretne raziskave o obliki nove univerze dobljeni model razširili s kakšnim novim dodatnim kriterijem ali s kakšno novo dodatno alternativo. Zelo zanimivo bi bilo tudi matematični model še bolj omehčati z večanjem število mehkih kriterijev vse do možnosti, da bi bili vsi kriteriji dani zgolj z opisnimi termi, to je z mehkimi množicami. V modelu smo za mehke množice privzeli le trikotne pripadnostne funkcije, ker z njimi pač po definiciji najbolje opisujemo mehka števila. Mehka števila pa niso nujno te oblike (Zimmermann, 2001), njihove pripadnostne funkcije so lahko tudi trapezne oblike. Na ta način bi zagotovili še večjo fleksibilnost v mehkem odločanju, kar bi model obogatilo.

Ne smemo pa pozabiti, da je ustanavljanje univerze zahteven proces in da je podvržen tudi vsem aksiomom tekmovalnosti in konfliktov (Usenik, Turnšek, 2013).

Ob koncu lahko ugotovimo, da je mehko odločanje po več lastnostih matematično stabilno in da so rezultati v izbranem modelu univerze smiselni in tudi signifikantni. Vse navedene možnosti nadgradnje matematičnega modela pa bi pomenile kar velik in pomemben izziv nadaljevanja raziskave.

Reference

1. Bogataj, M., Usenik, J. (2005). Fuzzy approach to the spatial games in the total market, *Int., j. prod. econ.,* vol. 93-94, pp. 493-503.
2. Chen, S., Hwang, C. (1992). *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making, Methods and Application*, Springer-Verlag, Berlin Heildelberg.
3. FuzzyTech 5.5 (2002). *User`s Manual*, INFORM GmbH, 2002.
4. Guerra, T.M., Sala, A., Tanaka, K. (2015). Fuzzy control turns 50: 10 years later, *Fuzzy sets and systems* 281, pp. 168-182.
5. Merila za akreditacijo in zunanjo evalvacijo visokošolskih zavodov in študijskih programov, 2014. http://test.nakvis.si/sl-SI/Content/Details/4.
6. Moradi, M., Maleki, M, Pilehrood, H.A. (2015). Leadership competency evaluation by integration of fuzzy Shannon`s entropy and VIKOR method, *Global Journal of advanced research,* Vol. 2, Iss. 12, pp. 1864-1870.
7. Ross, T., J. (2007). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, Second Edition, John Wiley & Sons Ltd.
8. Teodorović, D., Vukadinović, K. (1998). *Traffic Control and Transport Planning: A Fuzzy Sets and Neural Networks Approach,* Kluwer Academical Publieshers, Boston.
9. Usenik, J., Bogataj, M. (2005). A fuzzy set approach for a location-inventory model, *Transp. plan. technol.*, vol. 28, pp. 447-464.

10. Usenik, J. (2008), Fuzzy approach in process of multiple-attribute decision making. *Journal of energy technology*, vol. 1, iss. 1,pp. 43-58.
11. Usenik, J. (2012). Univerza v regiji odličnosti mehki pristop. *Revija za univerzalno odličnost*, okt. 2012, Vol. 1, iss. 3, str. pp. A1-A15.
12. Usenik, J., Turnšek, T. (2013). Modeling conflict dynamics with fuzzy logic inference. *Mei Zhong gong gong guan li*, ISSN 1548-6591, vol. 10, no. 5, pp. 457-474.
13. Waters, D. (1997). *Quantitative methods for business,* second edition, Addison Wesley Longman Publishers Ltd., Essex, England.
14. Winston, W., L. (1994). *Operations research, Applications and Algorithms,* Duxbury Press, Belmont, California.
15. Zimmermann H.J. (2001). *Fuzzy Set Theory and its Applications,* Fourth Edition, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 352-370.

***

Dr. Janez Usenik je redni profesor za področje "kvantitativne metode" (matematika, statistika, operacijske raziskave). Znanstveno in raziskovalno se ukvarja z metodami in postopki optimizacije v upravljanju sistemov. Zadnja leta intenzivno proučuje mehko logiko in nevronske mreže, kar uporablja kot znanstveno in metodološko orodje za raziskave na širokem področju aplikacij v sistemski teoriji. Napisal je preko sto znanstvenih člankov, ki jih je objavil doma in v tujini, je pa tudi avtor večjega števila univerzitetnih učbenikov in znanstvenih monografij.

Meta Vidiček je univerzitetna diplomirana pravnica in predavateljica za področje "pravo". Je tajnik in prodekanja Visoke šole za upravljanje podeželja Grm Novo mesto in doktorska študentka na Fakulteti za organizacijske študije v Novem mestu.

***

Fuzzy multiple attribute decision making – university as an example

Abstract:

Research Question (RQ): The establishment of the university (in a certain place, it can also be University of Novo mesto) is time-consuming and extremely important process. A lot of criteria that influence on the decision as to what form of organization would be rational and advantageous should be taken into account. The question on which it will be answered is: is it possible to use quantitative methods to identify meaningful organizational structure of the University and how do we do that?
Purpose: The aim and objective of the research is to answer the above question and thereby give decision makers the possibility to use additional neutral informations.
Method: In the research the method of multiple attribute decision making is used. With the combination of AHP method and algorithm VIKOR a solution to the problem is given, when the input data are crisp numbers. However, since the input data are often, especially in the case of the University mainly descriptive and ambiguous terms, we have to use the principles (theorems) of fuzzy logic. Synthesis of the both methods is the fuzzy multiple attribute decision making method and used in this research.
Results: The results of the research show that scientific instruments that are used are meaningful and unambiguously answer the question. Of course, as with any quantitative method, it is necessary to take into account the robustness of the input data.
Organization: The research results can have a direct impact on the decisions of the organization of a possible new university.
Society: Impact of the research on society, social responsibility and the environment is direct, since with used algorithm these components are taken into account.
Originality: The study is original in (at least) two aspects: a) it defines the introduction of fuzzy sets in one of the methods of operation research and thus enables great flexibility in the use of partially imprecision and only in

words defined criteria / data and b) it applies an algorithm to the establishment of the University, which is new in the literature.
Limitations/Future Research: Limitations and also (paradoxically) the benefits of the research are in the interpretation and application of the input data. Continued research should go in the direction of use sensitive analysis of the results and the gradual introduction of an integrated fuzzy approach, in the final phase also in the upgrade of the algorithm with neurofuzzy learning.

Keywords: multiple attribute decision making, alternatives, criteria, fuzzy set, ranking, university.